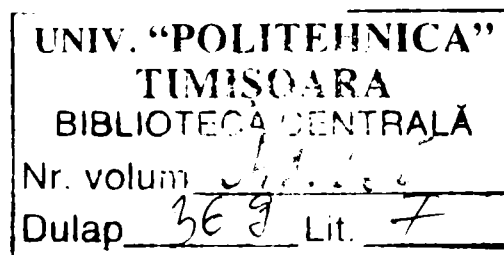


TEZA DE DOCTORAT

ECHIPAMENTE ELECTRICE DE AUTOMATIZARE ȘI CONTROL ÎN MEDII CU PERICOL DE EXPLOZIE

Conducător științific:
Prof. Dr. Ing. Alexandru Vasilievici

Doctorand:
ing. Alecu-Sorin Huidan



septembrie 2006

1. APARATURĂ TEHNICĂ PENTRU MEDII CU PERICOL DE EXPLOZIE

1.1. INTRODUCERE

Problema echipamentelor mecanice sau electrice cu protecție antiexplozivă, a apărut pentru prima dată în cadrul industriei miniere unde, datorită formării unor amestecuri de gaze și pulberi explozive, folosirea echipamentelor convenționale în procesul tehnologic, a dus deseori la explozii de proporții soldate cu pierderi de vieți omenești. Prima contribuție privitoare la securitatea personalului de exploatare din aceste medii, a fost făcută în anul 1815, de către chimistul englez Sir Davy, care realizează o lampă cu petrol care previne propagarea flăcării, prin utilizarea unei capsulări cu ecran de protecție. În anul 1909, firma Concordia Electrizatas-Actiengesellschaft, din Germania, denumită mai târziu CEAG, începe fabricarea unor lămpi electrice de mină, cu risc redus de flamabilitate [9].

Experimentele fundamentale, făcute de Dr. Ing. Carl Beyling - inginer de mine din Germania - în vederea reducerii riscului de explozie în cazul motoarelor electrice și a altor echipamente electrice de mină, au reprezentat un pas decisiv în dezvoltarea protecției antiexplozive. Pe baza acestor experimente, în anul 1912 s-au pus bazele construcției mașinilor electrice cu risc redus de flamabilitate.

În anul 1935 apare în Germania, prima reglementare cu privire la construcția aparaturii electrice cu funcționare în atmosfere potențial explozive (VDE0165/1935). În această perioadă apar în mai multe țări industrializate din Europa, diverse reglementări și directive naționale cu privire la instalațiile electrice cu funcționare în medii potențial explozive.

În anul 1975 Consiliul Comunității Europene impune directivele de bază în cazul protecției antiexplozive pentru medii industriale altele decât minele. Prima directivă europeană pentru aparatura electrică, utilizată în medii cu pericol de explozie altele decât minele, apare în 18.12.1975 cu numărul 76/117/EWG. Până în 1990 această directivă a suferit frecvente amendamente. Ea se referea la caracteristicile și structura echipamentelor electrice și la protecția acestora la explozie exceptând echipamentele din industria minieră.

În mai 1978 apare standardul european EN 50014 cu privire la echipamentele pentru medii cu atmosferă potențial explozivă care prezintă o serie de prescripții generale pentru aceste tipuri de echipamente.

În 23 martie 1994, Parlamentul European (European Parliament and Council) elaborează directiva 94/9/EC, cunoscută sub denumirea de ATEX 100a, în vederea armonizării prescripțiilor pentru aparatura cu funcționare în medii potențial explozive, care este preluată și devine din 1996 lege națională pentru toate statele membre, precum și pentru România. Directiva era legată de Tratatul European din 1985, de înființare a Comunității Europene, mai precis de articolul 100a (amendamentul din 2 februarie 1992). În căutarea unei abrevieri generale a acestei directive a fost agreată folosirea denumirii „ATEX100a”. „ATEX” este abrevierea pentru „atmosferă explozivă” provenită din limba franceză (atmosphere explosibile), iar „100a” este numărul articolului amintit.

1.2. CONDIȚII EXISTENTE ÎN ROMÂNIA

În România, dezvoltarea industriei de petrol și gaze, precum și a industriilor chimice și miniere între anii 1970-1989, a condus la apariția echipamentelor electrice de joasă tensiune, specifice acestor domenii, cu caracteristici constructive și funcționale, diferite față de cele utilizate în alte ramuri industriale, echipamente care trebuiau să fie executate în conformitate cu prescripțiile și normele aflate în vigoare în acea perioadă. Datorită faptului că în perioada 1974-1987, au fost elaborate mai multe standarde românești pentru acest tip de aparatură printre care STAS 9954/1, STAS 6877-1 până la

STAS 6877-11, toate fiind în acord cu normele europene în vigoare, adoptarea din 1996 a normei ATEX 100a, nu a prezentat probleme deosebite.

1.3. ATMOSFERA EXPLOZIVĂ

O atmosferă explozivă, se formează atunci când apare un amestec de aer cu gaze inflamabile, vapori, prafuri sau pulberi, incluzând și constituenți uzuali, cum ar fi umiditatea, în anumite proporții, în condiții atmosferice normale. Se consideră condiții atmosferice normale, atunci când presiunea absolută a amestecului este în limitele 0.8 - 1.1 bar, iar temperatura acestuia, între -20°C și $+60^{\circ}\text{C}$ [9]. După inițierea aprinderii unei atmosfere explozive, o reacție violentă se va transmite cu rapiditate în întregul volum ocupat de aceasta. Pentru producerea unei explozii este necesar ca trei factori să existe în același spațiu și în același timp. Aceștia formează triunghiul pericolului de explozie sau **triunghiul de aprindere** și sunt după cum urmează:

- prezența substanțelor inflamabile sub formă de gaze, vapori, cețuri
- prezența substanței oxidante (aer sau oxigen) ca suport al combustiei (exploziei)
- prezența sursei de aprindere sub formă de scânteii, flăcări sau suprafețe fierbinți

În figura 1.1 se prezintă într-o schiță sugestivă participarea celor trei factori la fenomenul de producere a unei explozii

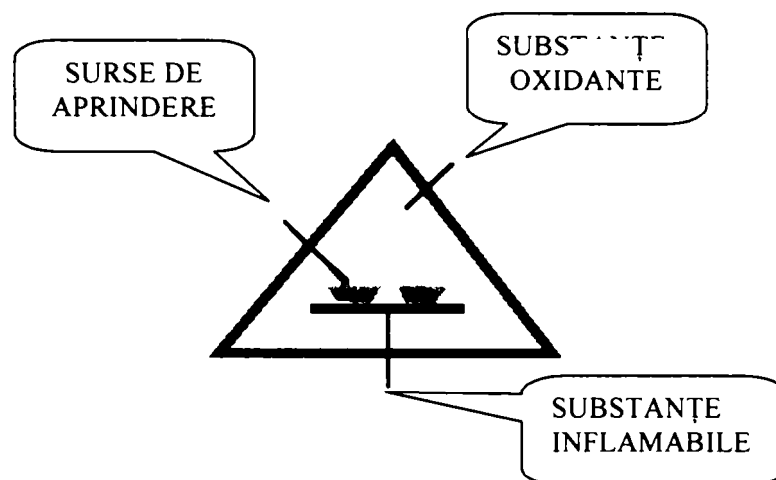


Fig. 1.1 Triunghiul de aprindere

Un amestec de gaze, vapori, sau pulberi inflamabile, este capabil de explozie, deci devine atmosferă explozivă, numai atunci când, în condiții atmosferice normale, concentrația sa este în anumite limite, specifice pentru fiecare tip de substanță. **Limita minimă de explozie (LIE)** definește concentrația până la care amestecul nu este capabil să explodeze, iar **limita maximă de explozie (LSE)**, definește concentrația până la care amestecul mai este capabil să explodeze. În alte condiții decât cele atmosferice normale, limitele de explozie se vor schimba. Cu creșterea concentrației de oxigen, de exemplu, limita maximă de explozie va crește.

În general, limitele de explozie sunt indicate în procente de volum, care înseamnă procente de volum de materie combustibilă din volumul total al amestecului. De exemplu limita minimă de explozie pentru hidrogen este de 4.0%vol, iar limita maximă de 75.6%vol.

O atmosferă explozivă existentă într-un volum dat, în cazul aprinderii pune în pericol direct sau indirect personalul de exploatare a instalațiilor din acel spațiu, dar în cazul lipsei sursei de aprindere ea nu prezintă acest pericol. Din această cauză se folosește în mod curent denumirea de **atmosferă potențial explozivă**.

Sursele de aprindere din instalațiile electrice industriale, care pot cauza explozii, sunt după cum urmează :

- scânteii mecanice de fricțiune, sau impact, în cazul instalațiilor cu componente mecanice în mișcare
- scânteii și arcuri electrice
- suprafețe fierbinți ale echipamentelor sau ale conductoarelor de legătură
- descărcări electrostatice

Reducerea riscului de explozie în instalațiile în care se poate forma atmosferă explozivă se face prin două metode diferite, după cum urmează :

- controlul permanent al concentrației de materie inflamabilă în zona echipamentelor și asigurarea deconectării acestora de la rețeaua de alimentare la apropierea de limita de explozie
- construcția și utilizarea unor echipamente electrice, cu caracteristici constructive și funcționale specifice, care să nu poată deveni surse de aprindere pentru atmosfera explozivă în care sunt instalate

În general se recomandă folosirea combinată a celor două metode.

1.4. CLASIFICAREA ATMOSFERELOR EXPLOZIVE ȘI A ECHIPAMENTELOR ELECTRICE DESTINATE LOR

În funcție de sectorul industrial în care apare atmosfera explozivă, substanțele inflamabile se clasifică, în conformitate cu standardele europene armonizate în două grupe după cum urmează :

- **grupa I**, constituită din metanul prezent în amestec cu pulberi de cărbune în minele grizutoase
- **grupa II**, constituită din gaze și substanțe inflamabile, altele decât metanul din minele grizutoase, înglobând de fapt, o serie de substanțe inflamabile din industria chimică și petrolieră, cum ar fi acetonă, metanol, etan, propan, butan, acetilenă, etc., inclusiv gazul metan din afara industriei miniere

Datorită numărului mare de substanțe inflamabile care fac parte din grupa a II-a aceasta a fost împărțită în funcție de energia minimă de aprindere în trei subgrupe.

Energia minimă de aprindere a atmosferei potențial explozive depinde de substanța inflamabilă, condițiile de temperatură, presiune și de umiditate. În documentațiile și standardele care clasifică atmosferele explozive este menționată energia minimă de aprindere, în general, pentru condiții normale de temperatură presiune și umiditate. Pentru clasificarea atmosferelor explozive din grupa a II-a, din punctul de vedere al energiei minime de aprindere, care înseamnă, de fapt și capacitatea amestecului de a transmite explozia, s-au folosit două criterii mai importante [31] și anume:

- a. **criteriul curentului minim de aprindere (MIC)**, care definește condițiile standard de încercare la explozie în vederea clasificării atmosferelor explozive, prin modificarea curentului unui arc electric destinat să inițieze aprinderea.
- b. **criteriul interstițiului experimental maxim de securitate (MESG)**, care definește condițiile standard de încercare la explozie în vederea clasificării atmosferelor explozive, prin folosirea unei capsulări antideflagrante cu interstițiu variabil cu ajutorul căreia se determină capacitatea de transmitere a exploziei unui amestec din interior spre exteriorul capsulării .

Prin ambele criterii, substanțele din grupa a II-a de explozie se clasifică în trei subgrupe după cum urmează :

- subgrupa IIA, care conține gazele din grupa II, cele mai puțin periculoase din punct de vedere al capacității de explozie, având energia minimă de aprindere mai mare sau egală de 180 μ J
- subgrupa IIB, care conține gazele din grupa II, care prezintă pericol mediu din punct de vedere al capacității de explozie, având energia minimă de aprindere între 60 și 180 μ J
- subgrupa IIC, care conține gazele din grupa a II-a, cele mai periculoase din punct de vedere al capacității de explozie, având energia minimă de aprindere între 20 și 60 μ J

În funcție de atmosfera pentru care sunt destinate a fi utilizate, echipamentele electrice pentru medii cu pericol de explozie se clasifică la rândul lor pe grupe de explozie în același mod ca și gazele. Astfel echipamentele din **grupa I** sunt cele destinate a fi utilizate în atmosfere explozive din minele grizutoase, cele din **grupa IIA** sunt destinate mediilor cu pericol de explozie din instalațiile industriale care folosesc gaze cu pericol redus de explozie, cele din **grupa IIB**, pentru gaze cu pericol mediu de explozie, iar cele din **grupa IIC**, pentru gaze cu pericol mare de explozie.

Clasificarea gazelor după temperatura de aprindere datorită suprafețelor fierbinți, a impus aditional o clasificare a aparaturii și echipamentelor electrice în **clase de temperatură**.

Astfel, pentru echipamentul electric din grupa I se impun din punct de vedere al temperaturii maxime de suprafață două clase de echipamente și anume:

- clasa 150⁰C, care conține echipamentele la care temperatura de suprafață în funcționare normală incluzând și suprasarcinile admise, nu depășește 150⁰C și care sunt destinate a fi utilizate în minele grizutoase acolo unde există pericolul de formare a unui strat de praf de cărbune pe suprafața caldă a echipamentului
- clasa 450⁰C, care conține echipamentele la care temperatura de suprafață în funcționare normală, incluzând și suprasarcinile admise, nu depășește 450⁰C și care sunt destinate a fi utilizate în minele grizutoase, în zonele în care se evită formarea unui strat de praf de cărbune prin ventilare sau etanșare la praf

În cazul echipamentului electric din grupa II, clasificarea din punct de vedere a temperaturii maxime de suprafață s-a făcut prin împărțirea acestora în 6 clase de temperatură simbolizate T1...T6, după cum urmează:

- clasa T1, care cuprinde toate echipamentele electrice din grupa a II-a, pentru care, în funcționare normală, incluzând și suprasarcinile admise, temperatura maximă de suprafață nu depășește, 450⁰C
- clasa T2, care cuprinde toate echipamentele electrice din grupa a II-a, pentru care, în funcționare normală, incluzând și suprasarcinile admise, temperatura maximă de suprafață nu depășește, 300⁰C
- clasa T3, care cuprinde toate echipamentele electrice din grupa a II-a, pentru care, în funcționare normală, incluzând și suprasarcinile admise, temperatura maximă de suprafață nu depășește, 200⁰C
- clasa T4, care cuprinde toate echipamentele electrice din grupa a II-a, pentru care, în funcționare normală, incluzând și suprasarcinile admise, temperatura maximă de suprafață nu depășește, 135⁰C
- clasa T5, care cuprinde toate echipamentele electrice din grupa a II-a, pentru care, în funcționare normală, incluzând și suprasarcinile admise, temperatura maximă de suprafață nu depășește, 100⁰C
- clasa T6, care cuprinde toate echipamentele electrice din grupa a II-a, pentru care, în funcționare normală, incluzând și suprasarcinile admise, temperatura maximă de suprafață nu depășește, 85⁰C

Pentru echipamentul electric din grupa a II-a cu destinații speciale, care nu se încadrează în clasele standardizate prezentate mai sus, se pot stabili, prin standarde tehnice de firmă alte valori ale temperaturii maxime de suprafață care vor fi specificate în clar pe eticheta acestuia.

1.5. ZONAREA SPAȚIILOR INDUSTRIALE CU PERICOL DE EXPLOZIE

Pe lângă factorii prezentați mai sus care determină clasificarea atmosferelor explozive și a aparaturii și echipamentelor electrice destinate acestora (energia minimă de aprindere și temperatura maximă de suprafață), un factor important care caracterizează pericolul de explozie în instalațiile industriale, este cel care are în vedere probabilitatea sau frecvența de apariție a atmosferei explozive într-un spațiu industrial. Având în vedere acest factor spațiile industriale cu atmosferă explozivă se clasifică în mai multe categorii denumite **zone cu pericol de explozie**.

Zona cu pericol de explozie reprezintă spațiul industrial, în care, în condiții normale de funcționare se pot acumula, permanent sau accidental, gaze, vapori de lichide inflamabile, prafuri, sau pulberi în cantități suficiente pentru a da naștere unei atmosfere explozive. Zonele cu pericol de explozie se clasifică în mai multe tipuri, în funcție de mărimea perioadelor în care atmosfera explozivă este prezentă, după cum urmează :

1) Pentru gaze și vapori inflamabile :

- zona 0 - este zona în care atmosfera explozivă este prezentă în timpul funcționării normale a instalațiilor tehnologice, permanent sau pentru o perioadă mai mare de 1000 de ore pe an. (Zona cu pericol permanent de explozie).
- zona 1- este zona în care atmosfera explozivă poate apare în timpul funcționării normale a instalațiilor tehnologice, pentru perioade intermitente, cuprinse între 10 și 1000 de ore pe an. (Zona cu pericol temporar de explozie).
- zona 2 – cuprinde spațiile industriale în care nu este posibilă apariția unei atmosfere explozive la funcționarea normală a instalațiilor tehnologice și în care, dacă totuși apare, aceasta poate fi prezentă numai rareori, doar pentru perioade scurte de timp care în total nu depășesc intervalul cuprins între 0.1 și 10 ore pe an, datorită unor defecte previzibile . (Zona cu pericol de explozie în condiții anormale de funcționare).

2) Pentru prafuri și pulberi inflamabile clasificarea este similară cu notațiile modificate după cum urmează :

- zona 20 - Zona cu pericol permanent de explozie
- zona 21 - Zona cu pericol temporar de explozie
- zona 22 - Zona cu pericol de explozie în condiții anormale de funcționare

Zonarea spațiilor industriale, reprezintă procesul de clasificare a spațiilor dintr-o instalație industrială în funcție de probabilitatea de apariție a atmosferei explozive și este importantă pentru a se putea face ulterior alegerea corectă a echipamentului electric și mecanic ce urmează a fi utilizat în spațiul respectiv. O zonare corectă se face conform criteriului sursei de degajări și a calității ventilației din spațiul în cauză. În practică se aplică deseori metoda de zonare generalizată, care are ca rezultat o zonare acoperitoare, a cărei extindere este exagerată, aceasta ducând la obligativitatea folosirii de echipamente tehnice protejate la explozie în întregul spațiu clasificat ceea ce înseamnă cheltuieli suplimentare, uneori nejustificate, de achiziție și exploatare, cunoscut fiind faptul că echipamentul destinat atmosferei potențial explozive este mult mai scump decât cel în construcție normală.

Zonarea spațiilor industriale se face de către proiectanți și tehnologi în funcție de posibilele surse de degajări de substanțe inflamabile și defecțiunile previzibile din instalațiile tehnologice. Rezultatul procesului de zonare este o documentație care cuprinde hărți cu indicații clare privitoare la diferite spații din instalații la care se asociază parametri specifici din punct de vedere al pericolului de explozie (grupa-subgrupa de explozie, clasa de temperatură, indicele zonei , etc.)

1.6. PROTECȚIA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE ÎN MEDII CU PERICOL DE EXPLOZIE - TIPURI DE PROTECȚIE

1.6.1. Echipamente electrice destinate mediilor potențial explozive

Utilizarea energiei electrice în atmosferă potențial explozivă prezintă multe particularități fapt pentru care problemele ridicate de proiectarea, construcția, și exploatarea aparaturii și instalațiilor electrice prezintă numeroase dificultăți, abordarea lor necesitând o deosebită atenție în considerarea multiplelor aspecte tehnice, economice și de tehnica securității muncii.

Prin aparatură electrică, în general, se înțelege orice mijloc destinat utilizării energiei electrice. În această noțiune sunt cuprinse echipamente folosite pentru generarea, distribuirea, acumularea, măsurarea, reglarea, transmiterea și consumarea energiei electrice.

Aparatura electrică destinată mediilor normale nu poate fi utilizată, în general în medii cu pericol de explozie datorită riscului de aprindere a atmosferei explozive prin :

- scânteii și arcuri electrice
- suprafețe fierbinți ale echipamentelor sau ale conductoarelor de legătură
- descărcări electrostatice

Din această cauză la execuția aparaturii și echipamentelor electrice destinate mediilor potențial explozive se aplică anumite măsuri constructive suplimentare, care să le confere siguranță în funcționare și în prezența atmosferei explozive.

1.6.2. Tipuri de protecție

Tipul de protecție al unui echipament destinat funcționării în mediu cu pericol de explozie definește totalitatea măsurilor constructive aplicate la execuția unui echipament în vederea asigurării unei funcționări a acestuia în condiții de siguranță în atmosferă potențial explozivă. Fiecare tip de protecție standardizat are la bază cel puțin o soluție tehnică care constă în înlăturarea sau izolarea unui factor menționat într-una din laturile triunghiului de aprindere. Tipurile de protecție pot fi grupate în funcție de relația pe care o permit între sursa de aprindere și atmosfera potențial explozivă, în trei categorii generale și anume:

- tipuri de protecție care admit contactul direct între sursa de aprindere și atmosfera potențial explozivă
- tipuri de protecție care nu admit contactul direct între sursa de aprindere și atmosfera potențial explozivă
- tipuri de protecție care încearcă eliminarea surselor de aprindere

Principalele tipuri de protecție standardizate precum și caracteristicile acestora sunt după cum urmează:

- tipul de protecție **SECURITATE INTRINSECĂ (Ex i (ia sau ib) – SR EN 50020)** - se realizează prin limitarea energiei vehiculate prin circuitele amplasate în zona periculoasă până la limita la care nu se poate iniția o explozie, chiar în caz de defect. Acest tip de protecție se împarte în două categorii în funcție de nivelul de protecție asigurat și anume :
 - a. **Ex ia** – la care protecția la explozie este asigurată în funcționare normală, cu un defect și/sau cu două defecte ale echipamentului electric
 - b. **Ex ib** – la care protecția la explozie este asigurată în funcționare normală și/sau cu un defect al echipamentului electric
- tipul de protecție **ÎNGLOBARE ÎN NISIP (Ex q – EN 50017)** – la acest tip de protecție particule fine de nisip izolează sursa de aprindere. La o utilizare normală scânteile sau arcurile electrice, eventual formate nu ajung în contact cu atmosfera explozivă exterioară.
- tipul de protecție **CAPSULARE PRESURIZATĂ (Ex p – SR EN 50016)** - se realizează prin introducerea echipamentului electric din zona periculoasă într-o carcasă în care se introduce aer curat la presiune mai mare decât cea atmosferică astfel încât să fie împiedicată pătrunderea gazelor inflamabile în interiorul acesteia
- tipul de protecție **SECURITATE MĂRITĂ (Ex e – EN 50019)** - se utilizează în cazul echipamentelor care nu produc, în funcționare normală, scânteii sau încălziri periculoase și constă în capsularea cu un anumit grad normal de protecție a acestor echipamente și luarea unor măsuri de supradimensionare a elementelor care sunt supuse unor solicitări electrice mai importante
- tipul de protecție **CAPSULARE ANTIDFLAGRANTĂ (Ex d – EN 50018)** – se realizează prin capsularea echipamentului generator de scânteii sau încălziri periculoase într-o carcasă care să permită explozia atmosferei periculoase din interiorul acesteia fără inițierea aprinderii atmosferei exterioare. Constructiv acest lucru se realizează prin realizarea în zona îmbinării dintre capac și cutie a unor interstiții prin care gazele rezultate din explozia interioară să poată ieși spre exterior răcite sub temperatura de aprindere a atmosferei periculoase.

- tipul de protecție **ÎNCAPSULARE (Ex m – SR EN 50028)** – se realizează prin înglobarea echipamentului electric într-o masă izolatoare care să nu permită contactul acestuia cu atmosfera exterioară
- tipul de protecție **IMERSIUNE ÎN ULEI (Ex o – EN 50015)** - se realizează prin introducerea echipamentului electric într-o carcasă care conține ulei electroizolant, astfel încât să nu se permită contactul dintre atmosfera explozivă și echipament
- tipul de protecție **NEINCENDIAR (Ex n – EN 50021)** Este un tip de protecție relativ nou, care folosește la construcția echipamentului o parte din elementele celorlalte tipuri, combinate astfel încât în funcționare normală să nu poată apare o aprindere a atmosferei periculoase sau să nu poată fi posibilă apariția unui defect capabil să producă o aprindere. Acest tip de protecție este aplicabil numai pentru grupa II de explozie, realizând un nivel de securitate satisfăcător pentru a putea fi utilizat doar în zona 2. Există două tipuri generale de aparatură cu protecție „n” după cum urmează:
 - 1) aparatura care nu produce scântei, arcuri și/sau suprafețe fierbinți în funcționare normală - **Ex nA** - la care metoda de protecție utilizată este aceea prin care riscul de apariție a scânteiilor, arcurilor electrice sau a suprafețelor fierbinți în funcționare normală este minimizat prin măsuri constructive
 - 2) aparatură care produce scântei, arcuri și/sau suprafețe fierbinți în funcționare normală. La acestea sunt permise următoarele metode de protecție:
 - a. Aparatură cu contacte protejate - **Ex nC** - aparatură care produce scântei, dar ale cărei contacte sunt convenabil protejate prin diverse capsulări, etanșări ermetice și înglobări în masă.
 - b. Aparatură cu respirație limitată – **Ex nR** – respirația limitată este o metodă de construcție a capsulărilor care permite reducerea la un nivel scăzut a posibilității de pătrundere a atmosferei explozive gazoase înconjurătoare.
 - c. Aparatură cu presurizare simplificată – **Ex nP** – care derivă din cea cu tip de protecție „capsulare presurizată - p”, prin renunțarea la unele cerințe de securitate.
 - d. Aparatură cu circuite cu energie limitată – **Ex nL** – la care orice arc electric, scântei, sau încălzire în condiții de încercare prescrise nu sunt capabile să provoace aprindere.

Din descrierile de mai sus se poate observa că aparatura cu tip de protecție „n” este destinată a fi utilizată în zona 2 și derivă din tipurile de protecție destinate a fi utilizate în zona 1 adaptate prin renunțare la unele cerințe de securitate. Din această cauză aparatura care utilizează un asemenea tip de protecție este în general mai ieftină.

În Anexa 1 se prezintă tipurile de protecție pentru aparatura electrică destinată mediilor cu pericol de explozie împreună cu standardele europene care le reglementează și cu principiile constructive ale fiecărui tip de protecție în parte, schițate sugestiv.

1.6.3. Clasificarea tipurilor de protecție în funcție de relația permisă între sursa de aprindere și atmosfera explozivă

Conform acestui criteriu tipurile de protecție se clasifică în trei categorii principale. Acestea sunt după cum urmează:

1. tipuri de protecție care admit contactul direct între sursa de aprindere și atmosfera potențial explozivă:
 - a. Capsulare antideflagranta – Ex d
 - b. Securitate intrinsecă – Ex e
2. tipuri de protecție care nu admit contactul direct între sursa de aprindere și atmosfera potențial explozivă:
 - a. Capsulare presurizată – Ex p

- b. Încapsulare – Ex m
 - c. Imersiune în ulei – Ex o
 - d. Înglobare în nisip - Ex q
3. tipuri de protecție care încearcă eliminarea surselor de aprindere:
- a. securitate mărită – Ex e
 - b. Neincendiar – Ex n

1.6.4. Relația tip de protecție - indicele zonei

Alegerea echipamentului electric protejat la explozie, destinat a fi folosit în zone cu atmosferă potențial explozivă trebuie să se facă ținând cont de zonarea spațiilor unde acesta urmează a fi amplasat. Aceasta deoarece un echipament cu protecție la explozie este de obicei destinat unei singure atmosfere explozive. În acest sens este necesar ca la alegerea echipamentului să se țină cont de:

- clasa de temperatură recomandată prin zonare
- subgrupa de explozie (A,B,C) în cazul tipurilor de explozie care admit contactul direct între sursa de aprindere și atmosfera potențial explozivă (Ex d și Ex i)
- indicele zonei cu pericol de explozie (0, 1, 2)

În Anexa 2 se prezintă corespondența dintre tipurile de protecție standardizate și indicele zonei cu pericol de explozie.

1.6.5. Relația tip de protecție - rol funcțional

Datorită faptului că tipul de protecție este materializat prin adoptarea unor măsuri tehnice aplicate asupra echipamentului, acesta trebuie obligatoriu ca din faza de proiectare să fie armonizat cu rolul funcțional al echipamentului. În Anexa 3 se prezintă corelația dintre diferitele tipuri de protecție și rolul funcțional al echipamentului protejat la care acestea se aplică .

1.6.6. Gradul normal de protecție

Din punct de vedere al tipului de protecție, după cum se observă, aparatura electrică poate fi „protejată contra exploziilor” sau „de uz general”. În ambele cazuri, însă, aceasta poate fi **capsulată**, asigurându-se un așa-numit **grad normal de protecție**.

Prin **capsulare** se definește un ansamblu de pereți și uși, capace și intrări de cablu precum și de tije, axe, arbori, sau alte elemente, care asigură tipul de protecție sau gradul normal de protecție al aparatului [31].

Prin **gradul normal de protecție** se asigură gradat protecția persoanelor contra atingerii părților interioare aflate sub tensiune, sau în mișcare, protecția contra pătrunderii corpurilor străine solide și protecția contra pătrunderii apei.

Aparatura electrică de uz general se caracterizează din punct de vedere al capsulării prin gradul normal de protecție simbolizat „IP $xyZW$ ”, prima cifră „x” reprezentând gradul de protecție împotriva pătrunderii corpurilor solide străine, iar a doua (y) contra pătrunderii apei. Următoarele două caractere (Z,W) sunt litere adiționale care pot prezenta informații despre structura echipamentului și sunt opționale.

Aparatura electrică protejată contra exploziei se caracterizează din punct de vedere al capsulării suplimentar față de cea de uz general prin tipul de protecție antiexplozivă definit în paragraful 1.6.2.

În Anexa 4 și Anexa 5 se prezintă semnificația celor două cifre (x,y), la clasificarea gradelor de protecție în conformitate cu standardul european EN 60529 .

1.6.7. Categoriile ATEX

O mare parte din standardele și normele europene pentru aparatura cu protecție la explozie au fost realizate de către Comitetul European de Standardizare pentru Aparatura Electrică (European Standards Committees for Electrical Apparatus – CENELEC). Astfel au fost create standardele EN 50014 ÷ EN 50021, EN 50028, EN 50039. Aceste standarde corespund cu normele create pentru același domeniu de către Comisia Electrotehnică Internațională (International Electrotechnical Commission – IEC), adică cu IEC 60079-0 ÷ IEC 60079-7, care au fost adoptate inițial și de România prin STAS 6877-1 ÷ STAS 6877-8.

Bazele tehnico-legale pentru proiectarea, construcția și exploatarea aparaturii electrice cu protecție la explozie au fost stabilite de directiva CENELEC nr. 79/196/EC. Această directivă inițială, era limitată doar la aparatura electrică cu protecție la explozie din mediile industriale, altele decât minele, bazându-se pe standardele europene EN 50014 ÷ EN 50039.

Noua directivă elaborată de Consiliul European (European Parliament and Council), nr. 94/9/EC stabilește la articolul 100a (ATEX100a), bazele legale și condițiile de proiectare, construcție și exploatare pentru toate tipurile de echipamente destinate să funcționeze în medii cu pericol de explozie, electrice sau neelectrice, precum și pentru sistemele protectoare (destinate controlului atmosferei explozive). În plus directiva include și cerințele de securitate de bază pentru aparatura protejată la explozie, precum și descrierea atmosferelor explozive, realizând o nouă clasificare și marcarea a aparaturii pe zone, în funcție de nivelul de securitate cerut pentru fiecare zonă. Această nouă clasificare se referă la aparatura din grupa a II-a și reprezintă **categoriile ATEX**. S-au creat următoarele categorii de echipamente :

1. **Categoria 1G** – se referă la echipamentele pentru medii potențial explozive de gaze și reprezintă acele echipamente care sunt destinate utilizării în **zona 0** și a căror construcție se caracterizează prin existența a două măsuri de securitate independente. Această categorie cuprinde echipamentele cu **nivel foarte înalt de securitate**, asigurând nivelul de protecție prevăzut chiar și în cazul unor incidente interne rare, fiind caracterizate prin asemenea mijloace de protecție încât :
 - a. în cazul defectării unui mijloc de protecție, cel puțin un al doilea mijloc independent asigură nivelul de protecție prevăzut
 - b. nivelul de protecție prevăzut este asigurat în cazul producerii a două defecte interne independente unul de altul
2. **Categoria 2G** – se referă la echipamentele pentru medii potențial explozive de gaze și reprezintă acele echipamente care sunt destinate utilizării în **zona 1** și a căror construcție se caracterizează prin aceea că mijloacele de protecție cu care sunt dotate asigură nivelul de protecție prevăzut chiar și în cazul unor deranjamente sau defecte care apar frecvent sau care trebuie luate în considerare în mod normal . Această categorie cuprinde echipamentele cu **nivel ridicat de securitate**, asigurând nivelul de protecție în funcționare normală și cu un defect, fiind dotate cu un mijloc de protecție (o măsură de securitate).
3. **Categoria 3G** – se referă la echipamentele pentru medii potențial explozive de gaze și reprezintă acele echipamente care sunt destinate utilizării în **zona 2** și a căror construcție se caracterizează prin aceea că mijloacele de protecție cu care sunt dotate asigură nivelul de protecție prevăzut în funcționare normală. Această categorie cuprinde echipamentele cu **nivel normal de securitate**, fiind dotate cu un mijloc de protecție (o măsură de securitate). Echipamentele din această categorie se folosesc acolo unde probabilitatea de apariție a atmosferei explozive este foarte redusă.

Pentru atmosfere explozive de prafuri și pulberi, clasificarea echipamentelor pe categorii ATEX este similară, iar codificarea se face prin înlocuirea literei de cod „G” , corespunzătoare gazelor, cu litera „D” , corespunzătoare prafurilor și pulberilor .

Conform clasificării de mai sus marcarea echipamentelor electrice sau mecanice, precum și a mijloacelor protectoare din grupa a II-a de explozie cuprinde suplimentar față de cele fabricate anterior directivei amintite codul categoriei ATEX după cum urmează :

a. Pentru gaze :

- II 1G – pentru echipamentele din „zona 0”
- II 2G – pentru echipamentele din „zona 1”
- II 3G – pentru echipamentele din „zona 2”

b. Pentru pulberi :

- II 1D – pentru echipamentele din „zona 20”
- II 2D – pentru echipamentele din „zona 21”
- II 3D – pentru echipamentele din „zona 22”

1.6.8. Marcarea echipamentelor electrice destinate mediilor cu pericol de explozie

Datorită faptului că aparatura și echipamentele electrice protejate contra exploziilor sunt destinate de obicei unei singure atmosfere explozive acestea trebuie să aibă, pe lângă caracteristicile constructive adecvate și un marcaj corespunzător spre a fi cât mai ușor de identificat. Marcarea acestor echipamente trebuie să cuprindă cel puțin următoarele componente :

- denumirea producătorului
- denumirea și tipul aparatului
- grupa de explozie
- categoria ATEX
- codul de protecție la explozie compus din :
 - simbolul „Ex”, precedat de litera „E”, dacă este vorba de un echipament executat după norme europene armonizate
 - simbolul tipului de protecție
 - simbolul grupei de explozie
 - simbolul clasei de temperatură
- denumirea instituției autorizate care a efectuat certificarea Ex
- numărul certificatului de conformitate . Acesta poate fi eventual urmat de litera „U”, în cazul în care este vorba de o componentă de sistem care nu poate fi folosită separat, sau de litera „X”, în cazul în care se specifică în anexa certificatului de conformitate condiții speciale de utilizare sigură, sau faptul că echipamentul a fost încercat în condiții diferite de cele standard.
- gradul normal de protecție

În figura 1.2 se prezintă un exemplu de marcarea a unui echipament electric destinat utilizării în medii cu pericol de explozie. Simbolul încadrat în interiorul hexagonului este simbolul standardizat la nivel european pentru echipamente de acest gen iar inscripționarea lui este de asemenea obligatorie conform normelor în vigoare la această dată.

Echipamentul a cărei etichetă este prezentată în figura 1.2 este produs de firma Pepperl + Fuchs, model: K-SISTEM KFD-UFC-Ex1D, este destinat utilizării în mediu cu pericol de explozie, categoria ATEX II3G, tipul de protecție nA (neincendiar tip A) după standard armonizat, grupa de gaze IIC, clasa de temperatură T4, certificat de organismul de certificare TUV (EEx nA IIC T4), numărul certificatului de conformitate 02 ATEX 1885 X și are gradul normal de protecție IP 54.

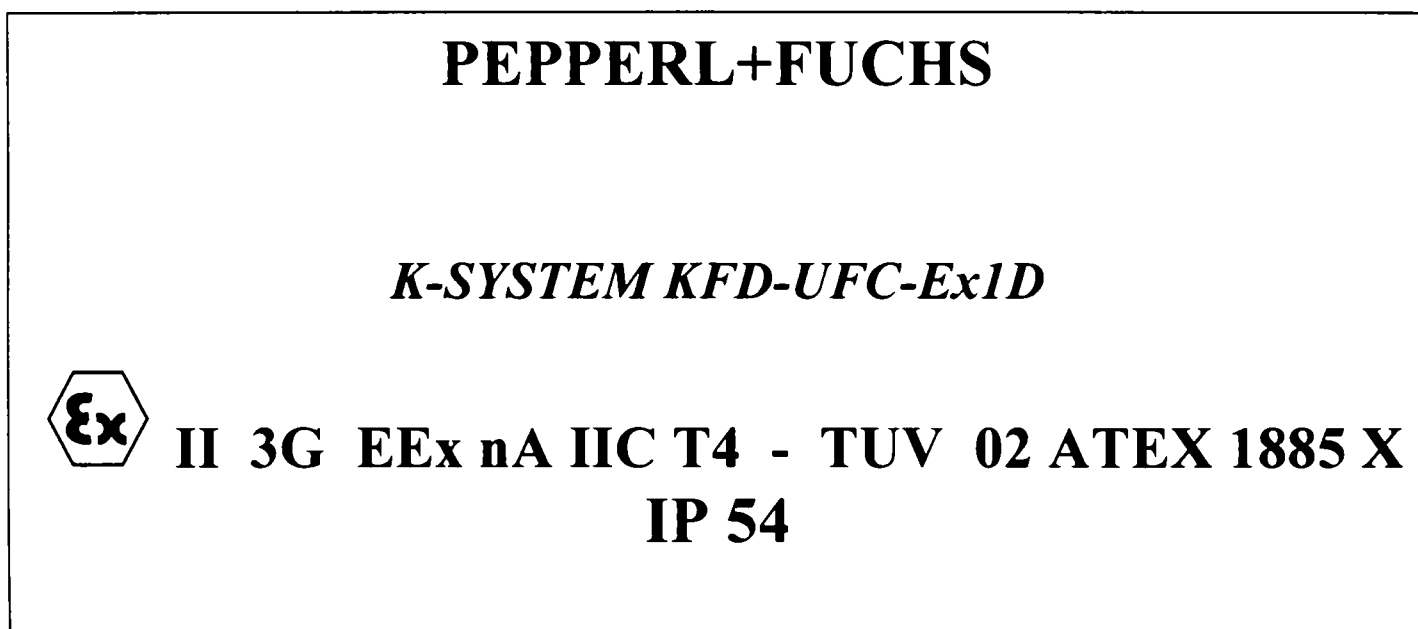


Fig.1.2 Exemplu de marcare a unui echipament electric destinat mediilor cu pericol de explozie

1.6.9. Echipamente cu protecție la explozie asociate

În situația în care un echipament electric protejat la explozie conține atât părți cu tip de protecție „securitate intrinsecă Ex i”, cât și cu alt tip de protecție, ambele fiind amplasate în mediul cu pericol de explozie, iar echipamentul intrinsec este alimentat din cel cu tip de protecție diferit, acesta (echipamentul cu protecție intrinsecă) se va numi **ECHIPAMENT ASOCIAT** [31]. De asemenea, dacă un echipament cu securitate intrinsecă amplasat în zona cu pericol de explozie se alimentează printr-o barieră de siguranță amplasată în afara zonei periculoase, bariera de siguranță de această dată, se va numi **ECHIPAMENT ASOCIAT**. În această situație marcarea acestor echipamente se va face prin încadrarea simbolului tipului de protecție aferent echipamentului asociat între paranteze drepte. În figura 1.3 a,b sunt reprezentate schematic cele două situații în care apar echipamente asociate precum și exemple de marcare.

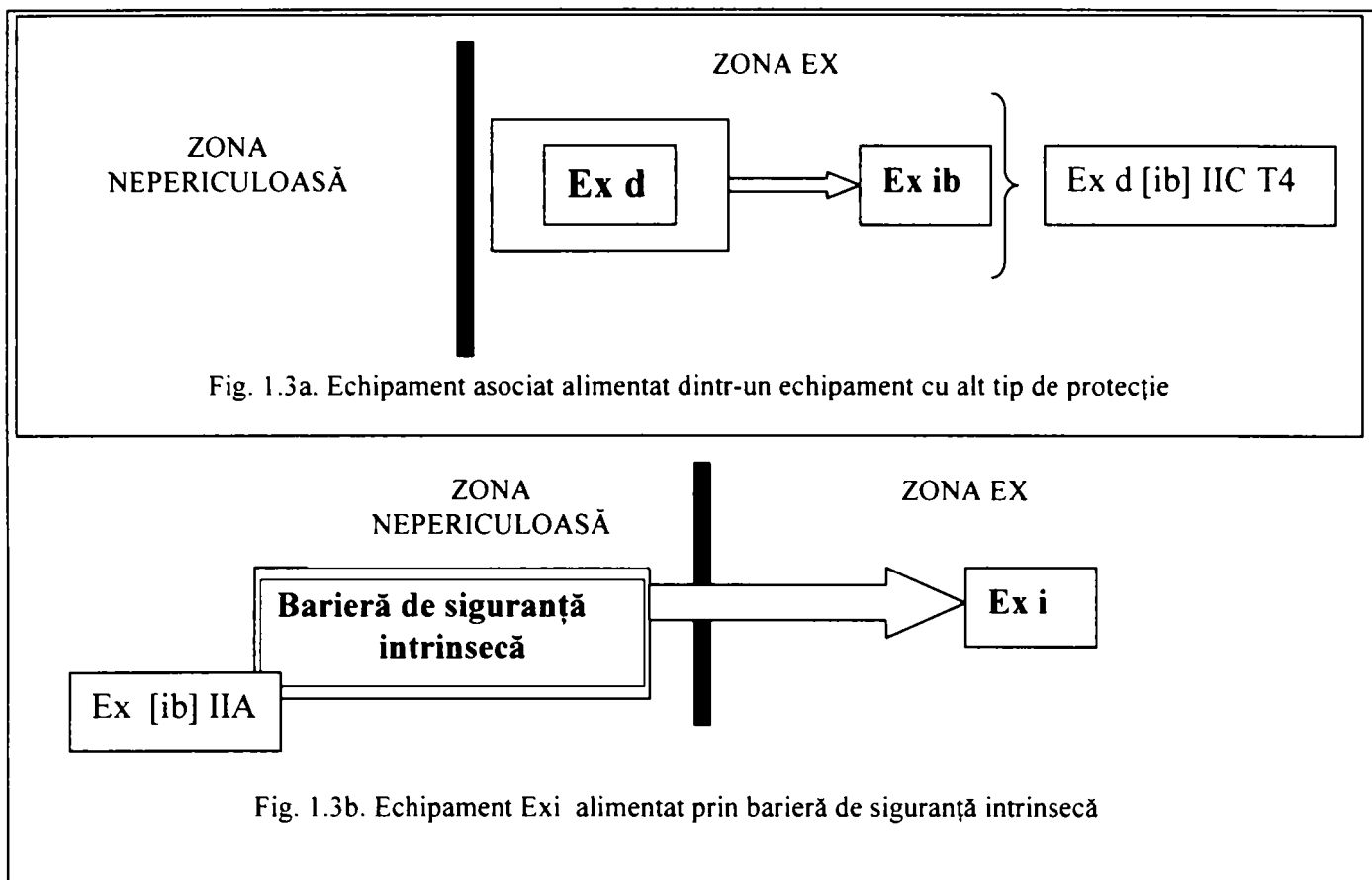


Fig.1.3 Echipamente asociate

1.7. CONCLUZII

Utilizarea echipamentelor electrice în medii cu pericol de explozie presupune o abordare diferită față de situațiile din medii normale, sub multiple aspecte.

În primul rând, pentru asigurarea securității la explozie a personalului de deservire și a instalațiilor care funcționează în aceste medii industriale, este necesară, înaintea oricărei activități de implementare de soluții tehnice, efectuarea unei analize amănunțite a posibilităților de apariție a acumulărilor de substanțe inflamabile care pot da naștere unei atmosfere explozive.

În al doilea rând se impune stabilirea probabilității de apariție a atmosferei explozive în spațiul industrial avut în vedere și identificarea tuturor tipurilor de substanțe inflamabile utilizate pentru a se putea efectua încadrarea spațiului într-o zonă cu pericol de explozie standardizată și pentru stabilirea grupelor de explozie și a claselor de temperatură pentru care vor fi alese sau executate echipamentele.

După efectuarea unei zonări corespunzătoare se va putea trece la concepția instalațiilor electrice fie prin utilizarea de echipamente electrice certificate pentru aceste zone, fie, atunci când acestea nu există, prin concepția fiecărui echipament în parte și certificarea ulterioară, astfel încât utilizarea lor să fie riguros corespunzătoare normelor în vigoare.

În final întreaga instalație concepută va fi supusă unei analize de ansamblu în scopul stabilirii compatibilității dintre diversele tipuri de protecție, urmată de o certificare care va fi efectuată de către un organism național abilitat în acest sens.

Obținerea certificatului de conformitate ATEX este obligatoriu pentru orice instalație care urmează a fi pusă în funcțiune în mediu cu atmosferă potențial explozivă.

Marcarea echipamentelor destinate mediilor cu pericol de explozie în conformitate cu normele în vigoare este obligatorie. Marcajul va conține obligatoriu și numărul certificatului de conformitate precum și denumirea organismului de certificare care l-a eliberat.

În prezent la nivel european se desfășoară un amplu proces de standardizare destinat acestui domeniu tehnic în vederea reducerii nivelului de risc al echipamentelor, făcându-se eforturi mari pentru armonizarea legislațiilor, standardelor și normelor țărilor membre ale uniunii.

Cunoașterea de către utilizatori a cerințelor esențiale de securitate a echipamentelor ce se utilizează în atmosfere potențial explozive este obligatorie atât în faza de proiectare a instalațiilor cât și în cea de exploatare a lor.

Intervenția într-o instalație electrică ce funcționează în mediu cu pericol de explozie nu se va putea face decât de către personal calificat în acest sens. Simpla înlocuire a unei componente dintr-o instalație electrică destinată acestor medii industriale se va face ținându-se cont, pe lângă compatibilitatea electrică și de compatibilitatea cu natura riscurilor de explozie, respectându-se riguros prescripțiile tehnice de securitate din normele în vigoare adoptate la nivel național și european pentru acea zonă.

În concepția unei instalații electrice destinate mediului cu pericol de explozie nu este suficientă rezolvarea problemei tehnice din punct de vedere electric, fiind necesară completarea soluției cu cerințele de securitate specifice zonei de lucru. Acest lucru poate duce la dificultăți de proiectare astfel încât probleme care pentru medii normale sunt relativ simplu de rezolvat, pot fi deosebit de dificile atunci când se pune problema implementării soluțiilor în medii cu atmosferă potențial explozivă.

1.8. CONTRIBUȚII PERSONALE

S-a realizat stabilirea stadiului actual al implementării reglementărilor europene în domeniul protecției la explozie a echipamentelor electrice destinate atmosferelor potențial explozive.

S-au stabilit condițiile existente în România în domeniul armonizării legislației specifice domeniului și posibilitățile de armonizare cu reglementările europene.

S-au sintetizat principalele fundamente ale protecției antiexplozive și s-a realizat o clasificare a atmosferelor explozive, ușor de urmărit care este utilă pentru crearea unei imagini de ansamblu asupra domeniului fără a fi nevoie de studierea amănunțită a standardelor și reglementărilor în vigoare.

S-a realizat o sintetizare a tipurilor de protecție standardizate prin analiza standardelor în vigoare, care reușește să pună la dispoziția cititorului suficiente informații pentru a se putea aborda proiectarea unei instalații electrice destinate mediului cu pericol de explozie.

S-a realizat o prezentare clară a relațiilor dintre diversele tipuri de protecție și zona cu pericol de explozie, precum și dintre tipurile de protecție și rolul funcțional al echipamentelor.

S-a realizat o prezentare a gradului normal de protecție și s-a stabilit legătura dintre acesta și tipul de protecție al echipamentelor cu funcționare în mediu cu atmosferă explozivă.

S-au extras din directiva 94/9/EC principalele categorii ATEX împreună cu semnificația lor prezentându-se într-o formă condensată, utilă la înțelegerea noilor cerințe de securitate la explozie.

S-a realizat o sintetizare a informațiilor legate de marcarea echipamentelor destinate mediilor cu pericol de explozie și a echipamentelor asociate.

S-a stabilit modul de abordare a problemelor legate de concepția și utilizarea echipamentelor și instalațiilor destinate mediilor cu pericol de explozie.

Sau tras concluziile în legătură cu modul de abordare a concepției, proiectării și exploatării echipamentelor electrice destinate mediilor cu pericol de explozie.

2. AUTOMATIZAREA ȘI CONTROLUL PROCESELOR FLUIDICE DE CÂMP

2.1. AUTOMATIZAREA PROCESELOR INDUSTRIALE

În conducerea proceselor industriale, la modul general, relația om-instalație tehnologică denumită frecvent **relația om-mașină** cuprinde două funcții generale distincte:

- **funcția de informare** a omului (operatorului uman) asupra mărimilor din procesul tehnologic, realizată de la instalație spre om
- **funcția de comandă** a procesului tehnologic de către om prin intermediul instalației tehnologice realizată de la om spre instalație

Atât timp cât conducerea procesului se efectuează de către operatorul uman ea se numește **conducere manuală** (neautomată).

Preluarea funcțiilor omului în cadrul conducerii unui proces tehnologic de către dispozitive de automatizare reprezintă conducerea automată sau **automatizarea** procesului respectiv [33].

Ansamblul instalație tehnologică – dispozitiv (instalație, sistem) de automatizare poartă denumirea de **instalație automatizată** sau **sistem automatizat**.

Funcțiile de bază ale unui sistem de automatizare sunt după cum urmează :

2.1.1. Măsurarea reprezintă informarea cu caracter cantitativ asupra mărimilor din procesul tehnologic și transmiterea informației către punctul de control (camera de comandă sau de dispecerizare) și poate fi **continuă** atunci când valorile măsurate se transmit permanent sau **discontinuu** (discretă) atunci când valorile respective sunt transmise din timp în timp. Transmiterea valorilor măsurate se poate face automat sau la cerere.

2.1.2. Semnalizarea reprezintă informarea cu caracter calitativ asupra situației de stare (poziție) sau de funcționare a unor elemente din instalația tehnologică sau a instalației în ansamblu cum ar fi: poziția închis/deschis a unor vane sau întrerupătoare, ieșirea din limite peste/sub a unor parametri, funcționarea normală/anormală sau de avarie a instalațiilor, etc. Având în vedere caracterul informațional al semnalizării, rezultă sensul semnalului ca fiind de la instalație către punctul de supraveghere.

Se constată caracterul discret al semnalizării, adică posibilitatea de asociere la cele două stări a celor două semne logice elementare „1” sau „0” .

Semnalizarea în procesele industriale este de obicei **optică sau acustică**.

2.1.3. Comanda reprezintă acțiunea cu caracter cantitativ sau calitativ asupra situației de stare sau de poziție a unor elemente din instalațiile tehnologice în scopul modificării continue sau discontinue a valorilor unor parametri ca de exemplu: comanda de modificare a poziției unei vane, comanda de închidere/deschidere a unor întrerupătoare, etc.

Sensul semnalului de comandă este de la dispozitivul de automatizare spre instalația tehnologică. Comanda poate fi continuă sau discontinuu.

2.1.4. Reglarea reprezintă comanda unor elemente din instalația tehnologică, deci modificarea unor mărimi aferente procesului tehnologic, în scopul menținerii unuia sau mai multor parametri la anumite valori prescrise. După cum rezultă din definiție, la un sistem de reglare există o legătură de comandă de la regulator spre instalație (legătura directă), precum și o legătură de măsurare de la instalație la regulator (legătura inversă sau reacția). În funcție de natura comenzii (continuă sau discontinuu), reglarea poate fi continuă sau discontinuu.

2.1.5. Controlul reprezintă o funcție complexă de automatizare, prin care măsurarea continuă a unui parametru se efectuează în scopul sesizării momentului în care parametrul respectiv a ieșit din anumite limite prescrise. Caracterul discontinuu al controlului este pus în evidență, de obicei, printr-o semnalizare (optică sau acustică) prin care se finalizează procesul de măsurare.

În cazul în care controlul se referă la calitatea unor produse el poate fi finalizat nu numai printr-o semnalizare, ci și printr-o comandă discontinuă, care într-o formă adecvată, separă produsele bune (semnal logic „1”) de rebuturi (semnal logic „0”). Acest gen de control se numește **sortare automată**.

2.1.6. Protecția reprezintă o funcție complexă de automatizare prin care măsurarea continuă a unor parametri din instalație se efectuează în scopul sesizării momentului în care aceasta s-a defectat parțial sau total, sau a ieșit din parametrii de funcționare atingând cote de avarie, comandându-se oprirea părților defecte sau a instalației în ansamblu. Trebuie remarcat că în cazul protecției, comanda trebuie să fie discontinuă și ireversibilă, adică apare practic instantaneu și rămâne activă independent de valoarea parametrilor măsurați ulterior, până la intervenția operatorului.

2.2. PROCESE FLUIDICE DE CÂMP

Procesele fluidice sunt procese în care se prelucrează s-au se controlează parametrii fluidelor și sunt întâlnite mai ales în industria chimică și petrochimică [15]. Ele se regăsesc și în alte ramuri industriale, atunci când se impune urmărirea unor parametri tehnologici cum ar fi: presiunea, temperatura, viteza de curgere, sau debitul - pentru lichide sau gaze, nivelul unui lichid, concentrația unui amestec de gaze sau a unei soluții lichide, pe lângă alte mărimi care caracterizează procesul.

Dacă aceste procese nu se desfășoară în spații restrânse, ușor controlabile prin urmărirea locală a parametrilor, iar conducerea lor automată se poate face numai prin interconectarea mai multor echipamente de automatizare și control aflate la distanță unele de altele, cum este cazul platformelor industriale sau a câmpurilor de gaze naturale, ele se numesc *procese fluidice de câmp*.

Controlul automat al proceselor fluidice se face prin utilizarea unor sisteme de automatizare care au, în general, rolul de a păstra stabile, la valori prescrise, unele mărimi care intervin în desfășurarea procesului, prin reglarea acestora, direct, sau prin intermediul unor mărimi intermediare, atunci când procesul este perturbat de factori externi.

În afara rolului de reglare și menținere în limitele prescrise a parametrilor de funcționare, sistemele de automatizare și control pentru aceste procese pot avea și rolul de indicare locală și centralizată a valorilor parametrilor de funcționare, precum și de avertizare și protecție la depășirea unor limite de avarie. De asemenea, un rol important al sistemelor de automatizare este acela de a asigura execuția automată a unor secvențe de comandă a procesului, în conformitate cu necesitățile tehnologice de desfășurare. Este vorba de diferite secvențe de pornire, oprire sau comandă temporizată a diferitelor operații specifice fiecărui proces tehnologic. Această logică de comandă se implementează fie în sistem cablat, cu ajutorul contactoarelor și releelor sau dispozitivelor electronice, fie programat, utilizând sisteme bazate pe microprocesoare sau microcontrolere.

Afișarea valorilor parametrilor, a valorilor prescrise, semnalizările și avertizările optice și acustice, precum și comenzile date de operator și prescrierea mărimilor de reglare, se impune a fi făcute fie local, la nivelul fiecărui segment din sistemul de automatizare, fie la distanță în mod centralizat sau distribuit.

În figura 2.1 se prezintă un exemplu semnificativ de proces fluidic de câmp. Este vorba de o exploatare de zăcăminte de gaze naturale aflate sub nivelul mării, cu ajutorul unor sonde amplasate la o adâncime de 850 m și la o distanță de 534 km de uscat. Stația de procesare a gazelor (dehidratare și comprimare) se află pe o platformă maritimă amplasată la o distanță de 504 km de uscat. Stația electrică și cea de alimentare cu combustibili, precum și rezervoarele de combustibili și lubrifianți sunt amplasate pe uscat.

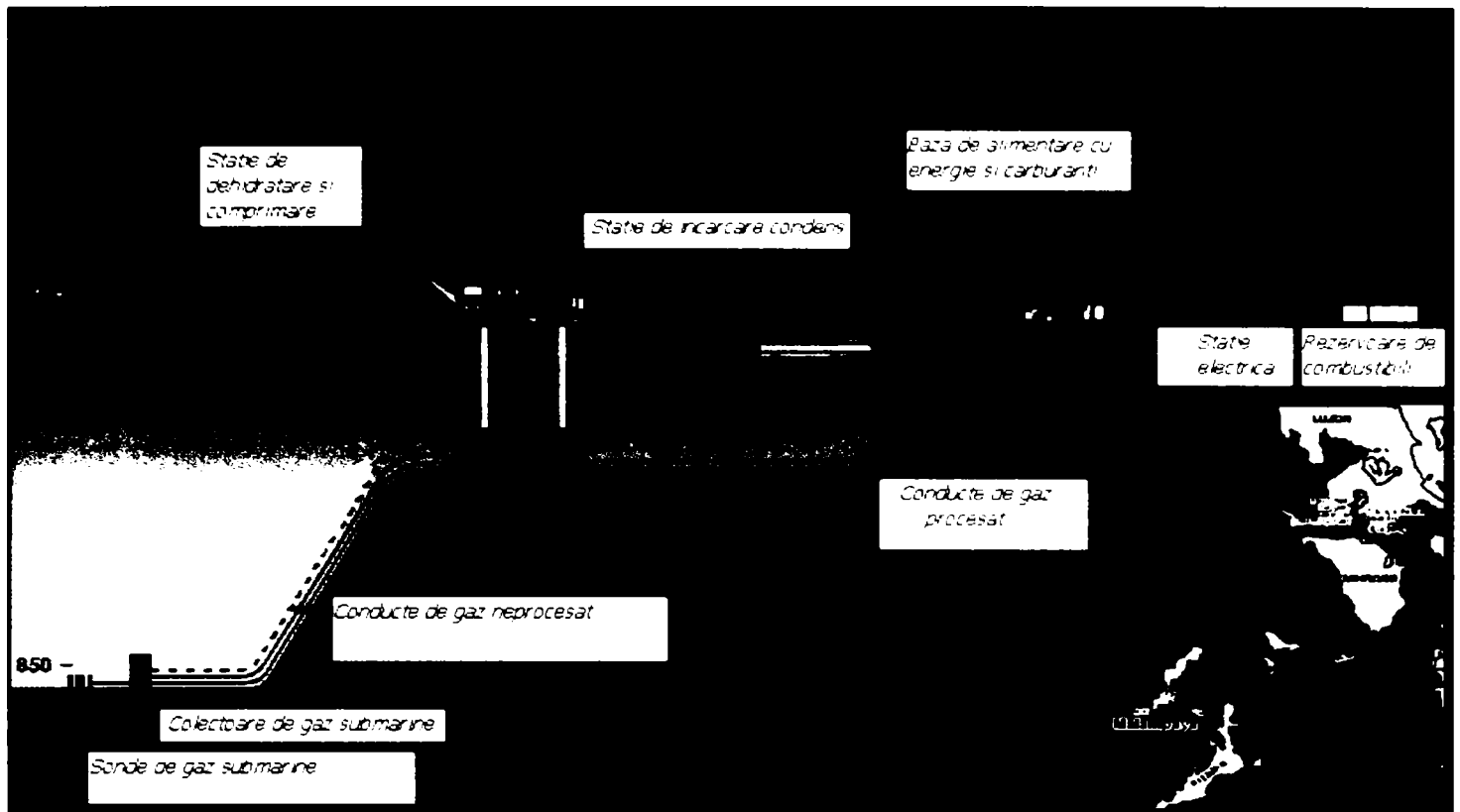


Fig. 2.1. Exemplu de proces fluidic de câmp . Exploatare de zăcăminte de gaze cu ajutorul unei platforme maritime

Controlul unui asemenea proces este greu de realizat cu instalații de automatizare clasice. Fiind vorba de gaze naturale, pentru implementarea unui sistem de automatizare adecvat, trebuie luate în considerare atât aspectele legate de echipamente electrice cu funcționare în mediu cu pericol de explozie cât și cele legate de procese fluidice cu echipamente amplasate la mare distanță unele de altele. În plus nici controlul centralizat al unui asemenea proces nu este complet satisfăcător, impunându-se un control distribuit astfel încât accesul la informații și comenzi să se poată face din mai multe puncte situate la distanțe mari unele de altele. Este de remarcat faptul că aceste deziderate se vor putea realiza numai prin utilizarea unui sistem de automatizare cu logică programată care utilizează sisteme de comunicații de date de mare viteză, concepute pentru distanțe mari indiferent de suportul fizic pe care se vor vehicula informațiile. În cazul proceselor din industria extractivă a gazelor naturale, care exploatează zăcăminte aflate pe uscat, distanțele dintre diversele spații tehnologice se reduc, dar problema controlului automat se pune în mod similar, cu excepția, eventual, a suportului de transmisie a informațiilor (cablu, radio, GSM, satelit, etc).

2.3. ECHIPAMENTE DE CONTROL ȘI COMANDĂ CU LOGICĂ PROGRAMATĂ

Datorită posibilităților oferite de circuitele logice și mai ales datorită apariției echipamentelor și sistemelor de automatizare care utilizează prelucrarea numerică pentru controlul proceselor fizice, schemele electrice clasice de automatizare și protecție pot fi, la ora actuală, reprezentate sub forma unor scheme logice. Funcțiile logice ce intră în componența acestor scheme pot fi reprezentate prin expresii algebrice [12].

Dintre toate funcțiile unui sistem de automatizare, comandă și protecție, funcția de prelucrare logică a informațiilor a beneficiat în modul cel mai spectaculos de posibilitățile oferite de tehnicile electronice moderne.

Expresiile algebrice ale schemelor logice se pot constitui într-un program care trebuie executat de circuitul de comandă. Acest program poate fi păstrat într-o memorie electronică de unde este apelat și executat folosind posibilitățile oferite de microprocesoare sau microcontrolere și circuitele lor

anexe. Având în vedere faptul că funcțiile pe care le execută echipamentul sunt stabilite prin programarea și la nevoie reprogramarea (chiar repetată) a memoriei electronice, aceste echipamente sunt denumite **echipamente cu logică programată**.

Structura echipamentelor cu logică programată diferă esențial de cea a echipamentelor cu logică cablată, reprezentând un adevărat salt în realizarea echipamentelor de automatizare, comandă și protecție.

2.3.1. Structura unui echipament electric cu logică programată :

Părțile principale ale unui echipament cu logică programată sunt reprezentate în figura 2.2 și constau în: interfețele de intrare ieșire , unitatea centrală conținând memoria, procesorul și circuitele de tact și echipamentul de programare.

Programul care este expresia algebrică a schemei logice, este implementat în memoria echipamentului cu logică programată (ELP) cu ajutorul echipamentului de programare. Semnalele de intrare acced în unitatea centrală prin intermediul interfeței de intrare, iar semnalele de ieșire sunt transmise procesului printr-o interfață de ieșire.

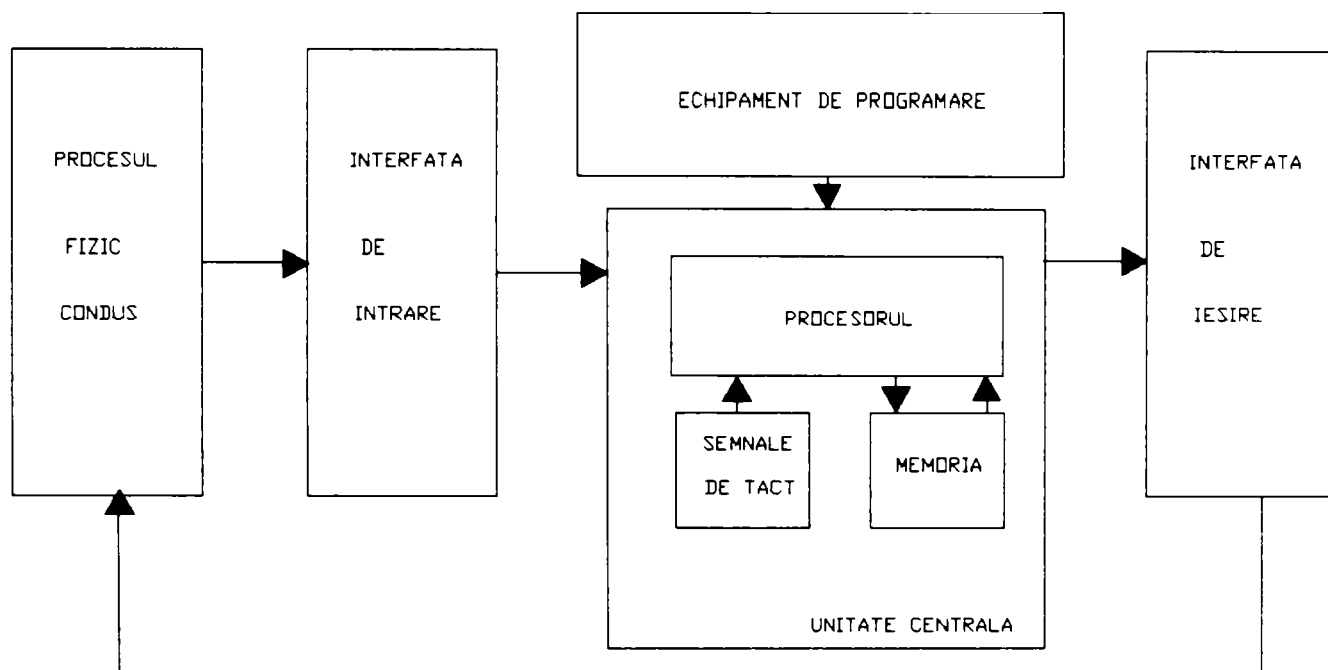


Fig. 2.2. Structura unui echipamente electric cu logică programată

Din punct de vedere constructiv echipamentele electrice cu logică programată se construiesc fie pentru un număr fix de intrări-ieșiri (uzual 8 ,16 sau 32), fie modular, caz în care numărul de intrări-ieșiri poate fi crescut în trepte respectiv până la 128, 512, sau 4096 la cele mai mari.

De remarcat că echipamentele cu logică programată, în accepțiunea generală a cuvântului lucrează cu intrări-ieșiri discrete, ele fiind în general destinate aplicațiilor care nu necesită prelucrarea semnalelor analogice. Semnalele de intrare ale ELP reprezintă stări ale unor contacte electrice din schemele de comandă ale echipamentelor electroenergetice, iar semnalele de ieșire reprezintă comenzi logice de tip contact liber de potențial sau circuite de tranzistoare cu colector în gol, necesare comenzilor către echipamentele de comutație primară din schemele de comandă și protecție.

În ceea ce privește modul de lucru, programul din memorie este executat secvențial, spre deosebire de schemele de comandă și protecție clasice, cu relee, procesorul putând prelucra la un moment dat o singură instrucțiune. Însă datorită vitezei mari de prelucrare a informației utilizatorul are senzația modului de lucru cu prelucrare în paralel a informației, specific sistemelor cu logică cablată la care semnalele sosesc și sunt prelucrate simultan (în mod paralel).

Procesorul este elementul care determină posibilitățile instalației. Acesta este uzual de 1 sau 8 biți, dar poate fi și de 4 sau 16 biți, acest număr precizând de fapt numărul de poziții binare care pot fi prelucrate simultan. La instalațiile unde, pentru comandă nu sunt necesare calcule aritmetice, prelucrări de text, etc., se folosesc procesoare pe un bit. Totuși datorită răspândirii mari și a prețurilor în continuă scădere sunt folosite tot mai des procesoarele uzuale de 8 biți și mai nou de 16 sau 32 de biți. Structura unui ELP realizat cu procesor de un bit este prezentată în figura 2.3.

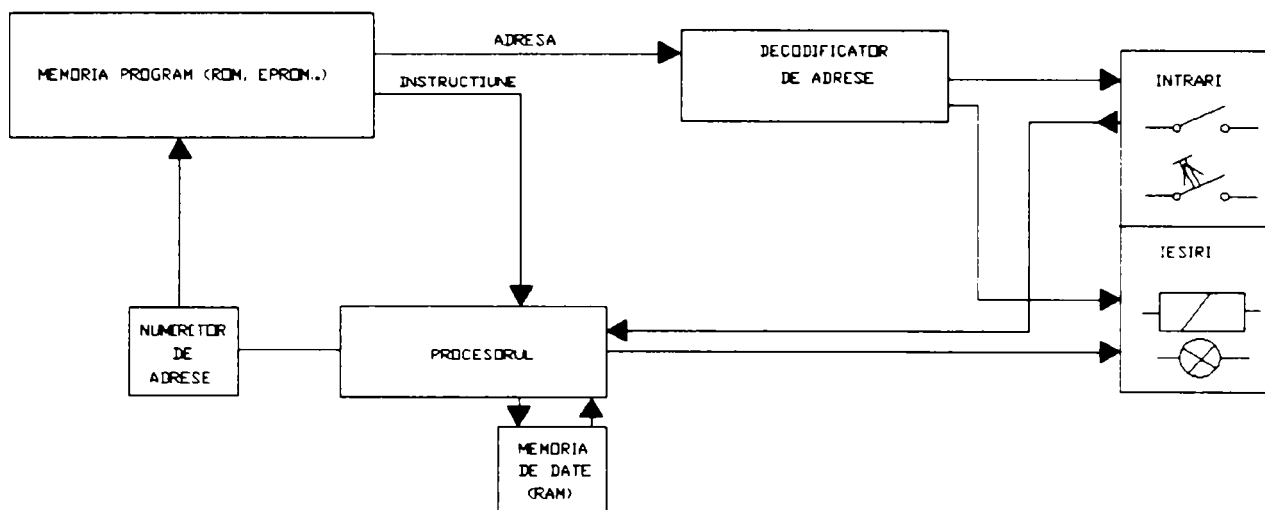


Fig. 2.3 Structura unui echipament cu logică programată cu procesor de un bit

Numărătorul adresează o anumită locație din memoria program iar conținutul acesteia este transmis parțial pe un număr de conductoare paralele (bus) spre procesor, stabilind instrucțiunea ce trebuie executată (citirea unei intrări, setarea unei ieșiri, operații logice, etc). O parte a conținutului locației de memorie se transmite la decodificatorul de adrese care va selecta intrarea sau ieșirea care va fi citită sau scrisă în funcție de rezultatul operației executată de procesor. Memoria de date de tip RAM asigură păstrarea unor rezultate intermediare ale procesării. După executarea unei instrucțiuni numărătorul de adrese este incrementat și fazele se repetă până la executarea tuturor instrucțiunilor din program după care se face un salt la prima instrucțiune. În acest mod programul rulează ciclic și secvențial.

2.4. SISTEME DE ACHIZIȚIE ȘI PRELUCRARE NUMERICĂ A DATELOR

În situația în care pe lângă semnalele discrete furnizate de stări ale echipamentelor de comutație primară din instalațiile electrice, precum și de o serie de condiții mecanice evidențiate prin închiderea sau deschiderea unor contacte electrice, procesul fizic ce trebuie controlat și condus automat implică și prelucrarea unor parametrii cu variație continuă, echipamentele cu logică programată trebuiesc extinse ca număr de biți procesați simultan dar și completate cu o serie de circuite electronice capabile să preia în sistem informația primită sub forma unor **semnale analogice**.

La modul general se pune problema de a obține informații despre procese fizice în vederea memorării acestora și redării lor la cerere, pentru comunicație, pentru control local sau la distanță, sau pentru comanda procesului [61]. Aceste informații pot fi preluate sub formă de semnale digitale, atunci când senzorii de la care provin livrează la ieșire un semnal electric discret, sau sub formă de semnale analogice, atunci când provin de la senzori ai căror ieșiri sunt sub forma unui semnal electric continuu, în general proporțional cu valoarea mărimii de proces măsurate.

Senzorii reprezintă elemente de sesizare, sau măsurare a performanțelor și stărilor mașinilor sau proceselor [47]. Cu ajutorul lor pot fi extrase informații referitoare la variabilele de proces, pot fi

evaluate operații diverse, poate fi controlată permanent starea de funcționare a unui sistem, pot fi identificate componente, etc. Senzorii oferă informații în timp real, fiind capabili, prin caracteristicile lor de acuratețe și repetabilitate, să transfere către echipamentele inteligente de procesare datele necesare sistemului de control. Caracteristicile de bază ale acestora sunt stabilitatea, rezoluția, precizia, robustețea, dimensiunea, modalitatea de alimentare și modul de procesare a semnalului.

Progresele făcute în ultimul timp în domeniul tehnologiilor de producere a elementelor cu semiconductoare a făcut posibilă integrarea în sistemele de control cu prelucrare numerică a unei multitudini de funcții senzoriale. Senzorii inteligenți de ultimă generație realizează operații specifice, până nu demult algoritmului de control, cum ar fi: filtrarea automată a zgomotelor, compensarea mărimii măsurate cu temperatura, ajungându-se până la autoetalonare și autotestare. Creșterea în ritm deosebit de alert a puterii de procesare integrată în senzori a dus la apariția traductoarelor de parametri, destinați mediului industrial, cu precizie de etalon (0.075%). Pe de altă parte introducerea comunicației digitale la nivelul traductoarelor a creat posibilitatea implementării de algoritmi de control și reglare chiar în structura hard a acestora, generându-se astfel configurații de sisteme de automatizare cu control distribuit pentru procesele industriale.

În cazul traductoarelor de parametri cu ieșire analogică, prelucrarea semnalelor furnizate de acestea se poate face prin tehnici analogice sau numerice (digitale). Prelucrarea numerică presupune transformarea semnalelor analogice în semnale numerice utilizând un sistem de achiziție de date. În acest scop semnalele electrice de la ieșirile traductoarelor sunt supuse unor prelucrări analogice inițiale și transformate în tensiuni electrice [61]. Aceste funcții sunt realizate cu **circuite de condiționare** a semnalelor și constau în: divizare, amplificare, filtrare, izolare, conversie curenți tensiune, etc. Semnalele numerice se obțin prin prelevarea, la momente de timp date, a valorilor semnalelor analogice și conversia acestor valori sub formă numerică. Astfel, componentele de bază ale sistemelor de achiziție de date sunt circuitele de eșantionare și memorare și mai ales **convertoarele analog numerice**.

Cu ajutorul sistemelor de achiziție de date se pun la dispoziția sistemelor de prelucrare numerică semnale numerice care conțin informații despre procesele fizice în reprezentări corespunzătoare aplicațiilor. În figura 2.4 se prezintă structura generală a unui sistem care utilizează prelucrarea numerică pentru controlul unor procese fizice și pentru memorarea și redarea informației.

