

ing. MARIANA EFTIMIE

**CONTRIBUȚII PRIVIND OPTIMIZAREA
CARACTERISTICILOR DE CALITATE A
SISTEMELOR
ENERGORECUPERATIVE**

Conducător științific:
Prof. univ. dr. ing. IOAN NICOARĂ

UNIV. "POLITEHNICA" TIMIȘOARA BIBLIOTECA CENTRALĂ Nr. volum <u>648.358</u> Dulap <u>369</u> Lit. <u>E</u>

2006

CUPRINS

1. INTRODUCERE	3
2. CONSIDERATII PRIVIND TESTAREA TRANSMISIILOR CU ANGRENAJE	11
2.1. Generalități	12
2.2. Standuri pentru testarea angrenajelor	12
2.2.1. Traseul proiectare-simulare-testare. Metode de încercare a angrenajelor	12
2.2.2. Standuri cu flux energetic deschis	18
2.2.3. Standuri cu flux energetic închis	24
2.3. Caracteristici specifice standurilor energorecuperative	38
2.4. Concluzii și contribuții originale	49
3. PRINCIPII ȘI ALGORITMI DE OPTIMIZARE CONSTRUCTIV-FUNCTIONALA ȘI ENERGETICA A STANDURILOR DE TESTARE ÎN CIRCUIT ÎNCHIS A TRANSMISIILOR PRIN ANGRENAJE	53
3.1. Particularități constructiv-funcționale și algoritmi de optimizare.....	54
3.2. Program automat pentru analiza energetică a circuitului mecanic închis	59
3.3. Concluzii și contribuții originale	61
4. MODELAREA ȘI SIMULAREA CIRCUITELOR ENERGORECUPERATIVE DE TESTARE A TRANSMISIILOR PRIN ANGRENAJE. OPTIMIZAREA NUMERICA A PARAMETRILOR ENERGETICI SPECIFICI	64
4.1. Modelarea și simularea unui stand energorecuperativ cu o singură buclă. Crearea bazei de date preliminară	65
4.2. Selectarea soluției optime de conectare a sursei de energie exterioară prin metode multicriteriale	100
4.2.1. Fundamente matematice. Algoritmi specifici.....	100
4.2.2. Aplicarea metodei Electre pentru optimizarea standurilor energorecuperative	103
4.3. Minimizarea variației încărcărilor relative pentru poziția optimă a sursei de energie exterioară	114
4.4. Concluzii și contribuții originale	118
5. STUDIU PRIVIND NUMARUL OPTIM DE TRANSMISII ÎNCERCATE INCLUSE INTR-O BUCLA ENERGETICA	122
5.1. Principii generale și criterii de apreciere	123
5.2. Analiza comparativă a performanțelor standului în scopul optimizării numărului de perechi de transmisii încercate simultan	125
5.3. Concluzii și contribuții originale	140
6. CONCLUZII FINALE SI CONTRIBUTII ORIGINALE	142
BIBLIOGRAFIE	150
ANEXA	159



1 . Introdurre

Utilizarea transmisiilor cu angrenaje înregistrează o îndelungată istorie, care a permis dezvoltarea unei bogate activități de cercetare și a condus la metode de proiectare standardizate și tehnologii de execuție devenite tradiționale. Pe măsură ce științele fundamentale au pus la dispoziție cunoștințe tot mai profunde și rafinate, respectiv algoritmi mai performanți de optimizare, proiectarea în domeniul transmisiilor prin roți dințate a evoluat prin integrarea, în metodele de calcul, a unui număr tot mai mare de elemente de influență (materiale, geometrie, abateri dimensionale și de formă, tratamente termice, factori cinematici, energetici, dinamici etc.). Modelarea și simularea automată permit, în prezent, previzionarea comportării – din toate punctele de vedere a unei transmisii – în timpul funcționării.

Această etapă – a modelării și simulării – este apanajul ultimelor două, trei decenii și s-a interpus între fazele tradiționale de proiectare-testare pe standuri de încercare. Deși cu virtuți necontestabile, modelarea-simularea funcționării pentru orice sistem nu poate elimina faza testării “in vivo”, ci poate, cel mult fi asimilată unei probe “in vitro”.

Testarea, cu conținutul său foarte cuprinzător – control dimensional, al formei, al parametrilor cinematici, dinamici, de fiabilitate și mentenanță – răspunde obiectivului țintă al managementului oricărei activități: calitatea, respectiv raportul preț/calitate.

Și în domeniul transmisiilor mecanice, proba finală a calității – indiferent de previziunile teoretice premergătoare – este necesar a fi confirmată pe standul de încercare.

Standardizarea poate fi privită ca o garanție a validității unor metode, algoritmi sau performanțe și ca un acord la nivel multinațional asupra acestora, dar se constată că normativele se rezumă la faza proiectării constructive și tehnologice. În ceea ce privește structura standurilor și metodele de încercare nu există referințe larg acceptate, ceea ce indică faptul că cercetarea relativ la testare încă nu este încheiată și deschide spațiu de studiu încă neexplorat.

Prezenta teză de doctorat își propune ca principal obiectiv stabilirea

posibilităților de optimizare a performanțelor standurilor de testare a transmisiilor mecanice cu angrenaje.

Angrenajele, ocupând un procent de peste 60% din transmisiile mecanice, în principiu, se regăsesc într-un registru extrem de larg cu privire la materiale, forme constructive, tehnologii de fabricație, scheme cinematice, parametri energetici etc.

Toate aceste particularități trebuie luate în considerare la conceperea, respectiv realizarea unor standuri destinate încercării sau rodării acestora.

Literatura, chiar cea modernă, consemnează deopotrivă atât standurile de încercare cu flux energetic deschis, cât și standuri cu flux energetic închis.

Standurile cu flux energetic deschis sunt doar aparent mai simple, pentru că, de fapt, sunt mari consumatoare de energie, au o fiabilitate redusă, datorită utilizării intensive a disipatoarelor de energie, de regulă, frâne. Acestea sunt marcate de uzare intensă și rapidă, care nu mențin constantă încărcarea.

Standurile cu circuit închis elimină dezavantajele de mai sus și, în plus, pe lângă controlul efectiv comod al parametrilor energo-cinematici, se pretează la probe de duranță, care permit atât stabilirea parametrilor de fiabilitate ai subansamblului testat, cât și rodarea acestuia.

Oferta internațională săracă, precum și referințele bibliografice rare și inconsistente relativ la standurile de testare cu circuit închis au constituit un impuls suplimentar în cercetarea căreia i se dă curs în teză.

În plus, prezenta lucrare își propune să continue o frumoasă și îndelungată tradiție în cercetarea din domeniul roților dințate la Facultatea de Mecanică din Timișoara.

În laboratorul de Organe de mașini și mecanisme al acestei facultăți s-au desfășurat experimente, de-a lungul a mai multor decenii, pe standuri de încercat transmisii cu angrenaje, experimente la care au colaborat nume valoroase de profesori care au funcționat sau încă mai activează în cadrul catedrei: prof. B. Horowitz, prof. Fr. Kovacs, prof. N. Gheorghiu, prof. D. Perju, prof. M. Balekics, prof. A. Pommersheim.

Acestora li se alătură și dl prof. dr. ing. Ioan Nicoară, conducătorul științific al acestei teze, autor a numeroase standuri și tehnici experimentale cu

echipamente de încercare automata, inițiator al unor cercetări de mare profunzime, cu rezultate deosebite comunicate în literatura de specialitate din țară sau străinătate.

Se menționează, în continuare, câteva dintre direcțiile de cercetare și rezultatele colectivului catedrei de Organe de mașini de la Facultatea de Mecanică din Timișoara:

- ◆ Elucidarea unor aspecte fenomenologice privind:
 - pittingul: - cauze
 - evoluție
 - limite de rezistență prin testul COMT-B
 - influența solicitărilor de încovoiere a dinților, a erorii de paralelism și a erorii pasului de bază asupra rezistenței la contact a roților dințate cilindrice cu dinți drepecți, din oțel;
 - griparea: - tribologie
 - evoluție
 - posibilități practice de evitare;
 - ruperea dinților la bază, în principal pentru roți dințate din materiale nemetalice.
 - ◆ Contribuții privind geometria, cinematica, cinetostatica și dinamica roților dințate cilindrice cu dinți drepecți din oțel
 - ◆ Dezvoltarea metodelor de calcul a roților dințate cilindrice – criterii de optimizare
 - ◆ Cercetări privind influența diferitelor tipuri de erori asupra capacității portante a angrenajelor
 - ◆ Aplicarea în premieră, a metodei sarcinii progresive în cercetarea experimentală a roților dințate
 - ◆ Crearea unei baze tehnice performante pentru cercetarea experimentală a angrenajelor
 - ◆ Studii tribologice privind ungerea elastohidrodinamică a flancurilor
 - ◆ Analiza, sinteza, realizarea și experimentarea unor noi tipuri eficiente
-

de cuplaje torsionale

◆ Elaborarea unor metode originale de măsurare continuă a momentelor de răsucire la standurile de încercare

Cercetările au cuprins atât studii fundamentale cât și experimente de anvergură organizate pe baza unor standuri de testare de concepție originală, în special standuri cu circuit energetic închis.

Prezenta teză, ca o continuare a eforturilor de cercetare tradiționale la Universitatea "Politehnica" din Timișoara, își propune să contribuie la optimizarea calității și fiabilității standurilor de testare în circuit închis.

Obiectivele concrete ale tezei pot fi formulate prin următoarele probleme de rezolvat:

- *stabilirea parametrilor energetici și de încărcare ai standurilor cu circuit închis în scopul declarării și implementării unor criterii de optimizare*
- *optimizarea constructiv-funcțională și energetică a standurilor energorecuperative pe baza unui algoritm care să vizeze stabilirea poziției optime de conectare a sursei de energie în circuit și egalizarea încărcării reversibile*
- *aplicarea unor metode de optimizare bazate, în principal, pe criterii energetice caracteristice, prin metode matematice avansate, dezvoltate prin softuri specializate și originale.*

Conținutul lucrării, pe capitole, poate fi rezumat după cum urmează:

- În primul capitol, *Introducere*, este prezentat contextul general în care se încadrează subiectul tezei și sunt formulate obiectivele acesteia. Este motivată utilitatea temei propuse și se evidențiază îndelungata tradiție de cercetare în domeniul transmisiilor mecanice la Facultatea de Mecanică din Timișoara, prin interesul și efortul colectivului Catedrei de Organe de mașini
 - În capitolul al doilea, *Considerații privind testarea transmisiilor cu angrenaje*, este evidențiată localizarea și importanța testării în lanțul proiectare-modelare-simulare-încercare. Sunt descrise comparativ standurile de testare cu flux energetic deschis, respectiv închis, cu evidențierea avantajelor celor din urmă. Se prezintă, prin exemple
-

ilustrate prin imagini și tabele de parametri caracteristici, un studiu de piață al ofertei de standuri pentru testarea transmisiilor cu angrenaje. Este subliniată prezența standurilor cu flux energetic închis în laboratoarele de cercetare, care, prin definiție, reclamă precizie și rafinament mai ridicate ale experimentelor și se prezintă pe larg direcțiile de cercetare și metodele utilizate de unul dintre cele mai prestigioase centre de profil din lume: institutul FZG München.

Într-un paragraf separat sunt definiți parametri energetici caracteristici standurilor energorecuperative, printre care: pierderile de putere, pierderile de putere relative, variația momentului motor la schimbarea sensului, coeficientul de pierderi, diferența maximă de încărcare pe același tronson oarecare, variația încărcării relative, coeficientul încărcării reversibile la sursă și în pol și randamentul total.

- Capitolul al treilea, *Principii și algoritmi de optimizare constructiv-funcțională și energetică a standurilor de testare în circuit închis a transmisiilor prin angrenaje*, prezintă o schemă cu caracter de generalitate a standurilor de testare cu o singură buclă, evidențiază punctele de transformare energo-cinematică din schemă și definește caracteristicile energetice ale standului. Dintre acestea, se selectează o serie de parametri care urmează să fie utilizați drept criterii de optimizare. Sunt stabilite etapele de desfășurare a algoritmului de optimizare propus:
 - plasarea optimă în schema cinematică a sursei exterioare de energie în raport cu cuplajul torsiometric
 - minimizarea variației încărcărilor relative în acționare reversibilă

În partea a doua a capitolului este descris un program original conceput în limbajul Visual Basic, utilizat pentru construirea bazei de date necesare optimizării standului.

- Capitolul al patrulea, *Modelarea și simularea circuitelor de testare energorecuperative. Optimizarea numerică a parametrilor energetici specifici*, prezintă principiile de modelare matematică și simulare funcțională a schemei standului, precum și o aplicație centrată pe
-

standul de încercare a transmisiilor melcate, descris în capitolul anterior. Baza de date, conținând valorile adimensionalizate ale încărcărilor în toate cele 28 puncte de transformare energo-cinematică din schemă, a fost obținută prin rularea programului original, dedicat acestei aplicații. Baza de date este organizată pe 10 worksheeturi ale unui fișier Excel conectat automat la program. În teză, datele sunt sintetizate sub formă tabelară și prin grafice. Prelucrarea datelor primare a permis determinarea valorilor criteriilor de optimizare pentru cele 10 poziții posibile, luate în considerare ale sursei exterioare. Optimizarea propriu-zisă s-a realizat cu ajutorul softului ELECTRE III/IV, care aplică metoda Electre – un algoritm încadrat în categoria metodelor multiatribut, utilizate pentru ierarhizarea alternativelor multiple, calificabile după un set extins de criterii. S-a stabilit ca optimă, localizarea motorului în poziția de conectare 15 din schemă. Partea a doua a optimizării a vizat egalizarea încărcării reversibile, care a condus la parametri finali optimi ai standului (minimizarea sumei variației încărcărilor reversibile respectiv a tensiunilor în polul angrenării). S-a obținut astfel un coeficient al încărcării reversibile, respectiv al tensiunilor în pol cuprins în intervalul [0.9... 1.05].

- Capitolul al cincilea, *Studiu comparativ privind numărul optim de perechi de transmisii incluse într-o singură buclă*, este dedicat analizei critice a comportării standului din punct de vedere energetic și al încărcării reversibile, în cazul testării a două, respectiv patru transmisiile identice, conico-cilindrice. Studiul are în vedere și influența raportului de transmitere total, cât și repartizarea pe trepte a acestuia și scoate în evidență stabilitatea parametrilor energetici și de încărcare pentru standul cu o singură pereche de transmisii, pe care, în concluzie, îl recomandă ca soluție preferabilă.
 - Capitolul al șaselea, *Concluzii finale și contribuții originale*, face o sinteză a lucrării și evidențiază observațiile și recomandările care au rezultat în urma studiilor efectuate. În rezumat, se pune în evidență importanța poziției motorului în schema cinematică din punct de vedere al echilibrului energetic al acestuia, posibilitatea de optimizare a poziției
-

acestui în faza de proiectare a standului, necesitatea aplicării încărcării diferite la reversarea sensului. Totodată, soluția optimă indică includerea numărului minim de transmisii în schemă. În finalul capitolului sunt sintetizate contribuții originale ale autoarei în demersul desfășurat pentru elaborarea lucrării.

Autoarea își exprimă gratitudinea față de conducătorul științific al lucrării, a cărei deschidere, interes, exigență și răbdare au făcut posibilă finalizarea prezentei teze.



2.Consideratii privind testarea transmisiilor cu angrenaje

2.1. GENERALITATI

Transmisiile prin angrenaje au o frecvență foarte ridicată în construcția de mașini și echipamente, de produse tehnice. Larga lor răspândire cumulează o bogată experiență de cercetare constructivă și tehnologică, asigurând performanțe tehnice superioare, calitate totală și fiabilitate ridicate ale subansamblului.

Transmisiile cu angrenaje echipează o serie de grupuri de produse importante din punct de vedere economic, social sau strategic și ca volum de fabricație la nivel mondial. Printre acestea se pot aminti produsele industriei de autovehicule (automobile și mașini pentru transport rutier), navigație aeriană (avioane și elicoptere), construcții navale, mașini și utilaje de ridicat și transportat, mașini-unelte de toate tipurile, mori, mașini din industria textilă, sisteme de calcul și perifericele lor, echipamente media etc.

Istoria angrenajelor cu roți dințate are rădăcini îndepărtate în cultura tehnică a omenirii și debutează cu construcții rudimentare din lemn, utilizate de greci și romani la morile de apă. Descrierile și schițele păstrate în operele anticilor – Aristotel, Arhimede ș.a. – sunt confirmate de fragmente ale unor realizări efective, cum ar fi impresionantul ceas astronomic cunoscut sub numele de Antikitera, datat cu anul 87 D.C. Evoluția rapidă în privința calității și performanțelor angrenajelor începe odată cu revoluția industrială din secolul al XVIII-lea în Anglia și are la bază construcția roților dințate metalice incluse în structura mașinilor textile. În prezent, proiectarea și execuția angrenajelor se bucură de concursul celor mai noi metode de abordare teoretică și practică, în care sunt implicate asistența calculatorului, modelarea și simularea numerică, testarea cu sisteme precise de control.

2.2. STANDURI PENTRU TESTAREA ANGRENAJELOR

2.2.1. TRASEUL PROIECTARE-SIMULARE-TESTARE. METODE DE ÎNCERCARE A ANGRENAJELOR

Calculul de proiectare a angrenajelor, perfecționat în urma unei îndelungate experiențe, se desfășoară conform unor metodologii standardizate

și adoptate de producătorii din întreaga lume. În Europa domină normativele ISO (International Organization of Standardization), iar pe continentul american standardele ANSI (American National Standards Institute). În domeniul construcției de mașini, standardele ISO au la bază normativele germane DIN (Deutsche Institut für Normung). Deși au denumiri diferite, documentele ISO-DIN și ANSI au conținut identic, având în vedere că la elaborarea lor au participat, în cadrul TC60 (comitetul ISO responsabil cu standardizarea în domeniul roților dințate), atât reprezentanți ai firmelor de profil europene, cât și membri ai AGMA (American Gear Manufacturers Association) autorizați de ANSI.

Pe lângă aceste standarde generale, proiectarea este detaliată pe diverse direcții care vizează domenii specifice cum ar fi aviația, transportul rutier etc., prin recomandări naționale, registre de ramură sau normative interne ale firmelor producătoare.

Dacă în privința calculului există o relativă unanimitate datorată standardizării, în ceea ce privește toleranțele admise, metodele de măsurare a caracteristicilor geometrice, de rezistență și fiabilitate, precum și echipamentele de testare, nu există prevederi dedicate. Standardele ISO fac referiri generale, cum ar fi cele înscrise în ANSI/AGMA ISO 1328-1 (*Cylindrical Gears – ISO System of Accuracy- Part1: Definitions and Allowable Values of Deviations Relevant to Corresponding Flanks of Gear Teeth*) sau AGMA ISO 10064-1 (*Cylindrical Gear – Code of Inspection Practice – Part1: Inspection of Corresponding Flanks of Gear Teeth*).

În general, firmele producătoare de transmisii mecanice își proiectează și execută propriile standuri de testare sau apelează la soluțiile oferite de firme specializate în domeniul echipamentelor de control.

Absența normativelor în domeniul controlului poate fi justificată de multitudinea parametrilor care pot fi urmăriți și complexul de factori de influență asupra performanțelor transmisiilor. Fiecare aplicație este caracterizată prin parametri energetici de anumite valori și trebuie să se încadreze în clase de precizie geometrică și cinematică bine precizate. De asemenea, fiabilitatea transmisiei este impusă la un nivel dat. Având în vedere aceste observații,



rezultă că pentru fiecare reductor, cutie de viteze etc. este necesară conceperea și realizarea unui stand cu funcții specifice, bazat pe o schemă cinematică proprie și caracterizat prin parametri energetici particulari.

Încercarea pe stand a transmisiilor urmează măsurărilor statice efectuate asupra roților dințate, care vizează, în principal, precizia geometrică a danturii. Influența erorilor geometrice asupra comportării dinamice a angrenajului, de cele mai multe ori, este analizată și prin modelare și simulare numerică. Este preferată analiza stării de tensiuni și deformații prin metoda elementului finit, inclusă cu un ridicat grad de rafinament în diverse aplicații soft, care permit modelarea erorilor geometrice, a contactului hertzian cu parametri tribologici impuși și simularea regimului dinamic. De interes sunt atât distribuția tensiunilor la nivelul corpului roții (fig.2.1), cât și tabloul din zona contactului (fig.2.2).

Cele două figuri, 2.1 (angrenajul discretizat – în stânga – și starea de tensiuni von Mises sub sarcină – în dreapta) și 2.2 ilustrează un studiu realizat pentru un angrenaj proiectat și realizat de firma Ticono.

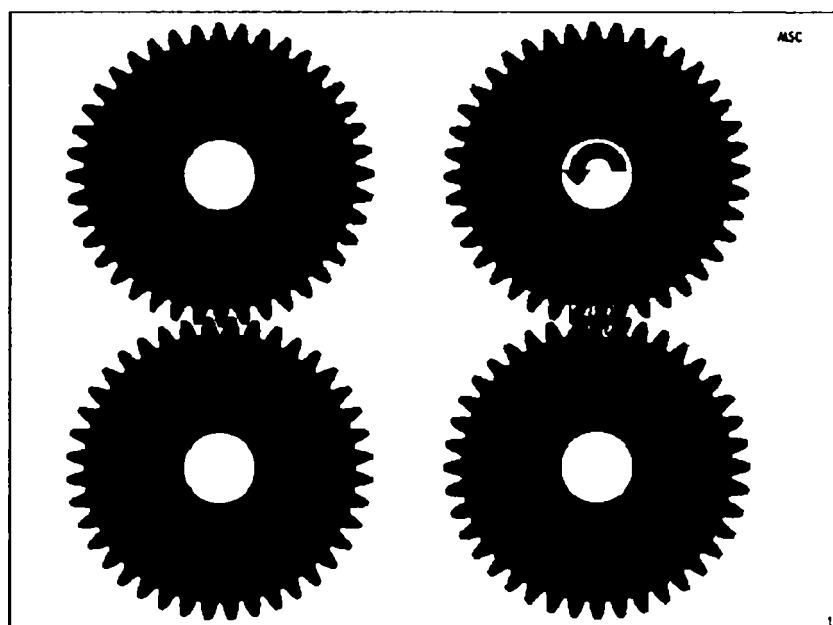


Fig.2.1 Distribuția tensiunilor von Mises în angrenaj [W2]

Proiectarea asistată de calculator, bazată pe aplicații MEF complexe, cu modelări 3D, a furnizat geometrii optimizate și performanțe superioare ale danturii. Un exemplu de astfel de realizare este ilustrat în figura 2.3, care prezintă un profil al dintelui modificat.



Fig.2.2. Distribuția tensiunilor von Mises cu ruperea dinților la depășirea tensiunii de încovoiere [W2]

Capacitatea portantă a acestuia este cu (20...300)% mai ridicată față de dintele cu formă tradițională, conform rezultatelor publicate de firma Ameridrives.



Fig.2.3. Profil optimizat prin CAD bazat pe MEF [W6]

Indiferent cât de ridicat ar fi nivelul performanțelor estimate prin calcule analitice sau simulări numerice, caracteristicile reale ale transmisiei sunt stabilite prin încercări pe stand.

Aceleași echipamente, dotate cu elementele necesare controlului

parametrilor energetici sau/și geometrici sunt utilizate și pentru rodarea transmisiei. Rodajul, practicat în condiții rațional-științifice, asigură fiabilitatea, mentenabilitatea și buna funcționare de durată a ansamblului.

Standurile de încercare sunt concepute astfel încât să permită aplicarea unei metode de testare. Pot fi utilizate, principial, două metode:

- metoda clasică (Wohler) sau *cu sarcină constantă*
- metoda *cu sarcină variabilă* (în trepte, progresivă, sau după o altă lege).

Conform metodei Wohler, rezistența la oboseală definită experimental reprezintă valoarea maximă a tensiunii la care, pentru un număr de cicluri de bază N_b , nu intervine distrugerea roții dințate-epruvetă. Durata, numărul mare de epruvete și, ca urmare costul ridicat, au condus la abandonarea metodei.

Printre metodele cu sarcină variabilă s-a impus Testul FZG - Pitting, introdus în laboratoarele de cercetare conduse de G. Niemann și utilizat astăzi de numeroși producători de roți dințate. Timpul aferent testării coboară până la 15% din cel necesar metodei Wohler. Testul permite studiul dependenței dintre capacitatea portantă a flancurilor și diverși parametri (caracterul sarcinii, viteza periferică, modulul, unghiul de angrenare, deplasările de profil, erorile de execuție și montaj, lățimea roții, regimul de ungere ș.a.).

Practic, încărcarea se aplică în trepte, după o lege bine stabilită.

Conform testului, durabilitatea nelimitată corespunde încărcării la care numărul limită al ciupiturilor nu apare înainte de $0.5 \cdot 10^6$ cicluri.

Ca limită admisibilă la ciupire se impune un anumit raport între suprafața totală a ciupiturilor și suprafața activă a flancurilor. Dacă A_1 și A_2 reprezintă suprafața relativă ciupită a roții conducătoare, respectiv a roții conduse, testul acceptă ca limită admisibilă la ciupire, valoarea:

$$A = A_1 + A_2 = 2\% , \quad (2.1)$$

unde

$$A_1 = \frac{S_{A1}}{S_{A01}} 100 [\%] \quad \text{și} \quad A_2 = \frac{S_{A2}}{S_{A02}} 100 [\%]. \quad (2.2)$$

S_{A1} și S_{A2} reprezintă suprafața însumată a ciupiturilor de pe flancurile roților 1 și 2. S_{A01} și S_{A02} sunt suprafețele active ale flancurilor de pe cele două roți. Pentru calculul acestora se folosesc relațiile (DIN3960):

$$S_{A01} = \frac{\pi d_{w1} b \varepsilon}{\cos \beta_b} \sin \alpha_{rf} + \frac{\cos \alpha_{rf}}{z_1} (\varepsilon_{K1} - \varepsilon_{K2}) \quad (2.3)$$

$$\text{și } S_{A02} = \frac{\pi d_{w2} b \varepsilon}{\cos \beta_b} \sin \alpha_{rf} + \frac{\cos \alpha_{rf}}{z_2} (\varepsilon_{K1} - \varepsilon_{K2}), \quad (2.4)$$

unde ε_{K1} și ε_{K2} reprezintă gradul de acoperire al capului dintelui roții 1, respectiv al roții 2.

Ca parametru de bază al testului se consideră încărcarea specifică:

$$F_t^* = \frac{F_t}{d_{w1} b}, \quad (2.5)$$

unde F_t este forța tangențială din angrenaj, d_{w1} – diametrul de rostogolire al roții motoare, b – lățimea roții.

Testul FZG nu ia în considerare solicitările dinamice din angrenaje și nici influența raportului de transmitere.