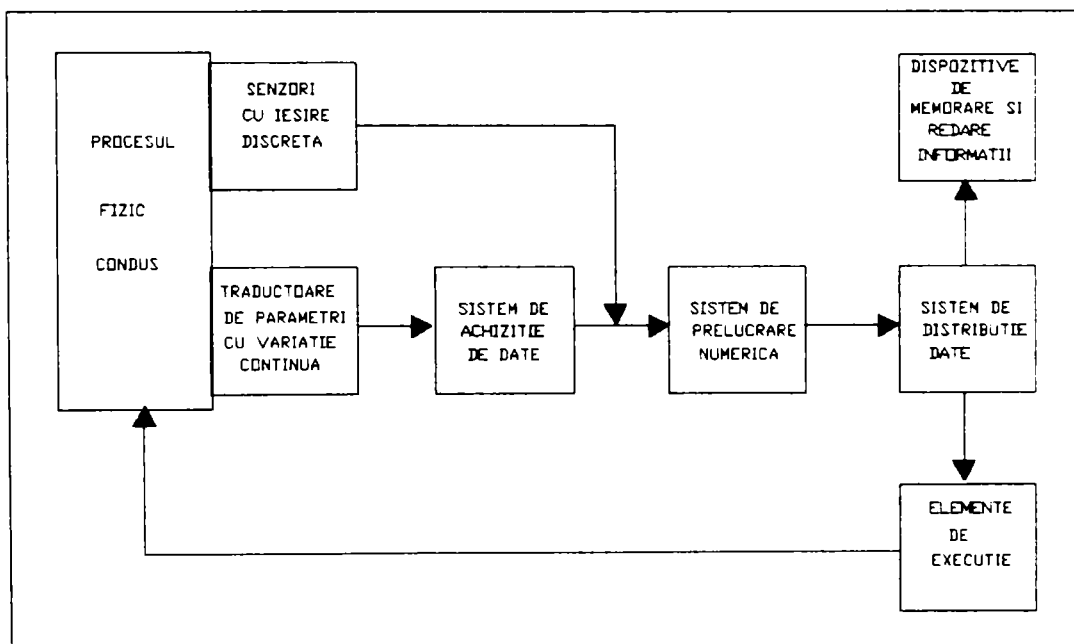


Fig. 2.4 Blocurile principale ale sistemelor care utilizează prelucrarea numerică pentru controlul proceselor fizice

Semnalele numerice și analogice rezultate în urma prelucrării pot fi utilizate pentru memorarea și redarea informației sau pentru comanda elementelor de execuție (relee, electroventile sau diverse actuatoare) prin care se intervine în procesul fizic în vederea reglării acestuia.

Caracteristicile sistemelor de prelucrare numerică din care rezultă avantajele utilizării acestora în comparație cu sistemele de prelucrare analogică sunt următoarele :

- repetabilitatea
- reprogramabilitatea
- adaptabilitatea
- sensibilitatea redusă la perturbații
- stabilitatea pe termen lung și la variațiile factorilor de influență externă (temperatură, umiditate, presiune, etc)

Repetabilitatea reprezintă proprietatea sistemelor de prelucrare numerică de a conduce la rezultate identice ale prelucrării, pentru aceleași semnale numerice de intrare și pentru același algoritm de prelucrare.

Reprogramabilitatea reprezintă capacitatea de modificare a algoritmului de prelucrare numerică prin reprogramare, deci fără a modifica structura fizică (hard) a sistemului.

Adaptabilitatea reprezintă posibilitatea de modificare a funcției de transfer corespunzătoare unui algoritm de prelucrare numerică, în concordanță cu caracteristicile semnalelor de intrare sau cu caracteristici de mediu. Adaptarea se realizează prin măsurarea acestor caracteristici și modificarea, funcție de rezultatele măsurătorilor, a unor parametri care intervin în funcția de transfer corespunzătoare algoritmului de prelucrare.

Sensibilitatea redusă la perturbații și stabilitatea pe termen lung rezultă din structura discretă a semnalelor numerice cu diferență mare între valorile de tensiune corespunzătoare celor două nivele logice ale variabilelor binare.

Tehnicile de prelucrare numerică permit implementarea unor funcții care nu pot fi obținute prin prelucrare analogică și care corespund unor circuite, ca de exemplu : filtre cu răspuns caracterizat prin fază liniară în funcție de frecvență (filtre cu răspuns finit la impuls – FIR) și filtre cu caracteristici de tip ac.

Utilizarea tehnicilor de prelucrare numerică este limitată din punctul de vedere al frecvenței maxime a semnalelor analogice de intrare și al vitezei de prelucrare numerică. Într-o aplicație, aceste limitări sunt funcție de caracteristicile sistemului de achiziție de date, de viteza de lucru a sistemului de prelucrare numerică și de complexitatea algoritmului implementat. Practic, orice algoritm de prelucrare numerică poate fi implementat pe orice sistem de prelucrare numerică, fie el realizat cu microprocesor, microcontroler sau procesor numeric de semnal, cu observația că performanțele privind viteza de prelucrare numerică trebuie să corespundă aplicației. Astfel, există aplicații în care se impune prelucrarea în timp real, adică algoritmi de prelucrare se desfășoară la viteza de acces a datelor, ca de exemplu: compresia semnalului vocal în comunicații și prelucrarea semnalului pe CD ROM pentru redare. De asemenea, există aplicații în care nu se impune prelucrarea în timp real a datelor, ca de exemplu compresia datelor pentru înregistrarea pe disc CD ROM și prelucrarea datelor seismice.

2.4.1. Convertoare numeric analogice

În situația în care procesul condus necesită a fi comandat prin semnale analogice a căror variație trebuie să fie în concordanță cu unele rezultate ale procesării numerice a datelor de intrare se impune conversia semnalelor numerice în semnale analogice. Acest lucru se realizează cu ajutorul unor circuite electronice denumite convertoare numeric analogice (CNA) sau convertoare digital analogice .

Semnalul numeric de la intrarea unui convertor numeric analogic este o secvență de variabile binare $b_1, b_2, \dots, b_k, \dots, b_N$. Valoarea zecimală corespunzătoare unei astfel de secvențe în codificare fracționară (CF) [61], este:

$$D_{CF} = \sum_{k=1}^N b_k * 2^{-k} \quad (2.4.1.1)$$

cu valori cuprinse în domeniul $(0 \dots 1 - 2^{-N})$.

Valoarea zecimală corespunzătoare aceleiași secvențe b_k , $k = 1, 2, \dots, N$ în cod binar natural (CBN) este

$$D_{CBN} = \sum_{k=1}^N b_k * 2^{N-k} \quad (2.4.1.2)$$

cu valori cuprinse în domeniul $(0 \dots 2^N - 1)$.

Din relațiile (2.4.1.1) și (2.4.1.2) se obține

$$D_{CBN} = 2^N * D_{CF} \quad (2.4.1.3)$$

Codurile fracționar și binar natural sunt unipolare în sensul că pot fi utilizate pentru reprezentarea semnalelor de o singură polaritate. Pentru reprezentarea semnalelor de ambele polarități se utilizează coduri bipolare. Astfel, valoarea zecimală corespunzătoare unei secvențe binare în cod binar deplasat (CBD) este :

$$D_{CBD} = \sum_{k=1}^N b_k * 2^{N-k} - 2^{N-1} \quad (2.4.1.4)$$

cu valori în domeniul $(-2^{N-1} \dots 0 \dots 2^{N-1} - 1)$. Din relațiile (2.4.1.2) și (2.4.1.4) se obține

$$D_{CBD} = D_{CBN} - 2^{N-1} \quad (2.4.1.5)$$

Valoarea zecimală a unei secvențe binare în cod complementul lui doi (CCD) se obține din valoarea corespunzătoare codului binar deplasat, relația (2.4.1.4), prin inversarea valorii bitului b_1 , de semnificație maximă, conform relației :

$$D_{CCD} = \sum_{k=1}^N b_k * 2^{N-k} + (1 - b_1) * 2^{N-1} - 2^{N-1} \quad (2.4.1.6)$$

Din relația (2.4.1.6) se obține valoarea zecimală a unei secvențe binare în codul complementar lui doi :

$$D_{CCD} = \sum_{k=1}^N b_k * 2^{N-k} - b_1 * 2^N \quad (2.4.1.7)$$

cu valori cuprinse în domeniul $(-2^{N-1} \dots 0 \dots 2^{N-1} - 1)$. Din relația (2.4.1.7) rezultă :

$$D_{CCD} = D_{CBN} - b_1 * 2^N \quad (2.4.1.8)$$

Valoarea zecimală a unei secvențe $b_s, b_1, b_2, \dots, b_k, \dots, b_N$, corespunzătoare codului cu semn și amplitudine (CSA) este :

$$D_{CSA} = (-1)^{1-b_s} * \sum_{k=1}^N b_k * 2^{N-k} \quad (2.4.1.9)$$

cu valori în domeniul $(-(2^N - 1) \dots 0 \dots (2^N - 1))$.

Se consideră secvența $b_{M,1}, b_{M,2}, b_{M,3}, b_{M,4}; \dots; b_{j,1}, b_{j,2}, b_{j,3}, b_{j,4}; \dots; b_{1,1}, b_{1,2}, b_{1,3}, b_{1,4}$ în reprezentare zecimală codificată binar (BCD). În acest mod în codul BCD fiecare rang zecimal al

unui număr este reprezentat cu patru biți în cod binar natural. Valoarea zecimală a unei secvențe în codul BCD este

$$D_{BCD} = \sum_{j=1}^M 10^{j-1} * \sum_{k=1}^4 b_{j,k} * 2^{4-k} \quad (2.4.1.10)$$

cu valori cuprinse în domeniul $(0 \dots 10^M - 1)$.

Un **convertor numeric analogic** are la intrare un semnal numeric s_j exprimat printr-o secvență de variabile binare $b_k = 1, 2, \dots, N$ și dă la ieșire un semnal analogic s_e (curent sau tensiune) funcție de valoarea numerică a semnalului de intrare, în concordanță cu codul utilizat. Structura unui CNA cuprinde circuite pentru generarea tensiunii sau curentului de referință, comutatoare electronice comandate de biții semnalului de intrare, rețea de rezistențe de precizie cu valori ponderate și circuit de însumare a curenților ponderați.

Principalele **caracteristici ale convertoarelor numeric analogice**, pe baza cărora acestea se selectează pentru o aplicație dată sunt : **codul semnalului de intrare, rezoluția, precizia, viteza, stabilitatea cu temperatura, natura și domeniul semnalului de ieșire, cerințele privind referința și consumul de putere.**

Funcția de transfer a unui CNA liniar și unipolar este dată de relația :

$$s_e = K * U_r * D_{CF} \quad (2.4.1.11)$$

unde K este o constantă, U_r este tensiunea de referință și D_{CF} este valoarea numerică a secvenței de intrare $b_k = 1, 2, \dots, N$ în codificare fracționară (de această dată). Bitul b_1 reprezintă bitul de semnificație maximă (MSB - Most Significant Bit), iar b_N reprezintă bitul de semnificație minimă (LSB, Least Significant Bit).

Din relațiile (2.4.1.3) și (2.4.1.11) se obține :

$$s_e = \frac{1}{2^N} * K * U_r * D_{CBN} \quad (2.4.1.12)$$

unde D_{CBN} este valoarea numerică a secvenței de intrare corespunzătoare codului binar natural.

Mărimea $K * U_r$, din relațiile (2.4.1.11) și (2.4.1.12), reprezintă intervalul de variație a semnalului de ieșire (FSR – Full Scale Range) și are valori tipice de: 2.5 V ; 5V; 10V sau 2mA.

Se consideră că semnalul de ieșire al CNA este curent, situație în care K are dimensiunea $1/\Omega$. Rezultă funcția de transfer a unui CNA sub forma dată de relația:

$$I_e = \frac{1}{2^N * R} * U_r * D_{CBN} \quad (2.4.1.13)$$

unde I_e este curentul de ieșire al CNA și R este o rezistență de referință.

Se pune problema de a obține, pe baza unui **CNA unipolar** cu funcția de transfer conform relației (2.4.1.13), un **CNA bipolar** corespunzător codului binar deplasat. Pentru deducerea matematică a soluției acestei probleme se utilizează relațiile (2.4.1.5) și (2.4.1.13), din care rezultă succesiv:

$$I_e = \frac{1}{2^N * R} * U_r * (D_{CBD} + 2^{N-1})$$

$$I_e - \frac{U_r}{2 * R} = \frac{U_r}{2^N * R} * D_{CBD} \quad (2.4.1.14)$$

Astfel pentru a obține un CNA bipolar corespunzător codului binar deplasat, este necesară utilizarea unui circuit care generează un curent de ieșire I'_e , conform relației :

$$I'_e = I_e - \frac{U_r}{2 * R} \tag{2.4.1.15}$$

În figura 2.5 se prezintă schema de principiu pentru un CNA bipolar corespunzător codului binar deplasat. S-a notat cu I_r curentul de referință, dat de relația :

$$I_r = \frac{U_r}{R} \tag{2.4.1.16}$$

Tensiunea de la ieșirea CNA, U_e , este

$$U_e = R_1 * I'_e \tag{2.4.1.17}$$

Din relațiile (2.4.1.14), (2.4.1.15), (2.4.1.17) rezultă funcția de transfer a CNA bipolar cu semnal de intrare în cod binar deplasat :

$$U_e = \frac{R_1 * U_r}{2^N * R} * D_{CBD} \tag{2.4.1.18}$$

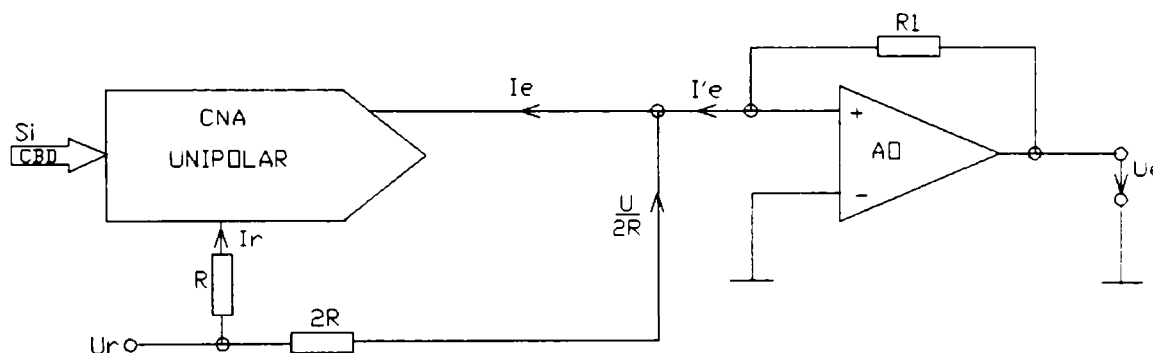


Fig. 2.5. CNA bipolar corespunzător codului binar deplasat

Rezoluția unui CNA este dată de numărul de biți N care compun secvența de intrare. Se definește mărimea LSB ca variația minimă a valorii semnalului de ieșire, variație care se obține pentru modificarea semnalului de intrare între două valori succesive corespunzătoare secvenței.

Rezultă că :

$$1LSB = \frac{FSR}{2^N} = \frac{K * U_r}{2^N} \tag{2.4.1.19}$$

Pentru un CNA cu ieșire de curent și funcție de transfer conform relației (2.4.1.13), se obține :

$$1LSB = \frac{U_r}{2^N * R} \quad (2.4.1.20)$$

Rezoluția unui CNA este dată de numărul de biți, N, care compun secvența de intrare și poate fi deci exprimată prin valoarea mărimii 1LSB.

Precizia (eroarea) absolută a unui CNA este dată de diferența între valoarea reală (măsurată), a semnalului de ieșire corespunzătoare unei secvențe de intrare și valoarea ideală, calculată pe baza funcției de transfer a CNA pentru aceeași secvență de intrare. Eroarea absolută include erorile de câștig, decalaj, neliniaritate, precum și derivatele acestora.

Neliniaritatea integrală (INL), a unui CNA este dată de diferența maximă între valorile reale ale semnalului de la ieșirea convertorului și valorile corespunzătoare rezultate din funcția de transfer liniară care trece prin punctele extreme ale caracteristicii reale. Aceste puncte extreme se obțin pentru secvențele de intrare 00 ... 0 și 11 ... 1, în cazul codurilor binar natural și binar deplasat. În cazul codului complementul lui doi punctele extreme se obțin pentru secvențele de intrare 100 ... 0 și 011... 1.

Neliniaritatea diferențială (DNL), a unui CNA este dată de diferența maximă față de variațiile de 1LSB ale semnalului de la ieșire corespunzătoare variațiilor între două valori succesive ale secvenței de intrare. O neliniaritate diferențială mai mare de $-1LSB$ conduce la o comportare nemonotonă a CNA adică la creșterea între două valori succesive ale secvenței de intrare se obține scăderea valorii semnalului de ieșire. Utilizarea unui CNA nemonoton într-un sistem de reglare poate conduce la instabilitate.

Pentru caracterizarea din punct de vedere dinamic a unui CNA, cel mai important parametru este **timpul de stabilizare** definit ca intervalul de timp între momentul modificării secvenței de intrare și momentul stabilizării cu eroare dată, a ieșirii CNA la nivelul corespunzător intrării. În mod uzual, timpul de stabilizare este precizat pentru o modificare maximă a semnalului de la ieșirea CNA și pentru o eroare de $\pm 0.5\%LSB$ față de valoarea finală (stabilizată) a semnalului de ieșire. Timpul de stabilizare apare datorită întârzierii la acționare a comutatoarelor din structura CNA, datorită vitezei finite de variație a semnalului de ieșire, precum și datorită procesului tranzitoriu cauzat de capacitățile și inductanțele parazite din structura CNA. Valorile uzuale ale timpului de stabilizare sunt cuprinse între 0.1 și 10 μs .

2.4.2. Convertoare analog numerice

Convertoarele analog numerice (CAN) realizează conversia semnalelor analogice în semnale numerice, fiind utilizate, în general, în sisteme de achiziție de date. Aceste circuite sunt indispensabile în situația în care se impune prelucrarea numerică a semnalelor analogice, constituind, într-un sistem de automatizare și control, principala interfață între senzorii și traductoarele de parametri cu ieșire analogică și echipamentul cu logică programată (ELP) sau sistemul de prelucrare numerică (SPN).

Un convertor analog numeric are la intrare un semnal analogic (curent sau tensiune) și livrează la ieșire un semnal numeric funcție de mărimea semnalului analogic de intrare (în general proporțional).

Funcția de transfer a unui CAN cu semnal de intrare de tensiune, u_i , este :

$$D = \frac{K}{U_r} * u_i \quad (2.4.2.1)$$

unde D este valoarea numerică a semnalului de ieșire, U_r , este tensiunea de referință, iar K este o constantă adimensională. Pentru $K=1$, în cazul utilizării codificării fracționare a ieșirii, funcția de transfer a unui CAN liniar și unipolar este dată de relația :

$$D_{CF} = \sum_{k=1}^N b_k * 2^{-k} = \frac{1}{U_r} * u_i \quad (2.4.2.2)$$

unde N este numărul de variabile care compun secvența de ieșire (numărul de biți ai convertorului analog numeric), b_1 , este bitul de semnificație maximă (MSB), iar b_N este bitul de semnificație minimă (LSB).

În relația (2.4.2.2), tensiunea de referință U_r reprezintă de fapt, intervalul de variație a semnalului de intrare (FSR – Full Scale Range), cu valoare tipică de 10 V. Se definește mărimea LSB ca fiind variația minimă a valorii tensiunii de intrare u_i care produce două tranziții succesive ale secvenței de ieșire b_k , $k = 1, 2, \dots, N$. Rezultă că :

$$1LSB = \frac{FSR}{2^N} \quad (2.4.2.3)$$

Rezoluția unui CAN este dată de numărul de biți N care compun secvența de ieșire și poate fi exprimată prin valoarea mărimii 1LSB.

Deoarece semnalul de intrare u_i este cu variație continuă, iar semnalul de ieșire are valori discrete D_{CF} , rezultă că relația de egalitate din (2.4.2.2) este exactă pentru 2^N valori particulare ale tensiunii de intrare (decalate la intervale de 1 LSB) și aproximativă pentru toate celelalte valori ale tensiunii de intrare. Rezultă astfel, erori de aproximare pentru caracteristica de transfer a CAN, care se numesc **erori de cuantizare** și au valori cuprinse în intervalul ± 0.5 LSB. Aceste erori [61] pot fi exprimate prin relațiile :

$$e = u_i - U_r * \sum_{k=1}^N b_k * 2^{-k} [V] \quad (2.4.2.4)$$

$$e = \frac{2^N}{U_r} * u_i - \sum_{k=1}^N b_k * 2^{N-k} [LSB] \quad (2.4.2.5)$$

unde biții b_k sunt corelați cu tensiunea de intrare u_i , în concordanță cu figura 2.6.

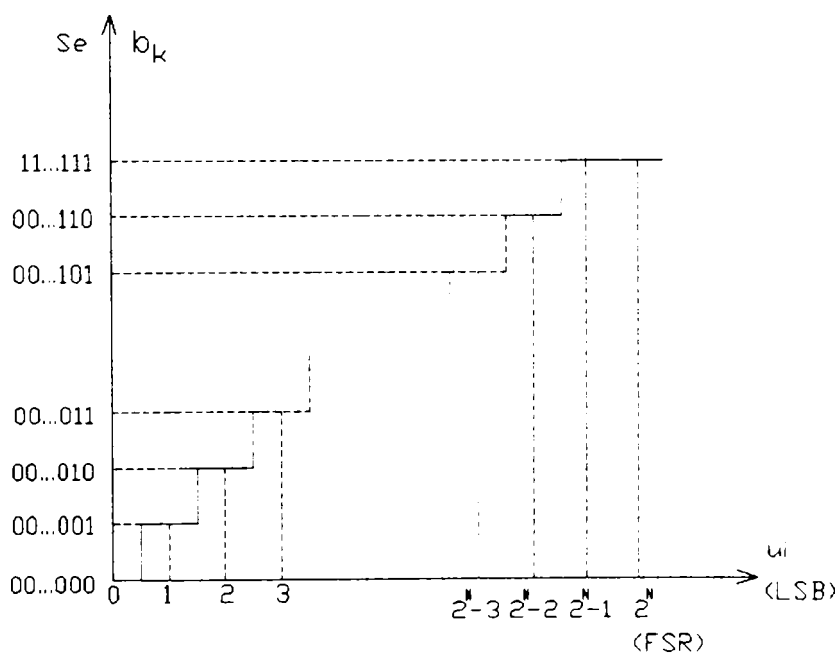


Fig 2.6 Caracteristica de transfer a unui CAN unipolar

Precizia (eroarea) totală a unui CAN este dată de diferențele între caracteristica reală a convertorului și caracteristica teoretică (vezi fig. 2.6). Eroarea totală include erorile de câștig, decalaj, neliniaritate, precum și derivatele acestora.

Etalonarea unui CAN constă în calibrarea decalajului, urmată de calibrarea câștigului. Pentru un CAN unipolar, calibrarea decalajului se realizează astfel încât prima tranziție (00...000 la 00...001) a secvenței de ieșire să corespundă unei tensiuni de intrare de 0.5 LSB. Calibrarea câștigului se realizează astfel ca ultima tranziție (11...110 la 11...111) a secvenței de ieșire să corespundă tensiunii de intrare de FSR - 1.5LSB.

Caracteristicile de neliniaritate integrală și diferențială corespunzătoare unui CAN se definesc în mod similar cu cazul unui CNA. Erorile de neliniaritate se exprimă în procente din FSR sau în unități LSB.

Timpul de apertură al unui CAN reprezintă intervalul de timp în care convertorul utilizează eșantionul de semnal de intrare pentru efectuarea unei conversii.

Timpul de conversie al unui CAN reprezintă intervalul de timp dintre momentul declanșării unui proces de conversie și momentul stabilizării secvenței de ieșire conținând rezultatul conversiei.

Realizarea unei conversii analog numerice constă în compararea semnalului analogic de intrare u_i cu o mărime de referință U_r . Această comparare se poate face în mod direct, prin utilizarea unor circuite comparatoare. Se obțin astfel așa-numitele convertoare analog numerice cu comparare care pot fi de tipul paralel, tipul serie-paralel, sau de tipul serie (numite cu aproximații succesive).

Compararea între semnalul de intrare și cel de referință se poate face și indirect, prin compararea efectelor obținute prin integrarea celor două semnale. În acest mod se obțin așa-numitele convertoare analog numerice cu integrare.

Cele mai utilizate tipuri constructive de CAN sunt cele **paralele** și cele cu **aproximații succesive**.

În principiu un circuit comparator este un CAN paralel de un bit. În acest sens, la cele două intrări ale comparatorului se aplică tensiunea de intrare și respectiv cea de referință. Ieșirea comparatorului reprezintă bitul b_1 corespunzător semnalului numeric de ieșire.

Pentru realizarea unui CAN paralel de N biți este necesară utilizarea unui număr de $2^N - 1$ comparatoare care să detecteze poziția semnalului u_i față de valorile la care apar tranziții în secvența de ieșire. Pentru un CAN unipolar, aceste valori sunt :

$$U_{Ci} = \left(i - \frac{1}{2}\right) * LSB, \text{ cu } i = 1, 2, \dots, 2^N - 1 \quad (2.4.2.6)$$

Având în vedere funcția de transfer a unui CAN dată de relația (2.4.2.2) și ținând cont de (2.4.2.3) se obține :

$$FSR = U_r \quad (2.4.2.7)$$

și

$$1LSB = \frac{FSR}{2^N} = \frac{U_r}{2^N} \quad (2.4.2.8)$$

Din relațiile (2.4.2.6) și (2.4.2.8) rezultă valorile tensiunilor care se conectează la câte una din intrările celor $2^N - 1$ comparatoare din structura CAN paralel unipolar:

$$U_{Ci} = \left(i - \frac{1}{2}\right) * \frac{U_r}{2^N}, \text{ cu } i = 1, 2, \dots, 2^N - 1 \quad (2.4.2.9)$$

Aceste tensiuni pot fi obținute prin divizarea tensiunii de referință, conform structurii de CAN paralel din figura 2.7. La intrările rămase libere ale comparatoarelor se conectează tensiunea de intrare u_i . Ieșirile comparatoarelor se aplică la intrarea unui decodificator pentru a obține cei N biți corespunzători secvenței de la ieșirea CAN.

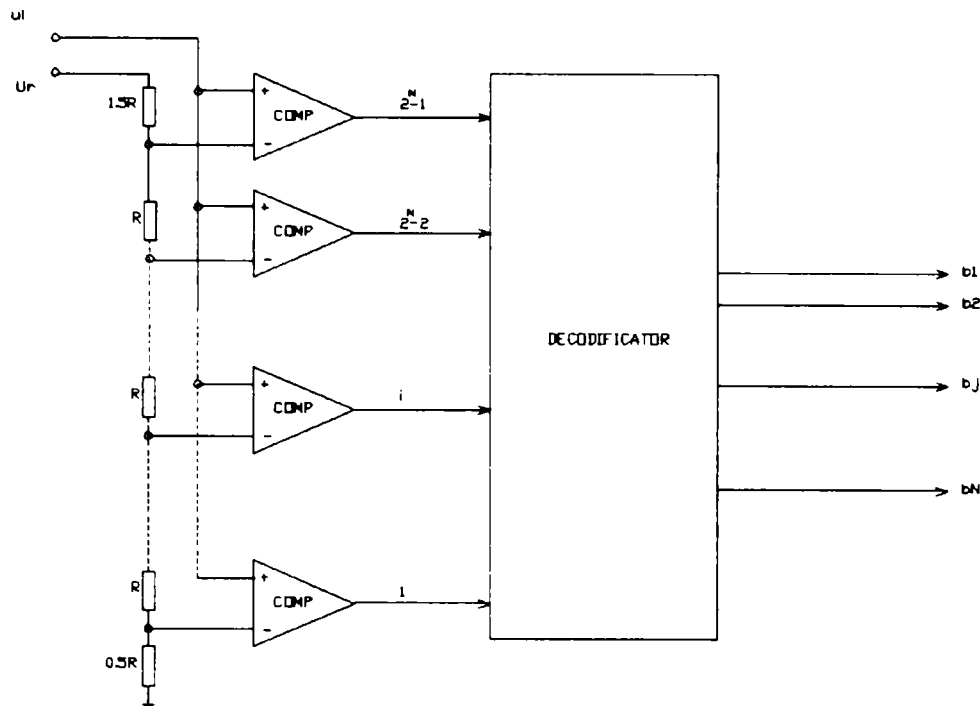


Fig 2.7 Structura unui CAN unipolar cu comparare tip paralel

Convertoarele analog numerice cu comparare tip paralel se caracterizează prin valori foarte reduse ale timpilor de conversie (zeci de ns), ca urmare a structurii de principiu de tip combinațional a unui astfel de convertor, dar necesită un număr mare de componente electronice (de exemplu : 255 de comparatoare pentru un CAN de 8 biți). Pentru a se evita utilizarea unui număr așa de mare de componente electronice la realizarea unui CAN se poate utiliza un singur comparator care să execute comparații succesive în vederea obținerii celor N biți de date. Această soluție constructivă stă la baza obținerii unui convertor analog numeric cu aproximații succesive.

Structura unui CAN cu aproximații succesive se prezintă în figura 2.8.

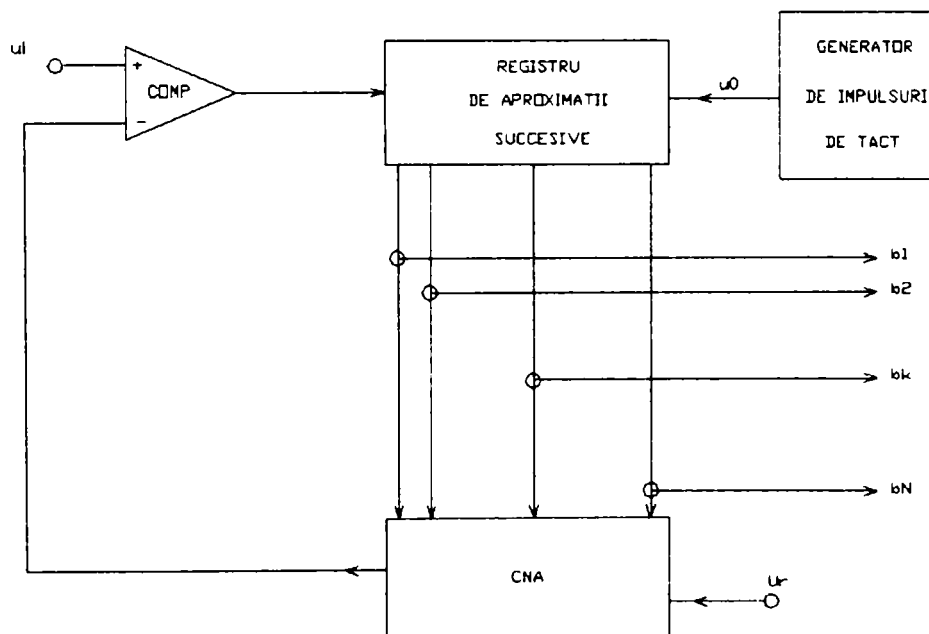


Fig 2.8 Structura unui CAN unipolar cu aproximații succesive

Biții b_k , cu $k = 1, 2, \dots, N$ ai rezultatului unei conversii analog numerice se obțin în ordine succesivă, începând cu bitul b_1 de semnificație maximă. Fiecare bit b_k se obține într-o perioadă a semnalului de tact u_0 , ca urmare a unei comparări și este memorat în registrul de aproximații succesive. Acest registru comandă intrările b_k , cu $k = 1, 2, \dots, N$ ale convertorului numeric analogic (CNA) pentru obținerea succesivă a tensiunilor de comparare.

Timpul de conversie al unui CAN cu aproximații succesive este $N * T_0$, unde T_0 este perioada semnalului de tact u_0 dată de generatorul de impulsuri. Acest timp este mai mare decât în cazul CAN paralel având valoarea de cca $10 \mu s$ pentru $N=12$ biți.

Principiul de conversie cu aproximații succesive este utilizat în mod deosebit la realizarea convertoarelor analog numerice, având în vedere structura relativ simplă în comparație cu cele paralele și timpi de conversie reduși în comparație cu cele cu integrare.

2.5. SEMNALE ANALOGICE TIPIZATE

Semnalele analogice utilizate în procesele industriale sunt, la această oră, tipizate în vederea asigurării compatibilității între diferitele echipamente de câmp (traductoare, reglatoare, indicatoare, actuatoare, etc.).

În controlul și automatizarea proceselor fluidice de câmp, cel mai frecvent, se utilizează așa-numitele semnale unificate de curent sau de tensiune care provin de la senzori și traductoare fie de parametri electrici (tensiuni, curenți, putere, factor de putere, etc.), fie de parametri de natură neelectrică (presiuni, temperaturi, debite, etc.).

Caracteristica principală a acestor semnale este domeniul lor de variație care se înscrie în anumite limite standardizate după cum urmează :

- **semnale unificate de curent** cu domeniile de variație 0-10 mA, 2-10mA, 4-20mA, ultimele două sunt cel mai des utilizate deoarece oferă mai multe informații despre starea echipamentelor care le generează (de exemplu întreruperea unui conductor de legătură duce la scăderea la zero a curentului, lucru care poate atrage atenția că valoarea parametrului respectiv nu este zero ci există o defecțiune în bucla de curent). Aceste două semnale mai sunt denumite și semnale unificate cu „zero viu”.
- **semnale unificate de tensiune** cu principalele domenii de variație 0-5V, 0-10V, $\pm 5V$ și $\pm 10V$, primele două fiind cel mai adesea utilizate.

Semnalele unificate de curent au avantajul că se pot conecta pe linii de semnal de lungime relativ mare (tipic 700-800 m) deoarece sunt greu perturbabile și din această cauză sunt cele mai preferate pentru mediul industrial. Traductoarele de parametri care furnizează semnalele unificate de curent se comportă ca niște generatoare de curent constant comandate de mărimea fizică de intrare astfel încât pentru o valoare dată a acesteia, în bucla de ieșire a traductorului, se stabilește un curent constant indiferent de valoarea rezistenței din buclă atâta timp cât aceasta nu depășește o valoare maximă dată.

Semnalele unificate de tensiune se utilizează, în general, în echipamentele de laborator și mai puțin în mediul industrial datorită faptului că nu au suficientă imunitate la perturbații de natură electromagnetică. În mod similar cu cazul traductoarelor cu ieșire în curent, traductoarele cu ieșire în semnal de tensiune, pentru o valoare dată a mărimii de intrare, asigură la ieșire o tensiune constantă independent de valoarea rezistenței de sarcină atâta timp cât aceasta nu scade sub o valoare minimă dată.

Atât pentru semnalele unificate de curent cât și pentru cele de tensiune, regula principală de utilizare este aceea că între mărimea fizică reprezentată prin acel semnal și valoarea semnalului există o corespondență biunivocă. În general această relație este de proporționalitate ceea ce înseamnă că dacă se cunoaște corespondența dintre parametrul de intrare și semnalul unificat pentru capetele domeniului de variație se poate determina pe baza valorii semnalului unificat, prin relații liniare

simple, valoarea corespunzătoare a mărimii de intrare cu o eroare dată, care este specificată pentru fiecare traductor în parte.

Pentru cazul particular al semnalului unificat de curent 4-20 mA proporțional, se prezintă în figura 2.9 caracteristica ideală a unui traductor având mărimea de intrare „x” cu domeniul de variație 0 ... D și mărimea de ieșire „y” cu domeniul de variație 4 ... 20 mA.

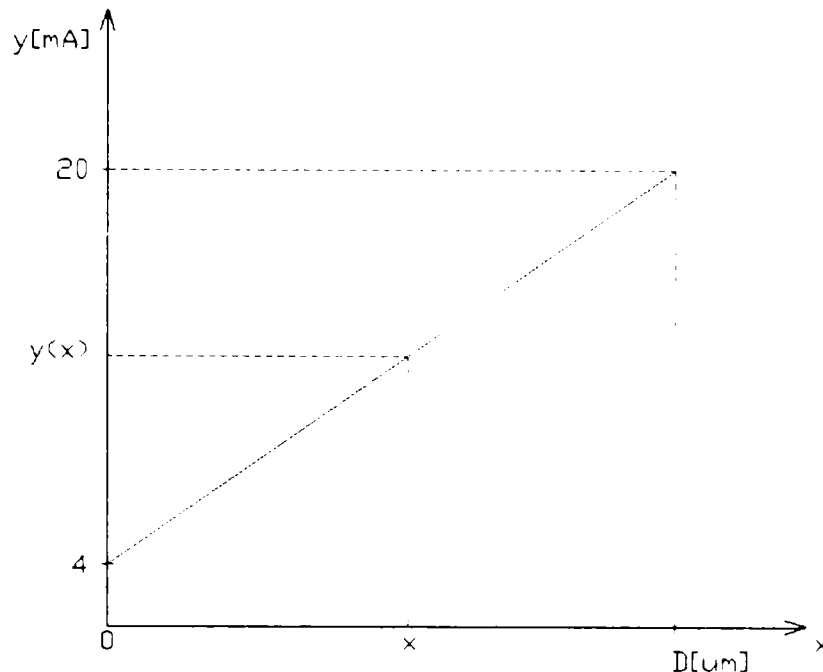


Fig 2.9 . Caracteristica intrare ieșire a unui traductor de parametri cu ieșire în semnal unificat de curent 4-20mA proporțional

2.6. INSTRUMENTE DE CÂMP INTELIGENTE. COMUNICAȚII DIGITALE INDUSTRIALE

Pentru mulți ani standardul de comunicație între echipamentele destinate automatizării proceselor fluidice de câmp a fost utilizarea semnalului unificat de curent. Practic toate sistemele de automatizare complexe instalate la nivel mondial până în anii 1994 utilizau acest standard de transmisie a variabilelor de proces.

Traductoarele de parametri au devenit din ce în ce mai performante, ajungându-se la precizii și stabilitate deosebit de bune, obținute atât prin îmbunătățirea calității elementului sensibil cât și prin modernizarea părții de adaptor electronic de ieșire.

Un salt semnificativ în îmbunătățirea performanțelor traductoarelor cu ieșire în semnal unificat a fost realizat prin introducerea microprocesoarelor specializate, lucru care a dus la apariția traductoarelor inteligente (traductoarele SMART). Aceste traductoare, pe lângă performanțele legate de precizie și stabilitate termică, datorită multiplelor compensări soft realizate prin intermediul microprogramelor implementate la nivelul sistemului cu microprocesor, au și avantajul posibilității de programare la utilizator a domeniilor de lucru, precum și a diagnosticării instrumentului cu ajutorul calculatorului printr-o linie serială de date, utilizând diferite protocoale de comunicare, mai mult sau mai puțin standardizate. Programarea domeniilor și diagnosticarea funcționării traductoarelor se poate face și de la distanță, lucru deosebit de util în cazul proceselor fluidice de câmp.

2.6.1. Protocolul de comunicație HART

Primul și cel mai răspândit protocol de comunicație industrială destinat instrumentației de câmp este protocolul HART (Highway Addressable Remote Transducer) [52] și a fost adoptat de marea majoritate a firmelor producătoare de traductoare și echipamente pentru automatizarea proceselor

fluidice de câmp. Acesta a fost creat pentru a fi utilizat cu echipamentele inteligente de câmp care trebuiau să păstreze compatibilitatea cu standardul de comunicare tradițional, 4-20mA.

Protocolul HART păstrează semnalul unificat de curent folosind calea clasică de comunicare pe două fire cu alimentare în buclă a traductoarelor, dar introduce în plus posibilitatea de comunicare digitală cu instrumentul de câmp, prin suprapunerea peste semnalul de curent, a unui semnal de frecvență, capabil să transmită informația digitală prin modulare, fără să perturbe sau să reducă din precizia acestuia.

Prima implementare a acestui protocol de comunicare a fost realizată în anul 1980 de către firma ROSEMOUNT Inc. (USA), care l-a creat în vederea controlului și comunicării de la distanță cu instrumentele inteligente de câmp pe care le fabrica. Ulterior, acesta a devenit un standard internațional, utilizat de majoritatea firmelor din domeniu.

Principiul de transmisie a informației digitale între dispozitivul de programare și instrumentul de câmp inteligent este reprezentat în figura 2.10. Se observă că semnalul de frecvență, purtător de informație, are o variație sinusoidală simetrică față de semnalul unificat ceea ce nu influențează valoarea acestuia, iar frecvența se modifică între două valori fixe care reprezintă de fapt cele două stări necesare comunicării digitale în sistem binar și anume 1200Hz pentru „1” logic și 2200Hz pentru „0” logic. Amplitudinea semnalului alternativ este de $\pm 0,5$ mA, aceeași pentru ambele frecvențe.

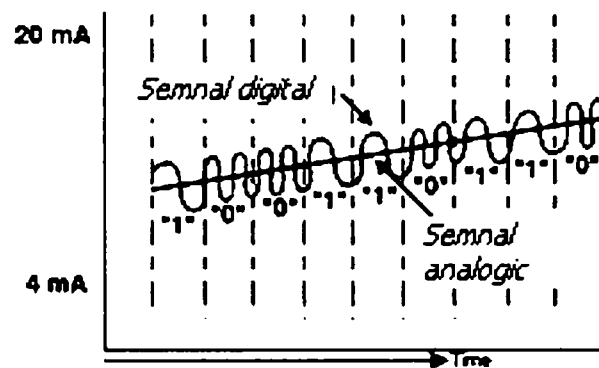


Fig 2.10 Principiul de transmisie a informației digitale pe linia de semnal unificat 4-20 mA prin utilizarea protocolului HART

Introducerea comunicației digitale prin protocol HART reprezintă un pas important spre trecerea la sistemele inteligente de control de la distanță, care a permis utilizarea în automatizările industriale, atât a semnalelor analogice convenționale cât și a celor digitale fără modificări ale structurii cablate a instalațiilor.

2.6.2. Sisteme standardizate de comunicație digitală pentru instrumentația de câmp

Pasul următor utilizării protocolului HART este renunțarea totală la semnalul unificat și conectarea pe aceleași două fire a unui număr cât mai mare de instrumente de câmp inteligente în sistem „multidropping” (se transmit coduri de recunoaștere și fiecare instrument „răspunde” doar atunci când este „întrebat”). În acest mod instrumentele de câmp pot fi controlate digital din orice punct al rețelei, iar legătura fizică dintre acestea este independentă de aplicație. Astfel întreaga logică de control și comandă a sistemului se poate face de la terminalele digitale dedicate, fără a se mai interveni în câmp. Aceste sisteme devin extrem de flexibile, iar cheltuielile de instalare și întreținere se reduc foarte mult prin transferarea celei mai mari părți din proiectarea și implementarea lor în partea de programare.

Un alt avantaj al introducerii instrumentelor de câmp inteligente cu comunicație digitală este creșterea spectaculoasă a informației ce poate fi schimbată între acestea și unitatea de control al

procesului. În figura 2.11 se dă un exemplu de comunicare între un traductor inteligent și unitatea de control pentru cele două situații, respectiv comunicația analogică și cea digitală .

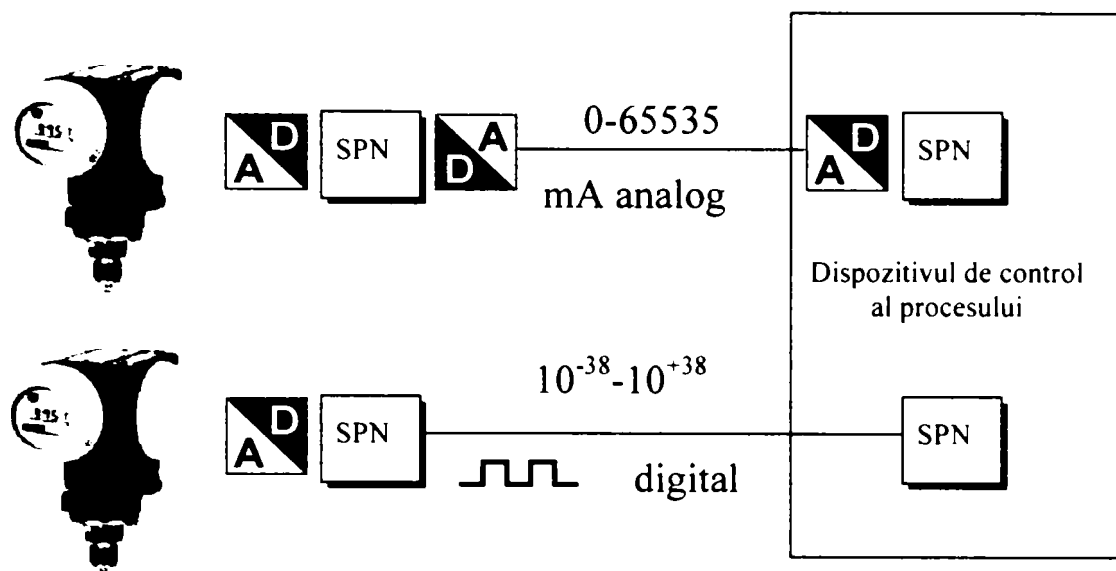


Fig. 2.11. Comparație între traductoarele cu comunicație analogică și cele cu comunicație digitală din punct de vedere al cantității de informație transmisă

În perioada 1989-1995, pe plan mondial au apărut mai multe sisteme de comunicație digitală industriale standardizate pentru instrumentația de câmp, dintre care cele mai importante sunt :

- **PROFIBUS**, sistemul european de comunicație industrială cu cea mai largă răspândire, apărut în 1989 și destinat inițial instalațiilor din industria alimentară
- **FUNDATION FIELDBUS**, sistemul american apărut în anul 1994, destinat inițial comunicației în cadrul sistemelor de control al proceselor din industria petrolieră

PROFIBUS a apărut în Europa dar se utilizează la ora actuală și în SUA, Canada, India, America de sud și Africa.

FUNDATION FIELDBUS a apărut în SUA dar se utilizează la ora actuală și în Europa, India, America de sud, Japonia și Africa .

Atât PROFIBUS cât și FUNDATION FIELDBUS constituie principial o legătură de comunicare complet digitală, pe două fire, în sistem "multidroping", destinată înlocuirii sistemelor de control pe bază de semnal unificat cu sau fără comunicație HART, în cadrul sistemelor de automatizare și control al proceselor industriale în general și al celor fluidice de câmp în mod special . Cele două sisteme de comunicație operează atât cu echipamente pentru medii normale cât și pentru medii potențial explozive .

Instrumentele de câmp inteligente care utilizează aceste tipuri de comunicație devin aparate care pot fi controlate, programate , calibrate și chiar depanate prin doar două fire de comunicare de la o consolă digitală a cărei amplasare fizică poate fi în orice punct al rețelei. Cheltuielile de proiectare și montaj necesare implementării unui astfel de sistem de control se reduc substanțial iar conectarea electrică a aparatelor se face prin simpla lor punere în paralel pe aceleași două fire cu ajutorul unor elemente de conectare standardizate. Restul eforturilor se transferă în munca de programare indiferent de complexitatea sistemului de automatizare.

Arhitectura celor două sisteme se prezintă în figura 2.12 și este relativ asemănătoare, ambele dispunând de două magistrale de comunicare :

- magistrala de viteză mică (**H1**), pe care se cuplează instrumentele de câmp (senzori, traductoare și elemente de execuție)

- magistrala de viteză mare (**H2**) la care se leagă echipamentele de control și achiziție de date (controlere, calculatoare de proces, echipamente de prelucrare a datelor și sisteme de monitorizare a procesului) și care vehiculează în general cantități mari de informație .

După cum se poate observa la ambele sisteme există posibilitatea interconectării pe magistrala de viteză mare atât a controlerelor de proces cât și a echipamentelor de achiziție de date și monitorizare a procesului, aceasta fiind destinată în mod normal echipamentelor cu capacitate mare de procesare a informației.

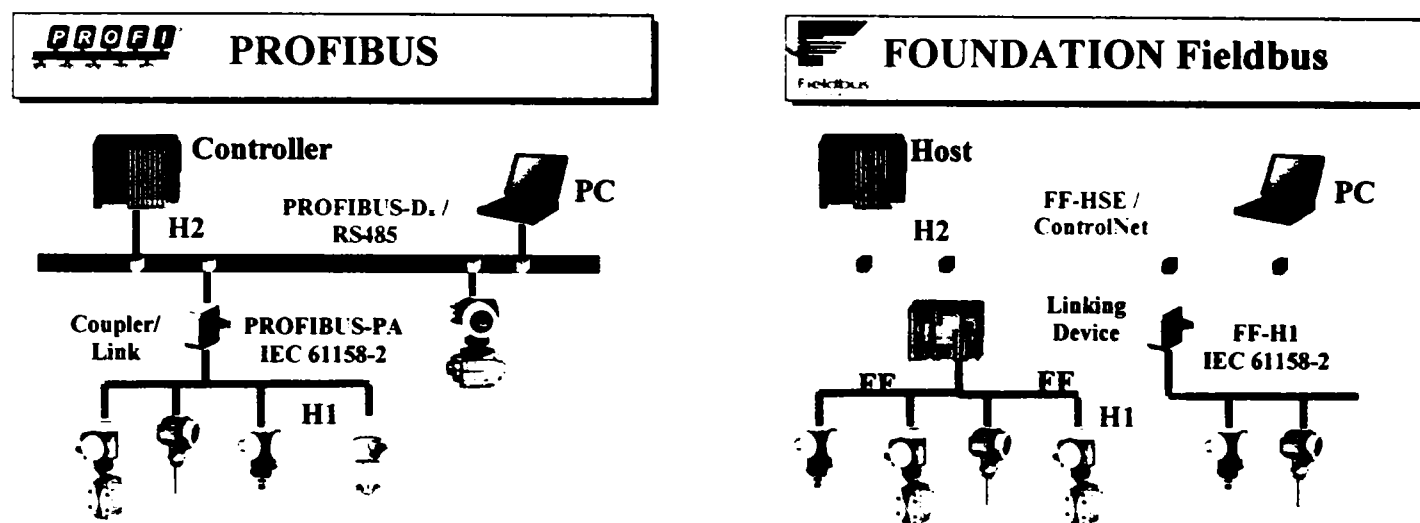


Fig. 2.12. Arhitectura de bază a sistemelor de automatizare și control corespunzător celor două standarde de comunicare

Conectarea instrumentelor de câmp la această magistrală se face însă în mod diferit, la *PROFIBUS* existând instrumente care comunică direct pe această magistrală, în timp ce la *FUNDATION FIELDBUS* acest lucru se face numai printr-un dispozitiv de conectare (Linking Device).

La *PROFIBUS* magistrala de viteză mare (**H2**) utilizează standardul de comunicare **RS485**, având rata de transfer de până la **12 Mbit/s** și se numește **PROFIBUS-DP** [48].

La *FUNDATION FIELDBUS* magistrala de viteză mare (**H2**) utilizează standardul de comunicare **ControlNet**, având rata de transfer maximă de **100 Mbit/s** și se numește **FF-HSE** [16].

În cazul magistralei de viteză mică (**H1**) destinată instrumentelor de câmp ambele sisteme folosesc același standard de comunicare, respectiv **IEC 61158-2**, având rata de transfer maximă de **31.25 kbit/s** . Legătura dintre cele două magistrale de comunicare se realizează, la ambele sisteme, prin intermediul unor interfețe de adaptare specifice.

Se observă că la *PROFIBUS* unitatea de control al procesului a fost denumită **CONTROLLER**, iar la *FUNDATION FIELDBUS* aceasta s-a numit **HOST**. Diferența de denumire apare datorită faptului că la primul standard se face distincție clară între dispozitivele „master” și cele „slave”, controlerul fiind în exemplul dat singurul „master” în sistem . Acesta „interoghează” și transmite comenzi către toate instrumentele de câmp indiferent pe care magistrală s-ar afla și acestea „răspund” doar când sunt „solicitate” . Programul de control al procesului rulează numai în controler. Alte echipamente conectate eventual la magistrala de viteză mare au rol de monitorizare, achiziție și analiză a datelor sau de programare a echipamentelor inclusiv a controlerului .

La *FUNDATION FIELDBUS* controlerul (**HOST**) se ocupă doar de partea principală a programului de control, o serie de funcții secundare putând fi preluate de instrumentele inteligente de câmp. Astfel, de exemplu, un traductor de debit inteligent executat în tehnologie *FUNDATION*

FIELD BUS poate avea programată local o funcție de reglare de tip PID, prin intermediul căreia să comande un robinet de reglare cu actuator electric, având de asemenea implementată tehnologie de comunicație FOUNDATION FIELD BUS. În acest mod reglarea debitului de fluid nu mai trece prin controler. Astfel se folosește mai eficient inteligența sistemului și gradul de ocupare al controlerului scade ceea ce duce la posibilități de control pentru sisteme cu mare complexitate. Aceasta este principala diferență între cele două sisteme și care face ca sistemul american să fie mai performant la această oră cel puțin în domeniul proceselor fluidice de câmp.

2.6.3. Evoluția semnalelor de comunicare standardizate pentru instrumentația de câmp

Cele mai importante tipuri de semnale standardizate utilizate în sistemele de control industriale au fost următoarele :

- semnalul unificat de presiune 0.2–1 bar , utilizat în automatizări pneumatice începând cu ani 1940.
- semnalul unificat de curent 4-20 mA , utilizat în automatizări electrice începând cu anii 1960 .

Până în jurul anilor 1980 majoritatea instrumentelor de câmp utilizate în controlul proceselor fluidice foloseau astfel de semnale, existând mai ales în ultima perioadă și echipamente hibride, precum și diverse convertoare de semnal unificat electro-pneumatice sau pneumo-electrice. Odată cu apariția instrumentației de câmp inteligente și a comunicației digitale, transmiterea variabilelor de proces prin intermediul semnalului unificat începe să fie aplicată mai rar. În figura 2.13 se prezintă evoluția semnalelor de comunicare standardizate pentru instrumentația de câmp începând din anul 1940 până în prezent, precum și estimarea tendințelor din anii care urmează. Se observă faptul că în următorii ani tendința este cea de renunțare la toate tipurile de comunicare convenționale, în vederea generalizării comunicației digitale, care se dovedește a fi o adevărată revoluție în controlul proceselor fluidice de câmp și nu numai.

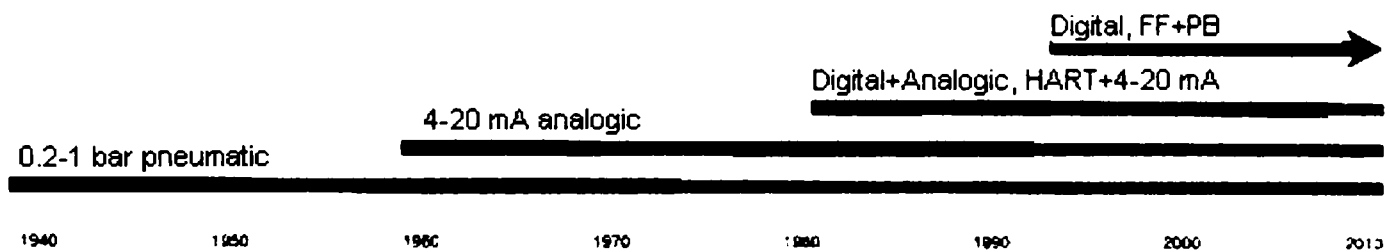


Fig. 2.13 Evoluția semnalelor de comunicare standard în automatizarea proceselor de câmp

Majoritatea firmelor consacrate care produc instrumentație de câmp la această oră au trecut la producția de echipamente FIELD BUS. Acest lucru prezintă avantajul compatibilității între instrumentele provenite de la diverși producători. Figura 2.14 prezintă o imagine sugestivă a tendinței de generalizare a acestui standard de comunicație industrială.

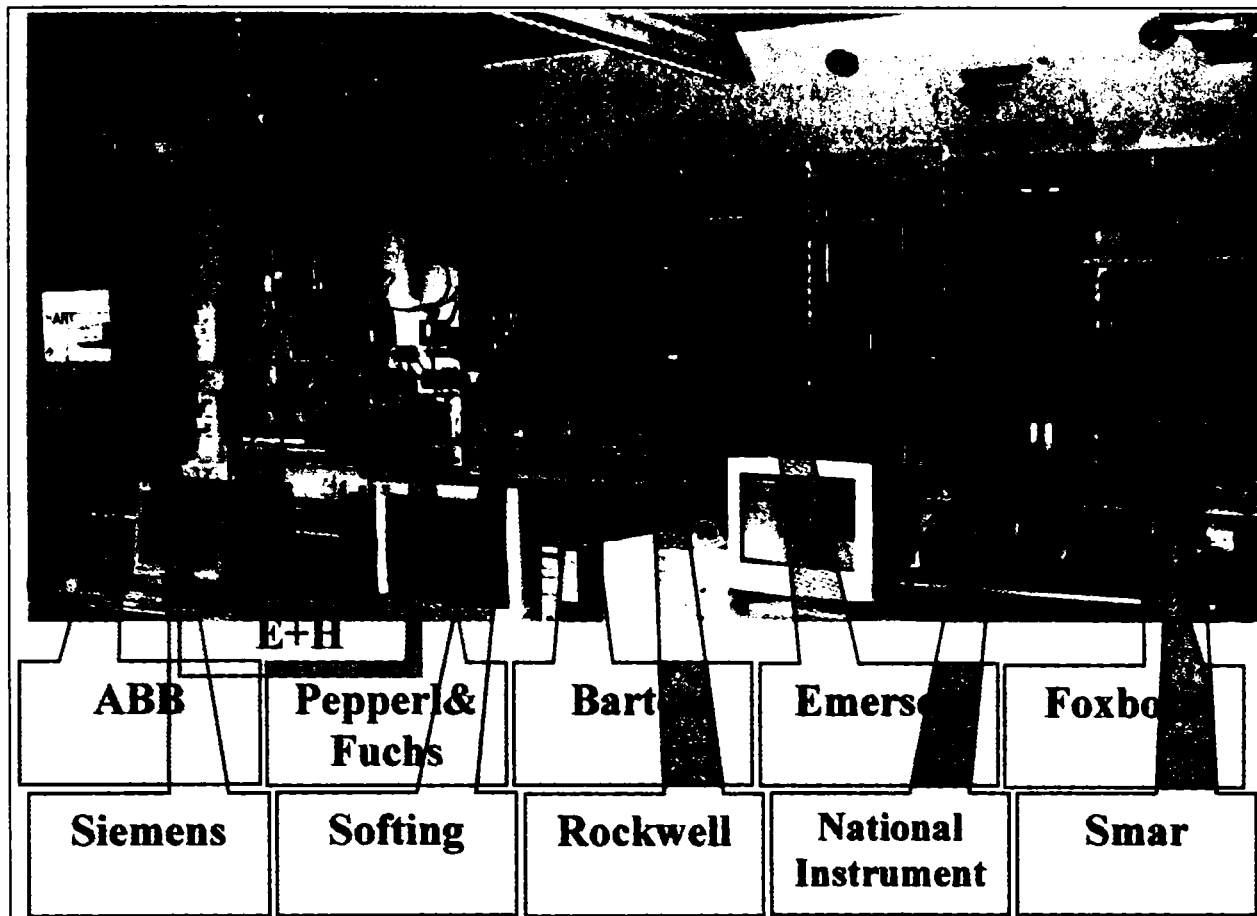


Fig. 2.14 Firme producătoare de instrumentație de câmp FOUNDATION FIELDBUS

2.7. CONCLUZII

Pentru realizarea unui sistem de automatizare al unui proces fluidic de câmp, atunci când este vorba de procesarea gazelor naturale, trebuie luate în considerare atât aspectele legate de echipamente electrice cu funcționare în mediu cu pericol de explozie cât și cele legate de echipamente amplasate la mare distanță unele de altele.

Este necesară utilizarea sistemelor de automatizare cu logică programată și a sistemelor de achiziție și prelucrare numerică a datelor pentru a se putea răspunde cerințelor de comunicație și comandă necesare în astfel de procese.

În situația în care se dorește modernizarea unei instalații de control pentru un proces fluidic de câmp existent, care folosește elemente de automatizare ce lucrează în buclă de curent 4-20mA, este foarte indicată introducerea instrumentelor de câmp inteligente cu protocol HART, care păstrează compatibilitatea cu vechiul sistem și conferă un plus de flexibilitate, precizie și stabilitate ridicată, asigurând și posibilități de configurare de la distanță.

La realizarea unui sistem de automatizare nou este cel mai indicat să se implementeze echipamente de câmp complet digitale, precum cele de tip PROFIBUS sau FOUNDATION FIELDBUS, deoarece trecerea prin etapa intermediară a echipamentelor HART devine nerentabilă pe termen lung datorită tendinței generale de renunțare la semnalele analogice în mediul industrial.

Introducerea echipamentelor de câmp digitale, prin perspectivele pe care le deschide în controlul proceselor fluidice de câmp, poate fi considerată începutul unei noi etape în domeniu deoarece induce schimbări majore atât în concepția noilor sisteme de automatizare, cât și în întreținerea viitoare a acestora.

La prima vedere din comparația făcută între cele două sisteme de comunicații standardizate pentru instrumentația de câmp, PROFIBUS și FOUNDATION FIELDBUS, rezultă că utilizarea echipamentelor FIELDBUS este mai avantajoasă din punct de vedere al performanțelor tehnice și se

pretează mai bine la controlul proceselor cu grad de complexitate ridicat. Totuși pentru alegerea unei soluții cât mai corecte este indicat ca fiecare situație să fie analizată concret, luându-se în considerare cât mai multe criterii de apreciere atât tehnice cât și economice.

Din analiza făcută se poate remarca faptul că implementarea unor sisteme de automatizare și control moderne în cadrul proceselor fluidice de câmp impune necesitatea unei pregătiri suplimentare a personalului de întreținere, chiar dacă în faza de montaj se poate lucra cu personal cu calificare medie. Se poate însă reduce numărul personalului de întreținere deoarece echipamentele se configurează mult mai ușor prin noile protocoale de comunicare utilizate.

Lucrul cu instrumente de câmp inteligente presupune o abordare diferită a problemelor de automatizare încă din faza de proiectare, deoarece întreaga logică de funcționare a unui sistem de automatizare de acest gen se transferă în partea de programare și configurare a instrumentelor.

La utilizarea echipamentelor FIELDBUS este necesară acordarea unei atenții sporite în faza de programare a instrumentelor de câmp deoarece posibilitățile de implementare a unor funcții de control distribuit la nivelul instrumentelor de câmp, pot duce la conflicte sau pierderea controlului sistemului dacă nu sunt folosite corespunzător. În general trebuie ținută o evidență foarte strictă a funcțiilor logice și a locului lor de implementare. În cazul sistemelor PROFIBUS aceste funcții se implementează numai la nivelul CONTROLLER-ului.

Utilizarea instrumentelor de câmp cu comunicație digitală, capabile să comunice pe aceleași două fire în sistem multidropping, este de așteptat să aducă o economie însemnată de cabluri la implementarea instalației de automatizare.

Cantitatea de informație schimbată între instrumentele de câmp inteligente crește semnificativ față de cazul celor cu semnal unificat. Se deschide astfel perspectiva unei evidențe computerizate a configurărilor fiecărui echipament precum și posibilități de depanare a sistemului de la distanță prin rețeaua de comunicație.

2.8. CONTRIBUȚII PERSONALE

S-au selectat și prezentat principalele funcții ale unui sistem de automatizare în vederea creării unei imagini generale asupra domeniului.

S-a făcut o prezentare generală a proceselor fluidice de câmp specificându-se principalele probleme care se pun la realizarea unui sistem de automatizare și control destinat acestora.

S-au sintetizat informațiile de bază necesare înțelegerii principiilor de funcționare ale echipamentelor electrice cu logică programată și ale sistemelor de achiziție și prelucrare numerică a datelor, în vederea utilizării lor la concepția unor sisteme de automatizare a proceselor fluidice de câmp.

S-a făcut o analiză a semnalelor analogice tipizate utilizate în automatizarea proceselor industriale prezentându-se caracteristicile principale ale acestora și posibilitățile de utilizare a lor la automatizarea proceselor fluidice de câmp.

S-au prezentat principiile de bază ale funcționării instrumentelor de câmp inteligente.

S-au selectat din literatura de specialitate și s-au prezentat cele mai importante tipuri standardizate de comunicații de date destinate instrumentației de câmp.

S-a făcut analiza comparativă a celor mai importante standarde de comunicație industrială PROFIBUS și FIELDBUS, prezentându-se avantajele și dezavantajele fiecăruia prin prisma utilizării lor în automatizarea proceselor fluidice de câmp.

S-a analizat evoluția semnalelor de comunicație pentru instrumentația de câmp stabilindu-se stadiul actual și perspectivele domeniului.

În final s-au tras concluziile legate de posibilitățile de automatizare și control al proceselor fluidice de câmp făcându-se recomandări de alegere a diverselor soluții în funcție de cazurile luate în considerare.

3. CONTRIBUȚII LA AUTOMATIZAREA PROCESULUI DE COMPRIMARE A GAZELOR NATURALE

3.1. COMPRIMAREA GAZELOR NATURALE

Utilizarea gazelor naturale sub formă organizată a apărut la începutul secolului XX în S.U.A.

România a fost prima țară europeană care a extras, transportat și utilizat gaze naturale, iar în 1945, ocupa locul doi în lume la numărul de zăcăminte descoperite și exploatate [54]. Prima sondă românească de extracție gaze naturale pusă în producție a fost Sonda nr.2 Sărmășel județul Mureș forată la 14 aprilie 1903 la o adâncime de 302 m.

Prima conductă de gaze naturale din Europa a fost conducta Sărmășel – Turda, cu o lungime totală de 50 km și diametru de 250 mm. Această conductă transporta gaze naturale utilizate pentru iluminatul public al orașului Turda.

În anul 1940 s-a pus în funcțiune prima conductă românească de transport gaze naturale cu diametrul de 500 mm, prin intermediul căreia se transportau gaze din Transilvania spre București.

În anul 1965 se pune în funcțiune prima stație de comprimare a gazelor naturale din România, având o putere instalată de 8000 CP și care era utilizată în procesul de transport al gazelor.

Prima stație de comprimare utilizată la înmagazinarea subterană a gazelor a fost pusă în funcțiune în anul 1978 având o putere instalată de 3000 CP.

Stațiile de comprimare a gazelor naturale sunt unități de procesare a gazului metan provenit din sondele de extracție, destinate ridicării presiunii acestuia în vederea transportului pe distanțe mari prin conducte magistrale, precum și a înmagazinării subterane a gazelor provenite din rețeaua de transport și distribuție.

Ridicarea presiunii gazelor naturale se face cu ajutorul unor agregate de comprimare specifice domeniului. Acestea pot fi de mai multe tipuri, cele mai importante fiind compresoarele cu pistoane (compresoare alternative) și compresoarele cu turbină (turbocompresoare).

Compresoarele cu pistoane sunt mașini alternative volumetrice și ciclice la care momentul de rotație al arborelui motor este transformat într-o mișcare alternativă a două sau mai multe pistoane în interiorul unor cilindri cu ajutorul unui sistem bielă-manivelă.

Bielă este legată de tija pistonului prin intermediul unui dispozitiv numit cap de cruce, care transmite forța necesară pistonului pentru comprimarea gazelor în cilindru. Etanșarea între pistonul în mișcare și cilindru se realizează cu ajutorul segmentilor, iar etanșarea tijei pistonului se face printr-o piesă de construcție specială numită presetupă.

Aspirația gazelor în cilindrii compresorului se face prin intermediul supapelor de aspirație, iar refularea gazelor comprimate se realizează prin intermediul supapelor de refulare.

Pe conductele de aspirație și refulare a gazelor, se montează, cât mai aproape de cilindri, butelii antipulsatorii al căror rol este de a diminua efectul pulsatoriu generat de mișcarea alternativă a pistoanelor.

Ungerea lagărelor compresorului se realizează cu ulei prin intermediul unui circuit intern de joasă presiune și a unei pompe antrenată de arborele cotit.

Înainte pornirii compresorului se realizează așa-numita preungere a lagărelor cu ajutorul unei pompe exterioare acționată, de obicei, electric. De asemenea după oprire se execută postungerea acestora.

Ungerea segmentilor compresorului și a presetupelor de etanșare a tijei se face prin intermediul unui circuit de ulei de înaltă presiune cu ajutorul unor pompe de lubrificație exterioare, acționate de asemenea electric sau de arborele cotit.

În figura 3.1 este prezentată partea corespunzătoare unui cilindru, pentru cazul unui compresor alternativ cu pistoane. Se disting componentele principale după cum urmează:

- carterul
- cilindrul
- biela
- capul de cruce
- tija pistonului
- pistonul
- supapele
- presetupa

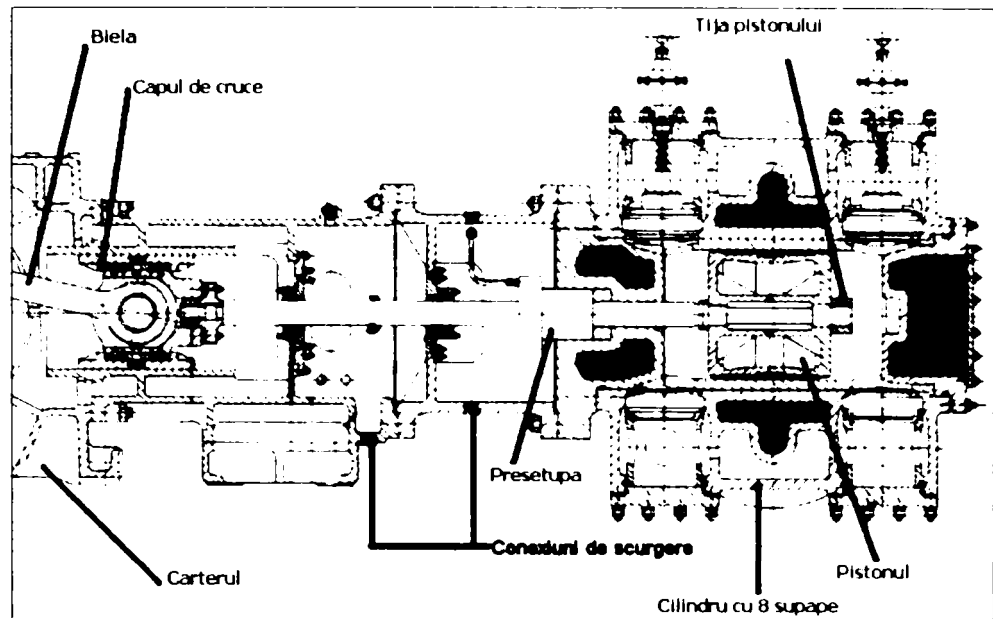


Fig. 3.1 Schița unei părți de compresor de gaze naturale alternativ, aferentă unui cilindru

Antrenarea compresoarelor alternative cu pistoane se face cu motoare electrice sau termice. În situația în care compresoarele de gaze sunt acționate cu motoare termice cu pistoane și utilizează o parte din gazul procesat ca și combustibil, acestea se numesc motocompresoare sau gazomotocompresoare. Compresoarele cu pistoane acționate cu motoare electrice sunt denumite electrocompresoare. Acestea pot fi acționate fie cu motoare asincrone, fie cu motoare sincrone alimentate de obicei la rețeaua de medie tensiune de 6kV.

În România, agregatele de comprimare de tip „compresor cu pistoane” au cea mai mare pondere în cadrul sistemului național de extracție, transport și înmagazinare a gazelor naturale.

În patrimoniul ROMGAZ, la ora actuală există în exploatare cca 118 agregate de comprimare cu pistoane de următoarele tipuri :

- a) agregate de tip motocompresor: 10GKNA, 10TVR, LGC35-6, 36KVSr, 410KVSr, dotate cu tablouri de automatizare pneumatice
- b) agregate de tip electrocompresor : C260, C360, C144, C160,

dotate cu tablouri de automatizare electrice executate cu relee intermediare, relee de timp și programatoare electromecanice cu came, care utilizează pentru controlul parametrilor senzori cu comutator de tip termostat, sau presostat cu contacte electrice .

Aceste agregate sunt instalate în 17 stații de comprimare și au fost puse în funcțiune în proporție de 90% în perioada 1980 – 1990.

Sucursala Mediaș exploatează un număr de 55 agregate de comprimare montate în 8 stații de comprimare, iar Sucursala Tg.Mureș, 63 agregate amplasate în 9 stații de comprimare. Puterea totală instalată este de cca 155.000 CP.

În figura 3.2 se prezintă imaginea de ansamblu a unei stații de comprimare a gazelor naturale din județul Mureș, care utilizează agregate de comprimare de tip electrocompresor C260 acționate cu motoare electrice sincrone de 810 kW alimentate la 6kV.

Stația de comprimare din figura 3.2 este echipată cu 12 electrocompresoare amplasate simetric în două hale de comprimare având claviatura de gaze a mașinilor amplasată pe platforma dintre cele două hale. În imagine se pot observa cele două rânduri de conducte colectoare de aspirație și refulare corespunzătoare fiecărei hale la care sunt conectate printr-un ansamblu de robinete și tubulatura specifică, denumite „claviatura mașinii”, fiecare din cele 12 agregate de comprimare. Agregatele de comprimare care echipează această stație aspiră gazele la o presiune între 6 - 22 bar, refulază la 14 -

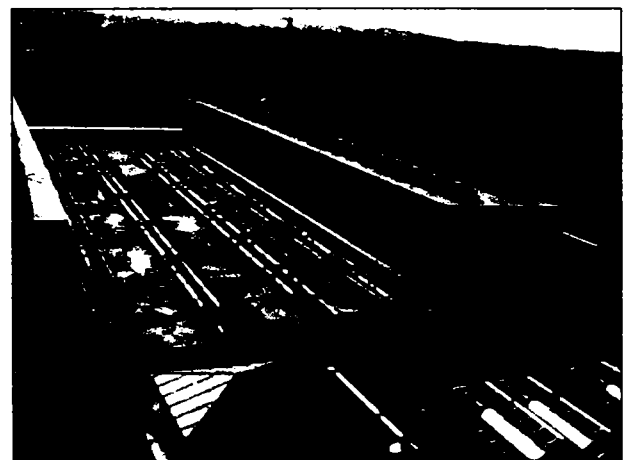


Fig.3.2. Stație de comprimare a gazelor naturale cu compresoare de tip C260 acționate electric cu motoare sincrone de 810kW la 6 kV

31 bar și vehiculează un debit nominal de 350 000 – 600 000 Nm³/zi pe unitate în funcție de valorile celor două presiuni, la o turație de 375 rpm.

În figura 3.3 se prezintă imaginea unui electrocompresor tip C260 în care se poate observa partea de compresor cu instalațiile de gaz aferente în stânga, iar partea de motor sincron în dreapta.

În figura 3.4 se prezintă o stație de motocompressoare amplasată tot în județul Mureș, echipată cu 4 agregate de tip 10GKNA de producție U.R.S.S. care funcționează din anul 1985.

Agregatele de tip 10GKNA dezvoltă o putere nominală de 1500CP la o turație nominală de 300 rpm, având un raport aspirație/refulare 7/17 bar, debit nominal de cca 800 000 Nm³/zi, la un consum nominal de gaz combustibil de 10 000 Nm³/zi și sunt cele mai răspândite în rețeaua națională de extracție și transport a gazelor naturale. În figura 3.5 se prezintă o imagine de ansamblu a unui motocompresor 10 GKNA din componența stației de comprimare din figura 3.4.



Fig 3.3 Electrocompresor tip C260 acționat electric cu motor sincron de 810kW la 6 kV



Fig 3.4. Stație de comprimare echipată cu motocompressoare de tip 10GKNA, 1500CP la 300 rpm



Fig 3.5 Agregat de comprimare de tip motocompresor 10GKNA, 1500CP la 300 rpm

Aceste agregate de comprimare sunt echipate cu 10 cilindri motor și 5 cilindri compresor având biețele cuplate la același arbore cotit într-o structură compactă, spre deosebire de electrocompresoare unde partea de motor este vizibil separată de partea de compresor. Numărul de cilindri ai unui electrocompresor este de obicei de doi.

3.2. PROBLEME DE ZONARE A SPAȚIILOR TEHNOLOGICE DIN STAȚIILE DE COMPRIMARE A GAZELOR NATURALE

Prin specificul tehnologiei utilizate, procesul de comprimare a gazelor naturale din industria extractivă se încadrează, din punct de vedere al protecției antiexplozive, în **Zona 2** cu pericol de explozie, având în unele cazuri și spații clasificate în **Zona 1**. Din punct de vedere al materiei inflamabile, care poate genera atmosfera explozivă în incinta stațiilor de comprimare, acestea se încadrează în grupa de explozie **IIA** și clasa de temperatură **T2** (metan > 99%). Gazul metan are limita inferioară de explozie (LIE) de 5.3%, iar limita superioară (LSE) 15% [46]. Temperatura de aprindere este de 536°C. În aceste condiții, întreaga aparatură electrică și mecanică cu care se vor echipa aceste spații, este necesar să corespundă acestor clasificări. Există totuși zone în incinta stațiilor de

comprimare a gazelor naturale, care prin distanța pe care o au față de spațiile în care se poate forma atmosfera explozivă, nu prezintă pericol de explozie. În aceste zone aparatura electrică și mecanică utilizată poate avea, în conformitate cu normele în vigoare, o construcție normală. Se recomandă, însă, folosirea echipamentelor cu protecție antiexplozivă în toată incinta stației de comprimare, dat fiind faptul că în exploatarea de până astăzi a acestor instalații, s-au întâlnit situații de fisurări sau spurgeri de conducte, care au dus la crearea de atmosferă explozivă chiar și în spații în care acest lucru părea imposibil. Totuși, din motive economice, în interiorul camerelor de urmărire și dispecerizare, precum și în complexele electroenergetice (stații de transformare și celule de distribuție amplasate la distanță relativ mare de zonele în care se pot degaja gaze inflamabile) se admite la ora actuală utilizarea de aparatură electrică și mecanică în construcție normală.

Având în vedere cele de mai sus rezultă că, pentru a se realiza o instalație de automatizare la nivelul unei întregi stații de comprimare a gazelor naturale, este necesară utilizarea combinată a aparaturii electrice antiexplozive cu aparatură electrică în construcție normală. Acest lucru impune o atenție deosebită atât în faza de concepție a sistemului, cât și la efectuarea lucrărilor de montaj și P.I.F. pentru păstrarea compatibilității între diversele echipamente atât din punct de vedere funcțional cât și al respectării prescripțiilor de securitate la explozie.

3.3. DEFICIENȚE ALE INSTALAȚIILOR DE AUTOMATIZARE DIN STAȚIILE DE COMPRIMARE ÎN CONFIGURAȚIA LOR ÎNȚIALĂ. MODALITATE DE REZOLVARE

Fiabilitatea redusă a elementelor de automatizare pneumatice, în cazul motocompressoarelor, a dus deseori, la nefuncționarea corectă a protecțiilor și semnalizărilor acestora, generându-se astfel, uzuri pronunțate și premature ale componentelor mecanice ale agregatului. În cazul agregatelor acționate electric, oxidarea frecventă a contactelor releelor și a elementelor de control, precum și dereglarea și defectarea acestora datorită regimului de vibrații specific compresoarelor au dus deseori la avarii ale mașinilor prin nefuncționarea corectă a protecțiilor tehnologice.

De asemenea, fiabilitatea redusă a programatoarelor electromecanice utilizate pentru realizarea ciclurilor automate de funcționare la electrocompresoare, a dus practic la scoaterea din uz a acestora și realizarea anumitor secvențe de comandă, manual, de către personalul de deservire a instalațiilor electrice. Astfel, spre exemplu, pornirea unui electrocompresor, în configurația inițială, nu se poate face de către o singură persoană, fiind necesară pe lângă prezența unui operator în hala mașinilor și cea a unui electrician în sala dulapurilor de automatizare, pentru realizarea manuală, de către acesta, a funcțiilor programatorului electromecanic, scos din uz datorită defectării sale frecvente. În plus, o parte din protecții au fost anulate fie datorită frecvențelor acționări false a lor (prin dereglare sau defectarea elementelor de control amintite), fie datorită lipsei pieselor de schimb, apărută în urma scoaterii din fabricație a unor repere, mai ales în perioada de după 1989.

Ambele tipuri de instalații de automatizare utilizate inițial în procesul comprimării (pneumatice sau electrice) au la această oră și dezavantajul imposibilității monitorizării la distanță a funcționării agregatelor și a prelucrării automate a parametrilor acestora, cu ajutorul calculatorului, lucru ce duce la întâzieri în luarea deciziilor legate de întreținerea corespunzătoare a stațiilor de comprimare și de producția de gaze.

Din cauza numărului limitat de semnalizări și protecții asigurate de tablourile de comandă convenționale, nu se poate face o protecție reală și sigură a agregatului, acest lucru reflectându-se în creșterea costurilor reparațiilor neprevăzute.

În această situație, supravegherea compresoarelor și a instalațiilor tehnologice aferente, trebuie făcută local și permanent, de către personalul de deservire al stației, urmărindu-se parametrii de funcționare, pe aparatele indicatoare mecanice, amplasate în punctele de măsură.

În cazul electrocompresoarelor, amplasarea la distanță a dulapurilor de automatizare originale, din considerente legate de securitatea la explozie, face și mai dificilă exploatarea instalațiilor tehnologice ale acestor stații de comprimare.

Pentru eliminarea situațiilor descrise mai sus, s-a conceput și realizat, un sistem centralizat de urmărire și menținere în limitele normale a parametrilor esențiali de funcționare, precum și de protecție a agregatelor de comprimare. Acesta a fost omologat în cadrul ROMGAZ și ulterior certificat la INSEMEX Petroșani, pentru funcționare în mediu cu pericol de explozie, în anul 2000 sub denumirea de **“SISTEM CENTRALIZAT DE AUTOMATIZARE ȘI ACHIZIȚIE DE DATE PENTRU AGREGATE DE COMPRIMARE GAZE” (S.C.A.A.D.)**. În anul 1999 înainte de omologarea sistemului, pentru partea cea mai importantă din componența acestuia și anume instalația de automatizare locală a agregatului de comprimare denumită și **„Tablou local de automatizare”** s-a obținut brevetul de invenție nr. **RO116112/29.07.1999** sub denumirea de **„Instalație de control și reglare în construcție antiexplozivă pentru agregate de comprimare gaze”**. În acest mod lua naștere un sistem românesc de automatizare și achiziție de date destinat stațiilor de comprimare a gazelor naturale capabil să deservescă, fără modificări esențiale, atât stații echipate cu **electrocompresoare** cât și cu **motocompresoare**, utilizând același echipament de automatizare locală, echipament care putea fi integral amplasat în mediu cu pericol de explozie și care putea fi controlat și comandat centralizat atât la nivelul stației de comprimare cât și de la distanță în structură de tip SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

3.4. PREZENTARE GENERALĂ A SISTEMULUI CENTRALIZAT DE AUTOMATIZARE ȘI ACHIZIȚIE DE DATE CONCEPUT

În structura SCAAD conceput pentru a fi implementat în stațiile de comprimare a gazelor naturale, intră ca elemente principale care îi conferă funcționalitate, următoarele componente :

3.4.1. Senzori și traductoare de parametrii , care transformă mărimile fizice (parametrii) în semnale discrete (binare), respectiv semnale unificate de curent (4-20 mA), ce se transmit prin cablu la unitățile de prelucrare cu logică programată. Senzorii și traductoarele sunt realizați în construcție antiexplozivă, omologați și avizați corespunzător, având ca loc de montaj punctele de măsură locale din instalațiile tehnologice ale agregatelor, situate în zone cu atmosferă potențial explozivă, clasificate în conformitate cu normele în vigoare. Interiorul halelor de compresoare este clasificat din punct de vedere al pericolului de explozie ca făcând parte din zona 2, grupa de explozie IIA, clasa de temperatură T2, categoria 3G conform SR-CEI 79-10, NP 099-04 și ATEX 100a.

3.4.2. Tabloul local de automatizare a agregatului, este o unitate dotată cu logică programată și facilități de achiziție și prelucrare numerică a datelor, controlată de către un dispozitiv electronic inteligent denumit **“CONTROLLER DE MAȘINĂ”**, executat în construcție antiexplozivă, care asigură comunicarea locală a operatorului cu procesul prin intermediul unei **„CONSOLE DE OPERARE”** locale. Fiind dotat și cu logică cablată pentru situații de urgență, tabloul local are și posibilitatea acționării directe asupra agregatului prin comenzi manuale, independente de programul înscris în memoria controllerului de mașină.

Fiecărui agregat din componența stației de comprimare, îi corespunde un tablou local de automatizare, care se amplasează în apropierea acestuia. Tabloul preia prin intermediul traductoarelor de parametri și a senzorilor cu ieșire discretă, datele necesare determinării exacte a stării de funcționare a mașinii, executând comenzi către elementele de execuție, atunci când, conform programului implementat în memoria controllerului, rezultă necesitatea efectuării de corecții, reglaje, sau protecții în procesul tehnologic condus.

În situația în care, prin comenzile automate, agregatul nu reintră în parametri normali de funcționare, tabloul local poate executa, prin dispozitivele proprii de avertizare optică și acustică, atenționarea personalului de deservire al stației, atât la nivel local cât și centralizat.

Apropierea parametrilor de valorile periculoase duce la presemnalizări și avertizări optice și acustice, corespunzător programate, iar depășirea acestor valori, duce la oprirea prin protecție a agregatului, asigurându-se totodată și memorarea cauzei opririi, până la intervenția operatorului.

Starea tuturor elementelor de execuție, precum și diferitele faze de lucru ale agregatului, cum ar fi: pregătirea pomirii, punerea în sarcină, activarea funcțiilor de reglaj automat, poziția robinetelor de pe claviatura mașinii sunt, de asemenea, semnalizate optic și acustic, în conformitate cu necesitățile de exploatare stabilite pentru fiecare tip de agregat în parte și implementate în memoria controlerului de mașină.

3.4.3. Tabloul general al stației este o unitate centrală de procesare a datelor provenite de la tablourile locale și de la un ansamblu de senzori și traductoare, amplasate în afara halelor de compresoare și destinate controlului parametrilor ce caracterizează stația de comprimare în ansamblul ei.

Tabloul general monitorizează centralizat activitatea tablourilor locale, prelucrează automat și stochează datele obținute de la acestea, executând periodic teste pentru fiecare controler de mașină, în vederea depistării eventualelor anomalii apărute în funcționarea lor.

O parte din comenzile ce se pot da de către operator de la consola de operare a tabloului local, sunt disponibile și la nivel centralizat în cadrul tabloului general. **CONSOLA DE OPERARE A TABLOULUI GENERAL** este constituită dintr-un computer care poate fi, din punct de vedere hard, cu performanțe medii, având instalat un soft specific exploatarei compresoarelor de gaze naturale, configurabil în funcție de particularitățile fiecărei stații de comprimare. Această consolă de operare centrală, are practic trei funcții importante în cadrul tabloului general și anume:

- achiziția prin comunicare în timp real cu tablourile locale și prezentarea la dispeceratul stației de comprimare, a parametrilor tehnologici principali și a stării agregatelor, printr-o interfață grafică ușor accesibilă
- achiziția printr-un PLC propriu a parametrilor generali ai stației de comprimare (parametri care caracterizează stația în ansamblul ei și care nu sunt procesați de tablourile locale ale agregatelor)
- stocarea tuturor datelor achiziționate, pe anumite perioade de timp (3-6 luni)
- comunicarea cu dispeceratul central al sucursalei în vederea transmiterii parametrilor, sau recepționării de la acesta a unor comenzi destinate coordonării rețelei de gaze naturale.

În afara computerului care comunică digital cu procesul printr-o interfață serială, având de asemenea, un mod serial de prezentare a informației, tabloul general al stației, mai conține un panou sinoptic de operare executat în tehnologie analogică, cu prezentarea paralelă a informației, prin intermediul unor indicatoare digitale de parametri analogici cu intrare în semnal unificat de curent (4-20mA). Pe lângă aceste indicatoare, panoul sinoptic mai conține un ansamblu de elemente indicatoare de tablou binare, precum și diverse casete de semnalizare prin care principalele semnale discrete din proces sunt prezentate în mod paralel. Prin intermediul panoului sinoptic, operatorul poate transmite, în mod centralizat la nivelul stației și independent de programul de control automat, comenzi manuale asupra procesului condus, folosind o interfață reprezentată de elemente individuale de operare (butoane, chei comutatoare, etc).

După cum s-a specificat și mai sus, tabloul general, mai conține un controler de proces (PLC – TG, vezi anexele 6a și 6b), prin intermediul căruia se asigură atât achiziția parametrilor generali ai stației, cât și posibilitatea execuției unor comenzi automate, implementate prin logică programată, asupra instalațiilor tehnologice care deservește stația de comprimare în ansamblul ei (grup de robinete de izolare și depresurizare a stației, pompe de recirculare a apei de răcire, compresoare de aer tehnologic, etc.).

Se observă, că tabloul general al stației, nu se înscrie, într-un model convențional de cameră de comandă, bazat doar pe panouri sinoptice, dar nici în modelele de organizare și prezentare serială a informației de tip VDU (Video Display Unit), el fiind de fapt, un hibrid al acestora, ce cumulează avantajele ambelor tipuri. Astfel, semnalele de importanță majoră din proces sunt vizualizate și paralel, prin intermediul panoului sinoptic, iar comenzile principale sunt, de asemenea, prezente și pe panou, în mod paralel, evitându-se situațiile de pierdere a controlului procesului în cazul blocării

sistemului de control digital prin consola de operare (computer) și PLC. Pe de altă parte, prin intermediul consolei de operare și a PLC, tabloul general are avantajul prelucrării automate a tuturor datelor legate de funcționarea stației de comprimare, asigurând posibilitatea luării de decizii de comandă, atât prin soft, cât și prin intervenția operatorului.

De la dispeceratul sucursalei, prin intermediul rețelei INTRANET la care este conectată consola de operare generală, este posibilă vizualizarea datelor legate de funcționarea stației și chiar implementarea de comenzi automate sau manuale către aceasta. În plus, prin procesarea și stocarea automată a acestor date, apare posibilitatea efectuării unor analize pe termen lung a funcționării stațiilor de comprimare și a producției de gaz comprimat. Se creează astfel suportul tehnic de implementare a funcțiilor SCADA la nivelul rețelei interne a ROMGAZ.

În anexele 6a și 6b, se prezintă schemele bloc ale sistemului de automatizare și achiziție de date conceput, particularizate pentru cele două tipuri generale de agregate de comprimare. Sunt evidențiate elementele principale ale sistemului, precum și conexiunile logice și funcționale existente între blocuri, atât pentru cazul electrocompresoarelor cât și pentru cel al motocompresoarelor. Se poate observa că sistemul este unitar ca și structură, singurele diferențe care apar fiind elementele de execuție care sunt diferite pentru cele două tipuri de agregate de comprimare.

Schimbând programul din memoria controlerelor de mașină, a controlerului de proces al tabloului general PLC-TG și cel din consola de operare generală și utilizând senzorii, traductoarele și elementele de execuție adecvate, sistemul poate lucra cu orice tip de agregat de comprimare gaze indiferent de tipul acționării și caracteristicile sale tehnice.

3.5. ELABORAREA STRUCTURII ȘI A REGULILOR DE FUNCȚIONARE A SISTEMULUI CENTRALIZAT DE AUTOMATIZARE ȘI ACHIZIȚIE DE DATE CONCEPUT

3.5.1. Date inițiale

Pentru a se putea proiecta un astfel de sistem de automatizare s-a plecat de la semnalele de stare și parametrii ce necesită a fi prelucrați în stația de comprimare, de unde rezultă tipul și numărul traductoarelor și senzorilor, precum și numărul de canale de intrare și ieșire ale sistemului de prelucrare numerică a datelor, atât la nivel de agregat cât și la nivel de stație.

Pasul următor a fost alegerea platformei hard a sistemului de prelucrare numerică atât pentru partea de tablou local de automatizare a agregatelor cât și pentru partea de tablou general al stației de comprimare și adaptarea acestora la condițiile specifice mediului cu pericol de explozie.

Faza finală a lucrării a fost proiectarea și adaptarea părții de logică cablată, care să completeze echipamentele de prelucrare numerică astfel încât să confere sistemului de automatizare, siguranța în funcționare prevăzută de normativele specifice acestor tipuri de instalații tehnologice.

Alegerea și asamblarea echipamentelor s-a făcut ținând cont de zona în care acestea urmau a fi amplasate evitându-se folosirea echipamentelor în construcție normală, în zonele cu pericol de explozie. Acolo unde nu au existat echipamente cu certificare pentru funcționare în mediu cu pericol de explozie, acestea s-au executat prin aplicarea măsurilor specifice de capsulare și cablare a unor echipamente executate în construcție normală care permiteau acest lucru.

Ținând cont de faptul că interiorul halelor de compresoare, precum și zona de montaj a claviaturii de gaze a agregatelor de comprimare și a stației, sunt clasificate după CEI 79-10, NP099-04 și ATEX ca făcând parte din **zona 2**, rezultă că se pot utiliza tipurile de protecție Ex prevăzute în schemele bloc din anexele 6a și 6b, respectiv :

- capsulare antideflagrantă **Ex d**
- securitate mărită **Ex e**
- securitate intrinsecă **Ex i**
- capsulare presurizată **Ex p**

Din punct de vedere al clasei de temperatură a echipamentului, fiind vorba de mediu cu degajare de gaz metan având temperatura minimă de aprindere pe suprafață de 536°C [46], se va utiliza doar echipament a cărei clasă de temperatură este cel puțin T2 (corespunzător temperaturii maxime la suprafața echipamentului de 300°C).

Grupa de explozie a echipamentelor utilizate va fi cea corespunzătoare mediului de gaz metan adică IIA sau mai bună, respectiv IIB sau IIC.

Categoria ATEX a echipamentelor va fi cea corespunzătoare zonei 2 adică cel puțin II 3G.

3.5.2. Stabilirea parametrilor de funcționare ce trebuie achiziționați în cazul electrocompresoarelor de tip C260. Selectarea traductoarelor de măsură necesare

Pentru a se putea controla și comanda un electrocompresor de tip C260 a fost necesară studierea documentației acestor agregate [32], după care s-a putut scrie lista parametrilor necesari a fi achiziționați și prelucrați numeric de către tabloul local. În Anexa 7 se prezintă lista acestora precum și domeniile de măsură necesare pentru traductoarele de parametri utilizate.

Se observă că numărul de parametri ai agregatului de comprimare este relativ mare (47 din care doi se pot obține prin calcul), ceea ce înseamnă că sistemul de prelucrare numerică ce va fi implementat pentru execuția tabloului local va trebui să aibă minim 45 de canale de intrare analogice. Acest lucru implică utilizarea fie a mai multor convertoare analog numerice conectate la aceeași unitate de prelucrare numerică, fie a unui singur convertor analog numeric completat cu circuite de multiplexare analogică corespunzătoare. Datorită faptului că viteza de variație a semnalelor analogice este relativ redusă, fiind vorba de mărimi fizice cu variație, în general, lentă (presiuni, temperaturi, debite), s-a optat pentru varianta cu intrări analogice multiplexate.

Alegerea traductoarelor de parametri s-a făcut în așa fel încât acestea să se comporte unitar în raport cu circuitele de conversie analog numerică respectiv să livreze la ieșire același tip de semnal unificat. S-a ales semnalul unificat de curent 4-20mA din considerente legate de imunitatea la perturbații electromagnetice, ținând cont de faptul că lungimea cablurilor de legătură, în cazul stațiilor de comprimare, este de ordinul zecilor sau chiar sutelor de metri și traversează adesea zone comune cu cablurile de forță ale motoarelor și elementelor de execuție. Utilizarea semnalului 4-20 mA s-a impus și datorită faptului că, la un număr atât de mare de parametri se cerea utilizarea semnalelor unificate cu zero viu, pentru a se putea detecta automat situațiile de întrerupere a cablurilor de conexiuni sau de defectare a traductoarelor de parametri.

Pentru asigurarea posibilităților de configurare de la distanță a traductoarelor, acolo unde a fost posibil s-au folosit traductoare cu protocol de comunicație HART.

Pentru **achiziția presiunilor** s-au folosit traductoare de presiune piezorezistive cu ieșire 4-20 mA, configurabile prin protocol HART, cu alimentare în bucla de curent având domeniul tensiunilor de alimentare de 11- 36 Vcc, cu tip de protecție Ex d IIC T6 categoria ATEX II 3G.

Montarea traductoarelor de presiune s-a făcut local pe agregat, pentru evitarea utilizării conductelor de impuls care, datorită vibrațiilor compresoarelor, se pot fisura ducând la defecțiuni ale sistemului de automatizare sau degajări de gaz inflamabil. Din această cauză toate traductoarele utilizate au fost astfel alese încât să reziste în funcționare de durată la un nivel de vibrații de minim 2g [32].

În figura 3.6 se poate observa imaginea unui traductor de presiune instalat pe conducta de refulare a unui electrocompresor tip C260.

Pentru **achiziția temperaturilor** s-au folosit traductoare de temperatură tip termorezistență cu adaptor 4-20 mA, configurabile prin protocol HART, cu alimentare în bucla de curent, având domeniul



Fig. 3.6 Traductor de presiune cu ieșire 4-20 mA și protocol HART, în construcție Ex d IIC T6 instalat pe un electrocompresor tip C260

tensiunilor de alimentare de 11- 36 Vcc, cu tip de protecție Ex d IIC T6 categoria ATEX II 3G.

Din punct de vedere al locului de montaj, spre deosebire de traductoarele de presiune, acestea s-au montat local în punctele de măsură doar acolo unde acest lucru a fost posibil, existând situații, cum este cazul **măsurării temperaturii lagărelor de alunecare** ale mașinii, unde elementul sensibil al traductorului (sonda de măsură) s-a montat în interiorul carterului mașinii, iar carcasa adaptorului în afara acestuia.

În figura 3.7a se poate vedea modul de instalare a unui traductor de temperatură cu sondă locală, iar în figura 3.7b același tip de traductor dar cu sonda amplasată la distanță.

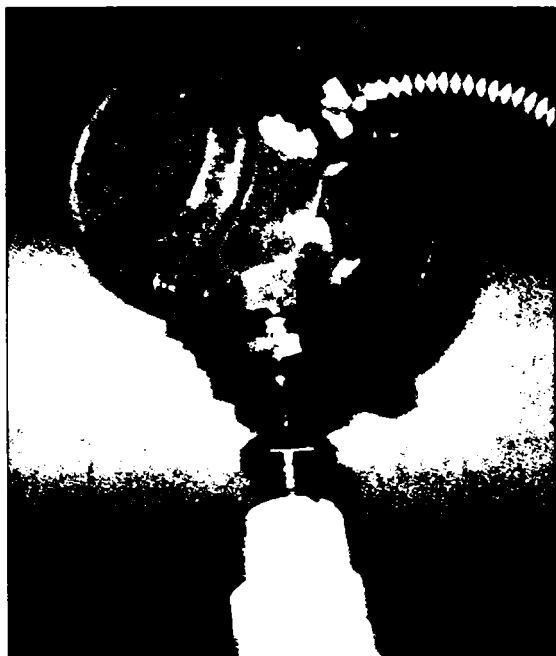


Fig. 3.7a Traductor de temperatură cu termorezistență și sondă locală, cu ieșire 4-20 mA și protocol HART, în construcție Ex d IIC T6 instalat pe un electrocompresor tip C260

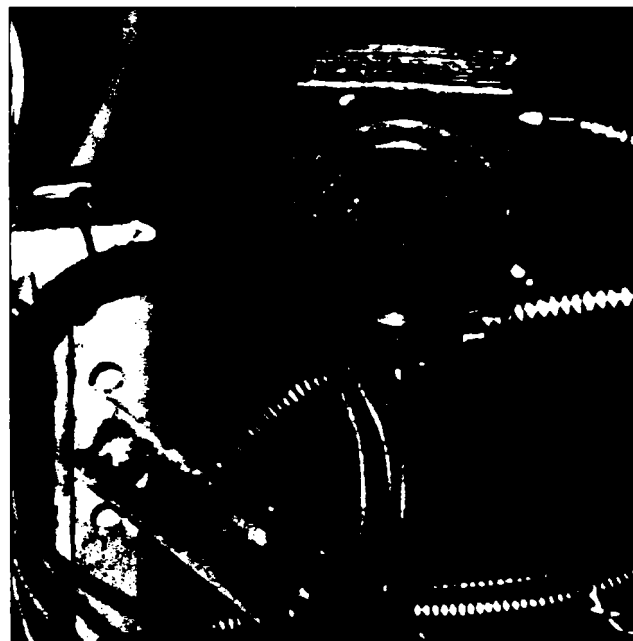


Fig. 3.7b Traductor de temperatură cu termorezistență și sonda la distanță, cu ieșire 4-20 mA și protocol HART, în construcție Ex d IIC T6 instalat pe un electrocompresor tip C260

Un caz special a fost achiziția **temperaturilor înfășurărilor motorului electric** deoarece, bobinajul acestuia fiind deja executat, nu se mai puteau monta sonde care să preia temperatura prin conducție termică. În această situație soluția aleasă a fost utilizarea unor traductoare de temperatură cu citire în infraroșu de tipul pirometrelor de radiație, dar care sunt capabile să livreze la ieșire un semnal unificat 4-20 mA. Deoarece aceste traductoare de temperatură nu se fabricau pentru utilizare în atmosferă potențial explozivă, s-a procedat la închiderea adaptoarelor de semnal unificat, împreună cu sursa de alimentare într-o carcasă aleasă astfel încât să confere întregului ansamblu un tip de protecție „securitate mărită” Ex e, conform SR-EN 50019. Acest lucru a fost posibil datorită faptului că partea de adaptor a traductoarelor nu conținea elemente care să producă scânteii sau încălziri periculoase în funcționare normală. Elementul sensibil cu citire în infraroșu, fiind prin construcție montat într-o carcasă înglobată în rășini epoxidice, s-a putut asimila cu tipul de protecție încapsulare Ex m conform SR-EN 50028. Din considerente economice s-a optat pentru montarea celor trei adaptoare de semnal unificat în aceeași carcasă Ex e. În figura 3.8a se poate observa imaginea unui ansamblu de trei adaptoare de semnal unificat împreună cu sursa lor de alimentare, iar în figura 3.8b modul de instalare a unui element sensibil corespunzător.



Fig. 3.8a Amplasarea adaptoarelor de semnal unificate pentru traductoarele de temperatură cu citire în infraroșu necesare achiziției temperaturilor înfășurărilor motorului electric sincron de acționare a unui electrocompresor tip C260



Fig. 3.8b Instalarea sondei de măsură pentru traductoarele de temperatură cu citire în infraroșu necesare achiziției temperaturilor înfășurărilor motorului electric sincron de acționare a unui electrocompresor tip C260

Achiziția vitezei de curgere a apei de răcire a compresorului s-a făcut cu ajutorul unui debitmetru electromagnetic cu ieșire 4-20 mA și protocol HART .

Debitmetrele electromagnetice se utilizează frecvent în cazul măsurării vitezei lichidelor cu conductibilitate electrică. Principiul de funcționare constă în producerea unui câmp electromagnetic variabil care străbate transversal curentul de lichid. Acest câmp se produce cu ajutorul a două bobine amplasate în afara tubului de măsură executat din material electroizolant. Pe direcția perpendiculară direcției câmpului se efectuează măsurarea tensiunii electromotoare induse în lichid. Această tensiune este culeasă cu ajutorul a doi electrozi montați asemenea transversal pe direcția de curgere și este o funcție de viteza de curgere a lichidului. Cunoscând secțiunea tubului electroizolant și viteza lichidului, se determină debitul volumetric. În figura 3.9 se prezintă imaginea unui debitmetru electromagnetic instalat pe circuitul de răcire al compresorului C260.



Fig. 3.9 Debitmetru electromagnetic cu ieșire 4-20 mA și protocol HART instalat pe circuitul de răcire al unui electrocompresor tip C260

Pentru **achiziția vitezei de curgere a aerului** de presurizare a motorului sincron, s-a folosit un traductor de debit pentru gaze cu ieșire 4-20 mA și protocol HART, funcționând pe principiul dispersiei termice. Acest principiu constă în amplasarea în interiorul curentului de gaz, a unui ansamblu de două traductoare de temperatură la distanță relativ redusă unul de celălalt, unul dintre acestea fiind încălzit de un element electric (prin efect Joule). Puterea disipată în elementul de încălzire este măsurată și controlată astfel ca diferența dintre temperaturile măsurate de cei doi senzori să fie constantă. Această putere este proporțională cu debitul masic de gaz care străbate spațiul dintre senzori.

Amplasarea în instalația tehnologică a unui traductor de debit cu dispersie termică se face asemănător cu amplasarea traductoarelor de temperatură cu sondă de măsură locală .

Pentru **achiziția concentrației de fum** în carcasa motorului, s-a folosit un detector de fum optic, în construcție Exi, a cărui ieșire a fost trecută printr-un adaptor 4-20 mA alimentat la 24 Vcc. Amplasarea senzorilor de fum s-a făcut în interiorul carcasei presurizate a motorului astfel ca orice degajare de fum în volumul interior al acestuia să poată fi detectată înainte ca pericolul de aprindere să se extindă spre exterior, respectiv în hala mașinilor .

Achiziția parametrilor electroenergetici ai motorului (curenți, tensiuni) s-a făcut prin preluarea semnalelor unificate de curent 4-20 mA, furnizate de tabloul de excitație statică, respectiv de celula întreruptorului, echipată cu un PLC specializat propriu.

Pentru **achiziția debitelor de ulei** ale punctelor de ungere ale lubricatorului a fost necesară numărarea picăturilor de ulei transferate în unitatea de timp de către acesta către fiecare din cele 8 puncte de ungere ale compresorului. Pentru a se păstra compatibilitatea cu celelalte semnale analogice de intrare a fost necesară utilizarea unor convertoare frecvență - semnal unificat, care să preia de la circuitele de control al picăturilor de ulei, existente pe ieșirile conductelor de impuls ale lubricatorului, semnalele de frecvență variabilă, de tip contact liber de potențial. Acestea sunt apoi convertite în semnale de curent cu domeniul 4-20 mA pentru a putea fi preluate de circuitele de achiziție ale sistemului de prelucrare numerică a datelor. Cunoșcând cantitatea de ulei aferentă unei picături și frecvența acestora s-a putut determina în condiții de temperatură date, debitul de ulei corespunzător unui punct de ungere în funcție de valoarea semnalului unificat de la ieșirea convertorului de frecvență.

Convertoarele de frecvență utilizate au tipul de protecție Ex ib, și sunt amplasate câte 8 unități, într-o carcasă cu tip de protecție securitate mărită Ex e.

Parametri prezentați în Anexa 7, furnizați de traductoarele descrise mai sus sunt aceiași pentru fiecare agregat din cadrul stației de comprimare a gazelor naturale. În această situație, dacă sistemul de automatizare și achiziție de date este structurat așa cum este el prezentat în Anexa 6a, se poate remarca faptul că este suficientă proiectarea instalației de automatizare pentru un singur agregat și amplasarea identică a acestuia pentru toate agregatele din stație. De asemenea pentru agregatele de același tip chiar și în situația în care acestea fac parte din stații de comprimare diferite rămâne valabil inclusiv programul din memoria controlerului de mașină.

Rămâne doar ca fiecare tablou local de automatizare să se conecteze la linia serială de date multiplexată care face legătura cu consola de operare a tabloului general (vezi Anexa 6a).

Ceea ce trebuie însă adaptat de la o stație de comprimare la alta este cea parte a sistemului de automatizare care realizează achiziția parametrilor generali, adică a acelor parametri care caracterizează stația în ansamblul ei și la care, chiar dacă tipurile de traductoare folosite sunt aceleași, numărul și amplasarea lor în teren diferă de la o stație la alta.

Pentru cazul concret al stației de electrocompresoare studiate lista parametrilor ce trebuie achiziționați și prelucrați de controlerul tabloului general (PLC-TG) se prezintă în Anexa 8.

Analizând lista amintită se poate observa că pentru o parte dintre parametri se pot utiliza traductoare de același tip cu cele folosite la achiziția parametrilor locali ai agregatelor (presiuni și temperaturi), iar pentru cealaltă parte cum este cazul nivelelor de ulei și apă, precum și al debitelor de ulei pentru alimentarea mașinilor se impune utilizarea unor traductoare adecvate mărimilor fizice respective. În acest sens, pentru **măsurarea nivelelor de lichide din rezervoare**, atât pentru ulei cât și pentru apă s-au ales traductoare care funcționează pe principiul radarului în ultrasunete, cu ieșire în semnal unificat de curent și configurabile prin protocol HART.

Principiul de funcționare al acestor traductoare este acela că traductorul emite un tren de impulsuri de ultrasunete printr-un element piezoelectric, impulsuri care se reflectă de suprafața lichidului întorcându-se la același element piezoelectric, care între timp devine receptor. Traductorul măsoară timpul de zbor al trenului de ultrasunete, și cunoscând proprietățile mediului de propagare, care se introduc la configurarea inițială, determină distanța până la suprafața lichidului. Această mărime este compensată în funcție de datele de montaj introduse la etalonarea traductorului și convertită în semnal unificat de curent proporțional cu nivelul de lichid din rezervor.

Avantajul major al utilizării acestor traductoare este acela că se pot monta în partea superioară a rezervoarelor și nu sunt sensibile la modificarea densității lichidului măsurat spre deosebire de cele care măsoară nivelul prin intermediul presiunii hidrostatice. În plus, la montaj nu este necesară golirea rezervorului, lucru aproape imposibil de realizat în unele cazuri.

În figura 3.10 se poate vedea imaginea unui traductor de nivel funcționând pe principiul descris mai sus.

Pentru măsurarea debitului volumetric în conducta de alimentare a carterelor compresoarelor s-a folosit câte un debitmetru cu efect Coriolis, de asemenea cu ieșire în semnal unificat de curent 4-20 mA și protocol de configurare HART. Principiul de măsură al acestor debitmetre este trecerea curentului de fluid prin două tuburi de măsură metalice, amplasate simetric și excitarea într-un anumit punct a acestora cu un electromagnet de curent alternativ la frecvența lor de rezonanță. Atingerea frecvenței de rezonanță a tuburilor se determină prin măsurarea amplitudinii oscilațiilor în două puncte diferite cu ajutorul unor senzori electrodinamici. Frecvența de rezonanță a celor două tuburi este o funcție de densitatea fluidului din interior, iar defazajul între cele două semnale este o funcție de debitul masic ce traversează tuburile. După cum se poate observa debitmetrele de acest tip măsoară direct debitul masic și densitatea fluidului, fiind capabile să calculeze debitul volumic.

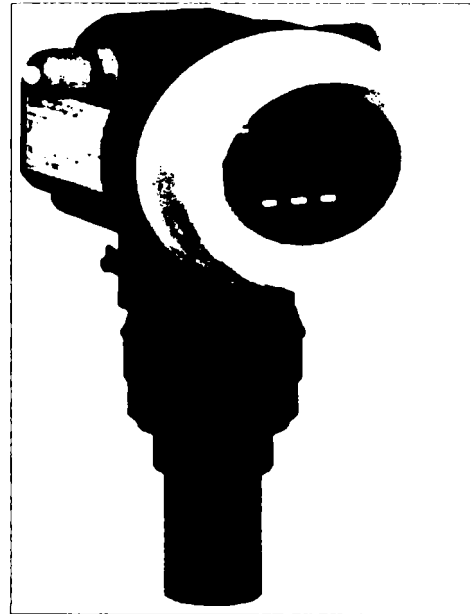


Fig 3.10 Traductor de nivel cu ieșire în semnal unificat funcționând pe principiul radarului în ultrasunete

3.5.3. Stabilirea parametrilor de funcționare ce trebuie achiziționați în cazul motocompressoarelor 10GKNA. Selectarea traductoarelor de măsură necesare

Sistemul centralizat de automatizare și achiziție de date a fost experimentat inițial pe un gazomotocompresor de tip 10GKNA. Pentru acest tip de agregat de comprimare lista parametrilor ce trebuie achiziționați și prelucrați de către tabloul local de automatizare al agregatului se prezintă în Anexa 9. După cum se observă lista este asemănătoare, din punct de vedere al mărimilor ce trebuie achiziționate, cu cea corespunzătoare electrocompresoarelor, dar există unele excepții cum sunt cele legate de măsurarea amplitudinii vibrațiilor și măsurarea turației mașinii. Pentru vibrații s-au folosit traductoare de accelerație cu ieșire în semnal unificat de curent cu domeniu de măsură fix (0-10g), în construcție Ex n, conform SR-EN50021, iar pentru achiziția turației s-a folosit același tip de convertoare frecvență – semnal unificat de curent ca și la măsurarea debitelor uleiului la lubricator, în cazul electrocompresoarelor. Acestea au fost programate corespunzător și echipate suplimentar cu senzori de proximitate, în construcție Exib conform SR-EN50020, pentru citirea turației pe circumferința unei roți dințate acționată de arborele cotit al mașinii.

De asemenea măsurarea temperaturii gazelor de evacuare a cilindrilor motor sa făcut utilizând traductoare de temperatură cu ieșire în semnal unificat, cu element sensibil de tip termocuplu deoarece domeniul de măsură depășea domeniul în care se mai puteau utiliza termorezistențe ca element sensibil.

Montarea traductoarelor de parametri în cazul motocompressoarelor s-a făcut similar cu situația de la electrocompresoare, evitându-se utilizarea conductelor de impuls. Se remarcă însă faptul că numărul de parametri ce trebuie achiziționați în acest caz este sensibil mai mare, motocompressoarele fiind agregate cu o complexitate mai.

Parametri generali ai stației de motocompresoare studiate se prezintă în ANEXA 10.

3.5.4. Stabilirea intrărilor digitale ale controlerului de mașină pentru cazul electrocompresoarelor tip C260

În Anexa 11 se prezintă lista semnalelor digitale de intrare ce trebuie prelucrate de controlerul de mașină pentru cazul electrocompresoarelor tip C260.

Primele 6 semnale provin de la butoanele consolei de operare locale și au următoarele semnificații :

B1: - activarea semnalului în faza de așteptare cu mașina oprită duce la inițierea secvenței de pregătire pentru pornire a programului, în restul fazelor de program prima activare a acestui semnal duce la anularea încărcării automate a mașinii, iar următoarea la revenirea la faza inițială

B2: - activarea semnalului când mașina este oprită duce la inițializarea programului controlerului de mașină, iar în restul fazelor duce la oprirea normală a mașinii

B3: - activarea semnalului inițiază secvența de testare automată a consolei de operare locale, iar când este activă o avertizare acustică cu memorare o anulează pe aceasta

B4: - activarea acestui semnal anulează pornirea automată a mașinii după terminarea secvenței de pregătire pentru pornire; reactivarea anulează prima acțiune

B5: - activarea acestui semnal duce la inițierea secvenței de defilare a parametrilor achiziționați, pe afișajul consolei de operare locale în sens crescător al numărului de ordine; la dezactivare rămâne afișat parametrul surprins la momentul schimbării stării semnalului

B6: - idem cu B5 dar defilarea se face în sens descrescător al numărului de ordine

Semnalele B7, B8, B9 și B10 provin de la limitatoare mecanice și contacte auxiliare ale elementelor de execuție și au următoarele semnificații :

B7: - indică poziția corect/greșit a manetei de rotire manuală a volantei mașinii

B8: - indică poziția acționat/neacționat a butonului de avarie al tabloului local

B9: - indică starea broșat cu CLP deschis a întreruptorului de 6kV

B10: - indică starea pornit a pompei de înaltă presiune din cadrul lubricatorului

Semnalele **B11 – B16** indică starea limitatorilor de capete de cursă ale robinetelor de pe claviatura mașinii (aspirație, refulare, by-pass, coș). În cazul robinetelor de aspirație și refulare semnalele au fost cumulate prin legare în paralel două câte două deoarece, în funcționare normală, cele două robinete sunt sau ambele închise, sau ambele deschise, orice altă combinație fiind considerată funcționare anormală.

Toate semnalele digitale descrise mai sus sunt de tip contact liber de potențial iar prelucrarea lor de către controler se face prin conversie prealabilă în semnal TTL.

3.5.5. Stabilirea intrărilor digitale ale controlerului de mașină pentru cazul motocompressoarelor de tip 10GKNA

În Anexa 12 se prezintă lista semnalelor digitale de intrare ce trebuie prelucrate de controlerul de mașină pentru cazul motocompressoarelor 10GKNA.

Se observă că numărul semnalelor de intrare este mai mic decât la electrocompresoare, și numai semnificația acestora diferă în parte. Acest lucru permite utilizarea aceluiași număr de intrări digitale pentru ambele situații de prelucrare a datelor.

Primele 6 semnale, în mod similar, provin de la butoanele consolei de operare locale și au următoarele semnificații:

B1: - activarea semnalului în faza de așteptare cu mașina oprită duce la inițierea secvenței de pregătire pentru pornire a agregatului, iar în faza de funcționare a mașinii, când este activat controlul automat al turației, activarea lui B1 duce la începerea secvenței de încărcare automată a mașinii prin închiderea în impulsuri a robinetului de by-pass; o nouă activare a acestui semnal în această fază de program duce la anularea primei acțiuni

B2: - activarea semnalului când mașina este oprită duce la inițializarea programului controlerului de mașină, iar în restul fazelor duce la oprirea normală a mașinii

B3: - activarea semnalului inițiază secvența de testare automată a consolei de operare locale, iar când este activă o avertizare acustică cu memorare o anulează pe aceasta

B4: - activarea acestui semnal după terminarea fazei de pregătire pentru pornire duce la inițierea secvenței de pornire a agregatului; după pornire controlerul mașinii activează în mod automat secvența control automat al turației; reactivarea semnalului B4 după această fază determină anularea controlului automat al a turației; reactivarea acestuia se face printr-o nouă activare a semnalului

B5: - activarea acestui semnal duce la inițierea secvenței de defilare a parametrilor achiziționați, pe afișajul consolei de operare locale în sens crescător al numărului de ordine; la dezactivare rămâne afișat parametrul surprins la momentul schimbării stării semnalului.

B6: - idem cu B5 dar defilarea se face în sens descrescător al numărului de ordine

Semnalele B8 și B10 au următoarele semnificații:

B8: - indică poziția acționat/neacționat a butonului de avarie al tabloului local

B10: - indică starea pornit a pompei de înaltă presiune a lubricatorului

Semnalele **B11 – B16** indică starea limitatorilor de capete de cursă ale robinetelor de pe claviatura mașinii și au aceeași semnificație ca și în cazul electrocompresoarelor.

Toate semnalele digitale descrise mai sus sunt de tip contact liber de potențial iar prelucrarea lor de către controler se face prin conversie prealabilă în semnal TTL, în mod identic cu situația de la electrocompresoare.

3.5.6. Stabilirea ieșirilor digitale ale controlerului de mașină pentru cazul electrocompresoarelor C260

În Anexa 13 se prezintă lista semnalelor digitale de ieșire ce trebuie furnizate de către controlerul de mașină pentru cazul electrocompresoarelor C260. Aceste semnale vor fi de tip „contact liber de potențial” și pentru flexibilitatea schemei, vor putea fi conectate în circuitele de comandă în două moduri: direct sau negat. În acest sens contactele vor fi de tip comutator (COM-ND-NI).

Semnificația semnalelor este după cum urmează :

C1: - activarea acestui semnal se face în faza premergătoare pornirii mașinii și duce la intrarea în funcțiune, pentru scurt timp, a excitatoarei statice în vederea verificării de către controlerul de mașină a funcționării corecte a acesteia; semnalul se mai activează după pornirea mașinii alimentând circuitul de excitație la momentul sincronizării (mașina pornește în asincron)

C2: - activarea acestui semnal se face în faza de funcționare cu mașina în sarcină completă și duce la trecerea excitatoarei statice pe regim automat (în acest regim curentul de excitație se autoreglează astfel ca factorul de putere al mașinii să se încadreze în anumite limite prescrise); semnalul se dezactivează automat la scoaterea din sarcină a mașinii

C4: - activarea acestui semnal comandă pornirea pompei auxiliare a agregatului; acest lucru se întâmplă fie în faza de pregătire pentru pornire când se face preungerea mașinii, fie în faza de după oprirea normală când se face postungerea

C5 și C6: - sunt semnale care activează semnalizările optică, respectiv acustică a tabloului local de automatizare

C7 și C8: - activarea acestor semnale comandă închiderea, respectiv deschiderea întreruptorului de 6kV al motorului de acționare a agregatului

C9: - activarea acestui semnal se face în faza premergătoare pornirii și comandă deschiderea vanelor de purjare ale motorului sincron cu tip de protecție „capsulare presurizată” (Ex p), în vederea efectuării „spălării” interiorului acestuia de eventualele acumulări de gaze apărute în perioada staționării mașinii; în funcție de modul de realizare a circuitului de purjare, pot exista situații în care este necesar un singur contact (când pentru purjarea motorului se folosește o singură vană), sau două contacte care lucrează simultan, atunci când se folosesc două vane de purjare

C10: - activarea acestui semnal pornește pompa de lubrificație a mașinii denumită și pompa de presiune înaltă, sau pompa de ungere cilindrii și totodată pornește ventilatorul de presurizare; fizic acest semnal se realizează cu ajutorul a două contacte care lucrează simultan, deoarece, din punct de vedere tehnologic, atât lubricatorul cât și ventilatorul de presurizare funcționează în același timp

C11-C16: - activarea acestor semnale, după cum reiese din Anexa 13, duce la închiderea sau deschiderea robinetelor de pe claviatura mașinii

3.5.7. Stabilirea ieșirilor digitale ale controlerului de mașină pentru cazul motocompressoarelor 10GKNA

În mod similar cu situația de la electrocompresoare, Anexa 14 prezintă semnalele digitale de ieșire pentru cazul gazomotocompressoarelor tip 10GKNA. Semnalele sunt de același tip ca și caracteristici electrice, dar semnificația lor este, în cea mai mare parte, diferită.

Pentru întrunirea condiției de interschimbabilitate a sistemului de automatizare și achiziție de date s-a procedat la păstrarea aceleiași poziții în listă a acelor semnale care erau identice pentru ambele tipuri de compresoare (vezi comenzile robinetelor de pe claviatura mașiniilor). Mai mult, acolo unde exista o oarecare corespondență logică între semnalele digitale de intrare și ieșire ale controlerului, s-a păstrat aceiași poziție atât în listele semnalelor de intrare cât și a celor de ieșire. Această logică de aranjare a simplificat mult elaborarea ordinogramelor de funcționare a sistemului, precum și testarea programelor atât pe simulator cât și în instalație.

Semnificația semnalelor din Anexa 14 este după cum urmează :

C1: - activarea acestui semnal se face în faza de demaraj și duce la alimentarea sistemului de aprindere a motocompresorului; semnalul rămâne activ atâta timp cât controlerul nu comandă oprirea agregatului din cauze ce țin de protecția automată a mașinii, sau datorită unei comenzi dată de operator de la consola de operare locală

C2: - activarea acestui semnal duce la modificarea poziției vanei de reglaj fin în sensul închiderii; închiderea vanei se face cu viteză constantă atât timp cât semnalul este activ

C3: - idem pentru deschiderea vanei de reglaj fin

C4: - semnalul are semnificație similară cu cea din cazul electrocompresoarelor

C5 și C6: - semnale au semnificație similară cu cea din cazul electrocompresoarelor

C7 și C8: - semnalele au semnificație similară cu C2, respectiv C3, dar pentru închiderea și deschiderea vanei de reglaj brut

C9: - activarea semnalului duce la pornirea demarorului pneumatic al agregatului de comprimare

C11-C16: - semnalele au aceeași semnificație cu semnalele similare din lista corespunzătoare electrocompresoarelor

3.5.8. Stabilirea semnalizărilor optice la consola de operare locală pentru cazul electrocompresoarelor C260

În afara semnalelor digitale și analogice descrise, pentru a se putea face un control riguros al agregatului de comprimare este nevoie și de un ansamblu de semnalizări optice prin care operatorul să poată lua la cunoștință diferitele acțiuni ale controlerului mașinii, precum și depășirea unor valori prescrise ale parametrilor de funcționare ai mașinii. Astfel pentru cazul electrocompresoarelor de tip C260 s-a folosit la construcția consolei de operare a tabloului local de automatizare, o „bară” de 32 de diode electroluminescente (LED). În dreptul fiecărei diode de semnalizare este gravată semnificația acesteia.

În Anexa 15 se prezintă semnificația fiecărei semnalizări de pe consola de operare, precum și modul de realizare a acesteia, pentru fiecare fază de funcționare a mașinii. Prima coloană reprezintă numărul curent al semnalizării și intrările digitale sau analogice de care aceasta este influențată. Coloana a doua reprezintă denumirea semnalizărilor, așa cum aceasta este gravată în dreptul fiecărui LED. Coloana a treia reprezintă semnificația fiecărei semnalizări, iar a patra coloană reprezintă modul de realizare a semnalizării pentru fiecare situație în parte. Această listă concentrează cele mai multe informații legate de funcționarea agregatului de comprimare și s-a elaborat pe baza documentației tehnice a fiecărui tip de agregat în parte, precum și a experienței de exploatare acumulată într-o perioadă de 20 de ani.

3.5.9. Stabilirea semnalizărilor optice la consola de operare locală pentru cazul motocompressoarelor 10 GKNA

În cazul motocompressoarelor s-a folosit același număr de LED-uri astfel încât, din punct de vedere constructiv, consola de operare este identică cu cea de la electrocompressoare. Semnificația semnalizărilor optice este diferită deoarece aceasta ține de caracteristicile tehnice de funcționare ale motocompressoarelor care diferă substanțial de cele ale electrocompressoarelor. În Anexa 16 se prezintă lista semnalizărilor optice pentru cazul unui motocompresor tip 10GKNA. Deoarece în acest caz denumirea semnalizărilor a putut fi dată astfel încât să conțină și semnificația acestora, în listă, cele două coloane au fost cumulate.

Se observă că în cazul motocompressoarelor semnalizările optice au putut fi grupate după logica de funcționare în patru categorii distincte: condiții de pornire (L1 – L11), indicatori de stare (L12 - L17), semnalizări (L18 – L21) și protecții (L22 – L32). Totuși deoarece numărul de semnalizări este același, atâta timp cât semnificația fiecărui LED este înscrisă în dreptul acestuia se poate folosi, din punct de vedere constructiv, aceeași consolă de operare pentru ambele aplicații.

3.5.10. Alegerea structurii informaționale a controlerului de mașină

Având în vedere datele de intrare și ieșire ale sistemului de prelucrare numerică necesar conducerii automate a procesului tehnologic la nivelul unui agregat de comprimare, s-a putut determina structura informațională a controlerului de mașină – elementul inteligent central al tabloului local de automatizare. Pentru ca acesta să poată fi utilizat fără modificări atât pentru automatizarea electrocompressoarelor cât și a motocompressoarelor, SPN ce va fi utilizat va conține :

a. Intrări analogice de curent 4-20 mA:

Sistemul va avea minim 64 intrări analogice echipate cu circuite de condiționare pentru semnal unificat 4-20 mA. Aceste intrări, provenind în cea mai mare parte de la traductoare de parametri cu alimentare în buclă, vor avea posibilitatea alimentării buclei de curent de la o sursă proprie de tensiune continuă de 24V, cu un curent total de minim 2 A. Sursa va avea protecție la supracurent și scurtcircuit, pentru a se evita defectarea acesteia în cazul scurtcircuitării accidentale a unui cablu de conexiune sau a defectării unui traductor.

Pentru achiziția celor 64 de semnale analogice, ținând cont de faptul că acestea sunt unipolare și cu variație lentă în timp (sub 1Hz), SPN utilizat va putea avea în structura sa un singur convertor analog numeric. Acesta va fi de tipul unipolar, cu aproximații succesive și va putea funcționa cu codificare a mărimii de intrare conform codului binar natural CBN (vezi relația (2.4.1.2)).

Odată ales, CAN va fi completat cu un multiplexor analogic de 16 canale. La fiecare din cele 16 canale de intrare rezultate se vor conecta ieșiri ale altor multiplexoare analogice de același tip, astfel încât să poată fi asigurat necesarul de intrări atât pentru cazurile concrete analizate, cât și pentru extensii ulterioare.

Pentru situațiile celor două tipuri de agregat de comprimare studiate se vor conecta 4 multiplexoare analogice, ceea ce asigură posibilitatea de achiziție a 64 de semnale.

Circuitele de multiplexare utilizate în cele două aplicații au fost de tipul MMC4067, iar pentru CAN s-a ales tipul ADC0804 (CAN pe 8 biți). Deoarece semnalul de la intrarea convertorului trebuie să fie în tensiune cu domeniul de variație 0-5 Vcc, pentru adaptare cu semnalul unificat de la intrarea multiplexoarelor, s-au folosit ca și circuite de condiționare rezistențe de 250 Ω , 0.5%, montate în paralel pe fiecare intrare.

În această configurație rezultă următoarea corespondență între valoarea parametrilor de intrare și valoarea numerică de la ieșirea CAN [25]:

$$x[um] = \frac{D}{204} * (B - 51) \quad (3.5.10.1)$$

Unde :

- x este valoarea parametrului în unități de măsură proprii
- D este domeniul de variație al parametrului, care corespunde cu domeniul traductorului de măsură
- B este valoarea semnalului numeric corespunzător lui x, cuprinsă între 0 ... 255
- 51 este valoarea numerică corespunzătoare zeroului viu
- 204 este plaja de ieșire a CAN pe care se codifică semnalul unificat 4-20mA

Rezoluția CAN este de 1LSB adică :

$$1LSB = \frac{20[mA]}{256} = 0.078mA \quad (3.5.10.2)$$

iar **eroarea de digitizare** este de:

$$e_{mA} = 0.5 * 1LSB = 0.039mA \quad (3.5.10.3)$$

ceea ce corespunde la o **eroare procentuală** de :

$$e_{mA\%} = \frac{0.039}{20} * 100 = 0.195[\%] \quad (3.5.10.3)$$

Datorită zeroului viu, conversia se face practic, cu rezoluție corespunzătoare porțiunii active a semnalului unificat adică pentru un domeniu de variație a semnalului numeric de $255-51=204$ unității ceea ce înseamnă o eroare de digitizare de [25] :

$$e_{par[\%]} = 0.5 * \frac{1}{204} * 100 = 0.245[\%] \quad (3.5.10.4)$$

În concluzie, făcând abstracție de erorile de neliniaritate ale CAN, care sunt mult mai mici se poate conta pe o achiziție a parametrilor de intrare de cu erori de maxim 0.25%.

b. Intrări digitale de tip TTL ale SPN

Sistemul de prelucrare numerică va avea minim 16 intrări digitale de tip TTL adaptate pentru semnale de tip contact liber de potențial aplicate față de masă. Aceste intrări vor fi protejate contra semnalelor parazite induse în conductoarele de legătură ale senzorilor la care se conectează.

c. Ieșiri digitale de tip contact ale SPN

Sistemul va fi echipat cu minim 16 semnale digitale de tip contact comutator liber de potențial capabile să preia și să comute tensiuni de până la 250 Vca la curenți de până la 8A.

d. Ieșiri digitale de tip TTL pentru semnalizări optice necesare SPN

Sistemul va avea posibilitatea de semnalizare optică pe minim 32 de LED-uri controlate prin programul ce va rula în unitatea centrală.

e. Interfețe de operare și comunicare

Pentru asigurarea unei comunicări comode a operatorului cu procesul condus este necesară crearea unei structuri de **consolă de operare** care conține un număr relativ redus de componente, dar suficient pentru a putea prezenta starea reală a mașinii la un moment dat. Această structură va da posibilitatea operatorului să conducă procesul tehnologic prin comenzi locale, asistat fiind de programul care rulează în SPN. Structura propusă va conține cele 32 LED-uri, de semnalizare, patru butoane de comandă cu contact normal deschis cu revenire pentru comenzi manuale, un afișaj alfanumeric și un comutator cu trei poziții cu reținere pentru selectarea parametrului ce va fi afișat.

Pentru comunicare cu un tabloul general de automatizare, SPN va avea posibilitatea comunicării prin interfață serială de tip RS232.

Având în vedere cele de mai sus rezultă că SPN pe baza căruia se va construi controlerul de mașină va putea avea structura informațională prezentată în figura 3.11.

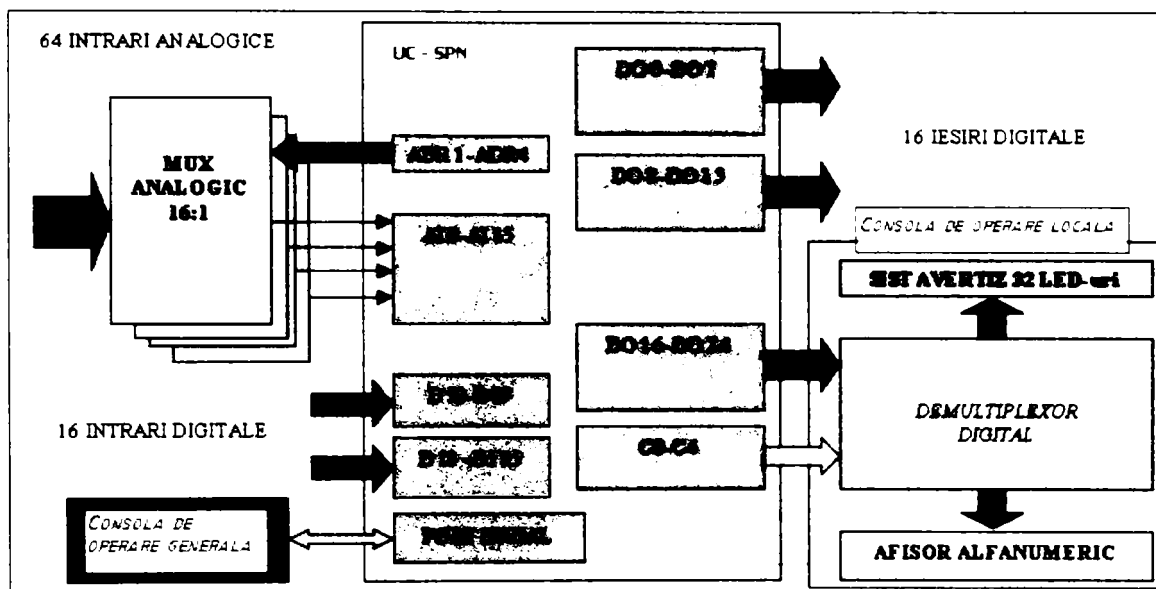


Fig.3.11 Structura informațională a sistemului minimal de prelucrare numerică necesar a fi utilizat la construcția controlerului de mașină al tabloului local de automatizare

Unitatea centrală face achiziția celor 64 de semnale analogice de la cele 4 multiplexoare 16:1 selectând canalele printr-o linie paralelă de adresare (ADR1-ADR4), preia prin intermediul a două linii paralele de 8 biți (DI0-DI7, DI8-DI15) cele 16 semnale de intrare digitale, livrează prin două linii paralele de 8 biți (DO0-DO7, DO8-DO15) cele 16 ieșiri digitale, comunică cu consola de operare locală prin intermediul unei linii paralele de 8 biți de date și 4 biți de comandă și cu consola de operare generală (tabloul general) prin intermediul unei linii seriale de comunicație de tip RS232.

Așa cum se poate observa în figura 3.11, structura internă a unității centrale permite implementarea configurației de intrare ieșire și comunicare necesare aplicației. Ea corespunde unui SPN realizat cu microcontrolerul ATMEL 89C52 și a fost selectată din literatura de specialitate [6], [63], [64], ca fiind cea mai potrivită pentru construcția controlerului de mașină, dar poate fi schimbată, dacă se respectă condițiile de intrare, ieșire, afișare și comunicare.

3.5.11. Structura constructivă a controlerului de mașină

Din punct de vedere constructiv, controlerul de mașină, în scopul asigurării posibilității de funcționare în mediu cu pericol de explozie, a fost realizat într-o structură de sistem cu siguranță intrinsecă, conținând pe lângă partea de achiziție și prelucrare numerică a datelor descrisă anterior, un bloc de bariere de siguranță format dintr-un ansamblu de module electronice, ce conțin siguranțe fuzibile ultrarapide, diode stabilizatoare Zenner și rezistoare cu peliculă metalică dimensionate corespunzător, care limitează energia ce poate trece spre componentele consolei de operare, la valori sub limita minimă de aprindere a amestecului exploziv, format din metan și aer, astfel încât consola de operare a putut fi realizată cu componente electrice și electronice pentru atmosferă normală.

Subansamblele controlerului de mașină și anume partea centrală de prelucrare numerică, sursele de alimentare a acesteia și a traductoarelor de parametri, multiplexoarele analogice și plăcile de ieșiri digitale cu relee capsulate, precum și partea de asigurare a securității la funcționare în mediu cu pericol de explozie, respectiv blocul barierelor de siguranță intrinsecă, s-au amplasat într-o carcasă cu capac și garnitură de etanșare având un grad normal de protecție IP 66 care asigură întregului ansamblu un tip de protecție securitate mărită, Ex e, conform SR-EN 50019. Toate conexiunile controlerului de mașină cu alte subansamble ale tabloului local de automatizare, precum și cu consola de operare locală s-au executat cu cabluri admise în zona 2 cu pericol de explozie, racordate la ambele capete prin intermediul unor presetupe cu inel de etanșare adecvate.

În figura 3.12 se prezintă o schiță a controlerului de mașină în care se pot observa părțile principale ale acestuia așa cum acestea au fost descrise mai sus.

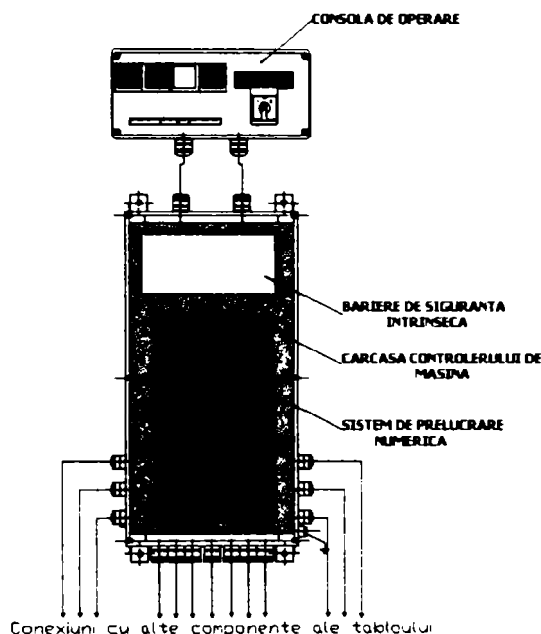


Fig. 3.12 Structura constructivă de sistem cu siguranță intrinsecă a controlerului de mașină conceput

3.5.12. Structura constructivă a consolei de operare locale

Așa cum s-a mai amintit consola de operare locală reprezintă dispozitivul prin care operatorul are acces local la conducerea procesului, fiind asistat de controlerul de mașină. În figura 3.13 se prezintă structura sa constructivă.

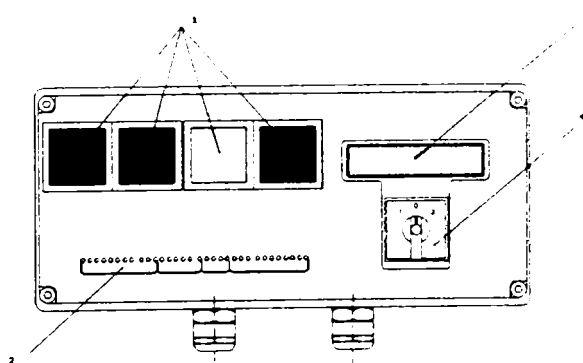


Fig. 3.13 Consola de operare a tabloului local de automatizare - dispozitiv de comunicare cu procesul condus prin intermediul controlerului de masină

Se remarcă structura de interfață om-mașină (HMI) deosebit de simplă și robustă adecvată condițiilor existente în zona de lucru a compresoarelor.

Butoanele de comandă cu revenire, 1, au semnificații logice stabilite prin program în funcție de faza de desfășurare a acestuia, generând o parte din semnalele prezentate în listele intrărilor digitale din anexele 11 și 12.

Bara de LED-uri, 2, conține cele 32 de semnalizări optice programabile cuprinse în listele corespunzătoare prezentate în anexele 15 și 16.

Afișajul, 3, de tip alfanumeric cu cristale lichide, având disponibile două rânduri de câte 16 caractere, face parte din sistemul de prelucrare numerică din figura 3.11 și asigură posibilitatea de vizualizare în timp real a parametrilor analogici achiziționați.

Comutatorul, 4, este cu trei poziții cu reținere și asigură posibilitatea de selectare manuală a parametrului dorit în modul următor :

- pe poziția „1” parametrii defilează pe afișaj în sensul descreșterii numărului de ordine al acestora cu frecvența de 1Hz
- pe poziția „2” parametrii defilează pe afișaj în sensul creșterii numărului de ordine al acestora cu frecvență de 1 Hz
- pe poziția „0” se reține ultimul parametrul afișat

Din punct de vedere constructiv consola de operare a fost realizată pentru asigurarea unui grad normal de protecție IP65, iar din punct de vedere al securității la explozie asigură un tip de protecție Ex ib, conform SR-EN 50020.

3.5.12. Structura constructivă a tabloului local de automatizare

Pentru a se putea realiza o instalație de automatizare a agregatului de comprimare, completă, cu funcționare sigură, pornind de la structura controlerului de mașină conceput, a fost necesară completarea acestuia cu o serie de componente periferice proiectate și executate tot pentru zona 2 cu pericol de explozie, componente prin intermediul cărora să poată fi făcută conectarea controlerului la procesul tehnologic.

În aceste condiții, impuse de specificul aplicației, a rezultat o structură constructivă și funcțională a tabloului local de automatizare pentru agregate de comprimare gaze naturale așa cum se poate observa în Anexa 17. Conform acesteia tabloul local de automatizare este alcătuit dintr-un dispozitiv electronic inteligent central, denumit “controler de mașină” ,1, executat în construcție antiexplozivă, la care se racordează printr-o cutie de conexiuni ,2, un ansamblu de traductoare electronice de parametri (presiuni, temperaturi, curenți ,vibrații ,turație, etc), cu ieșire în semnal unificat de curent. Toate traductoarele sunt racordate la cutia de conexiuni, prin cabluri adecvate, ecranate contra perturbațiilor electromagnetice. La rândul ei cutia de conexiuni ,2, se racordează la controlerul de mașină prin 4 cabluri cu 19 conductoare, de asemenea ecranate. Toate racordurile se fac prin introducătoare de cablu de tip presetupă cu inel de etanșare adecvate funcționării în mediu cu pericol de explozie .

În interiorul controlerului de mașină, semnalele electrice analogice provenite de la traductoarele de parametri sunt achiziționate și prelucrate numeric de un SPN și transmise prin două cabluri cu minim 16 conductoare, pentru afișare locală la consola de operare, 3 și printr-un cablu serial de date spre un computer aflat la distanță (tabloul general). Prin același cablu de date se pot primi semnale digitale de la computer, în vederea realizării comenzilor de la distanță asupra agregatului de comprimare prin intermediul controlerului de mașină.

În urma prelucrării numerice și a analizei logice a valorilor parametrilor conform unui program înscris în memoria controlerului de mașină, acesta ia în mod automat decizii și acționează asupra elementelor de execuție ale agregatului de comprimare (vanele de gaz combustibil și gaz comprimat, pompa de ulei, lubricator, întreruptoare, ventilatoare, demaror ,sistem de aprindere, etc.), prin

intermediul a două cutii cu contactoare și relee de suprasarcină ,4, în vederea menținerii funcționării agregatului de comprimare la parametri proiectați.

În afara posibilităților de acționare asupra agregatului de comprimare prin consola operator și computer, se mai poate interveni în funcționarea mașinii acționând direct asupra elementelor de execuție prin intermediul a două cutii pentru comenzi manuale ,9, în construcție antideflagrantă, precum și a două comutatoare ,10, amplasate local pe tablou. Comutatorul de regim ,11, asigură posibilitatea trecerii agregatului din regimul de funcționare automat, în care controlul funcționării este asigurat de controlerul de mașină, în regimul de funcționare manual în care controlul este "predat" operatorului uman și invers.

Alimentarea întregului tablou de automatizare se face printr-un transformator separator în construcție antideflagrantă ,12, echipat cu siguranțe fuzibile corespunzătoare amplasate în interiorul carcasei acestuia .

Prin intermediul unei lămpi de semnalizare ,13, și a unui claxon de avertizare (hupa) ,14, tabloul local poate executa avertizarea optică și acustică a personalului de exploatare în cazul acționării unor protecții sau în cazul ieșirii parametrilor din limitele normale.

Oprirea de avarie a agregatului de comprimare se face de la butonul de avarie ,15, iar opririle normale se fac de la consola operator sau de la distanță cu ajutorul computerului.

După alegerea tuturor echipamentelor și materialelor necesare execuției tabloului local de automatizare în conformitate cu cerințele de securitate la explozie s-a trecut la amplasarea acestora pe un stelaj astfel executat încât să asigure pe lângă robustețea specifică aplicațiilor de acest tip și o structură ergonomică, pe cât posibil utilizabilă în aceeași formă atât pentru electrocompresoare cât și pentru motocompresoare.

În figura 3.14 se prezintă un desen de amplasare a componentelor tabloului local pe un stelaj proiectat corespunzător.

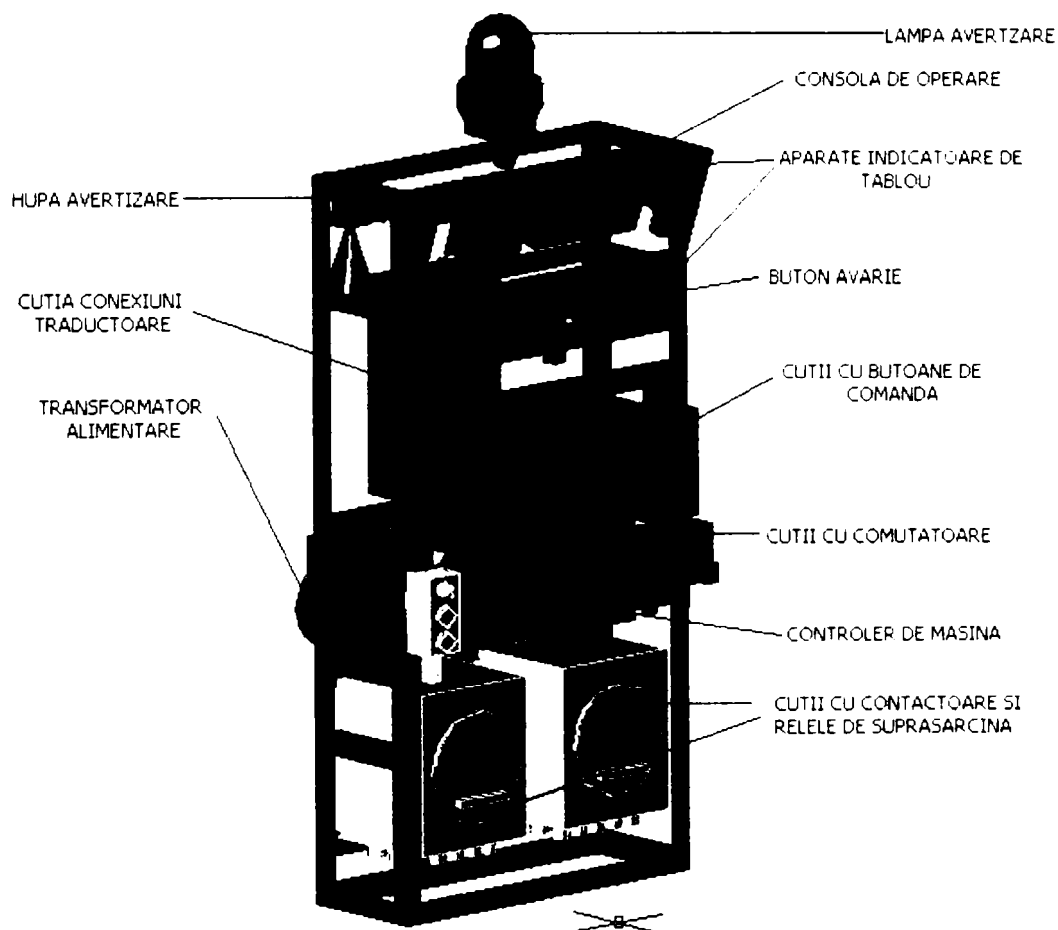


Fig. 3.14 Amplasarea componentelor tabloului local de automatizare pe un stelaj corespunzător

În Anexa 18 se poate vedea imaginea unui astfel de tablou de automatizare configurat pentru funcționare cu un electrocompresor C260, iar în Anexa 19, același tablou configurat pentru un motocompresor 10GKNA.

3.5.13. Structura constructivă a tabloului general de dispecerizare a unei stații de comprimare

Având în vedere schema bloc a SCAAD, prezentă în Anexa 6a, 6b, odată rezolvată problema automatizării locale a agregatelor de comprimare din stație s-a putut trece la realizarea părții de dispecerizare a acesteia, respectiv la realizarea tabloului general al stației.

După cum s-a mai arătat, rolul acestei părți a sistemului este de a procesa datele provenite atât de la tablourile locale de automatizare a agregatelor, cu care comunică printr-o linie serială de date de tip RS232 multiplexată, cât și de la un ansamblu de senzori și traductoare destinate controlului parametrilor ce caracterizează stația de comprimare în ansamblul ei.

Spre deosebire de situația întâlnită la realizarea tabloului local, în acest caz problema a fost mai simplă din punctul de vedere al securității la explozie, deoarece numai partea de traductoare și elemente de execuție s-a amplasat în mediu cu pericol de explozie, iar restul echipamentului, respectiv partea de prelucrare numerică a datelor, cea de afișare și comunicare cu sistemele ierarhic superioare conectate în structură de tip SCADA, precum și cea de comandă și control de la distanță a elementelor de execuție, s-a putut amplasa în afara zonei cu pericol de explozie, mai precis în camera dispecerului stației de comprimare (dispecerat local). Astfel cea mai mare parte din echipamentele electrice utilizate la realizarea tabloului general al stației au putut fi executate în construcție normală, cu un grad normal de protecție minim IP00.

Pentru achiziția datelor de intrare analogice și digitale provenite de la senzorii și traductoarele de parametri generali s-a utilizat un SPN de același tip cu cel utilizat la execuția controlerului de mașină care de data aceasta a fost amplasat într-o carcasă cu grad normal de protecție IP00, încastrată în panoul frontal al pupitrului de comandă și control al tabloului general.

Rolul consolei de operare din componența tabloului local de automatizare a putut fi preluat, în cazul tabloului general, de către un computer de tip IPC, compatibil IBM, care preia inclusiv informația provenită de la tablourile locale. Acest computer a fost denumit „consola de operare generală a sistemului”.

Fiind vorba de controlul și comanda unei stații de comprimare a gazelor naturale, a cărei instalații tehnologice, așa cum s-a mai amintit, prezintă pericol de formare a atmosferei explozive, acest lucru a trebuit avut în vedere și la concepția tabloului general. Astfel, pentru realizarea instalației de oprire de urgență a stației cu evacuarea gazelor la coș și izolarea acesteia de rețeaua exterioară de gaze (secvența de urgență a stației), s-a conceput o instalație automată de comandă și control care, pentru conformitate prescripțiile de securitate din Legea Protecție Muncii, funcționează cu logică cablată și este compusă dintr-un număr minim de componente electrice simple (siguranțe, comutatoare, contactoare și relee) care comandă direct acționările electrice ale robinetelor de pe claviatura generală a stației.

Toate comenzile către robinetele secvenței de urgență, precum și starea tuturor robinetelor pot fi achiziționate și transmise consolei de operare generale de către controlerul de proces, unde pot fi monitorizate suplimentar, memorate și transmise la distanță prin rețeaua INTRANET a Romgaz. De asemenea, controlerul de proces al tabloului general, poate comanda în mod automat sau prin comenzi primite de la consola generală de operare, diverse elemente de execuție din instalația tehnologică a stației de comprimare.

În Anexa 20 se prezintă imaginea unui tablou general de dispecerizare realizat conform celor descrise mai sus pentru o stație de comprimare echipată cu electrocompresoare de tip C260. Pentru motocompresoare structura tabloului general nu diferă semnificativ, singurele diferențe fiind lipsa unor indicatoare de mărimi electroenergetice de pe panoul sinoptic care sunt specifice electrocompresoarelor (vezi partea centrală a panoului sinoptic din Anexa 20).

În această structură tabloul general poate fi reprodus pentru orice stație de comprimare, având una sau mai multe hale de compresoare fără modificări esențiale la partea de execuție, deoarece majoritatea diferențelor se transferă în partea de soft a aplicației.

3.5.14. Elaborarea schemelor electrice pentru tabloul local de automatizare

După stabilirea structurii constructive și amplasarea componentelor tabloului local de automatizare s-a trecut la elaborarea schemelor electrice ale acestuia.

Chiar dacă tabloul are din punct de vedere constructiv aceeași structură pentru ambele tipuri de agregate de comprimare, în schema de principiu apar unele diferențe ce țin, în special de specificul elementelor de execuție care sunt mult diferite de la un tip de agregat la altul.