Pentru a cuantifica și aceste influențe M. Balekics, de la UPT, propune pentru stabilirea limitei de rezistență utilizarea unui parametru complex (tensiunea de contact în pol):

$$\sigma_k = c \sqrt{\frac{F_t E_{red}}{b \rho_{red}}}. \quad [N/mm^2] \quad (2.6)$$

Această metodă, numită Testul COMTB, prevede ordonarea treptelor de degradare a suprafețelor ΔA după intervale ale căror limite se înscriu într-o progresie geometrică: 0...0.2; 0.2...0.4; 0.4...0.8; > 0.8, ceea ce asigură o eșalonare mai rațională a treptelor de încărcare, testare mai rapidă și număr mai mic de epruvete.

O altă metodă cu sarcină variabilă – inițiată de M. Prot - introduce o creștere progresivă a sarcinii, proporțional cu creșterea numărului de cicluri. Metoda permite o simulare mai fidelă a condițiilor reale de lucru a angrenajelor (sarcini ciclice la amplitudini variabile), determinarea mai rapidă a rezistenței limită la oboseală (atât a flancului dintelui, cât și bazei dintelui), respectiv posibilități de testare la durabilitatea limită.

Conform acestei metode, după un număr de cicluri, sarcina pe dinte este:

$$F = F_0 + \mu_F n, \quad (2.7)$$

unde F_0 este forța inițială, iar μ_F viteza de creștere a forței.

Dezvoltând această teorie și aplicând principiul cumulării deteriorărilor se deduce că viteza de creștere a tensiunii de contact descrește hiperbolic cu numărul de cicluri:

$$\mu_F = C_f n^{-\frac{1}{2}}, \quad (2.8)$$

ceea ce oferă avantajul de a dispune de viteze mai mari de creștere a sarcinii la început și de a evita astfel rularea îndelungată la sarcini mici. Acest avantaj poate fi exploatat într-un mod superior în cazul standurilor de rodare, în vederea executării unui rodaj eficient și rapid.

Standurile de încercare a angrenajelor se pot clasifica după o multitudine de criterii, între care cel mai important – acela care impune o anumită schemă cinematică și elemente constructive dedicate – ia în considerație configurația fluxului energetic. Acesta poate avea un traseu *deschis* sau *închis*.

2.2.2. STANDURI CU FLUX ENERGETIC DESCHIS

Principial, standurile cu flux energetic deschis au o schemă foarte simplă (fig.2.4), care include o sursă de energie ME (motor electric, hidraulic etc.), transmisia mecanică testată TM și un dissipator de energie DE. Acesta poate fi o frână mecanică cu discuri sau saboți, hidraulică, pneumatică sau hidropneumatică, electrică (electromagnetică), o pompă hidraulică etc.

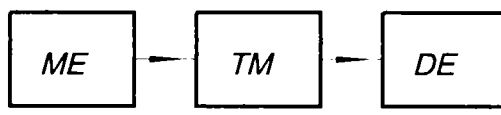


Fig.2.4. Schema de principiu a standurilor cu flux energetic deschis

Caracteristic acestor tipuri de standuri este disiparea energiei sub formă calorică, ceea ce impune la o funcționare de duranță folosirea dispozitivelor suplimentare pentru răcire.

Aceste standuri sunt utilizate, în general, pentru teste funcționale și mai puțin pentru încercări de durabilitate și fiabilitate sau ca standuri de rodaj.

Standurile cu flux energetic deschis prezintă avantajul unei reproduceri relativ bune în timpul testelor a condițiilor reale de funcționare a angrenajelor și,



totodată, au și un grad ridicat de universalitate.

Se pot concepe ca standuri care să măsoare randamentul, temperatura de funcționare în regim nominal, să analizeze zgomotul, vibrațiile, să verifice anumite condiții de montaj, ungere, etanșare, respectiv să releveze zonele subdimensionate sau cele cu un grad sporit de vulnerabilitate.

Deși principial acest tip de stand are o structură aparent simplă, prezintă câteva dezavantaje importante: consum energetic substanțial, uzare rapidă a frânelor, încălzire excesivă, menținerea caracteristicilor de încărcare.

Pentru a ilustra aplicarea tehnicii de experimentare pentru standuri cu flux energetic deschis, în figura 2.5 este prezentată schema unui stand conceput la UPT pentru analiza funcțională a transmisiei electrocurelor. În schema cinematică s-au intercalat la intrarea, respectiv ieșirea din transmisie, două cuplaje torsiodinamometrice (4) și un tahogenerator. Alimentarea motorului electric s-a făcut printr-un grup Ilgner (6), turația regându-se în intervalul [200...1000] rot/min. Pentru disiparea energiei, la arborele planetar liber s-a prevăzut o frână electromagnetă (3).

În prezent, standurile de testare sunt echipate cu sisteme automate de control și reglare a încărcării și turației, de măsurare și înregistrare în timp a solicitărilor, temperaturii, zgomotelor și vibrațiilor, precum și ansambluri care completează simularea condițiilor reale de lucru, cum ar fi parametrii de mediu (temperatura, umiditatea, compoziția chimică a atmosferei etc.) sau sursele de solicitări dinamice (denivelările căii de rulare, presiunea vântului etc.). Monitorizarea și controlul testării sunt asigurate prin includerea unor module electronice special create sau prin interfațare adecvată pentru legarea la un PC obișnuit.

Pentru a ilustra posibilitățile unui stand de testare cu flux energetic deschis, la standardele prezentului, sunt prezentate în continuare câteva exemple.

În figura 2.6 este redată imaginea unui stand oferit firma germană Klotz, unul dintre cei mai prestigioși producători europeni de profil. În tabelul 2.1 pot fi urmăriti principalii parametri ai standului.

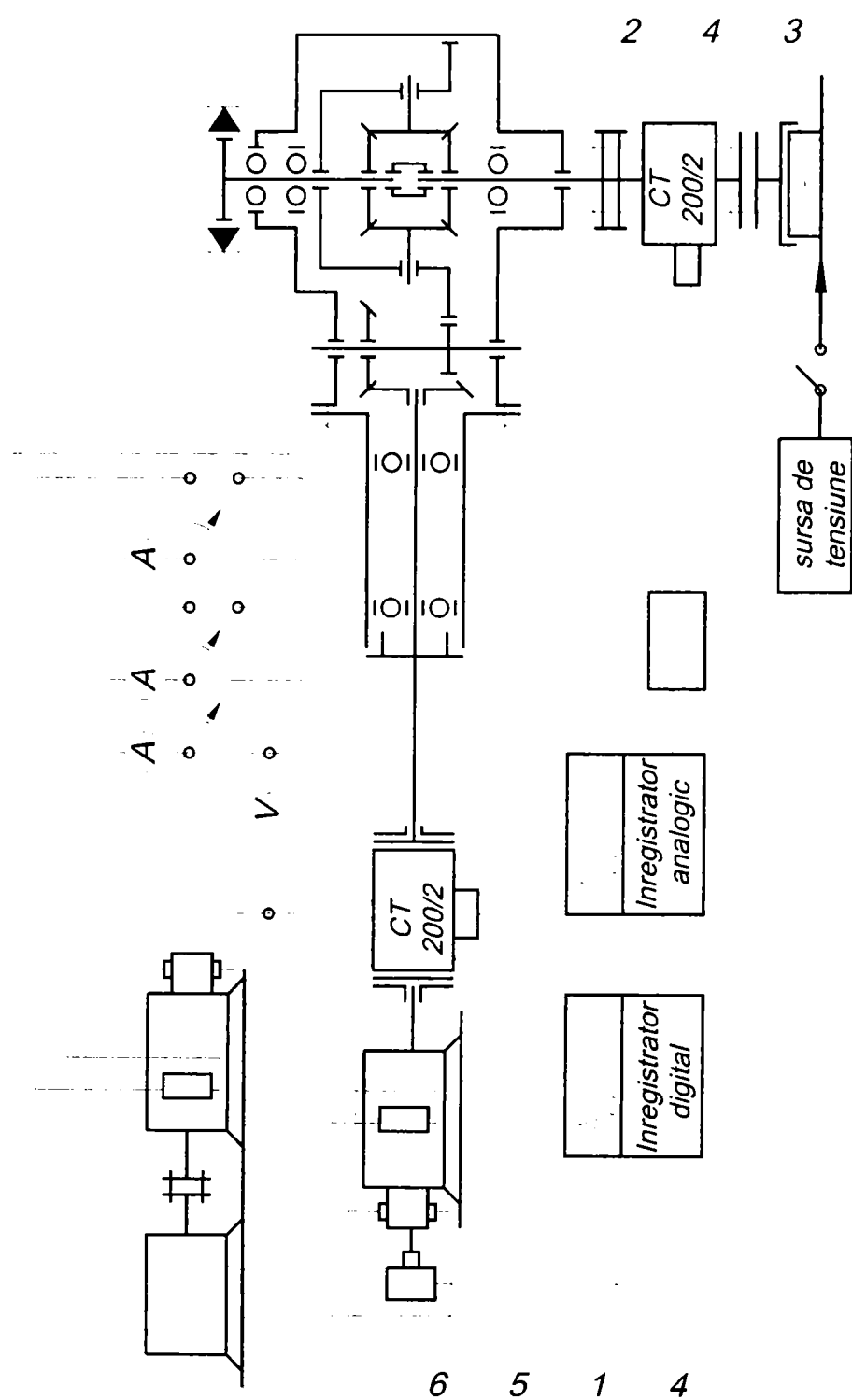


Fig.2.5. Schema standului cu flux energetic deschis realizat la UPT pentru încercarea transmisiei unui electrocar

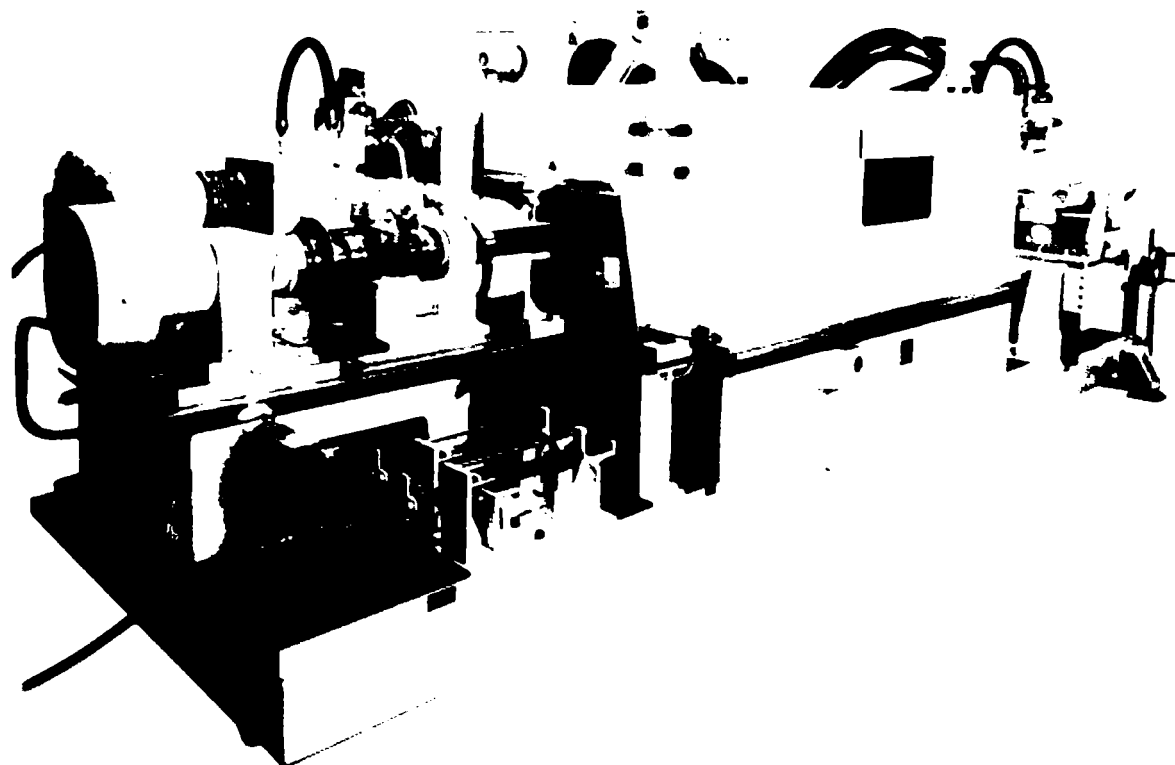


Fig.2.6. Stand de testare universal produs de firma germană Klotz

Tabelul 2.1

Tipul acționării	motor hidraulic
Turația pe treapta rapidă	(0...6000) rot/min
Momentul de torsiune pe treapta rapidă	360Nm la 1000 rot/min; 60Nm la 6000 rot/min
Viteza de variație a turației pe treapta rapidă	1000 (rot/min)/sec
Modul de variație a încărcării	continuu sau în trepte
Punctul de măsurare a momentului	pe arborele conducător cu un sistem HBM tip T32
Element de siguranță	cuplaj cu dinți pentru întreruperea rapidă a lanțului cinematic în cazul distrugerii roților sau căderilor de tensiune la alimentarea electrică
Conducerea testelor	programe prestabilite stocate în blocurile electronice asociate
Facilități speciale	program de simulare a drumului (rezistența căii de rulare, a aerului, la accelerație, în pantă și alte rezistențe adiționale) cu parametri controlați la consola calculatorului principal
Monitorizare/control	interfață stand/PC (25 valori analogice prelevate în timp real, 20 puncte de măsurare presetabile, 20 semnale digitale I/O)
Temperatura de lucru a uleiului	(-40...+50)°C
Volumul camerei de testare	~1700 l
Tipul disipatorului de energie	frână hidraulică
Agent de răcire a frânei hidraulice	apa
Dimensiuni de gabarit	~1960x1200x1200 mm



Din oferta aceleiași firme este prezentat un produs descris în figura 2.7 și tabelul 2.2.



Fig. 2.7. Stand de testare cu flux energetic deschis produs de firma Klotz

Tabelul 2.2

Tipul acționării	motor electric (3000 rot/min) și grup amplificator
Turația pe treapta rapidă	5000 rot/min
Soluția pentru disipatorul de energie	carcasa basculantă (0...5)° bilateral și volant
Temperatura de lucru a uleiului	(20...150)°C
Presiunea în unitatea de ungere	max. 10 atm
Durata de încălzire a uleiului la 150°C	~60 min
Alte facilități ale grupului de ungere	permite încercări de extremă presiune pentru uleiuri cu viscozități diferite, are mobilitate controlată prin senzori de forță și poziție pe două direcții
Răcire	naturală și suplimentară cu aer
Conducerea testelor	programe prestabilite stocate în blocurile electronice asociate sau comandate manual
Rata de scanare în regim de program automat	500Hz
Achiziție/stocare a datelor	placa de achiziție, imprimantă incorporată

Firmele americane preferă scheme care includ pe stand câte două

transmisii montate simetric (o unitate reductoare și una amplificatoare), cu acționare și frânare pe arborii treptelor rapide. Doua exemple bazate pe această schemă sunt prezentate în figurile 2.8 și 2.9, respectiv în tabelele 2.3 și 2.4, reprezentând produse ale firmelor Ikona Gear și Geo Kingsbury Machine Tools.



Fig.2.8. Stand de testare cu flux energetic deschis produs de Ikona Gear

Tabelul 2.3

Acționare	motor electric
Turația arborelui de intrare	max.4000 rot/min
Moment de torsiune la arborele de intrare	max.3400Nm
Facilități de măsurare a geometriei transmisiei	montaj al standului pe o mașină în coordonate de măsurat lungimi Mitutoyo (CMM)
Puncte de măsurare	pe toate treptele, cu celule torsiometrice de mare precizie
Achiziție/stocare a datelor	sistem bazat pe mediul Lab View 7.0



Fig. 2.9. Stand de testare cu flux energetic deschis produs de Geo Kingsbury Machine Tools

Tabelul 2.4



Acționare	motor electric de curent continuu cu puterea de 126 CP
Turația arborelui de intrare	max.3000 rot/min
Momentul de torsiune pe arborele de intrare	500 Nm
Elemente de siguranță	limitator de cuplu pe arborele de intrare (590Nm) și pe arborele intermediar (3000Nm)
Încărcare și frână	motor electric de curent continuu cu puterea de 175 CP
Monitorizare și control	legare printr-un Siemens 412-PCI Slot PLC via internet la HMI software bazat pe Visual Basic
Dimensiuni de gabarit	4000x3100x2100 mm
Masa	20 t

Chiar în această structură mai echilibrată ca încărcare se observă că standul este un consumator foarte important de energie.

2.2.3. STANDURI CU FLUX ENERGETIC ÎNCHIS

Standurile cu flux energetic închis conțin una, două sau mai multe perechi de transmisii de testat, montate simetric, în tot atâtea bucle mecanic și energetic închise.

Circuitele energetice recuperative sunt destinate cu precădere testării sau rodării unor transmisii de putere sau a unor subansambluri din componența acestora.

Principalele avantaje ale standurilor de testare cu circuit închis sunt:

- consumul energetic redus în raport cu necesitățile unui stand deschis cu aceeași destinație. Practic, energia introdusă în circuit trebuie să acopere numai pierderile mecanice din cuplele de frecare (angrenaje, lagăre, cuplaje etc.)
- posibilitatea ca încărcarea să aibă loc după orice lege convenită
- eliminarea din schema cinematică a elementelor cu uzare rapidă și intensă, precum și a subansamblurilor aferente de răcire
- posibilitatea, cu ajutorul unui subansamblu mecanic simplu, de inversare a mișcării, pentru transmisiile care lucrează reversibil
- menținerea automată a încărcării la valorile prescrise

În tabelul 2.5 este prezentată o clasificare a circuitelor închise, cu punerea în evidență a varietății constructiv-funcționale prin care acestea se pot materializa.

În figura 2.10 sunt reprezentate câteva scheme de circuite mecanice

închise, cu figurarea traseelor energetice .

Tabelul 2.5

Sisteme cu contur mecanic închis	- cu divizare și sumare energetică (fig. 2.10 a)	- transmisii prin angrenare	- cu roți dințate - cu lanțuri - cu curele dințate		
		- transmisii prin fricțiune	- cu curele care lucrează în set - variatoare cu elemente intermediare		
	- cu recirculare a energiei (fig. 2.10 b)	- pe cale mecanică	- a întregii energii disponibile	- prin angrenaje - prin elemente flexibile	- curele - lanțuri - cabluri
			- a unei părți din energie (cu circuite antagoniste)	- prin angrenare (planetare, diferențiale) - prin fricțiune (set de curele, variatoare)	
Sisteme cu închidere electrică					
Sisteme cu închidere hidraulică					

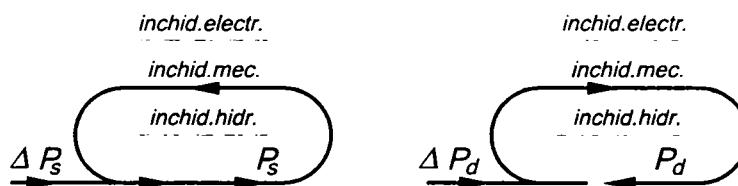


Fig.2.10. Scheme de circuite cu contur mecanic închis și traseele energetice specifice (în figurile notate cu b sensurile fluxurilor energetice principale pot fi trigonometrice sau al acelor de ceasornic)

Principiul unui stand energorecuperativ este prezentat în figura 2.11.

În componența sistemului se găsesc transmisiile mecanice TM-1 și TM-2, între care are loc recircularea energiei, standul având astfel un caracter energorecuperativ, sursa de energie exterioară SE având rolul de a acoperi numai pierderile mecanice din circuit.

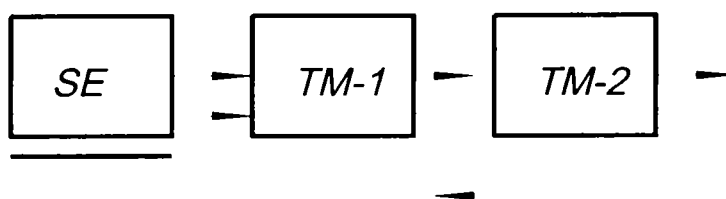


Fig.2.11. Schema de principiu a unui stand energorecuperativ

Închiderea circuitului, pentru recircularea energiei se poate face pe cale mecanică, electrică sau hidraulică.

Sistemele cu recircularea energiei pe cale mecanică sunt mai răspândite, fiind mai simple, mai ieftine, mai fiabile și cu caracteristici terotehnice superioare celorlalte variante.

Prezintă interes practic sistemele mecanice prevăzute cu posibilități de tensionare în mers, cu programatoare pentru comanda automată a încărcării. În asemenea cazuri, subansamblul de tensionare are două grade de mobilitate.

Schema de principiu a unui stand cu închidere mecanică este redată în figura. 2.12.

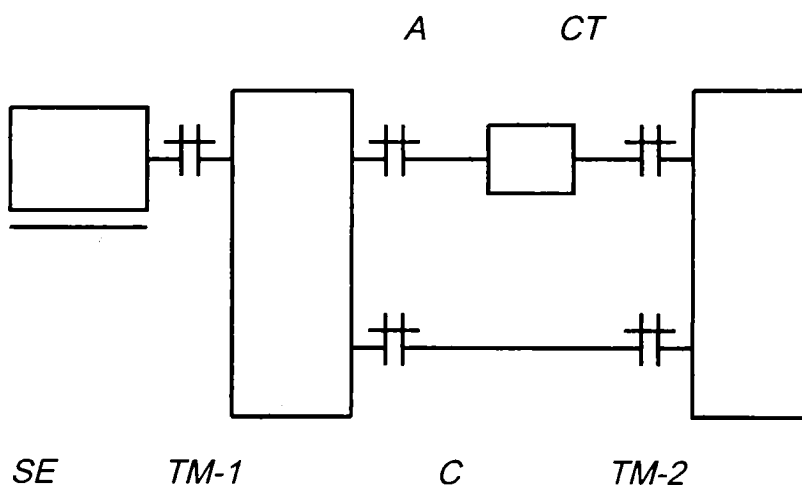


Fig.2.12. Schema de principiu a unui stand de testare energorecuperativ cu închidere mecanică

Standul conține o sursă exterioară de energie SE, două transmisii mecanice identice din punct de vedere cinematic, TM-1 și TM-2, cuplajul torsional CT, cuplajele de legătură C, arborii intermediari A, dispozitivele și aparatele de măsurare (pentru turație, moment de torsiune, temperatură,

zgomot, vibrații etc.), precum și echipamentele pentru comanda încărcării.

Cuplajele torsionale au rolul de a crea momentul de torsiune pe un tronson al circuitului și de a simula astfel funcționarea în sarcină a angrenajelor.

Datorită pierderilor mecanice de pe traseul fluxului energetic, încărcarea celor două transmisii nu este identică. Din acest motiv la încercările care utilizează roți dințate-epruvete, transmisia pereche are doar rolul de returnare, fiind mai robustă sub aspect constructiv.

Pe lângă varianta mecanică de închidere a circuitului mai există și soluțiile hidraulică sau electrică.

În schema primei variante se regăesc: un motor electric de acționare, un generatorul hidraulic, un motor hidraulic și organul de lucru - roți dințate, mecanisme cu clicheți etc.

În figura 2.13 se prezintă schema sistemului hidraulic de încărcare utilizat la standul IHRD2-00 (realizat la UPT).

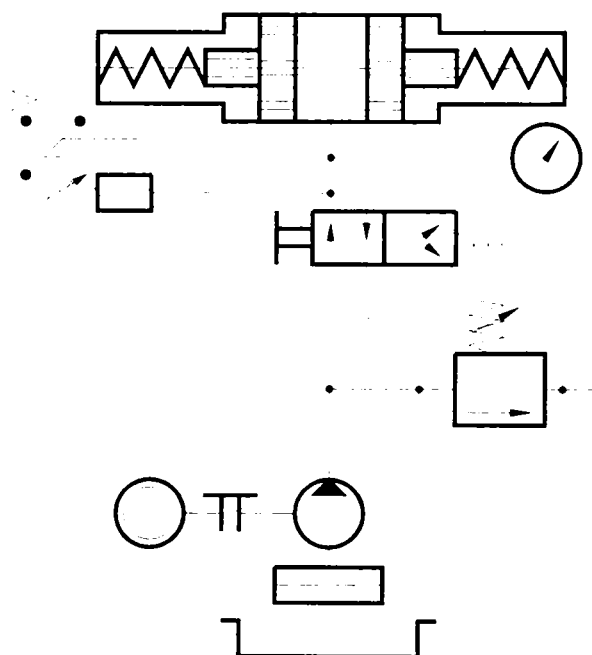


Fig.2.13. Schema sistemului hidraulic de încărcare utilizat la standul IHRD2-00, realizat la UPT

În figura 2.14 este redat principial un stand cu circuit închis pe cale electrică.

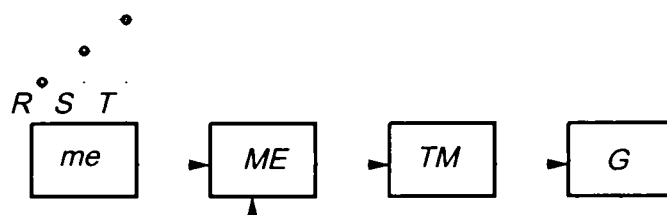


Fig.2.14. Schema de principiu a unui stand energorecuperativ cu închidere electrică (transmisia mecanică TM este intercalată între motorul electric ME și generatorul de curent G)

La U.P.T. s-au realizat două astfel de variante de standuri.

La soluția prezentată în figura 2.15, acționarea standului se face de la variatorul electric, VE. Pentru a adapta standul la o gamă largă de transmisii mecanice – TM, în circuit sunt prevăzute două cutii de viteze – CV₁ și CV₂.

Generatorul electric de curent continuu – GCC, antrenează un motor de curent continuu, a cărui turație reglată corespunzător, face ca generatorul de curent alternativ să debiteze în rețea, închizând astfel pe cale electrică circuitul.

Varianta din figura 2.16 utilizează în locul motorului de curent continuu și a generatorului de curent alternativ un inverter de curent.