Pentru a se păstra compatibilitate totală între subansamblele tabloului local (TL) indiferent de agregatul automatizat, s-au realizat unele module tipizate care sunt identice pentru ambele aplicații dar se conectează în scheme în mod diferit. Un exemplu de astfel de subansamblu este modulul de comandă conținut în interiorul cutiilor cu contactoare și relee de suprasarcină care este același pentru ambele cutii (stânga și dreapta), precum și pentru ambele aplicații (electrocompresoare și gazomotocompresoare). Modulul conține 8 contactoare, un releu de timp și 4 relee digitale de suprasarcină. Aceste componente sunt conectate astfel încât folosind diverse moduri de legare a modulului în schema TL să se acopere toate situațiile întâlnite pentru comanda elementelor de execuție din instalațiile tehnologice ale compresoarelor avute în vedere.

În Anexa 21 se prezintă un exemplu de schemă electrică a tabloului local, elaborată pentru cazul unui electrocompresor de tip C260, iar în Anexa 22 un exemplu de schemă elaborată pentru un motocompresor de tip 10GKNA. În ambele scheme se pot distinge aceleași module și componente singura diferență fiind modalitatea de interconectare a lor. Acest lucru prezintă un important avantaj la montajul și întreținerea instalațiilor de automatizare care folosesc această soluție tehnică.

În Anexa 27 se prezintă în detaliu schema modulului de comandă cu contactoare și relee, iar în Anexa 28 o imagine a acestui modul instalat în interiorul cutiei antideflagrante. Conexiunile controlerului de mașină executate conform schemei electrice concepute se pot vedea în Anexa 29, iar cele ale cutiei de conexiuni ale traductoarelor în Anexa 30.

Datorită faptului că aceste tablouri sunt destinate funcționării în atmosferă potențial explozivă, pe lângă schemele electrice se impune și elaborarea schemelor de cablare a lor. Acestea sunt scheme care stabilesc modalitatea de racordare a cablurilor între diferite elemente în construcție antiexplozivă din structura TL, ținându-se cont de configurația și caracteristicile presetupelor de etanșare utilizate. În Anexa 23 se prezintă pentru exemplificare o schemă de cablare elaborată pentru electrocompresoare C260. Schema este similară pentru motocompresoare, singurele diferențe fiind cele legate de elementele de execuție ale sistemului.

3.5.15. Elaborarea schemelor electrice pentru tabloul general de dispecerizare

După cum s-a mai amintit tabloul general de dispecerizare al unei stații de comprimare este amplasat în zona neclasificată din punct de vedere al pericolului de explozie, deci poate fi construit cu echipamente și componente în construcție normală. Din această cauză schemele electrice de principiu sunt relativ clasice, cu deosebirea că la elaborarea lor se ține cont de prescripțiile legate de siguranța în funcționare a instalațiilor din mediul cu pericol de explozie deservite (de exemplu secvența de urgență pentru izolarea stației). Pentru exemplificare s-e prezintă în Anexa 24a...k o parte din schemele electrice elaborate pentru tabloul general al unei stații de comprimare (corespunzând unei hale de 6 compresoare C260), care conțin și partea corespunzătoare secvenței de urgență de izolare. Aceste scheme sunt similare pentru toate tipurile de stații de comprimare. Unele diferențe pot apărea doar atunci când diferă numărul de linii de aspirație-refulare ale stației.

3.5.16. Elaborarea programelor de automatizare a agregatelor de comprimare

Programele de automatizare a agregatelor de comprimare se înscriu în memoria controlerelor de mașină și sunt specifice fiecărui tip de compresor. Aceste programe se elaborează în funcție de parametri de intrare și ieșire ai controlerului de mașină, specifici fiecărei aplicații și în funcție de tipul de sistem de prelucrare numerică utilizat la construcția acestuia. Din această cauză este de importanță majoră descrierea cât mai detaliată a programului pentru fiecare aplicație în parte și elaborarea unei ordinograme corecte și complete pe baza căreia acesta să poată fi scris pentru orice tip de SPN utilizat.

În continuare se dă un exemplu de descriere a programului de comandă pentru un electrocompresor de tip C260, în conformitate cu parametri de intrare și ieșire prezentați în anexele 7, 11, 13, 15 :

Pornirea mașinii se face în gol după verificarea vizuală a instalației tehnologice din punct de vedere electric și mecanic. Operatorul va acționa butonul "PREGĂTIRE PORNIRE" de la consola operator, sau comanda similară de la calculatorul de proces. În acest moment controlerul mașinii începe rularea următoarei secvențe de program în concordanță cu lista parametrilor și a semnalizărilor optice corespunzătoare agregatului:

1. Verifică existența codului de blocare sau de avarie de la calculatorul de proces.
2. Verifică existența condițiilor mecanice de funcționare ale mașinii.
3. Verifică funcționarea corectă a tuturor senzorilor și traductoarelor de parametri.
4. Verifică tensiunea de alimentare de 6 kV la bornele întreruptorului de pornire (prezența pe faza S de $6 \text{ kV} \pm 10 \%$).
5. Verifică dacă au fost făcute mai mult de 3 porniri consecutive ale mașinii din starea rece sau două din starea caldă.
6. Comandă deschiderea vanelor de purjare ale motorului.
7. Activează ventilatorul de presurizare.
8. Activează lubricatorul.
9. Activează pompa auxiliară.
10. Verifică viteza de curgere a aerului de presurizare $> 4 \text{ m/s}$.
11. Verifică temperatura înfășurărilor statorice ale motorului $< 85 \text{ }^\circ\text{C}$.
12. Verifică temperatura lagărelor $< 65 \text{ }^\circ\text{C}$.
13. Verifică temperatura uleiului la ieșire din carter $< 60 \text{ }^\circ\text{C}$.
14. Verifică temperatura uleiului în carter $> 15 \text{ }^\circ\text{C}$.
15. Verifică temperatura gazului la refulare C1, C2 $< 95 \text{ }^\circ\text{C}$.
16. Verifică temperatura apei de răcire C1, C2 $< 50 \text{ }^\circ\text{C}$.
17. Verifică presiunea de aspirație $> 6 \text{ bar}$.
18. Verifică presiunea de refulare $< 60 \text{ bar}$.
19. Verifică presiunea și viteza apei de răcire la intrare în cilindri compresor $P > 1.5 \text{ bar}$, $v > 1 \text{ m/s}$.
20. Verifică presiunea uleiului în rampă $> 1.1 \text{ bar}$.
21. Verifică funcționarea corectă a lubricatorului (B10-activ și I32-I39 , în limite 10-90 %)
22. După 5 min comandă închiderea vanei de purjare a motorului.
23. Verifică presiunea aerului de presurizare $> 5 \text{ mmH}_2\text{O}$.
24. Activează comanda de testare a excitației motorului.
25. Verifică tensiunea de excitație (30- 80 V) și curentul de excitație (80-160 A).
26. Dacă toate condițiile de mai sus sunt îndeplinite activează avertizarea optică și acustică intermitentă locală, precum și lampa de semnalizare(LED) "PREGĂTIT PENTRU PORNIRE".
27. După 15 s dacă nu s-a acționat comanda "OPRIRE MAȘINĂ" sau "ANULARE DEMARAJ AUTOMAT", dezactivează comanda de testare a excitației și comandă anclanșarea întreruptorului de pornire a motorului.

28. După 3 s activează comanda de decuplare rezistenței de descărcare și cuplarea tensiunii de excitație pe înfășurarea de excitație a motorului.

29. Verifică valoarea curentului statoric al motorului $< 80 \text{ A}$.

30. Verifică presiunea uleiului în rampă $> 2.8 \text{ bar}$ și în caz favorabil dezactivează pompa auxiliară. Dacă presiunea uleiului în rampă după pornirea mașinii nu crește peste 2.8 bar , led-ul L29 (POMPA AUXILIARĂ ACTIVATĂ) semnalizează intermitent și mașina rămâne în această stare până la intervenția operatorului (se impune verificarea circuitului de ungere de joasă presiune).

31. Începe verificarea tuturor parametrilor conform tabelului cu semnalizări optice la consola operator.

32. După 60 s activează avertizarea optică și acustică locală intermitentă și lampa de semnalizare "PREGĂTIT PENTRU PUNERE ÎN SARCINĂ" și în cazul în care nu s-a acționat butonul "ANULARE ÎNCĂRCARE AUTOMATĂ" sau butonul "OPRIRE MAȘINĂ", inițiază secvența de punere automată în sarcină a mașinii. Oprirea acestei secvențe poate fi făcută de către operator prin apăsarea butonului "ANULARE ÎNCĂRCARE AUTOMATĂ" de pe consola operator. Punerea în sarcină automată se face de către controler prin comanda la închidere a robinetului de by-pass, în impulsuri cu durata de 3 s și pauza de 3 s, până la închiderea completă a robinetului confirmată de intrarea digitală B13 (NI-DESCHIS).

33. Verifică și reglează tensiunea și curentul de excitație la valoarea de mers în sarcină a motorului (54-65V, 145-155A).

34. După încărcarea completă dezactivează avertizarea optică, cea acustică și lampa de semnalizare "PREGĂTIT PENTRU PUNERE ÎN SARCINĂ" (LED26).

În continuare controlerul urmărește toți parametri de funcționare în conformitate cu lista semnalizărilor optice, avertizând optic și acustic orice ieșire din limitele normale, oprind agregatul atunci când se depășesc limitele de avarie. Orice protecție care acționează va fi semnalizată și memorată pe consola operator. Controlerul transmite la calculatorul de proces în fiecare secundă situația mașinii caracterizată prin datele de intrare și ieșire ale acestuia.

Oprirea normală a electrocompresorului este executată de către operator și se desfășoară după cum urmează:

- se scoate mașina din sarcină prin acționarea butonului de deschidere a robinetului de by-pass de pe tabloul local
- se oprește mașina prin acționarea butonului "OPRIRE MAȘINĂ" de pe consola operator sau a butonului similar de la calculatorul de proces
- după oprire controlerul deschide automat robinetul de by-pass al mașinii și activează pompa auxiliară, păstrând activate lubricatorul și ventilatorul de presurizare
- după 5 minute dezactivează pompa auxiliară, lubricatorul și ventilatorul de presurizare

Oprirea de avarie a mașinii se realizează prin apăsarea butonului "OPRIRE DE AVARIE" de la tabloul local prin care se comandă independent de controler decuplarea contactorului de 6 kV, blocarea excitației și scoaterea de sub presiune a circuitului de gaz al compresorului, pornirea pompei auxiliare, a ventilatorului de presurizare și a lubricatorului.

Ambele tipuri de oprire se pot comanda și de la computerul de proces din cadrul tabloului general al stației.

Corespunzător acestei descrieri a programului a fost elaborată ordinograma prezentată în Anexa 25.

În Anexa 26 se prezintă un exemplu de secvență de program în concordanță cu ordinograma din Anexa 25, scris în limbaj de asamblare pentru cazul utilizării la realizarea controlerului de mașină a unui SPN bazat pe microcontrolerul AT89C52.

Acest exemplu de program a fost experimentat la Stația de Comprimă Mureș, în anul 2005, iar la această oră funcționează cu unele îmbunătățiri, asigurând un control riguros al funcționării celor 12 agregate C260 din dotarea stației.

3.6. OPTIMIZAREA PROCESULUI DE PORNIRE A AGREGATELOR DE COMPRIMARE DE TIP ELECTROCOMPRESOR

3.6.1. Probleme legate de pornirea electrocompresoarelor

Aggregatele de comprimare de tip electrocompresor sunt în general acționate cu motoare sincrone de turație redusă (tipic 375 rpm), având puteri cuprinse în domeniul 400 – 5000 kW, alimentate la 6 kV.

Motorul sincron prezintă, comparativ cu alte mașini, avantajul că nu consumă putere reactivă - inductivă din rețea dacă este excitat corespunzător, iar dacă este supraexcitat poate deveni furnizor de putere reactivă în rețea. În cazul compresoarelor cu pistoane, motoarele sincrone prezintă avantajul menținerii în mod natural a unei turații constante, care depinde doar de frecvența tensiunii de alimentare, ceea ce duce la debite de gaz comprimat constante în condiții de temperatură și presiune date. Ca dezavantaje se pot aminti necesitatea curentului continuu pentru alimentarea excitației, posibilitățile reduse de modificare a turației, scheme de comandă complicate și posibilitatea apariției pendulărilor la variația bruscă a sarcinii. Cum sarcina compresoarelor de gaze cu pistoane este relativ constantă sau se modifică lent în timp, rezultă că motorul sincron este una din cele mai convenabile soluții de acționare a acestor agregate.

Caracteristica mecanică a mașinii sincrone alimentată la frecvență constantă f este o dreaptă paralelă cu axa cuplului, viteza unghiulară în regim stabilizat fiind dată [62] de expresia :

$$\Omega_0 = \frac{2\pi * f}{p} \quad (3.6.1.1)$$

unde p este numărul de perechi de poli ai mașinii.

Din expresia vitezei unghiulare se poate deduce turația mașinii sincrone ca fiind :

$$n = \frac{f}{p} \quad (3.6.1.2)$$

respectiv

$$n = \frac{60 * f}{p} \quad [\text{rpm}] \quad (3.6.1.3)$$

Cuplul dezvoltat de mașina sincronă se poate deduce [44] din relația :

$$P = M * \Omega_0 \quad (3.6.1.4)$$

Considerând neglijabile pierderile în fier și în bobinaj, aproximație destul de frecventă la mașinile de putere mare, puterea electrică P se poate considera ca fiind :

$$P \cong m * U * I * \cos \varphi \quad (3.6.1.5)$$

cu m = numărul de faze ale mașinii, iar φ unghiul dintre fazorul tensiunii la borne \underline{U} și cel al curentului \underline{I} al fazei statorice corespunzătoare. Rezultă astfel relația cuplului mașinii sincrone ca fiind:

$$M = \frac{m * U * I * \cos \varphi}{\Omega_0} \quad (3.6.1.6)$$

Peste o anumită valoare M_k a sarcinii, mașina sincronă iese din sincronism și se oprește [62].

În scopul aprecierii posibilității de încărcare a mașinii sincrone se folosește caracteristica mecanică unghiulară, definită ca dependența dintre cuplul M al mașinii sincrone și unghiul intern θ între tensiunea de alimentare \underline{U} și tensiunea electromotoare \underline{U}_e , determinată de fluxul inductor al mașinii (fig. 3.15).

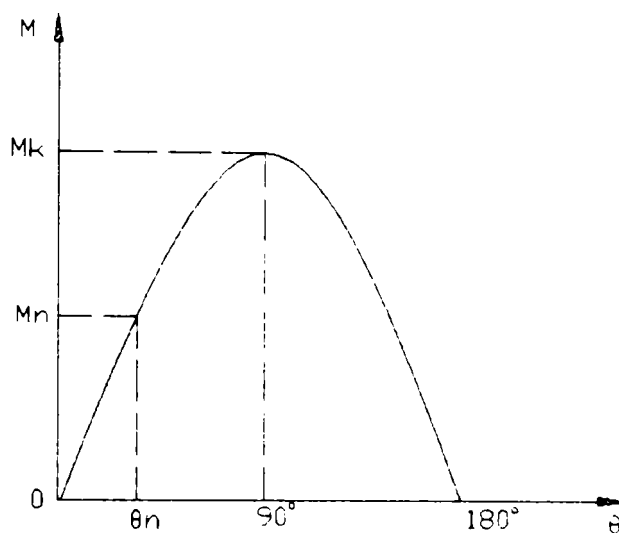


Fig. 3.15 Caracteristica mecanică unghiulară a mașinii sincrone cu poli plini

În figura 3.16 se poate observa o diagramă fazorială simplificată a mașinii sincrone în care se deosebesc trei unghiuri caracteristice după cum urmează :

- 1) unghiul de sarcină sau unghiul intern θ , între fazorul t.e.m. \underline{U}_e și fazorul tensiunii la borne \underline{U}
- 2) unghiul de defazaj φ , dintre fazorul tensiunii la borne \underline{U} și curentul de sarcină \underline{I}
- 3) unghiul de defazaj interior ψ , dintre fazorul t.e.m. \underline{U}_e și curentul de sarcină \underline{I}

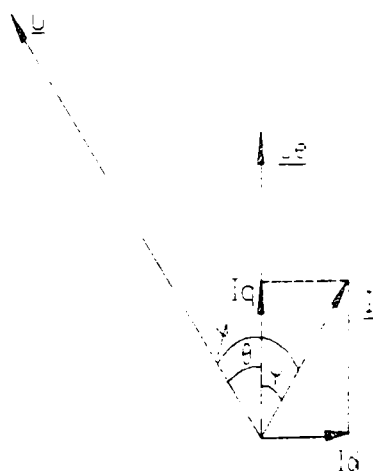


Fig. 3.16 Diagrama fazorială simplificată a mașinii sincrone

Cuplul mașinii sincrone cu poli plini [62] exprimat în funcție de unghiul intern θ este:

$$M = \frac{m \cdot U_c \cdot U}{\Omega_0 \cdot X_s} \cdot \sin \theta = M_k \sin \theta \quad (3.6.1.7)$$

unde M_k este valoarea maximă a cuplului, care are loc la $\theta = 90^\circ$ (fig 3.15)

La mașina cu poli aparenti datorită diferenței valorilor reactanțelor după cele două axe d și q, ecuația caracteristicii mecanice unghiulare conține doi termeni după cum urmează [62] :

$$M = M'_k \cdot \sin \theta + M''_k \cdot \sin 2\theta = M' + M'' \quad (3.6.1.8)$$

Primul termen M' , reprezintă componenta principală a cuplului electromagnetice al mașinii, care depinde de tensiunea electromotoare \underline{U}_c , iar cel de-al doilea reprezintă componenta reactivă care nu depinde de excitație ci de diferența dintre cele două reactanțe (X_d și X_q) [44].

Caracteristica mecanică unghiulară a mașinii sincrone cu poli aparenti se prezintă în figura 3.17

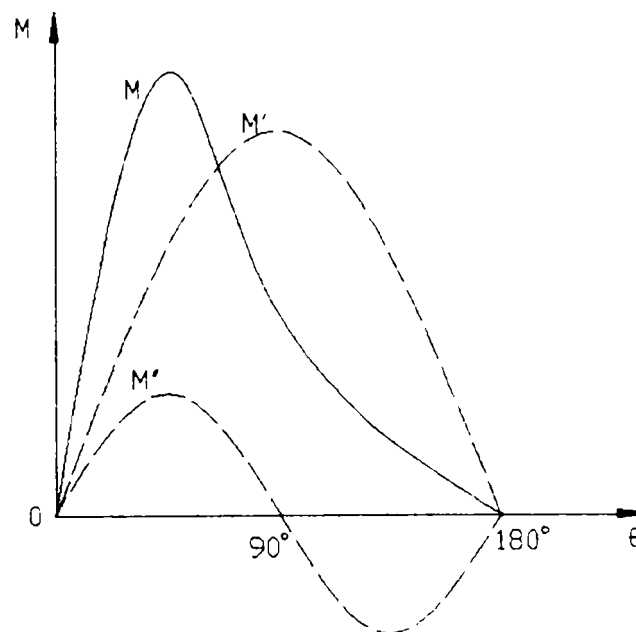


Fig. 3.17 Caracteristica mecanică unghiulară a mașinii sincrone cu poli aparenti

Cuplul nominal al mașinii sincrone se stabilește astfel încât să corespundă unui unghi $\theta = 20^\circ$... 30° rezultând un raport:

$$\frac{M_k}{M_n} = \frac{1}{\sin \theta} = 2 \div 3 \quad (3.6.1.9)$$

Pornirea motorului sincron se face în două etape și anume: în prima etapă se mărește viteza mașinii de la zero la o valoare cât mai apropiată de cea sincronă Ω_0 ; în a doua etapă se realizează sincronizarea vitezei mașinii cu frecvența rețelei de alimentare, adică se mărește viteza de rotație Ω la valoarea Ω_0 . Pornirea se poate realiza prin diferite procedee dintre care cel mai răspândit, care se utilizează și în cazul agregatelor de comprimare, este pornirea în asincron.

Prima etapă a pornirii agregatului de comprimare se realizează cu compresorul în gol (sarcina mașinii electrice fiind de cca 10% din cea nominală). Mașina sincronă pornește în asincron cu ajutorul coliviei montată în tălpile polare. Pentru pornire, mașina sincronă se conectează la rețea cu înfășurarea

de excitației nealimentată cu tensiune și conectată la o rezistență denumită de obicei rezistență de pornire (R_p) sau rezistență de descărcare.

După ce viteza a ajuns aproape de cea de sincronism, corespunzând unei alunecări $s < 0.05$, se deconectează rezistența de descărcare și se cuplează înfășurarea de excitație a mașinii la bornele unei surse de curent continuu. În cazul agregatelor de comprimare această sursă este la ora actuală excitatoarea statică cu tiristoare.

Din momentul conectării înfășurării de excitație la sursa de c.c. până la atingerea vitezei sincrone, respectiv a funcționării stabilizate, are loc a doua etapă a procesului tranzitoriu de pornire.

Intrarea în sincronism are loc cu atât mai ușor cu cât, în momentul stabilirii curentului prin înfășurarea de excitație, alunecarea s și cuplul rezistent M_R sunt mai mici, iar valoarea unghiului intern θ este mai apropiată de zero.

3.6.2. Caracteristici tehnice ale motorului de acționare pentru electrocompresorul C260

În cazul agregatelor de tip C260, motoarele sincrone de acționare au următoarele caracteristici tehnice [32] :

- Putere nominală: $P_n = 810 \text{ kW}$
- Turație nominală: $n_n = 375 \text{ rpm}$
- Frecvență nominală: $f_n = 50 \text{ Hz}$
- Tensiune de linie statorică nominală: $V_n = 6 \text{ kV}$
- Curent nominal statoric: $I_n = 92 \text{ A}$
- Factor de putere nominal : $\cos \varphi_n = 0,9 \text{ cap}$
- Randament nominal: $\eta_n = 0,94$
- Conexiune statorică: Y
- Borne de legătură : 6
- Tensiunea de excitație la sarcină nominală: $V_{e_n} = 63,5 \text{ V}$
- Curentul de excitație la sarcină nominală: $I_{e_n} = 150 \text{ A}$
- Tensiunea de excitație la mers în gol: $V_{e_g} = 39,2 \text{ V}$
- Curentul de excitație la mers în gol: $I_{e_g} = 92,5 \text{ A}$
- Cuplul de pornire la tensiunea nominală: $M_p = 1,03 M_n$
- Curentul de pornire la tensiunea nominală: $I_p = 4,95 I_n$
- Moment inerție rotor: $J_r = 560.095 \text{ Nm}^2$
- Moment de inerție rotor plus compresor $J_{rc} = 861 \text{ Nm}^2$:
- Alunecare maximă la care mai este posibilă sincronizarea: $s_{\max} = 0,045$
- Cuplul maxim în asincron: $M_{\text{Max as}} = 1,95 M_n$
- Alunecare în asincron cu compresor în gol: $s_g = 0,018$
- Cuplul maxim în sincronism: $M_k = 2 M_n$
- Cuplul rezistent la pornire cu compresorul în gol: $M_{rg} = 4900 \text{ Nm}$
- Rezistența înfășurării statorice : $R_s = 0.5 \Omega$
- Inductanța de magnetizare după axa d : $L_{dm} = 0.09 \text{ H}$
- Inductanța de magnetizare după axa q : $L_{qm} = 0.09 \text{ H}$
- Inductanța de dispersie din stator: $L_{ssig} = 0.011 \text{ H}$
- Inductanța de dispersie a coliviei raportată la stator după axa d : $LD_r = 0.011 \text{ H}$
- Inductanța de dispersie a coliviei raportată la stator după axa q : $LQ_r = 0.011 \text{ H}$
- Inductanța de dispersie a înfășurării de excitație: $LE_{sig} = 0.05 \text{ H}$
- Inductanța de cuplaj de dispersie între excitație și colivie după axa d : $LED = 0.001 \text{ H}$
- Factorul de raportare a excitației la stator $k_e = 2.294$
- Rezistența coliviei de pornire după axa d, raportată la stator: $RD_r = 1 \Omega$
- Rezistența coliviei de pornire după axa q, raportată la stator: $RQ_r = 1 \Omega$

- Rezistența circuitului de excitație la pornire: $R_{exp} = 4.2 \Omega$
- Rezistența înfășurării de excitație: $R_{ex} = 0.4237 \Omega$

Pornirea mașinii sincrone se face în asincron, cu compresorul în gol, prin cuplare la rețeaua de alimentare având în circuitul de excitație o rezistență totală de cca 4.2Ω .

În cartea compresorului C260, proiectantul prezintă valoarea timpului de pornire cu compresorul în gol ca fiind 1.83 s [32]. Pentru verificarea și optimizarea acestui timp am recurs la simularea funcționării ansamblului motor sincron – compresor în gol, prin utilizarea modelului matematic al ansamblului, plecând de la modelul ortogonal fizic (MOF), particularizat pentru mașina sincronă trifazată amintita mai sus. Simularea a fost făcută prin implementarea ecuațiilor mașinii într-un program realizat în mediul de programare MATLAB Simulink.

3.6.3. Modelul ortogonal fizic al unei mașini electrice (MOF)

În scopul facilitării studiului mașinilor electrice în regim tranzitoriu, în literatura de specialitate există mai multe procedee generale de tratare matematică a acestora.

O metodă naturală ar fi considerarea mașinii ca un sistem de bobine în mișcare relativă, ale cărui ecuații se rezolvă direct în coordonatele fazelor în domeniul timp [8]. Aplicarea acestei metode este dificilă deoarece o parte din inductanțele circuitelor electrice cuplate depinde de poziția rotorului și deci de timp și din această cauză nu se pot obține, în general, soluții explicite pentru sistemele de ecuații diferențiale ale mașinii.

Introducerea modelelor de circuit – ortogonal, al fazorilor spațiali și al fazorilor spirali – se poate realiza fie prin transformări de coordonate, fie pe baze fizice (fenomenologice).

În cele ce urmează se introduce un model ortogonal fizic (MOF) [8], care prin particularizare este echivalent, din punct de vedere al conversiei energiei, pe rând, cu mașina sincronă, de inducție și cea cu colector. Acest model se numește *fizic* deoarece poate fi construit și testat. MOF este prevăzut cu înfășurări cu colector, cu periile după două axe ortogonale în stator și în rotor. În stator sunt două astfel de înfășurări (d și q) iar în rotor trei (două după axa d adică D și E și una după axa q adică Q).

Periile tuturor acestor înfășurări sunt aliniată după cele două axe ortogonale, solidare mecanic și rotite cu turația oarecare ω_b de către un servomotor. Se știe că axa câmpului magnetic al unei înfășurări este axa periilor deci câmpurile magnetice ale fiecăreia din înfășurări sunt maxime după axa periilor și în repaus relativ în orice regim de funcționare.

Pe de altă parte, conductoarele înfășurărilor statorice sunt în repaus, iar cele rotorice sunt solidare cu rotorul aflat la turația ω_r , deci tensiunile induse prin rotație sunt, în stator proporționale cu ω_b , iar în rotor cu $\omega_b - \omega_r$.

Dacă mașina electrică are reluctanță variabilă pe rotor, cum este cazul mașinii sincrone, pentru simulare este necesar ca periile să fie solidare cu rotorul adică $\omega_b = \omega_r$ și aliniată după axele d și q, pentru a obține inductanțe independente de poziția rotorului.

Dacă mașina are întrefier uniform, cum este cazul mașinii de inducție, orice valoare ω_b a turației periilor conduce la inductanțe independente de poziția rotorului.

Dacă statorul este cu reluctanță variabilă, cum este cazul mașinii cu colector, pentru ca toate inductanțele să fie independente de poziția rotorului trebuie ca ω_b să fie zero, adică periile să fie fixe [8].

În toate cele trei cazuri se obține, pentru MOF, un sistem de ecuații diferențiale cu coeficienți constanți.

Colectoarele cu perii reprezintă de fapt implementarea fizică a transformărilor de coordonate.

MOF discutat aici este idealizat în sensul că se neglijează armonicile spațiale ale solenațiilor și câmpurilor magnetice ale tuturor înfășurărilor modelului și în consecință și cele ale mașinilor reale reprezentate. În plus se neglijează pierderile în fier.

În figura 3.18 se prezintă o schiță a MOF cu notațiile aferente pentru mărimile descrise mai sus.

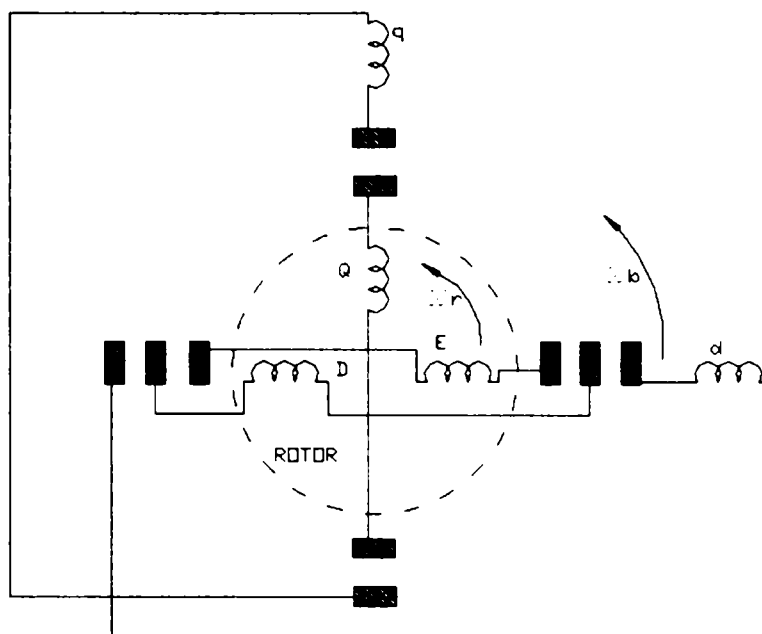


Fig. 3.18. Modelul ortogonal fizic al unei mașini electrice

Pentru scrierea ecuațiilor MOF se prezintă în figura 3.19, schema echivalentă a acestuia fără perii dar cu sistemul de referință rotitor cu ω_b . Astfel câmpurile magnetice după axele d și q se rotesc de asemenea cu ω_b .

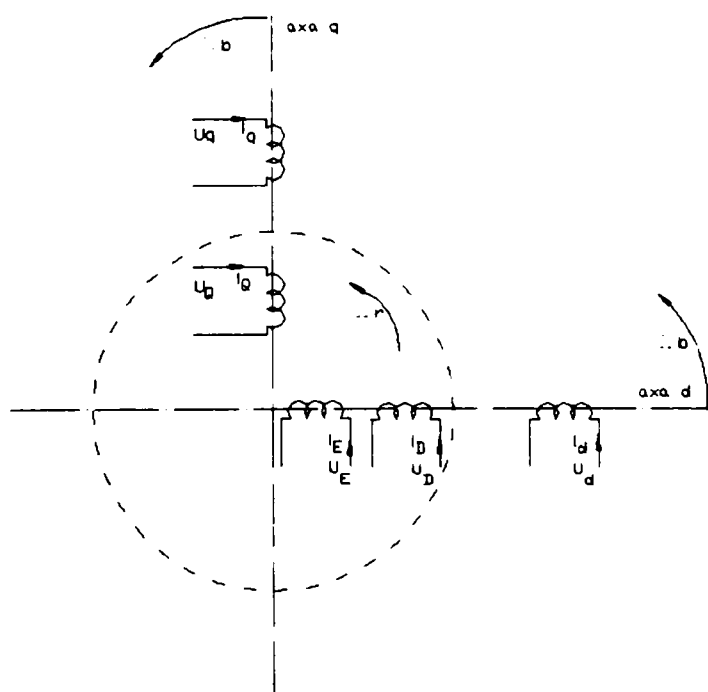


Fig. 3.19 Reprezentarea MOF cu sistemul de axe rotitor cu ω_b

Deoarece tensiunile induse prin rotație sunt proporționale cu ω_b în stator și cu $(\omega_r - \omega_b)$ în rotor, ecuațiile celor cinci înfășurări sunt, pentru receptor după cum urmează [8] :

$$U_d = R_1 * i_d + \frac{\partial \psi_d}{\partial t} + \omega_b * \frac{\partial \psi_d}{\partial \theta}; \quad \frac{\partial \psi_d}{\partial \theta} = -\psi_q \quad (3.6.3.1)$$

$$U_q = R_1 * i_q + \frac{\partial \psi_q}{\partial t} + \omega_b * \frac{\partial \psi_q}{\partial \theta}; \quad \frac{\partial \psi_q}{\partial \theta} = \psi_d \quad (3.6.3.2)$$

$$U_E = R_E * i_E + \frac{\partial \psi_E}{\partial t} + (\omega_b - \omega_r) * \frac{\partial \psi_E}{\partial \theta}; \quad \frac{\partial \psi_E}{\partial \theta} = -C_{EQ} * \psi_Q = -\psi'_Q \quad (3.6.3.3)$$

$$U_D = R_D * i_D + \frac{\partial \psi_D}{\partial t} + (\omega_b - \omega_r) * \frac{\partial \psi_D}{\partial \theta}; \quad \frac{\partial \psi_D}{\partial \theta} = -C_{DQ} * \psi_Q = -\psi''_Q \quad (3.6.3.4)$$

$$U_Q = R_Q * i_Q + \frac{\partial \psi_Q}{\partial t} + (\omega_b - \omega_r) * \frac{\partial \psi_Q}{\partial \theta}; \quad \frac{\partial \psi_Q}{\partial \theta} = +C_{QDE} * \psi_{D+E} = \psi'_{D+E} \quad (3.6.3.5)$$

Cu R_1 s-a notat rezistența înfășurării statorice (aceiași după ambele axe).

Deoarece înfășurările rotorice nu sunt, în general, identice sau introdus coeficienții neunitari C_{EQ} , C_{DQ} și C_{QDE} , care s-ar putea determina experimental. În general, însă, la mașinile electrice de bază, acești coeficienți nu necesită a fi evaluați [8].

Considerând alimentarea ca motor prin stator, balanța de puteri momentane conduce la relația:

$$U_d * i_d + U_q * i_q - (i_d^2 + i_q^2) * R_1 = i_d * \frac{\partial \psi_d}{\partial t} + i_q * \frac{\partial \psi_q}{\partial t} + \omega_b * (\psi_d * i_q - \psi_q * i_d) \quad (3.6.3.6)$$

Ultimul termen din relația (3.6.3.6) este puterea electromagnetică P_e :

$$P_e = \frac{\omega_b}{p} * M_e = \omega_b * (\psi_d * i_q - \psi_q * i_d) \quad (3.6.3.7)$$

Cuplul electromagnetic este deci :

$$M_e = p * (\psi_d * i_q - \psi_q * i_d) \quad (3.6.3.8)$$

Ecuția de mișcare devine:

$$\frac{J}{p} * \frac{d\omega_r}{dt} = M_e - M_r \quad (3.6.3.9)$$

unde:

J este momentul de inerție al rotorului împreună cu sarcina, iar M_r este cuplul rezistent

Exprimarea fluxurilor modelului ortogonal fizic în funcție de curenți se realizează în conformitate cu fig. 3.20.

Fluxurile de-a lungul celor două axe se divid în componentele principale ψ_{dm} și ψ_{qm} și cele de dispersie (cu indicele σ).

Fluxurile principale îmbrățișează toate înfășurările după cele două axe d și q . În figură se poate observa cuplajul magnetic de dispersie între înfășurările rotorice E și D situate de-a lungul axei d , identificat prin inductanța $L_{ED\sigma}$.

Toate înfășurările rotorice sunt reduse la stator.

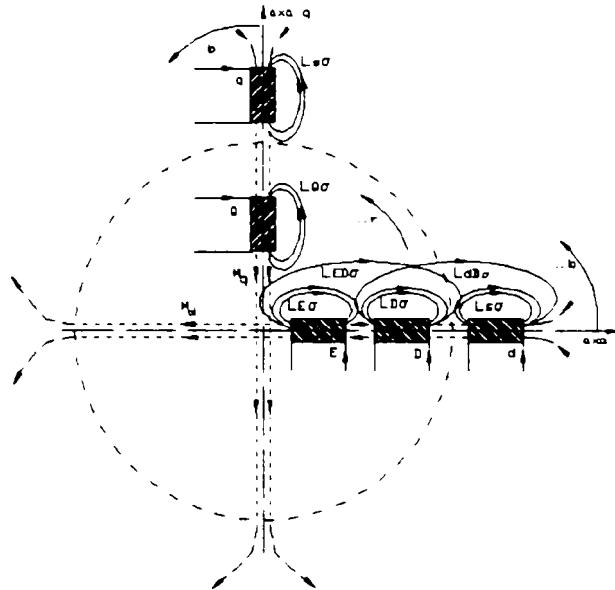


Fig. 3.20 Fluxurile modelului ortogonal în funcție de curenți

Expresiile fluxurilor sunt după cum urmează:

$$\psi_d = L_{s\sigma} * i_d + \psi_{dm} \quad (3.6.3.10)$$

$$\psi_q = L_{s\sigma} * i_q + \psi_{qm} \quad (3.6.3.11)$$

$$\psi_D = L_{D\sigma} * i_D + \psi_{dm} + L_{DE\sigma} * (i_D + i_E) \quad (3.6.3.12)$$

$$\psi_E = L_{E\sigma} * i_E + \psi_{dm} + L_{DE\sigma} * (i_D + i_E) \quad (3.6.3.13)$$

$$\psi_Q = L_{Q\sigma} * i_q + \psi_{qm} \quad (3.6.3.14)$$

Fluxurile principale se pot exprima sub forma :

$$\psi_{dm} = L_{dm} * i_{dm} ; \quad i_{dm} = i_d + i_D + i_E \quad (3.6.3.15)$$

$$\psi_{qm} = L_{qm} * i_{qm} ; \quad i_{qm} = i_q + i_Q \quad (3.6.3.16)$$

unde L_{dm} și L_{qm} sunt inductanțele sincrone de magnetizare de-a lungul axelor d și q.

Dacă se neglijează saturația, toate inductanțele sunt constante și ecuațiile pot fi scrise ușor cu fluxurile drept variabile, curenții urmând să fie calculați din dependențele liniare (3.6.3.10) – (3.6.3.14). Separând derivatele noilor variabile ψ_d , ψ_q , ψ_D , ψ_E , ψ_Q și ω_r din relațiile (3.6.3.1) – (3.6.3.5) și (3.6.3.9) și considerând cazul:

$\omega_b = \omega_r$ și $U_D = U_Q = 0$, tipic mașinii sincrone obținem un sistem de ecuații neliniare cu coeficienți constanți după cum urmează :

$$\frac{d\psi_d}{dt} = U_d - R_s * i_d + \omega_r * \psi_q \quad (3.6.3.17)$$

$$\frac{d\psi_q}{dt} = U_q - R_s * i_q - \omega_r * \psi_d \quad (3.6.3.18)$$

$$\frac{d\psi_E}{dt} = U_E - R_E * i_E \quad (3.6.3.19)$$

$$\frac{d\psi_D}{dt} = -R_D * i_D \quad (3.6.3.20)$$

$$\frac{d\psi_Q}{dt} = -R_Q * i_Q \quad (3.6.3.21)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{P}{J} [(\psi_d * i_q - \psi_q * i_d) * P - M_r] \quad (3.6.3.22)$$

Pentru stabilirea relațiilor de echivalență dintre curenții din înfășurările MOF și curenții din înfășurările mașinii reale trifazate se utilizează *transformarea Park generalizată* [8], particularizată pentru cazul mașinii sincrone a căror înfășurări A,B,C sunt conectate în stea și parcurse de un sistem trifazat simetric de curenți i_A, i_B, i_C . Avem astfel următoarea relație :

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = [S_{dq}] \times \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \quad (3.6.3.23)$$

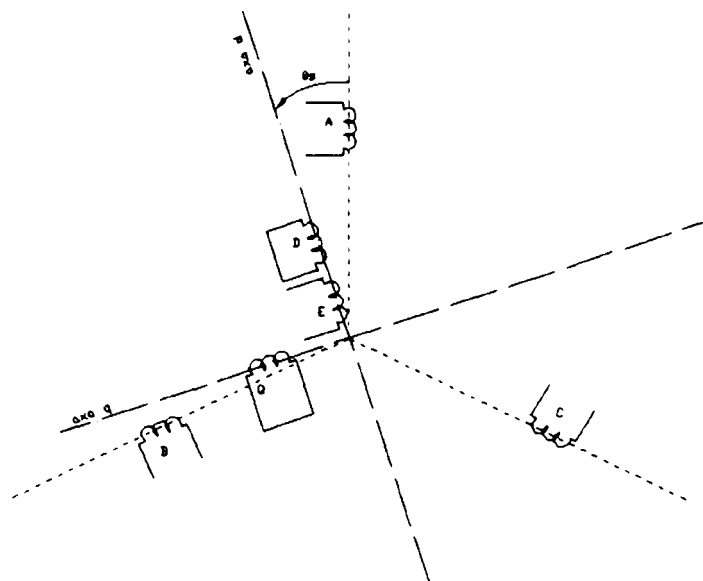
unde $[S_{dq}]$ este transformarea Park pentru cazul descris mai sus adică :

$$[S_{dq}] = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \begin{bmatrix} \cos(-\theta_s) & \cos\left(-\theta_s + \frac{2 * \pi}{3}\right) & \cos\left(-\theta_s - \frac{2 * \pi}{3}\right) \\ \sin(-\theta_s) & \sin\left(-\theta_s + \frac{2 * \pi}{3}\right) & \sin\left(-\theta_s - \frac{2 * \pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (3.6.3.24)$$

Unghiul θ_s este unghiul dintre axa d și axa fazei A și se obține prin integrarea vitezei rotorului:

$$\theta_s = \int \omega_r dt + \theta_0 \quad (3.6.3.25)$$

În fig. 3.21 se poate vedea semnificația unghiului θ_s .

Fig. 3.21 Semnificația unghiului θ_s

Relația (3.6.3.23) este valabilă și pentru tensiuni și fluxuri.

$$\begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \end{bmatrix} = [S_{dq}] \times \begin{bmatrix} \psi_A \\ \psi_B \\ \psi_C \end{bmatrix} \quad (3.6.3.26)$$

Mărimile rotorice nu trebuiesc transformate deoarece înfășurările rotorice sunt deja plasate în axele d și q, iar sistemul de referință este atașat rotorului ($\omega_b = \omega_r$).

Fluxurile statorice ψ_A, ψ_B, ψ_C se pot exprima în funcție de inductanțele proprii și de cuplaj și de curenții corespunzători după cum urmează [8] :

$$\psi_A = L_{AA} * i_A + L_{AB} * i_B + L_{AC} * i_C + L_{AE} * i_E^r + L_{AD} * i_D^r + L_{AQ} * i_Q^r \quad (3.6.3.27)$$

$$\psi_B = L_{AB} * i_A + L_{BB} * i_B + L_{BC} * i_C + L_{BE} * i_E^r + L_{BD} * i_D^r + L_{BQ} * i_Q^r \quad (3.6.3.28)$$

$$\psi_C = L_{AC} * i_A + L_{BC} * i_B + L_{CC} * i_C + L_{CE} * i_E^r + L_{CD} * i_D^r + L_{CQ} * i_Q^r \quad (3.6.3.29)$$

Ultimii trei termeni din relațiile (3.6.3.27) – (3.6.3.29) sunt reduși la stator. Factorii de reducere la stator se obțin din condiția de conservare a puterilor [8].

Curenții prin cele trei înfășurări statorice se pot determina utilizând inversa matricii de transformare Park :

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} = [S_{dq}]^{-1} \times \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (3.6.3.30)$$

3.6.4. Descrierea programului de simulare a pornirii electrocompresorului

Plecând de la relațiile MOF descrise în paragraful 3.6.3, am realizat un program de simulare a pornirii agregatului de comprimare, program cu ajutorul căruia am determinat ulterior timpul optim de funcționare în asincron a mașinii cu compresorul în gol. Acest timp l-am folosit apoi la implementarea microprogramului de automatizare al agregatului de comprimare pentru stabilirea momentului în care se decuplează rezistența de pornire a motorului sincron și se cuplează tensiunea de excitație urmând apoi sincronizarea cu frecvența rețelei.

Diagrama principală a programului de simulare realizată în MATLAB Simulink este prezentată în figura 3.22.

Blocurile principale ale programului sunt după cum urmează :

- 1) Bloc alimentare stator
- 2) Bloc excitație
- 3) Bloc încărcare mașină
- 4) Bloc motor sincron

Pentru vizualizarea diferitelor mărimi de ieșire sau utilizat blocurile de afișare grafică cu autoscalare :

- 5) Bloc afișare tensiuni de fază
- 6) Bloc afișare curenți statorici
- 7) Bloc afișare curent de excitație
- 8) Bloc afișare turație

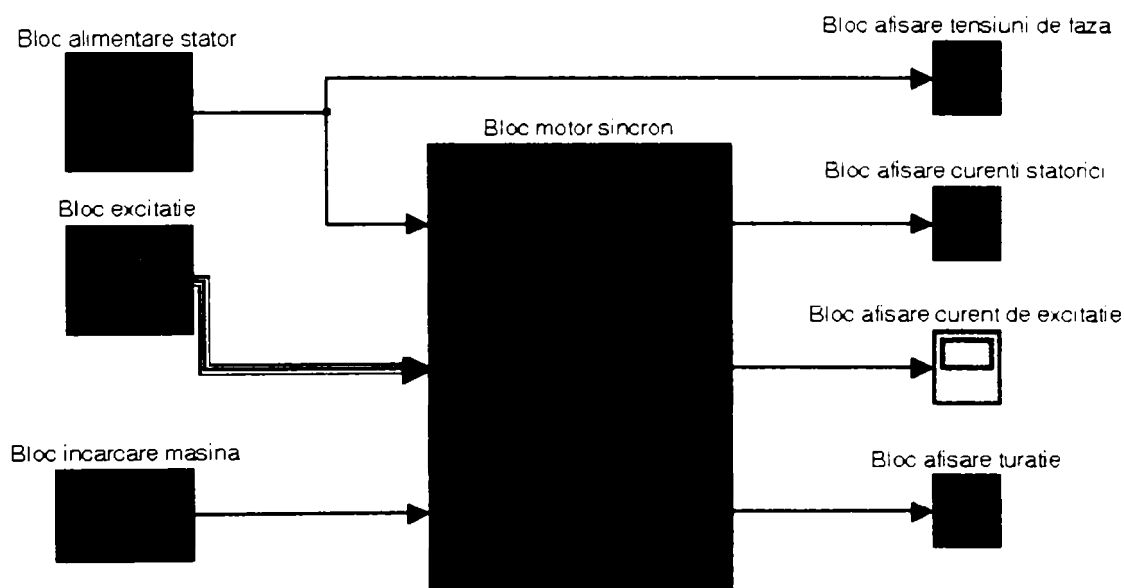


Fig. 3.22 Diagrama principală a programului de simulare a pornirii mașinii realizată în MATLAB SIMULINK

Blocul *alimentare stator* generează sistemul trifazat simetric de tensiuni de fază al mașinii V_{abc} și are ca parametri de intrare tensiunea nominală de linie V_n , frecvența nominală f_n și conexiunea înfășurării statorice, *conex*. În figura 3.23 se pot vedea parametri de intrare ai blocului.

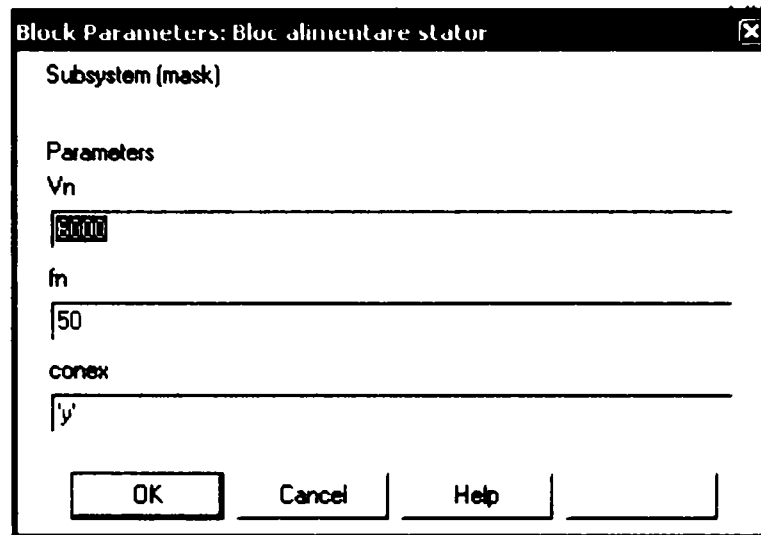


Fig. 3.23 Parametri de intrare ai blocului de alimentare a statorului

Structura internă a blocului se poate vedea în figura 3.24. Cele trei semnale se generează cu defazaj de 0 , -120° , respectiv $+120^\circ$, după care se multiplexează și se transmit la portul de ieșire Vabc.

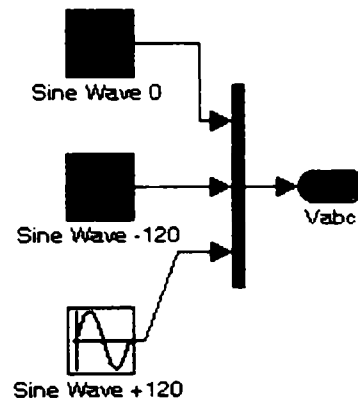


Fig. 3.24 Structura internă a blocului de alimentare

Tensiunile generate pot fi vizualizate pe *blocul afișare tensiuni de fază*, fiind în același timp transmise la *blocul motor sincron*, prin portul de intrare Vabc.

Comenzile de inițializare a blocului de alimentare se prezintă în figura 3.25 și realizează calculul amplitudinii tensiunilor de fază și pulsația acestora.

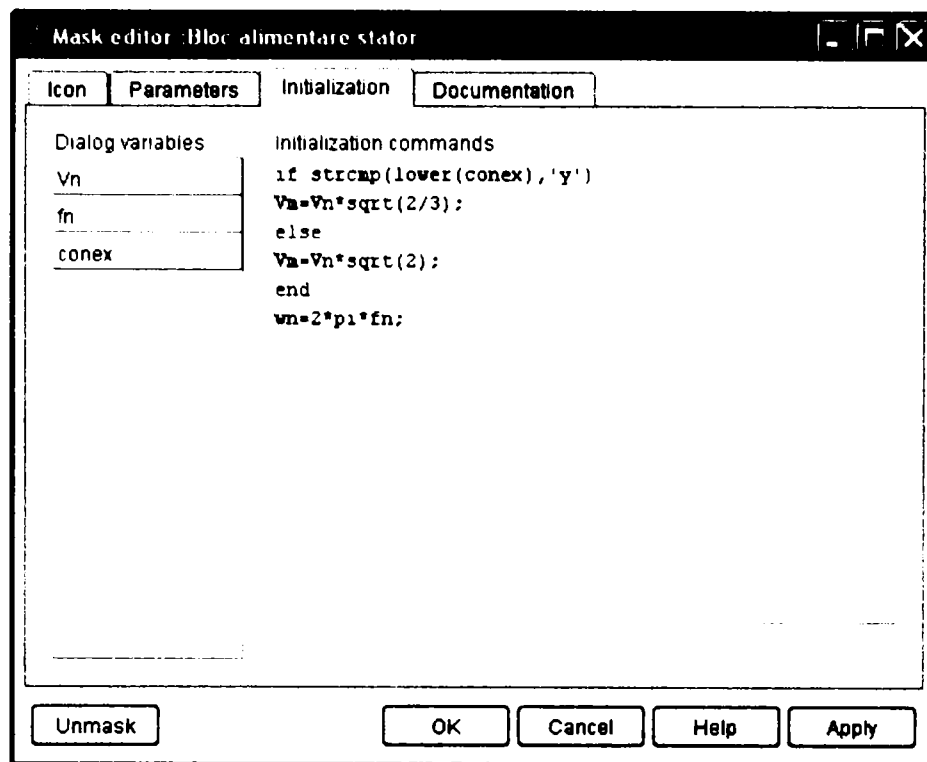


Fig. 3.25 Comenzi de inițializare a blocului de alimentare

Blocul de *excitație* realizează în prima fază cuplarea rezistenței de pornire în circuitul de excitație al mașinii sincrone, iar după trecerea timpului de funcționare în asincron deconectează rezistența de pornire, după care generează și conectează tensiunea de excitație pentru mers în gol. Blocul are ca parametri de intrare tensiunea de excitație V_{en} , rezistența înfășurării de excitație R_{ex} , rezistența totală a circuitului de excitație la pornire R_{ex0} , timpul după care se alimentează înfășurarea de excitație t_{sinc} , și factorul de raportare al excitației la stator k_e . Parametrii specificați se pot observa în figura 3.26.

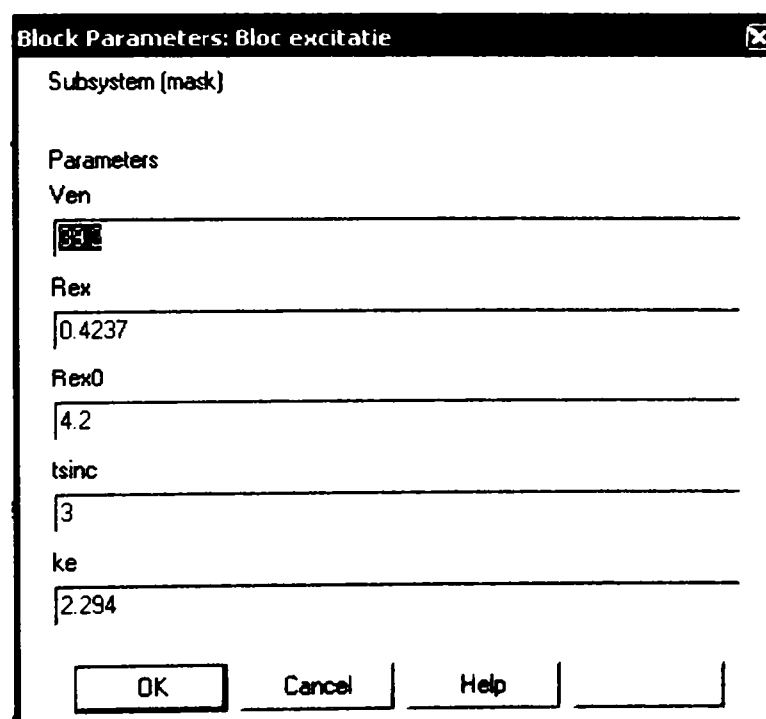


Fig. 3.26 Parametri de intrare ai blocului de excitație

Structura internă a blocului de excitație se poate vedea în figura 3.27 unde se poate remarca faptul că în interiorul blocului se generează două semnale treaptă, unul pentru tensiune și celălalt pentru rezistență, care comută în același moment la $t_{sinc} = 3s$.

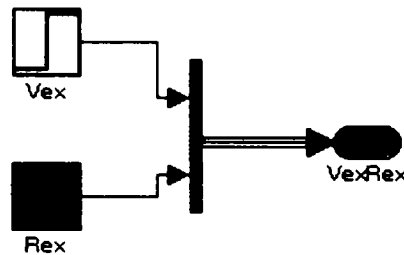


Fig. 3.27 Structura internă a blocului de excitație

Blocul *încărcare mașină* realizează simularea sarcinii motorului la o valoare inițială, dată de cuplul rezistent cu compresorul în gol. Ulterior acest bloc va putea simula sarcina mașinii la diverse valori ale încărcării, considerând o încărcare de tip treaptă. Acest lucru devine util la studiul fenomenului de pendulare al mașinii sincrone prin analiza răspunsului acesteia la o variație de tip treaptă a sarcinii. Parametri de intrare ai blocului de încărcare se prezintă în figura 3.28.

Fig. 3.28 Parametri de intrare ai blocului *încărcare mașină*

Aceștia sunt: valoarea inițială a cuplului rezistent (cu compresorul în gol : 4900 Nm), valoarea finală a acestuia la sarcina nominală : 19389 Nm, {calculat cu relațiile (3.6.1.1),(3.6.1.4) și randamentul mașinii} și valoarea timpului după care se face saltul dintre cele două valori (60 s). În această aplicație se studiază doar răspunsul mașinii pe perioada pornirii la valoarea sarcinii dată de compresorul în gol, deoarece pentru determinarea timpului optim de funcționare în asincron este suficient acest lucru. Din acest motiv parametrul „step time” s-a ales suficient de mare pentru ca încărcarea mașinii la sarcină nominală să nu apară pe diagramele mărimilor de ieșire, lucru care asigură o vizualizare suficient de clară a fenomenelor ce apar la pornirea agregatului de comprimare.

Blocul *motor sincron* realizează simularea funcționării mașinii sincrone având implementate relațiile de calcul prezentate în paragraful 3.6.3, obținute pe baza echivalării mașinii reale cu modelul ortogonal fizic MOF. Parametri de intrare ai blocului se prezintă în figura 3.29. Aceștia sunt: numărul de perechi de poli p , rezistența înfășurării statorice R_s , inductanța sincronă de magnetizare după axa d , L_{dm} , inductanța sincronă de magnetizare după axa q , L_{qm} , inductanța de dispersie a statorului L_{ssig} , inductanța de dispersie a coliviei după axa d raportată la stator, L_{Dr} , inductanța de dispersie a coliviei după axa q raportată la stator, L_{Qr} , inductanța de dispersie a înfășurării de excitație L_{Esig} , inductanța de cuplaj de dispersie între excitație și colivie după axa d , L_{ED} , rezistența coliviei de pornire după axa d raportată la stator R_{Dr} , rezistența coliviei de pornire după axa q raportată la stator R_{Qr} , momentul de inerție total al mașinii cu compresorul în gol J_r , factor de raportare a excitației la stator k_e .

| | |
|-----------------|-------|
| perechi de poli | 8 |
| R_s | 0.5 |
| L_{dm} | 0.09 |
| L_{qm} | 0.09 |
| L_{ssig} | 0.011 |
| L_{Dr} | 0.011 |
| L_{Qr} | 0.011 |
| L_{Esig} | 0.05 |
| L_{ED} | 0.001 |
| R_{Dr} | 1 |
| R_{Qr} | 1 |
| J_r | 861 |
| k_e | 2.294 |

Fig. 3.29 Parametri de intrare ai blocului *motor sincron*

Structura internă a blocului *motor sincron* se prezintă în figura 3.30.

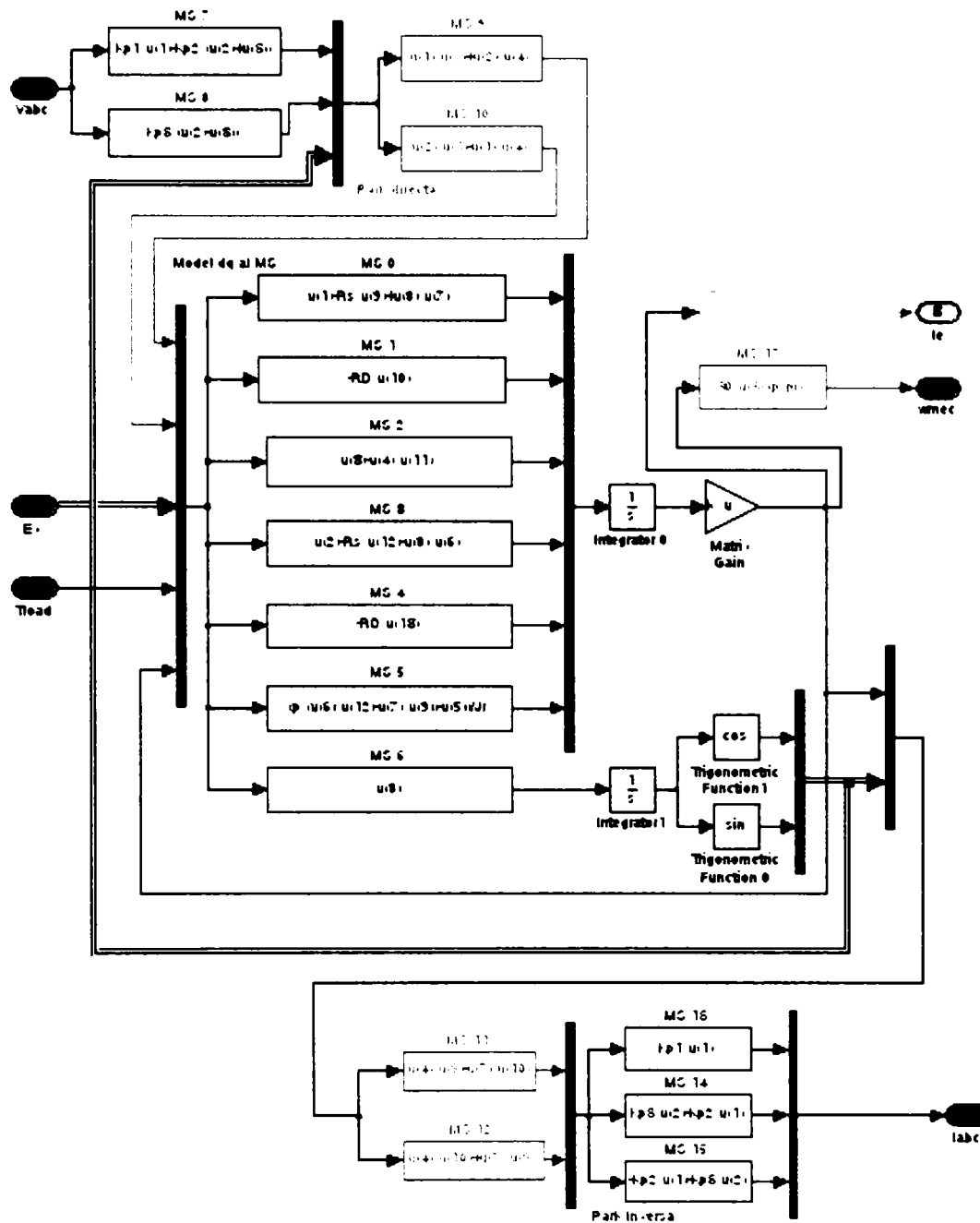


Fig. 3.30 Structura internă a blocului motor sincron

Comenzile de inițializare a blocului motor sincron se prezintă în figura 3.31 și execută după cum urmează:

- 1) calculul inductanței de cuplaj de dispersie între excitație și colivie după axa d raportată la stator $LED_r = LED/ke$
- 2) calculul inductanței de dispersie a înfășurării de excitație raportată la stator $LEsig = LEsig/ke^2$
- 3) calculul inverselor matricelor inductanțelor după axele d și q, notate respectiv k_d și k_q
- 4) formarea unei matrici k de 8/6 care se va utiliza ulterior la calcule
- 5) calculul unor coeficienți constanți notați kp_1 , kp_2 și kp_3 , care se vor utiliza ulterior în calcule

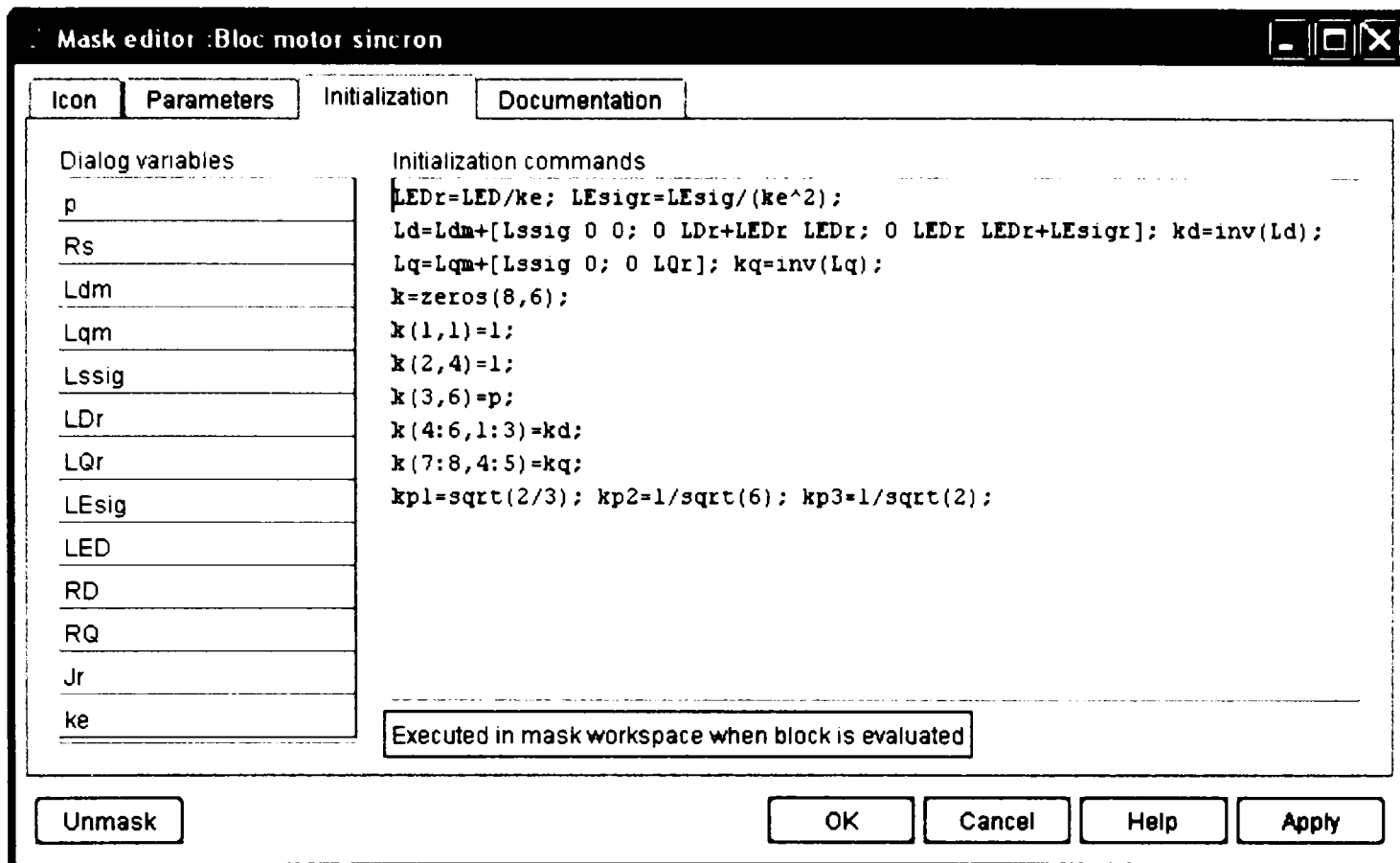


Fig. 3.31 Comenzi de inițializare a blocului *motor sincron*

Matricele kd și kq se calculează după formarea matricelor inductanțelor după cele două axe Ld și Lq conform relațiilor (3.6.4.1), (3.6.4.2), prin determinarea inverselor acestora (relațiile (3.6.4.3) și (3.6.4.4)).

$$Ld = \begin{bmatrix} Ldm + Lssig & Ldm & Ldm \\ Ldm & Ldm + LDr + LEDr & Ldm + LEDr \\ Ldm & Ldm + LEDr & Ldm + LEDr + LEsigr \end{bmatrix} \quad (3.6.4.1)$$

$$Lq = \begin{bmatrix} Lqm + Lssig & Lqm \\ Lqm & Lqm + LQr \end{bmatrix} \quad (3.6.4.2)$$

$$kd = [Ld]^{-1} \quad (3.6.4.3)$$

$$kq = [Lq]^{-1} \quad (3.6.4.4)$$

Matricea k va avea următoarea structură :

$$k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p \\ kd(1,1) & kd(1,2) & kd(1,3) & 0 & 0 & 0 \\ kd(2,1) & kd(2,2) & kd(2,3) & 0 & 0 & 0 \\ kd(3,1) & kd(3,2) & kd(3,3) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & kq(1,1) & kq(1,2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & kq(2,1) & kq(2,2) & 0 \end{bmatrix} \quad (3.6.4.5)$$

Coeficienții constanți $kp1$, $kp2$, $kp3$ se calculează cu relațiile :

$$kp1 = \sqrt{\frac{2}{3}}; \quad kp2 = \frac{1}{\sqrt{6}}; \quad kp3 = \frac{1}{\sqrt{6}} \quad (3.6.4.6)$$

Funcțiile componentelor din structura blocului *motor sincron*, prezentate în figura 3.30 sunt după cum urmează:

- a) **MS 7** calculează tensiunea după axa α , axă aparținând sistemului de coordonate ortogonal α, β fixat pe stator, cu α orientată pe direcția axei, a , a sistemului trifazat de axe statorice (a, b, c) . Blocul implementează de fapt prima linie a transformării Park (relația 3.6.3.24), pentru $\theta_s = 0$. Variabilele de intrare ale blocului sunt cele trei tensiuni de fază generate de blocul de alimentare: $u(1) = V_a$, $u(2) = V_b$ și $u(3) = V_c$.
- b) **MS 8** calculează tensiunea după axa β , ortogonală fazei α , implementând a doua linie a transformatei Park pentru $\theta_s = 0$. Blocul are la intrare aceleași variabile ca și **MS 7**.
- c) Ieșirile blocurilor **MS 7** și **MS 8** intră într-un multiplexor împreună cu $(\sin \theta)$ și $(\cos \theta)$. Unghiul θ (*unghiul electric*) s-a obținut prin integrarea vitezei electrice, reprezentată prin variabila $u(8)$ extrasă cu ajutorul blocului **MS 6**.
- d) **MS 9** și **MS 10** execută o transformare de coordonate de la sistemul de axe α, β la sistemul de axe d, q prin rotire cu θ .
- e) Ieșirile blocurilor **MS 9** și **MS 10** ajung ca variabile de intrare $u(1)$ și $u(2)$ în multiplexorul de la intrarea modelului d-q al mașinii. Vectorul de intrare al multiplexorului este format din următoarele variabile:
 - 1) $u(1)$ = tensiunea statorică după axa d
 - 2) $u(2)$ = tensiunea statorică după axa q
 - 3) $u(3)$ = tensiunea de excitație raportată la stator
 - 4) $u(4)$ = rezistența circuitului de excitație raportat la stator
 - 5) $u(5)$ = cuplul de încărcare
 - 6) $u(6)$ = fluxul statoric după axa d
 - 7) $u(7)$ = fluxul statoric după axa q
 - 8) $u(8)$ = viteza unghiulară electrică
 - 9) $u(9)$ = curentul statoric după axa d
 - 10) $u(10)$ = curentul din colivie după axa d
 - 11) $u(11)$ = curentul de excitație raportat la stator
 - 12) $u(12)$ = curentul statoric după axa q

13) $u(13)$ = curentul din colivie după axa q

- f) **MS 0** calculează derivata fluxului statoric după axa d conform relației (3.6.3.17)
- g) **MS 1** calculează derivata fluxului din colivie după axa d conform relației (3.6.3.20)
- h) **MS 2** calculează derivata fluxului din înfășurarea de excitație conform relației (3.6.3.19)
- i) **MS 3** calculează derivata fluxului statoric după axa q conform relației (3.6.3.18)
- j) **MS 4** calculează derivata fluxului din colivie după axa q conform relației (3.6.3.21)
- k) **MS 5** calculează derivata vitezei mecanice (acelerația) conform relației (3.6.3.22)
- l) **MS 6** extrage viteza electrică din vectorul de la ieșirea multiplexorului (care reprezintă derivata unghiului electric)

După obținerea derivatelor enumerate mai sus acestea se introduc într-un multiplexor, la ieșirea căruia se realizează integrarea obținându-se astfel fluxurile și viteza mecanică. Acestea se înmulțesc cu matricea k și se obține un vector format din următoarele variabile:

- 1) $u(1)$ = fluxul statoric după axa d
- 2) $u(2)$ = fluxul statoric după axa q
- 3) $u(3)$ = viteza electrică
- 4) $u(4)$ = curentul statoric după axa d
- 5) $u(5)$ = curentul din colivie după axa d
- 6) $u(6)$ = curentul de excitație raportat la stator
- 7) $u(7)$ = curentul statoric după axa q
- 8) $u(8)$ = curentul din colivie după axa q
- m) **MS 16** calculează curentul de excitație real
- n) **MS 17** calculează turația mecanică în rpm
- o) **MS 11** calculează curentul statoric după axa α prin transformare de coordonate inversă
- p) **MS 12** calculează curentul statoric după axa β prin transformare de coordonate inversă
- q) **MS 13** calculează curentul statoric după axa a din curenții statorici după axele α și β
- r) **MS 14** calculează curentul statoric după axa b din curenții statorici după axele α și β
- s) **MS 15** calculează curentul statoric după axa c din curenții statorici după axele α și β

3.6.5. Rezultate obținute prin simularea pornirii electrocompresorului

Programul prezentat în paragraful 3.6.4 a fost rulat pentru diferite valori ale timpului de sincronizare alese în intervalul 1...4 s, vizualizându-se formele de undă ale curenților statorici, curentului de excitație și vitezei mecanice pe perioada pornirii. În urma acestor simulări s-a constatat că timpul optim de la alimentarea statorului până la cuplarea tensiunii de excitație în cazul electrocompresoarelor de tip C260 este de 3 s. Cu această valoare se asigură atât o pornire fără șocuri în momentul sincronizării cât și acoperirea unei marje de siguranță suficiente pentru eventualele diferențe de cuplu rezistent și moment de inerție cu compresorul în gol, de la un agregat la altul. În figura 3.32 se prezintă variația curenților statorici pe perioada pornirii electrocompresorului obținută prin simulare pentru un timp de sincronizare egal cu 3 s.

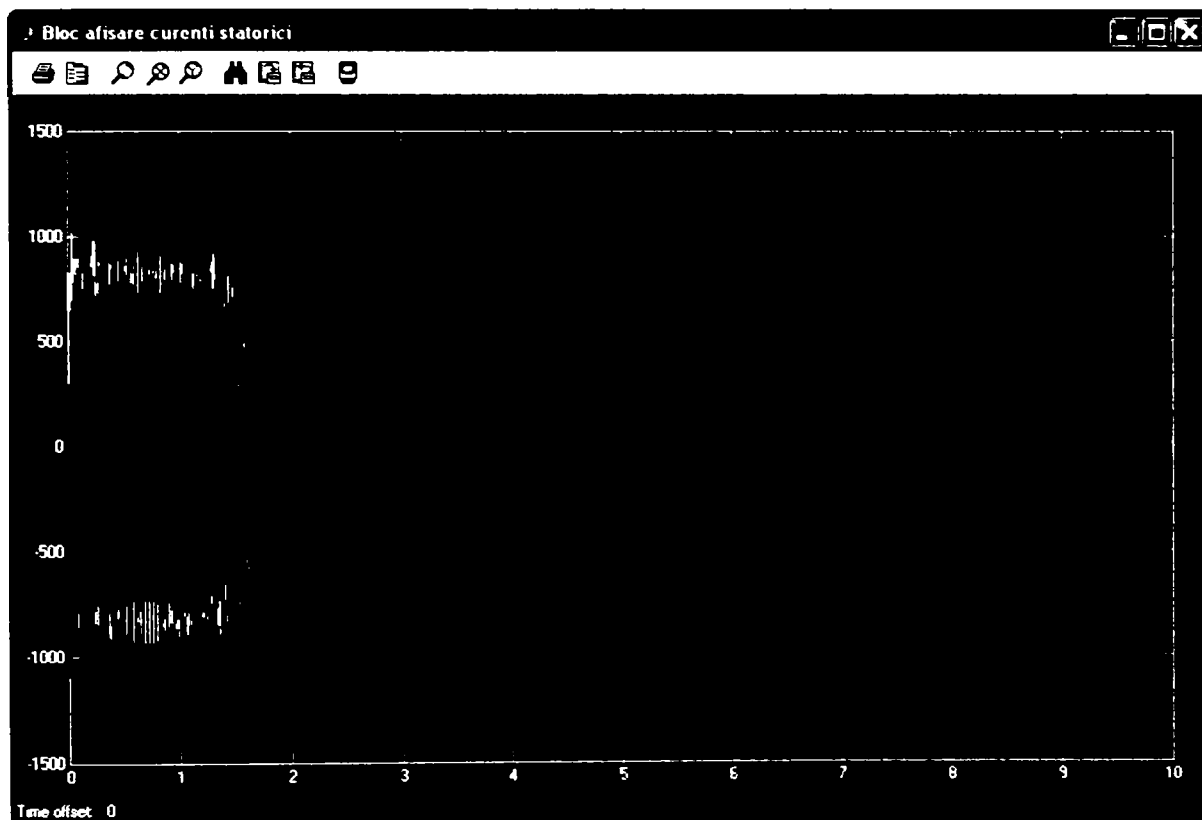


Fig. 3.32 Formele de undă ale curenților statorici obținute prin simulare cu timp de sincronizare de 3 s

Variația curentului de excitație al mașinii pentru aceeași valoare a timpului de sincronizare se prezintă în figura 3.33.