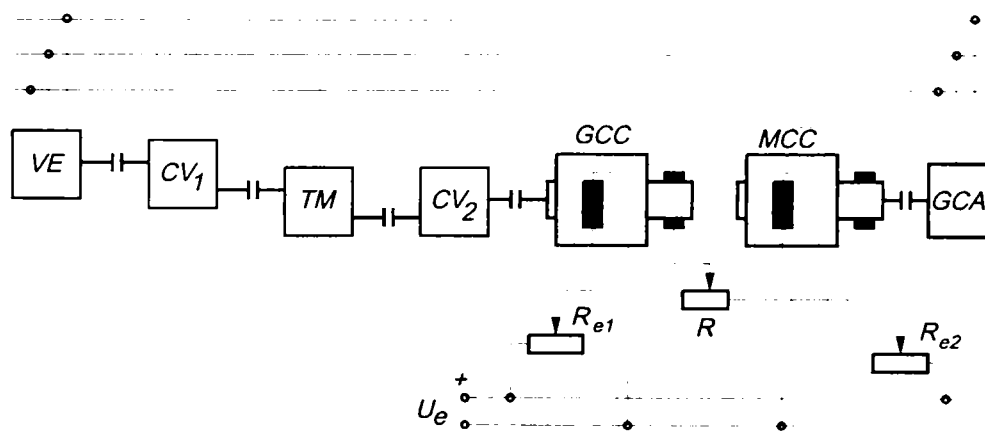


Fig.2.15. Schema electro-mecanică a unui stand energorecuperativ cu închidere electrică, proiectat și realizat la UPT

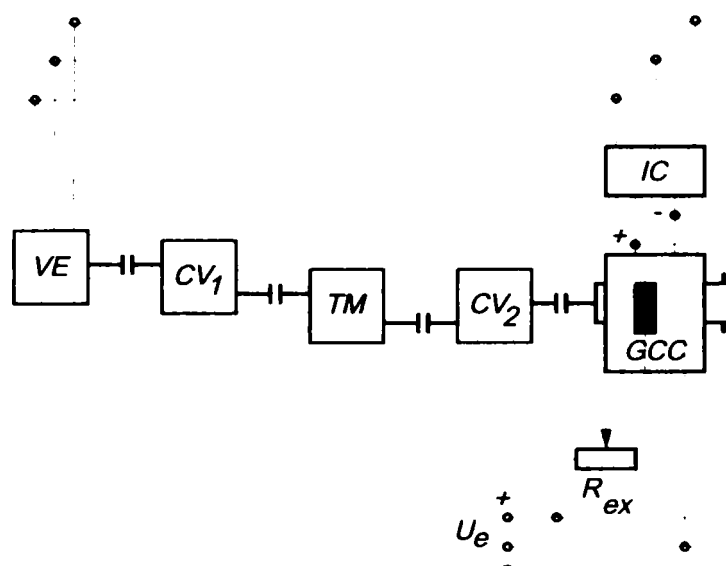


Fig.2.16. Schema electro-mecanică a unui stand energorecuperativ cu închidere electrică, proiectat și realizat la UPT

Având în vedere caracterul strict dedicat al fiecărui stand, nu există o ofertă bogată din partea firmelor producătoare de echipament de testare și control.

Standurile cu circuit închis sunt proiectate și realizate de către firma beneficiară sau sunt achiziționate pe baza unor comenzi care precizează parametrii energetici și cinematici ai aplicației.

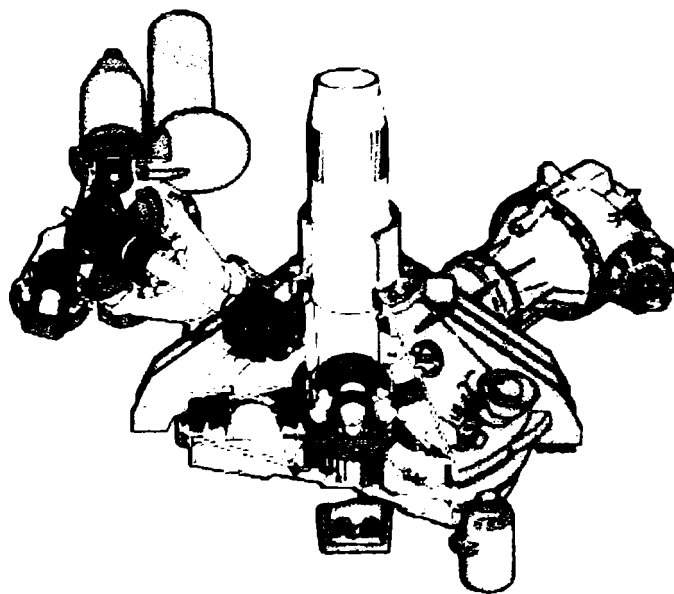


Fig.2.17. Vedere axonometrică a reductorului conic cu dinți curbi

Spre exemplificare, se prezintă, un stand de încercare în circuit închis pentru transmisia cu roți dințate conice cu dinți curbi, utilizată la rotoarele elicopterelelor Blackhawk din dotarea armatei SUA. Studiile asupra transmisiei au fost efectuate în laboratoarele NASA, care au proiectat și realizat echipamentul.

În figura 2.17 este prezentată o vedere cu secțiune axonometrică a transmisiei elicopterului.

Figura 2.18 redă o imagine a standului de încercare, care, într-o variantă cu reprezentare schematică plană poate fi urmărită în figura 2.19.

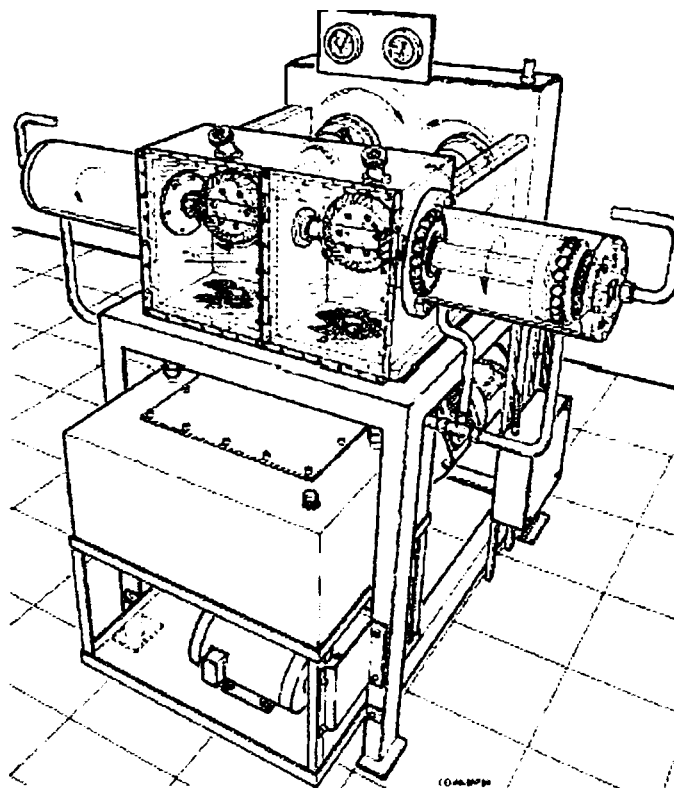


Fig.2.18. Standul de încercare a reductorului conic al elicopterului Blackhawk

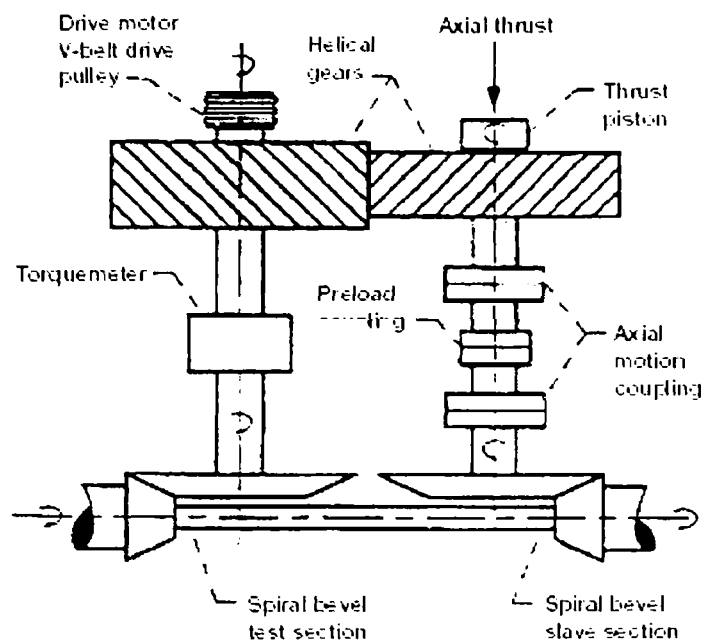


Fig.2.19. Schema cinematică a standului de testare

Standul este acționat cu un motor electric (drive motor), care transmite mișcarea arborelui roții conducătoare prin intermediul unei transmisii cu curea (V-belt drive). Pe același arbore este montată o roată cilindrică având dinți elicoidali a cărei conjugată servește la închiderea circuitului (helical gears). Pe același arbore (din stânga) se află un dispozitiv de măsurare a momentului de torsiune (torquemeter). La capătul arborelui, în consolă, este fixată roata conducătoare conică a angrenajului de încercat (spiral bevel test section). Pe același arbore cu roata condusă se află prima roată a unui angrenaj identic celui testat (spiral bevel test slave section). Roata condusă a angrenajului secundar este montată la capătul unui arbore format din două tronsoane legate prin cuplaje (axial motion coupling) și între care este introdus dispozitivul de încărcare (preload coupling).

Este important de remarcat valoarea ridicată a parametrilor nominali de funcționare a transmisiei testate. Aceasta lucrează la o turație de 14440 rot/min și transmite un moment de ~ 354 Nm (corespunzătoare unei puteri de ~ 536 kW). Raportul de transmitere al angrenajului este $i=3$.

Standul este destinat studiului comportării termice și structurale a angrenajului, în condițiile variației parametrilor caracteristici lubrifianului.

Pe continentul european, cercetarea și efectuarea de testări la cererea unor beneficiari din sfera producției, sunt localizate cu precădere în Germania, țară cu tradiție îndelungată și valoroasă în domeniul organelor de mașini, în general, și al roților dințate, în special.

La Ruhr-Universität Bochum, cercetarea în domeniul testării transmisiilor cu angrenaje este desfășurată de un colectiv condus de șeful catedrei LMGK (Lehrstuhl für Maschinenelemente Getriebe und Kraftfahrzeuge) – prof. dr. ing. Wolfgang Predki. Încercările se efectuează pe standuri cu circuit mecanic închis (fig. 2.20 și 2.21) și vizează, în special rezistența la oboseală a flancurilor, respectiv a bazei dinților.

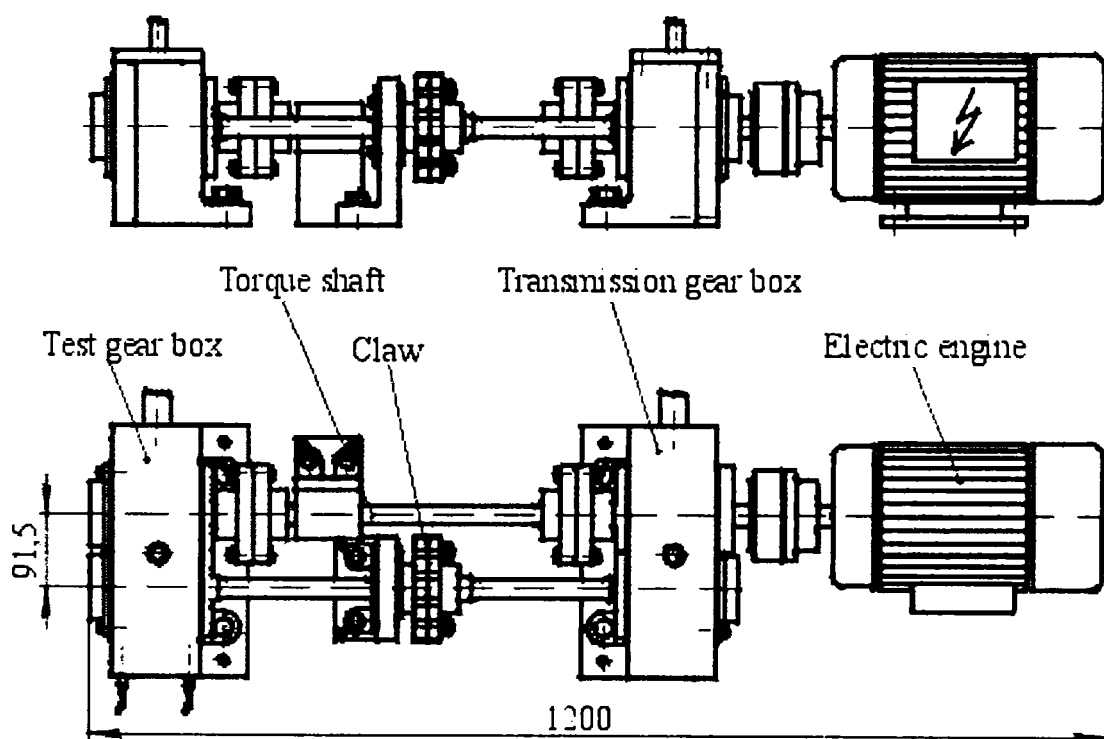


Fig. 2.20. Schema clasică a standului de încercare în circuit închis, care conține motorul electric de acționare (Electric engine), o transmisie de returnare (Transmission gear box), un cuplaj pe tronsonul lent (Claw), arborele cu cuplajul tosiometric (Torque shaft) și transmisia de testat (Test gear box) [W20]

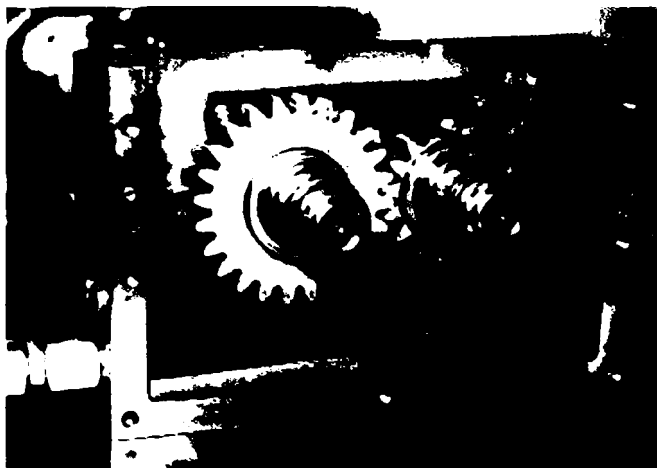


Fig. 2.21. Vedere a transmisiei testate pe standul din figura 2.21 [W20]

Testele se desfășoară după metoda FZG și pun în evidență pittingul (fig. 2.22), micropittingul (fig. 2.23) și zgărierea flancurilor (fig. 2.24).



Fig. 2.22. Pată de uzare prin pitting a flancului [W20]



Fig. 2.23. Imagine a flancurilor uzate prin micropitting, care pune în evidență zone neafectate ale flancului (Ungeschädigte Zahnflanke) și domenii extinse cu pete de uzare prin micropitting (Bereiche mit Grauflecken) [W20]

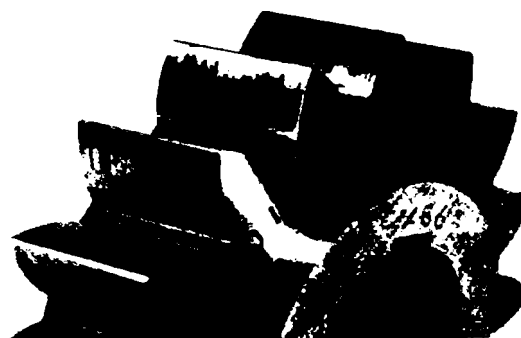


Fig. 2.24. Imagine a flancurilor uzate prin gripare [W20]

Cel mai important centru de cercetare privind testarea transmisiilor cu angrenaje este probabil Forschungsstelle für Zahnrad- und Getriebebau (FZG), care funcționează pe lângă Technische Universität München și a fost fondat de părintele metodei FZG – prof. dr. ing. Gustav Niemann în 1951 (deși preocupările sale în domeniu au început din 1938 la Braunschweig).

Centrul FZG a fost condus, de-a lungul istoriei sale, de trei iluștri profesori: prof. dr. ing. Gustav Niemann (între anii 1951-1968), prof. dr. ing. dr.ing. E.h. Hans Winter (1968-1989) și prof. dr. ing. Bernd-Robert Höhn (1989-prezent) – fig. 2.25.



prof.dr.ing.Gustav Niemann prof.dr.ing.dr.ing.E.h.Hans Winter prof.dr.ing. Bernd-Robert Höhn

Fig. 2.25. Conducătorii colectivului de cercetare FZG [W21]

Cercetările FZG vizează:

- Capacitatea portantă și eficiența roților cilindrice cu dinți dreți sau înclinați, cu preocupări legate direct de:
 - pitting (cea mai frecventă formă de uzare a roților dințate – manifestată prin desprinderea de material cu precădere înspre extremitățile ariei de contact – un fenomen de oboseală influențat

de tensiunile de contact, tratamentul termic și lubrifiant. Testele FZG urmăresc influența acestor parametri, în special a caracteristicilor uleiului)

- micropitting (fenomen manifestat prin micro-desprinderi de material, care dă un aspect cenușiu al flancului, datorat condițiilor de lubrificare improprie, în special în cazul flancurilor foarte dure. Testele FZG relevă influența lubrifianților, aditivilor și tratamentelor termice prin încercări accelerate de scurtă durată sau testări de anduranță)
- uzarea la viteze mici (vitezele scăzute, mai mici de 0.2 m/s determină presiuni mici în filmul de ulei caracteristic regimului de ungere elasto-hidro-dinamic, determinând o accelerare a procesului general de uzare. Fenomenele sunt particularizate funcție de perechea de materiale în contact și de poziția roților în schema transmisiei, cele mai afectate fiind cele de pe treptele finale)
- ruperea dinților (are loc la bază și se datorează în special caracterului pulsator al sarcinii. Testele FZG în acest tip de investigație utilizează standuri speciale, capabile să genereze sarcini variabile, controlate electronic, iar rezultatele se prezintă sub forma curbelor de oboseală (curbe S-N)
- zgârierea (vizibilă prin urme unidirecționale este influențată de încărcare, viteza de alunecare și, în special, de proprietățile uleiului. De asemenea, favorizată de tensiuni de contact ridicate și durificarea puternică a flancurilor. FZG a dezvoltat și standardizat prin DIN 51 354, CEC și ASTM o metodă de testare și clasificare a lubrifianților pentru roți dințate de uz industrial general. Pentru evaluarea și clasificarea uleiurilor destinate transmisiilor automobilelor s-a dezvoltat o metodologie separată.)

Testele FZG pentru transmisii cu roți cilindrice utilizează standuri, care, la bază conțin elementele schemei din figura 2.26, la care se pot adăuga subansambluri specifice pentru variația și măsurarea parametrilor de influență

urmăriți.

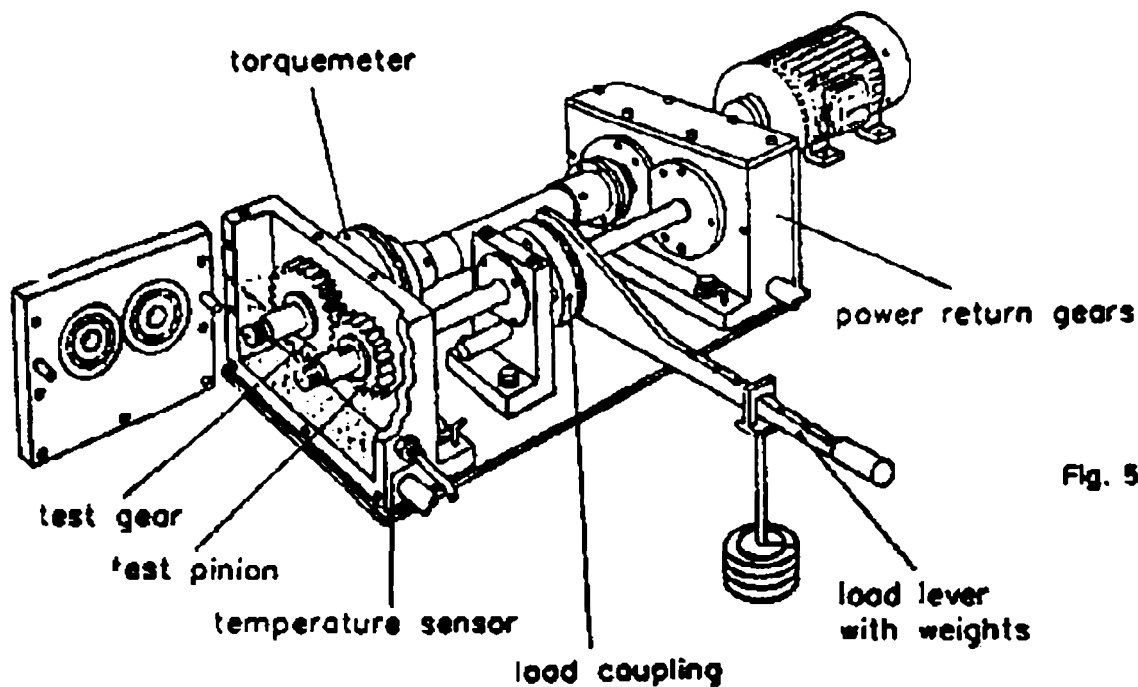


Fig. 5:

Fig. 2.26. Schema de bază în circuit mecanic închis utilizată de FZG pentru testarea roților cilindrice (test gear – roata condusă a transmisiei încercate, test pinion – pinion testat, temperature sensor – senzor de temperatură, load coupling – cuplaj torsiometric, load lever with weights – braț cu greutate pentru variația încărcării, power return gears – transmisie de returnare, torquemeter – element de măsurare a momentului de torsiune)

[W21]

□ Capacitatea portantă și eficiența angrenajelor conice și hipoide

Pentru testarea transmisiilor cu angranjaje conice sau hipoide, FZG utilizează tot standuri cu circuit mecanic închis. Acesta conține transmisia simetrică (hipoidă sau conică mai robustă) și două transmisii cilindrice pentru închiderea geometrică a circuitului (fig. 2.27). Testele FZG urmăresc rezistența la oboseală (curbe S-N) și randamentul transmisiilor, care este micșorat datorită vitezelor de alunecare mai mari decât în cazul angrenajelor cilindrice. Standurile sunt prevăzute cu subansambluri specifice pentru determinare a erorilor de geometrie a danturii, a stării suprafeței și caracteristicilor lubrificării.

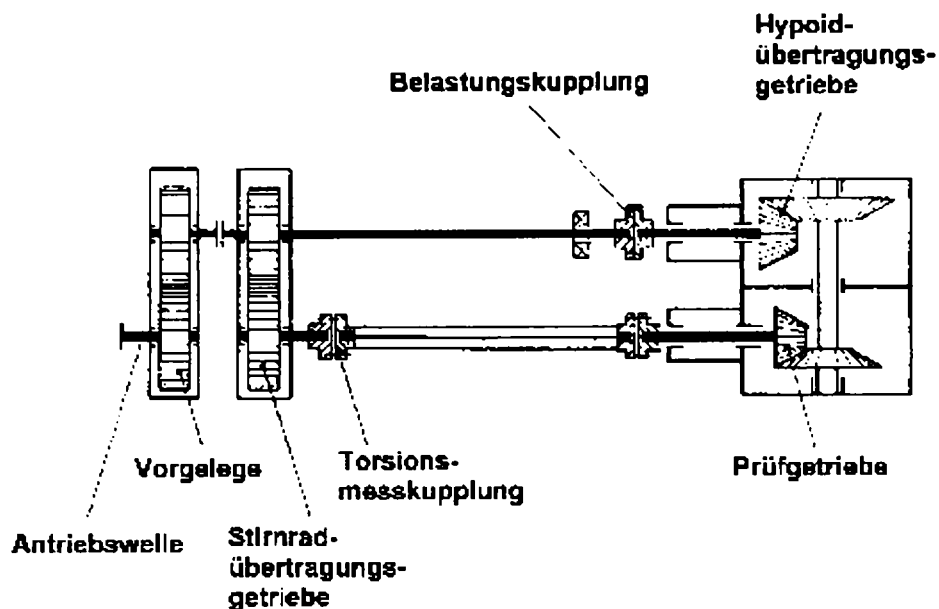


Fig. 2.27. Stand FZG cu circuit mecanic închis pentru testarea angrenajelor hipoide

□ Capacitatea portantă și randamentul angrenajelor melcate

Testele FZG urmăresc studiul pittingului, uzării prin gripare, ruperea dinților și randamentul transmisiilor melcate. Schema de bază a circuitului energorecuperativ utilizat este redat în figura 2.28.

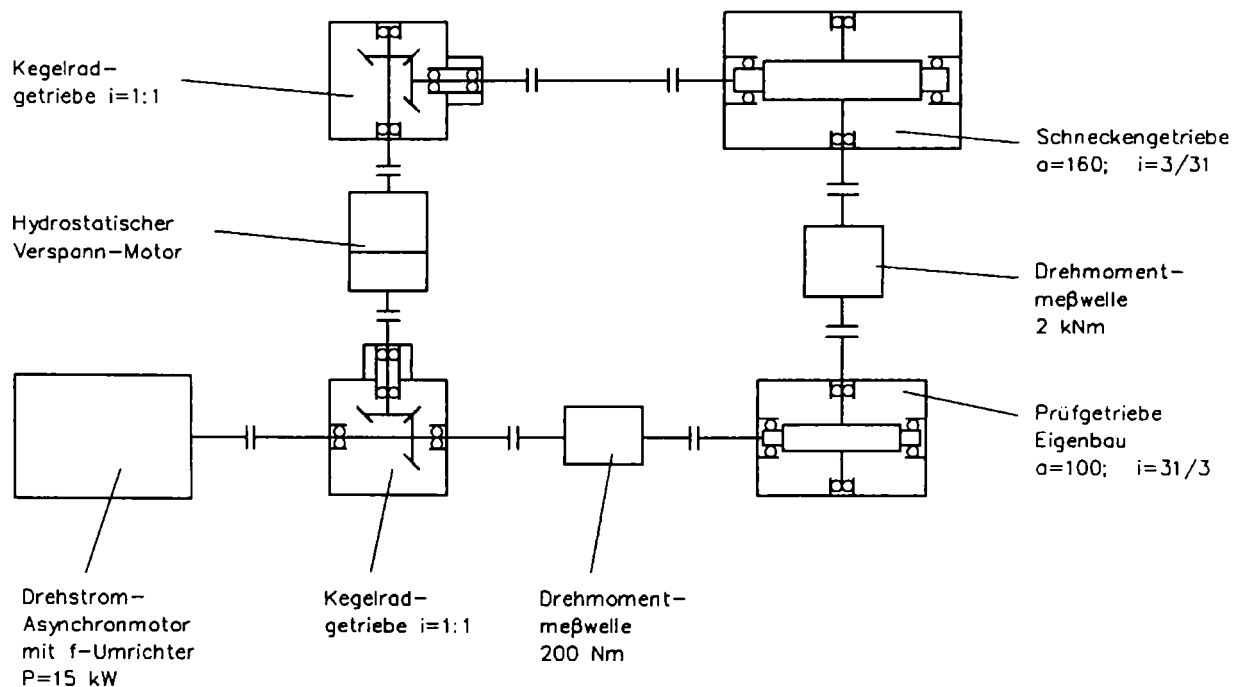


fig. 2.28. Schema standului energorecuperativ destinat testării transmisiilor melcate [W21]

Închiderea mecanică a circuitului se realizează cu două grupuri conice având raport de transmitere unitar (Kegelradgetriebe $i=1:1$ – fig. 2.28), iar încărcarea este asigurată cu un motor hidrostatic (Hydrostatischer Verspann-Motor – fig. 2.28). Măsurarea momentului se face atât pe treapta rapidă cât și pe cea lentă (Drehmomentmesswelle 200 Nm, respectiv 2 kNm – fig. 2.28).

Testele urmăresc rata de uzare specifică, evoluția fenomenului de pitting, ruperea dinților prin oboseală și randamentul transmisiei de testat (Prufgetriebe Eigenbau – fig. 2.28).

2.3. CARACTERISTICI SPECIFICE STANDURILOR ENERGORECUPERATIVE

Standurile de testare a transmisiilor cu circuit mecanic închis prezintă două caracteristici globale esențiale, care le diferențiază și le recomandă în raport cu standurile de testare cu flux energetic deschis:

- *caracterul energorecuperativ*, rezultat al structurii închise a lanțului cinematic
- *reversibilitatea mișcării*.

Închiderea structurii este posibilă prin utilizarea unui număr par de transmisii, montate simetric (arborele de ieșire al unei transmisii se leagă cu arborele de ieșire al transmisiei pereche, la care caracterul de conducător și condus al roților, respectiv arborilor se inversează).

Pentru orice stand cu circuit mecanic închis, indiferent de numărul perechilor de transmisii și de rapoartele de transmitere ale acestora, este caracteristic un raport de transmitere total unitar (determinat de simetria structurii):

$$i_T = \prod_{j=1}^k i_j = 1. \quad (2.9)$$

Reversibilitatea este ușor accesibilă dar sensul de rotație și, respectiv, de circulație a energiei, nu este indiferent din punct de vedere al încărcării și solicitărilor. Traseele fluxurilor energetice sunt determinate de sensul de rotație și semnul momentului de încărcare, elemente a căror relație conduce la atribuirea caracterului conducător, respectiv, condus al roților unui angrenaj.

Cele două roți pot avea, pe rând, rolul de roată motoare, respectiv condusă. În cele două cazuri, punctele de contact se află pe flancurile contraomoloage ale danturii (fig. 2.29).

Din analiza figurii 2.28 se poate deduce condiția ca o roată să fie conducătoare:

$$\text{sign}(M) = \text{sign}(\omega). \quad (2.10)$$

Se atribuie indicii A și B celor două sensuri de rotație posibile. Consecutiv, se notează fluxurile energetice principale cu Φ_A și Φ_B . Fluxul energetic principal caracterizează întregul traseu cinematic, având originea în cuplajul torsional, iar sensul poate fi cel al acelor de ceasornic Φ_A sau cel trigonometric, Φ_B . Fluxul secundar sau de compensare, Φ_C (sau de însoțire) are traseul de la sursa de energie (motorul electric) la cuplajul torsionometric în sensul fluxurilor $\Phi_A - \Phi_{CA}$, respectiv $\Phi_B - \Phi_{CB}$.

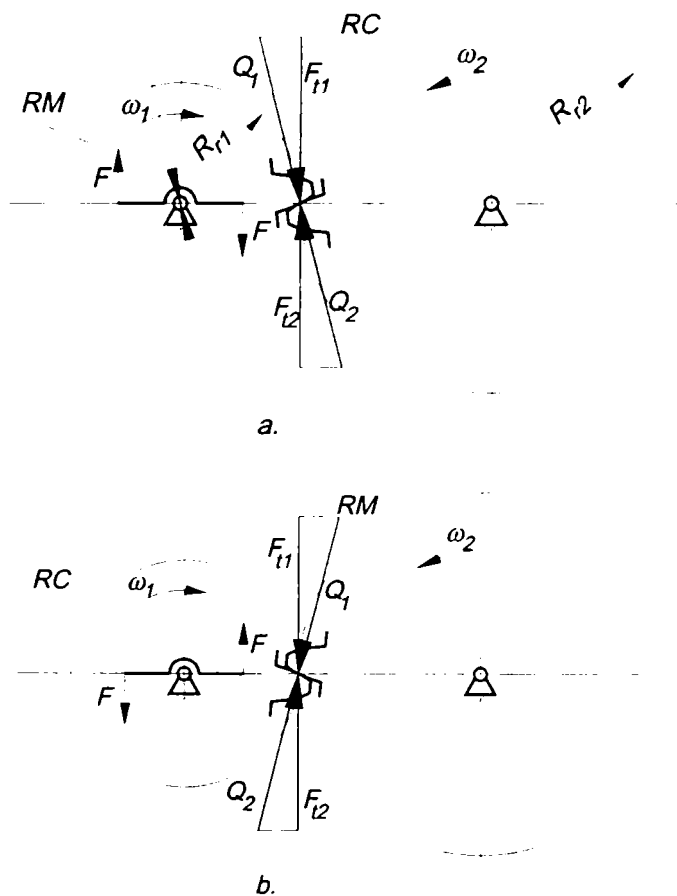


Fig. 2.29. Caracterul condus sau conducător al roților unui angrenaj funcție de sensul de rotație și semnul momentului de încărcare

Sensurile de rotație A și B sunt caracterizate de valori și distribuții diferite ale încărcării pe tronsoanele circuitului. Pentru punerea în evidență a încărcării pe cele două sensuri, se consideră o schemă de stand cu valoare de generalizare (fig. 2.30).

Schema conține k transmisii ($k/2$ perechi de transmisii simetrice), între care se interpun $k+1$ tronsoane cu elemente mecanice de susținere și legătură. De-a lungul acestora și în angrenaje apar pierderi mecanice. Din punct de vedere cantitativ, acestea pot fi modelate prin randamente, care caracterizează frecarea în punctul de contact, frecarea roților cu lubrifianțul, pierderile prin frecare în lagăre și cuplaje. Se admit η_j pierderi mecanice pe tronsonul de ordin $j \in [1; k]$.

În continuare, pentru a putea face analize comparative, se acceptă că, indiferent de sensul fluxului principal, momentul de răsucire M_{CT} dat de cuplajul torsional CT este același.

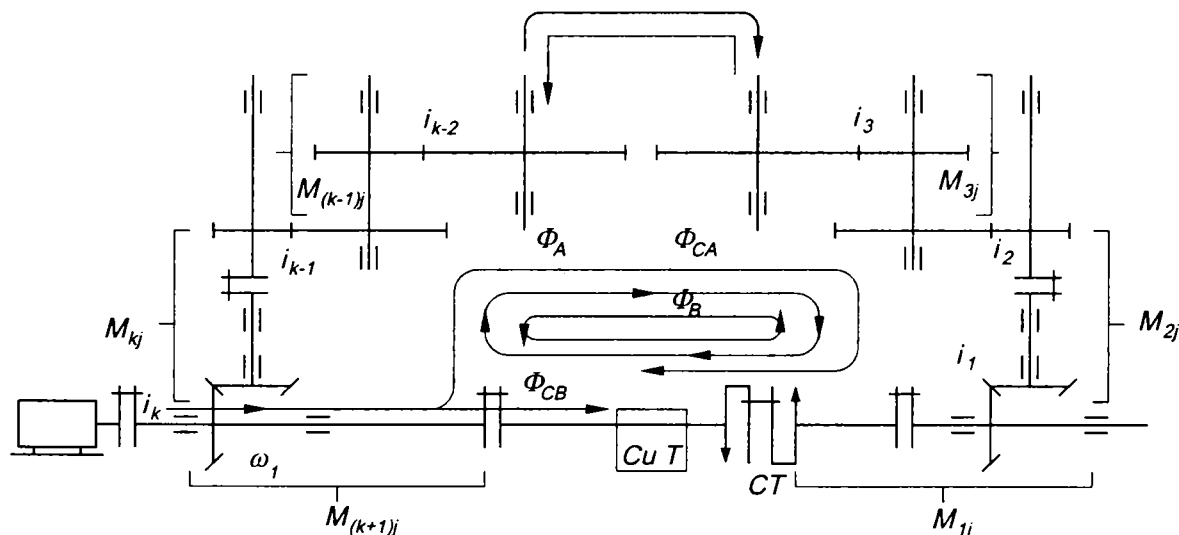


Fig.2.30. Schema cinematică generală a unui stand cu circuit mecanic închis, care conține k tronsoane cinematice

Se consideră sensul fluxului energetic Φ_A .

Momentele de torsiune și pierderile mecanice sunt ilustrate cu ajutorul figurii 2.31.

Se notează: M_{jn} - momentele de răsucire nominale din circuit pe tronsonul de ordin $j \in [1...(k+1)]$; primul indice desemnează tronsonul, iar al

doilea este numărul de ordine al punctului de transformare energocinematică de pe tronsonul respectiv.

η_{jn_j} - randamentele mecanice care caracterizează punctele de transformare energo-cinematică din circuit.

Pe primul tronson, de o parte și de alta a cuplajului torsional se vor manifesta momentele M_{1j} respectiv $M_{(k+1)j}$.

Momentele de răsucire M_{jn_j} se pot scrie în tabloul:

j	n_j	1	2	...	n_j-1	n_j
1		M_{11}	M_{12}	...	$M_{1\ n_j-1}$	$M_{1\ n_j}$
2		M_{21}	M_{22}	...	$M_{2\ n_j-1}$	$M_{2\ n_j}$
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
k		M_{k1}	M_{k2}	...	$M_{k\ n_j-1}$	$M_{k\ n_j}$
k+1		$M_{k+1\ 1}$	$M_{k+1\ 2}$...	$M_{k+1\ n_j-1}$	$M_{k+1\ n_j}$

(2.11)

Observație: Indicele n_j reprezintă numărul maxim al punctelor de transformare energo-cinematică pe tronsonul de ordin j . Numărul n_j fiind variabil rezultă că tabloul (2.11) poate conține elemente nule în locațiile din partea dreaptă a liniilor.

Momentele M_{jn_j} se determină după cum urmează:

$$M_{11} = \frac{1}{\eta_{11}} \cdot M_{CT} \quad (2.12)$$

$$M_{12} = \frac{M_{11}}{\eta_{12}} = \frac{M_{CT}}{\prod_{j=1}^2 \eta_{1j}}, \quad (2.13)$$

⋮

$$M_{(k+1)(n_{k+1}-1)} = \frac{M_{CT}}{\prod_{j=1}^{n_{(k+1)}-1} \eta_{(k+1)j} \prod_{j=1}^{n_k} \eta_{kj} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j}}, \quad (2.14)$$

$$M_{(k+1)n_{k+1}} = \frac{M_{CT}}{\prod_{j=1}^{n_{k+1}} \eta_{(k+1)_j} \prod_{j=1}^{n_k} \eta_{k_j} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j}} \quad (2.15)$$

Dacă circuitul are k trepte cinematice și se prezintă simetric, momentul maxim va fi pe treapta de ordin $k/2$:

$$M_{\frac{k}{2}n_{\frac{k}{2}}} = \prod_{j=1}^{\frac{k}{2}-1} i_j \frac{M_{CT}}{\prod_{j=1}^{\frac{n_k}{2}} \eta_{\frac{k}{2}_j} \prod_{j=1}^{n\left(\frac{k-1}{2}\right)} \eta_{\left(\frac{k-1}{2}\right)_j} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j}} \quad (2.16)$$

În figura 2.31 este reprezentată calitativ variația momentelor corespunzătoare sensului A. Sunt figurate simboluri pentru primul și ultimul punct de transformare al fiecărui tronson.

Momentul motor, necesar acoperirii pierderilor mecanice din circuit rezultă:

$$\Delta M_{\Phi A} = M_{(k+1)n_{k+1}} - M_{CT} \quad (2.17)$$

sau

$$\Delta M_{\Phi A} = M_{CT} \left[\frac{1 - \prod_{j=1}^{n_{k+1}} \eta_{(k+1)_j} \prod_{j=1}^{n_k} \eta_{k_j} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j}}{\prod_{j=1}^{n_{k+1}} \eta_{(k+1)_j} \prod_{j=1}^{n_k} \eta_{k_j} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j}} \right] \quad (2.18)$$

Se consideră sensul fluxului energetic Φ_B .

Momentele de torsiune sunt înscrise în tabloul (2.19) și redată în figura 2.32.

j	n_j	1	2	...	n_{j-1}	n_j
1		M'_{11}	M'_{12}	...	$M'_{1n_{j-1}}$	M'_{1n_j}
2		M'_{21}	M'_{22}	...	$M'_{2n_{j-1}}$	M'_{2n_j}
.	
.	
.	
k		M'_{k1}	M'_{k2}	...	$M'_{kn_{j-1}}$	M'_{kn_j}
$k+1$		M'_{k+11}	M'_{k+12}	...	$M'_{k+1n_{j-1}}$	M'_{k+1n_j}

(2.19)

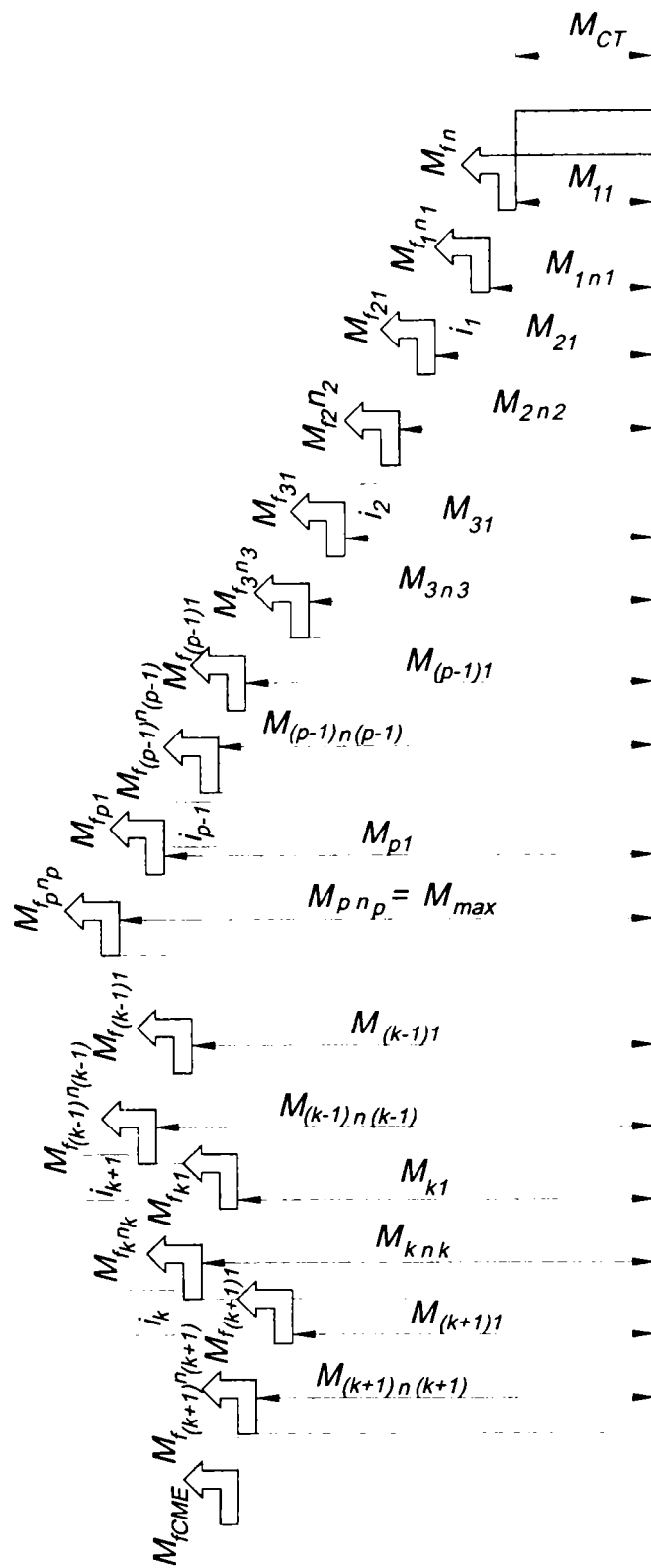


Fig.2.31. Variația momentelor de torsiune la sensul Φ_A al fluxului principal

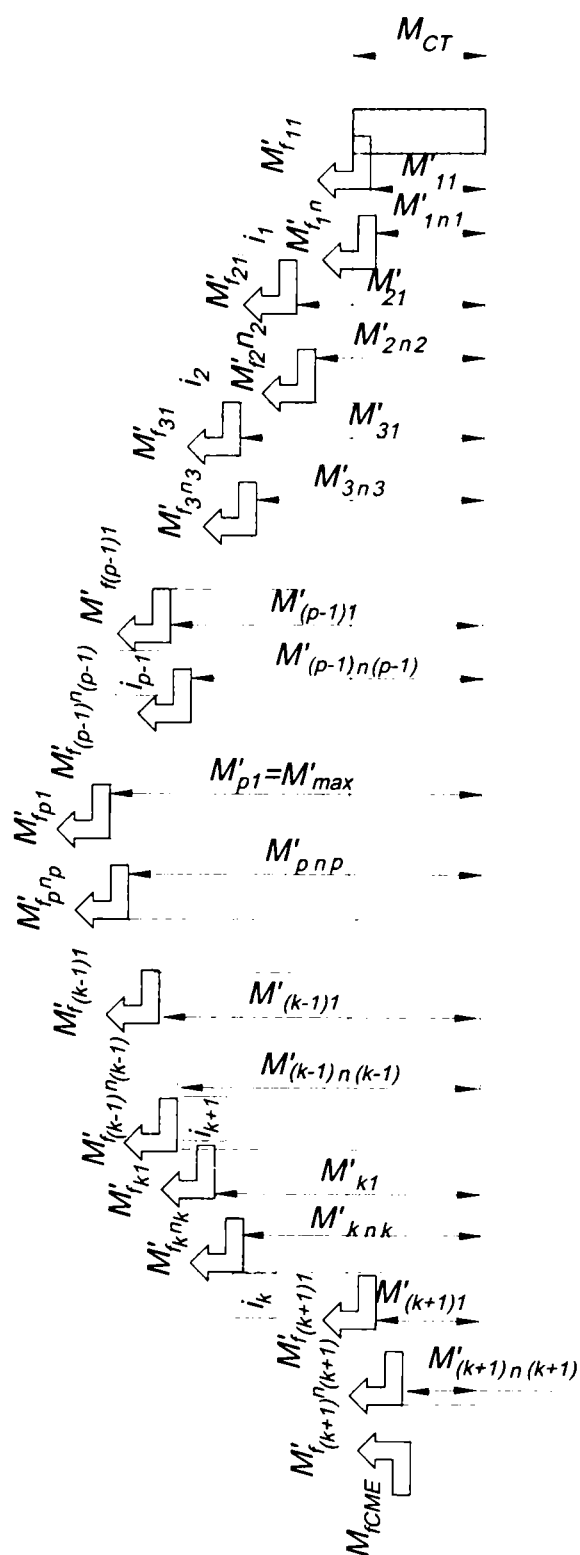


Fig.2.32. Variația momentelor de torsiune pentru sensul Φ_B al fluxului principal

Momentele M'_{jn_j} se pot scrie după cum urmează:

$$M'_{11} = M'_{CT} \cdot \eta_{11} \wedge M'_{CT} = \text{const.} = M_{CT}, \quad (2.20)$$

$$M'_{12} = M'_{11} \cdot \eta_{12} = M_{CT} \prod_{j=1}^2 \eta_{1j}, \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} M'_{(k+1)n_{k+1}} &= M'_{(k+1)(n_{k+1}-1)} \eta_{(k+1)(n_{k+1})} = \\ &= M_{CT} \prod_{j=1}^{n_{k+1}} \eta_{(k+1)j} \prod_{j=1}^{n_k} \eta_{kj} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j}. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Momentul maxim va fi tot pe tronsonul central:

$$M'_{\frac{k}{2} \frac{n_k}{2}} = M_{CT} \prod_{j=1}^{\frac{k-1}{2}} \eta_j \prod_{j=1}^{\frac{n_k}{2}} \eta_{\frac{k}{2}j} \cdot \prod_{j=1}^{n(\frac{k-1}{2})} \eta_{(\frac{k-1}{2})j} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j}. \quad (2.24)$$

Momentul motor necesar acoperirii pierderilor mecanice rezultă:

$$\Delta M_{\Phi B} = M_{CT} - M'_{(k+1)(n_{k+1})} = M_{CT} \left[1 - \prod_{j=1}^{n_{k+1}} \eta_{(k+1)j} \prod_{j=1}^{n_k} \eta_{kj} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j} \right] \quad (2.25)$$

Cu ajutorul momentelor determinate în toate punctele de transformare energetică se pot defini o serie de parametri caracteristici, printre care și următorii:

- pierderile de putere, pe circuitul energetic, până la un tronson k

$$\Delta P_{CT} = P_{CT} - P_{n_j} = \sum_{n=1}^{n_k} \sum_{j=1}^k \Delta P_{n_j}, \quad (2.26)$$

unde P_{CT} este puterea la cuplajul torsional

- pierderile relative de putere

$$\Psi_{P_{CT}} = \frac{\Delta P_{CT}}{P_{CT}} = 1 - \frac{P_{n_j}}{P_{CT}}, \quad (2.27)$$

- variația momentului motor

$$\Delta M_{\Phi AB} = \Delta M_{\Phi A} - \Delta M_{\Phi B}, \quad (2.28)$$

sau

$$\Delta M_{\Phi_{AB}} = M_{CT} \frac{\left[1 - \prod_{j=1}^{n_{k+1}} \eta_{(k+1)j} \prod_{j=1}^{n_k} \eta_{kj} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j} \right]^2}{\prod_{j=1}^{n_{k+1}} \eta_{(k+1)j} \prod_{j=1}^{n_k} \eta_{kj} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j}} \quad (2.29)$$

Cu notația: $\psi_0 = 1 - \prod_{j=1}^{n_{k+1}} \eta_{(k+1)j} \prod_{j=1}^{n_k} \eta_{kj} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j}$ (2.30)

pentru *coeficientul de pierderi*, relația (2.28) devine:

$$\Delta M_{\Phi_{jAB}} = \frac{\psi_0^2}{1 - \psi_0} M_{CT} \quad (2.31)$$

□ *diferența maximă între momentele de pe același tronson, la schimbarea sensului fluxului (pe treapta de ordin $k/2$ în cazul circuitelor cu două transmisii identice din punct de vedere cinematic)*

$$\max(\Delta M_{\Phi_{jAB}}) = M_{\frac{k}{2} \frac{n_k}{2}} - M'_{\frac{k}{2} \frac{n_k}{2}} \quad (2.32)$$

sau
$$\max(\Delta M_{\Phi_{jAB}}) = M_{CT} \prod_{j=1}^{\frac{k-1}{2}} i_j \frac{\left[1 - \prod_{j=1}^{\frac{n_k}{2}} \eta_{\frac{k}{2}j} \prod_{j=1}^{n(\frac{k-1}{2})} \eta_{(\frac{k-1}{2})j} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j} \right]^2}{\prod_{j=1}^{\frac{n_k}{2}} \eta_{\frac{k}{2}j} \prod_{j=1}^{n(\frac{k-1}{2})} \eta_{(\frac{k-1}{2})j} \cdots \prod_{j=1}^{n_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{n_1} \eta_{1j}} \quad (2.33)$$

Se observă că această diferență este cu atât mai pronunțată cu cât momentul introdus de cuplajul torsional M_{CT} este mai mare, iar traseul fluxului energetic mai lung (k mare), respectiv cu cât randamentele parțiale ale transmisiei sunt mai mici. Rezultă de aici că pentru o transmisie mecanică dată ce urmează a fi încercată sau rodată (M_{CT} cunoscut) încărcările pe flancurile omoloage și contraomoloage vor diferi cu atât mai mult cu cât numărul transmisiilor incluse în circuit va fi mai mare.

Prin urmare, din condiția de limitare a diferenței de încărcare pe flancuri la schimbarea sensului fluxului energetic principal, rezultă că nu se recomandă depășirea numărului minim de transmisii cu încărcare reversibilă în circuit.

□ *diferențele de încărcare exprimate funcție de putere*

$$\Delta P_{\Phi_{jAB}} = P_{\Phi_{jA}} - P_{\Phi_{jB}}, \quad (2.34)$$

$$\text{și } \Delta P_{f_{\Phi_{jAB}}} = P_{f_{\Phi_{jA}}} - P_{f_{\Phi_{jB}}}. \quad (2.35)$$

□ *variația încărcării relative*

$$\frac{\Delta M_{\Phi_{jAB}}}{M_{CT}} = \frac{\Delta M_{\Phi_{jAB}}}{M_{CT}} = \frac{M_{\Phi_{jA}} - M_{\Phi_{jB}}}{M_{CT}} \quad (2.36)$$

Variația maximă a încărcării relative se înregistrează pe tronsonul (k+1):

$$\frac{\Delta M_{(k+1)}}{M_{CT}} = \frac{M_{(k+1)\eta_{(k+1)}} - M'_{(k+1)\eta_{(k+1)}}}{M_{CT}} = \frac{1 - \left[\prod_{j=1}^{\eta_{k+1}} \eta_{(k+1)j} \prod_{j=1}^{\eta_k} \eta_{kj} \cdots \prod_{j=1}^{\eta_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{\eta_1} \eta_{1j} \right]^2}{\prod_{j=1}^{\eta_{k+1}} \eta_{(k+1)j} \prod_{j=1}^{\eta_k} \eta_{kj} \cdots \prod_{j=1}^{\eta_2} \eta_{2j} \prod_{j=1}^{\eta_1} \eta_{1j}} \quad (2.37)$$

□ *coeficientul încărcării reversibile* (definit ca raport al momentelor de torsiune corespunzătoare celor două sensuri ale fluxurilor energetice)

$$\Psi_{M_{\Phi_{jAB}}} = \frac{M_{\Phi_{jA}}}{M_{\Phi_{jB}}} = \frac{P_{\Phi_{jA}}}{P_{\Phi_{jB}}} = \Psi_{P_{\Phi_{jAB}}}, \quad (2.38)$$

□ *coeficientul tensiunilor reversibile (în pol)*

$$\Psi_{\sigma_k \Phi_{jAB}} = \frac{\sigma_{k\Phi_{jA}}}{\sigma_{k\Phi_{jB}}} = \sqrt{\Psi_{M_{\Phi_{jAB}}}}, \quad (2.39)$$

un parametru mai veridic pentru a caracteriza efectul încărcării reversibile în polul angrenării, pentru angrenajele solicitate preponderent la tensiunea de contact.

În mod similar se poate introduce coeficientul tensiunii încovoietoare reversibile.