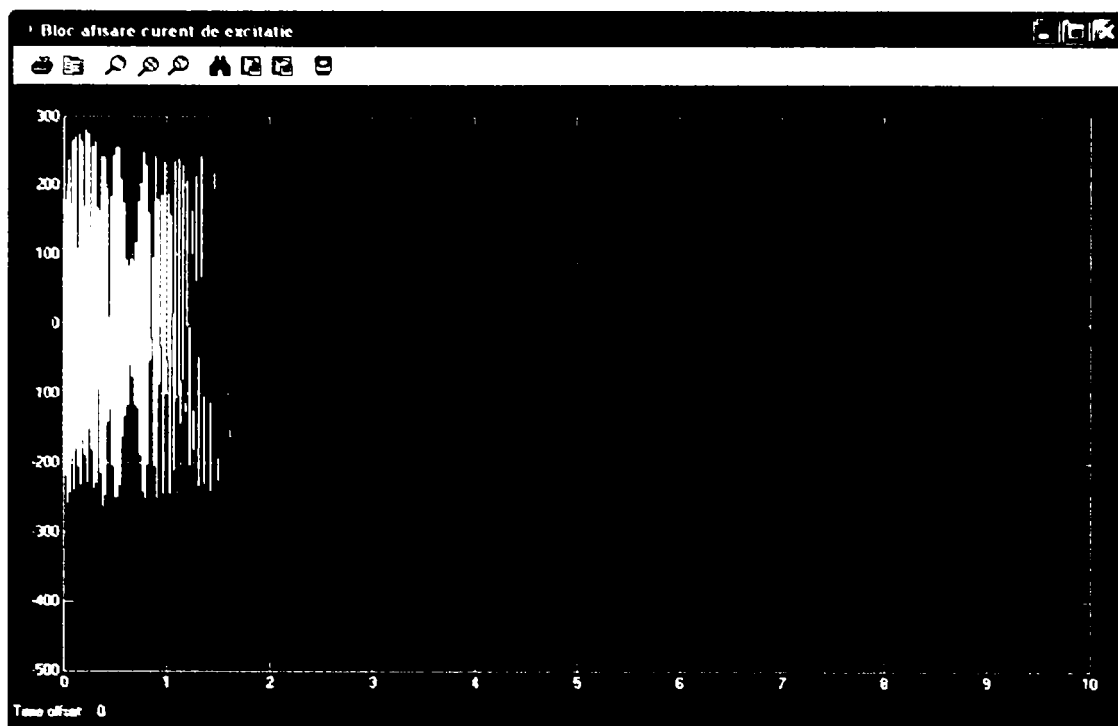


Fig. 3.33 Forma de undă a curentului de excitatie obținută prin simulare cu timp de sincronizare de 3 s

În figura 3.34 se poate observa variația turației mașinii pe perioada pornirii, obținută de asemenea prin simulare cu un timp de sincronizare ales de 3 s.

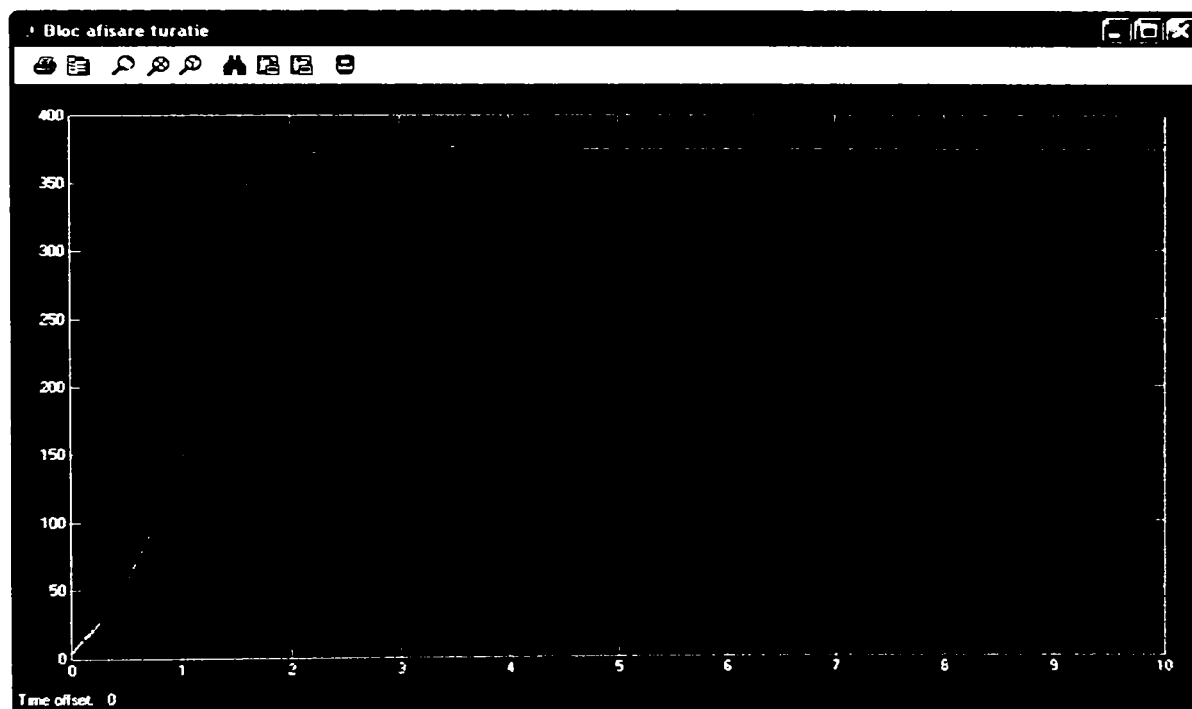


Fig. 3.34 Forma de undă a turației mașinii obținută prin simulare cu timp de sincronizare de 3 s

În urma rezultatelor obținute prin simularea pornirii electrocompresorului de tip C260 s-a trecut la testarea rezultatelor prin implementarea în programul de automatizare a agregatului, a timpului de sincronizare optimizat la simulare. Pentru comparație sa realizat înregistrarea curentului de pornire al unei faze statorice cu ajutorul unui osciloscop de tip Tektronix TDS320B obținându-se forma de undă din figura 3.35, foarte asemănătoare cu cea obținută prin simulare.

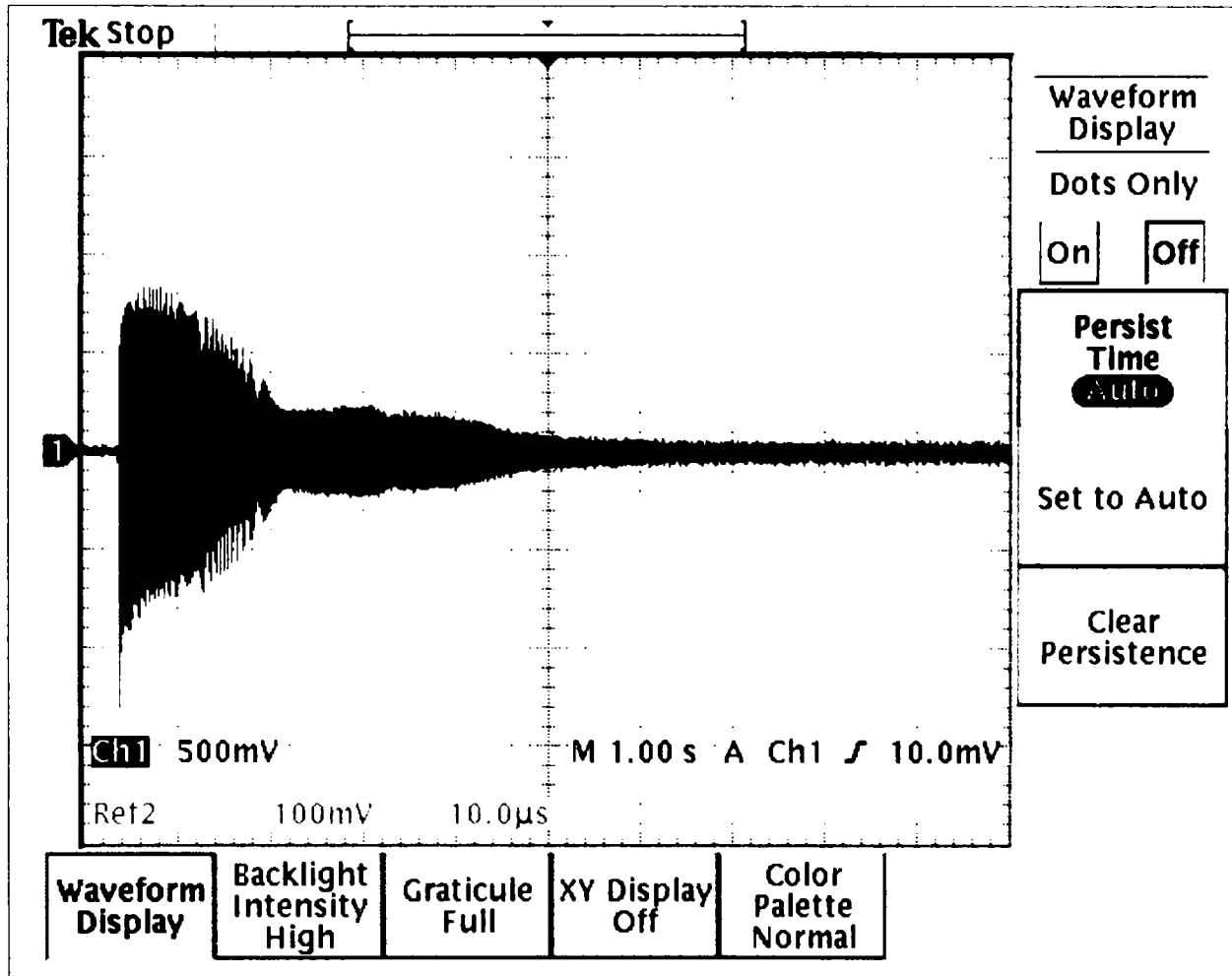


Fig. 3.35 Forma de undă a curentului statoric al mașinii obținută prin înregistrare cu osciloscopul Tektronix TDS320B

S-a folosit o sondă de curent de 2000A care furnizează la ieșire 1A/mV, deci în imaginea din figura 3.35 avem pe axa y 500A/div. Baza de timp a fost setată la 1s/div, deci axa orizontală este de 10 s, pentru a se putea face mai ușor comparația cu formele de undă simulate.

Se observă că la forma de undă înregistrată pe mașina reală curentul are o scădere mai pronunțată în primele 1.5 s, față de situația obținută prin simulare. Acest lucru se poate explica prin faptul că sarcina mașinii cu compresorul în gol este mai mare în primul moment al pornirii în asincron și scade odată cu primele curse ale pistoanelor datorită apariției peliculei de ulei pe suprafața interioară a cilindrilor. În programul de simulare această sarcină a fost considerată constantă.

3.7. ÎMBUNĂTĂȚIREA REGLAJULUI AUTOMAT AL TURAȚIEI MOTOCOMPRESOARELOR PRIN UTILIZAREA LOGICII FUZZY

3.7.1. Considerații generale

Așa cum s-a mai amintit în CAP. 2, *reglarea* reprezintă comanda unor elemente din instalația tehnologică, deci modificarea unor mărimi aferente procesului tehnologic, în scopul menținerii unuia sau mai multor parametri la anumite valori prescrise.

Reglarea are sarcina de a aduce și menține o mărime fizică dintr-un proces tehnologic la o anumită valoare. Această mărime fizică se numește *mărime reglată sau mărime de ieșire* și poate fi de orice fel, cele mai uzuale fiind: presiune, debit, nivel, temperatură, turație, tensiune, curent, etc. Valoarea la care trebuie adusă mărimea reglată se numește *mărime prescrisă sau mărime de referință*.

Un proces tehnologic nu se desfășoară de obicei în stare de echilibru (mărimea reglată egală cu mărimea prescrisă). El este continuu perturbat și deci trebuie continuu reglat printr-o intervenție manuală sau automată pentru a compensa aceste perturbații [45]. Originea perturbațiilor care dezechilibrează un proces poate fi exterioară sau interioară procesului.

Într-o reglare mărimea reglată este măsurată și comparată prin diferență cu mărimea de referință. Dacă această diferență este diferită de zero se efectuează o corectare în procesul reglat cu scopul anulării ei, adică pentru a se obține o egalitate între mărimea reglată și mărimea prescrisă. Când această corectare se face de către un operator reglarea se numește *manuală*; dacă operațiile respective sunt efectuate numai de dispozitive și echipamente prevăzute în acest scop, reglarea se numește *automată*.

Reglarea manuală constă din următoarele operații pe care le efectuează operatorul:

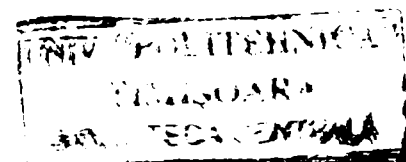
- citește la intervale suficient de dese valoarea mărimii de ieșire a sistemului de reglare n (mărimea reglată)
- compară această valoare cu valoarea cerută n_0 (mărimea prescrisă), făcând diferența $n_0 - n$
- ținând cont de semnul și mărimea diferenței, modifică o mărime de comandă care acționează asupra unui element de execuție, cu scopul final de a realiza egalitatea $n = n_0$

Dacă prin manevra făcută, operatorul a reușit să realizeze egalitatea $n = n_0$ și această egalitate se menține timp îndelungat în lipsa unor perturbații, această situație se numește „regim staționar” al procesului de reglare.

Dacă în timpul regimului staționar al procesului apare o perturbație, aceasta va duce la modificarea valorii mărimii de ieșire n . Operatorul va observa această modificare, va face diferența $n_0 - n$ și ținând seama de această diferență și de experiența sa din trecut, va decide cât trebuie modificată mărimea de comandă și cu ce viteză pentru ca restabilirea egalității $n = n_0$ să se facă în timpul cel mai scurt. După efectuarea manevrei, operatorul va aștepta efectul acțiunii sale, după care va relua acest ciclu dacă este necesar.

Reglarea automată este aceea în care operațiile care în reglarea manuală erau în sarcina operatorului, sunt preluate de un ansamblu de aparate și echipamente care funcționează în buclă închisă în scopul menținerii egalității dintre mărimea de ieșire și cea de referință. Partea dintr-un sistem de reglare care înlocuiește operatorul uman este **regulatorul**.

În figura 3.36 se prezintă schema bloc a unui sistem de reglare automată cu elementele sale componente.



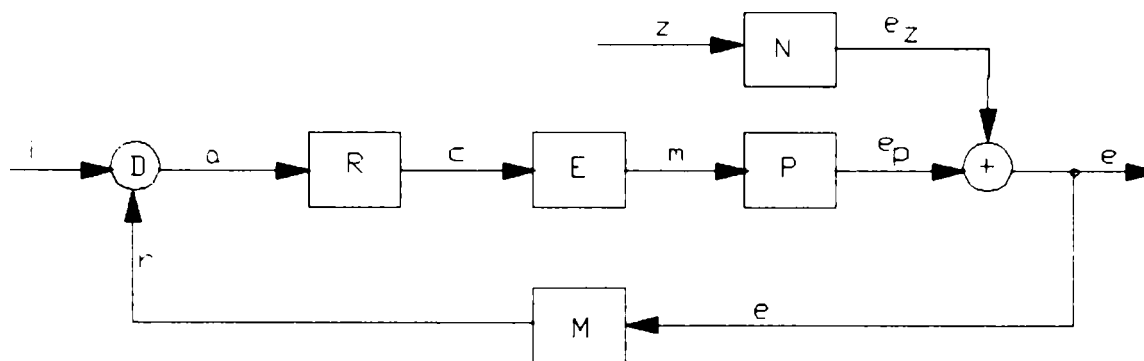


Fig. 3.36 Schema bloc a unui sistem de reglare automată

După cum se poate observa, în componența sistemului intră următoarele blocuri :

- **procesul P**, care reprezintă ansamblul tuturor transformărilor realizate în instalația tehnologică, fiind caracterizat prin una sau mai multe mărimi măsurabile denumite parametri. Procesul are la ieșire mărimea reglată (sau de ieșire) notată cu e_p , în lipsa perturbației, e_z , sau cu $e = e_p + e_z$ atunci când aceasta acționează. La intrarea procesului avem mărimea de execuție m , care se aplică de către sistemul de reglare în scopul obținerii unei valori a mărimii de ieșire în conformitate cu valorile cerute.
- **elementul de măsurare M** servește la măsurarea mărimii de ieșire a procesului, e și furnizează la ieșirea sa mărimea de reacție a sistemului de reglare notată cu r .
- **elementul de comparație D**, care face diferența dintre mărimea prescrisă (sau de intrare) i și mărimea de reacție r , furnizând la ieșirea sa mărimea de acționare (sau eroarea) $a = i - r$. Dacă mărimea prescrisă are valoare constantă în timp, aceasta se mai numește mărime de referință pentru sistemul de reglare. În situația în care mărimea prescrisă a unui sistem de reglare este variabilă în timp sistemul se numește sistem de urmărire.
- **regulatorul R**, este elementul care primește la intrare mărimea de acționare a și furnizează la ieșire mărimea de comandă c . Această mărime este o funcție de mărimea de acționare a și de derivatele și integralele în raport cu timpul ale acesteia. În unele cazuri relația dintre c și a este de natură discontinuă sau neliniară [45]. În toate cazurile această relație caracterizează tipul de regulator din punct de vedere funcțional, iar în final performanțele sistemului de reglare. Constructiv regulatorul și elementul de comparație pot forma o singură unitate care are la intrare mărimile i și r și furnizează la ieșire mărimea c .
- **elementul de execuție E**, este elementul care are la intrare mărimea de comandă c și furnizează la ieșire mărimea de execuție m care se aplică procesului cu scopul de a influența desfășurarea acestuia.
- **procesul perturbator** s-a notat cu N și reprezintă totalitatea cauzelor interne sau externe care determină modificarea mărimii de ieșire a procesului P de la valoarea prescrisă. Perturbațiile care apar în desfășurarea proceselor pot fi: schimbări de sarcină, modificarea mărimii prescrise, schimbări de caracteristici interne ale procesului, etc.

După relația dintre mărimea lor de ieșire, c și cea de intrare, $a = i-r$, regulatoarele uzuale se împart după cum urmează:

a. **Regulator proporțional** (simbolizat **P**) :

$$c = Kr * a \quad (3.7.1.1)$$

unde Kr este o constantă denumită „coeficientul de amplificare al regulatorului”, iar valoarea sa se poate modifica manual pentru a se obține performanțele necesare pentru sistemul de reglare din componența căruia face parte regulatorul.

Deseori se întrebuintează în loc de Kr mărimea denumită *bandă de proporționalitate* BP , definită ca procentul din domeniul mărimii de acționare a , pentru care un regulator de tip P produce o mărime de ieșire egală cu 100% din domeniul posibil al mărimii de ieșire c [45] :

$$BP = \frac{100}{Kr} * \frac{dom.c}{dom.a} \quad (3.7.1.2)$$

Dacă domeniile celor două mărimi sunt egale, cum este cazul sistemelor de reglare realizate cu aparatură cu semnal unificat avem :

$$BP = \frac{100}{Kr} \quad (3.7.1.3)$$

b. **Regulator proporțional - integral** (simbolizat **PI**) :

$$c = Kr * \left(a + \frac{1}{Ti} * \int a * dt \right) \quad (3.7.1.4)$$

unde Ti are dimensiunea timpului și este o constantă denumită *timpul integral* al regulatorului.

Se observă că mărimea de ieșire a regulatorului c are în acest caz două părți: una proporțională cu mărimea de intrare a (partea P) și a doua proporțională cu integrala mărimii de intrare a (partea I).

c. **Regulator proporțional - derivativ** (simbolizat **PD**) :

$$c = Kr * \left(a + Td * \frac{da}{dt} \right) \quad (3.7.1.5)$$

unde Td are dimensiunea unui timp și este o constantă denumită *timpul derivativ al regulatorului*. Și în acest caz mărimea de ieșire a regulatorului are două componente: prima proporțională cu mărimea de intrare (partea P), iar a doua proporțională cu derivata mărimii de intrare (partea D). Regulatele de acest tip se utilizează de obicei în procesele rapide și mai rar în cele cu constante de timp mari.

d. **Regulator proporțional – integral – derivativ** (simbolizat **PID**) :

$$c = Kr * \left(a + \frac{1}{Ti} * \int a * dt + Td * \frac{da}{dt} \right) \quad (3.7.1.6)$$

Acest tip de regulator combină cele trei tipuri amintite mai sus, ecuația lui caracteristică, conținând trei termeni : partea P – proporțională cu mărimea de intrare, partea I – proporțională cu integrala mărimii de intrare și partea D – proporțională cu derivata mărimii de intrare.

e. **Regulator bipozițional** – este un tip de regulator aplicabil în procesele mai puțin pretențioase în ceea ce privește mărimea reglată și se acceptă o variație continuă între două limite a acestei mărimi. De obicei acest tip de reglare se pretează la procese lente cum ar fi reglarea temperaturii cuptoarelor sau a nivelului în rezervoare mari. Regulatorul bipozițional are două valori distincte pentru mărimea de ieșire c , în funcție de semnul mărimii de intrare a după cum urmează:

$$c = -c_0 , \text{ pentru } a < 0 \quad (3.7.1.7)$$

$$c = +c_0 , \text{ pentru } a > 0 \quad (3.7.1.8)$$

Caracteristica statică ideală a unui astfel de regulator este redată în figura 3.37. Se observă că pentru $a=0$, mărimea de ieșire a regulatorului poate fi $\pm c_0$.

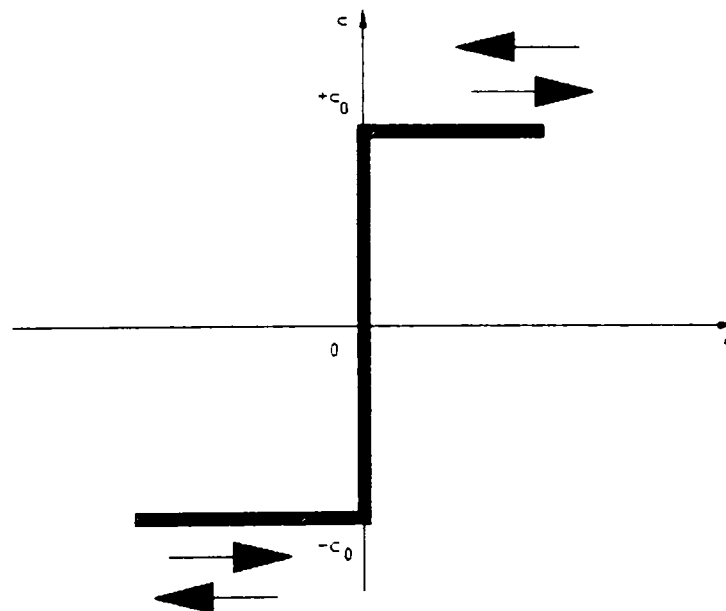


Fig. 3.37. Caracteristica statică ideală a regulatorului bipozițional

Regulatele reale, însă au o caracteristică statică diferită, fiind necesar ca valoarea lui a să scadă sub o anumită valoare $-d$, pentru ca mărimea de ieșire să scadă de la valoarea $+c_0$ la valoarea $-c_0$ și să crească peste o valoare $+d$, pentru ca mărimea de ieșire să crească de la valoarea $-c_0$ la $+c_0$ așa cum reiese din relațiile următoare :

$$c = -c_0 , \text{ pentru } a < -d \quad (3.7.1.9)$$

$$c = +c_0 , \text{ pentru } a > +d \quad (3.7.1.10)$$

Caracteristica statică a unui astfel de regulator este redată în figura 3.38

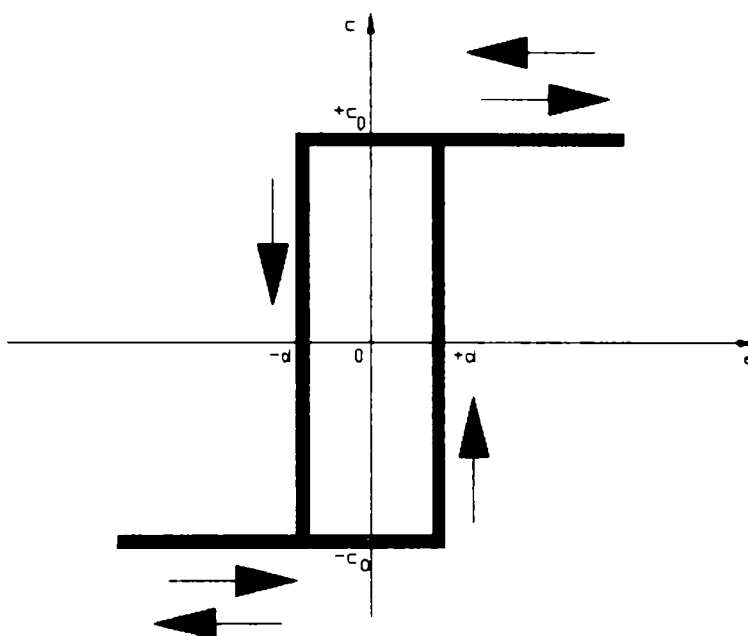


Fig. 3.38. Caracteristica statică reală a regulatorului bipozițional

Pentru intervalul $(-d, +d)$, mărimea c este $+c_0$ sau $-c_0$, după cum mărimea a , a intrat în interval venind de la valori mai mari decât $+d$ sau de la valori mai mici decât $-d$. Acest fenomen este analog cu fenomenul de histerezis și din acest motiv se numește histerezisul regulatorului bipozițional.

Regulatele de tipul celor bipoziționale se mai numesc și discontinue datorită formei discontinue a caracteristicilor lor statice.

- f. **Regulator tripozițional** – este o particularizare a regulatorului bipozițional cu histerezis având trei valori distincte ale mării de ieșire, funcționarea sa fiind descrisă de următoarele relații :

$$c = -c_0 , \quad \text{pentru } a < -d \quad (3.7.1.11)$$

$$c = 0 , \quad \text{pentru } -d < a < +d \quad (3.7.1.12)$$

$$c = +c_0 , \text{ pentru } a > +d \quad (3.7.1.13)$$

Limitele maximă și minimă pentru mărimea c , în valoare absolută pot fi diferite, de asemenea și cele ale lui a , iar valoarea lui c pentru a cuprins în intervalul dat poate fi diferită de zero. Intervalul pentru care mărimea de ieșire a regulatorului este $c = 0$ se numește **zonă moartă a regulatorului**. Caracteristica statică ideală a unui regulator tripozițional (fără histerezis) este prezentată în figura 3.39.

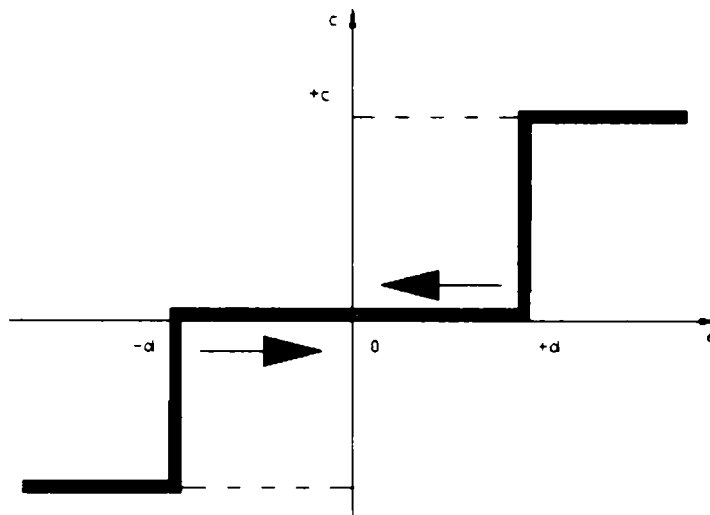


Fig. 3.39 Caracteristica statică ideală a regulatorului tripozițional

Regulatele tripoziționale pot fi conectate cu elemente de execuție concepute astfel încât acestea să se deplaseze relativ lent către una sau alta din pozițiile lor extreme, după cum mărimea de acționare are valoare mai mare sau mai mică decât limitele zonei moarte. Când valoarea mărimii de acționare se află în interiorul zonei moarte, elementul de execuție este menținut în aceeași poziție. Cu un sistem de reglare având o asemenea combinație regulator - element de execuție este posibil să se obțină un regim staționar pentru orice sarcină avută în vedere la dimensionarea elementului de execuție. În felul acesta poziția elementului de execuție este stabilă exceptând situațiile când în sistem apar perturbații.

Prin construcție, regulatele au posibilitatea de modificare a constantelor de reglare respectiv K_r , T_i și T_d , în cazul regulatelelor P, PI, PID și a limitelor intervalului $(-d, +d)$ în cazul celor bipoziționale și tripoziționale, acestea fiind reglaje puse de către fabricant la dispoziția utilizatorului. Operațiunea de reglare a constantelor unui regulator astfel încât procesul de reglare să devină stabil se numește **acordarea regulatelelor**. Acordarea regulatelelor se face de obicei manual prin metode experimentale și constă din mai multe iterații.

În prezent, datorită introducerii sistemelor microprogramate în construcția regulatelelor se implementează și se utilizează din ce în ce mai mult funcția de autoacordare. Autoacordarea este realizată prin modificarea automată a valorilor constantelor regulatorului și testarea funcției de reglare direct în proces fără intervenție manuală până la obținerea unei precizii de reglare prescrise în condiții de stabilitate a sistemului. Autoacordarea poate dura, în funcție de complexitatea procesului și de performanțele sistemului de reglare de la câteva secunde până la zeci de ore. Există însă situații în care funcția de autoacordare nu dă rezultate, iar în această situație se impune acordarea manuală. De asemenea din considerente de securitate a instalațiilor și a personalului de deservire funcția de autoacordare a regulatelelor nu poate fi activată în orice proces.

Cea mai nouă generație de regulatoare utilizată în sistemele de reglare și care se pretează la reglarea proceselor la care nu se pot găsi funcții matematice care să poată modela procesul, este cea a **regulatoarelor cu logică fuzzy**.

Teoria fuzzy este cunoscută din lucrarea lui Lotfi Zadeh apărută în 1965, elaborată pentru a simplifica accesul la problemele care sunt imposibil sau foarte dificil de descris în termeni de variabile deterministe [12].

În legile tradiționale de logică ceva aparține sau nu de altceva, nefiind loc de ambiguități. În lumea reală, însă, ambiguitățile sunt mai degrabă normale, răspunsul la întrebări fiind deseori „poate” în loc de „da” sau de „nu”. Din această cauză logica fuzzy, contrar logicii tradiționale, nu numai că tolerează dar se și bazează pe evitarea frontierelor.

Utilizarea în cadrul regulatoarelor a logicii fuzzy înseamnă prelucrarea într-o primă etapă a mărimilor de intrare provenite din procesul reglat, prin aplicarea asupra lor a unor funcții matematice, obținându-se încadrarea mai puternică sau mai slabă a acestora în anumite categorii definite cu **termeni lingvistici** (linguistic term), operație numită **fuzzyficare**. Funcțiile matematice aplicate mărimilor de intrare se numesc **funcții de apartenență** (membership function) și dau **gradul de apartenență** (membership grade) în funcție de mărimea de intrare, care semnifică de fapt gradul de încadrare a mărimii de intrare în categoriile definite cu termenii lingvistici aleși.

O funcție de apartenență este deci o curbă care definește modul în care fiecare valoare din spațiul mărimii de intrare corespunde unei valori a gradului de apartenență situat între 0 și 1, pentru fiecare din termenii lingvistici aleși.

Mărimea sau mărimile de ieșire se fuzzyfică, de asemenea, obținându-se funcții de apartenență similare mărimilor de intrare.

Mărimile de intrare se mai numesc **antecedente**, iar cele de ieșire **consecințe**.

Odată realizată fuzzyficarea (crearea funcțiilor de apartenență ale) mărimilor de intrare și ieșire ale sistemului (regulatorului), urmează stabilirea unei **baze de reguli** care constă dintr-o serie de condiționări de forma IF – THEN aplicate între antecedentele combinate cu operatori logici fuzzy și consecințele (de asemenea combinate cu operatori logici fuzzy atunci când acestea sunt mai multe). În logica fuzzy operatorii logici uzuali sunt AND, OR și NOT și acționează conform teoriei mulțimilor vagi [12], [41] după cum urmează :

$$A \text{ AND } B = \min (A,B) \quad (3.7.1.14)$$

$$A \text{ OR } B = \max (A,B) \quad (3.7.1.15)$$

$$\text{NOT } A = 1 - A \quad (3.7.1.16)$$

unde A și B reprezintă valori de adevăr continue și aparțin intervalului de numere reale (0,1).

În cele mai frecvente cazuri, la scrierea regulilor, se lucrează cu operatorul logic **AND** (*min*) atât pentru intrări cât și pentru ieșirile procesorului fuzzy.

Urmează procesarea fuzzy care constă în aplicarea bazei de reguli asupra mărimilor de intrare fuzzyficate, obținându-se prin utilizarea operatorilor logici amintiți, pentru fiecare set fuzzy de antecedente un număr corespunzător fiecărei reguli, număr cuprins în intervalul (0,1) și denumit **gradul de susținere** (sau grad de realizare) al regulii.

Gradul de susținere al regulii se utilizează pentru modelarea setului de ieșire fuzzy. Consecința unei reguli fuzzy repartizează un întreg set fuzzy la ieșire. Acest set fuzzy este reprezentat de o funcție de apartenență care este aleasă să indice calitatea consecinței.

Dacă antecedentul este doar parțial adevărat atunci setul fuzzy de ieșire este trunchiat în acord cu **metoda de implicare** (de obicei metoda este : **minim**).

În general o regulă singură nu este suficientă, fiind necesare două sau mai multe reguli care se pot completa una pe alta. Ieșirea fiecărei reguli este un set fuzzy de ieșire.

Seturile fuzzy de ieșire ale tuturor regulilor sunt ulterior agregate într-un singur set fuzzy de ieșire în acord cu **metoda de agregare** aleasă [41] (de obicei metoda este: **maxim**).

În final setul rezultat este defuzzyficat, adică rezolvat într-un singur număr în acord cu **metoda de defuzzyficare** aleasă (de obicei metoda este: **centroid**). Procedura urmată într-o prelucrare fuzzy la modul general este intuitiv redată în figura 3.40 [12].

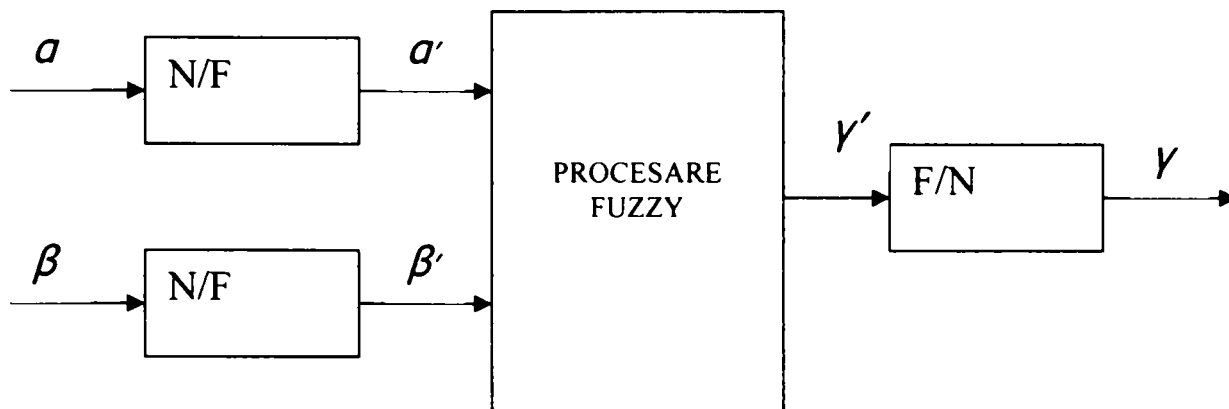


Fig. 3.40 Schema bloc a regulatorului fuzzy cu două variabile de intrare și o ieșire

Variabilele numerice α și β sunt convertite în variabile fuzzy α' și β' prin utilizarea funcțiilor de apartenență. Blocul procesor fuzzy face combinarea lor prin regulile implementate, ca de exemplu:

$$\begin{aligned} \dots \\ \text{IF } (\alpha' = \text{FP AND } \beta' = \text{PN}) \text{ THEN } \gamma' = \text{PP} \\ \text{IF } (\alpha' = \text{FP AND } \beta' = \text{ZE}) \text{ THEN } \gamma' = \text{FP} \\ \dots \end{aligned} \quad (3.7.1.16)$$

Fiecărei reguli îi va reveni astfel un grad de susținere situat în domeniul real (0,1).

În concordanță cu valorile fuzzy ale variabilelor α' și β' , cu baza de reguli și cu rezultatul aplicării unei noi funcții de apartenență, se obține variabila de ieșire fuzzy γ' [12] care se convertește într-o variabilă numerică γ prin defuzzyficare cu ajutorul blocului F/N, de exemplu calculând poziția „centrului de greutate” (centroid) a lui γ' .

Procesul de formulare a problemei pentru transformarea unei intrări într-o ieșire utilizând logica fuzzy se numește deducție fuzzy sau **sistem de deducție fuzzy** [41]. Există două tipuri deja consacrate de sisteme de deducție fuzzy și anume:

- sistem de deducție fuzzy de tip Mamdani (elaborat de Ebrahim Mamdani în 1975)
- sistem de deducție fuzzy de tip Sugeno (elaborat de Takagi, Sugeno și Kang în 1985) [41]

În practică funcțiile de apartenență sunt de obicei triunghiuri sau trapeze simetrice centrate pe valori reprezentative. Pot exista atât situații când fiecărei variabile i se aplică aceeași funcție, precum și situații când se aplică funcții diferite pe variabilă sau pe termen lingvistic. Esența logicii fuzzy este suprapunerea parțială a funcțiilor de apartenență vecine ale unei variabile [12].

Într-un asemenea sistem de reglare chiar și o regulă care este ușor adevărată contribuie la acționarea elementului de execuție. Funcțiile de apartenență și termenii lingvistici se obțin, de regulă, prin intuiția bazată pe experiență și prin încercări.

Ca avantaje ale aplicării logicii fuzzy se menționează faptul că, pe de o parte nu este nevoie de cunoașterea funcției de transfer a sistemului comandat, iar pe de altă parte tendința de suprareglare este minimă.

Dezavantajul principal este legat de faptul că stabilitatea sistemelor fuzzy nu poate fi estimată cu exactitate, fiind necesară simularea sistemelor și executarea unui număr cât mai mare de rulări de încercare. Desigur, niciodată nu vor putea fi simulate toate cazurile posibile.

În cazul proceselor de comprimare a gazelor naturale, o aplicație la care se pretează utilizarea reglatoarelor fuzzy este reglajul turației la gazomotocompresoare.

3.7.2 Caracteristici tehnice și probleme ale reglajului turației la gazomotocompressoarele 10GKNA

Gazomotocompressoarele de tip 10 GKNA, de construcție sovietică, sunt produse în anii 1975 -1980 fiind dotate cu 10 cilindri motor și 5 cilindri compresor. Acestea dezvoltă o putere de cca 1500 CP la o turație nominală de 300 rpm. Partea de motor este în doi timpi cu formarea amestecului carburant direct în cilindru prin injecție de gaz metan în aer.

Caracteristicile principale ale motocompressoarelor de tip 10 GKNA sunt după cum urmează :

- putere nominală motor: $P_n = 1500$ CP
- putere maximă timp de o oră: $P_{max} = 1650$ CP
- turație nominală: $n_n = 300$ rpm
- gama de turație de lucru a arborelui cotit: 295...315 rpm
- gama de turație critică a arborelui cotit: 275...290
- turația minimă permisă la sarcină nominală: $n_{min} = 250$ rpm
- turația maximă a arborelui cotit: $n_{max} = 345$ rpm
- sensul de rotire: sensul acelor de ceasornic
- motor în doi timpi cu 10 cilindri în V
- diametrul cilindrului motor: $D_m = 355$ mm
- cursa pistonului motor: $L_m = 356$ mm
- viteza medie a pistonului motor: $v_m = 3.56$ m/s
- factorul de compresie motor: $\epsilon = 7$
- presiunea de compresie maximă la puterea nominală : $P_c = 18...22$ bar
- presiunea de compresie medie la puterea nominală: $P_m = 6.29$ bar
- combustibil gaz natural (CH₄)
- realizarea alimentării cu combustibil: prin intermediul a două vane de gaz (pentru reglare brută și pentru reglare fină conectate în serie)
- presiunea gazului combustibil înainte de vane: $P_{iv} = 3.5...4$ bar
- presiunea de lucru normală după vane: $P_{dv} = 0.5...3$ bar
- consum de gaz combustibil la puterea nominală cca 10 000 Nmc/zi
- ordinea de funcționare a cilindrilor motor (ordinea de aprindere) 1-2-9-10-3-4-5-6-7-8.
- 5 cilindri compresor
- debit comprimat nominal 800 000 Nmc/zi
- presiune aspirație nominală 7 bar
- presiune refulare nominală 17 bar

Pentru reglarea turației gazomotocompresorului 10GKNA, instalația originală de automatizare utiliza un regulator centrifugal cu acționare hidraulică de tip PID, a cărui mărime de comandă acționa asupra cursei vanei de reglaj fin, prin intermediul căreia se modifica presiunea gazului combustibil la intrarea supapelor de injecție ale cilindrilor motor. Vana de reglaj brut a mașinii era acționată prin comandă pneumatică de la tabloul de automatizare al mașinii având rol doar la pornirea agregatului și la oprirea acestuia voită sau prin protecții.

Deoarece în funcționarea agregatului de comprimare apăreau multiple perturbații, începând cu modificări ale sarcinii, defectări dese ale supapelor de injecție ale cilindrilor motor, schimbări ale concentrației amestecului carburant datorită defectării supapelor de baleiaj ale mașinii, precum și probleme legate de funcționarea turbosuflantelor, regulatoarele centrifugale nu reușeau să mențină turația mașinii la valoarea cerută ceea ce a dus încă din primii ani de la montaj la scoatere lor din funcțiune și trecerea la reglarea manuală a turației mașinii după cum urmează :

- operatorul citește pe aparatele indicatoare de tablou valoarea turației mașinii și a presiunii gazului combustibil după vane (P_{gcdv})

- dacă turația mașinii este în domeniul 295...315 operatorul nu acționează în nici un fel asupra vanelor de reglaj al gazului combustibil
- dacă turația mașinii este în afara domeniului specificat, operatorul, calculează inițial (mental) diferența dintre valoarea nominală a turației 300 rpm și valoarea citită, iar pe baza valorii presiunii gazului combustibil la momentul respectiv decide dacă mașina funcționează la o sarcină mai mare sau mai mică
- în funcție de rezultatele obținute și de experiența anterioară, acesta decide care va fi sensul de acționare și valoarea cursei fiecărei vane de reglaj (VBGC1 și VFGC2, vezi fig. 3.41), precum și viteza cu care va acționa pentru a readuce turația mașinii la valoarea prescrisă
- după acționare operatorul va aștepta rezultatul acțiunii sale urmărind aparatele indicatoare
- turația se va stabili astfel la o nouă valoare de regim staționar
- dacă noua valoare va fi în afara domeniului permis operatorul va relua ciclul operațiilor până la obținerea rezultatului dorit

În acest mod, indiferent de perturbațiile apărute operatorul va putea realiza aducerea turației mașinii în limitele intervalului cerut într-un timp mai lung sau mai scurt, timp care pe măsura câștigării experienței se va reduce din ce în ce mai mult.

În figura 3.41 se prezintă schematic modalitatea actuală de reglare a turației gazomotocompresorului 10GKNA.

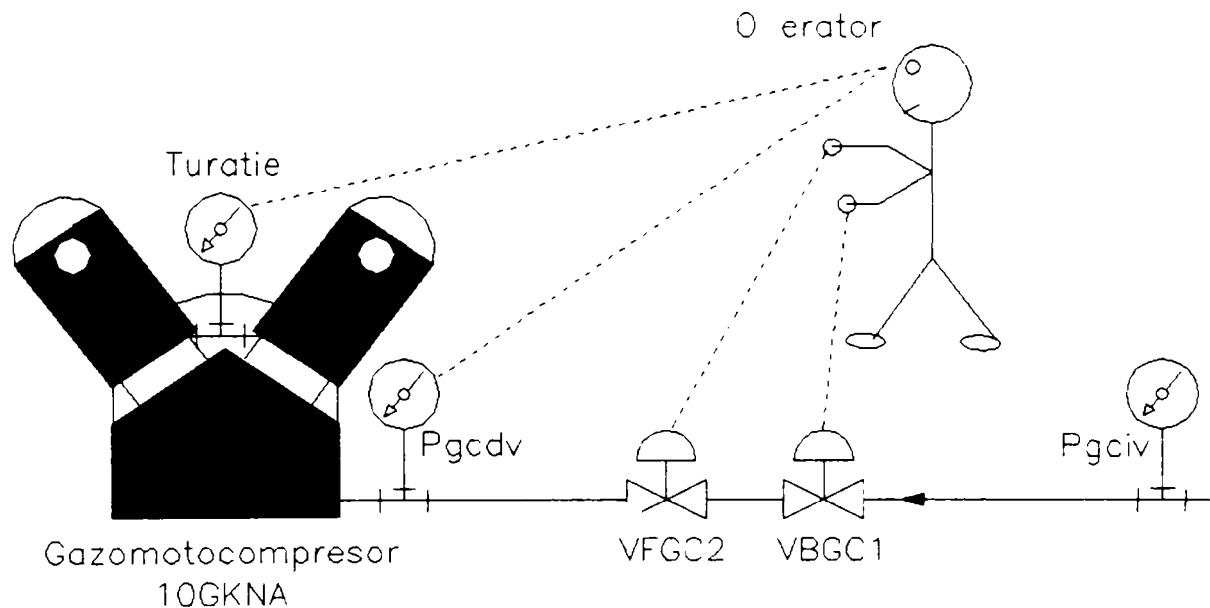


Fig. 3.41 Reglarea manuală a turației gazomotocompresorului 10 GKNA

3.7.2. Concepția și implementarea unui sistem de reglare automată a turației la gazomotocompressoarele 10GKNA utilizând logica fuzzy

După cum rezultă din figura 3.41 și din descrierea modului de reglare manuală a turației prezentată în paragraful 3.7.1, pentru realizarea reglajului automat al turației gazomotocompresorului este necesară acționarea celor două vane de reglaj a presiunii gazului combustibil respectiv VBGC1 (vana de reglaj brut) și VFGC2 (vana de reglaj fin), în acord cu valorile parametrilor turație și presiune gaz combustibil după vane (Pgcdv).

Datorită faptului că nu se cunosc caracteristicile celor două vane și nici legea de dependență a turației mașinii în funcție de presiunea gazului combustibil la intrarea supapelor de injecție se poate concluziona că problema nu va putea fi rezolvată prin utilizarea unui tip de regulator uzual. În aceste

condiții singura posibilitate de reglaj automat ar putea fi utilizarea unui sistem de reglare bazat pe logica fuzzy.

Înainte de a se putea implementa un sistem de deducție fuzzy se impune montarea unor acționări fiabile pe cele două vane de reglaj care să asigure un răspuns ferm și controlabil la comenzile electrice de închidere sau deschidere transmise de sistemul de reglare ce va fi implementat.

Ținând cont de experiența acumulată în perioada de exploatare a agregatelor de tip 10GKNA cu reglajul turației manual, s-a optat pentru montarea unor acționări electrice cu motoare de inducție trifazate acestea având avantajul fiabilității ridicate și a simplității exploatării și întreținerii. Fiecare acționare a fost completată cu limitatoare de capăt de cursă atât la închidere cât și la deschidere.

Caracteristicile vanelor echipate cu acționare electrică sunt după cum urmează :

1. Pentru vana de reglaj brut :
 - diametru nominal : DN50
 - presiunea nominală : PN10
 - durata unei curse complete: 9s
 - motor de acționare : 3x380, 50 Hz, 0.25 kW, 1500 rpm
 - limitatori de capăt de cursă cu acționare mecanică și contacte 2ND+2NI: 2 buc
2. Pentru vana de reglaj fin :
 - diametru nominal : DN50
 - presiunea nominală : PN10
 - durata unei curse complete: 60s
 - motor de acționare : 3x380, 50 Hz, 0.15 kW, 1500 rpm
 - limitatori de capăt de cursă cu acționare mecanică și contacte 2ND+2NI: 2 buc

Pentru acționarea celor două vane s-a folosit o schemă de alimentare realizată cu doi contactori pentru fiecare vană, cu inversare de sens de rotație și interconținere electrică și mecanică așa cum apare în schema generală de automatizare a gazomotocompresorului prezentată în Anexa 22. În schemă se poate observa și câte un circuit de frânare în curent continuu pentru fiecare motor de acționare, circuit care intră în funcțiune la dispariția comenzii de închidere sau deschidere a vanei.

Comanda celor patru contactori s-a realizat prin implementarea unui regulator tripozițional dublu cu patru ieșiri de tip contact la care durata impulsurilor de comandă sunt rezultatul prelucrării fuzzy a celor două mărimi de intrare respectiv turația și presiunea gazului combustibil după vane. Sistemul astfel implementat este redat schematic în figura 3.42.

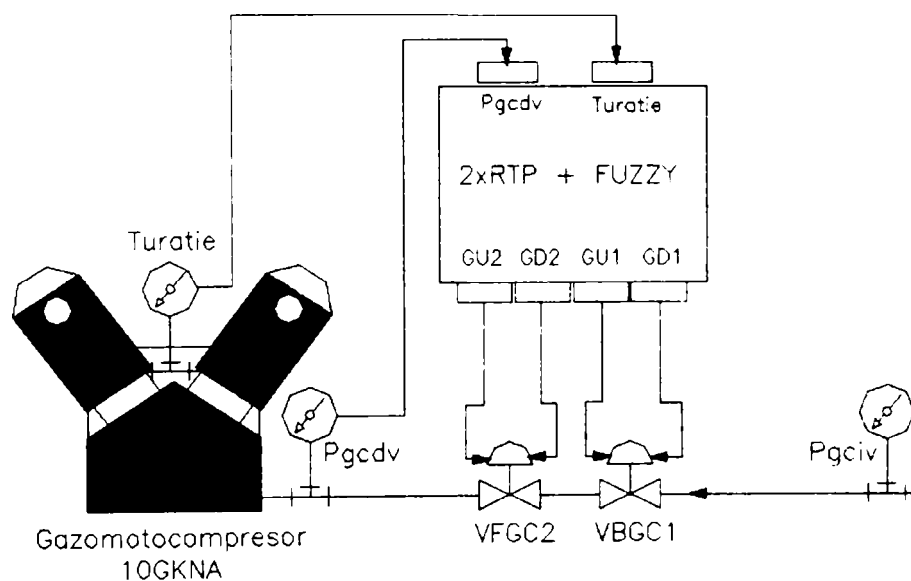


Fig. 3.42 Schița sistemului propus pentru reglarea automată a turației gazomotocompresorului 10 GKNA

Se observă că locul operatorului a fost luat în noul sistem de reglare de către un ansamblu de două regulatoare tripoziționale (2RTP) cuplate cu un sistem de deducție cu logică fuzzy. Logica de funcționare a regulatorului este similară cu cea descrisă la reglarea manuală.

Regulatoarele tripoziționale (2xRTP) sunt conectate cu elementele de execuție (vanele de reglaj a presiunii gazului combustibil) concepute astfel încât acestea să se deplaseze relativ lent către una sau alta din pozițiile lor extreme, după cum mărimea de acționare (turația) are valoare mai mare sau mai mică decât limitele zonei moarte (corespunzător plajei de turație 295 – 305 rpm). Când valoarea mărimii de acționare se află în interiorul zonei moarte, elementele de execuție sunt menținute în aceeași poziție. În felul acesta pozițiile vanelor de reglaj sunt stabile exceptând situațiile când în sistem apar perturbații, deci motoarele de acționare sunt oprite atâta timp cât mașina este în regim staționar în plaja de turație corespunzătoare zonei moarte.

Datorită faptului că secțiunea de deschidere a vanelor nu este o funcție liniară de poziția acestora între cele două capete de cursă și cu atât mai mult de durata impulsului de comandă, rezultă că efectul impulsurilor de comandă cu aceeași durată este diferit pentru diferite poziții de deschidere ale vanelor. În plus nici variația turației mașinii nu este o funcție liniară de presiunea gazului combustibil după vane, lucru care face și mai greu de estimat efectul impulsurilor de comandă ale celor două vane de reglaj.

În aceste condiții s-a impus utilizarea unui sistem de deducție fuzzy pentru stabilirea duratelor impulsurilor de comandă pentru cele două vane în diversele situații și regimuri de funcționare ale mașinii.

Pentru experimentare s-a elaborat un sistem de deducție fuzzy de tip *Mamdani*, cu metoda de implicare *minim*, metoda de agregare *maxim* și defuzzyficare de tip *centroid*.

Sistemul fuzzy a fost inițial simulat în mediul de programare MATLAB.

În figura 3.43 se poate observa structura sistemului de deducție fuzzy utilizat.

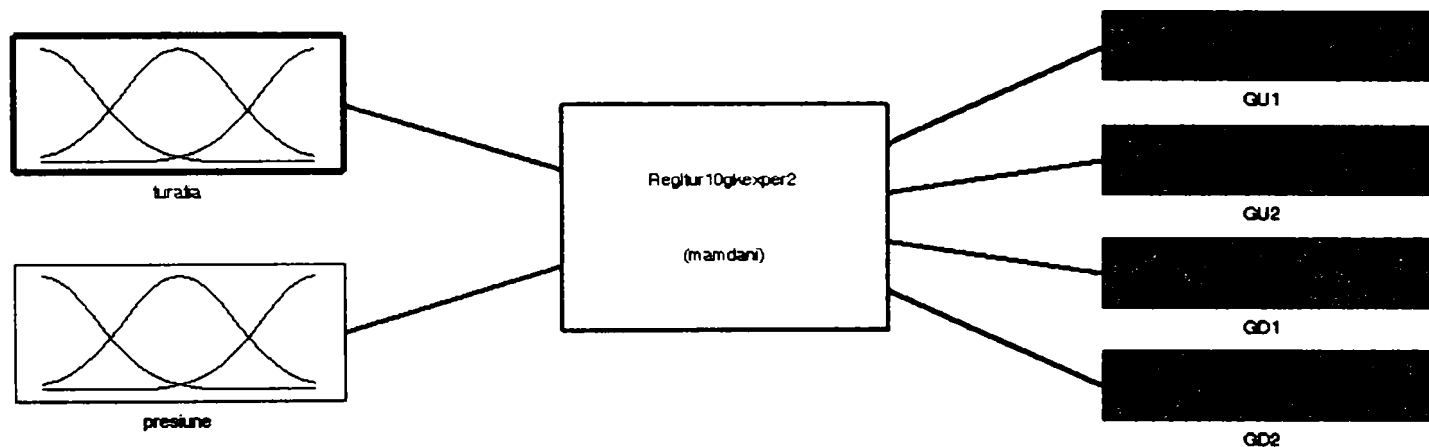


Figura 3.43 Structura sistemului de deducție fuzzy utilizat pentru reglarea automată a turației gazomotocompresorului 10 GKNA

Sistemul de reglare astfel conceput are, după cum se poate vedea în figură, două variabile de intrare (presiunea gazului combustibil și turația mașinii), iar la ieșire a sa furnizează cele patru variabile reprezentând durate ale impulsurilor de comandă la închidere și deschidere pentru cele două vane de reglaj în acord cu notațiile din figura 3.42, respectiv:

- GU1 (gaz up 1 – reglaj brut) – deschidere vana reglaj brut
- GD1 (gaz down 1 – reglaj brut) – închidere vana reglaj brut
- GU2 (gaz up 2 – reglaj fin) – deschidere vana reglaj fin
- GD2 (gaz down 2 – reglaj fin) – închidere vana reglaj fin

Pentru stabilirea funcțiilor de apartenență s-a plecat de la un tabel de corespondență obținut experimental prin mai multe încercări de reglare manuală a turației pentru diferite agregate de comprimare de același tip (tabelul 3.7.1).

TABEL nr. 3.7.1

Valori reprezentative ale turației, presiunii și impulsurilor pentru comanda vanelor de reglaj la gazomotocompresorul 10GKNA obținute experimental

| TURAȚIA [rpm] | TIPUL IMPULSULUI | DURATA ÎN GOL (p<1.5bar) [s] | DURATA ÎN SARCINĂ (P>1 bar) [s] |
|---------------|------------------|------------------------------|---------------------------------|
| < 280 | GU1 + GU2 | 0.5+1.8 | 0.5+3 |
| 280...290 | | 0.3+1.6 | 0.3+2.8 |
| 290...295 | | 0+1.3 | 0+2.5 |
| 295...305 | - | 0+0 | 0+0 |
| 305...310 | GD1 + GD2 | 0.+1.3 | 0+2.5 |
| 310...320 | | 0.3+1.6 | 0.3+2.8 |
| > 320 | | 0.5+1.8 | 0.5+3 |

Aceste valori ale impulsurilor și plajelor de turație și presiune sunt foarte aproximative așa încât implementarea lor în această formă în cadrul regulatorului dublu-tripozițional nu asigură stabilitatea sistemului dar constituie o bază de plecare bună pentru stabilirea funcțiilor de apartenență necesare implementării sistemului de deducție fuzzy. În figura 3.44 se prezintă funcția de apartenență elaborată pentru variabila de intrare *turație*.

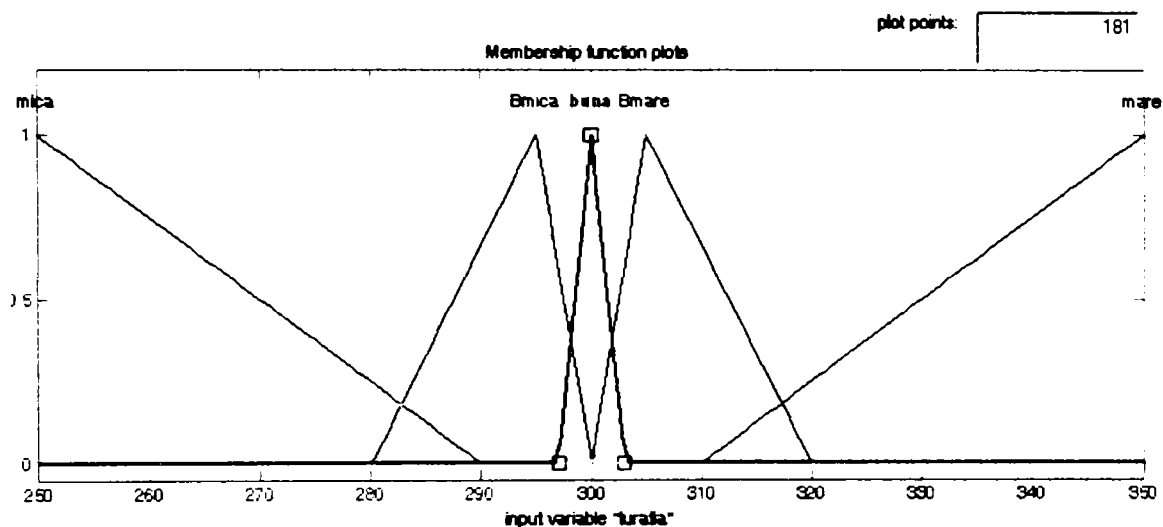


Fig. 3.44 Funcția de apartenență pentru variabila de intrare turația masinii

S-au folosit cinci termeni lingvistici cu funcții de apartenență de formă triunghiulară având vârfurile poziționate pe valorile reprezentative ale turației. Aceștia sunt după cum urmează :

- **mică**, cu parametri (250,250,290)
- **Bmică**, cu parametri (280,295,300)
- **bună**, cu parametri (297,300,303)
- **Bmare**, cu parametri (300,305,320)
- **mare**, cu parametri (310,350,350)

Pentru variabila de intrare *presiune gaz combustibil după vane*, funcția de apartenență se prezintă în figura 3.45.

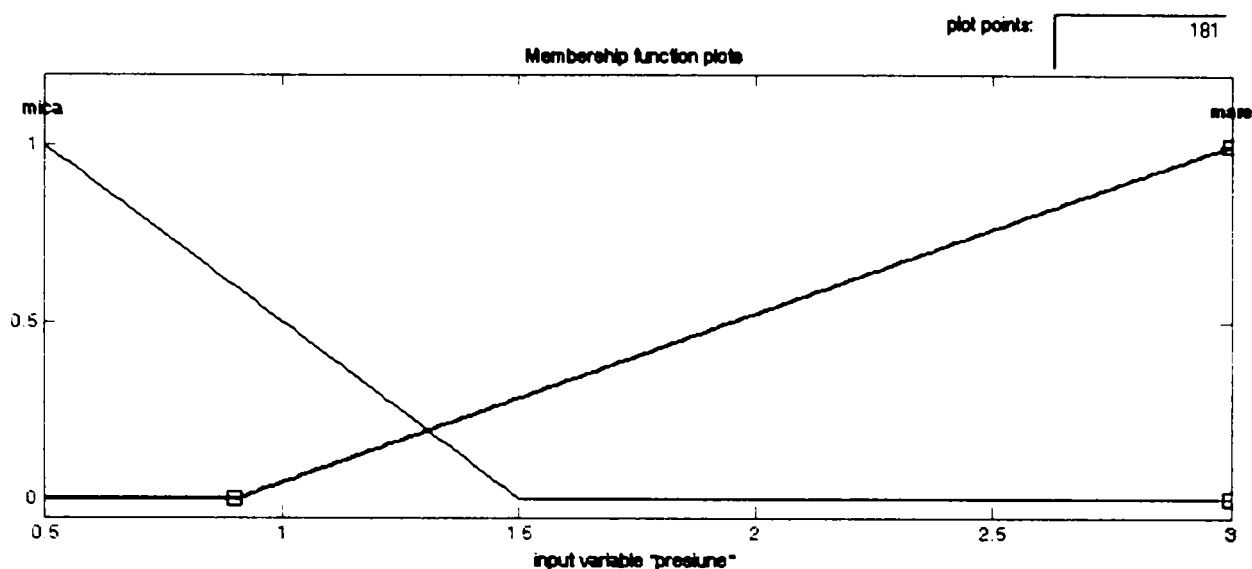


Fig. 3.45 Funcția de apartenență pentru variabila de intrare presiune gaz combustibil după vane

În acest caz s-au folosit doi termeni lingvistici cu funcții de apartenență de asemenea de formă triunghiulară :

- **mică**, cu parametri (0.5,0.5,1.5)
- **mare**, cu parametri (0.9,3,3)

Pentru variabilele de ieșire funcțiile de apartenență s-au modificat în mai multe rânduri prin experimentarea lor în cadrul sistemului de reglare, obținându-se în final un set de funcții de apartenență optimizat care satisface suficient de bine necesitățile de stabilitate ale sistemului.

Astfel s-au elaborat pentru variabila de ieșire GU1 funcția de apartenență prezentată în figura 3.46, pentru GD1 funcția de apartenență din figura 3.47, pentru GU2 funcția din figura 3.48, iar pentru GD2 funcția de apartenență din figura 3.49.

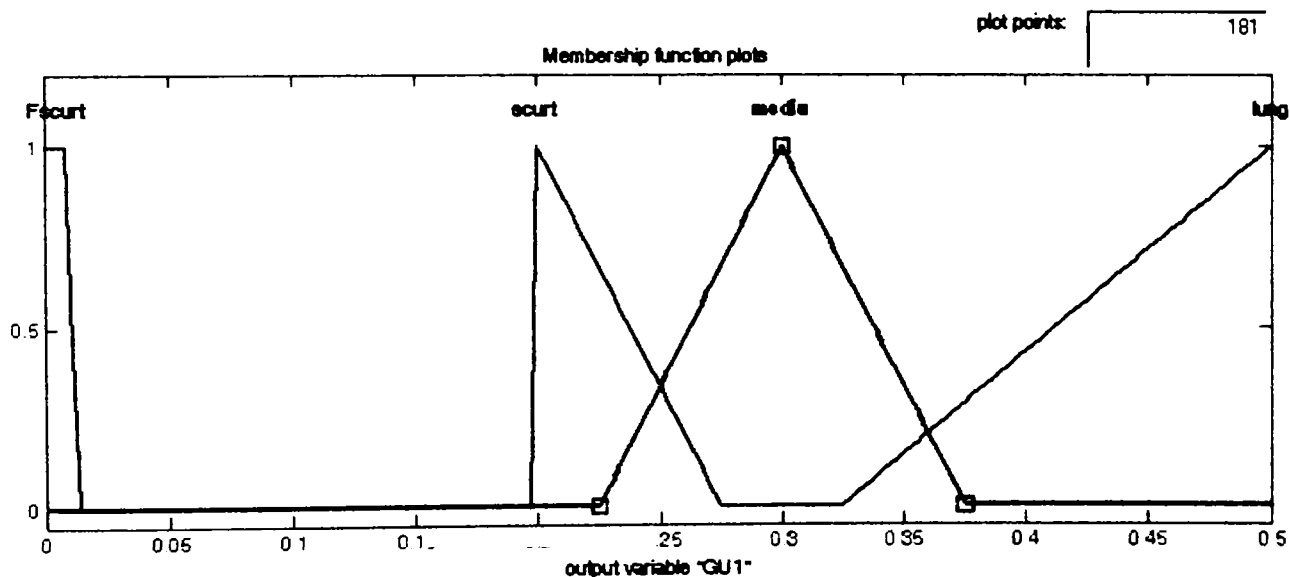


Fig. 3.46 Funcția de apartenență pentru variabila de ieșire GU1

Termenii lingvistici pentru variabila GU1 sunt după cum urmează :

- **lung**, funcție triunghiulară cu parametri (0.325, 0.5, 0.5)

- **mediu**, funcție triunghiulară cu parametri (0.225, 0.3, 0.375)
- **scurt**, funcție triunghiulară cu parametri (0.2, 0.2, 0.275)
- **Fscurt**, funcție trapezoidală cu parametri (0, 0, 0.01, 0.012); Acest termen lingvistic se utilizează pentru a furniza la ieșirea regulatorului un impuls de valoare suficient de mică pentru a nu se produce modificarea poziției vanei. Aceste impulsuri sunt practic nule pentru sistemul de reglare fiind inhibate electronic și se utilizează doar în zona moartă a regulatorului.

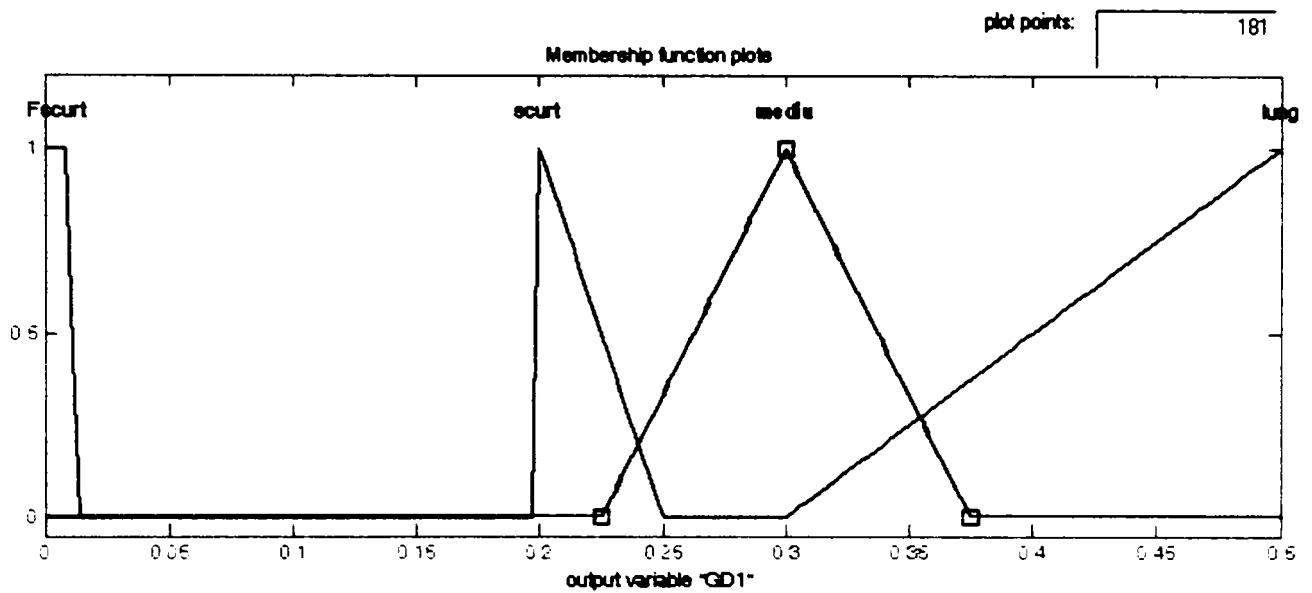


Fig. 3.47 Funcția de apartenență pentru variabila de ieșire GD1

Termenii lingvistici pentru variabila GD1 sunt după cum urmează :

- **lung**, funcție triunghiulară cu parametri (0.3, 0.5, 0.5)
- **mediu**, funcție triunghiulară cu parametri (0.225, 0.3, 0.375)
- **scurt**, funcție triunghiulară cu parametri (0.2, 0.2, 0.25)
- **Fscurt**, funcție trapezoidală cu parametri (0, 0, 0.01, 0.012)

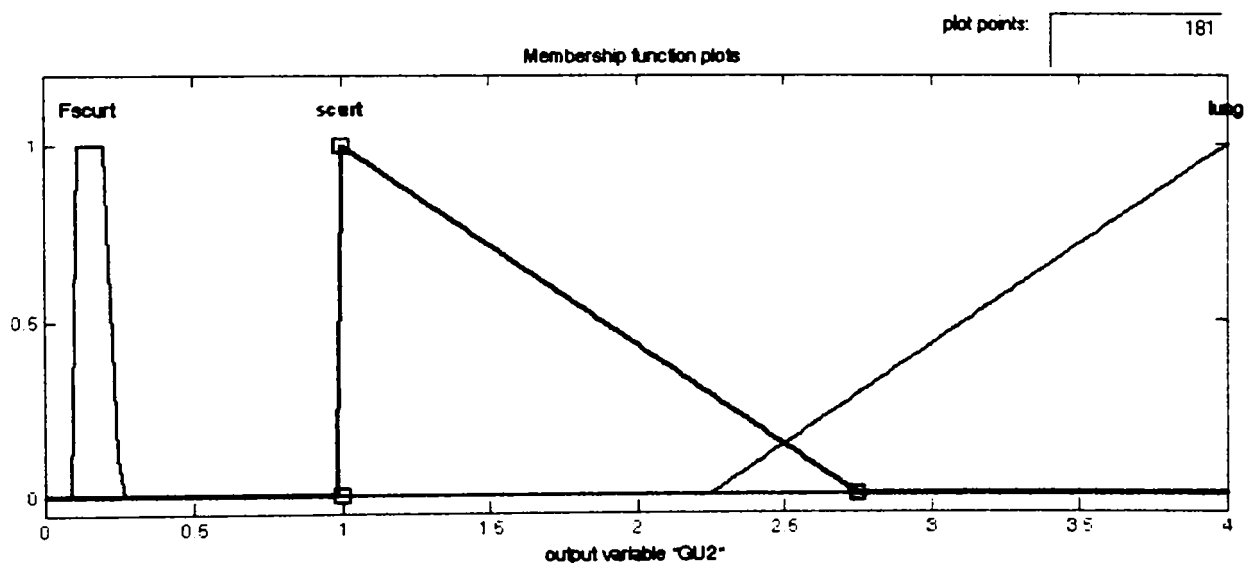


Fig. 3.48 Funcția de apartenență pentru variabila de ieșire GU2

Termenii lingvistici pentru variabila GU2 sunt după cum urmează :

- **lung**, funcție triunghiulară cu parametri (2.25, 4, 4)
- **scurt**, funcție triunghiulară cu parametri (1, 1, 2.75)

- **Fscurt**, funcție trapezoidală cu parametri (0.1, 0.1, 0.2, 0.25) (impulsuri inhibitate electronic; se utilizează în zona moartă)

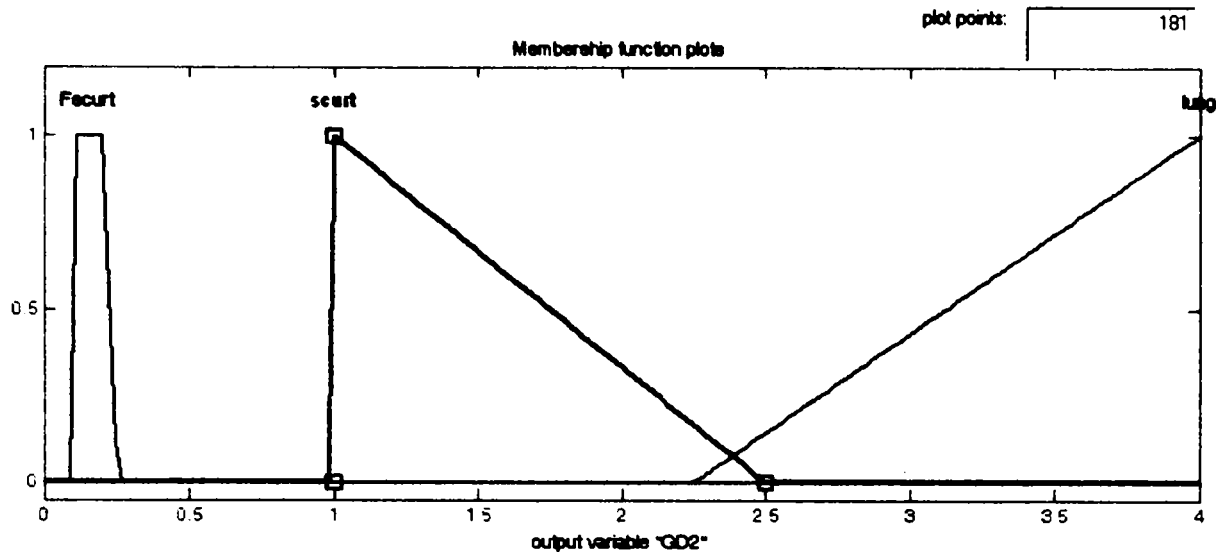


Fig. 3.49 Funcția de apartenență pentru variabila de ieșire GD2

Termenii lingvistici pentru variabila GD2 sunt după cum urmează :

- **lung**, funcție triunghiulară cu parametri (2.25, 4, 4)
- **scurt**, funcție triunghiulară cu parametri (1, 1, 2.5)
- **Fscurt**, funcție trapezoidală cu parametri (0.1, 0.1, 0.2, 0.25) (impulsuri inhibitate electronic; se utilizează în zona moartă)

Baza de reguli stabilită pentru realizarea procesării fuzzy conține 10 reguli după cum urmează :

1. If (turația is mica) and (presiune is mica) then (GU1 is scurt)(GU2 is scurt)(GD1 is Fscurt)(GD2 is Fscurt)
2. If (turația is mica) and (presiune is mare) then (GU1 is lung)(GU2 is lung)(GD1 is Fscurt)(GD2 is Fscurt)
3. If (turația is Bmica) and (presiune is mica) then (GU1 is mediu)(GU2 is scurt)(GD1 is Fscurt)(GD2 is Fscurt)
4. If (turația is Bmica) and (presiune is mare) then (GU1 is mediu)(GU2 is lung)(GD1 is Fscurt)(GD2 is Fscurt)
5. If (turația is Bmare) and (presiune is mica) then (GU1 is Fscurt)(GU2 is Fscurt)(GD1 is mediu)(GD2 is scurt)
6. If (turația is Bmare) and (presiune is mare) then (GU1 is Fscurt)(GU2 is Fscurt)(GD1 is mediu)(GD2 is lung)
7. If (turația is mare) and (presiune is mica) then (GU1 is Fscurt)(GU2 is Fscurt)(GD1 is lung)(GD2 is scurt)
8. If (turația is mare) and (presiune is mare) then (GU1 is Fscurt)(GU2 is Fscurt)(GD1 is lung)(GD2 is lung)
9. If (turația is buna) and (presiune is mica) then (GU1 is Fscurt)(GU2 is Fscurt)(GD1 is Fscurt)(GD2 is Fscurt)
10. If (turația is buna) and (presiune is mare) then (GU1 is Fscurt)(GU2 is Fscurt)(GD1 is Fscurt)(GD2 is Fscurt)

Baza de reguli elaborată mai sus a fost inițial implementată în sistemul de deducție fuzzy realizat în mediul de programare MATLAB.