Cu ajutorul coeficientului încărcării reversibile se poate stabili mai concludent limita eficienței introducerii mai multor transmisii în circuit. Se subliniază faptul că diverse lucrări tehnice, prospecte etc. indică în mod eronat posibilitatea încercării sau rodării simultane a trei sau patru transmisii cu mai multe trepte fiecare.

□ *randamentul* (parametru sintetic al standului)

j	n_j	1	2	...	n_{j-1}	n_j
1		η_{11}	η_{12}	...	$\eta_{1 n_{j-1}}$	$\eta_{1 n_j}$
2		η_{21}	η_{22}	...	$\eta_{2 n_{j-1}}$	$\eta_{2 n_j}$
.	
.	
.	
k		η_{k1}	η_{k2}	...	$\eta_{k n_{j-1}}$	$\eta_{k n_j}$
k+1		$\eta_{k+1 1}$	$\eta_{k+1 2}$...	$\eta_{k+1 n_{j-1}}$	$\eta_{k+1 n_j}$

(2.40)

pentru fluxul Φ_A și

j	n_j	1	2	...	n_{j-1}	n_j
1		η'_{11}	η'_{12}	...	$\eta'_{1 n_{j-1}}$	$\eta'_{1 n_j}$
2		η'_{21}	η'_{22}	...	$\eta'_{2 n_{j-1}}$	$\eta'_{2 n_j}$
.	
.	
.	
k		η'_{k1}	η'_{k2}	...	$\eta'_{k n_{j-1}}$	$\eta'_{k n_j}$
k+1		$\eta'_{k+1 1}$	$\eta'_{k+1 2}$...	$\eta'_{k+1 n_{j-1}}$	$\eta'_{k+1 n_j}$

(2.41)

pentru fluxul Φ_B .

În literatura de specialitate există relații teoretice pentru evaluarea randamentului, metode și mijloace experimentale pentru determinarea sa și indicații tabelare pentru estimarea randamentului angrenării, a pierderilor în lagăre, în cuplaje, prin contactul cu lubrifianțul etc.

Ceea ce interesează în mod deosebit la un asemenea circuit închis este randamentul total. Teoretic, acest randament poate fi determinat prin relațiile:

- pentru sensul Φ_A :

$$\eta_{TOT} = \frac{M_{CT}}{M_{(k+1)n_{k+1}}}, \quad (2.42)$$

- pentru sensul Φ_B :

$$\eta_{TOT} = \frac{M_{(k+1)n_{k+1}}}{M_{CT}}. \quad (2.43)$$



Din relațiile (2.42) și (2.43) rezultă că randamentul poate fi determinat cunoscând valorile momentelor M_{CT} și $M_{(k+1)n_{k+1}}$, respectiv $M_{(k+1)n_{k+1}}$.

2.4. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

Materialul prezentat în primul capitol al acestei lucrări conduce la următoarele observații și concluzii:

- transmisiile cu angrenaje sunt larg utilizate în construcția unor mașini și echipamente fabricate în producție de serie și masă, în condițiile în care cerințele de calitate și fiabilitate sunt impuse de piață la un nivel tot mai ridicat
 - tradiția îndelungată în proiectare și execuție au condus la elaborarea și acceptarea relativ unanimă la nivel mondial a unor standarde de calcul al angrenajelor. Continentul european lucrează după standardul ISO-DIN, iar cel american după normativul ANSI, cele două sisteme de normare fiind similare prin mijlocirea AGMA
 - calculul analitic, îmbogățit prin corecții rezultate din practica funcționării, este urmat de faza modelării și simulării numerice prin softuri dedicate, în general, bazate pe metoda elementului finit
 - deși procedeele de modelare-simulare au atins un înalt grad de rafinament și acoperă o arie largă de parametri de funcționare, ultima etapă obligatorie de validare a calității unei transmisii este testarea pe stand. Pentru asigurarea unei bune funcționări îndelungate și în condițiile proiectării judicioase a standului de testare, acesta poate fi utilizat și pentru rodarea ansamblului
 - standurile de testare a transmisiilor cu angrenaje se deosebesc fundamental din punct de vedere structural și constructiv-funcțional în raport cu caracterul deschis sau închis al lanțului cinematic care le definește
 - standurile de testare cu circuit deschis conțin, principal, o sursă de energie, transmisia de testat și elementul disipator de energie. Din punct de vedere constructiv, au o structură complexă și ridică probleme deosebite privind disiparea căldurii și uzura intensă a frânei – elemente care definesc principalele dezavantaje ale schemei de testare deschise. Ca avantaje se
-

pot enumera gradul relativ ridicat de universalitate și posibilitatea reproducerii pe stand, la un nivel de fidelitate tehnic bun, a condițiilor reale de lucru. Oferta firmelor de profil este aproape exclusiv orientată pe standuri cu circuit deschis, în numeroase variante (cu acționare și frânare electrică, hidraulică, mecanică etc.). Construcțiile sunt masive, complexe și au prețuri foarte ridicate, de ordinul sutelor de mii de Euro. Încălzirea accentuată și uzura rapidă le recomandă numai pentru probe de scurtă durată și nu pentru cele de anduranță și rodaj. Construcția standului, în general, nu permite inversarea mișcării și, deci, testarea transmisiilor reversibile.

□ standurile de testare a transmisiilor cu angranje în circuit închis elimină din schemă elementul disipativ de energie și, la nivel constructiv, sistemele aferente de răcire. De asemenea, reduce semnificativ consumul energetic, până la nivelul la care sursa exterioară trebuie să acopere exclusiv pierderile energetice din elementele mecanice ale circuitului (angrenaje, cuplaje, lagăre). Aceste caracteristici importante indică standurile cu circuit închis pentru testarea transmisiilor de putere mare și rodarea oricărui tip de transmisie

□ închiderea circuitului se poate realiza pe cale mecanică, hidraulică sau electrică, dar majoritatea soluțiilor umează prima variantă

□ standurile cu circuit închis au un caracter energorecuperativ; ele conțin mai multe transmisii legate într-o buclă geometric închisă în care energia este continuu recirculată

□ din punct de vedere cinematic, standurile cu circuit închis sunt caracterizate prin raport de transmitere total unitar și posibilitatea reversibilității mișcării

□ structura standului poate include una sau mai multe bucle energetice închise

□ nivelul de încărcare a treptelor transmisiilor legate în buclă depinde esențial de situarea lor în raport cu sursa de energie, de poziția lor relativă față de cuplajul torsional, respectiv de sensul fluxurilor energetice. Aceste elemente influențează decisiv parametrii energetici locali pe traseul circuitului, ceea ce impune un *studiu de optimizare* a structurii. Totodată

numărul buclilor, numărul transmisiilor și poziția lor relativă pe buclă trebuie să constituie obiectul unui demers de optimizare pentru fiecare aplicație. Literatura de specialitate nu oferă suficientă informație referitoare nu numai la aceste probleme de profunzime, ci, în general, la posibilitatea de optimizare a standurilor cu circuit închis

□ considerând ca punct de referință dispozitivul de încărcare a sistemului, s-a definit fluxul energetic principal, ca traseu de recirculare a energiei. De asemenea, s-a pus în evidență fluxul energetic numit secundar sau de compensare care include partea de buclă pe care sursa debitează energia de acoperire a pierderilor din circuit. De remarcat este faptul că lungimea și caracteristicile energetice ale fluxurilor principal și secundar pot fi foarte diferite pentru cele două sensuri de rotație posibile

□ s-a dezvoltat o procedură de determinare a încărcărilor pentru un caz general de schemă a unui stand cu circuit închis, cu tratarea separată pe cele două sensuri de rotație

□ s-a definit o serie de parametri caracteristici ai standurilor cu circuit închis mecanic, printre care: pierderile de putere, pierderile de putere relative, variația momentului motor la schimbarea sensului, coeficientul de pierderi, diferența maximă de încărcare pe același tronson oarecare, variația încărcării relative, coeficientul încărcării reversibile și randamentul total

□ standurile energorecuperative se găsesc mai ales în laboratoarele unor institute de cercetare și mai puțin în producția firmelor furnizoare de echipamente de testare sau produse care conțin transmisiile cu angrenaje. Rezultă că eficiența și rafinamentul testelor, specifice unui laborator de cercetare, conferă un grad de superioritate, nu numai din punct de vedere al avantajelor teoretice, ci și din acela al performanțelor practice, față de standurile cu circuit energetic deschis, uzual prezente într-un laborator uzinal

□ cele mai aprofundate și minuțioase cercetări bazate pe încercări practicate pe standuri cu circuit mecanic închis se desfășoară la institutul FZG, de pe lângă Universitatea Tehnică din München

□ toate materialele bibliografice consultate au vizat scheme de principiu,



subansambluri adiționale, avantaje și comunicări de rezultate practice, dar nu au conținut referiri la optimizarea proiectării a standului în sine. Singura lucrare care deschide drum unui astfel de subiect este volumul "Încercarea angrenajelor", semnat de conducătorul acestei lucrări

□ studiul, perfecționarea și realizările practice în domeniul standurilor de testare a transmisiilor cu angrenaje se bucură de o tradiție de peste 40 de ani în Catedra de Organe de mașini și mecanisme a Universității Politehnica din Timișoara.

În capitolul al doilea al prezentei lucrări se regăsesc unele contribuții ale autoarei, printre care și următoarele:

□ sinteza și analiza unui material foarte bogat, autohton, european și american, relativ la încercarea transmisiilor cu angrenaje în general, dar cu slabă ramificare spre obiectul tezei

□ sistematizarea cunoștințelor existente referitoare la standurile de testare cu circuit mecanic închis

□ studiul critic al ofertei de echipamente de testare a angrenajelor, la nivel mondial, utilizate predilect la standurile cu flux energetic deschis

□ introducerea unui parametru nou, **coeficientul tensiunilor reversibile în pol**, ca deosebit de concludent și sintetic pentru aprecierea eficienței și a echilibrului energetic al standurilor energorecuperative, destinate atât testării cât și rodării transmisiilor prin angrenaje.

BIBLIOGRAFIE

[B1], [B2], [B3], [C1], [E3], [E4], [E7], [G1], [G2], [H1], [H3], [H4], [K1], [K2], [K3], [M1], [M2], [M3], [N1], [N2], [N3], [N4], [N5], [N6], [N7], [N8], [N9], [N10], [N11], [N12], [N13], [N14], [N15], [N16], [R5], [R6], [S1], [S2], [V1], [V2], [W1], [W2], [W3], [W4], [W5], [W6], [W7], [W7], [W8], [W9], [W10], [W11], [W12], [W13], [W14], [W15], [W20], [W21], [W22]



3. Principii și algoritmi de optimizare constructiv-funcțională și energetică a standurilor de testare în circuit închis a transmisiilor prin angrenaje



3.1. PARTICULARITĂȚI CONSTRUCTIV-FUNCȚIONALE ȘI ALGORITMI DE OPTIMIZARE A STANDURILOR ENERGORECUPERATIVE

Testarea unei transmisii mecanice presupune includerea acesteia într-un circuit care să asigure acționarea sistemului mecanic, încărcarea controlată a elementelor testate și măsurarea parametrilor energetici și cinematici în timp real în anumite puncte ale circuitului.

Utilizarea unei scheme în circuit închis impune asocierea următoarelor subansambluri:

- transmisia de încercat
- o transmisie identică sub aspect cinematic, plasată în circuit în poziție simetrică, frecvent, ca transmisie de returnare
- o sursă de energie pentru acționarea standului (motor electric, hidraulic, cu ardere internă etc.), având și rolul de a acoperi pierderile mecanice din circuit
- un subansamblu – cuplaj torsional – de simulare a încărcării sistemului mecanic (după diverse legi, cu comandă în repaus sau dinamic)
- echipamente pentru măsurarea momentului de torsiune, a turației, temperaturii, vibrațiilor, nivelului de zgomit etc.
- elemente mecanice de legătură și închidere a sistemului mecanic energorecuperativ.

În figura 3.1 este prezentată schema cinematică a unui circuit de încercare închis, destinat testării unei transmisii melcate.

Se observă prezența simetrică a unei transmisii-pereche, a dispozitivului de încărcare și a sistemului de măsurare a momentului pe ramura rapidă a circuitului, precum și introducerea a două grupuri conice, necesare pentru închiderea geometrică a circuitului. Sursa de energie este plasată într-o poziție oarecare în sistem, urmând ca situarea sa finală să fie determinată pe baza unor criterii de optimizare energetică a circuitului.

Pe schemă au fost atribuite numere de ordine punctelor de transfer energetic, respectiv cuplelor tribologice, care determină pierderi energetice, numite și puncte de transformare energo-cinematică. Aceste puncte pot fi

asociate prin randamente specifice, care furnizează informații despre pierderile mecanice, respectiv despre aportul de energie pe care sursa de acționare trebuie să îl furnizeze sistemului.

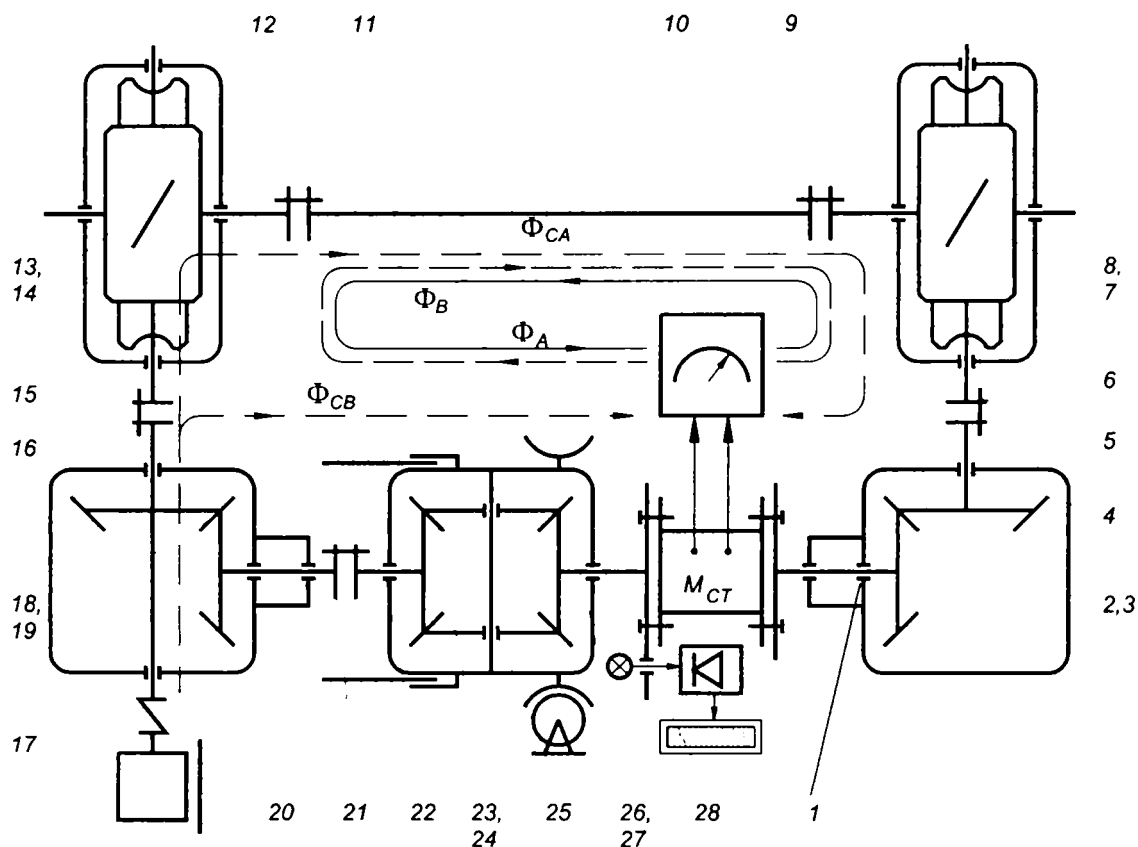


Fig. 3.1. Schema cinematică a unui stand de testare în circuit închis pentru transmisiile melcate

Numerele de ordine au fost atribuite pentru a sublinia următoarele tipuri de pierderi energetice:

- în lagăre din circuit (punctele 1, 4, 6, 9, 12, 15, 17, 20, 22, 25, 28)
- în cuplaje (punctele 5, 10, 11, 16)
- în angrenaje (punctele 2, 7, 13, 18, 23, 26)
- în angrenaje prin frecarea cu uleiul (punctele 2, 7, 13, 18, 23, 26).

Având stabilită schema constructivă de principiu, se poate trece la optimizarea energetică și de încărcare reversibilă a circuitului. Pentru aceasta trebuie avute în vedere următoarele observații:

- sursa exterioară de energie acoperă numai pierderile energetice din circuit

- fluxul energetic principal poate avea sensul Φ_A , respectiv Φ_B , funcție de sensul vitezei unghiulare ω și de sensul rotirii relative a elementelor cuplajului torsional
- pe o porțiune, traseul mecanic este străbătut numai de fluxul principal (Φ_{A1} sau Φ_{B1}), iar pe porțiunea complementară, atât de fluxul principal, cât și de fluxul de compensare, Φ_C , provenit de la sursa exterioară de energie (Φ_{A2} respectiv Φ_{B2})
- momentul generat de cuplajul torsional, M_{CT} reprezintă o mărime de referință a circuitului, la care se raportează toate celelalte valori M_{Φ_A} sau M_{Φ_B}
- poziția relativă a sursei de energie și a cuplajului torsional determină semnul și valoarea unor parametrii specifici, cum sunt:
 - încărcările concrete în fiecare punct al circuitului
 - momentul motor la sensul A, respectiv B al fluxului energetic principal
 - puterea sursei exterioare
 - randamentul mecanic aferent celor două sensuri A și B
 - variația încărcării la schimbarea sensului fluxului principal
 - coeficientul încărcării reversibile
 - coeficientul tensiunilor reversibile
 - numărul și raportul transformărilor energocinematice
 - lungimea traseului fluxului secundar etc.

Pentru optimizarea constructiv-funcțională a circuitului se propune un algoritm care se desfășoară în două etape distincte:

1. În prima etapă se urmărește dispunerea optimă în schema cinematică a standului a cuplajului torsiodynamic funcție de caracteristicile cinematice, energetice și constructive ale diverselor tronsoane

Se are în vedere:

a. declararea unor parametri ai fluxurilor energetice principale și secundare considerați semnificativi pentru caracterizarea sistemului drept criterii de optimizare

b. asigurarea aceleiași încărcări pentru ambele sensuri ale fluxului energetic principal (momentelor de torsiune indicate de elementul de măsurare fiind egale)

2. în a doua etapă, optimizarea urmărește minimizarea variației încărcărilor relative la acționare reversibilă în condițiile în care poziția optimă în circuit a sursei exterioare a fost stabilită.

1. Pentru prima etapă se formulează următoarele criterii posibile de optimizare:

a. minimizarea puterii sursei exterioare, funcție de punctul de conectare a sursei, j_m

$$\Delta M_{A,j_m} = M_{\Phi A2,j_m} - M_{\Phi A1,j_m} = M_{CT} \left[\frac{1}{\prod_1^{j_m} \eta_j} - \prod_{j_m}^{j_{max}} \eta_j \right] \cup \begin{cases} j \in [1 \dots j_{max}] \\ j_m \in [j_{m1} \dots j_{mk}] \end{cases} \quad (3.1)$$

respectiv

$$\Delta M_{B,j_m} = M_{\Phi B2,j_m} - M_{\Phi B1,j_m} = M_{CT} \left[\frac{1}{\prod_1^{j_m} \eta_j} - \prod_{j_m}^{j_{max}} \eta_j \right] \cup \begin{cases} j \in [1 \dots j_{max}] \\ j_m \in [j_{m1} \dots j_{mk}] \end{cases} \quad (3.2)$$

b. minimizarea variației momentului motor la schimbarea sensului fluxului principal

$$\Delta M_{j_m} = \Delta M_{A,j_m} - \Delta M_{B,j_m} = M_{CT} \left[\left(\frac{1}{\prod_1^{j_m} \eta_j} - \frac{1}{\prod_{j_m}^{j_{max}} \eta_j} \right) - \left(\prod_{j_m}^{j_{max}} \eta_j - \prod_1^{j_m} \eta_j \right) \right] \quad (3.3)$$

c. minimizarea raportului încărcării reversibile la arborele motor

$$\overline{\Delta M}_{j_m} = \frac{\Delta M_{A,j_m}}{\Delta M_{B,j_m}} = \frac{\left(\frac{1}{\prod_{j=1}^{j_m} \eta_j} - \prod_{j=1}^{j_{\max}} \eta_j \right)}{\left(\frac{1}{\prod_{j=1}^{j_{\max}} \eta_j} - \prod_{j=1}^{j_m} \eta_j \right)} \quad (3.4)$$

d. minimizarea variației încărcării la schimbarea sensului fluxului principal

$$\Delta M_{AB,j} = M_{\Phi A,j} - M_{\Phi B,j} \cup \begin{cases} A = A_1 \vee A_2 \\ B = B_1 \vee B_2 \end{cases} \quad (3.5)$$

e. minimizarea sumei globale a variației încărcării pentru cele două sensuri ale fluxurilor energetice

$$\sum_1^{j_{\max}} (\Delta M_{AB,j}) = \sum_1^{j_{\max}} (M_{\Phi A,j} - M_{\Phi B,j}) = \min \cup \begin{cases} A = A_1 \vee A_2 \\ B = B_1 \vee B_2 \end{cases} \quad (3.6)$$

f. coeficientul încărcării reversibile:

$$\Psi_{M_{\Phi jAB}} = \frac{M_{\Phi jA}}{M_{\Phi jB}} = \frac{P_{\Phi jA}}{P_{\Phi jB}} = \Psi_{P_{\Phi jAB}} \quad (3.7)$$

g. coeficientul tensiunilor reversibile în pol

$$\Psi_{\sigma_{k\Phi jAB}} = \frac{\sigma_{k\Phi jA}}{\sigma_{k\Phi jB}} \quad (3.8)$$

h. raportul mediu al încărcării reversibile:

$$R = \left(\frac{M_{Aj}}{M_{Bj}} \right)_{\text{med}} \quad (3.9)$$

O analiză detaliată a evoluției și influenței acestor criterii permite selectarea celor mai semnificative pentru comportarea sistemului, iar în interiorul setului de criterii admise, se pot atribui factori de pondere.

2. Optimizarea completă impune folosirea condițiilor prevăzute în etapa a

doua:
$$\sum_1^{j_{\max}} \left(\frac{M_{\Phi A,j}}{(M_{CT})_A} - \frac{M_{\Phi B,j}}{(M_{CT})_B} \right) = 0, \quad (3.10)$$

de unde rezultă $(M_{CT})_B = f(M_{CTA})$.



3.2. PROGRAM AUTOMAT PENTRU ANALIZA ENERGETICĂ A CIRCUITULUI MECANIC ÎNCHIS

Aplicarea criteriilor enunțate în paragraful anterior presupune crearea unei baze de date extinse, a cărei prelucrare și interpretare permite aprecierea variației parametrilor energetici ai circuitului mecanic în diverse puncte și, în final, optimizarea circuitului din punct de vedere funcțional.

Volumul mare al datelor vehiculate în timpul procesului de analiză și optimizare indică necesitatea automatizării, atât pentru scurtarea timpului de lucru, cât și pentru asigurarea acurateții calculului prin eliminarea erorilor foarte probabile în algoritmi lungi.

S-a procedat la elaborarea unui program automat, conceput în mediul Microsoft Visual Basic.

Programul VB conține un modul *Form*, căruia i se asociază un modul *Code*. Modulul *Form* (fig.3.2) reprezintă interfața cu operatorul. Controalele inserate în modul permit introducerea datelor, execuția calculelor și memorarea rezultatelor.

Realizarea modulului are la bază ideea de modelare matematică a circuitului mecanic cu ajutorul unui parametru energetic sintetic și anume randamentul. Astfel, pentru fiecare punct de transfer energetic s-a prevăzut un element de identificare, care introduce în calcul o valoare specifică a randamentului mecanic.

Schema cinematică a standului de încercare, cu evidențierea pozițiilor de transfer energetic, numerotate de la 1 la 28, este prezentă pe formular printr-un control *PictureBox*.

În partea de jos a schemei au fost plasate cinci perechi de controale *TextBox* – *Label*. Acestea conțin denumirea tipului de pierdere mecanică și o valoare predefinită a randamentului. Aceasta poate fi modificată de utilizator prin declanșarea evenimentului *Change()*, scris în modulul *Code* pentru controalele casetă de text.

Același tip de control, dar fără valoare predefinită, a fost atribuit pentru declararea poziției sursei de energie și raportul de transmitere al angrenajelor



melcate simetrice. Pentru grupurile conice se adoptă raport de transmitere unitar prin proiectare.

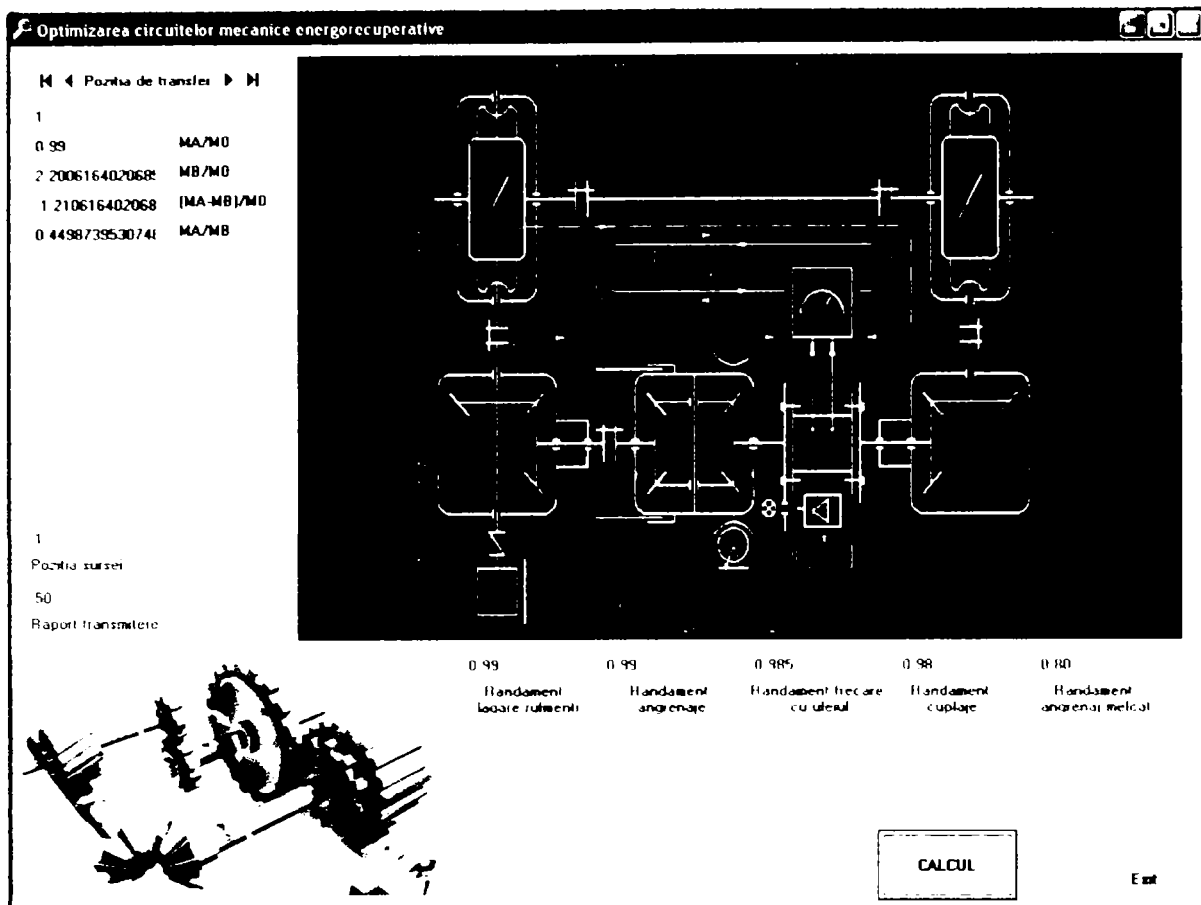


Fig.3.2. Modulul Form

Cel mai important control al formularului este controlul *Data*. Acesta are atașate cinci controale casetă de text, care conțin, în ordine: poziția de transfer, valoarea adimensionalizată (prin normarea momentului indicat la puntea tensometrică M_0 la unitate) a momentului la sensul "A", valoarea adimensionalizată a momentului la sensul "B", diferența și respectiv raportul acestora. Controlul *Data* este legat la un fișier creat în Microsoft Excel, care memorează rezultatele calculului.

Execuția calculului este controlată cu ajutorul butonului de comandă *CALCUL*, care răspunde la evenimentul *Click()* sau apăsarea tastei *Enter*, controlul având setată proprietatea *Default*. Comanda *CALCUL* execută instrucțiunile aferente înscrise în modulul *Code*, respectiv valorile corespunzătoare celor patru casete de text dependente de poziția de transfer,



legate de controlul *Data*. Fiecare calcul determină actualizarea unei linii din fișierul xls.

Ieșirea din program este asigurată prin butonul de comandă *Exit*, care răspunde la *Click()* sau tasta *Esc*, având proprietatea *Cancel*.

Modulul *Form* are titlul "*Optimizarea circuitelor mecanice energorecuperative*".

Modulul *Code*, redat în Anexa 1, conține declararea variabilelor, instrucțiunile de declanșare a evenimentelor și procedurile aferente calculului momentelor în toate punctele de transfer energetic, pentru poziția motorului de acționare în punctele 1, 4, 5, 6, 15, 16, 17, 20, 21 și 28.

În fișierul xls rezultă zece worksheet-uri corespunzătoare pozițiilor sursei de energie în circuit. Datele din tabele pot fi prelucrate pentru determinarea valorică a criteriilor descrise de relațiile (3.1...3.8) în scopul stabilirii situații optime a motorului de acționare, conform primei etape de optimizare propuse.

3.3. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

Capitolul 3 al tezei definește caracteristicile standurilor energorecuperative, propune criteriile de optimizare ale acestora și descrie un program original destinat generării automate a datelor preliminare necesare optimizării.

Este prezentată structura de principiu a unui stand de testare în circuit închis cu exemplificare pe o schemă destinată încercării unei transmisii melcate.

Sunt definite câteva caracteristici energetice ale standului printre care:

- încărcările concrete în fiecare punct al circuitului
- momentul motor la sensul A, respectiv B al fluxului energetic principal
- puterea sursei exterioare
- randamentul mecanic aferent celor două sensuri A și B
- variația încărcării la schimbarea sensului fluxului principal
- coeficientul încărcării reversibile
- raportul tensiunilor reversibile (în pol)



Unele dintre aceste caracteristici pot primi valoare de criteriu de optimizare, pentru care se propun două etape:

- determinarea poziției optime a sursei exterioare de energie în schema standandului în condițiile încărcării egale la ambele sensuri ale fluxului energetic principal
- stabilirea momentului de încărcare la cuplajul torsionometric la sensurile A și B pentru egalizarea încărcării reversibile, în condițiile în care poziția de conectare a motorului de acționare a fost determinată anterior.

Pentru desfășurarea algoritmului de optimizare a schemei cinematice și asigurarea echilibrului energetic al sistemului la reversibilitatea mișcării este necesar un volum laborios de date preliminare, corespunzătoare valorilor încărcărilor în toate punctele de transformare energocinematică, pentru mai multe poziții propuse pentru conectarea sursei. Din acest motiv s-a procedat la pregătirea automatizării calculului prin elaborarea unui program original scris în limbajul Visual Basic.

Programul permite introducerea valorilor randamentelor mecanice care modelează din punct de vedere matematic pierderile pe elementele mecanice din schemă (angrenaje, cuplaje, lagăre), a rapoartelor de transmitere respectiv a numărului de ordine atribuit poziției de conectare a sursei de energie exterioară.

Sunt descrise detaliat modulul Form al programului și modulul Code, care este redat integral în Anexa 1.

Capitolul 3 al lucrării conține o serie de contribuții originale ale autoarei, printre se pot enumera și următoarele:

- elaborarea unei scheme reprezentative pentru un stand de încercare a unei transmisii melcate în circuit închis
 - propunerea unui algoritm de calcul care vizează poziția optimă de conectare a motorului la circuit în vederea minimizării consumului global de energie și egalizarea încărcării reversibile în scopul simulării cât mai fidele a condițiilor reale de lucru
 - stabilirea parametrilor preliminari necesari optimizării și elaborarea unui soft original dedicat calculului automat al acestora
-



- stocarea datelor furnizate de program prin conectarea controlului Data la un fișier Microsoft Excel. Cele 10 worksheet-uri ale fișierului conțin valorile tabelare ale încărcărilor în cele 28 puncte de transformare energo-cinematică, pentru 10 poziții de conectare a motorului

BIBLIOGRAFIE

[E1], [E6], [F1], [J1], [M4], [N4], [N5], [N6], [N14], [N15], [N16], [P3], [R7]



**4. Modelarea și simularea
circuitelor
energorecuperative de
testare a transmisiilor
prin angrenaje.
Optimizarea numerică a
parametrilor energetici
specifci**

4.1. MODELAREA ȘI SIMULAREA UNUI STAND ENERGORECUPERATIV CU O SINGURĂ BUCLĂ. CREAREA BAZEI DE DATE PRELIMINARE

Un stand de testare reprezintă un sistem mecanic constituit dintr-o serie de elemente conectate într-o structură relațională bine stabilită. Modelarea elementelor din schemă presupune atribuirea unei funcții descrise printr-o expresie analitică sau, dacă este posibil, prin valori numerice directe. În cazul unui stand mecanic cu circuit închis, sistemul include ca elemente mecanice cu funcții de interes angrenajele, cuplajele și lagărele. Acestea contribuie la transmiterea mișcării și sarcinii cu o anumită eficiență energetică. Măsura în care un element mecanic disipă energie prin frecare de alunecare sau rostogolire este cuantificabilă prin randamentul elementului respectiv. Ca urmare, se propune modelarea matematică - din punct de vedere energetic - a schemei standului prin randamente mecanice atribuite punctelor din circuit unde au loc pierderi.

Simularea presupune conectarea funcțiilor elementelor pe baza unor legi similare funcționării în condiții reale a sistemului. În cazul studiat, prin simulare se impune un sens direct sau/și invers de rotație, rapoarte de transmitere ale angrenajelor și locații diferite în schemă ale sursei exterioare de energie.

Analiza prezentată în continuare are un grad ridicat de generalitate, fiind reprezentativă pentru standurile de testare în circuit închis cu o singură buclă și două transmisii (cilindrice, conice, melcate sau combinate) dispuse simetric.

Pentru aplicația concretă se propune schema cinematică din figura 2.1 ca structură a unui stand de încercare a transmisiilor melcate în circuit închis.

Scopul modelării și simulării este optimizarea funcțională și energetică a standului. Optimizarea funcțională presupune asigurarea încărcării subansamblurilor de testat sau rodat la valori cât mai apropiate de cele din condițiile de lucru, aplicând una dintre metodele de testare (cu încărcare constantă, variabilă în trepte sau progresivă). În același timp, se urmărește egalizarea, pe cât posibil, a încărcărilor pe același tronson, la ambele sensuri de rotație, pentru transmisiile reversibile. Optimizarea energetică se referă la

minimizarea globală a consumului energetic necesar procesului de testare sau rodare.

Demersul a necesitat un volum mare de date care au fost obținute prin rularea programului original descris în capitolul 3.

Tipul de transmisie utilizat în model – cu angrenaje melcate – și valorile ridicate ale raportului de transmitere au fost intenționat incluse în proiectarea aplicației, tocmai pentru a pune în evidență problemele care pot apărea relativ la distribuția încărcării și consumul energetic în regim unisens sau reversibil. Se subliniază astfel necesitatea imperativă a unui studiu de optimizare a structurii la proiectarea oricărui stand de încercare.

Datele numerice inițiale au următoarele valori:

- numărul pozițiilor de transfer energetic: 28
- plasări posibile ale motorului de acționare (pe treapta rapidă a circuitului) în punctele: 1, 4, 5, 6, 15, 16, 17, 20, 21, 28
- randamentul lagărelor cu rulmenți: 0.99
- randamentul cuplajelor: 0.98
- randamentul angrenajelor conice: 0.99
- randamentul angrenajelor melcate: 0.80
- pierderi prin contactul angrenajelor cu uleiul cuantificate prin randament: 0.985
- raportul de transmitere al transmisiilor conice: 1
- raportul de transmitere al transmisiilor melcate: 50.

Calculul momentelor adimensionalizate M_A/M_{CT} și M_B/M_{CT} a avut la bază conceptul de egalitate a indicației la puntea tensometrică (M_{CT}) pentru ambele senzori de rotație, A și B. Parcurgerea buclei închise a circuitului, pentru ambele senzori, presupune o porțiune corespunzătoare fluxului energetic principal (M_{A1} și M_{B1}) și arcul de închidere parcurs și de fluxul de compensare (M_{A2} și M_{B2}). Momentele adimensionalizate aferente traseului fluxului principal sunt numeric egale cu produsul randamentelor caracteristice punctelor traversate. Momentele adimensionalizate asociate traseului fluxului de compensare sunt numeric egale cu inversul produsului randamentelor elementelor plasate pe traseul respectiv.



Se prezintă în continuare rezultatele tabelare obținute prin rularea programului

de calcul automat (tabelele 4.1...4.9 și figurile 4.1...4.36). Fiecare tabel corespunde unei poziții de conectare a sursei de energie în schema cinematică. Această poziție este evidențiată prin dublarea liniei aferente punctului de transfer învecinat și colorarea câmpurilor din tabel în galben. Cele două linii cu același index permit aplicarea relațiilor (3.1) și (3.2) necesare verificării criteriului 1.a. Culoarea de umplere verde a fost utilizată pentru marcarea porțiunilor de buclă parcurse de fluxul de compensare.

Tabelele sunt structurate pe patru coloane, prima conținând numărul de ordine din schemă al punctelor în care are loc transfer energetic. Următoarele două indică valorile momentelor adimensionalizate aferente acestor puncte pentru cele două sensuri de rotație, notate cu A și B. Următoarele două coloane conțin o prelucrare primară a datelor înscrise în celulele anterioare și reprezintă diferența, respectiv raportul momentelor corespunzătoare celor două sensuri.

Ultimele două linii ale tabelelor conțin suma variației momentelor și, respectiv raportul acestora pentru cazul reversibilității circuitului.

Datele conținute în tabele servesc determinării valorice a criteriilor pe baza cărora se poate optimiza sistemul.



Poziția sursei de energie: 1 (tab. 4.1 și fig. 4.1...4.4)

Tabelul 4.1

Poz. de transfer	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
0	1	2	3	4
1	0.990000	1.01010101	-0.02010101	0.9801
1	2.200616	0.454418	1.746198268	4.842712549
2	2.178610	0.459008	1.719602021	4.746342569
3	2.156824	0.465998	1.690825946	4.628395956
4	2.124472	0.470705	1.653766532	4.513380317
5	2.103227	0.475460	1.627767216	4.423564049
6	2.061163	0.485163	1.575999412	4.248390912
7	2.040551	0.490064	1.55048715	4.163847933
8	81.622036	30.628984	50.99305185	2.664862677
9	80.397705	31.095415	49.3022901	2.585516391
10	79.593728	31.409510	48.18421795	2.534064615
11	78.001853	32.050520	45.95133298	2.433715656
12	76.441816	32.704613	43.73720365	2.337340516
13	75.677398	33.034962	42.64243587	2.29082744
14	1.490845	0.825874	0.664970686	1.805172023
15	1.192676	0.838451	0.354224975	1.422475554
16	1.180749	0.846920	0.333829017	1.39416829
17	1.157134	0.864204	0.292929954	1.338959226
18	1.145563	0.872933	0.272629279	1.312313937
19	1.134107	0.886227	0.247880249	1.279702936
20	1.117095	0.895179	0.221916857	1.247902318
21	1.105925	0.904221	0.201703693	1.223069062
22	1.083806	0.922674	0.161131716	1.174635527
23	1.072968	0.931994	0.140973713	1.15126028
24	1.056873	0.946187	0.110686388	1.116981505
25	1.046305	0.955745	0.090560208	1.094753573
26	1.035842	0.965399	0.070443176	1.072967977
27	1.020304	0.980100	0.040204051	1.041020356
28	1.010101	0.990000	0.02010101	1.020304051
suma			295.579263	
media				2.278922

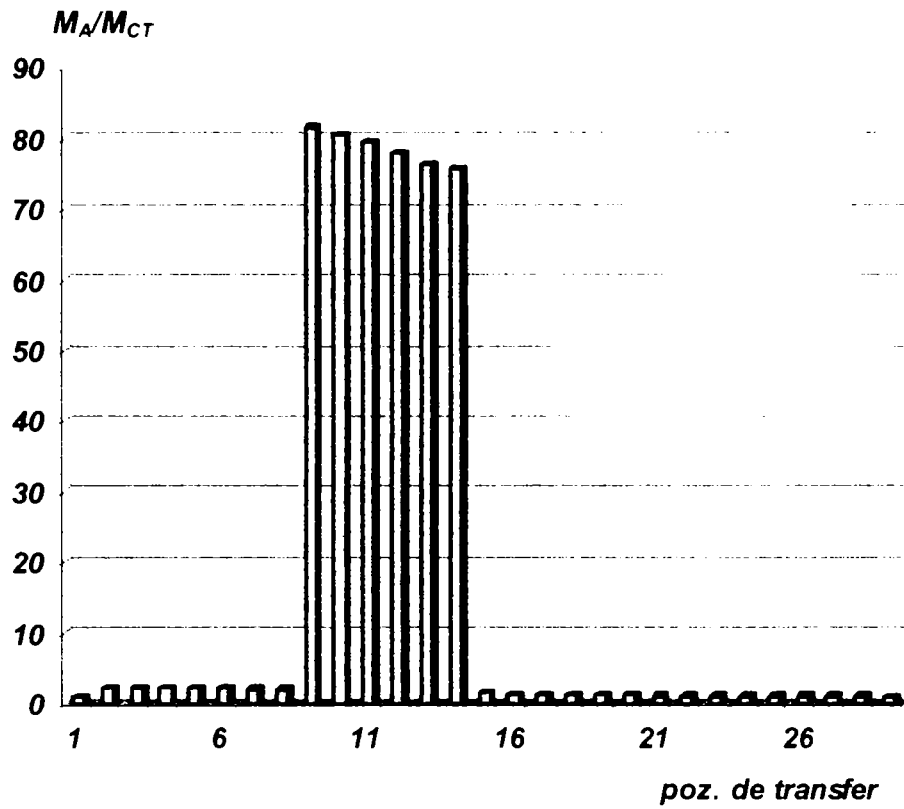


Fig.4.1. Variația momentului M_A pentru poziția de conectare a sursei 1

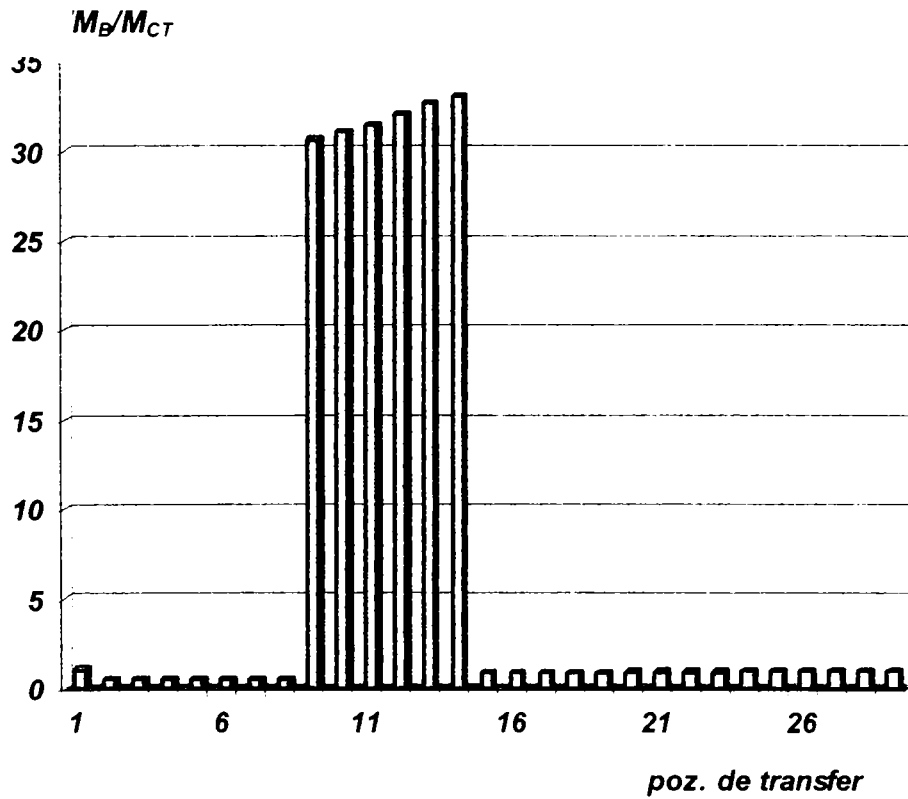


Fig.4.2. Variația momentului M_B pentru poziția de conectare a sursei 1

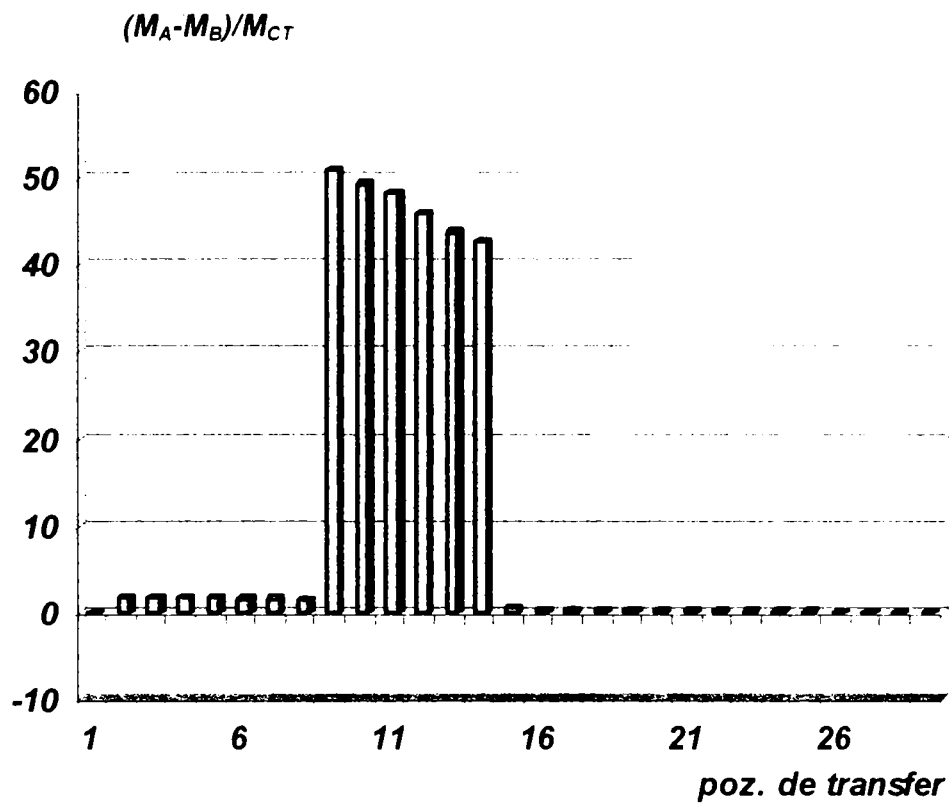


Fig.4.3. Variația diferenței $M_A - M_B$ pentru poziția de conectare a sursei 1

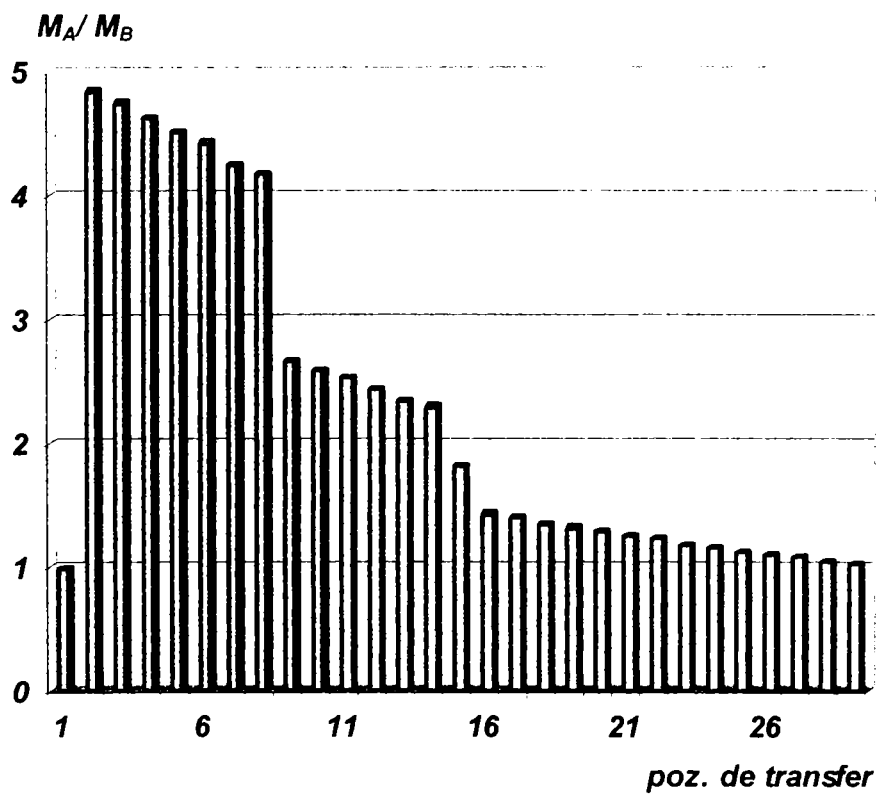


Fig.4.4. Variația raportului M_A / M_B pentru poziția de conectare a sursei 1



Poziția sursei de energie: 4 (tab. 4.2 și fig. 4.5...4.8)

Tabelul 4.2

Poz.de transfer	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
	0	1	2	3
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.980100	1.020304	-0.040204	0.960596
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
4	2.124472	0.463645	1.660827	4.582112
5	2.103227	0.468328	1.634899	4.490928
6	2.061163	0.477886	1.583277	4.313087
7	2.040551	0.482713	1.557838	4.227257
8	81.622036	30.169549	51.452487	2.705444
9	80.397705	30.628984	49.768721	2.624890
10	79.593728	30.938367	48.655361	2.572654
11	78.001853	31.569763	46.432091	2.470777
12	76.441816	32.214044	44.227773	2.372935
13	75.677398	32.539438	43.137960	2.325713
14	1.210838	0.821703	0.389135	1.473572
15	1.192676	0.834216	0.358460	1.429696
16	1.180749	0.842643	0.338106	1.401245
17	1.157134	0.859839	0.297295	1.345756
18	1.145563	0.868525	0.277038	1.318975
19	1.134107	0.881751	0.252356	1.286199
20	1.117095	0.895179	0.221917	1.247902
21	1.105925	0.904221	0.201704	1.223069
22	1.083806	0.922674	0.161132	1.174636
23	1.072968	0.931994	0.140974	1.151260
24	1.062238	0.941408	0.120830	1.128350
25	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
26	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
27	1.025483	0.975150	0.050333	1.051616
28	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304
suma			292.880309	
media				1.892836