În urma rulării programului de simulare s-au obținut suprafețele de corespondență între mărimile de intrare și ieșire așa cum acestea sunt prezentate în figura 3.50, figura 3.51, figura 3.52 și figura 3.53.

Implementarea fizică a regulatorului s-a făcut prin selectarea unor seturi de valori semnificative ale mărimilor de intrare și ieșire rezultate din procesarea fuzzy, valori care au fost ulterior implementate în microprogramul de automatizare al agregatului de comprimare care rulează pe un microcontroler de tip ATMEL 89C52. În acest mod microcontrolerul a fost eliberat de funcția de procesare fuzzy care i-ar fi consumat o mare parte din resursele hard, beneficiind totuși de rezultatele procesării fuzzy realizată în MATLAB pe o platformă hard mult mai puternică. În urma unei serii de experimente succesive care au furnizat un număr mare de informații utile pentru realizarea regulatorului s-a reușit reglarea turației gazomotocompresorului cu rezultate suficient de bune în condițiile unei platforme hard fiabile și la un preț de cost relativ redus.

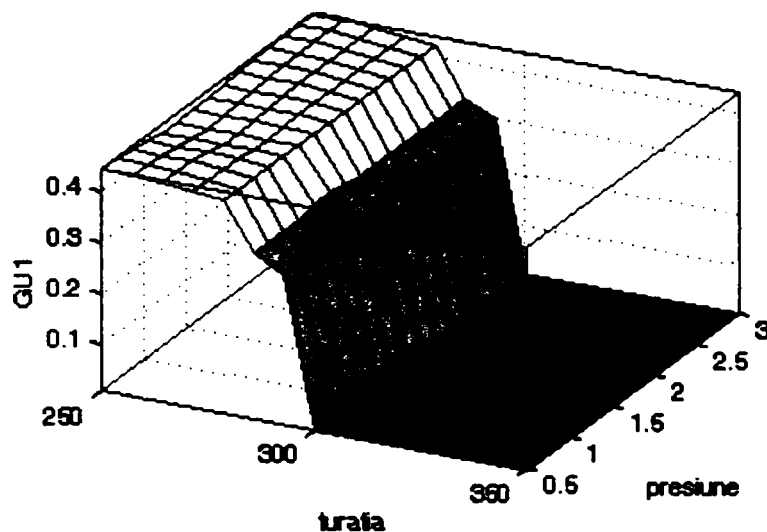


Fig. 3.50 Dependența variabilei de ieșire GUI de variabilele de intrare ale sistemului de reglare cu logică fuzzy

Se observă vă că durata impulsurilor este practic nulă la turații mai mari de 300 rpm deoarece această variabilă acționează asupra deschiderii vanei de reglaj brut a gazului combustibil.

Variația duratei impulsurilor de comandă cu presiunea este redusă ceea ce înseamnă că la această vană de reglaj efectul unei unități de cursă asupra turației mașinii este aproximativ același pentru întreaga plajă de variație a presiunii gazului combustibil.

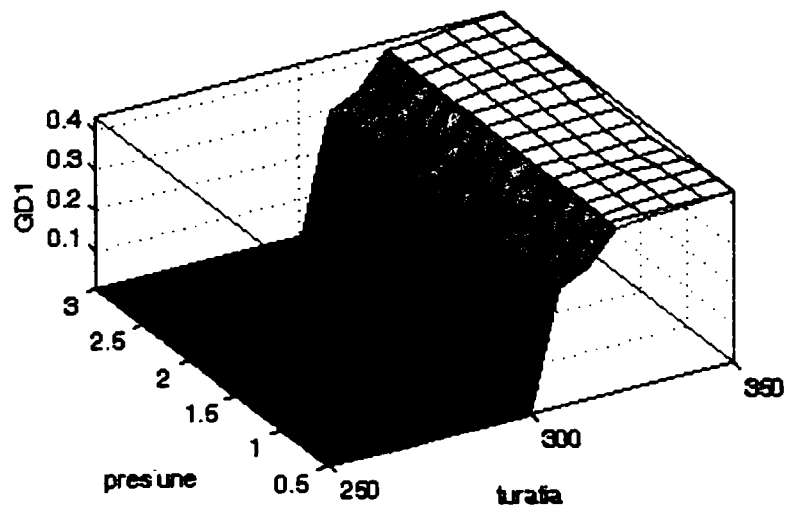


Fig. 3.51 Dependența variabilei de ieșire GD1 de variabilele de intrare ale sistemului de reglare cu logică fuzzy

Graficul din figura 3.51 este aproximativ simetric cu cel din figura 3.50 față de axa turației nominale. Durata impulsurilor este nulă la turații mai mici de 300 rpm datorită faptului că aceste impulsuri acționează asupra închiderii vanei de reglaj brut a gazului combustibil.

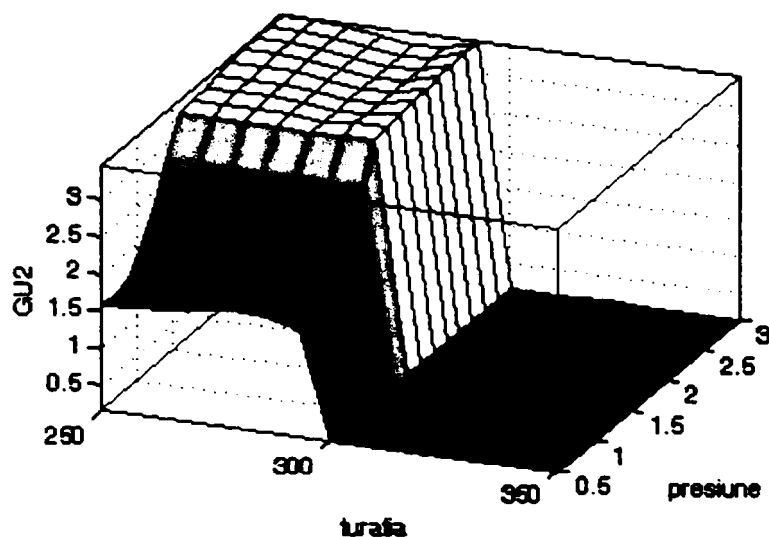


Fig. 3.52 Dependența variabilei de ieșire GU2 de variabilele de intrare ale sistemului de reglare cu logică fuzzy

Așa cum era de așteptat, la valori ale turației mai mari de 300 rpm durata impulsurilor GU2 aplicate pentru deschiderea vanei de reglaj fin este nulă (vezi figura 3.52). Spre deosebire de situația descrisă la vana de reglaj brut, în acest caz se observă că durata impulsurilor de comandă scade semnificativ cu scăderea presiunii gazului combustibil ceea ce înseamnă că efectul unității de cursă a vanei de reglaj fin asupra turației mașinii este mai mare la presiuni mici ale gazului combustibil.

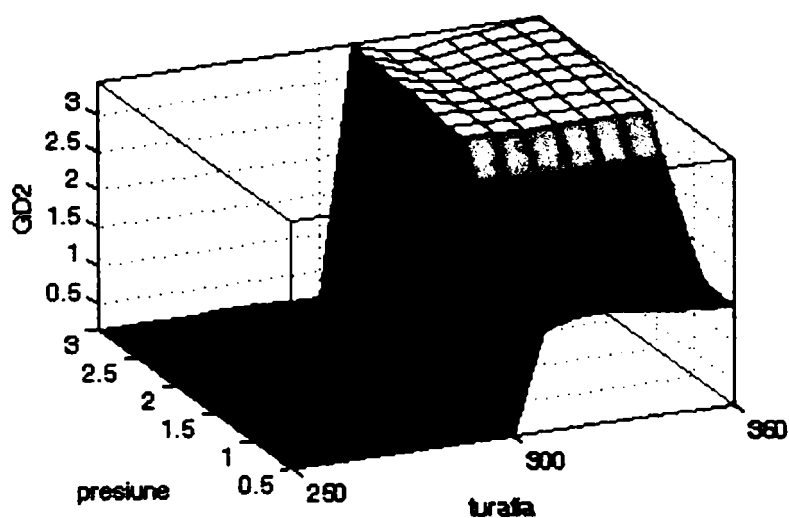


Fig. 3.53 Dependența variabilei de ieșire GD2 de variabilele de intrare ale sistemului de reglare cu logică fuzzy

Graficul variabilei de ieșire GD2 (vezi figura 3.53) care comandă închiderea vanei de reglaj fin a gazului combustibil este aproximativ simetric cu cel al variabilei GU2 față de axa turației nominale. Explicația acestui fapt este aceea că cele două comenzi sunt complementare și

acționează pe domenii ale turației opuse față de axa turației nominale. În caz contrar s-ar pierde stabilitatea sistemului.

3.7.3. Rezultate obținute experimental cu sistemul de reglare propus

Prin implementarea regulatorului propus în paragraful 3.7.2 s-a obținut funcționarea deosebit de uniformă a gazomotocompresorului, astfel încât pe perioade lungi de timp, s-a putut menține producția de gaz comprimat la debite relativ constante. În figura 3.54 se prezintă variația parametrilor principal de funcționare ai gazomotocompresorului pe o perioadă de 24 h.

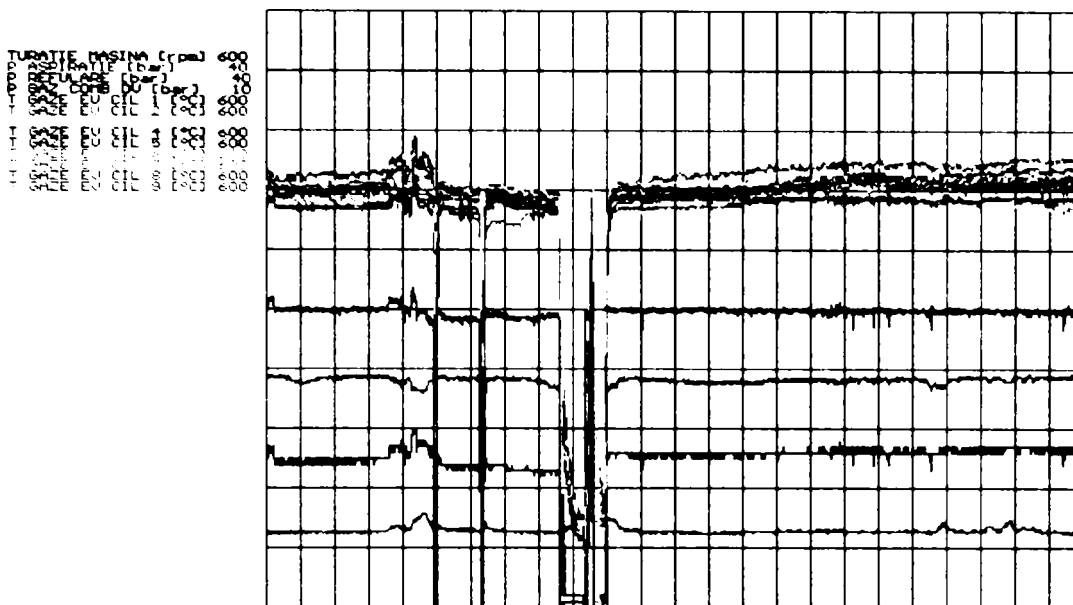


Fig. 3.54 Diagrama de variație a parametrilor de funcționare pentru un gazomotocompresor 10GKNA care utilizează sistemul de reglare a turației propus

În prima parte a perioadei de funcționare a agregatului se observă fluctuații ale turației acestuia (culoarea albastră), precum și a celorlalți parametri, această perioadă corespunzând funcționării în regim manual de reglare a turației. Între orele 09 și 10 s-au efectuat manevre de oprire ale agregatului trecându-se apoi la pornirea în regim de reglaj automat al turației. Partea a doua a diagramei corespunde regimului automat de funcționare observându-se o stabilitate mult mai bună a turației mașinii chiar și atunci când ceilalți parametri de funcționare fluctuează (vezi, de exemplu, presiunea de aspirație reprezentată cu culoare verde închis a cărei variație modifică sarcina mașinii).

În concluzie rezultatele simulării sistemului de deducție fuzzy implementate la regulatorul dublu - tripozițional propus, asigură reglarea turației mașinii în condiții de stabilitate chiar dacă se folosesc elemente de execuție simple a căror caracteristică cursă-deschidere nu este cunoscută. Utilizarea logicii fuzzy compensează inclusiv diferențele de efect ale unităților de cursă ale vanelor, asupra modificării turației la diferite sarcini ale mașinii. Sarcina mașinii este reprezentată prin valoarea presiunii gazului combustibil la intrarea supapelor de injecție în regim stabilizat.

În plus sistemul de reglare astfel conceput este perfectibil în funcție de experiența ce va fi acumulată ulterior, atât prin adăugarea de variabile de intrare care pot influența procesul de reglare, cât și prin completarea bazei de reguli existente cu noi reguli obținute, de asemenea, odată cu experiența acumulată în exploatare.

Dezavantajul principal al metodei de reglare este legat de faptul că stabilitatea sistemului nu poate fi estimată cu exactitate și din această cauză a fost necesară implementarea unor protecții la funcționarea agregatului la valori periculoase ale turației, protecții care completează de fapt regulatorul propus.

Un alt dezavantaj, de data aceasta de ordin tehnic, dezavantaj depistat după o perioadă lungă de exploatare (cca. un an), este acela că datorită deselor schimbări de sens de rotație a celor două motoare de acționare se produce o uzură pronunțată a cuplajelor dintre acestea și mecanismele de acționare a vanelor, ceea ce duce la scăderea preciziei de reglaj sau chiar la pierderea stabilității datorită modificării necontrolate a efectului impulsurilor de comandă asupra poziției vanelor din cauza jocurilor apărute. Acest lucru impune verificarea periodică a cuplajelor și schimbarea acestora atunci când se constată uzuri exagerate. Operațiunea este însă destul de simplă așa încât nu se impune schimbarea soluției de reglare, iar dacă se execută cuplaje din materiale cu elasticitate sporită această problemă poate fi practic eliminată.

O soluție de reglare superioară ca și performanțe ar putea fi utilizarea în locul contactoarelor din sistemul de alimentare al motoarelor de acționare, a unor convertizoare statice de frecvență la care modificarea duratei impulsurilor de comandă s-ar putea combina, tot prin utilizarea logicii fuzzy cu modificarea turației motoarelor. În aceste condiții posibilitățile de reglare ar fi mult îmbunătățite și s-ar evita problemele legate de uzura cuplajelor prin creșterea în trepte a turației motoarelor la pornire și la inversarea sensului de rotație. Această soluție este însă nerecomandată la ora actuală, deoarece prețul unui astfel de sistem devine mult prea mare pentru a putea fi utilizat în aplicația dată.

3.8. CONCLUZII

Procesarea gazelor naturale reprezintă o tradiție românească cu atât mai mult cu cât România este prima țară din Europa care a extras, transportat și utilizat gaze naturale.

Comprimarea gazelor naturale reprezintă unul din cele mai importante sectoare ale industriei gaziere românești, fiind începută încă din anul 1965, iar acest domeniu are perspective de dezvoltare în creștere, pe măsură ce presiunile gazelor din zăcămintele scad, consumurile cresc, precum și datorită apariției necesității de înmagazinare a gazelor naturale.

Din punct de vedere al protecției la explozie comprimarea gazelor naturale reprezintă o activitate care se încadrează în zona atmosferelor potențial explozive mai „blânde”, gazul metan din mediul industrial fiind încadrat în grupa de explozie IIA și clasa de temperatură T2.

Formarea atmosferei explozive în spațiile tehnologice din cadrul stațiilor de comprimare are probabilitate relativ redusă, ceea ce duce la o clasificare a acestora corespunzătoare zonei 2 cu pericol de explozie, în cea mai mare parte. Acest lucru permite utilizarea unor echipamente cu protecție la explozie mai puțin pretențioase.

Echipamentele de automatizare originale ale agregatelor de comprimare existente în exploatare la această oră, prezintă o uzură fizică și morală deosebit de avansată atât pentru motocompresoare cât și pentru electrocompresoare. Principala problemă legată de utilizarea în continuare a acestor echipamente este siguranța în funcționare a agregatelor și a personalului de exploatare, precum și lipsa posibilității de transmitere la distanță și prelucrare numerică a datelor legate de funcționarea agregatelor.

Sistemul centralizat de automatizare și achiziție de date conceput, rezolvă principalele probleme ale automatizării agregatelor de comprimare utilizate în industria românească a gazului metan, prezentând față de celelalte instalații de automatizare existente în ramură, următoarele avantaje:

1. asigurarea posibilității de urmărire a unui număr mare de parametri analogici (tipic 64 cu posibilități de extensie).
2. afișarea prin selectare manuală, pe un afișaj local a tuturor parametrilor urmăriți.
3. asigurarea posibilității de protecție a agregatului pentru fiecare din parametrii urmăriți prin programarea limitelor de variație a acestora și a timpilor de acționare pentru elementele de execuție.

4. asigurarea posibilității de avertizare și semnalizare locală prin dispozitiv de avertizare optică, acustică și 32 semnalizări optice programabile
5. asigurarea posibilității operatorului de a da comenzi manuale către agregat, asistate de controlerul de mașină atât local de la consola de operare cât și de la distanță prin intermediul tabloului general al stației
6. asigurarea posibilității de transmisie serială la distanță a tuturor parametrilor urmăriți precum și a semnalizărilor optice, în vederea monitorizării și înregistrării acestora
7. asigurarea fiabilității, preciziei de măsură și a stabilității instalației prin folosirea traductoarelor electronice de parametri (presiuni, temperaturi, turație, vibrații, etc.) cu ieșire în semnal unificat de curent, conversia și prelucrarea numerică a semnalelor obținute
8. asigurarea unei configurări comode a traductoarelor de măsură prin utilizarea protocolului de comunicație HART
9. asigurarea posibilității de comandă și control automat al pornirii, opririi, punerii în sarcină și reglării, prin programarea adecvată a tabloului local, pentru orice tip de agregat de comprimare
10. asigurarea posibilității de funcționare a agregatului de comprimare fără supraveghere umană locală
11. asigurarea posibilității de testare automată a fiecărui traductor de parametri în vederea detectării din timp a defecțiunilor apărute prin utilizarea semnalului unificat cu zero viu, 4-20mA și a protocolului de comunicație HART
12. asigurarea securității la funcționare în mediu cu pericol de explozie a tabloului local de automatizare prin execuția antiexplozivă a tuturor componentelor acestuia
13. asigurarea posibilității de amplasare integrală a tabloului local în apropierea agregatului de comprimare datorită execuției compacte a acestuia
14. eliminarea componentelor pneumatice din instalația de automatizare a agregatelor de comprimare
15. asigurarea posibilității extensie a sistemului prin mărirea numărului de parametri urmăriți și a numărului de comenzi către elementele de execuție
16. asigurarea posibilității de modificare rapidă a programului de control și protecție a agregatului de comprimare
17. reducerea numărului de cabluri între tablou și unitățile din afara zonei cu pericol de explozie prin utilizarea transmisiei seriale a datelor .
18. asigurarea universalității și a interschimbabilității componentelor de automatizare pentru toate tipurile de agregate de comprimare gaze prin utilizarea modulelor de comandă concepute, a sistemului de prelucrare numerică a datelor și a traductoarelor de măsură programabile prin protocol HART

Concepția unei structuri unitare a tabloului, pe lângă avantajele pe care le are în faza de execuție a acestuia, este utilă și în perioada exploatării atât pentru echipele de întreținere și reparații care se vor familiariza cu un anumit tipic de lucrări de revizie, indiferent de tipul agregatelor de comprimare, cât și pentru personalul de exploatare al instalațiilor tehnologice care va putea face ușor trecerea de la operarea cu un electrocompresor la operarea cu un gazomotocompresor, interfața om-mașină fiind similară. Acest lucru devine deosebit de util în exploatarea platformelor de comprimare care utilizează mai multe tipuri de agregate de comprimare în același spațiu.

Generalizarea sistemului de automatizare și achiziție de date conceput, pe lângă avantajele tehnice descrise mai sus ar putea rezolva și problema aprovizionării unitare cu piese de schimb necesare întreținerii sistemului, iar personalul de exploatare și întreținere ar putea fi instruit ușor indiferent de tipul de agregat exploatat.

Lucrările de montaj pentru un astfel de sistem de automatizare se simplifică deoarece, datorită utilizării în mare măsură a logicii programate, cea mai mare parte a efortului de implementare se transferă în munca de programare. În acest mod sistemul poate fi ușor ținut sub control de un număr redus de specialiști, atât la montaj și punere în funcțiune cât și ulterior la lucrările de întreținere.

Implementarea sistemului la mai multe stații de comprimare, reprezintă primul pas al controlului agregatelor de comprimare în sisteme de tip SCADA, datorită posibilităților de comunicare prin

rețeaua INTRANET a Romgaz, la care se racordează consola de operare a tabloului general de dispecerizare a fiecărei stații.

Problema pornirii electrocompresoarelor acționate cu motoare sincrone, reprezintă o parte delicată a procesului de comprimare din stațiile care folosesc acest tip de agregate, datorită puterilor relativ mari ale motoarelor și a riscurilor generate de necesitatea sincronizării vitezei mașinii cu rețeaua de medie tensiune după pornirea în asincron. În acest sens utilizarea modelului ortogonal fizic al mașinii electrice, particularizat pentru mașina sincronă duce la rezultate spectaculoase legate de optimizarea timpului de pornire al agregatului.

Modelul matematic al agregatului implementat în programul de simulare realizat, devine foarte util în studiul fenomenelor tranzitorii ce apar în funcționarea mașinii atât la pornire cât și în alte faze de funcționare ale acesteia.

Rezultatele obținute prin simulare și aplicate la elaborarea programelor de automatizare a electrocompresorului, reușesc să asigure o pornire ușoară a mașinii, lucru ce poate fi observat și în cazul înregistrărilor făcute pe mașina reală.

În cazul motocompresoarelor cea mai delicată problemă legată de funcționarea automată este reglajul turației acestora care nu poate fi realizat prin utilizarea unui tip de regulator uzual, datorită imposibilității de a se găsi relații matematice care să modeleze procesul de reglare.

Folosind experiența acumulată în perioada de exploatare cu reglaj manual al turației, logica fuzzy dă rezultate deosebit de bune chiar dacă se lucrează cu regulatoare tripoziționale și elemente de execuție simple.

Stabilitatea sistemului de reglare care utilizează logica fuzzy nu poate fi estimată cu exactitate, dar utilizarea ei în combinație cu un sistem de protecții bine conceput, implementat la nivelul controlerului de mașină, asigură o securitate suficient de bună și o funcționare uniformă a agregatelor de comprimare controlate.

Soluția de reglare propusă satisface suficient de bine cerințele de stabilitate ale agregatului, fără a mai fi nevoie de prezența operatorului uman.

Sistemul de reglare astfel realizat este perfectibil prin introducerea, la nivelul sistemului de deducție fuzzy implementat, de noi reguli și noi funcții de apartenență, pe măsură ce acestea apar din experiența de exploatare.

3.9. CONTRIBUȚII PERSONALE

S-a realizat o prezentare generală a industriei de exploatare a gazelor naturale, specificându-se stadiul actual al acesteia în România și s-a făcut o introducere a cititorului în domeniul procesului de comprimare a gazelor naturale, una din cele mai importante ramuri ale industriei gaziere românești.

S-au prezentat principalele tipuri de agregate de comprimare utilizate și s-au descris principiile lor constructive și funcționale.

S-a realizat o analiză a spațiilor tehnologice din stațiile de comprimare legată de încadrarea lor din punct de vedere al echipamentelor cu protecției la explozie.

S-a realizat o analiză a stadiului actual al echipamentelor de automatizare din domeniul comprimării gazelor naturale, identificându-se principalele probleme ale instalațiilor originale ale agregatelor.

S-a realizat concepția și implementarea unui „SISTEM CENTRALIZAT DE AUTOMATIZARE ȘI ACHIZIȚIE DE DATE” (SCAAD) capabil să satisfacă necesitățile de control și comandă pentru toate tipurile de agregate de comprimare din dotarea Romgaz.

În cadrul SCAAD s-a conceput un tablou local de automatizare a agregatelor de comprimare flexibil, care prin configurări corespunzătoare poate deservi orice tip de agregat de comprimare gaze.

De asemenea s-a conceput un tablou general de dispecerizare, configurabil pentru orice tip de stație de comprimare, capabil să comunice cu tablourile locale și cu traductoarele de parametri generali ai stației. Acest tablou se poate conecta la rețeaua INTRANET a Romgaz prin intermediul căreia se realizează controlul centralizat al tuturor stațiilor de comprimare în structură de tip SCADA.

În cadrul tabloului general s-a realizat concepția și implementarea unui panou sinoptic capabil să asigure controlul parametrilor generali și al instalației de secvență de urgență de izolare a stației în conformitate cu prescripțiile tehnice specifice domeniului comprimării.

S-au stabilit datele de intrare și ieșire ale instalației de automatizare pentru două tipuri de agregate de comprimare – electrocompresoare tip C260 și motocompresoare tip 10GKNA – atât pentru partea de tablou local de automatizare cât și pentru cea de tablou general de dispecerizare.

S-au elaborat schemele electrice pentru întreg SCAAD conceput atât pentru stații de electrocompresoare cât și pentru motocompresoare.

Sau conceput și realizat în cadrul SCAAD module de comandă universale, care asigură interfața tabloului local cu orice tip de agregat de comprimare.

S-a elaborat ordinograma generală de funcționare a tabloului local de automatizare pentru electrocompresoare, care va putea fi particularizată pentru orice tip de agregat de comprimare.

În colaborare cu firme de specialitate s-a executat un SPN conform configurației rezultate din analiza procesului comprimării și s-au elaborat microprogramele pentru agregate de tip C260 și 10GKNA. SPN astfel realizat a stat la baza execuției controlerului de mașină din componența tabloului local de automatizare a agregatelor.

S-a realizat optimizarea procesului de pornire a electrocompresoarelor C260, acționate cu motoare sincrone de 810 kW la 6 kV, prin implementarea modelului ortogonal fizic (MOF) al mașinii electrice, particularizat pentru mașina sincronă, într-un program de simulare a fenomenelor tranzitorii desfășurate pe perioada pornirii în asincron a acesteia.

Rezultatele simulării au fost implementate în microprogramul de automatizare al tabloului local.

S-au realizat înregistrări ale pornirii agregatului după implementarea rezultatelor simulării, constatându-se rezultate spectaculoase.

S-a conceput și realizat un sistem de reglare automată a turației la motocompresoarele de tip 10GKNA, cu regulator dublu-tripozițional și sistem de deducție cu logică fuzzy care acționează două vane de reglaj a valorii presiunii gazului combustibil la intrarea mașinii. Acest sistem a fost implementat în cadrul tabloului local de automatizare și funcționează cu rezultate deosebit de bune de mai mulți ani. S-au făcut înregistrări ale parametrilor de funcționare ai agregatului atât în regim manual de reglare a turației cât și în regim automat și s-a constatat o îmbunătățire evidentă a funcționării acestuia.

S-au tras concluziile legate de avantajele tehnice aduse și perspectivele de generalizare a sistemului de automatizare conceput, în contextul actual al necesității de dezvoltare a sectorului comprimării gazelor naturale datorită scăderii continue a resurselor din România și apariției necesității crescute de înmagazinare subterană a acestui tip de combustibil.

3.10. CONTRIBUȚII ORIGINALE

Primele experimente ale sistemului de automatizare și achiziție de date prezentat au fost făcute în anul 1998, pe un gazomotocompresor tip 10GKNA la Stația de Comprimare Grebeniș, județul Mureș.

În 1999 tabloul local de automatizare a fost experimentat cu rezultate deosebit de bune pe un electrocompresor tip C260, la Stația de Comprimare Band, județul Mureș și ulterior brevetat sub denumirea de „**Instalație de control și reglare în construcție antiexplozivă pentru agregate de comprimare gaze**” (brevet nr. RO116112/29.07.1999 – titular: Huidan Alecu Sorin). În Anexa 31a,b se prezintă o copie a acestui brevet de invenție.

În același an sistemul a fost omologat în cadrul S.N.G.N. Romgaz S.A. de către o comisie formată din specialiști ai Centrului de Cercetare și Inginerie Tehnologică pentru Gaz Metan - Mediaș.

În anul 2001 sistemul a fost certificat din punct de vedere al securității la funcționare în mediu cu pericol de explozie de către Institutul Național pentru Securitate Minieră și Protecție Antiexplozivă – INSEMEX Petroșani.

În anul 2002 a fost semnat contractul de licență între titularul brevetului și S.N.G.N. Romgaz S.A. Mediaș, prin care aceasta din urmă obținea dreptul de a implementa 79 de instalații de automatizare conform invenției.

La ora actuală sistemul funcționează pe 24 de agregate de comprimare de tip electrocompresor C260 și 17 de tip gazomotocompresor 10GKNA cu rezultate deosebit de bune, urmând ca implementarea sa să fie extinsă la toate agregatele pentru care s-a obținut licență.

4. STUDII ȘI CONTRIBUȚII LA MODERNIZAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE DE APRINDERE PENTRU AGREGATE DE COMPRIMARE DE TIP GAZOMOTOCOMPRESOR

4.1. INSTALAȚII ELECTRICE DE APRINDERE PENTRU MOTOARE TERMICE

Instalația de aprindere a unui motor cu ardere internă, cu aprindere prin scânteie, cuprinde totalitatea dispozitivelor și accesoriilor care au drept scop declanșarea scânteilor necesare aprinderii amestecului carburant în interiorul cilindrului motorului, la momente strict determinate, în funcție de poziția fiecărui piston [59]. Obținerea scânteilor se face prin amorsarea unor descărcări electrice între electrozii bujiilor, cu ajutorul unor impulsuri de înaltă tensiune.

Tensiunea aplicată între electrozii bujiei aflați în camera de ardere a cilindrului motor, precum și energia scânteii electrice generate trebuie să fie suficient de mari pentru a putea determina aprinderea sigură a amestecului carburant în toate regimurile de funcționare ale motorului.

Durata de formare a tensiunii înalte necesară străpungerii spațiului disruptiv dintre electrozi, trebuie să fie suficient de scurtă pentru a se putea obține frecvențe ridicate ale impulsurilor, respectiv turații ridicate ale motoarelor, fără modificarea semnificativă a energiei scânteilor.

Aparatele și elementele din cadrul instalației de aprindere trebuie să prezinte siguranță în funcționare în condiții de solicitări mecanice, chimice, termice și electrice ridicate și să permită o reglare ușoară și o întreținere cât mai simplă.

În prezent se utilizează trei tipuri principale de sisteme de aprindere și anume :

- sisteme de aprindere cu comutație mecanică alimentate în curent continuu de la bateria mașinii
- sisteme de aprindere cu magnetou (generator cu magneți permanenți) și comutație mecanică, la care sursa de energie necesară producerii scânteilor este obținută prin angrenarea magnetourilor cuplate cu arborele cotit al motorului
- sisteme de aprindere speciale, cu comutație mecanică sau statică, realizate cu diverse circuite electronice, alimentate în general în curent continuu

Majoritatea sistemelor de aprindere se caracterizează din punct de vedere constructiv, prin prezența următoarelor trei blocuri funcționale:

- bloc sursă de alimentare SA
- bloc generator de impulsuri de înaltă tensiune GI
- bloc distribuitor de impulsuri de înaltă tensiune DIT

Aceste blocuri sunt reprezentate schematic în figura 4.1.

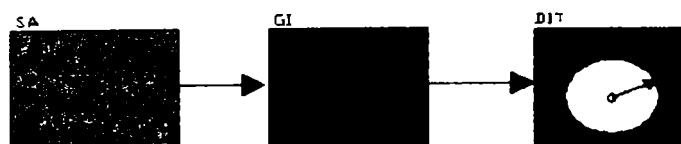


Fig. 4.1 Blocurile principale ale sistemelor de aprindere

Cele mai răspândite sisteme de aprindere destinate motoarelor cu ardere internă sunt cele cu comutație mecanică, acestea fiind și cele mai vechi, ca principiu de funcționare, dar care s-au menținut datorită simplității și întreținerii ușoare. Acestea pot fi alimentate de la o sursă de curent continuu sau de la un generator inductiv antrenat prin transmisie mecanică de la arborele cotit, generator denumit de obicei „magnetou”. Sistemele cu magnetou se utilizează, în general la motociclete sau la motoare de agregate staționare, acolo unde se evită, din diverse motive, folosirea surselor de energie permanente cum sunt bateriile de acumulator.

În figura 4.2 se prezintă schema electrică echivalentă pentru cazul sistemelor de aprindere cu comutație mecanică alimentate în curent continuu.

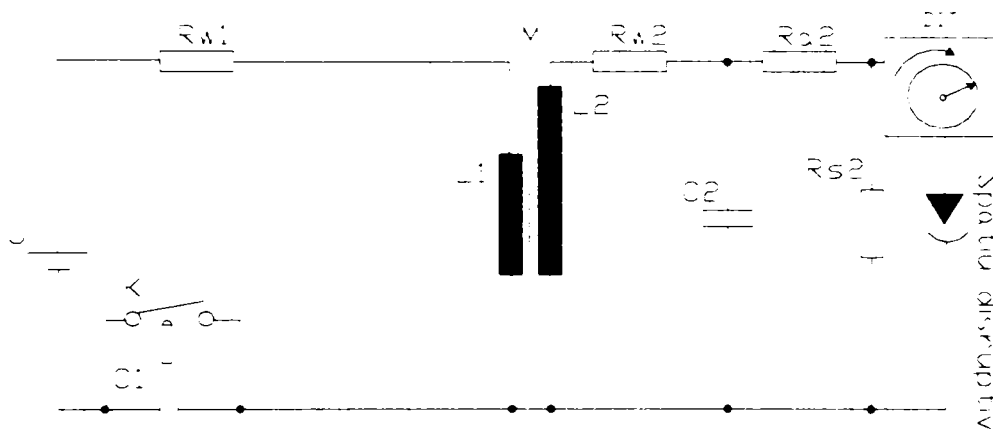


Fig. 4.2 Schema echivalentă a sistemului de aprindere cu comutație mecanică

Notațiile folosite sunt după cum urmează :

- U = tensiunea la bornele sursei de alimentare
- R_{w1} = rezistența înfășurării primare a bobinei de inducție și a conductoarelor de legătură
- C_1 = capacitatea condensatorului din circuitul oscilant primar
- L_1 = inductivitatea înfășurării primare a bobinei de inducție
- L_2 = inductivitatea înfășurării secundare a bobinei de inducție
- M = inductivitatea mutuală între cele două înfășurări ale bobinei de inducție
- R_{w2} = rezistența înfășurării secundare a bobinei de inducție
- C_2 = capacitatea parazită a cablajului de înaltă tensiune și a înfășurării secundare .
- R_{a2} = rezistența de antiparazitare a cablajului de înaltă tensiune.
- R_{s2} = rezistența echivalentă datorată impurităților din interiorul spațiului disruptiv , depuse pe electrozii bujiei prin ancrasare.
- K = contactul ruptorului acționat de arborele cotit al motorului cu ajutorul unei came.

Funcționarea schemei din figura 4.2 este după cum urmează:

Cu contactul ruptorului K închis, în circuitul primar al bobinei de inducție L_1 se stabilește un curent proporțional cu valoarea tensiunii U . La deschiderea contactului variația curentului din circuitul primar induce în înfășurarea secundară a bobinei de inducție o tensiune care va fi repartizată de către distribuitorul DIT pe una din bujiile amplasate pe cilindri motorului, tensiune care va străpunge spațiul disruptiv dintre electrozii bujiei generând astfel scânteia electrică necesară aprinderii amestecului carburant din interiorul cilindrului motor.

Cu contactul ruptorului închis, în circuitul primar este valabilă ecuația diferențială:

$$U = R_{w1} * i_1 + L_1 * \frac{di_1}{dt} \quad (4.1.1)$$

cu soluția :

$$i_1 = \frac{U}{R_{w1}} * \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \quad (4.1.2)$$

unde :

$$T = \frac{L_1}{R_{w1}} \quad (4.1.3)$$

La închiderea contactului K curentul din circuitul primar al bobinei crește exponențial conform relației (4.1.2.), de la valoarea 0 la valoarea maximă $I_1 = U/R_{w1}$, într-un timp t_1 . Timpul t_1 este cu atât mai scurt cu cât valoarea inductivității primare este mai mică, iar valoarea maximă a curentului la o tensiune de alimentare dată este cu atât mai mare cu cât valoarea rezistenței R_{w1} este mai mică.

În lipsa condensatorului C_1 , la deschiderea contactului ruptorului K , datorită vitezei mari de reducere a curentului, tensiunea electromotoare autoindusă în circuitul primar atinge valori mari care pot duce la amorsarea arcului electric între contactele ruptorului, rezultând pierderi de energie în această parte de circuit, precum și uzuri premature ale contactelor. Rolul condensatorului C_1 este de a reduce viteza de scădere a curentului primar, la valoarea la care tensiunea autoindusă nu mai produce arc electric periculos între contactele ruptorului. Astfel la deschiderea contactelor ruptorului curentul i_1 scade de asemenea după o funcție exponențială de la valoarea $I_1 = U/R_{w1}$ la valoarea 0 .

Tensiunea electromotoare indusă în circuitul secundar datorită vitezei de variație a curentului primar este proporțională cu inductivitatea mutuală M dintre cele două circuite, valoarea ei fiind dată de relația (4.1.4.):

$$U_{e2} = -M * \frac{di_1}{dt} \quad (4.1.4.)$$

Rezultă că pentru obținerea unei tensiuni secundare cât mai mari, în cazul bobinelor de inducție, cerința principală este realizarea unui cuplaj magnetic cât mai bun între primar și secundar, în condițiile păstrării unei inductivități primare cât mai reduse și a unei rezistențe primare, de asemenea cât mai reduse, la un raport de transformare secundar/primar cât mai mare. Este evident că aceste cerințe sunt greu de realizat și acest lucru duce la limitări ale performanțelor circuitelor de aprindere care funcționează pe acest principiu.

4.2. INSTALAȚII ELECTRICE DE APRINDERE PENTRU GAZOMOTOCOMPRESOARE

Particularitățile de execuție și exploatare ale gazomotocompressoarelor, fac ca instalațiile de aprindere utilizate în acest domeniu să fie constructiv și funcțional diferite de cele clasice, în primul rând prin necesitatea execuției antiexplozive a sistemului, iar în al doilea rând prin existența unor distanțe relativ mari între cilindrii părții de motor (tipic 5-6 m între cei mai îndepărtați). Acest lucru duce la necesitatea utilizării unor cablaje cu caracteristici diferite de cele uzuale, precum și la schimbarea concepției blocurilor din componența sistemului de aprindere.

La instalațiile de aprindere uzuale, generarea impulsurilor de înaltă tensiune se face, de obicei, prin utilizarea unei singure bobine de inducție pentru toți cilindri motorului, acestea fiind apoi distribuite fiecărui cilindru cu ajutorul unui distribuitor de înaltă tensiune sincronizat cu poziția arborelui cotit. La instalațiile de aprindere destinate gazomotocompressoarelor, acest lucru nu poate fi realizat datorită faptului că lungimea conductoarelor de înaltă tensiune (fișe de bujii) ar crește considerabil, ceea ce ar duce la mărirea exagerată a capacității parazite a acestora și implicit la scăderea energiei scânteii datorită pierderilor suplimentare.

Folosirea unei singure bobine de inducție pentru generarea impulsurilor de înaltă tensiune mai prezintă și inconvenientul limitării frecvenței de generare, ceea ce în cazul numărului mare de cilindri, poate duce la limitarea turației superioare a arborelui cotit.

Datorită mediului cu pericol de explozie în care lucrează gazomotocompressoarele, se evită echiparea acestora cu sisteme de aprindere cu comutație mecanică, de tip ruptor-distribuitor, deoarece acestea prezintă riscul aprinderii atmosferei explozive din exteriorul mașinii, din cauza scânteilor ce apar la contactele ruptorului și distribuitorului.

Pentru eliminarea neajunsurilor instalațiilor electrice de aprindere uzuale, în cazul gazomotocompressoarelor, scânteile electrice se generează prin producerea unor impulsuri de curent în circuitul primar al bobinei de inducție cu ajutorul unui condensator, utilizând un circuit de comutare electronic cu tiristor, după cum se prezintă în figura 4.3. Această soluție este, la ora actuală, cea mai răspândită în domeniul gazomotocompressoarelor. O soluție de acest gen a fost aplicată și în cazul gazomotocompressoarelor de tip 10 GKNA, produse în URSS în perioada 1975 – 1980, care echipează majoritatea stațiilor de comprimare a gazelor naturale din România.

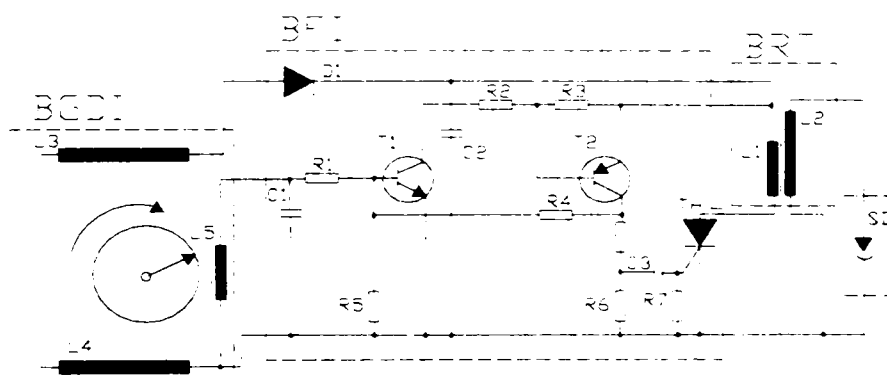


Fig. 4.3 Principiul de funcționare al unei instalații de aprindere originale pentru un gazomotocompresor de tip 10GKNA

Blocurile principale ale acestor sisteme de aprindere sunt după cum urmează :

- bloc generator distribuitor inductiv *BGDI* (magnetou de tip generator- distribuitor)
- bloc formator de impulsuri electronic *BFI* (circuitul electronic cu tiristor)
- bloc ridicător de tensiune *BRT* (bobina de inducție)

La aceste circuite de aprindere, datorită faptului că numărul de cilindri este mare (pentru 10GKNA - 10 cilindri) și distanțele dintre aceștia sunt de ordinul metrilor, s-a folosit o soluție care conține câte un bloc formator de impulsuri pentru fiecare cilindru motor.

Deoarece volumul interior al cilindrului unui astfel de agregat de comprimare este relativ mare (30 - 35 l), pentru realizarea unei combustii cât mai omogene a amestecului carburant, a fost necesară instalarea a câte două blocuri ridicătoare de tensiune (în figură nu apare decât unul) pentru fiecare cilindru. Aceste blocuri sunt de fapt bobine de inducție având înfășurările primare conectate în paralel și cele secundare conectate la două bujii diferite ale aceluiași cilindru, amplasate în locuri diferite pe chiulasă. În acest mod se asigură aprinderea din două părți și combustia omogenă a amestecului carburant în tot volumul cilindrului motor.

Prin amplasarea bobinelor în apropierea cilindrilor, se reduce lungimea cablajelor de înaltă tensiune și se creează condiții pentru asigurarea unei bune fiabilități a acestor circuite și pentru reducerea pierderilor de energie prin capacități parazite pe partea de înaltă tensiune .

Se observă de asemenea la aceste instalații, lipsa oricăror contacte care ar putea genera arc electric, ceea ce asigură reducerea riscului de aprindere a atmosferei explozive din zonele în care funcționează gazomotocompressoarele. Distribuția impulsurilor se face practic la intrarea blocurilor formatoare, prin intermediul unor bobine de comandă L_5 , amplasate în interiorul magnetoului în apropierea înfășurărilor generatoare L_3 și L_4 .

Funcționarea acestor circuite este după cum urmează :

Axul blocului generator (magnetou) este angrenat prin transmisie mecanică rotindu-se sincron cu arborele cotit fie cu aceeași turație cum este cazul motoarelor în doi timpi, fie cu turație redusă la jumătate față de arborele cotit, în cazul motoarelor în patru timpi. Solidar cu acesta se rotește rotorul magnetic al magnetoului care conține două secțiuni :

- o secțiune de magneți permanenți cu mai mulți poli alternativi care excită bobinele generatoare L_4 și L_3 , bobine care produc astfel energia necesară alimentării blocurilor formatoare de impulsuri de joasă tensiune

- o secțiune cu un singur magnet permanent care prin excitarea bobinei L_5 (câte una pentru fiecare cilindru motor) produce impulsurile de comandă necesare comutării circuitelor electronice la momente sincronizate cu poziția arborelui cotit

Poziția bobinei L_5 , pentru fiecare cilindru, este astfel aleasă încât scânteia între electrozii bujiei să se producă în momentul compresiei amestecului carburant cu un avans reglabil față de punctul mort superior. Reglarea avansului se face prin modificarea poziției unghiulare a acestor bobine, amplasate radial, în interiorul magnetoului, pe un platan care să permită o astfel de mișcare .

Soluția este întâlnită la majoritatea agregatelor de comprimare de tip gazomotocompresor, singurele diferențe fiind de ordin constructiv.

De exemplu la agregatele de tip 10 GKNA, după cum se observă în figura 4.4, există două blocuri generator-distribuitor, materializate în cele două magnetouri care sunt angrenate cu aceeași turație (turația arborelui cotit - fiind vorba de motoare în doi timpi) și care alimentează fiecare câte o parte a motorului respectiv partea stângă corespunzătoare cilindrilor 1-3-5-7-9 și partea dreaptă corespunzătoare cilindrilor 2-4-6-8-10. Blocurile formatoare de impulsuri, la aceste agregate sunt grupate câte cinci în același mod, fiind amplasate în două cutii de aprindere, una pentru partea stângă a mașinii și cealaltă pentru partea dreaptă.

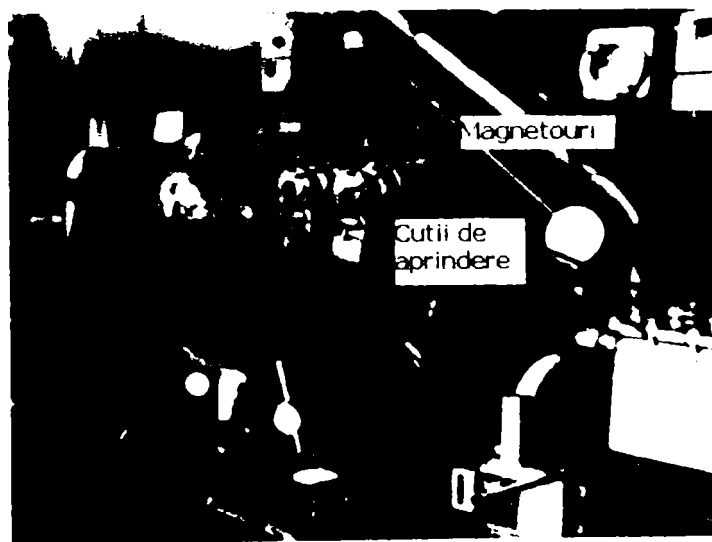


Fig. 4.4 Instalația de aprindere originală a unui gazomotocompresor de tip 10GKNA

Principalele dezavantaje ale acestor sisteme de aprindere sunt următoarele :

- dependența energiei scânteii de turația magnetoului ceea ce face ca la turații mici aceasta să fie

insuficientă mai ales după perioade lungi de utilizare când magneții permanenți se depreciază.

- apariția erorilor de moment de aprindere datorită uzurilor ce intervin în lanțul cinematic care transmite mișcarea de la arborele cotit la magnetou
- apariția detonațiilor mașinii la turații mici, datorită dependenței amplitudinii impulsurilor de comandă ale blocurilor formatoare de viteza de trecere a magnetului permanent prin fața bobinelor de comandă

Problemele descrise mai sus duc, în final, la o funcționare defectuoasă a agregatelor de comprimare, lucru care se reflectă în consumuri mari de piese de schimb mecanice precum și de ulei și gaz combustibil.

La modul general, cele mai mari deficiențe în exploatarea gazomotocompresoarelor provin din funcționarea necorespunzătoare a instalațiilor de aprindere. Acestea sunt după cum urmează :

- porniri dificile ale agregatului datorate faptului că energia scânteii este dependentă de turația arborelui cotit, fiind necesară o antrenare intensă a mașinii și implicit un consum mare de aer comprimat la pornire, mai ales în perioada sezonului rece
- menținerea cu dificultate a turației nominale la mersul în sarcină, datorită modificării în timp a momentelor de aprindere, din cauza uzurilor ce apar în lanțul cinematic care antrenează magnetourile; apariția detonațiilor în cilindri și galeriile de evacuare
- dificultatea reglării precise a avansului global al mașinii datorită construcției sistemului, precum și imposibilitatea reglării avansului individual al fiecărui cilindru, ceea ce duce la reducerea puterii dezvoltate de motor, încălziri periculoase și uzuri premature ale componentelor mecanice

Cu toate aceste dezavantaje sistemele de aprindere descrise mai sus au și la ora actuală cea mai mare pondere în echiparea gazomotocompresoarelor în general, iar la cele de tip 10 GKNA, care în România sunt cele mai răspândite (45 de unități în ROMGAZ și 22 de unități în PETROM), aceste sisteme de aprindere sunt prezente în proporție de 70 % .

Pentru eliminarea acestor dezavantaje firmele occidentale producătoare de gazomotocompresoare (INGERSOLL RAND - SUA, THOMASSEN – OLANDA, COOPER COMPRESSION – SUA), precum și o serie de firme specializate în producția de sisteme de aprindere pentru acest segment al industriei (ALTRONIC – SUA , HATRACO NORVEGIA) au trecut, în ultimii ani la realizarea unor sisteme de aprindere care, în primul rând să poată fi alimentate de la o sursă a cărei tensiune este independentă de turația arborelui cotit și în al doilea rând să nu conțină componente mecanice în mișcare la care pot apărea uzuri în timpul funcționării. Astfel, rolul bobinelor de generare a energiei din componența magnetoului clasic a fost preluat de o sursă permanentă de curent continuu care asigură aceiași tensiune de alimentare a formatoarelor de impulsuri la orice turație a motorului, iar în locul distribuitorului inductiv realizat cu bobinele de comandă L_5 (vezi figura 4.3), s-au introdus doi senzori inductivi. Acești senzori, fiind amplasați în apropierea dinților volantei mașinii, generează impulsurile necesare determinării exacte a poziției acesteia, impulsuri care sunt prelucrate cu ajutorul unui sistem cu microprocesor. După prelucrare acestea asigură comanda blocurilor formatoare, care vor genera impulsurile de joasă tensiune necesare excitării circuitelor primare ale bobinelor de inducție în vederea generării tensiunii înalte.

În figura 4.5 se prezintă o schemă de principiu pentru un astfel de sistem de aprindere. Blocurile funcționale apărute în plus față de sistemele cu magnetou sunt după cum urmează:

- BSI - bloc sesizor de impulsuri, constituit din doi sau mai mulți senzori inductivi, care la trecerea dinților unei roți dințate prin apropiere generează impulsuri pentru fiecare dinte sesizat
- BDE - bloc distribuitor electronic, care pe lângă funcția de formare a impulsurilor de comandă sincronizate, are și rolul de a comunica cu un sistem digital, ierarhic superior de la care poate primi diverse comenzi de modificare a avansului în timpul funcționării mașinii, în funcție de alți parametri de funcționare ai acesteia

Părțile principale ale acestui tip de distribuitor sunt :

- bloc de intrare Bi
- bloc de programare numeric BPN
- bloc de ieșire Be

- bloc de comunicare *BC*

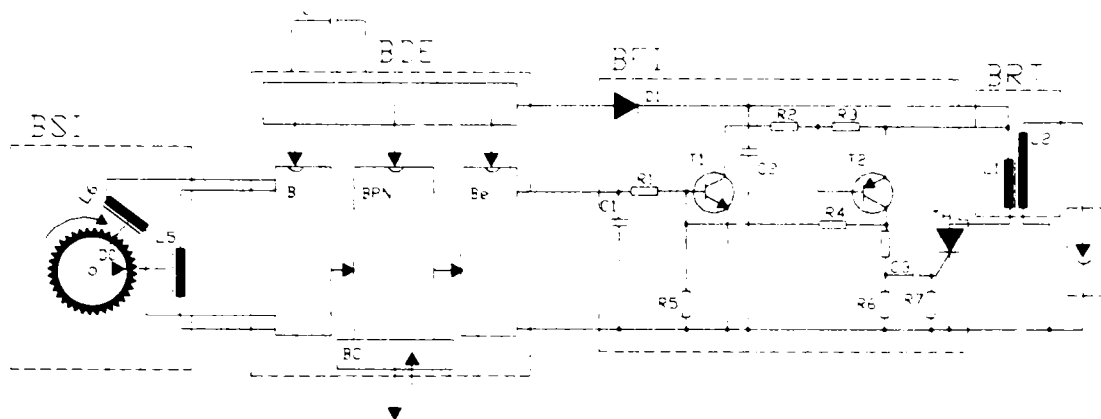


Fig. 4.5. Model de circuit de aprindere cu senzor inductiv și alimentare de la o sursă de curent continuu

Blocul sesizor de impulsuri *BSI* care conține cei doi senzori inductivi, în cazul motoarelor în doi timpi, (la motoarele în 4 timpi mai este necesar un senzor amplasat la axul cu came al motorului), furnizează blocului de intrare *Bi* la fiecare rotație a volantei, un impuls datorat dintelui *D0*, sesizat doar de *L5* (prin construcție) și un număr mai mare de impulsuri datorat dinților distribuiți uniform pe circumferința volantei, sesizate de *L6*. Impulsul generat de *L5* resetează un numărător din componenta blocului de prelucrare numerică *BPN*, iar cele generate de *L6* incrementează acel numărător. În acest mod numărul existent la un moment dat la ieșirea numărătorului, dă o informație precisă legată de poziția volantei în raport cu un anumit punct dat de poziția unghiulară a lui *L5*. Decodificarea ieșirilor numărătorului printr-un algoritm ce are în vedere ordinea de aprindere a mașinii și avansul la aprindere necesar pentru fiecare cilindru stabilește momentul de aprindere pentru fiecare cilindru motor. Ieșirile decodicatorului trecute prin blocul de ieșire *Be* pot comanda blocurile formatoare de impulsuri corespunzătoare fiecărui cilindru, în cazul motoarelor în 2 timpi. La motoarele în 4 timpi, deoarece fiecare cilindru produce lucru mecanic la fiecare a doua rotație a volantei, informația mai trebuie completată și cu poziția axului cu came, pentru care este necesară montarea și prelucrarea numerică a informației unui al treilea senzor inductiv. Precizia momentului de aprindere este cu atât mai bună cu cât numărul de dinți distribuiți uniform pe circumferința volantei este mai mare. Pe lângă avantajele legate de păstrarea constantă a energiei scânteii și a lipsei pieselor în mișcare ceea ce le conferă o fiabilitate destul de bună, aceste sisteme prezintă totuși o serie de dezavantaje. Acestea sunt după cum urmează :

- distanțele relativ mici ale senzorilor inductivi față de dinții roților dințate pe care se citește poziția arborelui cotit, distanțe impuse de funcționarea corectă a senzorilor, duc deseori la distrugerea acestora în timpul funcționării din cauza jocurilor apărute la lagărele de susținere (componentele mecanice ale gazomotocompressoarelor au dimensiuni mari).
- apariția unui defect la partea de distribuitor poate genera impulsuri de comandă la momente necorespunzătoare, care pot produce detonații periculoase în cilindri și galeriile de admisie și evacuare și chiar spurgeri ale acestor componente, lucru nepermis în mediu cu pericol de explozie
- lipsa personalului cu o calificare bună în domeniul aparaturii digitale, din stațiile de comprimare duce la dificultăți în exploatarea și întreținerea acestor sisteme de aprindere
- prețul unei astfel de instalații de aprindere este relativ ridicat ceea ce face ca pătrunderea lor pe piață să fie dificilă

Toate aceste probleme, legate în primul rând, de necesitatea funcționării corecte, în condiții de fiabilitate ridicată și cu personal de exploatare cu pregătire medie, a sistemelor de aprindere pentru gazomotocompresoare, precum și particularitățile pe care le impune funcționarea în mediu cu

pericol de explozie, au impus reconsiderarea proiectării acestora și încercarea de a se găsi o soluție simplă și sigură, la un preț acceptabil pentru sistemele de aprindere destinate acestor agregate.

4.3. STRĂPUNGerea SPAȚIULUI DISRUPTIV

Un gaz nu este, în mod obișnuit, un amestec numai de atomi sau molecule neutre ci și de atomi sau molecule ionizate. Starea de ionizare a gazului în absența unui câmp electric exterior este întreținută de diverși ionizatori externi cum sunt radiațiile cosmice, razele X, radiațiile elementelor radioactive terestre, sau chiar undele electromagnetice de frecvență înaltă. Astfel într-un cm^3 de gaz, în timp de o secundă, se produc, în condiții normale de temperatură și presiune, cca 5-10 perechi de ioni [73]. Aceste ionizări se numesc neautonome sau întreținute.

În același timp o parte din ioni se recombina. Unele molecule sunt ionizate și de către alte molecule neutre datorită agitației termice. Ca urmare, printr-un gaz aflat între doi electrozi metalici aflați la o anumită distanță unul de altul, între care se aplică o tensiune, U se stabilește un curent electric I . Curentul prin gaz variază ca în figura 4.6.

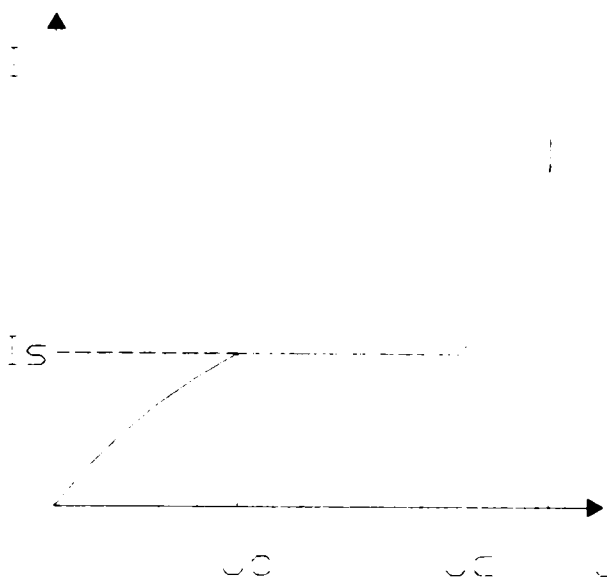


Fig. 4.6 Variația curentului cu tensiunea aplicată la electrozi în cazul unui dielectric gazos

Până la valoarea U_0 , curentul variază aproximativ liniar cu tensiunea, în această porțiune de grafic fiind valabilă legea lui Ohm, deoarece conducția este datorată purtătorilor de sarcină existenți în mod natural în masa gazului. Între U_0 și tensiunea critică U_c , curentul se menține constant la valoarea de saturație I_s , deoarece ionii accelerați de câmpul electric nu posedă energii suficiente pentru a putea determina ionizarea suplimentară a gazului. La tensiuni mai mari decât tensiunea U_c , energiile ionilor accelerați de câmpul electrostatic devin mai mari decât energia de ionizare a gazului și are loc descărcarea în avalanșă, autonomă, care duce la străpungerea spațiului disruptiv. Avalanșa se produce atât datorită ionizărilor produse de ionii accelerați de câmpul electrostatic, cât și datorită celor produse de electronii emiși de electrozii metalicii, în special de catod, în urma bombardării lor de către ioni precum și datorită câmpului electrostatic intens. Teoretic în această fază curentul prin spațiul disruptiv gazos tinde spre infinit, el fiind limitat doar de elementele de circuit inductive sau rezistive externe.

În cazul aerului la presiune atmosferică și temperatură normală, pentru distanța între electrozi $d = 1 \text{ cm}$, se obține $U_0 = 6 \text{ mV}$, $U_c = 10 \text{ kV}$, iar pentru o suprafață a electrozilor de 1 cm^2 , avem $I_s = 10^{-19} \text{ A}$ [73].

4.4. TEORIA LUI TOWNSEND ȘI PROCESELE DE DESCĂRCARE ELECTRICĂ PRIN SCÂNTEIE

Datorită complexității fenomenului, tratarea matematică a procesului de străpungere a gazelor, a fost posibilă numai prin adoptarea unor simplificări și ipoteze, lucru care duce la o oarecare îndepărtare față de situația reală, dar rezultatele teoretice obținute sunt suficient de apropiate de cele experimentale. Astfel de rezultate au fost obținute de către Townsend, a cărui teorie are la bază următoarele ipoteze :

- ionizările sub acțiunea câmpului electric exterior sunt produse numai de către electroni și numai dacă energia W a electronului este mai mare decât energia de ionizare W_i a moleculei gazului
- electronul nu cedează energie la ciocnirile neionizante
- la fiecare ciocnire ionizantă electronul își cedează întreaga energie, viteza sa devenind nulă
- electronul se deplasează rectiliniu în lungul liniilor de câmp electric (acesta fiind considerat uniform)

Prin urmare dacă se consideră că drumul mediu între două ciocniri ionizante succesive este a energia electronului la ciocnire (neglijând energia termică) este [73] :

$$W = \frac{1}{2} * m * v^2 = E * |e| * a \quad (4.4.1)$$

unde m este masa electronului, v este viteza acestuia, E intensitatea câmpului electrostatic, iar e sarcina electronului.

Dacă V_i este potențialul de ionizare al gazului, condiția ca ionizarea să se producă este:

$$E * |e| * a \geq W_i = |e| * V_i \quad (4.4.2)$$

Notând cu l drumul mediu liber parcurs al electronului, Townsend a determinat numărul de ciocniri ionizante, efectuate de acesta, la deplasarea pe distanța de un centimetru, sub acțiunea câmpului electric E , sub forma [73]:

$$\alpha = \frac{1}{l} * e^{-\frac{V_i}{l * E}} \quad (4.4.3)$$

numit primul coeficient al lui Townsend sau **coeficientul de ionizare prin electroni**.

La creșterea presiunii p a gazului din spațiul disruptiv, densitatea devenind mai mare, drumul mediu liber parcurs al electronului se micșorează, variind invers proporțional cu p sub forma :

$$\frac{1}{l} \approx A * p \quad (4.4.4)$$

unde A este un coeficient constant. Ținând seama de (4.4.3) și de (4.4.4), coeficientul de ionizare α devine :

$$\alpha = A * p * e^{-\frac{A * p * V_i}{E}} = A * p * e^{-\frac{B * p * d}{U}} \quad (4.4.5)$$

Unde s-a notat $B = A * V_i$, și s-a înlocuit E cu $\frac{U}{d}$ considerând că distanța dintre electrozii plani este d iar tensiunea aplicată este U .

Tensiunea de străpungere U_s la care are loc descărcarea autonomă obținută de Townsend este de forma [73]:

$$U_s = \frac{B * p * d}{\ln \left[\frac{A * p * d}{\ln \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)} \right]} = f(p, d) \quad (4.4.6)$$

unde γ = numărul de electroni eliberați într-o secundă de pe un centimetru pătrat din suprafața electrodului metalic negativ (catod). Din (4.4.6) rezultă că tensiunea de străpungere a gazelor este funcție de presiune și distanța dintre electrozi, cum de fapt se constată și experimental.

În afară de ionizările produse prin ciocnirea moleculelor de către electroni, mai există și ionizările datorate fotonilor. Un atom (sau moleculă) care în urma unei ciocniri a rămas neionizat, se află în stare excitată, adică are un electron cu energie mai mică decât cea de ionizare, dar mai mare decât cea corespunzătoare stării sale fundamentale. Când electronul suferă tranziția inversă, atomul emite diferența de energie sub formă de fotoni. Fotonii pot produce ionizări suplimentare. Se formează astfel, între electrozii metalici, căi de curent ramificate în spațiu, cu mare conductivitate electrică, numite „strimeri” care preced străpungerea. Prin teoria strimerilor se obține variația tensiunii de străpungere cu *produsul* ($p * d$) foarte apropiată de cea obținută experimental.

4.5. LEGEA LUI PASCHEN

În anul 1889 Paschen a publicat un studiu despre caracteristicile de străpungere electrică a spațiilor disruptive. Aceasta urma să devină „Legea lui Paschen”, lege ce stabilește dependența tensiunii electrice de străpungere a unui spațiu disruptiv în câmp electric uniform, de produsul dintre presiunea gazului și distanța dintre electrozi (plan paraleli). În mod uzual, această lege are următoarea expresie matematică:

$$U_s = f(p * d) \quad (4.5.1)$$

U_s - tensiunea electrică de străpungere
 p - presiunea gazului din spațiul disruptiv
 d - distanța dintre electrozii plan paraleli

În general, această funcție este neliniară, dar pentru spații disruptive, în aer, de ordinul milimetrilor, tensiunea de străpungere se poate aproxima cu o funcție liniară, având ca variabilă distanța dintre electrozi [7]:

$$U_s = 30 * p * d + 1.35 [kV] \quad (4.5.2)$$

În această relație d se exprimă în [cm] și p în [atm].

Pe parcursul timpului au fost efectuate mai multe cercetări pentru obținerea unei baze teoretice necesare legii și pentru o cât mai bună înțelegere a fenomenului de străpungere. Desigur, orice analiză teoretică suplimentară poate ajuta la înțelegerea fenomenului de străpungere a spațiilor disruptive, dar

nu va oferi obligatoriu și o valoare mai precisă pentru tensiunea de străpungere. Legea lui Paschen reflectă fenomenul străpungerii de tip Townsend pentru gaze, care constă în emisia în avalanșă de electroni secundari, datorită coliziunilor ce au loc în spațiul disruptiv. Parametrul semnificativ este *produsul* ($p * d$), dintre lungimea spațiului disruptiv și presiunea gazului respectiv. În mod uzual pentru fenomenul străpungerii Townsend (și prin extensie și pentru legea lui Paschen) se iau în considerare, pentru produsul, ($p * d$), valori mai mici decât 1000 (Torr * cm) sau cu alte cuvinte, spații disruptive de aproximativ 1 [cm] la o presiune de 1[atm].

La modul general, rezultă o ecuație pentru străpungere, dependentă de parametrii găsiți pe cale experimentală:

$$U_s = \frac{B * p * d}{C + \ln(p * d)} \quad (4.5.3)$$

unde conform (4.4.6)

$$C = \ln \left(\frac{A}{\ln \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)} \right) \quad (4.5.4)$$

În figura 4.7 se prezintă „Curba lui Paschen” pentru aer în cazul a doi electrozi plani, paraleli, amplasați la o distanță de 2.5 mm, reprezentând variația tensiunii de străpungere pentru presiuni cuprinse între $3 * 10^{-2}$ Torr și 760 Torr [40].

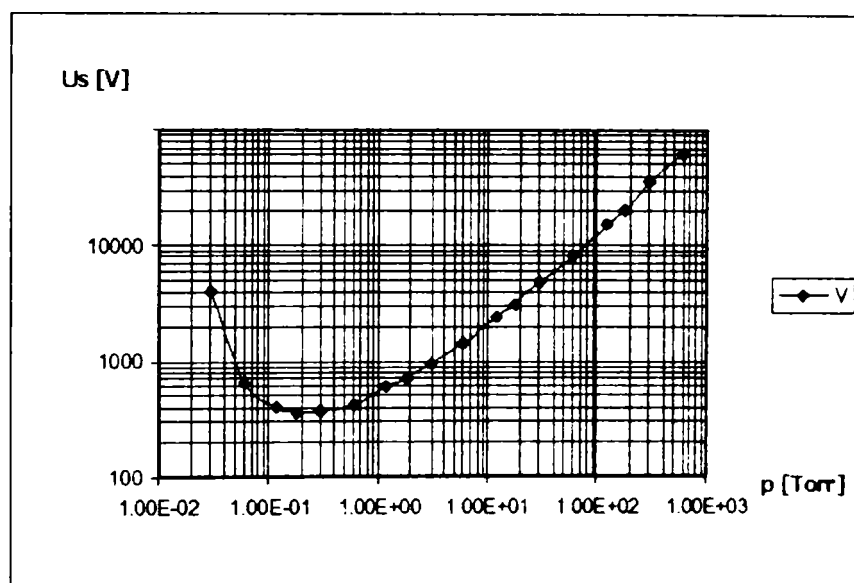


Fig. 4.7. Variația tensiunii de străpungere cu presiunea în cazul aerului între doi electrozi plani și paraleli având distanța dintre ei de 2.5 mm

Se observă că la scăderea presiunii gazului tensiunea de străpungere crește deoarece, datorită scăderii numărului de molecule din unitatea de volum, probabilitatea ciocnirilor ionizante scade. De asemenea la presiuni mari drumul mediu între două ciocniri ionizante succesive scade, lucru care duce

la necesitatea creșterii intensității câmpului electric pentru a se produce ionizarea și respectiv străpungerea.

Timpul în care se realizează efectiv străpungerea gazului, este de ordinul a 10^{-5} s, după teoria lui Townsend și de $10^{-7} - 10^{-9}$ s după determinări experimentale. Acesta scade cu creșterea intensității câmpului electric .

4.6. FAZELE DESCĂRCĂRII ELECTRICE PRIN SCÂNTEIE

În cazul motoarelor cu aprindere prin scânteie procesul de combustie este deosebit de important și în același timp complicat. Totuși el poate fi divizat în patru etape principale după cum urmează:

- descărcarea prin scânteie
- inițierea aprinderii amestecului carburant
- propagarea flăcării
- finalizarea arderii combustibilului

Toate aceste faze au semnificații caracteristice și joacă diferite roluri în susținerea procesului de combustie la motoarele cu aprindere prin scânteie [74]. Dintre ele, prima fază – descărcarea prin scânteie – este relativ dominantă deoarece aceasta determină inițierea procesului de combustie.

În principiu, evoluția descărcării prin scânteie poate fi, la rândul ei, caracterizată prin patru faze și anume:

- 1) prestrăpungerea
- 2) străpungerea propriuzisă
- 3) faza de arc
- 4) faza de stingere

Aceste patru faze sunt evidențiate în figura 4.8 prin variațiile semnificative, în timp, ale tensiunii și curentului între electrozii unui eclator pentru cazul utilizării unei bobine de inducție convenționale , obținute de către Maly în 1984 [40] .

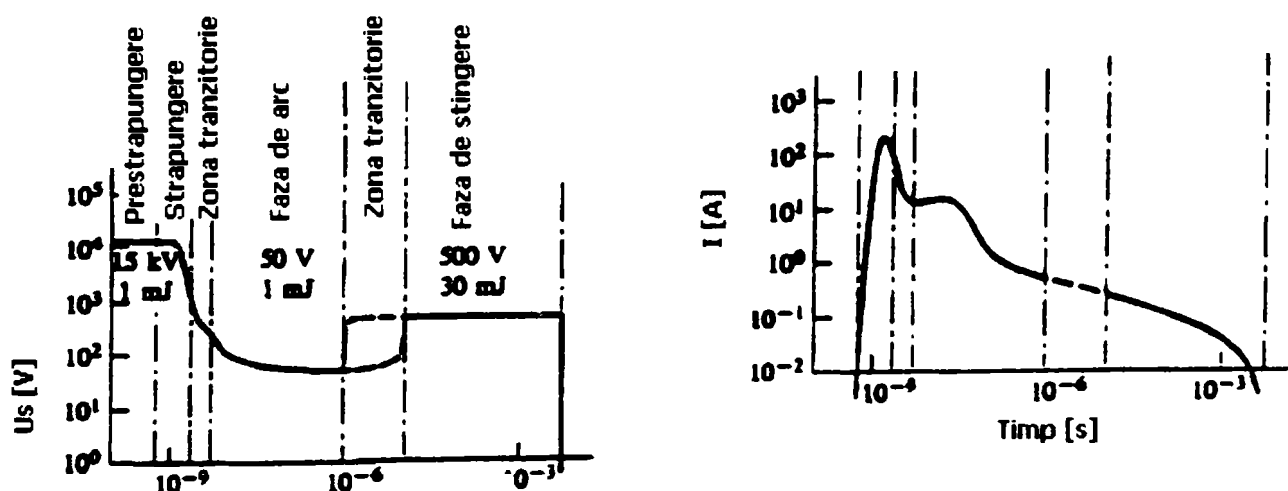


Fig. 4.8. Variația în timp a tensiunii și curentului în cazul fenomenului de descărcare prin scânteie (Maly 1984)

1. Prestrăpungerea

Principial faza de prestrăpungere corespunde procesului acumulării de electroni necesari străpungerii spațiului disruptiv și durează câteva nanosecunde. Inițial apare un curent mic datorat electronilor și ionilor existenți în gaz din cauza ionizărilor externe, iar acesta crește rapid pe măsură ce apar tot mai mulți electroni și ioni datorati coliziunilor dintre moleculele gazului și electronii liberi accelerați de câmp. Odată cu creșterea tensiunii aplicate între electrozii bujiei, ajungându-se la intensități ale câmpului electric de 50-100 kV/cm , numărul de electroni și ioni crește în avalanșă având ca rezultat creșterea rapidă a fluxului de purtători de sarcină, deci a curentului prin spațiul disruptiv. Faza de prestrăpungere se termină după ce curentul depășește valoarea de 10 mA. În timpul desfășurării acestei faze, temperatura gazului rămâne la valoarea inițială, iar densitatea medie a electronilor este sub valoarea de $10^{15} [e/cm^3]$. În timp ce, în interiorul strimerilor care se formează, aceasta poate atinge valori de $10^{18} e/cm^3$ [74].

2. Străpungerea propriuzisă

În măsura în care se produc electroni liberi prin coliziuni între electronii în mișcare și moleculele de gaz, sau prin fotonii sub formă de radiații ultraviolete emiși prin dezexcitarea moleculelor neionizate complet în urma coliziunilor, curentul crește exponențial până la sute sau chiar mii de amperi într-un interval de timp de ordinul nanosecundelor. Această creștere este limitată doar de impedanța circuitelor exterioare spațiului disruptiv. Caracteristic acestei faze este potențialul de vârf al electrodului central al bujiei care ajunge până la valori de ordinul 50 kV în mai puțin de 10 ns, după cum se poate observa în figura 4.9.

La momentul străpungerii propriuzise curentul crește foarte repede la cca 100 A. Energia minimă necesară inițierii unei străpungeri complete la presiunea de 1 bar și un spațiu disruptiv de 1 mm între electrozii bujiei este de 0.3 mJ [74].

În timpul fazei de străpungere, temperatura plamei crește până la 60 000 K, iar densitatea medie a electronilor liberi este mai mare de $10^{19} e/cm^3$.

Faza de străpungere propriuzisă se încheie odată cu scăderea tensiunii de aprindere sub pragul de 10% din valoarea inițială, respectiv în momentul în care apare fizic o „pată” catodică fierbinte și descărcarea se transformă în arc electric [74].