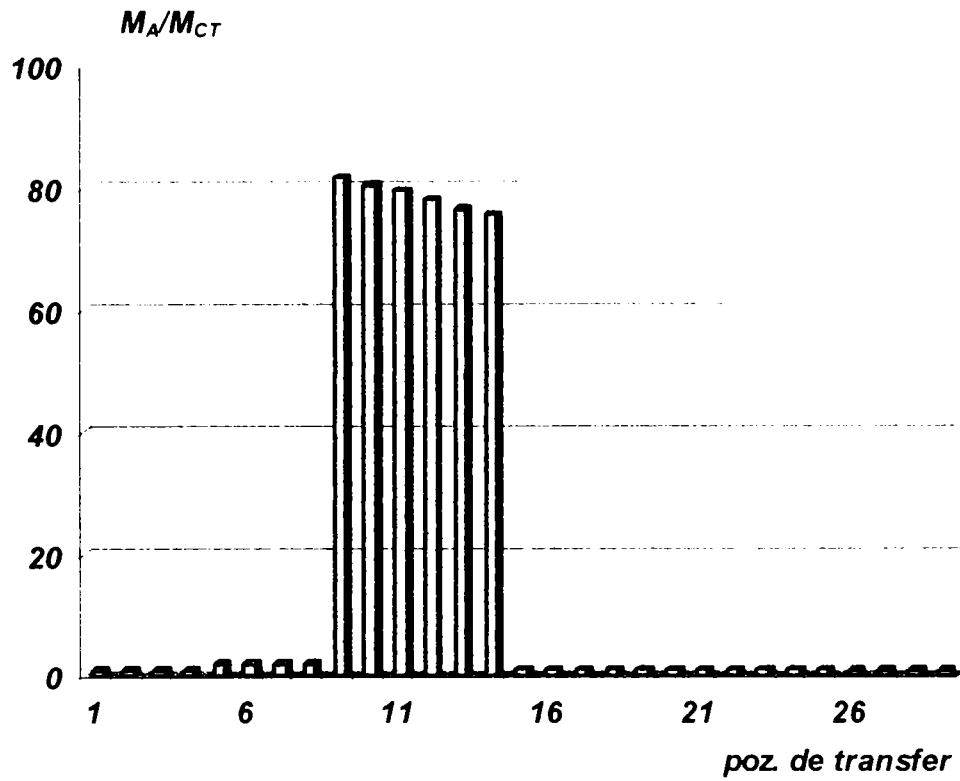


Fig.4.5. Variația momentului M_A pentru poziția de conectare a sursei 4

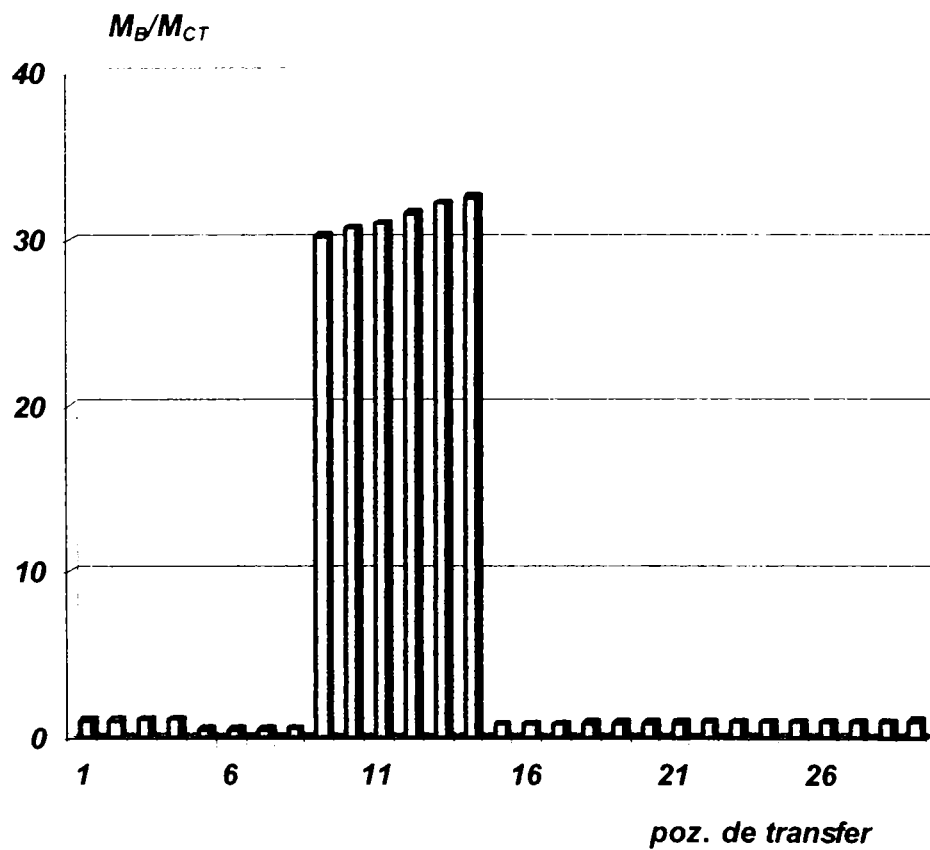


Fig.4.6. Variația momentului M_B pentru poziția de conectare a sursei 4

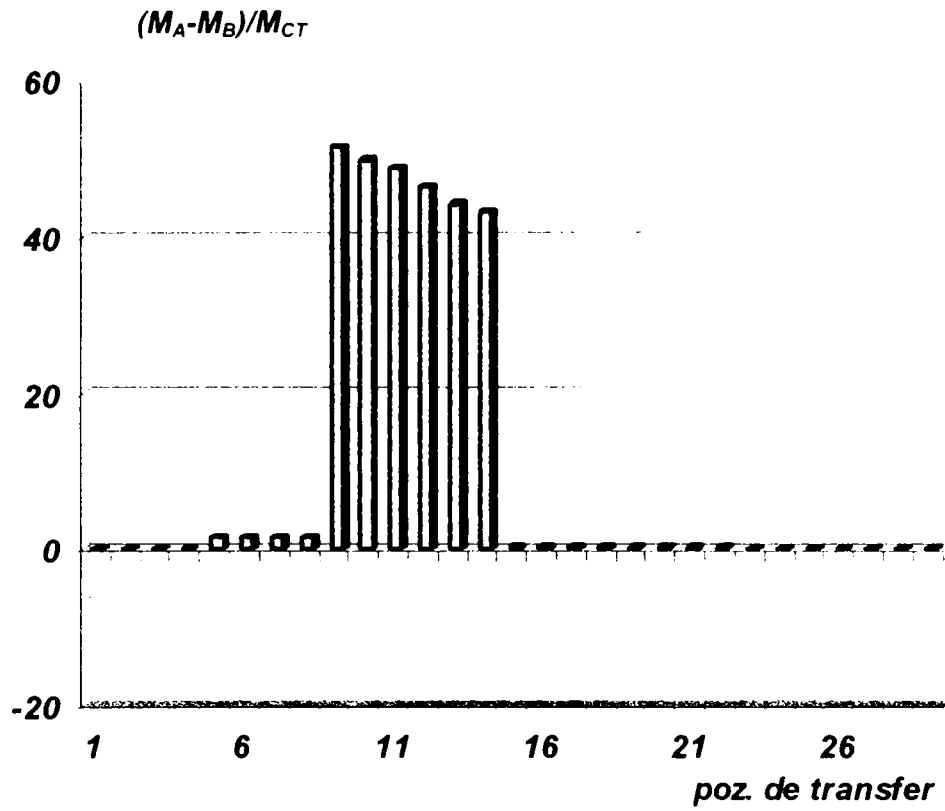


Fig.4.7. Variația diferenței $M_A - M_B$ pentru poziția de conectare a sursei 4

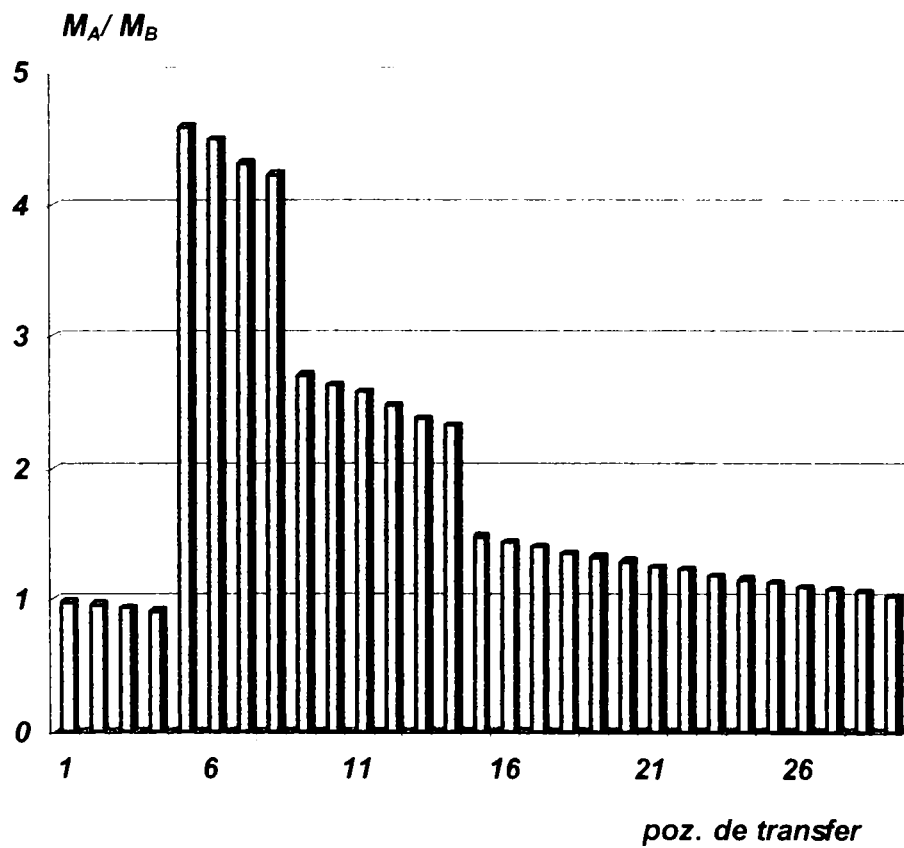


Fig.4.8. Variația raportului M_A / M_B pentru poziția de conectare a sursei 4

Poziția sursei de energie: 5 (tab. 4.3 și fig. 4.9... 4.12)

Tabelul. 4.3

Poz. de transfer	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CCT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
0	1	2	3	4
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.980100	1.020304	-0.040204	0.960596
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
5	2.103227	0.468328	1.634899	4.490928
6	2.061163	0.477886	1.583277	4.313087
7	2.040551	0.482713	1.557838	4.227257
8	81.622036	30.169549	51.452487	2.705444
9	80.397705	30.628984	49.768721	2.624890
10	79.593728	30.938367	48.655361	2.572654
11	78.001853	31.569763	46.432091	2.470777
12	76.441816	32.214044	44.227773	2.372935
13	75.677398	32.539438	43.137960	2.325713
14	1.210838	0.821703	0.389135	1.473572
15	1.192676	0.834216	0.358460	1.429696
16	1.180749	0.842643	0.338106	1.401245
17	1.157134	0.859839	0.297295	1.345756
18	1.145563	0.868525	0.277038	1.318975
19	1.134107	0.881751	0.252356	1.286199
20	1.117095	0.895179	0.221917	1.247902
21	1.105925	0.904221	0.201704	1.223069
22	1.083806	0.922674	0.161132	1.174636
23	1.072968	0.931994	0.140974	1.151260
24	1.062238	0.941408	0.120830	1.128350
25	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
26	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
27	1.025483	0.975150	0.050333	1.051616
28	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304
suma			291.088454	
media				1.765083

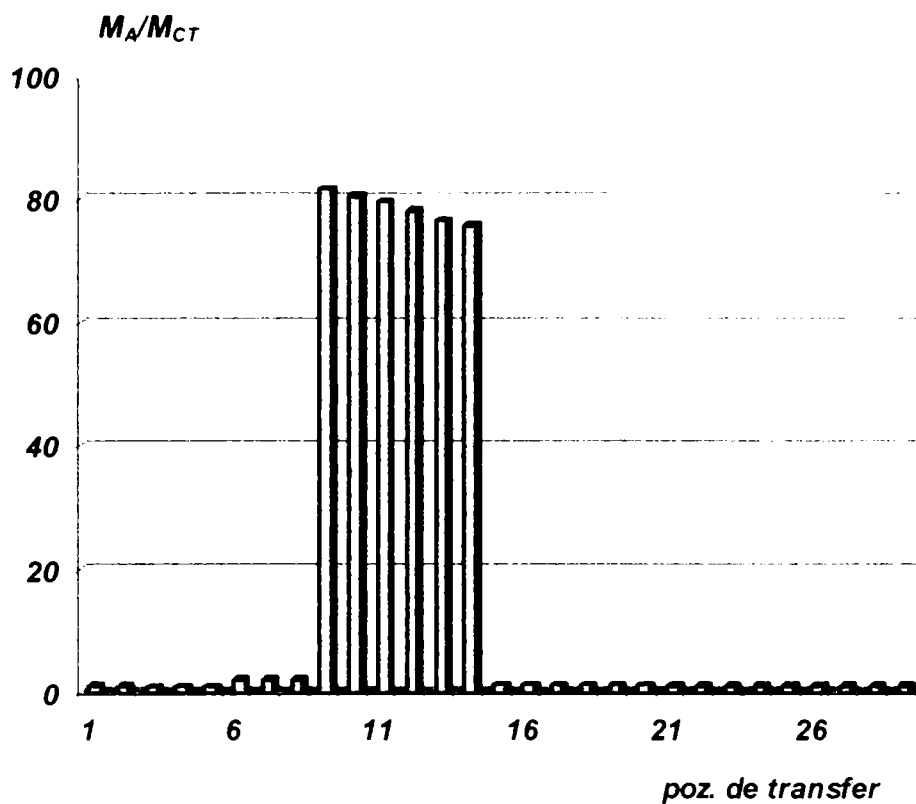


Fig. 4.9. Variația momentului M_A pentru poziția de conectare a sursei 5

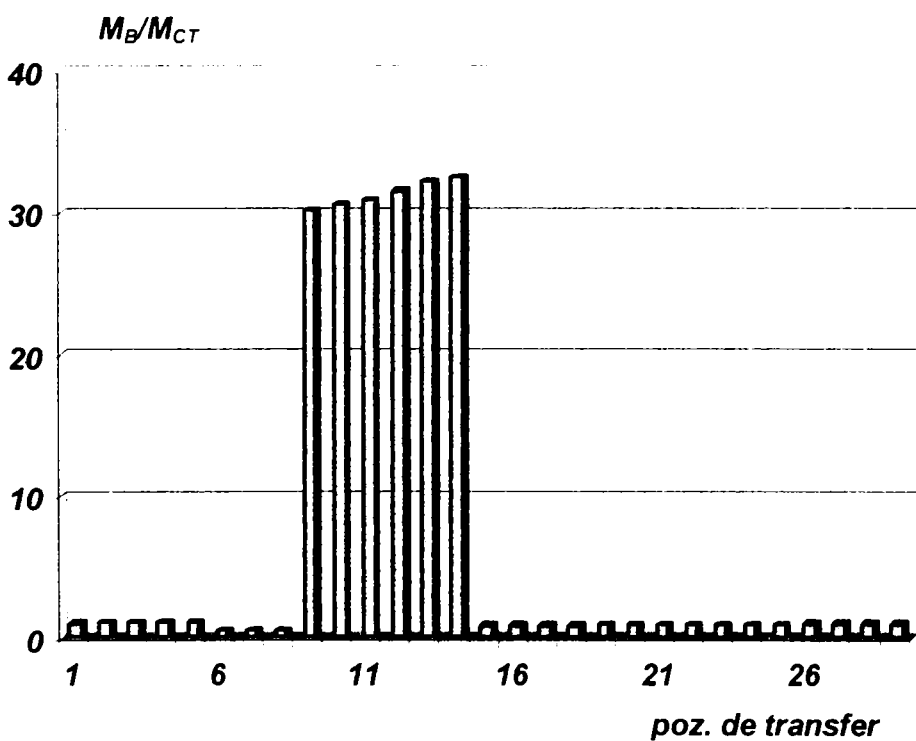


Fig. 4.10. Variația momentului M_B pentru poziția de conectare a sursei 5

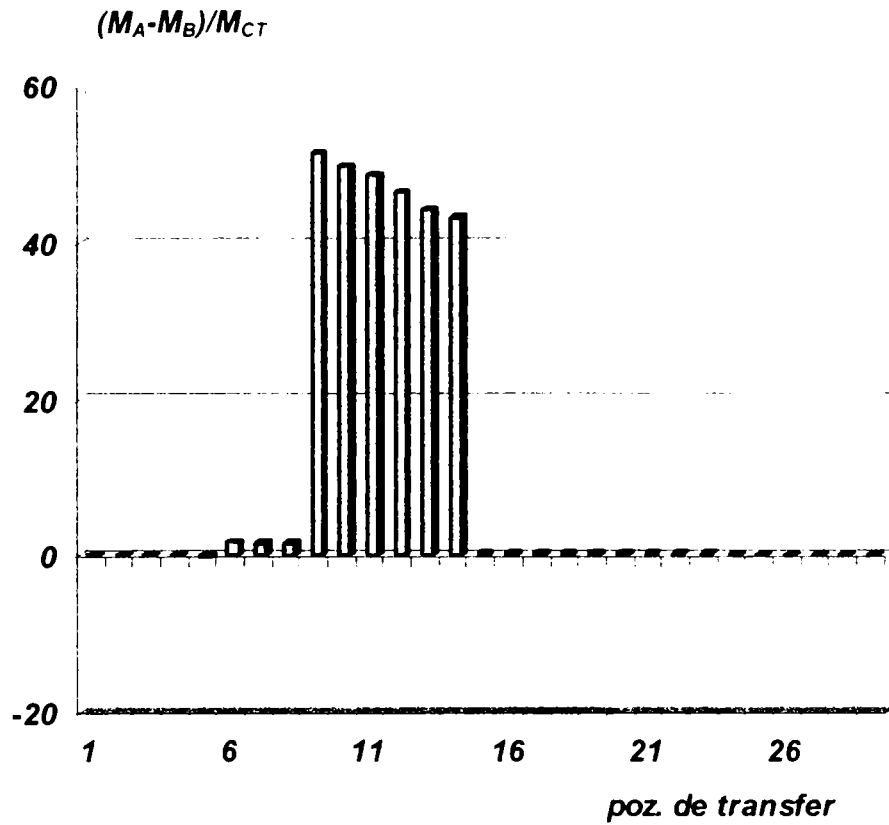


Fig. 4.11. Variația diferenței $M_A - M_B$ pentru poziția de conectare a sursei 5

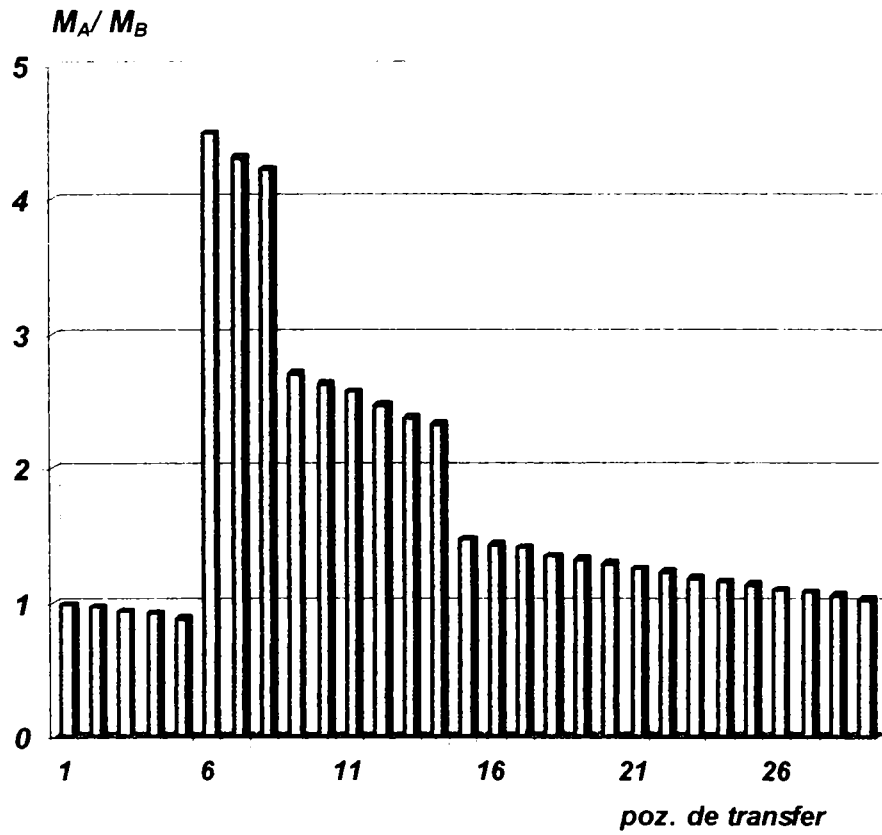


Fig.4.12. Variația raportului M_A / M_B pentru poziția de conectare a sursei 5



Poziția sursei de energie: 6 (tab. 4.4 și fig. 4.13...4.16)

Tabelul. 4.4

Poz.de transfer	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
0	1	2	3	4
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.980100	1.020304	-0.040204	0.960596
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
6	2.061163	0.477886	1.583277	4.313087
7	2.040551	0.482713	1.557838	4.227257
8	81.622036	30.169549	51.452487	2.705444
9	80.397705	30.628984	49.768721	2.624890
10	79.593728	30.938367	48.655361	2.572654
11	78.001853	31.569763	46.432091	2.470777
12	76.441816	32.214044	44.227773	2.372935
13	75.677398	32.539438	43.137960	2.325713
14	1.210838	0.821703	0.389135	1.473572
15	1.192676	0.834216	0.358460	1.429696
16	1.180749	0.842643	0.338106	1.401245
17	1.157134	0.859839	0.297295	1.345756
18	1.145563	0.868525	0.277038	1.318975
19	1.134107	0.881751	0.252356	1.286199
20	1.117095	0.895179	0.221917	1.247902
21	1.105925	0.904221	0.201704	1.223069
22	1.083806	0.922674	0.161132	1.174636
23	1.072968	0.931994	0.140974	1.151260
24	1.062238	0.941408	0.120830	1.128350
25	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
26	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
27	1.025483	0.975150	0.050333	1.051616
28	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304
suma			289.302375	
media				1.639872

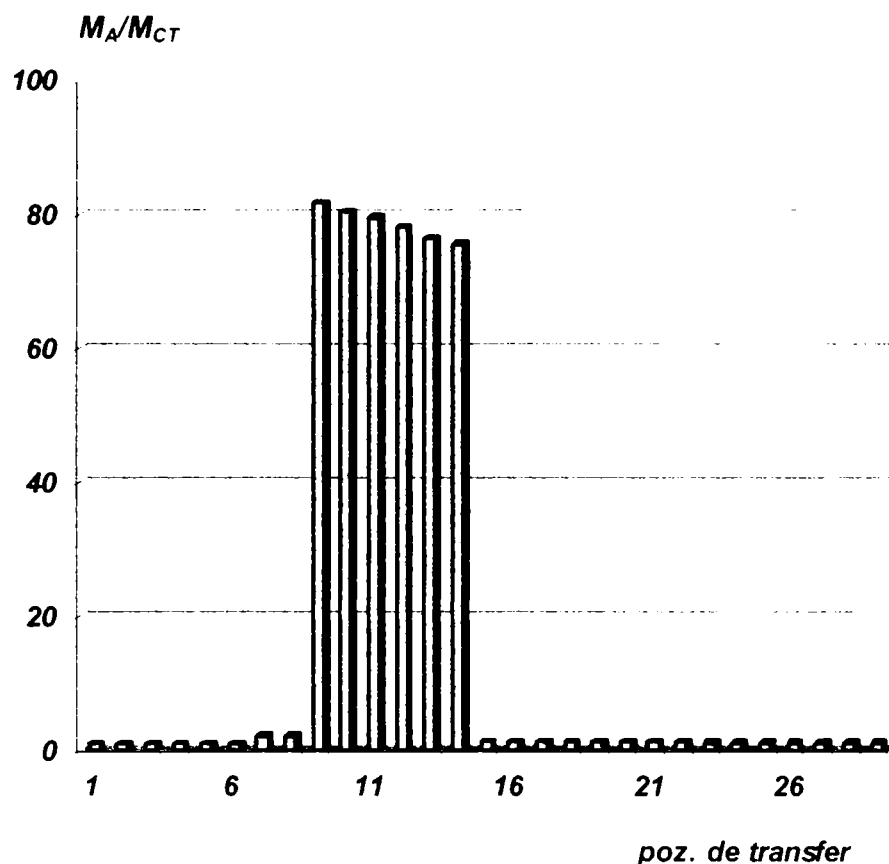


Fig. 4.13. Variația momentului M_A pentru poziția de conectare a sursei 6

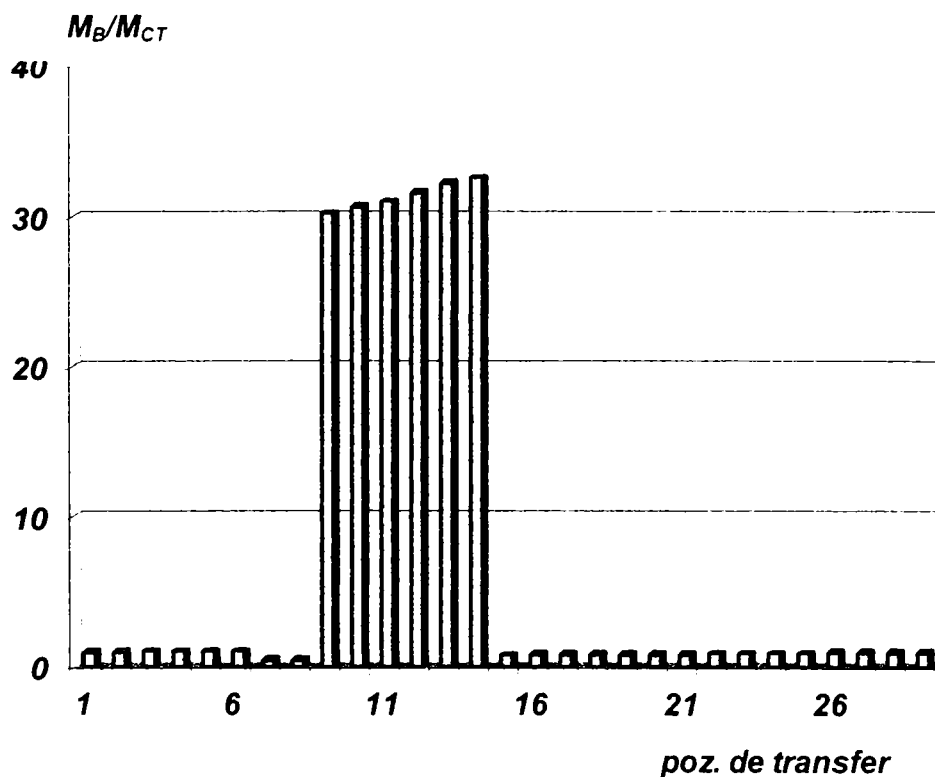


Fig. 4.14. Variația momentului M_B pentru poziția de conectare a sursei 6

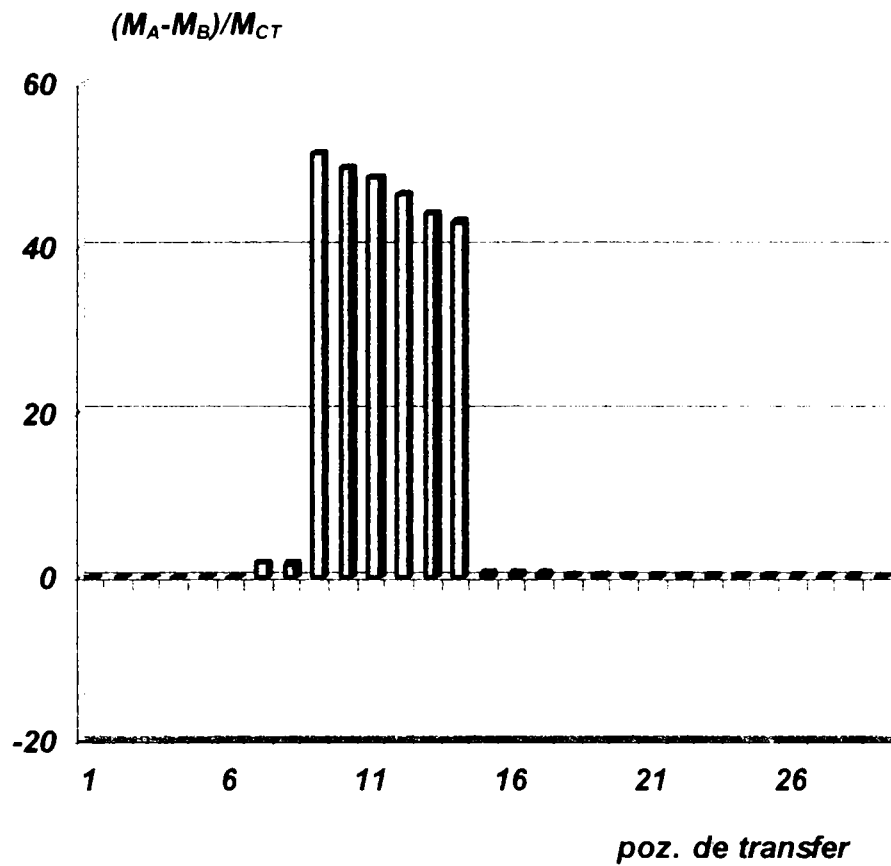


Fig. 4.15. Variația diferenței $M_A - M_B$ pentru poziția de conectare a sursei 6