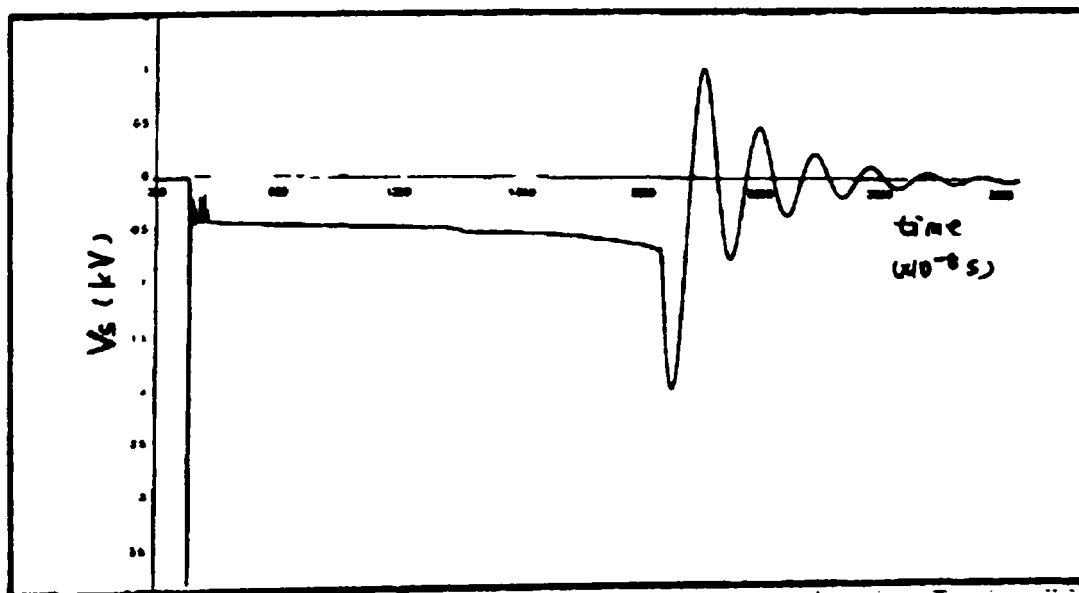


Fig. 4.9 Variația în timp a tensiunii de străpungere în aer obținută experimental (Maly 1984)

Faza de străpungere are o mare eficiență în transferul de energie din sistemul electric spre mediul exterior (cca 90%, [74]). Cu toate că această fază este responsabilă de doar 10% din totalul de energie furnizată de sistemul electric, energia transferată pe durata ei este foarte eficace deoarece aceasta este stocată, în principal în plasmă, sub formă de energie potențială de disociere, excitație și multiple ionizări, alimentând ulterior lărgirea canalului scânteii [1].

3. Faza de arc

În continuarea fazei de străpungere propriuzisă se derulează așa-numita fază de arc care începe odată cu apariția petei catodice fierbinți rezultată din valoarea mare a curentului din faza de străpungere și care determină eroziunea severă a suprafeței electrodului. În această fază tensiunea este relativ redusă și curentul este puțin peste 100 mA. Faza de arc durează câteva microsecunde. În această perioadă densitatea de electroni liberi este relativ staționară și se situează în jurul valorii de $10^{17} e/cm^3$, iar temperatura plamei scade la valori de 5000 – 6000 K [74]. În acest timp, contactul intens al arcului electric cu electrozii bujiei determină serioase pierderi de căldură prin conducție, iar la suprafața de contact a plamei cu mediul exterior survin pierderi mari de energie prin radiație. Eficiența transferului de energie în faza de arc este în jur de 50% [40].

4. Faza stingere

Putând fi denumită și faza finală a descărcării prin scânteie, sau faza de descărcare roșatică, aceasta este cunoscută ca o fază inductivă a scânteii care poate dura până la câteva milisecunde. Ea începe odată cu apariția unei mici creșteri a tensiunii de arc, după cum se poate observa în figura 4.8. Valoarea curentului în această fază scade sub 50 mA, iar valoarea stabilă a densității de electroni este de $10^{14} e/cm^3$. Temperatura miezului plamei este de cca 3000 K [74].

Cu toate că faza de stingere are o eficiență a transferului de energie mai mică de 30% [40] ea poate transfera multă energie mediului deoarece se desfășoară pe o durată de timp mare.

4.7. CONCEPȚIA ȘI REALIZAREA UNUI SISTEM DE APRINDERE STATIC DESTINAT GAZOMOTOCOMPRESOARELOR

4.7.1. Date inițiale

În paragraful 4.2 au fost descrise principalele probleme ale sistemelor de aprindere destinate gazomotocompresoarelor, prezentându-se, comparativ, avantajele și dezavantaje ale acestora. Din descrierea principiului de funcționare a celor mai importante modele de instalații de aprindere rezultă că la această oră cel mai performant sistem existent pe piață este cel prezentat în figura 4.5, cu senzori inductivi și alimentare de la o sursă de curent continuu, dar care prezintă la rândul său o serie de dezavantaje legate de prețul de cost ridicat, întreținerea dificilă datorită complexității și fiabilitatea redusă a senzorilor din cauza distanțelor mici de reglaj, necesare sesizării poziției volantei sau axului cu came. Se impune astfel concepția unui sistem de aprindere care, ca și acesta să nu aibă piese în mișcare, dar la care senzorii care detectează poziția volantei să poată fi amplasați la o distanță care să nu pună în pericol integritatea lor, la apariția jocurilor admise (cel puțin de ordinul a 0.6mm). Alimentarea sistemului de aprindere să poată fi făcută de la o sursă de energie accesibilă în zona de funcționare a gazomotocompresorului – de preferat rețeaua de 220V,50Hz. Construcția sistemului să

fie adecvată funcționării în mediu cu pericol de explozie, modulară și cât mai simplă, astfel încât întreținerea să poată fi făcută de personal cu calificare medie.

Având în vedere faptul că majoritatea agregatelor de comprimare de tip gazomotocompresor sunt proiectate să funcționeze la turație constantă și cu sarcină aproape constantă pe perioade lungi de timp, se poate considera că modificarea avansului în timpul funcționării mașinii prin comandă de la distanță nu aduce avantaje semnificative în creșterea performanțelor acesteia. Renunțarea la această facilitate, duce la simplificarea schemelor de principiu și la posibilitatea realizării unor sisteme de aprindere modulare care să fie mult mai ușor de utilizat și să prezinte fiabilitate superioară celor prezentate, la prețuri de cost mult sub ale acestora.

Prin utilizarea mai multor senzori pentru citirea poziției volantei, astfel încât fiecărui cilindru motor să-i corespundă câte un senzor, se poate renunța și la distribuitorul electronic. Acești senzori se pot amplasa, la motoarele în doi timpi, în apropierea volantei pe un suport inelar, în ordinea de aprindere a mașinii, astfel încât, un magnet permanent care se rotește solidar cu volanta, fiind amplasat pe circumferința acesteia, să poată excita pe rând fiecare senzor determinând astfel formarea impulsurilor de comandă necesare producerii unei succesiuni corecte de scânteii în interiorul cilindrilor. La motoarele în patru timpi, senzorii se vor amplasa în apropierea roții de capăt a axului cu came pe care va fi montat magnetul permanent, deoarece, în acest caz cilindri produc lucru mecanic la fiecare rotație a axului cu came, arborele cotit rotindu-se cu dublul turației acestuia.

În configurația descrisă apare posibilitatea separării complete a circuitelor de aprindere pentru fiecare cilindru în parte. Noul sistem de aprindere, va fi practic compus dintr-un număr de circuite de aprindere egal cu numărul de cilindri ai agregatului, a căror singur punct comun va fi sursa de energie. Această structură executată modular, conferă o deosebită ușurință în exploatare, precum și o flexibilitate ridicată, noul sistem putând fi configurat pentru orice tip de gazomotocompresor, prin simpla alegere a numărului de senzori și module de alimentare, corespunzător cu cel al cilindrilor părții de motor.

Prin folosirea în construcția senzorului a unui element sensibil cu efect Hall, element capabil să sesizeze prezența câmpului magnetic independent de viteza de variație a acestuia, se creează posibilitatea generării impulsurilor de comandă pentru bobinele de inducție la orice turație a mașinii chiar și la cele apropiate de zero. Acest lucru duce la posibilitatea pornirii agregatelor la turații extrem de reduse, lucru deosebit de util mai ales în perioada sezonului rece.

Pentru evitarea apariției impulsurilor parazite care pot fi produse prin inducție în traseele circuitelor de comandă ale tiristoarelor din blocurile formatoare de impulsuri, se recomandă amplasarea elementului sensibil și a circuitelor de adaptare, cât mai aproape tiristor. La limită se poate amplasa atât tiristorul cât și elementul sensibil în aceeași carcasă, rezultând astfel un senzor magnetic capabil să comande direct primarul bobinei de inducție, senzor care va putea prelua energia necesară producerii impulsului de joasă tensiune de la un modul de alimentare proiectat corespunzător.

Senzorul magnetic activat de magnetul permanent solidar cu volanta, comandă descărcarea energiei furnizată de modulul sursă pe primarul bobinei de inducție, care produce în secundar impulsul de înaltă tensiune necesar aprinderii amestecului carburant din interiorul cilindrului. Situația este identică pentru toți cilindri părții de motor ai agregatului, circuitele fiind complet independente.

Schema de principiu a circuitului de aprindere independent corespunzător unui cilindru, conceput pe considerentele de mai sus se prezintă în figura 4.10.

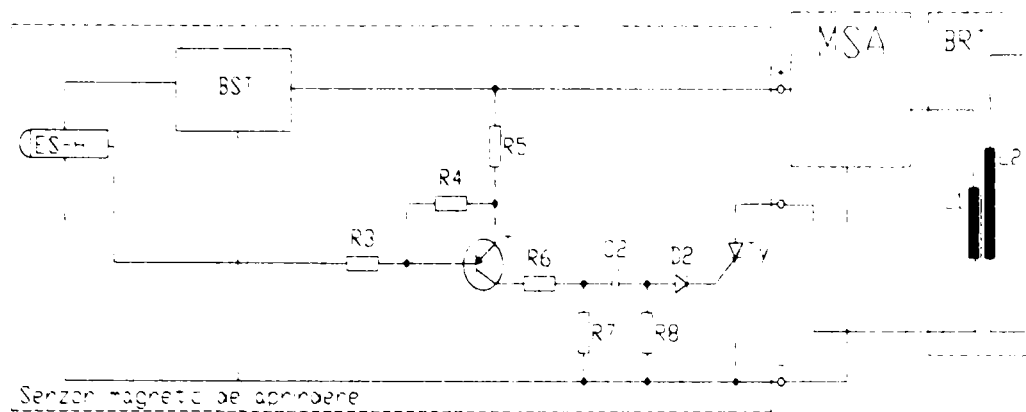


Fig. 4.10 Circuit de aprindere static independent cu element sensibil de tip Hall

Senzorul magnetic de aprindere propus, va conține elementul sensibil cu efect Hall *ES-H*, blocul de stabilizare *BST* și tiristorul *Ty*, cu circuitele sale de adaptare pentru comanda porții. Modulul sursă de alimentare *MSA*, va furnizează atât tensiunea de alimentare a circuitelor de comandă a tiristorului, cât și cea necesară alimentării înfășurării primare a bobinei de inducție prin intermediul tiristorului.

4.7.2. Scheme electronice și principii de funcționare ale circuitelor de aprindere

Senzorii magnetici de aprindere se execută conform schemei electronice din figura 4.11 și sunt alcătuiți dintr-un element sensibil Hall *H*, care în prezența unui câmp magnetic de anumită polaritate și inducție, comandă prin rezistența *R1* deschiderea tranzistorului *T*. Acesta intră în conducție aplicând o treaptă de tensiune pe rezistențele *R2* și *R3*. Prin rezistența *R2* se poate face verificarea funcționării sensorului magnetic de aprindere, măsurând impulsurile la borna *d*, iar prin rezistența *R3*, treapta de tensiune se aplică pe circuitul de derivare *R4*, *C2*, *R5*, iar impulsul rezultat după derivare este aplicat prin dioda *D1* pe poarta tiristorului *Ty*. Bornele *a*, *b* și *c*, ale sensorului magnetic de aprindere se conectează la bornele corespunzătoare *a*, *b*, *c*, ale modulului sursă de alimentare.

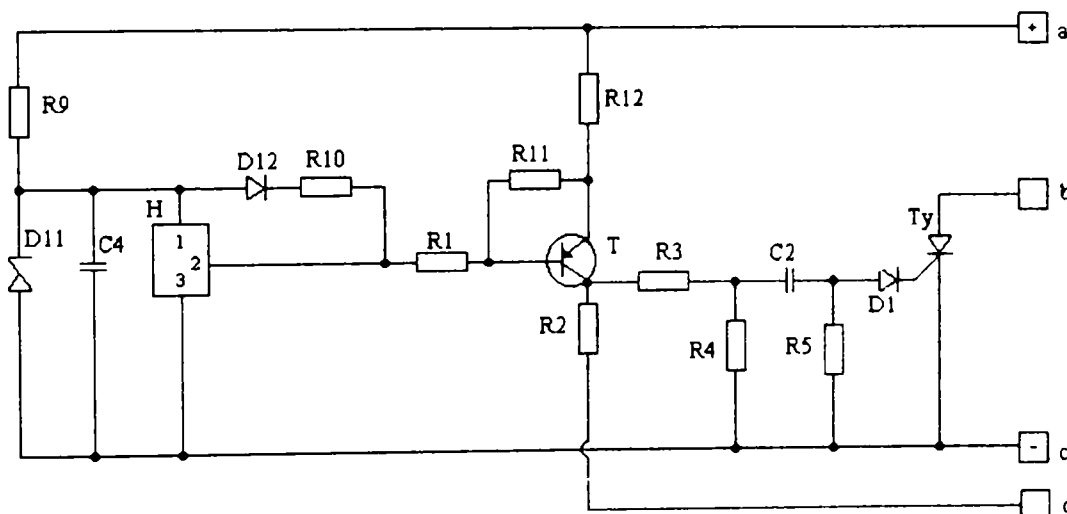


Fig. 4.11 Schema de principii a sensorului magnetic de aprindere cu element sensibil de tip Hall conceput pentru execuția sistemului de aprindere static

Modulele sursă de alimentare se execută conform schemei electronice din figura 4.12 și sunt alcătuite dintr-un transformator Tr , având o înfășurare primară alimentată la tensiunea de $220 V$, $50 Hz$ și două înfășurări secundare de $220 V$, respectiv $10 V$.

Înfășurarea secundară de $10 V$ alimentează prin intermediul circuitului de redresare și filtrare $D2$, $C3$, circuitele electronice de comandă ale senzorului magnetic, iar înfășurarea secundară de $220 V$ alimentează condensatorul de înmagazinare a energiei scânteii $C1$, prin intermediul circuitului de redresare dublă alternanță $D3$, $D4$, $D5$, $D6$ și a circuitului de limitare a curentului format din rezistența $R6$ și lampa cu incandescență $L1$.

Prin intermediul circuitului format din rezistența $R7$ și dioda $D7$ se asigură posibilitatea alimentării la bornele e și f ale modulului sursă de alimentare, a unei diode electroluminiscente $D9$ care va monitoriza impulsurile de încărcare a condensatorului de înmagazinare a energiei $C1$, oferind astfel informații despre funcționarea corectă a ansamblului format din senzorul magnetic de aprindere, modulul sursă de alimentare și bobinele de inducție din componența blocului ridicător de tensiune BRT , ale căror înfășurări secundare se conectează în paralel la bornele g și h .

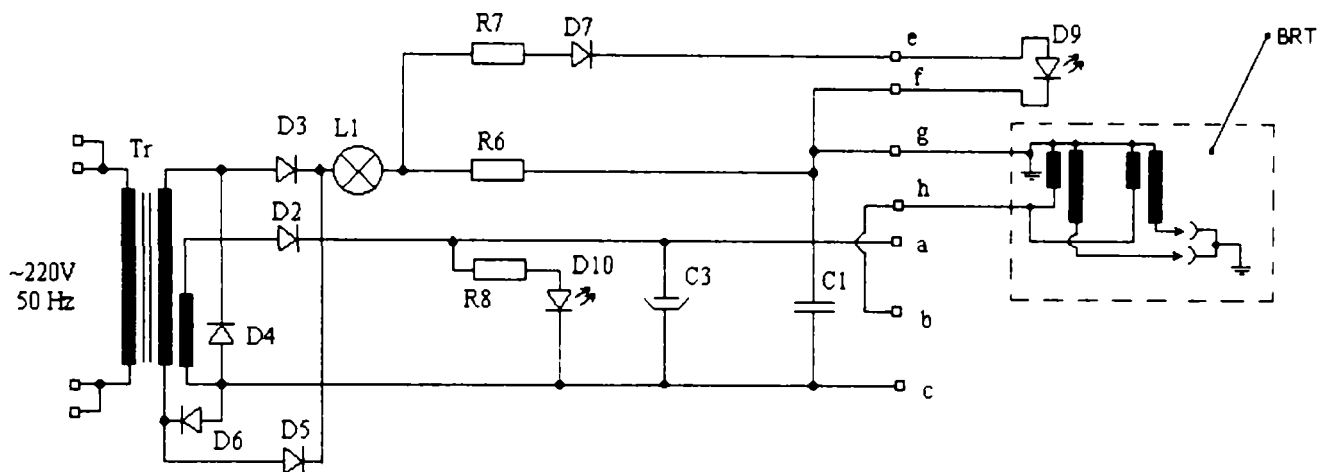


Fig. 4.12 Schema de principii a modulului sursă de alimentare conceput pentru execuția sistemului de aprindere static

La aplicarea impulsului de tensiune generat de circuitele electronice pilotate de elementul sensibil Hall H pe poarta tiristorului Ty , acesta se amorsează, descărcând energia din condensatorul de înmagazinare $C1$ pe înfășurările primare conectate în paralel ale celor două bobine de inducție. După descărcarea completă a energiei înmagazinate în condensatorul de înmagazinare, tiristorul mai rămâne în conducție până la prima trecere prin zero a tensiunii alternative furnizate de înfășurarea secundară de $220 V$ a transformatorului, după care se blochează.

Scopul final al funcționării celor două circuite electronice (senzorul magnetic de aprindere și modulul sursă de alimentare) este de a încărca cu energie de la rețeaua de alimentare de $220V$, $50Hz$, condensatorul de înmagazinare $C1$ și a-l descărca periodic, la momente comandate de poziția volantei mașinii, pe înfășurările primare ale celor două bobine de inducție legate în paralel, producând astfel în secundarele acestora impulsurile de tensiune care determină descărcările electrice necesare aprinderii amestecului carburant în interiorul cilindrilor.

Trecerea curentului de descărcare a condensatorului prin înfășurările primare ale bobinelor de inducție determină apariția în secundarul acestora, a unei tensiuni autoinduse care depinde de inductivitatea mutuală a celor două înfășurări și este proporțională cu viteza de creștere a curentului primar și de semn opus acesteia, conform relației (4.1.4.). Alegând corespunzător bobinele de inducție și condensatorul de înmagazinare se poate obține generarea unei tensiuni înalte capabilă să realizeze străpungerea spațiului disruptiv în condițiile specifice gazomotocompresoarelor de tip 10GKNA, la comanda dată de senzorul magnetic în funcție de poziția volantei.

4.7.3. Dimensionarea elementelor de circuit ale sistemului de aprindere static

Sistemul de aprindere static pentru gazomotocompresorul 10GKNA este destinat realizării unei aprinderi sigure a amestecului combustibil din camera de ardere, pentru fiecare cilindru motor, indiferent de turație în condițiile menținerii unui avans la aprindere corect și stabil.

Asigurarea energiei scânteii constantă la orice turație se realizează prin două modalități:

1. alimentarea sistemului de la rețeaua de 220 V, 50 Hz ceea ce înseamnă că tensiunea de alimentare a sistemului nu depinde de turația mașinii cum este cazul instalațiilor originale cu magnetou.
2. alimentarea cu impulsuri de energie în circuitele primare, individuală pentru fiecărui grup de două bobine corespunzătoare unui cilindru, prin folosirea modulelor sursă independente, ceea ce înseamnă că, la turații mari nu există posibilitatea influențării reciproce a canalelor prin reducerea timpului de încărcare a condensatorului de înmagazinare.

Asigurarea unui avans stabil și precis la aprindere se realizează prin folosirea senzorilor magnetici cu efect Hall, pentru fiecare cilindru în parte. Astfel se poate spune că sistemul de aprindere al mașinii se compune, pentru cazul agregatelor de tip 10GKNA de exemplu, din 10 sisteme individuale, identice și cvasiindependente corespunzătoare celor 10 cilindri motor.

Comanda fiecărui sensor se face conform ordinii de aprindere a mașinii de către un magnet permanent solidar cu volanta. Acest lucru se realizează datorită amplasării senzorilor în apropierea volantei pe un suport fixat rigid de batiul mașinii, în ordinea de aprindere, după modelul prezentat în figura 4.13. Momentul aprinderii pentru fiecare cilindru este dat de poziția unghiulară a senzorului corespunzător care se stabilește la montaj ținându-se cont de instrucțiunile date de constructorul gazomotocompresorului.

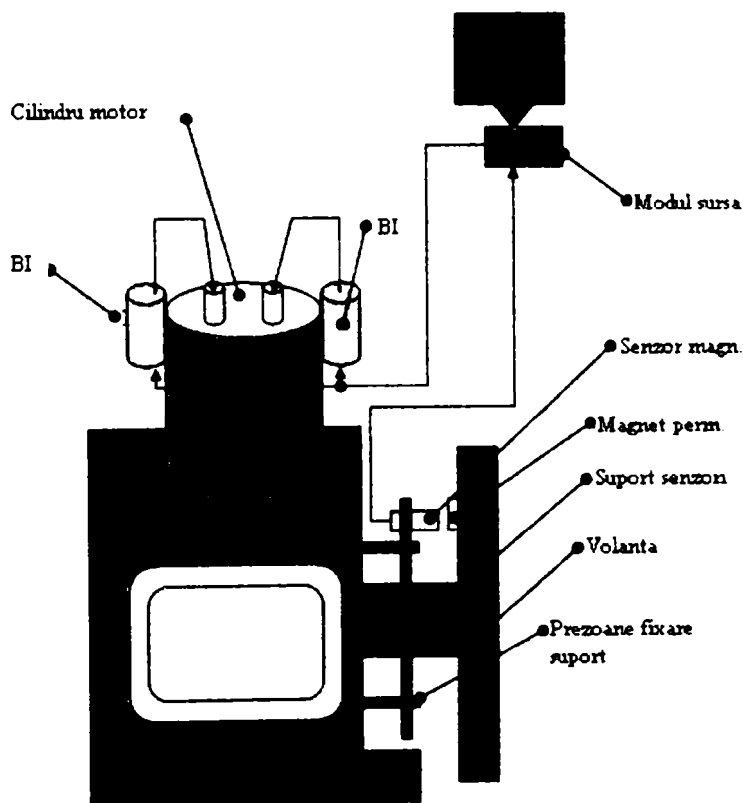


Fig. 4.13. Schița sistemului de aprindere static pentru un cilindru motor

Sistemul de aprindere static s-a experimentat cu bobine de inducție uzuale (pentru autovehicule cu motoare cu aprindere prin scânteie), existente pe piață la prețuri accesibile. Acestea au următoarele caracteristici :

- inductivitate primară $L_p = 10 \text{ mH}$
- rezistență primară $R_p = 4.17 \Omega$
- inductivitate secundară $L_s = 50 \text{ mH}$
- rezistență secundară $R_s = 9.5 \text{ k}\Omega$

Cilindrii motor ai gazomotocompresorului 10GKNA vor fi prevăzuți, așa cum se observă în figura 4.13, cu două bobine și două bujii pentru uniformitatea combustiei. În acest sens se vor cupla în paralel pe partea primară câte două bobine, acestea fiind comandate de un singur senzor și alimentate de la un singur modul sursă. Realizarea conformității pentru funcționarea în atmosferă potențial explozivă se va face prin măsuri constructive corespunzătoare, care vor fi descrise în paragrafele următoare.

Teoria lui Townsend și legea lui Paschen arată că tensiunea de străpungere a unui gaz depinde, în primul rând de produsul ($p \cdot d$) unde p este presiunea gazului iar d distanța dintre electrozi. Ținând cont de acest lucru se poate trage concluzia că, pentru un anumit gaz, utilizând același tip de electrozi și neglijând influența altor factori precum temperatura, umiditatea sau radiațiile cosmice se pot studia fenomenele legate de străpungere fie la presiune mare și distanță între electrozi mică, fie la presiune mică și distanță între electrozi mare, în anumite limite, cu rezultate relativ apropiate. Aceasta înseamnă că prin construcția unor eclatori cu vârfuri modelate după forma electrozilor unei bujii la care se poate regla distanța dintre vârfuri, se pot studia cu o oarecare aproximație fenomenele descărcării prin scânteie din cilindrul unui motor cu ardere internă, la presiunea atmosferică. În plus, pentru cazul motoarelor cu combustibil gaz natural, ținând cont de faptul că, valoarea optimă a concentrației amestecului carburant pentru o aprindere sigură este în jur de 8-10% metan în aer, se poate neglija influența moleculelor de metan asupra tensiunii de străpungere ceea ce înseamnă că fenomenul poate fi aproximat cu descărcarea electrică în aer. Astfel funcționarea unei instalații de aprindere prin scânteie se poate experimenta în laborator cu ajutorul unui eclator corespunzător amplasat în aer la presiunea atmosferică.

În cazul unui agregat de comprimare de tip 10GKNA având partea de motor cu un raport de compresie $\varepsilon = 7$, pentru care constructorul recomandă o distanță între electrozii bujiei de cca 0.3 mm , la o presiune de compresie a amestecului carburant de 15-20 bar [17] rezultă o distanță între electrozii eclatorului experimental:

$$d = \frac{20\text{bar} * 0.3\text{mm}}{1.01\text{bar}} = 5.94 \text{ mm} \quad (4.7.3.1)$$

Pentru a lua în calcul influența unor factori cum ar fi particulele fine de ulei și umiditatea amestecului carburant care măresc valoarea tensiunii de străpungere se poate considera că alegerea unei distanțe de 7-8 mm între vârfurile eclatorului experimental aproximează suficient de bine în condiții de laborator fenomenele de străpungere din interiorul cilindrului motor al unui gazomotocompresor 10GKNA.

Pentru inițierea unei străpungeri sigure a spațiului disruptiv este nevoie în faza de străpungere propriuzisă de o energie de minim 0.3 mJ , dacă distanța dintre electrozii bujiei în aer este de 1 mm și presiunea gazului de 1 bar , conform [74]. Această energie se transferă mediului din sistemul electric cu o eficiență de 90% [40]. Rezultă că sistemul electric va trebui să asigure pentru această fază o energie minimă:

$$W_1 = \frac{0.3}{90} * 100 \cong 0.333 \text{ mJ} \quad (4.7.3.1)$$

Aproximativ aceeași cantitate de energie se transferă mediului în faza de arc dar cu o eficiență de 50% [40], ceea ce înseamnă că sistemul va trebui să furnizeze pentru această fază o energie minimă:

$$W_2 = \frac{0.3}{50} * 100 = 0.6 \text{ mJ} \quad (4.7.3.2)$$

Cea mai mare parte din energia transferată de sistemul electric mediului se realizează în faza de stingere (descărcarea roșatică) și reprezintă cca 80% din energia totală a descărcării [74], transferată de sistemul electric cu o eficiență de cca 30% [40]. Sistemul va trebui să furnizeze pentru această fază o energie minimă:

$$W_3 = \left(\frac{80}{100} * 0.3 \right) * \frac{100}{30} = 0.8 \text{ mJ} \quad (4.7.3.3)$$

Ținând cont de (4.7.3.1), (4.7.3.2), (4.7.3.3). energia minimă necesară a fi pusă la dispoziție de sistemul electric pentru generarea unei scântei în condițiile date, este suma celor trei energii și are valoarea :

$$W_s(1\text{mm}) \cong 0.333 + 0.6 + 0.8 \cong 1.733 \text{ [mJ]} \quad (4.7.3.4)$$

Pentru a se putea ajunge la energia minimă necesară sistemului electric în vederea generării unei scântei eficiente în situația creșterii distanței dintre electrozi de la 1mm la 5.94 mm, necesară pentru a simula condițiile din interiorul cilindrului motor al unui agregat de comprimare de tip 10GKNA, se poate considera cu o oarecare aproximație că valoarea și forma curentului de descărcare rămân aceleași, iar tensiunea își păstrează doar forma de variație, fiind translatată ca valoare, invers proporțional cu raportul distanțelor, în vederea păstrării aceleiași valori a intensității câmpului electric în fiecare fază a descărcării. Cu aceste ipoteze se poate calcula energia minimă necesară a fi furnizată de sistem ca fiind :

$$W_s(5.94\text{mm}) = 1.733\text{mJ} * \frac{5.94\text{mm}}{1\text{mm}} \cong 10.3 \text{ mJ} \quad (4.7.3.5)$$

Ținând cont de faptul că se lucrează cu două bujii, respectiv două bobine pentru fiecare cilindru motor rezultă că valoarea energiei minime furnizată de sistem va trebui dublată, deci:

$$W_{\text{min}} = 10.3 * 2 = 20.6 \text{ mJ} \quad (4.7.3.6)$$

Tensiunea minimă de străpungere ce trebuie asigurată de sistem în secundarul bobinei de inducție se poate determina utilizând forma simplificată a legii lui Paschen după cum urmează :

$$U_s = 30 * p[\text{atm}] * d[\text{cm}] + 1.35[\text{kV}] = 30 * 1 * 5.94 * 10^{-1} + 1.35 = 19.17 \text{ kV} \quad (4.7.3.7)$$

Plecând de la aceste date, prin calcule de dimensionare uzuale și unele determinări experimentale s-au putut stabili caracteristicile componentelor utilizate în schemele electronice ale circuitelor de aprindere după cum urmează:

- tiristorul Ty va avea un curent de vârf repetitiv de min 10 A și un curent direct efectiv de minim 1A la o tensiune de străpungere de minim 400 V
- durata impulsului de comandă pe poarta tiristorului va fi de cca 0.01 ms, iar amplitudinea de cca 3V pentru a se realiza o amorsare sigură
- sensibilitatea senzorului Hall va fi de minim 60 mT, pentru a se putea utiliza un magnet permanent uzual, iar temperatura de lucru se va situa cel puțin în plaja 0-90 °C, datorită condițiilor în care funcționează gazomotocompresorul
- transformatorul TR de pe modulul sursă va avea o putere de cca 12 VA
- tensiunea de lucru a conductoarelor pe partea de tensiune joasă va fi de min.500 V, iar conductoarele fișelor de înaltă tensiune vor avea izolația rezistentă la min 30 kV
- tensiunea furnizată de bobina de inducție s-a determinat experimental prin mărirea artificială a distanței dintre electrozii eclatorului și este de cca 25 kV la un impuls în primar cu amplitudinea de 310 V; această valoare este suficientă pentru a se putea realiza străpungerea spațiului disruptiv (vezi relația (4.7.3.7))

În tabelul 4.1 și tabelul 4.2 se prezintă listele componentelor electronice cu care s-au făcut experimentele finale legate de funcționarea sistemului de aprindere static atât în laborator cât și pe agregat. Notățiile corespund cu cele din schemele electronice prezentate în figura 4.11, respectiv figura 4.12.

Tabelul 4.1 Caracteristicile componentelor electronice utilizate în schema senzorului magnetic

| Nr. crt | Componenta | Caracteristici |
|---------|------------|----------------|
| 1 | R9 | 100Ω/0.5W |
| 2 | R10 | 12KΩ/0,5W |
| 3 | R1 | 1.8kΩ/0,5W |
| 4 | R11 | 270Ω/0,5W |
| 5 | R12 | 27Ω/0,5W |
| 6 | R3 | 100Ω/0,5W |
| 7 | R4 | 1kΩ/0,5W |
| 8 | R5 | 56Ω/0,5W |
| 9 | C4 | 100 nF/100Vcc |
| 10 | C2 | 47 nF/100Vcc |
| 11 | D12 | 1N4007 |
| 12 | D1 | 1N4007 |
| 13 | D11 | PL8V6 |
| 14 | H | UGN3140 |
| 15 | Ty | BT151 |
| 16 | T | BC556 |

Tabelul 4.2 Caracteristicile componentelor electronice utilizate în schema modului sursă

| Nr. crt | Componenta | Caracteristici |
|---------|------------|-------------------------------|
| 1 | R8 | 680Ω/ 0,5 W |
| 2 | R6 | 270Ω/ 5 W |
| 3 | R7 | 8.2KΩ/ 0,5 W |
| 4 | C1 | 3.75μF/ 400 Vc.a. |
| 5 | C3 | 1000μF/ 35 Vc.c. |
| 6 | D4 | 1N4007 |
| 7 | D3 | 1N4007 |
| 8 | D5 | 1N4007 |
| 9 | D6 | 1N4007 |
| 10 | D2 | 1N4007 |
| 11 | D7 | 1N4007 |
| 12 | D10 | LED roșu Φ5 |
| 13 | L1 | 12V/1.2W |
| 14 | TR | transformator 220/220/10-12VA |

Schema de test a celor două circuite ale sistemului de aprindere, respectiv a senzorului magnetic și a modului sursă se prezintă în figura 4.14. Pe baza acestei scheme s-a realizat un stand de testare cu ajutorul căruia s-au efectuat toate testele de laborator ale sistemului de aprindere static.

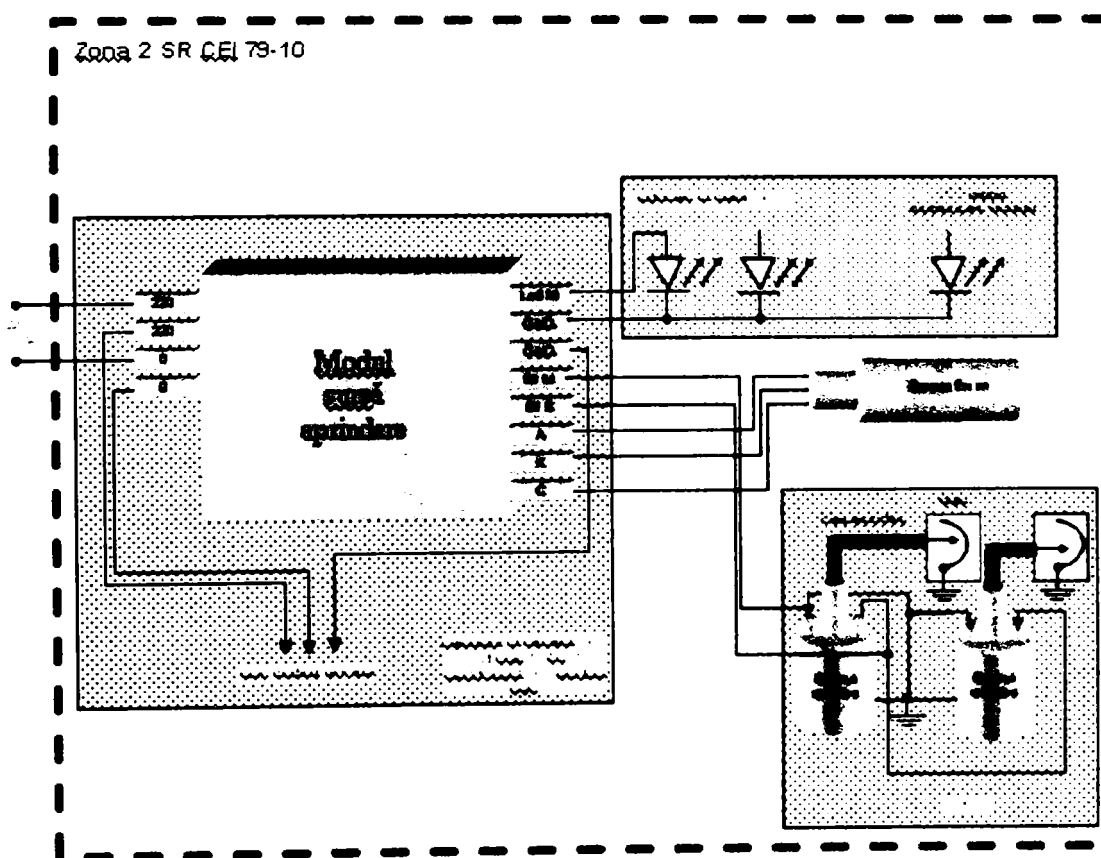


Fig.4.14 Schema de test a sistemului de aprindere static pentru gazomotocompressoare

4.7.4. Proiectarea constructivă a sistemului de aprindere static pentru gazomotocompresoare

Constructiv, senzorii magnetici cu efect Hall s-au executat conform figurii 4.15, circuitele electronice fiind amplasate pe o placă de cablaj imprimat cu elementul sensibil tip Hall la un capăt și bornele de racordare a cablului de legătură la celălalt capăt, întregul ansamblu fiind introdus într-o teacă din material nemagnetic, în care se toarnă o masă de impregnare în vederea fixării și asigurării protecției la intemperii. Teaca sensorului magnetic este prevăzută cu două piulițe de fixare și cu o presetupă de cablu în vederea fixării cablului de conexiuni flexibil. Presetupa de cablu este prevăzută cu o prelungire elastică la partea liberă în vederea reducerii solicitărilor cablului la încovoiere.

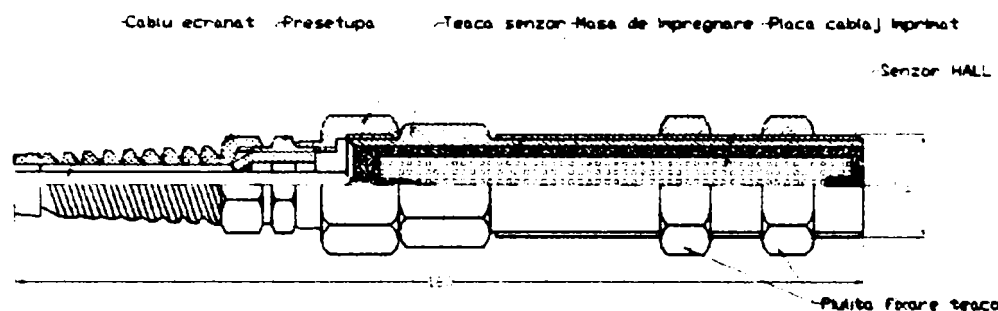


Fig.4.15 Desen de ansamblu a unui senzor magnetic de aprindere cu efect Hall

Placa de cablaj imprimat a senzorului magnetic, văzută dinspre terminale, precum și amplasarea componentelor electronice din componența acestuia sunt prezentate în figura 4.16 și figura 4.17.

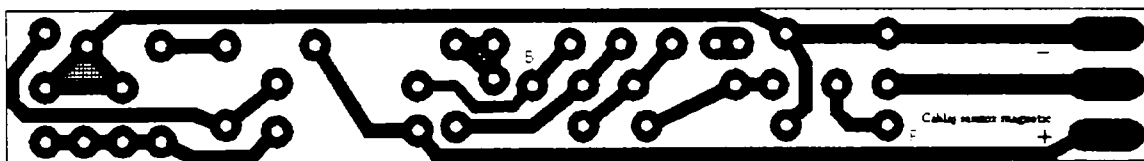


Fig.4.16. Placa de cablaj imprimat a senzorului magnetic de aprindere cu efect Hall

Cablajul imprimat s-a executat din sticlertextolit placat cu grosime de 1 mm , dimensiunile plăcii fiind de $90 \times 12\text{ mm}^2$. Traseele s-au executat astfel ca lățimea acestora să nu fie mai mică de 1 mm , iar între cele care sunt conectate la diferență de potențial mare să existe o cât mai mare distanță de conturare. De asemenea s-a avut grijă ca masele de curenți slabi să nu aibă trasee comune cu cele de curenți tari pentru a se evita influența zgomotelor asupra semnalelor slabe.

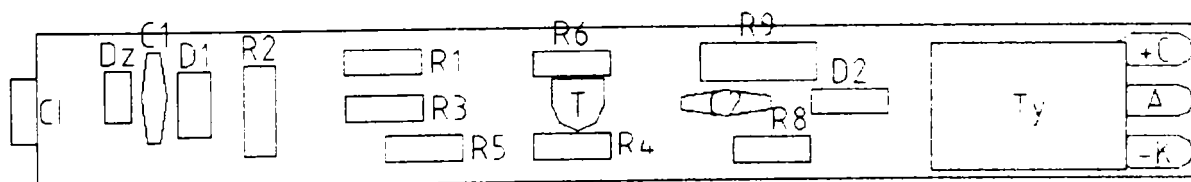


Fig.4.17 Amplasarea componentelor pe placa de cablaj imprimat a senzorului magnetic de aprindere cu efect Hall

În figura 4.17, placa de cablaj este văzută dinspre componentele electronice. După execuția conexiunilor electrice prin lipire cu cositor aceasta se introduce în carcasa senzorului (teaca), construită din bronz sau alamă conform desenului de ansamblu din figura 4.18. Cablul de conexiuni cu modulul sursă se racordează la senzor tot prin lipire (la bornele A,K,C) și rămâne racordat permanent

la acest capăt, fiind demontabil doar în partea dinspre modul. S-a folosit un cablu ecranat cu trei fire cu secțiunea conductoarelor de 0.75 mm^2 cu lungimea de cca 7 m . Ecranajul cablului, din motive de securitate la explozie, nu se leagă la masa montajului ci la carcasa senzorului care are legătură cu batiul mașinii legat la pământ. Tipul cablului folosit este MYEYM 3x0.75.

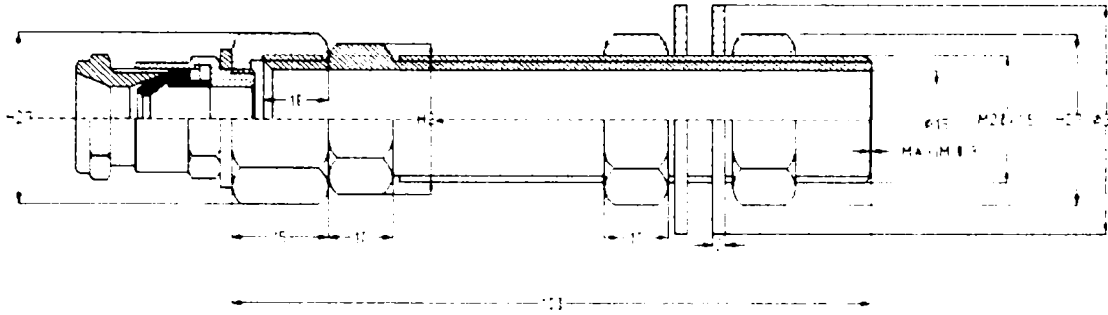


Fig.4.18 Desen de ansamblu pentru carcasa senzorului magnetic de aprindere cu efect Hall

Introducerea plăcii cu componentele senzorului în carcasa cilindrică se face după o izolare prealabilă a pereților interiori ai acesteia cu o folie electroizolantă din preșpan cu grosime de 0.5 mm , după care se toarnă o masă de impregnare care asigură fixarea mecanică plăcii în interiorul carcasei, izolarea electrică a acesteia, protecția contra umezelii și un tip de protecție antiexplozivă corespunzător zonei: tipul de protecție încapsulare în masă conform SR-EN 50028. Pentru impregnare s-a folosit parafina „OPAL” (fabricată la rafinăria STEAUA ROMÂNĂ Câmpina) care se toarnă ușor la o temperatură de cca $90 \text{ }^\circ\text{C}$ și se comportă bine în exploatare, permițând totuși și posibilitatea reparării senzorilor defecti fără înlocuirea plăcii de cablaj.

În cazul modulelor sursă, soluția adoptată a fost amplasarea componentelor acestora pe o placă de cablaj imprimat cu grosime de 1.5 mm și gruparea mai multor module centralizat, în interiorul unei singure carcase care să confere întregului ansamblu un tip de protecție antiexplozivă corespunzător zonei 2. S-a optat pentru amplasarea modulelor într-o carcasă care asigură un tip de protecție „securitate mărită” (Ex e). Figura 4.19 reprezintă ansamblul compus din 10 module sursă de alimentare, corespunzătoare celor 10 cilindri motor ai unui agregat de tip 10GKNA pe care urmează să fie instalat sistemul de aprindere static în vederea experimentării.

Pentru o identificare ușoară s-a optat pentru gruparea modulelor pe două rânduri în aceeași ordine cu a cilindrilor motor ai gazomotocompresorului.

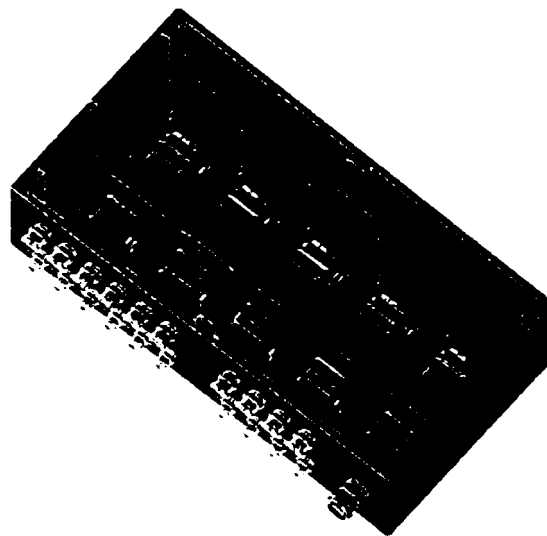


Fig.4.19. Amplasarea modulelor sursă într-o carcasă cu tip de protecție Ex e

La partea laterală a cutiei cu surse, după cum se poate observa în figură s-au amplasat presetupele de etanșare pentru cablurile de conexiuni ale senzorilor și ale bobinelor de inducție. După

realizarea conexiunilor electrice cutia se închide cu un capac (nefigurat în imagine) având o garnitură de etanșare care conferă ansamblului un grad normal de protecție IP66.

Placa de cablaj imprimat a unui modul sursă văzută dinspre terminale este prezentată în figura 4.20, iar amplasarea componentelor (văzută dinspre componente) poate fi observată în figura 4.21 .

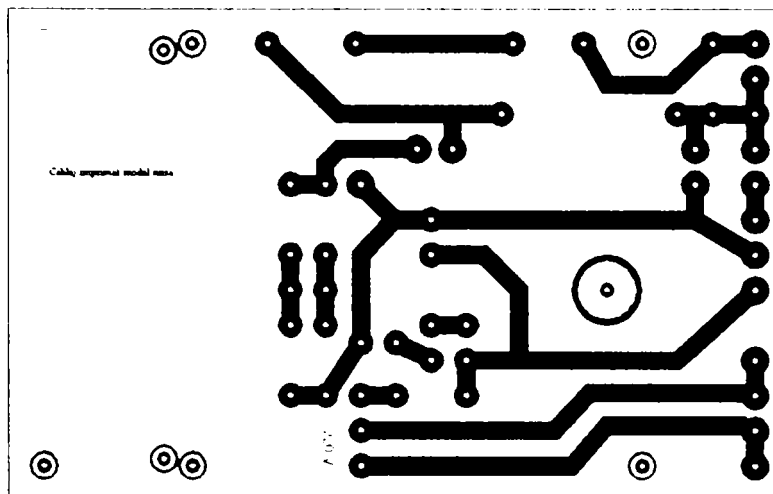


Fig.4.20 Placa de cablaj imprimat a modului sursă de alimentare al sistemului de aprindere static

Dimensiunile de gabarit ale acestei plăci sunt $110 \times 70 \text{ mm}$, ceea ce a permis o execuție mai degajată a traseelor de cablaj, precum și mărirea lățimii acestora și a distanțelor de conturare.

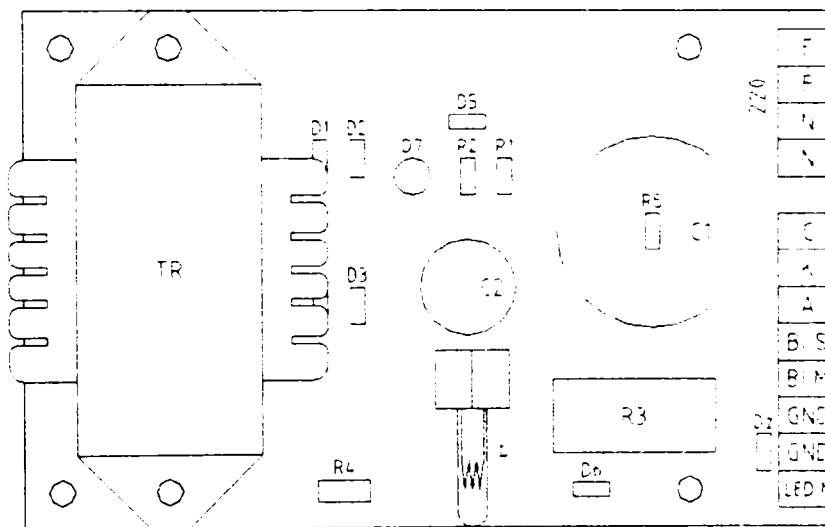


Fig.4.21. Amplasarea componentelor modului sursă de alimentare pentru sistemul de aprindere static

Structura întregului sistem de aprindere static pentru cazul gazomotocompresorului 10GKNA cu toate componentele necesare montajului este redată în Anexa 32.

S-au notat cu $S1...S10$ senzorii magnetici cu efect Hall cu tip de protecție Ex m. Aceștia se conectează fiecare la cutia cu module sursă CSA prin intermediul presetupelor de cablu corespunzătoare notate $1S...10S$, cu ajutorul cablurilor proprii amintite mai sus.

Similar se racordează cablurile corespunzătoare înfășurărilor primare ale bobinelor de inducție, prin presetupele notate cu $1B...10B$. Acestea sunt conectate în paralel câte două pentru fiecare cilindru prin intermediul dozelor de ramificație DR în construcție antideflagrantă (Ex d conform SR-EN 50018). Pentru conexiuni s-a folosit cablu ecranat cu conductor masiv cu secțiune de 1.5 mm^2 , de tipul CSYEY4x1.5. Ecranajul cablului s-a legat la pământ (batiul mașinii) atât din motive de securitate Ex, cât și pentru reducerea perturbațiilor electromagnetice generate în funcționare.

S-au notat cu, *BA1a - BA1b, ... BA10a - BA10b* cele 10 perechi de bobine de inducție corespunzătoare celor 10 cilindri motor ai gazomotocompresorului, iar cu *B1a - B1b, ..., B10a - B10b*, perechile de bujii corespunzătoare. Ansamblul bobină-bujie-fișă de racordare de înaltă tensiune s-a realizat astfel ca să poată satisface condițiile de securitate antiexplozivă printr-un tip de protecție special după cum se arată în Anexa 33.

Bobina de inducție se introduce în interiorul unei carcase cilindrice, turnată din aliaj de aluminiu, executată din două părți care se assemblează cu șuruburi, utilizându-se, în zona de îmbinare, o garnitură de etanșare în vederea protejării acesteia la umezeală și asigurării protecției antiexplozive. În lateral se montează o presetupă de etanșare pentru cablul de joasă tensiune, necesar conectării la doza de ramificație unde se realizează punerea în paralel a înfășurărilor primare ale celor două bobine corespunzătoare unui cilindru.

La partea superioară a capacului carcasei bobinei se racordează, prin intermediul unei piulițe olandeze, fișa de înaltă tensiune care face legătura între borna de înaltă tensiune a bobinei și bujie. Fișa conține un conductor central cu izolație rezistentă la o tensiune de minim 30 kV, și ecranajul concentric cu acesta, conectat la masa mașinii. La capătul dinspre bujie, racordarea fișei se face tot cu ajutorul unei piulițe olandeze pe prelungitorul de bujie care are drept scop scoaterea conexiunilor bujiei din zona chiulasei mașinii, unde temperatura este relativ ridicată, în vederea protejării fișei la acțiunea căldurii. Piesele de contact ale fișei la ambele capete sunt izolate cu ajutorul unor izolatori ceramici care le conferă pe lângă o rigiditate dielectrică bună și rezistență bună la acțiunea căldurii din zona de montaj. La ambele capete de racord fișa este prevăzută cu garnituri de etanșare din cauciuc siliconic pentru a se realiză tipul de protecție antiexplozivă necesar, precum și rezistența la umezeală.

Având această structură constructivă și funcțională, sistemul de aprindere poate fi montat pe un gazomotocompresor de tip 10 GKNA așa cum se poate vedea în figura 4.22.

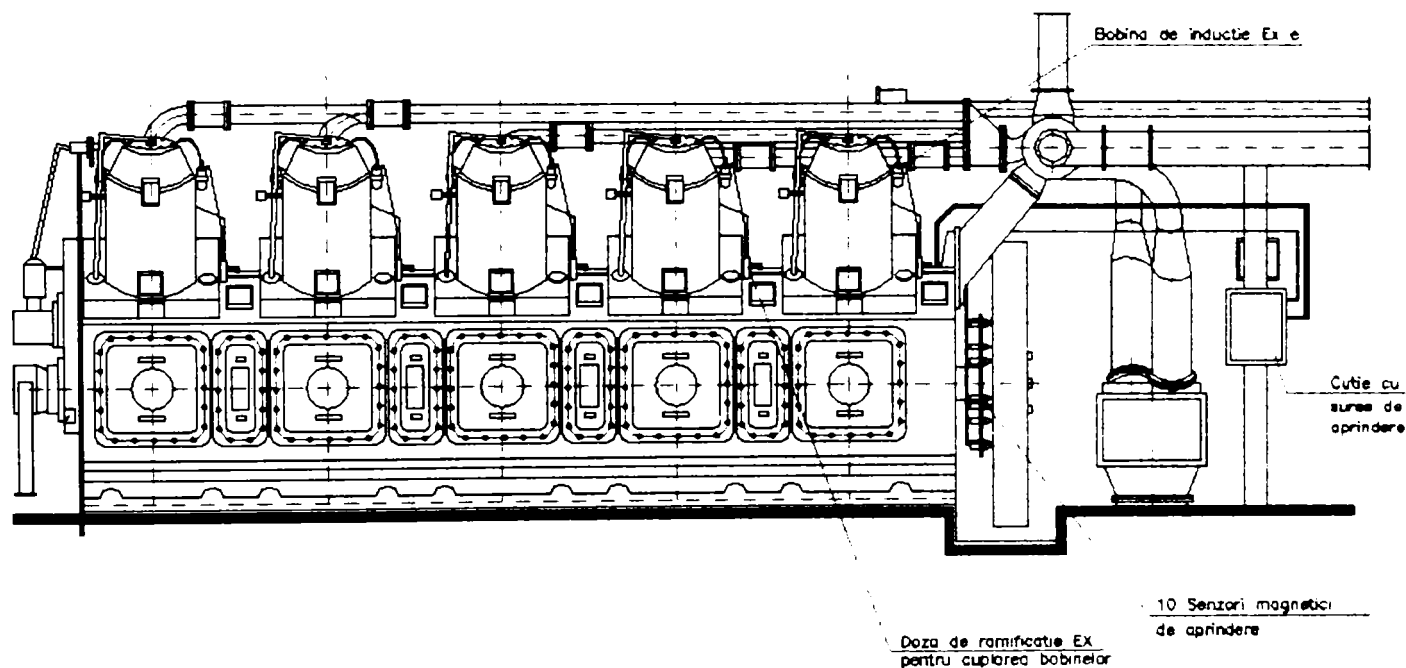


Fig.4.22 Vedere laterală a unui gazomotocompresor de tip 10GKNA echipat cu sistem de aprindere static

La partea de sus a cilindrilor gazomotocompresorului s-au instalat bobinele de inducție cu fișele de înaltă tensiune corespunzătoare, pentru a se reduce cât mai mult distanțele dintre bobine și bujii. La baza cilindrilor s-au montat dozele de ramificație în care se realizează conectarea în paralel a înfășurărilor primare ale bobinelor de inducție. Senzorii magnetici s-au instalat în partea dreaptă a mașinii, între volantă și batiu pe un suport inelar fixat rigid de batiu, construit în așa fel încât să permită atunci când mașina este oprită o mișcare unghiulară în limite reduse în vederea realizării unui reglaj global al avansului la aprindere. La rândul lor senzorii sunt montați pe suport în canale șlitate care permit o deplasare unghiulară pentru fiecare senzor în parte în vederea realizării, atunci când

mașina este oprită a reglajului de avans individual pentru fiecare cilindru. Pentru cazul unui gazomotocompresor tip 10 GKNA, ținând cont de recomandările făcute de constructor în legătură cu momentul aprinderii pentru fiecare cilindru în parte, forma și dimensiunile suportului pentru senzori arată ca în Anexa 34. Acesta se execută din tablă de oțel cu grosimea ne 10 mm.

La partea dinspre batiu a volantei, în dreptul senzorilor magnetici, se amplasează rigid pe aceasta un magnet permanent destinat excitării succesive a celor 10 senzori în ordinea de aprindere a cilindrilor în conformitate cu sensul de rotație al arborelui cotit. Forma constructivă a magnetului permanent utilizat și dimensiunile de gabarit sunt prezentate în Anexa 35.

Cutia cu surse de aprindere se amplasează în partea dreaptă a mașinii (vezi figura 4.22) fiind fixată pe unul din stâlpii de susținere ai galeriilor de evacuare a gazelor arse. Cablurile de conexiuni cu senzorii și dozele de ramificație se pozează pe profile metalice în vederea protecției mecanice a acestora.

În figura 4.23 se prezintă o imagine a cutiei cu cele 10 module sursă de alimentare, instalată pe gazomotocompresorul 10GKNA unde se poate remarca modul de racordare a cablurilor de conexiuni ale senzorilor magnetici și ale bobinelor de inducție.



Fig.4.23 Modul de amplasare a cutiei cu module sursă de alimentare pentru cazul gazomotocompresoarelor de tip 10GKNA

În figura 4.24 se poate vedea imaginea unui senzor magnetic, iar în figura 4.25 imaginea unui modul sursă de alimentare realizate conform schemelor, schițelor și descrierilor prezentate anterior.

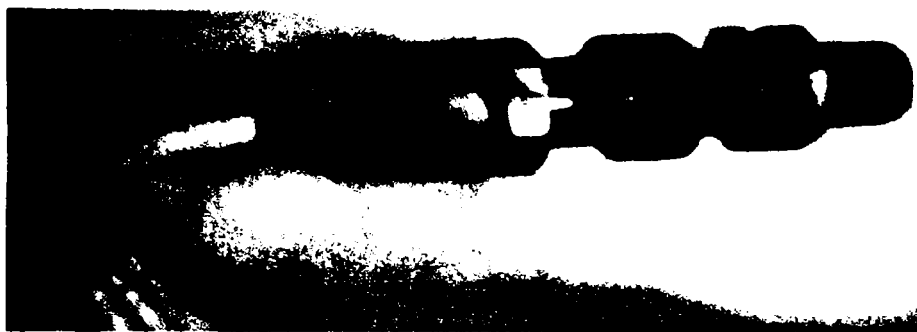


Fig.4.24 Senzor magnetic cu element sensibil Hall destinat sistemului de aprindere static



Fig.4.25 Modul sursă de alimentare, destinat experimentării sistemului de aprindere static pe un gazomotocompresor tip 10GKNA

În figura 4.26 se prezintă o imagine a modului de amplasare a senzorilor magnetici pentru un gazomotocompresor de tip 10GKNA, iar în figura 4.27 modul de amplasare al celor două bobine de inducție pe unul din cilindri mașinii.



Fig.4.26 Instalarea senzorilor magnetici pe un gazomotocompresor tip 10GKNA



Fig.4.27 Instalarea bobinelor de inducție pe un gazomotocompresor tip 10GKNA

4.8. TESTAREA SISTEMULUI DE APRINDERE STATIC

4.8.1. Experimente în laborator

Pentru experimentarea sistemului de aprindere static în laborator, s-a executat mai întâi un stand de încercări pentru module de alimentare și senzori magnetici. Acesta a fost inițial destinat probelor de laborator și ulterior testării și depanării componentelor sistemelor aflate în exploatare.

Standul s-a executat pe baza schemei de test din figura 4.14, fiind completat cu un transformator separator, destinat separării galvanice dintre circuitele sistemului și rețeaua de alimentare de 220 V, 50 Hz și totodată asigurării posibilității de modificare a tensiunii de alimentare a modulelor sursă în anumite limite prin realizarea unor prize de tensiune pe partea secundară a acestuia.

Puterea transformatorului de separație a fost aleasă astfel ca să poată asigura alimentarea a minim 10 module sursă (s-a folosit un transformator de 250VA), iar prizele folosite în înfășurarea secundară s-au realizat pentru tensiunile 170V, 180V, 190V, 200V, 210V, 220V, 230V. Modificarea tensiunii de alimentare a modulelor sursă are drept scop modificarea tensiunii de încărcare a condensatorului de înmagazinare, deci a energiei scânteii, precum și a valorii tensiunii maxime induse în înfășurarea secundară a bobinei de inducție în anumite limite.

Înfășurarea primară a transformatorului separator este de 220V. Din motive de securitatea muncii, între înfășurarea primară și secundară a transformatorului s-a montat un ecran conductor care se leagă la pământ.

Pentru simularea funcționării bujiilor s-au realizat doi eclatori cu vârfuri reglabile la care distanța dintre acestea se poate modifica, în vederea simulării în laborator a condițiilor existente în interiorul cilindrilor gazomotocompresorului. Pentru a se putea testa sistemul în limite de frecvență cât mai largi s-a folosit un magnet permanent cu care excitarea senzorului magnetic poate fi făcută la impuls unic, simulând astfel o turație a mașinii foarte apropiată de zero, iar pentru simularea funcționării la turații mari s-a folosit o bobină de releu de curent alternativ (tip RI 13), alimentată de la rețea, cu frecvența de 50Hz, ceea ce corespunde la o turație a mașinii de 3000 rpm, mult mai mare decât turația nominală a acesteia (300 rpm). Pentru testarea sistemului la frecvențe intermediare s-a folosit o bobină de releu modificată alimentată în impulsuri cu amplitudinea de de 5V, de la un generator de impulsuri dreptunghiulare (tip. HAMEG HM 8035/20MHz), de frecvență, amplitudine și factor de umplere variabile. După primele verificări s-a constatat însă că, în limitele frecvenței impulsurilor magnetice 0-50 Hz, forma de undă a tensiunii și curentului de descărcare, la aceeași distanță între electrozi nu diferă semnificativ, lucru care a permis renunțarea la generatorul de impulsuri dreptunghiulare.

Pentru vizualizarea formelor de undă și măsurarea valorilor tensiunilor și curenților din circuit s-au folosit pe rând două tipuri de osciloscop:

- Osciloscop digital portabil cu două spoturi tip FLUKE 199 C – 200 MHz, 2.5GS/s
- Osciloscop digital cu fosfor, cu două spoturi tip Textronix TDS 3032 B – 300MHz, 2.5 GS/s

În ambele situații s-au folosit două sonde de măsură Tektronix, respectiv sonda de tensiune înaltă de 20kV tip PA60-15A, pentru măsurarea tensiunii scânteii și sonda de curent de 70A tip A622, cu domeniul 100mV/A.

În figura 4.28 se prezintă o imagine a standului echipat cu osciloscopul Fluke 199C stand în care se pot distinge elementele descrise mai sus, iar în figura 4.29 se poate vedea același stand echipat cu osciloscopul Tektronix TDS 3032 B.

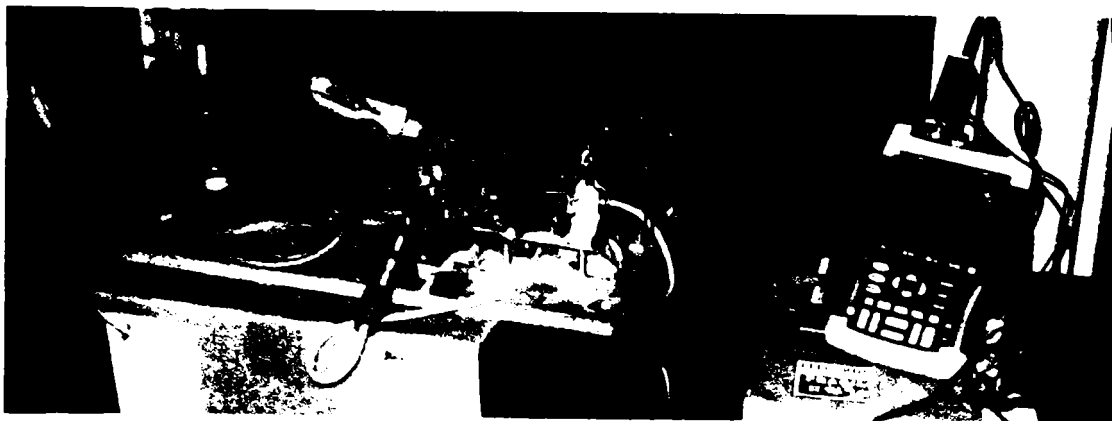


Fig.4.28 Stand de încercări și experimentare a sistemului de aprindere static utilizând un osciloscop digital
Fluke 199 C – 200MHz, 2.5 GS/s

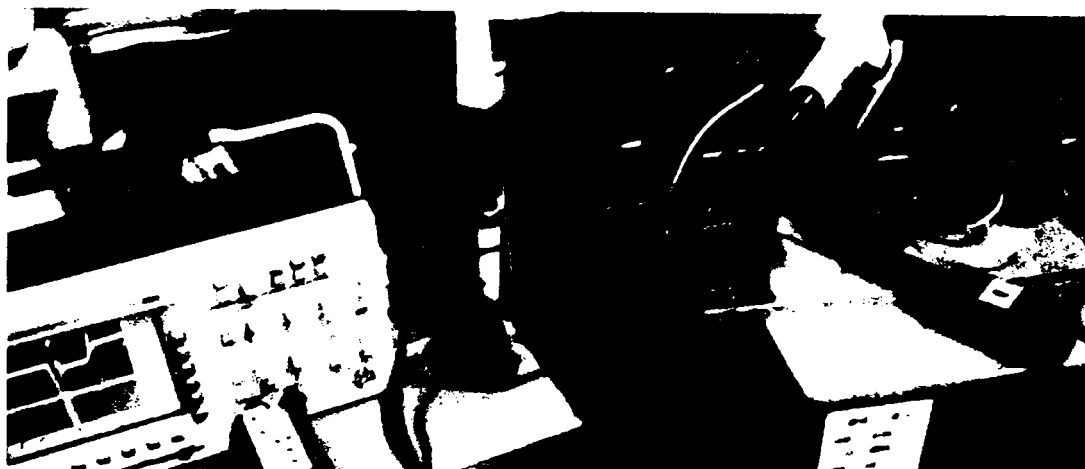


Fig.4.29 Stand de încercări și experimentare a sistemului de aprindere static utilizând un osciloscop digital cu fosfor
Textronix TDS 3032 B – 300MHz, 2.5 GS/s

În figura 4.28 se poate observa mai bine, în partea dreaptă a standului, transformatorul separator, modulul sursă și senzorul magnetic, iar în partea stângă eclatorii și bobinele de inducție, iar în figura 4.29, sonda de înaltă tensiune, de culoare albă și cea de curent de culoare neagră. Sonda de curent măsoară semnalul pe firul de conexiune la masă al eclatorului deoarece aceasta nu este construită pentru a fi utilizată la tensiuni mari, însă curentul prin circuit este practic același dacă se neglijează pierderile prin capacitățile parazite.

În figura 4.30 se prezintă imaginea mai detaliată a unui eclator în care se observă o descărcare prin scânteie de cca 6 mm între vârfurile eclatorului.



Fig.4.30. Descărcare electrică prin scânteie obținută cu o distanță $d = 6$ mm între vârfurile eclatorului când tensiunea din secundarul bobinei de inducție are sens pozitiv față de masa montajului

Rezultatele obținute au fost aceleași cu ambele osciloscopae, deoarece diferențele de caracteristici ale acestora nu au influențat vizibil acuratețea măsurării și vizualizării formelor de undă.

Reglând, pe standul de încercări descris anterior, distanța dintre vârful eclatorului la 6 mm (puțin peste valoarea de 5.9 mm rezultată din calcul pentru simularea condițiilor din interiorul cilindrului unui agregat de comprimare tip 10GKNA), la excitarea senzorului cu impuls magnetic unic, corespunzător turației de 0 rpm, s-a obținut pe ecranul osciloscopului forma de undă a tensiunii de descărcare prezentată în figura 4.31. Această formă de undă corespunde descărcării prin scânteie prezentată în figura 4.30 .

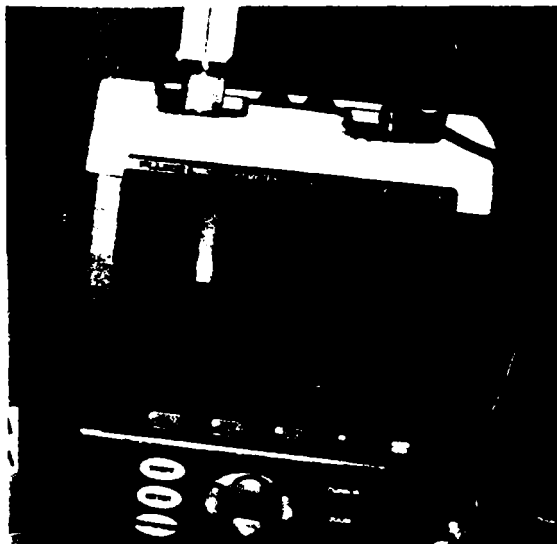
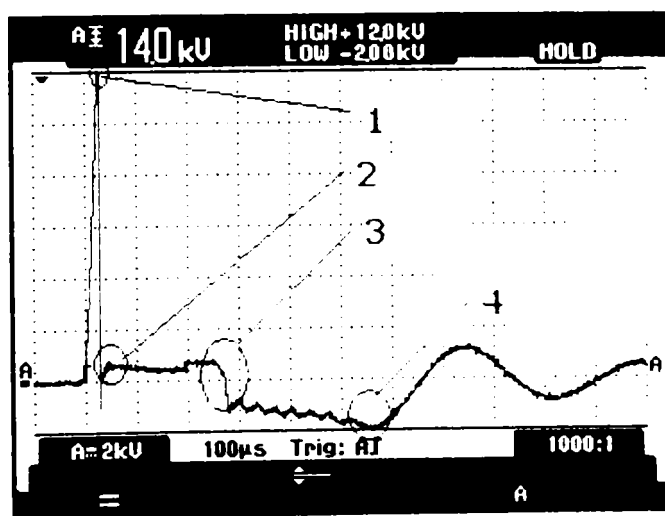


Fig.4.31 Forma de undă a tensiunii de descărcare obținută în laborator cu distanța dintre vârful eclatorului regaltă la 6 mm

Prin utilizarea facilităților de memorare și măsurare pe ecran ale osciloscopului s-a putut face analiza acestei forme de undă obținându-se astfel imaginea din figura 4.32 în care se evidențiază principalele faze ale fenomenului de descărcare prin scânteie .



Mediu-aer; eclator standard; $d=6\text{mm}$
 Bobina tip IAME Sf. Gheorghe
 $R_p=4.17\text{ohm}$; $L_p=10\text{mH}$;
 $R_s=9200\text{ohm}$; $L_s=50\text{mH}$

Fig.4.32 Analiza formei de undă a tensiunii de descărcare obținută în laborator cu distanța dintre vârful eclatorului regaltă la 6 mm, cu impuls magnetic unic

Considerând momentul inițial ca fiind momentul în care tensiunea din secundarul bobinei de inducție începe să crească, se poate observa că în primele câteva zeci de microsecunde aceasta crește de la 0 V la 14 kV . Panta acestei creșteri depinde de caracteristicile circuitelor electrice, respectiv de inductivitatea mutuală și viteza de variație a curentului din circuitul primar. În punctul 1 al formei de undă, asistăm la fazele de prestrăpungere și străpungere a spațiului disruptiv, care durează un timp foarte scurt, de ordinul nanosecundelor, după care în punctul 2 ne situăm în faza de arc a descărcării timp de câteva microsecunde. Imediat după consumarea acesteia ne situăm în faza de stingere (descărcare roșiatică), care durează aproximativ $200\ \mu\text{s}$ (porțiunea aproape orizontală), fiind apoi urmată de stingerea propriuzisă, în punctul 3, datorită inversării sensului tensiunii secundare. Mergând mai departe cu analiza acestei descărcări se remarcă faptul că, spre deosebire de descărcarea obținută de Maly în 1984 (vezi figura 4.9), în cazul de față, la inversarea sensului tensiunii secundare imediat după punctul 3, se amorsează o nouă descărcare prin scânteie de data aceasta la o tensiune de străpungere mult mai mică. Aceasta durează la rândul ei cca $200\ \mu\text{s}$, după care, în punctul 4, descărcarea se stinge definitiv fiind urmată de oscilații amortizate ale tensiunii secundare până la consumarea completă a energiei magnetice rămasă în bobină. Circuitul oscilant secundar este format din înfășurarea secundară a bobinei de inducție și capacitățile parazite ale circuitelor de înaltă tensiune așa cum se poate vedea în figura 4.33.

Explicația faptului că a doua străpungere a spațiului disruptiv se face după inversarea sensului tensiunii secundare la o valoare mult mai mică a tensiunii de străpungere (cca 2 kV , vezi figura 4.32), este aceea că în spațiul disruptiv rămâne după prima stingere un număr mare de electroni liberi și ioni din plasma primei descărcări, ceea ce înseamnă un consum de energie mult mai mic pentru amorsarea celei de-a doua descărcări autonome. La următoarea schimbare de sens a tensiunii secundare, valoarea acesteia nu mai este suficientă pentru străpungerea spațiului disruptiv chiar și în condițiile în care acesta mai conține purtători de sarcină liberi.

În figura 4.34 se prezintă comparativ cu tensiunea de descărcare, forma de variație a curentului obținută pentru situația descrisă mai sus, însă cu frecvența de excitare a senzorului magnetic de 50 Hz , corespunzător unei turații a mașinii de 3000 rpm . Se observă că, față de situația din figura 4.32, la această frecvență, din cauza purtătorilor de sarcină liberi, tensiunea de descărcare se reduce cu cca 25% pentru prima străpungere și 15% pentru a doua.

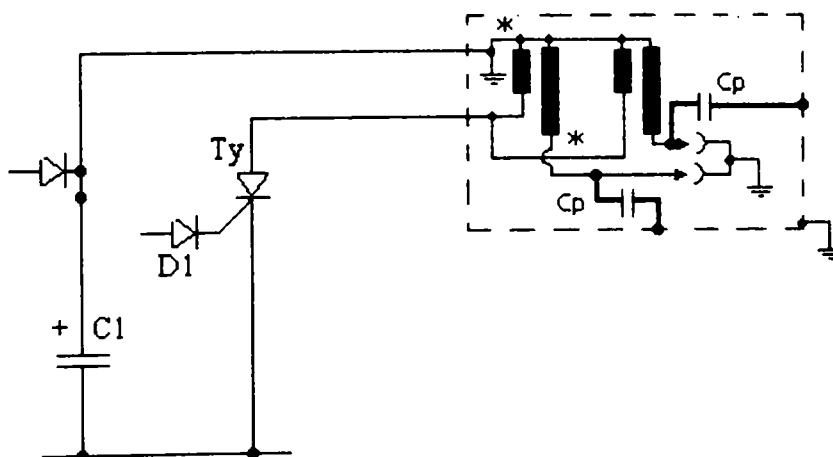


Fig.4.33 Schema de conexiuni a bobinelor de inducție de tip IAME Sf. Gheorghe, pentru care s-au obținut experimental formele de undă din figura 4.32 și figura 4.34

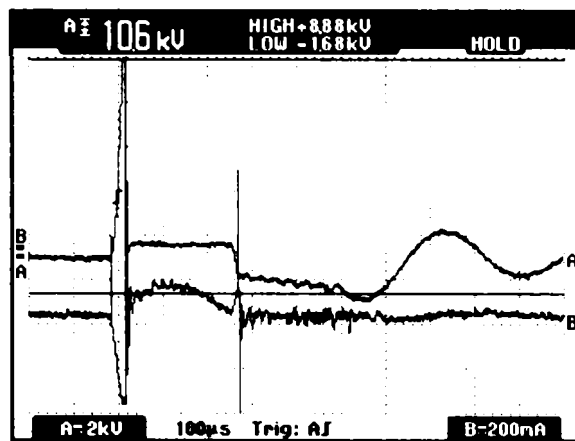


Fig.4.34 Forma de variație a tensiunii și curentului de descărcare obținute în laborator, cu impulsuri magnetice de 50 Hz, având o distanță între virfurile eclatorilor de 6 mm

După cum se poate observa din analiza formei de undă din figura 4.34, curentul de descărcare crește brusc în momentul străpungerii, la valori foarte mari comparativ cu valoarea la care se stabilizează în faza de arc și cea de stingere. Acest lucru se poate observa atât la prima descărcare, când tensiunea de descărcare este pozitivă, cât și la cea de-a doua, când aceasta este de semn opus. Se confirmă astfel teoria expusă în [74], conform căreia, în faza de străpungere propriuzisă, în măsura în care se produc electroni liberi prin coliziuni între electronii în mișcare și moleculele de gaz, sau prin fotonii sub formă de radiații ultraviolete emiși prin dezexcitarea moleculelor neionizate complet în urma coliziunilor, curentul crește în avalanșă până la valori foarte mari, într-un interval de timp de ordinul nanosecundelor. Această creștere este limitată doar de impedența circuitelor exterioare spațiului disruptiv, în cazul de față fiind vorba de impedența înfășurării secundare a bobinei de inducție.

4.8.2. Experimente pe un gazomotocompresor 10GKNA

Sistemul de aprindere static a fost experimentat pe un agregat de comprimare de tip 10GKNA de producție sovietică în anul 1999 la stația de comprimare Grebeniș, județul Mureș. Experimentul s-a făcut utilizând schema de conexiuni a bobinelor de inducție din figura 4.33. În acest caz tensiunea indusă în secundarul bobinei de inducție se aplică cu semnul „+” pe electrodul central al bujiei, ceea ce înseamnă că descărcarea prin scânteie începe fizic dinspre electrozii laterali ai bujiei conectați la masa mașinii, care reprezintă catodul, spre electrodul central care reprezintă anodul descărcării. Formele de undă ale tensiunii și curentului de descărcare obținute pe ecranul osciloscopului sunt prezentate în imaginea din figura 4.35.

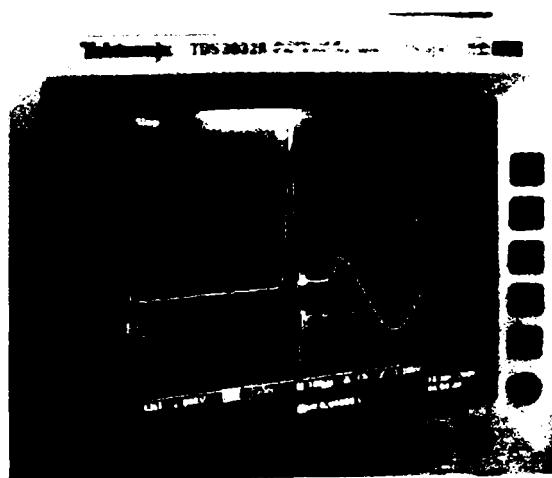


Fig.4.35 Forma de variație a tensiunii și curentului de descărcare obținute pe un gazomotocompresor tip 10GKNA la turația de 300 rpm cu distanța dintre electrozi $d = 0.3\text{mm}$ și schema de conexiuni a bobinelor din figura 4.33

Se observă că străpungerea spațiului disruptiv se realizează, în acest caz, la o tensiune de cca 10 kV , față de aproximativ 8.8 kV cât s-a obținut în laborator, conform figurii 4.34, durata descărcării începând cu faza de arc până la stingerea completă scade de la $200\ \mu\text{s}$ la $180\ \mu\text{s}$, iar a doua străpungere a spațiului disruptiv nu se mai produce chiar dacă, la schimbarea sensului tensiunii din secundarul bobinei de inducție se atinge valoarea de cca 3.6 kV , față de 1.2 kV în laborator. Explicația acestui fenomen este aceea că datorită mișcării maselor de amestec carburant din cilindru, apare o dispersie a ionilor și electronilor liberi din zona spațiului disruptiv către exteriorul acestuia, iar această pierdere de purtători de sarcină trebuie completată în vederea asigurării condițiilor de amorsare a descărcării. Completarea cu purtători de sarcină se face pe baza creșterii tensiunii de străpungere. Stingerea mai rapidă a descărcării se datorează, de asemenea, curenților de amestec carburant care duce la o ușoară răcire și difuzia plasmii spre exteriorul spațiului disruptiv. Totuși în urma experimentării s-a constatat că descărcarea este suficient de eficientă, inițierea aprinderii amestecului carburant făcându-se deosebit de bine, ceea ce duce la o funcționare a mașinii uniformă, reușindu-se o creștere substanțială a puterii dezvoltate de motor reflectată prin menținerea turației nominale la sarcini ale compresorului sensibil mai ridicate decât cu vechile instalații de aprindere. Se menționează însă faptul că îmbunătățirea funcționării agregatului de comprimare a fost posibilă nu atât datorită creșterii eficienței descărcării prin scânteie care este comparabilă cu cea a sistemelor originale, cât datorită preciziei și stabilității momentului de aprindere pentru fiecare cilindru în parte. Dacă la instalațiile originale, din cauza uzurilor pronunțate ale componentelor mecanice care transmit mișcarea de la arborele cotit la magnetou, eroarea de avans la aprindere măsurată cu ajutorul unei lămpi stroboscopice pe circumferința volantei, era de cca 8° , la sistemul de aprindere static experimentat nu depășește 0.3° , măsurată în aceleași condiții. Pentru exemplificare se prezintă în figura 4.36, diagrama de variație pentru o oră de funcționare, a temperaturilor gazelor de evacuare pentru cei 10 cilindri motor ai unui gazomotocompresor tip 10GKNA, echipat cu sistem de aprindere original aflat în stare avansată de uzură. Comparativ cu această situație se poate vedea în figura 4.37, o variație a temperaturilor mult mai uniformă pentru același tip de agregat de comprimare echipat cu sistemul de aprindere static pentru mai multe ore de funcționare.

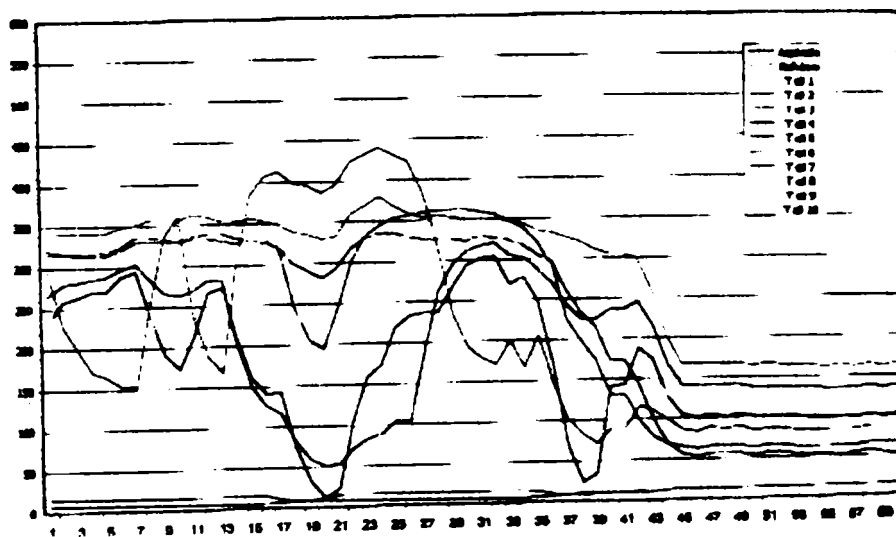


Fig.4.36 Diagrama de variație a temperaturilor gazelor de evacuare pentru cei 10 cilindri motor ai unui gazomotocompresor tip 10GKNA pentru o oră de funcționare cu o instalație de aprindere originală aflată într-o stare de uzură avansată

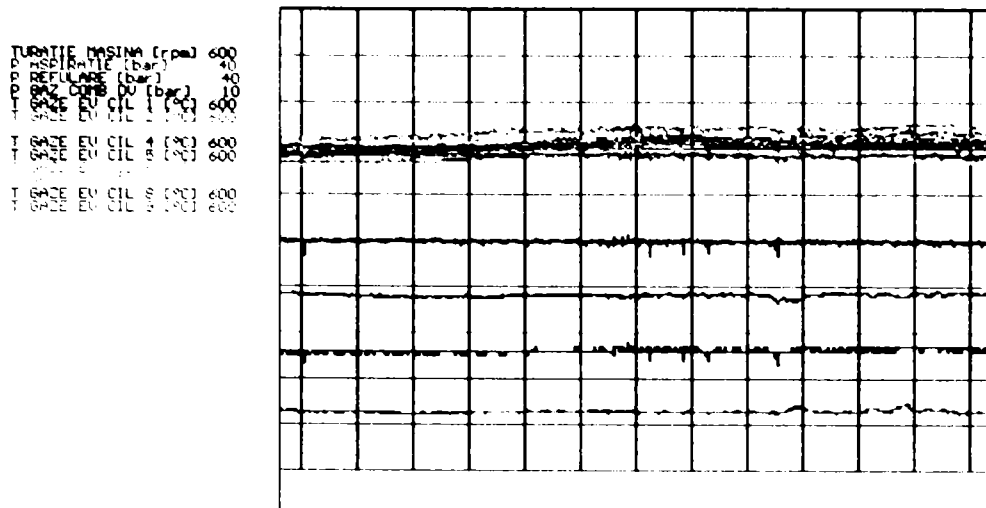


Fig.4.37 Diagrama de variație a temperaturilor gazelor de evacuare pentru cei 10 cilindri motor ai unui gazomotocompresor tip 10GKNA pentru 12 de ore de funcționare cu sistemul de aprindere static

În figura 3.36 se observă neuniformități exagerate ale temperaturilor gazelor de evacuare atât pentru același cilindru în timp cât și între diferiți cilindri la același moment. Ținând cont de faptul că temperatura nominală a gazelor de evacuare recomandată de producător pentru acest tip de gazomotocompresor este de 420°C , rezultă că funcționarea compresorului a cărui diagramă se prezintă în această figură este deosebit de defectuoasă generând uzuri pronunțate ale componentelor mecanice, reducerea puterii dezvoltate și detonații periculoase în galeriile de evacuare, datorate exploziei gazelor nearse în cilindru, care ajung în gasleriile de evacuare.

În figura 4.37 se poate vedea gruparea celor 10 parametri de funcționare (temperaturile celor 10 cilindri), în jurul valorii de 420°C , precum și uniformitatea acestora pe perioade lungi de funcționare. Această diagramă reflectă eficiența sistemului de aprindere static demonstrând o reală îmbunătățire a funcționării gazomotocompresorului.

4.8.3. Comparații cu alte sisteme de aprindere

Pentru a se putea evidenția mai bine performanțele sistemului de aprindere conceput, în scopul stabilirii locului acestuia în ierarhia sistemelor de aprindere existente pe piață la ora actuală, s-a trecut la efectuarea de măsurători comparative ale formelor de undă luându-se ca referință unul din cele mai performante sisteme de aprindere statice existente pe piață și anume ALTRONIC CPU-2000-DIGITAL IGNITION SISTEM, produs de firma ALTRONIC – SUA. Acest sistem funcționează pe un gazomotocompresor tip INGERSOLL RAND 10TVR (SUA), având partea de motor cu 10 cilindri în „V”, funcționând în 4 timpi și care dezvoltă o putere de cca 1200 CP , la o turație nominală de 475 rpm . În figura 4.38 se poate vedea un astfel de sistem de aprindere care funcționează la această oră la Stația de Comprimare Balda, județul Mureș.



Fig.4.38 Sistem de aprindere static tip ALTRONIC CPU-2000 realizat de firma ALTRONIC – SUA

Prețul de import al unui astfel de sistem de aprindere este, la ora actuală, de cca două miliarde de lei vechi, la care se mai adaugă cheltuielile de instalare, în timp ce costurile de execuție și implementare a unui sistem de aprindere conceput în țară nu depășește 350 de milioane de lei vechi.

Principiul de funcționare al sistemului de aprindere de import este conform figurii 4.5 și a fost descris în paragraful 4.2.

Formele de undă ale tensiunii și curentului de descărcare înregistrate cu osciloscopul Tektronix TDS3032B, sunt redată în figura 4.39 .

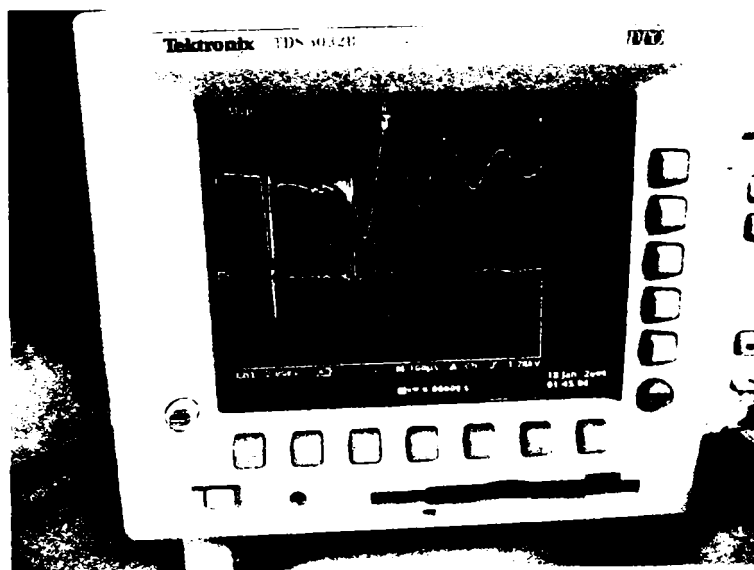


Fig.4.39 Forma de variație a tensiunii și curentului de descărcare obținute pe un gazomotocompresor tip 10TVR la turația de 475 rpm cu sistemul de aprindere ALTRONIC CPU-2000

După cum se poate observa străpungerea spațiului disruptiv se realizează, la o tensiune de cca $9kV$, iar durata descărcării începând cu faza de arc până la stingerea completă este de cca de la $260 \mu s$. După stingerea descărcării tensiunea din secundarul bobinei de inducție oscilează la valori mai mari decât în cazul sistemului experimentat (cca $4.2 kV$), dar nu apare totuși a doua străpungere a spațiului disruptiv. Din punctul de vedere al tensiunii de străpungere se poate spune că cele două sisteme lucrează cu aproximativ aceeași eficiență a descărcării. Totuși, ținând cont de durata semnificativ mai mare a descărcării în cazul sistemului produs de Altronic, $260 \mu s$, față de $180 \mu s$, se poate spune că inițierea arderii amestecului carburant la sistemul de import se face cu probabilitate mai mare. S-a observat însă că această diferență nu produce schimbări sesizabile în funcționarea mașinii, cel puțin în cazul celor experimentate, ceea ce înseamnă că mărirea duratei descărcării pentru sistemul românesc nu este neapărat necesară, cu atât mai mult cu cât acest lucru duce la o uzură mai rapidă a electrozilor bujiei.

Există totuși o diferență majoră între formele de undă ale tensiunii de descărcare obținute pe cele două sisteme, după cum se vede comparând imaginile din figurile 4.35 și 4.39 și anume aceea că în cazul al doilea tensiunea de străpungere este de semn negativ, ceea ce înseamnă că aceasta se aplică cu minus pe electrodul central al bujiei care devine astfel catodul descărcării electrice.

Experimentând acest lucru în laborator și pentru sistemul de aprindere static conceput s-a obținut forma de undă din figura 4.40.

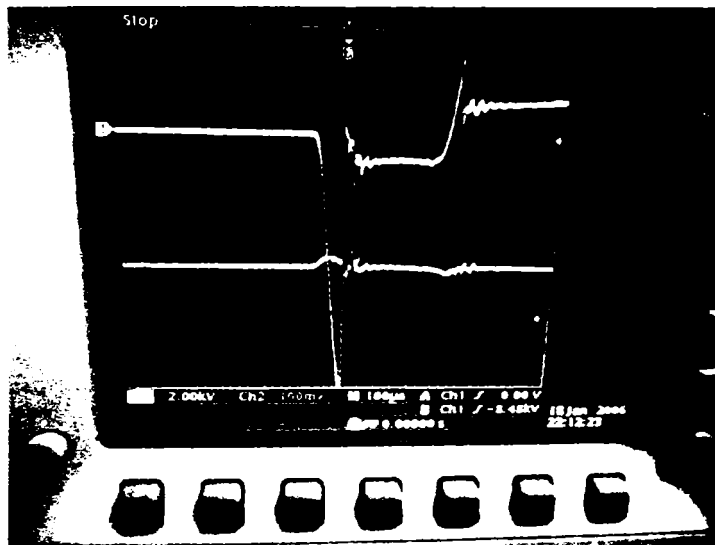


Fig.4.40 Forma de variație a tensiunii și curentului de descărcare obținute în laborator pe un eclator standard cu distanța dintre vârfuri de 6 mm, utilizând sistemul de aprindere static conceput și schema de conectare a bobinelor din figura 4.42

Se observă că durata descărcării crește puțin și exceptând a doua străpungere, care după cum s-a arătat nu mai apare la funcționarea sistemului pe agregat, această formă de undă este aproape identică cu cea a sistemelor Altronic.

În figura 4.41 se poate vedea imaginea unei descărcări ale cărei forme de undă s-au prezentat în figura 4.40.

Schema de conexiuni a bobinelor de inducție de tip IAME Sf. Gheorghe, utilizate în cazul sistemului de aprindere românesc, pentru care s-au obținut experimental formele de undă din figura 4.40 se prezintă în figura 4.42.



Fig.4.41 Descărcare electrică prin scânteie obținută cu sistemul de aprindere coceput, cu o distanță $d=6$ mm între vârfurile eclatorilor când tensiunea din secundarul bobinei de inducție are sens negativ față de masa montajului

Se observă, chiar și în imagine, că intensitatea scânteii este mai bună decât în cazul prezentat în figura 4.30. În laborator însă acest lucru a fost foarte vizibil și deosebit de clar, chiar și pentru distanțe mai mari între vârfurile eclatorului, lucru care demonstrează că energia transmisă din sistemul electric spre mediu este mai mare. Explicația acestei creșteri de energie se poate face analizând schema de conexiuni a bobinelor de inducție .

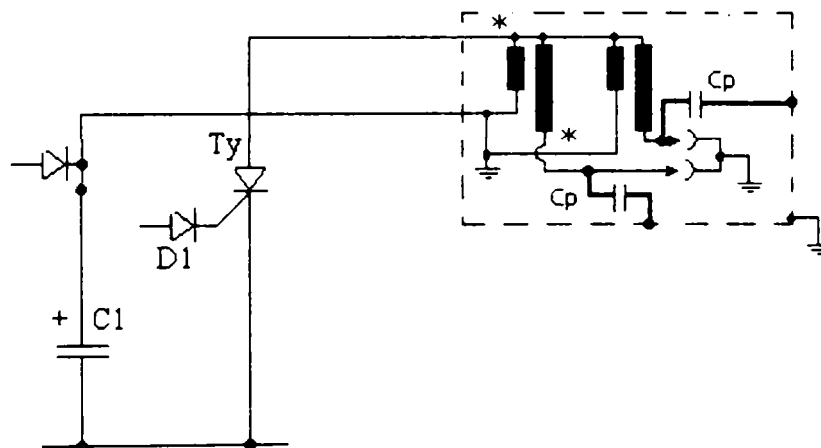


Fig.4.42 Schema de conexiuni a bobinelor de inducție de tip IAME Sf. Gheorghe, pentru care s-au obținut experimental formele de undă din figura 4.40

Se poate observa, conform figurii 4.42, că la amorsarea tiristorului T_y , condensatorul $C1$ se descarcă pe circuitul următor :

borna „+” a condensatorului $C1$, sfârșitul înfășurării primare a bobinei de inducție, începutul înfășurării primare a bobinei de inducție, anodul tiristorului, catodul tiristorului, borna „-” a condensatorului $C1$.

Tensiunea autoindusă se opune creșterii curentului, ceea ce înseamnă că atât în înfășurarea primară cât și în cea secundară va avea semnul „-” pe borna de început (notată cu „*”). Deci cele două tensiuni autoinduse se însumează și se aplică pe electrozii bujiei cu „-” pe electrodul central și „+” pe masa mașinii, spre deosebire de situația din figura 4.30 unde doar tensiunea autoindusă în secundar se aplică pe bujie și cu semnul „+” pe electrodul central. Evident că energia transmisă de sistem mediului prin descărcare este mai mare în cazul figurii 4.42.

Experimentând această schemă de conexiuni a bobinelor de inducție pe mai multe tipuri de gazomotocompresoare s-au constatat următoarele :

- în cazul gazomotocompresoarelor de tip 10GKNA, cu motoare în 2 timpi, nu se observă modificări în funcționarea mașiniilor, acestea funcționând la fel de bine cu ambele scheme
- în schimb la gazomotocompresoarele tip Thomassen LGC35-6 și Ingersoll – Rand 10TVR, cu motoare în 4 timpi, se observă o ușoară creștere a puterii dezvoltate a motorului când se utilizează schema din figura 4.42

Explicația fenomenului este următoarea: motoarele în doi timpi produc cuplu la fiecare cursă a pistonului, ceea ce înseamnă că, la aceeași putere nominală și același număr de cilindri, pierderea unei inițieri a aprinderii determină o scădere a puterii mașinii de două ori mai mică decât în cazul motoarelor în 4 timpi, care produc cuplu doar la fiecare a doua cursă a pistonului. Din acest punct de vedere motoarele în 4 timpi sunt mult mai sensibile la scăderea eficienței descărcărilor prin scânteie.

În concluzie cea mai indicată schemă de conectare a bobinelor de inducție este cea din figura 4.42, la care electrodul central al bujiei joacă rolul de catod al descărcării, iar energia transmisă de sistemul electric mediului este mai mare. Totuși, la motoarele la care funcționarea nu este influențată de folosirea unei a sau alteia din cele două scheme, folosirea celei din figura 4.30, duce la o uzură mai lentă a electrozilor bujiilor, lucru care s-a putut observa în cazul gazomotocompresoarelor 10GKNA.

4.9. CONCLUZII

Instalațiile de aprindere ale gazomotocompresoarelor existente în industria exploatarea gazelor naturale din România, în configurația lor inițială sunt într-o stare avansată de uzură fizică și morală. Exploatarea agregatelor de comprimare cu astfel de sisteme duce la o funcționare defectuoasă a acestora, generând uzuri pronunțate ale componentelor mecanice ale mașinii și consumuri mari de gaz combustibil, ulei și piese de schimb.

Înlocuirea acestor instalații cu sisteme de aprindere digitale moderne este costisitoare și nu rezolvă problema în totalitate datorită distrugerii frecvente a senzorilor inductivi utilizați și a întreținerii dificile.

Sistemul de aprindere static cu senzori magnetici cu efect Hall, reușește să îmbine calitățile sistemelor de aprindere moderne digitale cu simplitatea celor clasice, într-o structură deosebit de flexibilă, ușor de implementat și întreținut pentru orice tip de gazomotocompresor.

Renunțând la modificarea avansului în timpul funcționării agregatului de comprimare, modificare care, așa cum s-a mai spus, nu aduce îmbunătățiri semnificative în funcționarea gazomotocompresoarelor deoarece acestea lucrează la turație constantă și sarcini aproximativ constante pe perioade lungi de timp, s-a putut realiza un sistem de aprindere fără componente în mișcare, cum este cazul celor cu magnetou și mult mai simplu de utilizat decât cele digitale. Prețul de cost al unui astfel de sistem este de cca 7 ori mai mic decât al celui original, iar întreținerea este la îndemâna personalului de exploatare existent în stațiile de comprimare la ora actuală.

Experimentarea sistemului de aprindere static cu circuite independente a cărui principiu de funcționare a fost prezentat în acest capitol, a dus la îmbunătățirea funcționării agregatelor de comprimare, în primul rând prin reducerea considerabilă a perioadelor de opriri neprevăzute.

Datorită preciziei de reglaj al avansului și a stabilității acestuia în timp, funcționarea agregatelor a devenit uniformă scăzând considerabil consumul de piese de schimb mecanice.

Întreținerea instalației de aprindere a devenit deosebit de comodă, în condițiile în care prețul de cost al pieselor de schimb precum și al întregului sistem este incomparabil mai mic decât al celor cu magnetou sau cu distribuție electronică.

Eficiența sistemului este mai bună dacă se conectează bobinele de inducție conform schemei din figura 4.42, mai ales la motoarele în 4 timpi.

În concluzie sistemul de aprindere propus poate răspunde cerințelor majorității tipurilor de gazomotocompresoare utilizate în rețeaua națională de extracție, transport și înmagazinare a gazelor

naturale asigurând pe lângă avantajele prezentate mai sus și pe cel al universalității și interschimbabilității pieselor de schimb.

Utilizând Legea lui Paschen se pot studia în condiții de laborator, cu echipament nepretențios, fenomenele descărcării electrice prin scânteie din interiorul cilindrului motor, prin echivalarea condițiilor de presiune și distanță între electrozi. Rezultatele sunt suficient de bune pentru a putea constitui o bază de plecare în dimensionarea elementelor unui circuit de aprindere nou.

4.10. CONTRIBUȚII PERSONALE

S-au prezentat principiile de bază ale funcționării instalațiilor electrice de aprindere ale motoarelor termice și principalele tipuri constructive ale acestora.

Pentru cazul gazomotocompressoarelor, s-a făcut o descriere a funcționării instalațiilor de aprindere originale, prezentându-se schemele de principiu, modul de funcționare și principalele probleme apărute în exploatare, precum și stadiul actual de uzură fizică și morală al acestora.

S-au studiat și prezentat sistemele de aprindere digitale, moderne destinate gazomotocompressoarelor, prezentându-se avantajele și dezavantajele utilizării acestora la înlocuirea instalațiilor originale aflate în stare de uzură avansată.

S-a stabilit necesitatea concepției unui sistem de aprindere static, flexibil și ușor de exploatat, care să poată înlocui instalațiile originale ale agregatelor.

S-au studiat și prezentat principiile de bază ale descărcării electrice prin scânteie, începând cu Teoria lui Townsend și Legea lui Paschen, în vederea asigurării unei baze de plecare pentru dimensionarea componentelor, precum și a găsirii unor soluții de experimentare a instalațiilor în laborator.

S-a făcut o descriere a fazelor descărcării electrice prin scânteie în vederea stabilirii unor criterii de verificare a performanțelor instalațiilor electrice de aprindere.

S-a conceput și realizat un sistem de aprindere static, modular, cu circuite independente, în construcție antiexplozivă, destinat gazomotocompressoarelor, care utilizează pentru detectarea poziției volantei senzori magnetici cu efect Hall.

S-au elaborat schemele electronice ale circuitelor de aprindere ale sistemului și s-a stabilit structura constructivă și funcțională a modulelor de alimentare și a senzorilor magnetici, în condițiile funcționării acestora în atmosferă potențial explozivă.

S-a calculat energia minimă ce va trebui generată de sistemul electric pentru o aprindere sigură a amestecului carburant în cazul gazomotocompresorului 10GKNA.

Pe baza legii lui Paschen s-a calculat tensiunea minimă necesară pentru străpungerea spațiului disruptiv în interiorul cilindrului motor.

S-au stabilit caracteristicile componentelor electronice utilizate la realizarea sistemului de aprindere.

S-au realizat probe și experimente în laborator și pe mai multe gazomotocompressoare, analizându-se formele de undă ale descărcărilor, comparativ cu cele prezentate în literatura de specialitate. S-a constatat o funcționare corectă și stabilă a sistemului de aprindere conceput și o funcționare a agregatelor mult îmbunătățită.

S-au făcut comparații între rezultatele obținute cu sistemul de aprindere conceput și cele obținute cu cele mai performante sisteme existente pe piață și s-au constatat performanțe apropiate ale acestora, în condițiile în care sistemul conceput are un preț de cost mult mai mic, iar exploatarea sa este deosebită de simplă.

S-au tras concluziile în legătură cu performanțele sistemului conceput și cu posibilitățile de generalizare a acestuia la toate gazomotocompressoarele din rețeaua națională de extracție, transport și înmagazinare a gazelor naturale.

4.11. CONTRIBUȚII ORIGINALE

Primele experimente ale sistemului de aprindere prezentat au fost făcute în anul 1998, pe un agregat de comprimare tip 10GKNA la Stația de Comprimare Grebeniș, județul Mureș.

În 1999 sistemul a fost brevetat sub denumirea de „Sistem de aprindere static pentru gazomotocompressoare” (brevet nr. RO116109/29.07.1999 – titular brevet: Huidan Alecu Sorin).

În același an sistemul a fost omologat în cadrul S.N.G.N. Romgaz Mediaș de către o comisie formată din specialiști ai Centrului de Cercetare și Inginerie Tehnologică pentru Gaz Metan - Mediaș.

În anul 2001 sistemul a fost certificat din punct de vedere al securității la funcționare în mediu cu pericol de explozie de către Institutul Național pentru Securitate Minieră și Protecție Antiexplozivă – Petroșani.

În anul 2002 a fost semnat contractul de licență între titularul brevetului și S.N.G.N. Romgaz S.A. Mediaș, prin care aceasta din urmă obținea dreptul de a implementa 40 de sisteme de aprindere conform brevetului de invenție amintit.

La ora actuală sistemul funcționează pe 20 de agregate de comprimare de tip gazomotocompresor 10GKNA cu rezultate deosebit de bune, urmând ca implementarea sa să fie extinsă pe măsură ce sistemele originale se vor scoate din uz, până la generalizarea soluției cel puțin pentru agregatele de tip 10GKNA.

În Anexa 36a,b se prezintă o copie a brevetului de invenție precum și rezumatul acestuia.

5. CONCLUZII GENERALE

Utilizarea echipamentelor electrice în medii cu pericol de explozie presupune o abordare diferită față de situațiile din medii normale, sub multiple aspecte. În primul rând se pune problema clasificării spațiilor tehnologice din punct de vedere al pericolului de explozie, realizându-se o zonare corespunzătoare. După aceasta se va putea trece la concepția instalațiilor electrice de automatizare, fie prin utilizarea de echipamente electrice certificate pentru aceste zone, fie, atunci când acestea nu există, prin concepția fiecărui echipament în parte și certificarea ulterioară astfel încât utilizarea lor să fie riguros corespunzătoare normelor în vigoare.

În prezent la nivel european se desfășoară un amplu proces de standardizare destinat acestui domeniu tehnic în vederea reducerii nivelului de risc al echipamentelor, făcându-se eforturi mari pentru armonizarea legislațiilor, standardelor și normelor țărilor membre ale uniunii.

Automatizarea proceselor fluidice de câmp, reprezintă un domeniu al automatizărilor industriale care trebuie abordat din perspectiva suprafețelor mari pe care aceste procese se desfășoară și a numărului mare de parametri ce trebuiesc controlați. Atunci când aceste suprafețe conțin și spații tehnologice în care, în desfășurarea normală a proceselor, sau accidental se poate forma atmosferă explozivă, problema devine și mai complicată.

Pe de altă parte pentru a se putea răspunde cerințelor de comunicație și control necesare în cazul proceselor fluidice de câmp, se impune utilizarea sistemelor de automatizare cu logică programată și a sistemelor de achiziție și prelucrare numerică a datelor. Numărul mare de parametri care trebuiesc prelucrați creează dificultăți în menținerea controlului procesului, atunci când se utilizează instrumente de câmp tradiționale (cu semnale analogice). Din aceste motive este de preferat să se încerce implementarea sistemelor de automatizare cu comunicație digitală, acolo unde este posibil, deoarece acestea sunt deosebit de flexibile și se pretează la realizarea controlului distribuit al proceselor. Acolo unde acest lucru nu este posibil, este necesară utilizarea conversiei analog numerice a datelor și prelucrarea lor ulterioară cu ajutorul unor sisteme cu logică programată.

În situația în care se dorește modernizarea unei instalații de control pentru un proces fluidic de câmp existent, care folosește elemente de automatizare ce lucrează în buclă de curent 4-20mA, este foarte utilă introducerea instrumentelor de câmp inteligente cu protocol HART, care păstrează compatibilitatea cu vechiul sistem și conferă un plus de flexibilitate, precizie și stabilitate ridicată, asigurând și posibilități de configurare de la distanță.

La realizarea unui sistem de automatizare complet nou este cel mai indicat să se implementeze echipamente de câmp cu comunicație digitală, precum cele de tip PROFIBUS sau FOUNDATION FIELDBUS, deoarece trecerea prin etapa intermediară a echipamentelor HART devine nerentabilă pe termen lung, datorită tendinței generale de renunțare la semnalele analogice în mediul industrial.

Lucrul cu instrumente de câmp inteligente presupune o abordare diferită a problemelor de automatizare încă din faza de proiectare, deoarece întreaga logică de funcționare a unui sistem de automatizare de acest gen, se transferă în partea de programare și configurare a instrumentelor și a unităților de prelucrare numerică a datelor.

Cantitatea de informație schimbată între instrumentele de câmp inteligente crește spectaculos, comparativ cu cazul celor cu semnal unificat. Se deschide astfel perspectiva unei evidențe computerizate a configurărilor fiecărui echipament precum și posibilități de testare și chiar depanare a sistemului de la distanță, prin rețeaua de comunicație digitală.

Comprimarea gazelor naturale reprezintă unul din cele mai importante sectoare ale industriei gaziere românești, fiind începută încă din anul 1965, iar acest domeniu are perspective de dezvoltare în creștere, pe măsură ce presiunile gazelor din zăcăminte scad, consumurile cresc, precum și datorită apariției necesității de înmagazinare a gazelor naturale.

Din punct de vedere al protecției la explozie comprimarea gazelor naturale reprezintă o activitate care se încadrează în zona atmosferelor potențial explozive mai „blânde”, gazul metan din mediul industrial fiind încadrat în grupa de explozie IIA și clasa de temperatură T2.

Echipamentele de automatizare originale ale agregatelor de comprimare existente în exploatare la această oră, prezintă o uzură fizică și morală deosebit de avansată atât pentru motocompresoare cât și pentru electrocompresoare. Principala problemă legată de utilizarea în continuare a acestor echipamente este siguranța în exploatare a agregatelor și a personalului de deservire, precum și lipsa posibilității de transmitere la distanță și de prelucrare numerică a datelor legate de funcționarea stațiilor de comprimare.

Sistemul centralizat de automatizare și achiziție de date conceput și experimentat, care a fost prezentat în lucrare, rezolvă principalele probleme ale automatizării agregatelor de comprimare utilizate în industria românească a gazului metan cum ar fi:

1. asigurarea unei configurări ușoare a sistemului pentru orice tip de agregat de comprimare gaze naturale și controlul unui număr suficient de mare de parametri pentru fiecare agregat
2. automatizarea locală a agregatelor și transmiterea datelor la dispeceratul local și în rețeaua INTRANET a Romgaz
3. asigurarea posibilității de funcționare a agregatului de comprimare fără supraveghere umană locală
4. asigurarea securității la funcționare în mediu cu pericol de explozie a tabloului local de automatizare prin execuția antiexplozivă a tuturor componentelor acestuia
5. asigurarea posibilității de extensie a sistemului prin mărirea numărului de parametri urmăriți și a numărului de comenzi către elementele de execuție

Concepția unei structuri unitare a sistemului, pe lângă avantajele pe care le are în faza de execuție a acestuia, este utilă și în perioada exploatarei atât pentru echipele de întreținere și reparații care se vor familiariza cu un anumit tipic de lucrări de revizie, indiferent de tipul agregatelor de comprimare, cât și pentru personalul de exploatare al instalațiilor tehnologice care va putea face ușor trecerea de la operarea cu un electrocompresor la operarea cu un gazomotocompresor, interfața om-mașină fiind similară. Acest lucru devine deosebit de util în exploatarea platformelor de comprimare care utilizează mai multe tipuri de agregate de comprimare în același spațiu.

Generalizarea sistemului de automatizare și achiziție de date conceput, pe lângă avantajele tehnice descrise mai sus, ar putea rezolva și problema aprovizionării unitare cu piese de schimb necesare întreținerii sistemului, iar personalul de exploatare și întreținere ar putea fi instruit ușor, indiferent de tipul de agregat exploatat.

Lucrările de montaj pentru un astfel de sistem de automatizare se simplifică mult, deoarece datorită utilizării în mare măsură a logicii programate, cea mai mare parte a efortului de implementare se transferă în munca de programare. În acest mod sistemul va putea fi ușor ținut sub control de un număr redus de specialiști, atât la montaj și punere în funcțiune cât și ulterior la lucrările de întreținere.

Implementarea sistemului la mai multe stații de comprimare, reprezintă primul pas al controlului agregatelor de comprimare în sisteme de tip SCADA, datorită posibilităților de comunicare prin rețeaua INTRANET a Romgaz, la care se racordează consola de operare a tabloului general de dispecerizare a fiecărei stații.

Problema pornirii electrocompresoarelor acționate cu motoare sincrone, reprezintă o parte delicată a procesului de comprimare din stațiile care folosesc acest tip de agregate, datorită puterilor relativ mari ale motoarelor și a riscurilor generate de necesitatea sincronizării vitezei mașinii cu rețeaua de medie tensiune după pornirea în asincron. În acest sens utilizarea modelului ortogonal fizic al mașinii sincrone, la simularea proceselor tranzitorii ce se desfășoară pe perioada pornirii, duce la rezultate spectaculoase legate de optimizarea timpului de pornire al agregatului.

Rezultatele obținute prin simulare și aplicate la elaborarea programelor de automatizare a electrocompresorului, reușesc să asigure o pornire ușoară a mașinii, lucru ce poate fi observat și în cazul înregistrărilor făcute pe mașina reală automatizată.

În cazul motocompresoarelor cea mai delicată problemă legată de funcționarea automată este reglajul turației acestora care nu poate fi realizat prin utilizarea unui tip de regulator uzual, datorită imposibilității de a se găsi relații matematice care să modeleze procesul de reglare.

Folosind experiența acumulată în perioada de exploatare cu reglaj manual al turației, logica fuzzy dă rezultate deosebit de bune chiar dacă se lucrează cu regulatoare tripoziționale și elemente de execuție simple.

Soluția de reglare propusă satisface suficient de bine cerințele de stabilitate ale agregatului, fără a mai fi nevoie de prezența operatorului uman la comanda mașinii.

Sistemul de reglare astfel realizat este perfectibil prin introducerea, la nivelul sistemului de deducție fuzzy implementat, de noi reguli și noi funcții de apartenență, pe măsură ce acestea apar din experiența de exploatare.

Instalațiile electrice de aprindere ale gazomotocompressoarelor existente în industria exploatării gazelor naturale din România, în configurația lor inițială, sunt într-o stare avansată de uzură fizică și morală. Exploatarea agregatelor de comprimare cu astfel de instalații, duce la o funcționare defectuoasă a acestora, generând uzuri pronunțate ale componentelor mecanice ale mașinii și consumuri mari de gaz combustibil, ulei și piese de schimb.

Înlocuirea acestor instalații cu sisteme de aprindere digitale moderne este costisitoare și nu rezolvă problema în totalitate datorită distrugerii frecvente a senzorilor inductivi utilizați și a întreținerii dificile.

Utilizând Teoria lui Townsend și Legea lui Paschen, se pot studia în laborator, în condiții atmosferice normale și cu echipament relativ nepretențios, fenomenele descărcării electrice prin scânteie din interiorul cilindrului motor, prin echivalarea condițiilor de presiune și distanță între electrozi. Rezultatele sunt suficient de bune pentru a putea constitui o bază de plecare în dimensionarea elementelor unui circuit de aprindere nou, conceput pe alte principii.

Sistemul de aprindere static cu senzori magnetici cu efect Hall conceput, reușește să îmbine calitățile sistemelor de aprindere moderne digitale cu simplitatea celor clasice, într-o structură deosebit de flexibilă, ușor de implementat și întreținut pentru orice tip de gazomotocompresor. Construcția modulară și independența circuitelor de aprindere corespunzătoare fiecărui cilindru, favorizează adaptarea ușoară a sistemului la mai multe tipuri de agregate, indiferent de numărul de cilindri, turația și puterea motorului.

Prin generalizarea soluțiilor tehnice prezentate în lucrare și utilizarea rezultatelor cercetărilor experimentale, precum și a studiilor efectuate, considerăm că se poate rezolva problema controlului automat al majorității stațiilor de comprimare din industria gazului metan românesc, fără a mai fi nevoie de înlocuirea în totalitate a agregatelor. Așa cum s-a putut observa, sistemele de control experimentate, reabilitează practic aceste unități de comprimare, aducându-le la nivelul unor procese tehnologice moderne, comparabile cu cele mai performante procese fluidice de câmp automatizate, existente pe plan mondial.

Principalele **contribuții personale** precum și cele **originale**, aduse la realizarea lucrării de față sunt descrise în rândurile care urmează, în ordinea apariției lor pe parcursul celor 5 capitole:

- s-au sintetizat principalele fundamente ale protecției antiexplozive și s-a realizat o clasificare a atmosferelor explozive ușor de urmărit, care este utilă pentru crearea unei imagini de ansamblu asupra domeniului, fără a mai fi nevoie de studierea amănunțită a standardelor și reglementărilor în vigoare
- s-a stabilit modul de abordare a problemelor legate de concepția și utilizarea echipamentelor și instalațiilor electrice destinate mediilor cu pericol de explozie
- s-a realizat o prezentare generală a proceselor fluidice de câmp, specificându-se principalele probleme care se pun la realizarea unui sistem de automatizare și control destinat acestora
- s-au prezentat principiile de bază ale funcționării echipamentelor electrice cu logică programată și ale sistemelor de achiziție și prelucrare numerică a datelor
- s-au prezentat principiile de bază ale funcționării instrumentelor de câmp inteligente
- s-au selectat din literatura de specialitate și s-au prezentat cele mai importante tipuri standardizate sisteme de comunicații de date destinate instrumentației de câmp
- s-a analizat evoluția cronologică a semnalelor de comunicație standardizate pentru instrumentația de câmp, stabilindu-se stadiul actual și perspectivele domeniului

- s-au prezentat principalele tipuri de agregate de comprimare gaze naturale și s-au descris principiile lor constructive și funcționale
- s-a realizat o analiză a stadiului actual al echipamentelor de automatizare din domeniul comprimării gazelor naturale, identificându-se principalele probleme ale instalațiilor originale ale agregatelor
- s-a conceput și implementat un „SISTEM CENTRALIZAT DE AUTOMATIZARE ȘI ACHIZIȚIE DE DATE” (SCAAD) capabil să satisfacă necesitățile de control și comandă pentru toate tipurile de agregate de comprimare din dotarea Romgaz
- s-au stabilit datele de intrare și ieșire ale sistemului pentru două tipuri de agregate de comprimare – electrocompresoare tip C260 și motocompresoare tip 10GKNA – atât pentru partea de tabloul local de automatizare cât și pentru cea de tablou general de dispecerizare
- s-au elaborat schemele electrice pentru întreg SCAAD conceput, atât pentru stații de electrocompresoare cât și pentru motocompresoare
- s-a elaborat ordinograma generală de funcționare a tabloului local de automatizare pentru electrocompresoare, care va putea fi particularizată pentru orice tip de agregat de comprimare
- s-a realizat *optimizarea procesului de pornire a electrocompresoarelor C260*, acționate cu motoare sincrone de 810 kW la 6 kV, prin implementarea modelului ortogonal fizic (MOF) al mașinii sincrone într-un program de simulare realizat în mediul MATLAB Simulink
- s-a conceput, realizat și experimentat un SISTEM DE REGLARE AUTOMATĂ a turației la motocompresoarele de tip 10GKNA, cu regulator dublu-tripozițional și sistem de deducție cu LOGICĂ FUZZY
- s-a conceput și realizat un SISTEM DE APRINDERE STATIC (SAS), modular, cu circuite independente, în construcție antiexplozivă, destinat gazomotocompresoarelor, care utilizează pentru detectarea poziției volantei senzori magnetici cu efect Hall
- pe baza legii lui Paschen s-a calculat tensiunea minimă necesară pentru străpungerea spațiului disruptiv în interiorul cilindrului motor al gazomotocompresorului 10GKNA
- s-au realizat probe și experimente în laborator și pe mai multe gazomotocompresoare, analizându-se formele de undă ale descărcărilor, comparativ cu cele prezentate în literatura de specialitate
- s-au tras concluziile legate de avantajele tehnice aduse și perspectivele de generalizare ale sistemelor concepute și a studiilor efectuate, în contextul actual al cerințelor de dezvoltare a sectorului comprimării gazelor naturale, datorită scăderii continue a resurselor și a necesităților crescute de înmagazinare subterană a acestui tip de combustibil

Primele experimente ale sistemului de aprindere și ale sistemului de automatizare, prezentate, au fost făcute în anul 1998, pe un gazomotocompresor tip 10GKNA la Stația de Comprimare Grebeniș, județul Mureș.

În 1999 instalația de automatizare a fost experimentată pe un electrocompresor tip C260, la Stația de Comprimare Band, județul Mureș și ulterior brevetată sub denumirea de „*Instalație de control și reglare în construcție antiexplozivă pentru agregate de comprimare gaze*” (brevet nr. RO116112/29.07.1999 – titular brevet: Huidan Alecu Sorin).

Sistemul de aprindere static a fost de asemenea brevetat în 1999 sub denumirea de „*Sistem de aprindere static pentru gazomotocompresoare*” (brevet nr. RO116109/29.07.1999 – titular brevet: Huidan Alecu Sorin).

În același an ambele sisteme a fost omologate în cadrul S.N.G.N. Romgaz S.A. de către o comisie formată din specialiști ai Centrului de Cercetare și Inginerie Tehnologică pentru Gaz Metan – Mediaș, iar în anul 2001 sistemele au fost certificate din punct de vedere al securității la funcționare în mediu cu pericol de explozie de către Institutul Național pentru Securitate Minieră și Protecție Antiexplozivă – INSEMEX Petroșani. În Anexa 31a,b și Anexa 36a,b se prezintă copii ale brevetelor de invenție amintite.

La ora actuală sunt implementate și funcționează cu rezultate deosebit de bune în cadrul Romgaz S.A. Mediaș, 41 de instalații de automatizare și 20 de sisteme de aprindere, executate conform celor două invenții și a studiilor și experimentelor prezentate în lucrare.

Bibliografie :

- [1] Albrecht, H., W.H. BOSS, W. Herden, R. Mdy. B. Saggau, and E. Wagner [1977], "New Aspects on Spark Ignition," SAE 770853.
- [2] Altronic Inc. „Ignition –Instrumentation-Control for Gas Engine Compressors” ,Ohio 2000 .
- [3] Altronic Inc., Ignition –Instrumentation-Control for gas engine compressors ,Ohio 2000.
- [4] Andea P., Deleşega I., Sisteme de Protecție și Echipamente Inteligente, Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara 2003
- [5] Ardelean I., Giuroiu H., Petrescu L., Circuite Inegrate CMOS Manual de utilizare , Ed Tehnică, București 1986
- [6] Atmel - Microcontroler Data Book 1998
- [7] Bazelyan, E.M. and Raizer, Yu. P. "Spark Discharge, CRC Press" Boca Raton, 1998
- [8] Boldea I., Transformatoare și Mașini Electrice, Editura Politehnica Timișoara 2002
- [9] CEAG – Catalogue 9 – Explosion Protection Division/ Principles of Explosion Protection – 1997
- [10] Cobine, J.D. [1958], "Gaseous Conductors," Dover, New York.
- [11] Cobine, James Dillon, Gaseous Conductors "Theory and Engineering Applications" Dover Publications New York, 1958
- [12] Deleşega I., Vasilievici A., Echipamente de comandă cu logică programată, Ed. Politehnica Timișoara , 1998
- [13] Directiva 94/9/EC-1994 a CCE (ATEX100a)
- [14] Drăgulescu N. , Ciucă M.: Echipamentul electronic al automobilului . Editura Tehnică , București 1987 .
- [15] FEPA S.A. Bârlad – AUTOMATIZĂRI INDUSTRIALE – Catalog 2000
- [16] Fisher Rosemount Systems - Fieldbus Tehnical Overview – USA 1997
- [17] Gazomotocompresorul 10 GKN - Carte Tehnică 1988
- [18] Gh.Toacse - Introducere in Microprocesoare Ed .St. 1985
- [19] Hans Turck GmbH & Co – Introduction Explosion Protection – 2000.
- [20] Heywood, J.B. "Intenal Combustion Engine Fundamentals" McGraw-Hill Book CO., Inc., U.S.A.
- [21] Huidan A.S. „Controlul automat al funcționării agregatelor din stațiile de comprimare a gazelor naturale” Monitorul de petrol și gaze , Nr. 10 , decembrie 2002 , București .
- [22] Huidan A.S. Controlul Automat al Funcționării Agregatelor din Stațiile de Comprimare a Gazelor Naturale, Revista Monitorul de Petrol Și Gaze nr. 10/ decembrie 2002
- [23] Huidan A.S., Instalație de control și reglare în construcție antiexplozivă pentru agregate de comprimare gaze, Brevet de invenție.: RO 116112 /29.07.1999 , OSIM Bucuresti
- [24] Huidan A.S., Analiza Mijloacelor Tehnice utilizate în prezent pentru Protecția, Controlul și Automatizarea Proceselor în Medii cu Pericol de Explozie – Posibilități de Modernizare a Stațiilor de Comprimare a Gazelor Naturale, Universitatea Politehnica Timișoara, Referat 1 /iunie 2005

- [25] Huidan A.S., Contribuții la Modernizarea și Tipizarea Instalațiilor Electrice de Automatizare și Control prin Implementarea dispozitivelor cu Logică Programată în procesele din Medii cu Pericol de Explozie, Universitatea Politehnica Timișoara, Referat 3 / martie 2006
- [26] Huidan A.S., Probleme Actuale ale Echipamentelor Electrice de Automatizare, și Control al Proceselor din Medii cu Pericol de Explozie, Revista Automatizări și Instrumentație nr. 2/ 2003
- [27] Huidan A.S., Sistem de aprindere static pentru gazomotocompresoare, Brevet de invenție. : RO116109/29.07.1999, OSIM București
- [28] Huidan A.S., Studii și Contribuții la Modernizarea Instalațiilor Electrice de Aprindere pentru Agregate de Comprimare de tip Gazomotocompresor., Universitatea Politehnica Timișoara, Referat 2 / februarie 2006
- [29] ID. 17 – 1986 completat și modificat prin – Normativ pentru proiectarea , executarea, verificarea și recepționarea instalațiilor electrice în zone cu pericol de explozie – Ministerul Industriei Petrochimice, revizuit și completat prin NP099-04
- [30] Ingersoll-Rand . „Instructions for typ TVR gas engine driven compressors” . Huston , Texas U.S.A. 1971.
- [31] INSEMEX Petroșani, Aparatură tehnică pentru medii potențial explozive grupa II, Ed Europrint Oradea 2003
- [32] Integral Proiect SA, Compresorul C260 – Carte Tehnică 1993
- [33] Ionescu G., Popescu S., Aparatură Pentru Automatizări, Ed Didactică și Pedagogică, București 1977
- [34] IPRS Băneasa, Circuite Integrate Logice - Catalog, București 1990
- [35] Kelemen A., Imecs M., Matlac I., Titz G., Mutatoare – Aplicații, Editura Didactică și Pedagogică București 1980
- [36] Kelemen A., Imecs M., Sisteme de Reglare cu Orientare după Câmp ale Mașinilor de Curent Alternativ, Editura Academiei RSR 1989
- [37] Klimstra, J. and F. Overmare [1991], "Monitoring the spark - Plug Gap of Natural-Gas-Fuelled Stationary Engines," SAE 9 1236 1.
- [38] Legea Protecției Muncii nr. 90/1996
- [39] M. Humulescu , D. Iliescu - Aparate electrice antiexplozive și antigrizutoase de joasă tensiune – Editura tehnică 1983
- [40] Maly, R. [1984], "Spark Ignition: Its Physics and Effect on the Internal Combustion Process,"
- [41] MATLAB 6.5.1. Fuzzy Logic Toolbox - Help
- [42] Măgureanu R., Mașini și Acționări Electrice – Tendințe actuale, Editura Tehnică București 1988
- [43] Naidu, M.S. and Kamaraju, V. „High Voltage Engineering” 2nd ed., McGraw Hill, 1995
- [44] Novac I., Micu E., Andreescu E., Codoiu R., Roșu E., Babescu M., Atanasiu Gh., Bivol I., Dudiță Gh., Irhașiu D., Pop I., Mașini și Acționări Electrice, Editura Didactică și Pedagogică București 1982
- [45] Papadache I., Automatizări Industriale – Inițiere - Aplicații, Ed. Tehnică București 1978
- [46] Petrostar SA, Prescripții Tehnice de Zonare a Mediilor cu Pericol de Explozie pentru Toate Tipurile de Instalații și Echipamente din Activitatea de Foraj – Extractie Țiței și Gaze, Ploiești 1994
- [47] Popa A., Controlul Digital al Sistemelor Mecatronice
- [48] Profibus International Support Center – Profibus for Process Automation 1999
- [49] Raport Tehnic CEI 79 – 19 / 1993
- [50] Raport Tehnic CEI 79 – 17 / 1997

- [51] Răduți C., Nicolescu E., Mașini Electrice Rotative Fabricate în România, Editura Tehnică București 1981
- [52] Ron Helson – The HART Protocol – A Solution Enabling Technology – Romilly's HART and Fieldbus Web Site , Copyright Bowden 1997 . Rosemount Measurement
- [53] Siemens AG Automation and Drives – Industrial Communication 2004
- [54] Simescu N., Comprimarea Gazelor Naturale, Ed. Alma Mater, Sibiu 2001
- [55] Standard european EN 50014-1978
- [56] STAS 6877/1...11 – 1986
- [57] STAS 9954/1 – 1974
- [58] Sztojanov I., Borcoci E., Tomescu N., Bulik D., Petrec M., Petrec C., De la Poarta TTL la Microprocesor Vol.1 și Vol 2, Ed. Tehnică, București 1987
- [59] Tocaiuc Gh. „Echipamentul electric al automobilelor” Editura Tehnică , București 1982
- [60] Toma L., Microcontrolere, Ed. Orizonturi Universitare, Timișoara 2001
- [61] Toma L., Sisteme de Achiziție și Prelucrare Numerică a Semnalelor, Ed. de Vest, Timișoara 1997
- [62] Tunsoiu H., Seracin E., Saal C., Acționări Electrice, Editura Didactică și Pedagogică București 1982
- [63] Turc T., Contribuții la Automatizarea Proceselor din Industria de Gaze, Teza de doctorat, Cuj 2005
- [64] Turc T., Brevet de invenție nr:11863 “Sistem pentru automatizarea și monitorizarea proceselor industriale”-2003
- [65] Vajda Gyorgy „A szigatelesek romlasa es romlasuk vizsgalata”
- [66] Vasilevici A. Huidan A.S., Program de Control, Protecție și Automatizare a unui Compresor de Gaze Naturale cu Acționare Electrică, Buletin Științific al Universității Politehnica din Timișoara, Timișoara 2005
- [67] Vasilevici A., Andea P., Aparate și echipamente electrice, Ed. Orizonturi Universitare , Timișoara 2000.
- [68] Vasilevici A., Bălașiu F., Gal S., Făgărășan T., Implementarea Echipamentelor Digitale de Protecție și Comandă pentru Rețele Electrice, Ed. Tehnică, București 2000
- [69] Vasilevici A., Huidan A.S., Sistem Centralizat de Automatizare și Achiziție de Date pentru Agregate de Comprimare Gaze Naturale, CIE Oradea 2006
- [70] Vasilevici A., Huidan A.S., Studii și Experimente asupra Descărcărilor Electrice prin Scântei în cazul Sistemelor de Aprindere pentru Gazomotocompressoare, CIE Oradea 2006
- [71] Vasilevici A., Huidan A.S., Automatizarea și Controlul Proceselor Fluidice de Câmp – Tendințe Actuale, Analele Universității din Oradea, Ed. Universității din Oradea, Oradea 2003
- [72] Vasilevici A., Huidan A.S., Improved Performance of Automatic Control of the Aggregates in Natural Gas Compressor Stations, Proceedings of the 9th International Conference on Optimiation of Electrical and Electronic Equipments, Brașov 2004
- [73] Vintilă Chioreanu „ Materiale electrotehnice” IPTVT Timișoara 1982
- [74] Yongping Han. SPARK PLUG BASED DIAGNOSTICS FOR FUEL-AIR RATIO DETERMINATION. A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Applied Science Graduate Depamnent of Mechanical & Industrial Engineering University of Toronto



MEMORIU DE ACTIVITATE

Mă numesc Huidan Alecu-Sorin, sunt născut în data de 29.08.1965, în localitatea Sărmașu, județul Mureș, domiciliat în localitatea Târgu Mureș și sunt absolvent al Liceului de Matematică și Fizică nr. 1 din Cluj-Napoca, promoția 1983 și al Facultății de Electrotehnică din Timișoara, secția Electrotehnică, specializarea Aparate Electrice, promoția 1989.

În 1989, după terminarea facultății, am fost repartizat la întreprinderea „6Martie” din localitatea Zărnești, jud. Brașov unde, fiind încadrat ca inginer stagiar la Secția Mecano-Energetică, m-am ocupat de întreținerea și repararea instalațiilor de comandă și automatizare, a utilajelor de prelucrări mecanice, precum și de sistemele de supraveghere video existente în unitate.

În 1991 m-am transferat la Centrul Teritorial de Calcul din Drobeta Turnu-Severin unde am făcut parte din echipa de service pe parte de hard, pentru calculatoarele FELIX C256, FELIX C512 și FELIX5000.

În anul 1994, m-am stabilit în Târgu Mureș, transferându-mă la actuala S.N.G.N. Romgaz – Sucursala Târgu Mureș, pe atunci S.P.G.N. Târgu Mureș. Aici m-am ocupat în mod special de întreținerea instalațiilor de automatizare ale agregatelor de comprimare a gazului natural, lucrând cu aparatură electrică pentru medii cu pericol de explozie.

Am fost încadrat inițial la una din cele 9 stații de compresoare ale sucursalei și anume Stația de Comprimare Mureș, ca inginer de întreținere.

Până în 1995 am studiat instalațiile de automatizare originale ale electrocompresoarelor din stația în care eram încadrat, familiarizându-mă cu acestea și cu instalațiile tehnologice pe care le deserveau.

În anul 1996, am fost transferat la Secția de Comprimare a societății, unde am ocupat funcția de coordonator al grupei „Măsurări Electrice”, având ca obiect de activitate întreținerea instalațiilor electrice de măsurare și control al parametrilor de funcționare la agregatele de comprimare gaze din cele 9 stații.

În paralel cu activitatea de întreținere, revizii și reparații la instalațiile menționate, am absolvit, în interes de serviciu, următoarele cursuri de specializare:

- *un curs de specializare de 5 zile, în domeniul aparaturii electrice pentru medii cu pericol de explozie, la INSEMEX Petroșani, obținând un certificat de atestare pentru activitățile de montaj, operare, întreținere, reparații, proiectare și control în domeniul amintit (1996)*
- *un curs de specializare de 6 zile în Germania, la firma WINTER GAS-WARNANLAGEN, pentru instalații de detecție și control al atmosferei explozive de tip GMS 8 (1996)*
- *un curs de specializare de 6 zile în Anglia, la firma Druck, în domeniul aparaturii de calibrare pentru traductoare electronice de presiune și temperatură (2000)*
- *un curs de specializare de 6 zile în Canada, la firma Barton, în domeniul debitmetrelor electronice pentru gaze de tip Scanner 1140 (2002)*
- *un curs de specializare de 6 zile în Germania, la firma Endress+Hauser, în domeniul traductoarelor SMART de presiune, temperatură, debit, nivel și a instrumentației de câmp cu comunicație digitală (2004)*
- *un curs de specializare de 6 zile în Germania, la firma Seba Dynatronic, în domeniul încercări cu tensiune mărită și defectoscopie cabluri (2005)*

Începând cu anul 1997 am efectuat unele studii și experimente legate de automatizarea și modernizarea agregatelor de comprimare gaze naturale din cadrul Romgaz. În urma acestei activități am obținut soluții tehnice noi care s-au concretizat prin execuția unor instalații prototip, ulterior omologate și extinse la mai multe agregate.

O parte din soluții au fost publicate în reviste de specialitate și prezentate la diverse simpozioane și întâlniri cu specialiști din domeniu, iar pentru două dintre acestea am obținut brevete de invenție după cum urmează :

- Brevet nr. RO116109/29.07.1999 – Sistem de aprindere static pentru gazomotocompressoare
- Brevet nr. RO116112/29.07.1999 – Instalație de control și reglare în construcție antiexplozivă pentru agregate de comprimare gaze

În perioada 1999-2006 am executat proiecte și am coordonat lucrările de execuție și montaj ale instalațiilor menționate pentru 8 stații de comprimare din cadrul Romgaz, iar în prezent mă ocup de întreținerea acestora în paralel cu extinderea soluțiilor.

Din anul 2002 sunt înscris la doctorat la Universitatea „Politehnica” din Timișoara în domeniul Inginerie Electrică, avându-l ca și conducător științific pe Domnul Profesor Doctor Inginer Alexandru Vasilievici. Titlul tezei de doctorat este „Echipamente electrice de automatizare și control în medii cu pericol de explozie”.

Am publicat și prezentat peste 10 lucrări de specialitate la sesiuni de comunicări și simpozioane naționale, cu participare internațională, sau internaționale.

În prezent, dețin funcția de Coordonator pentru activități de automatizări și Adjunct șef Secție Mentenanță în cadrul S.N.G.N.Romgaz. Sucursala TTM Târgu Mureș. Pe lângă activitatea de conducere mă ocup de perfecționarea și generalizarea instalațiilor menționate mai sus, având de asemenea preocupări, pentru găsirea unor soluții de automatizare a funcționării grupurilor de sonde de extracție a gazelor naturale.

Huidan Alecu - Sorin

Data : 04.09.2006.

CUPRINS

| | |
|---|-----------|
| 1. APARATURĂ TEHNICĂ PENTRU MEDII CU PERICOL DE EXPLOZIE..... | 1 |
| 1.1. INTRODUCERE..... | 1 |
| 1.2. CONDIȚII EXISTENTE ÎN ROMÂNIA..... | 1 |
| 1.3. ATMOSFERA EXPLOZIVĂ..... | 2 |
| 1.4. CLASIFICAREA ATMOSFERELOR EXPLOZIVE ȘI A ECHIPAMENTELOR ELECTRICE DESTINATE LOR..... | 3 |
| 1.5. ZONAREA SPAȚIILOR INDUSTRIALE CU PERICOL DE EXPLOZIE..... | 4 |
| 1.6. PROTECȚIA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE ÎN MEDII CU PERICOL DE EXPLOZIE - TIPURI DE PROTECȚIE..... | 5 |
| 1.6.1. Echipamente electrice destinate mediilor potențial explozive..... | 5 |
| 1.6.2. Tipuri de protecție..... | 6 |
| 1.6.3. Clasificarea tipurilor de protecție în funcție de relația permisă între sursa de aprindere și atmosfera explozivă..... | 7 |
| 1.6.4. Relația tip de protecție - indicele zonei..... | 8 |
| 1.6.5. Relația tip de protecție - rol funcțional..... | 8 |
| 1.6.6. Gradul normal de protecție..... | 8 |
| 1.6.7. Categoriile ATEX..... | 9 |
| 1.6.8. Marcarea echipamentelor electrice destinate mediilor cu pericol de explozie..... | 10 |
| 1.6.9. Echipamente cu protecție la explozie asociate..... | 11 |
| 1.7. CONCLUZII..... | 12 |
| 1.8. CONTRIBUȚII PERSONALE..... | 13 |
| 2. AUTOMATIZAREA ȘI CONTROLUL PROCESELOR FLUIDICE DE CÂMP..... | 14 |
| 2.1. AUTOMATIZAREA PROCESELOR INDUSTRIALE..... | 14 |
| 2.1.1. Măsurarea..... | 14 |
| 2.1.2. Semnalizarea..... | 14 |
| 2.1.3. Comanda..... | 14 |
| 2.1.4. Reglarea..... | 14 |
| 2.1.5. Controlul..... | 14 |
| 2.1.6. Protecția..... | 15 |
| 2.2. PROCESE FLUIDICE DE CÂMP..... | 15 |
| 2.3. ECHIPAMENTE DE CONTROL ȘI COMANDĂ CU LOGICĂ PROGRAMATĂ..... | 16 |
| 2.3.1. Structura unui echipament electric cu logică programată :..... | 17 |
| 2.4. SISTEME DE ACHIZIȚIE ȘI PRELUCRARE NUMERICĂ A DATELOR..... | 18 |
| 2.4.1. Convertoare numeric analogice..... | 20 |
| 2.4.2. Convertoare analog numerice..... | 24 |
| 2.5. SEMNALE ANALOGICE TIPIZATE..... | 28 |
| 2.6. INSTRUMENTE DE CÂMP INTELIGENTE. COMUNICAȚII DIGITALE INDUSTRIALE..... | 29 |
| 2.6.1. Protocolul de comunicație HART..... | 29 |
| 2.6.2. Sisteme standardizate de comunicație digitală pentru instrumentația de câmp..... | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 2.6.3. Evoluția semnalelor de comunicare standardizate pentru instrumentația de câmp..... | 33 |
| 2.7. CONCLUZII..... | 34 |
| 2.8. CONTRIBUȚII PERSONALE | 35 |
| 3. CONTRIBUȚII LA AUTOMATIZAREA PROCESULUI DE COMPRIMARE A GAZELOR NATURALE | 36 |
| 3.1. COMPRIMAREA GAZELOR NATURALE..... | 36 |
| 3.2. PROBLEME DE ZONARE A SPAȚIILOR TEHNOLOGICE DIN STAȚIILE DE COMPRIMARE A GAZELOR NATURALE | 38 |
| 3.3. DEFICIENȚE ALE INSTALAȚIILOR DE AUTOMATIZARE DIN STAȚIILE DE COMPRIMARE ÎN CONFIGURAȚIA LOR ÎNȚIALĂ. MODALITATE DE REZOLVARE..... | 39 |
| 3.4. PREZENTARE GENERALĂ A SISTEMULUI CENTRALIZAT DE AUTOMATIZARE ȘI ACHIZIȚIE DE DATE CONCEPT | 40 |
| 3.4.1. Senzori și traductoare | 40 |
| 3.4.2. Tabloul local de automatizare a agregatului,..... | 40 |
| 3.4.3. Tabloul general al stației..... | 41 |
| 3.5. ELABORAREA STRUCTURII ȘI A REGULILOR DE FUNCȚIONARE A SISTEMULUI CENTRALIZAT DE AUTOMATIZARE ȘI ACHIZIȚIE DE DATE CONCEPT | 42 |
| 3.5.1. Date inițiale | 42 |
| 3.5.2. Stabilirea parametrilor de funcționare ce trebuie achiziționați în cazul electrocompresoarelor de tip C260. Selectarea traductoarelor de măsură necesare | 43 |
| 3.5.3. Stabilirea parametrilor de funcționare ce trebuie achiziționați în cazul motocompresoarelor 10GKNA. Selectarea traductoarelor de măsură necesare | 47 |
| 3.5.4. Stabilirea intrărilor digitale ale controlerului de mașină pentru cazul electrocompresoarelor tip C260..... | 47 |
| 3.5.5. Stabilirea intrărilor digitale ale controlerului de mașină pentru cazul gazomotocompresoarelor de tip 10GKNA..... | 48 |
| 3.5.6. Stabilirea ieșirilor digitale ale controlerului de mașină pentru cazul electrocompresoarelor C260 | 49 |
| 3.5.7. Stabilirea ieșirilor digitale ale controlerului de mașină pentru cazul motocompresoarelor 10GKNA..... | 50 |
| 3.5.8. Stabilirea semnalizărilor optice la consola de operare locală pentru cazul electrocompresoarelor C260..... | 50 |
| 3.5.9. Stabilirea semnalizărilor optice la consola de operare locală pentru cazul motocompresoarelor 10 G KNA | 51 |
| 3.5.10. Alegerea structurii informaționale a controlerului de mașină | 51 |
| 3.5.11. Structura constructivă a controlerului de mașină | 53 |
| 3.5.12. Structura constructivă a consolei de operare locale | 54 |
| 3.5.12. Structura constructivă a tabloului local de automatizare..... | 55 |
| 3.5.13. Structura constructivă a tabloului general de dispecerizare a unei stații de comprimare..... | 57 |
| 3.5.14. Elaborarea schemelor electrice pentru tabloul local de automatizare..... | 58 |
| 3.5.15. Elaborarea schemelor electrice pentru tabloul general de dispecerizare..... | 58 |
| 3.5.16. Elaborarea programelor de automatizare a agregatelor de comprimare | 59 |
| 3.6. OPTIMIZAREA PROCESULUI DE PORNIRE A AGREGATELOR DE COMPRIMARE DE TIP ELECTROCOMPRESOR | 61 |
| 3.6.1. Probleme legate de pornirea electrocompresoarelor..... | 61 |
| 3.6.2. Caracteristici tehnice ale motorului de acționare pentru electrocompresorul C260..... | 64 |
| 3.6.3. Modelul ortogonal fizic al unei mașini electrice (MOF)..... | 65 |
| 3.6.4. Descrierea programului de simulare a pornirii electrocompresorului | 71 |
| 3.6.5. Rezultate obținute prin simularea pornirii electrocompresorului | 80 |
| 3.7. ÎMBUNĂȚĂȚIREA REGLAJULUI AUTOMAT AL TURAȚIEI MOTOCOMPRESOARELOR PRIN UTILIZAREA LOGICII FUZZY | 83 |
| 3.7.1. Considerații generale | 83 |
| 3.7.2 Caracteristici tehnice și probleme ale reglajului turației la gazomotocompresoarele 10GKNA..... | 91 |
| 3.7.2. Concepția și implementarea unui sistem de reglare automată a turației la gazomotocompresoarele 10GKNA utilizând logica fuzzy..... | 92 |
| 3.7.3. Rezultate obținute experimental cu sistemul de reglare propus | 101 |

| | |
|---|------------|
| 3.8. CONCLUZII..... | 102 |
| 3.9. CONTRIBUȚII PERSONALE | 104 |
| 3.10. CONTRIBUȚII ORIGINALE | 105 |
| 4. STUDII ȘI CONTRIBUȚII LA MODERNIZAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE DE APRINDERE PENTRU AGREGATE DE COMPRIMARE DE TIP GAZOMOTOCOMPRESOR | 107 |
| 4.1. INSTALAȚII ELECTRICE DE APRINDERE PENTRU MOTOARE TERMICE | 107 |
| 4.2. INSTALAȚII ELECTRICE DE APRINDERE PENTRU GAZOMOTOCOMPRESOARE | 109 |
| 4.3. STRĂPUNGerea SPAȚIULUI DISRUPTIV | 114 |
| 4.4. TEORIA LUI TOWNSEND ȘI PROCESELE DE DESCĂRCARE ELECTRICĂ PRIN SCÂNTEIE | 115 |
| 4.5. LEGEA LUI PASCHEN..... | 116 |
| 4.6. FAZELE DESCĂRCĂRII ELECTRICE PRIN SCÂNTEIE | 118 |
| 4.7. CONCEȚIA ȘI REALIZAREA UNUI SISTEM DE APRINDERE STATIC DESTINAT GAZOMOTOCOMPRESOARELOR | 120 |
| 4.7.1. Date inițiale | 120 |
| 4.7.2. Scheme electronice și principii de funcționare ale circuitelor de aprindere | 122 |
| 4.7.3. Dimensionarea elementelor de circuit ale sistemului de aprindere static..... | 124 |
| 4.7.4. Proiectarea constructivă a sistemului de aprindere static pentru gazomotocompresoare..... | 129 |
| 4.8. TESTAREA SISTEMULUI DE APRINDERE STATIC | 135 |
| 4.8.1. Experimente în laborator..... | 135 |
| 4.8.2. Experimente pe un gazomotocompresor 10GKNA | 139 |
| 4.8.3. Comparații cu alte sisteme de aprindere..... | 141 |
| 4.9. CONCLUZII..... | 145 |
| 4.10. CONTRIBUȚII PERSONALE | 146 |
| 4.11. CONTRIBUȚII ORIGINALE | 147 |
| 5. CONCLUZII GENERALE | 148 |
| BIBLIOGRAFIE :..... | 152 |
| MEMORIU DE ACTIVITATE | 155 |
| CUPRINS | 157 |

LISTA ANEXELOR

- ANEXA 1: Tipuri de protecție standardizate la nivel european și principiile lor constructive
- ANEXA 2: Corespondența dintre tipurile de protecție și indicele zonei cu pericol de explozie
- ANEXA 3: Corelația dintre diferitele tipuri de protecție și rolul funcțional al echipamentului protejat la care acesta se aplică
- ANEXA 4: Clasificarea gradelor de protecție în acord cu standardul european EN 60529 . Semnificația primei cifre din codul IP xy
- ANEXA 5: Clasificarea gradelor de protecție în acord cu standardul european EN 60529 . Semnificația celei de-a doua cifră din codul IP xy
- ANEXA 6a: Schema bloc a sistemului centralizat de automatizare și de achiziție date pentru electrocompresorul C260
- ANEXA 6b: Schema bloc a sistemului centralizat de automatizare și de achiziție date pentru gazomotocompresorul 10GKNA
- ANEXA 7: Lista parametrilor cu variație continuă ce trebuie achiziționați și prelucrați de către tabloul local al unui electrocompresor tip C260
- ANEXA 8: Lista parametrilor cu variație continuă ce trebuie achiziționați și prelucrați de către tabloul general al unei stații de electrocompresoare tip C260
- ANEXA 9: Lista parametrilor cu variație continuă ce trebuie achiziționați și prelucrați de către tabloul local de automatizare al unui gazomotocompresor de tip 10GKNA
- ANEXA 10: Lista parametrilor cu variație continuă ce trebuie achiziționați și prelucrați de către tabloul general al unei stații echipate cu gazomotocompresoare de tip 10GKNA
- ANEXA 11: Lista semnalelor digitale de intrare pentru cazul electrocompresoarelor C260
- ANEXA 12: Lista semnalelor digitale de intrare pentru cazul gazomotocompresorul 10GKNA
- ANEXA 13: Lista semnalelor digitale de ieșire pentru cazul electrocompresoarelor C260
- ANEXA 14: Lista semnalelor digitale de ieșire pentru cazul gazomotocompresoarelor 10GKNA
- ANEXA 15: Lista semnalizărilor optice la consola de operare locală în cazul electrocompresoarelor tip C260
- ANEXA 16: Lista semnalizărilor optice la consola de operare locală în cazul gazomotocompresor 10GKNA
- ANEXA 17: Structura constructivă și funcțională a tabloului local de automatizare în construcție antiexplozivă pentru agregate de comprimare gaze
- ANEXA 18: Tablou local de automatizare pentru agregate de comprimare gaze instalat pe un electrocompresor tip C260
- ANEXA 19: Tablou local de automatizare pentru agregate de comprimare gaze instalat pe un gazomotocompresor tip 10GKNA
- ANEXA 20: Tabloul general de dispecerizare conceput pentru controlul unei stații de electrocompresoare cu două hale a câte 6 agregate tip C260
- ANEXA 21: Schema electrică a tabloului local de automatizare pentru electrocompresoare C260

- ANEXA 22 Schema electrică a tabloului local de automatizare pentru motocompresoare 10GKNA
- ANEXA 23 Schema de cablaj a tabloului local pentru electrocompresoare
- ANEXA 24a...k Schema electrică a tabloului general
- ANEXA 25 Ordinograma generală a controlerului de mașină pentru electrocompresorul C260
- ANEXA 26 Exemplu de program scris după ordinograma din Anexa 25 în limbaj de asamblare pentru controlerul de mașină realizat cu un SPN bazat pe microcontrolerul AT89C52
- ANEXA 27 Schema electrică a modului de comandă cu contactoare și relee din componența tabloului local de automatizare
- ANEXA 28 Montajul și conexiunile modului de comandă cu contactoare și relee din componența tabloului local de automatizare
- ANEXA 29 Montajul și conexiunile controlerului de mașină din componența tabloului local de automatizare
- ANEXA 30 Cutia de conexiuni ale traductoarelor din componența tabloului local de automatizare
- ANEXA 31a Brevet de invenție RO116112
- ANEXA 31b Rezumat brevet RO116112/29.07.1999
- ANEXA32 Structura sistemului de aprindere static pentru gazomotocompresoare
- ANEXA 33 Ansamblu bobină-fișă-bujie, executat în construcție antiexplozivă pentru sistemul de aprindere static
- ANEXA 34 Schița suportului de senzori pentru sistemul de aprindere static
- ANEXA 35 Forma constructivă și dimensiunile magnetului permanent destinat excitării senzorilor magnetici pentru sistemul de aprindere static
- ANEXA 36a Brevet de invenție RO116109
- ANEXA 36b Rezumat brevet RO116109/29.07.1999