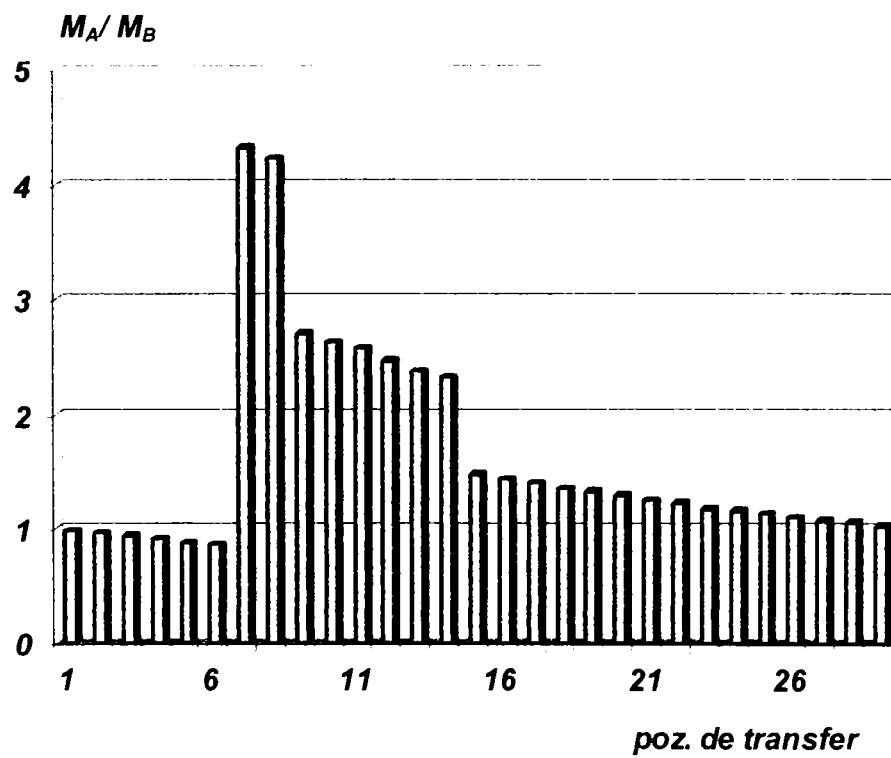


Fig. 4.16. Variația raportului M_A / M_B pentru poziția de conectare a sursei 6



Poziția sursei de energie: 15 (tab.4.5 și fig. 4.17....4.20)

Tabelul 4.5

Poz.de transfer	M ₁ /M ₂	M ₃ /M ₄	(M ₁ -M ₃)/M ₂	M ₄ /M ₅
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.980100	1.020304	-0.040204	0.960596
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.056873	-0.129610	0.877365
7	0.913354	1.072968	-0.159614	0.851241
8	36.534175	67.060499	-30.526323	0.544794
9	36.168833	67.737877	-31.569044	0.533953
10	35.445457	69.120283	-33.674826	0.512808
11	34.736548	70.530901	-35.794353	0.492501
12	34.389182	71.243334	-36.854152	0.482700
13	33.873344	72.328258	-38.454914	0.468328
14	0.541974	1.808206	-1.266233	0.299730
15	0.536554	1.826471	-1.289917	0.293765
15	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
16	1.180749	0.846920	0.333829	1.394168
17	1.157134	0.864204	0.292930	1.338959
18	1.145563	0.872933	0.272629	1.312314
19	1.134107	0.881751	0.252356	1.286199
20	1.117095	0.895179	0.221917	1.247902
21	1.105925	0.904221	0.201704	1.223069
22	1.083806	0.922674	0.161132	1.174636
23	1.072968	0.931994	0.140974	1.151260
24	1.062238	0.941408	0.120830	1.128350
25	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
26	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
27	1.020304	0.975150	0.045154	1.046305
28	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304
suma			-207.492540	
media				0.928768

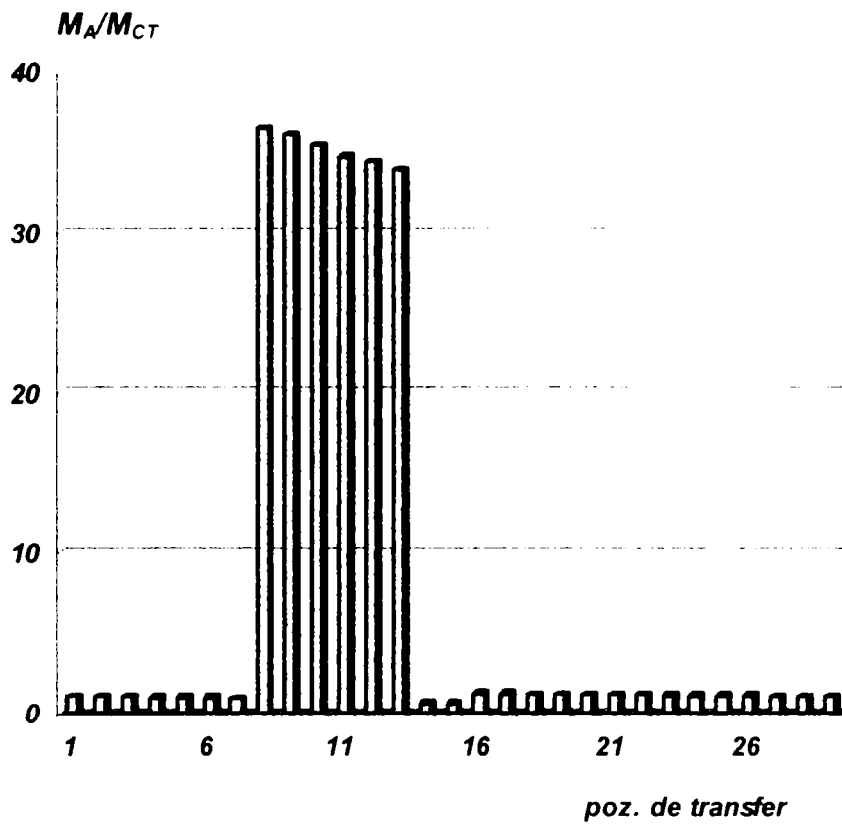


Fig. 4.17. Variația momentului M_A pentru poziția de conectare a sursei 15

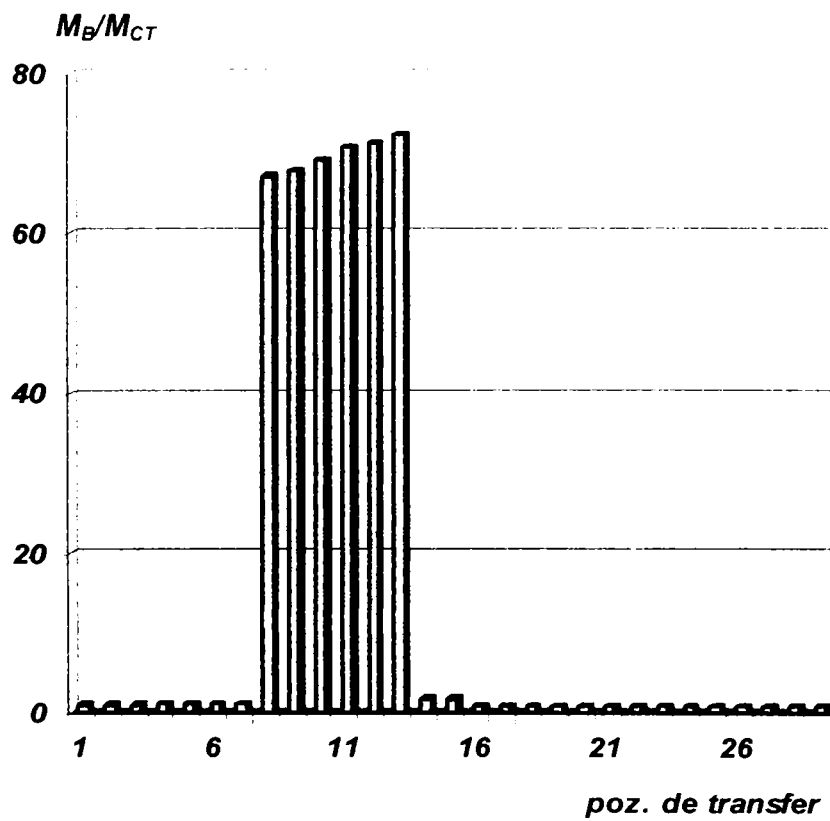


Fig. 4.18. Variația momentului M_B pentru poziția de conectare a sursei 15

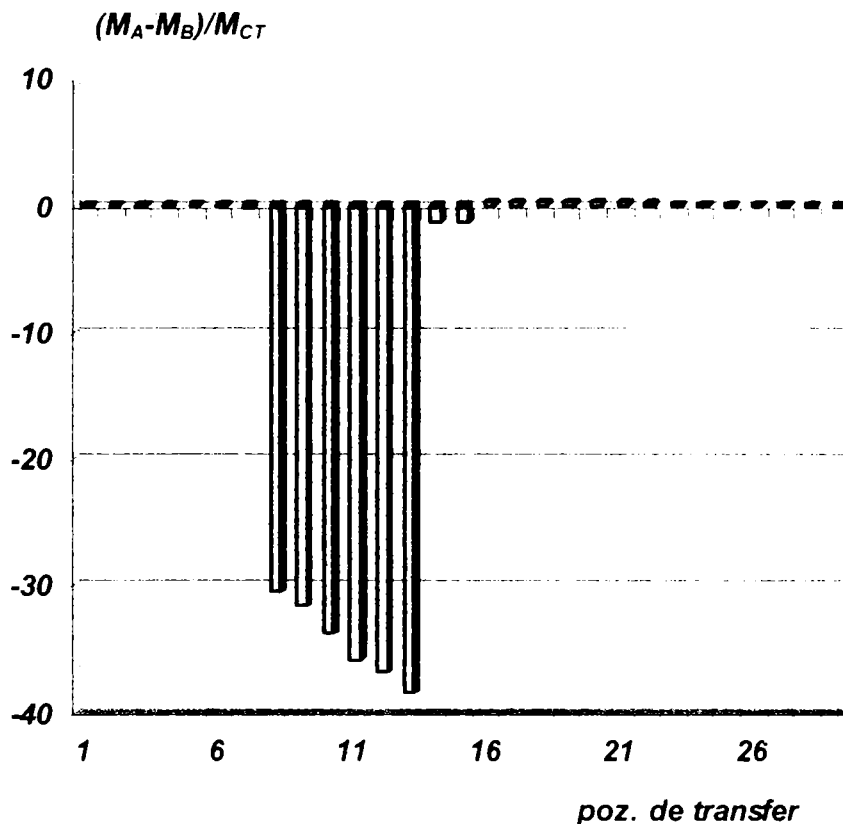


Fig. 4.19. Variația diferenței $M_A - M_B$ pentru poziția de conectare a sursei 15

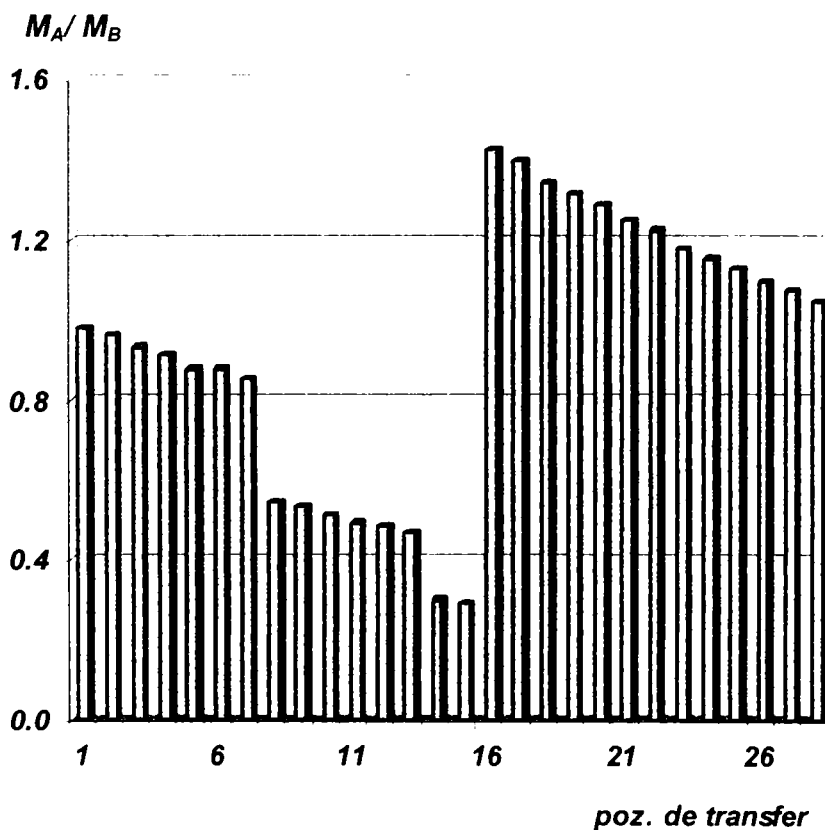


Fig. 4.20. Variația raportului M_A / M_B pentru poziția de conectare a sursei 15

Poziția sursei de energie: 16 (tab. 4.6 și fig. 4.21....4.24)

Tabelul 4.6

Poz.de transfer	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
0	1	2	3	4
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.980100	1.020304	-0.040204	0.960596
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.741811	1.348053	-0.606242	0.550283
8	36.534175	68.429080	-31.894905	0.533898
9	36.168833	69.120283	-32.951450	0.523274
10	35.445457	70.530901	-35.085444	0.502552
11	34.736548	71.970307	-37.233760	0.482651
12	34.389182	72.697280	-38.308098	0.473046
13	32.944836	73.804345	-40.859509	0.446381
14	0.527117	1.845109	-1.317991	0.285684
15	0.521846	1.863746	-1.341900	0.279999
16	0.511409	1.901782	-1.390372	0.268911
16	1.180749	0.846920	0.333829	1.394168
17	1.157134	0.864204	0.292930	1.338959
18	1.145563	0.872933	0.272629	1.312314
19	1.134107	0.881751	0.252356	1.286199
20	1.117095	0.895179	0.221917	1.247902
21	1.105925	0.904221	0.201704	1.223069
22	1.083806	0.922674	0.161132	1.174636
23	1.072968	0.931994	0.140974	1.151260
24	1.062238	0.941408	0.120830	1.128350
25	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
26	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
27	1.025483	0.975150	0.050333	1.051616
28	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304
suma			-219.263449	
media				0.874704

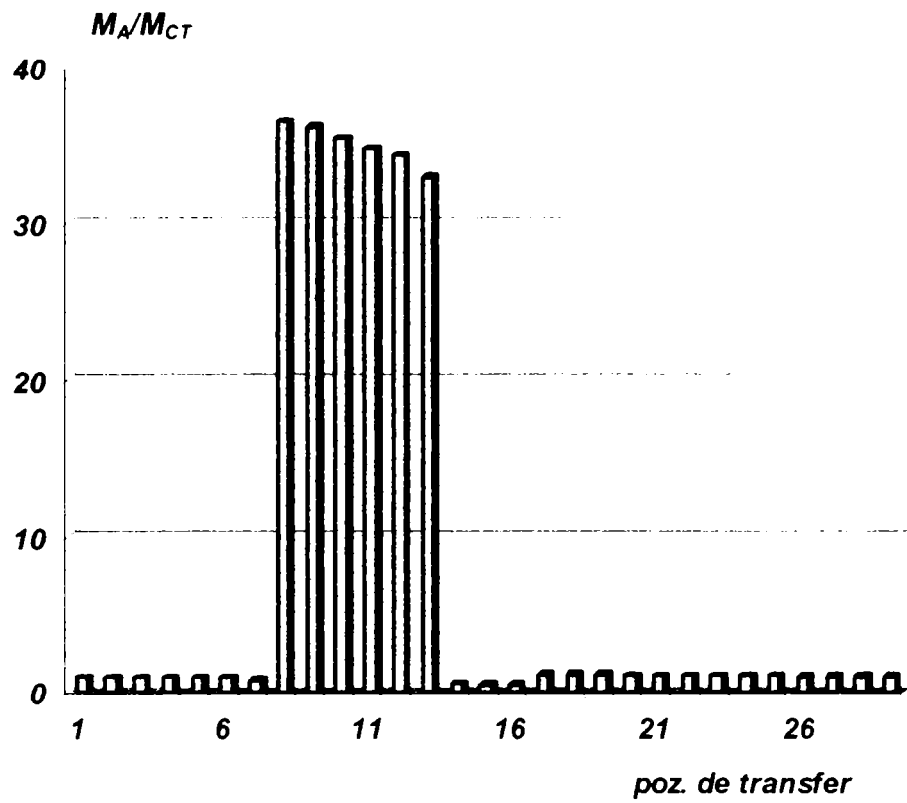


Fig. 4.21. Variația momentului M_A pentru poziția de conectare a sursei 16

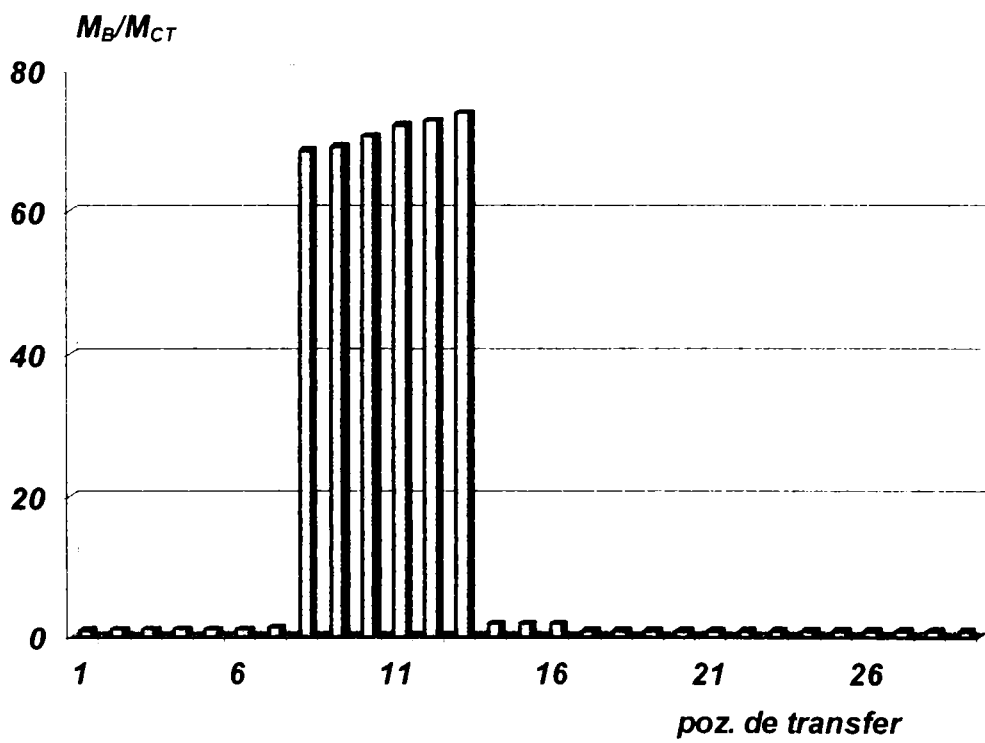


Fig. 4. 22. Variația momentului M_B pentru poziția de conectare a sursei 16

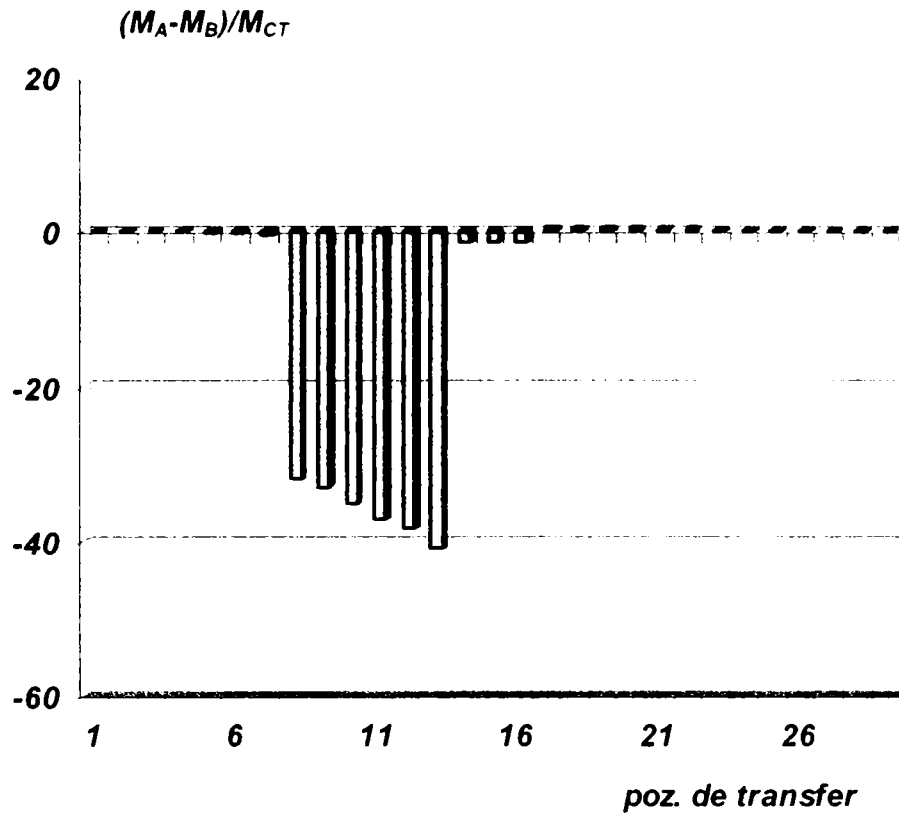


Fig. 4.23. Variația diferenței $M_A - M_B$ pentru poziția de conectare a sursei 16

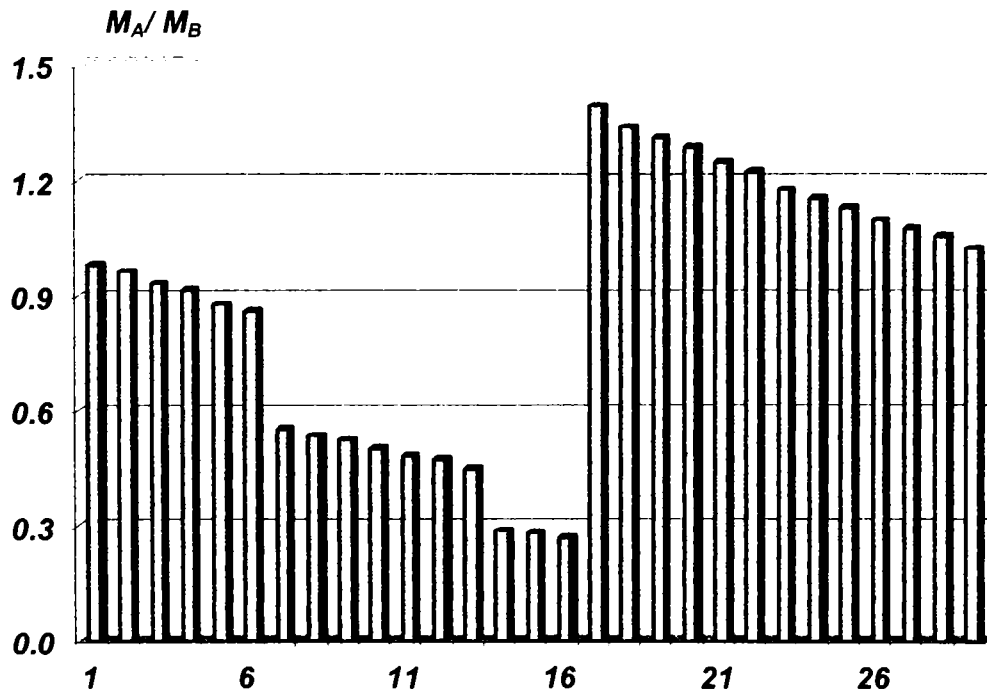


Fig. 4.24. Variația raportului M_A / M_B pentru poziția de conectare a sursei 16



Poziția sursei de energie: 17 (tab. 4.7 și fig. 4.25...4.28)

Tabelul 4.7

Poz.de transfer	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
0	1	2	3	4
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.980100	1.020304	-0.040204	0.960596
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.067658	-0.140395	0.868502
7	0.741811	1.348053	-0.606242	0.550283
8	36.534175	68.429080	-31.894905	0.533898
9	36.168833	69.120283	-32.951450	0.523274
10	35.445457	70.530901	-35.085444	0.502552
11	34.736548	71.970307	-37.233760	0.482651
12	34.389182	72.697280	-38.308098	0.473046
13	33.873344	73.804345	-39.931001	0.458961
14	0.541974	1.845109	-1.303135	0.293735
15	0.536554	1.863746	-1.327192	0.287890
16	0.525823	1.901782	-1.375959	0.276490
17	0.520564	1.920992	-1.400427	0.270987
17	1.157134	0.864204	0.292930	1.338959
18	1.145563	0.872933	0.272629	1.312314
19	1.134107	0.881751	0.252356	1.286199
20	1.117095	0.895179	0.221917	1.247902
21	1.105925	0.904221	0.201704	1.223069
22	1.083806	0.922674	0.161132	1.174636
23	1.072968	0.931994	0.140974	1.151260
24	1.062238	0.941408	0.120830	1.128350
25	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
26	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
27	1.025483	0.975150	0.050333	1.051616
28	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304
suma			-220.014435	
media				0.837518

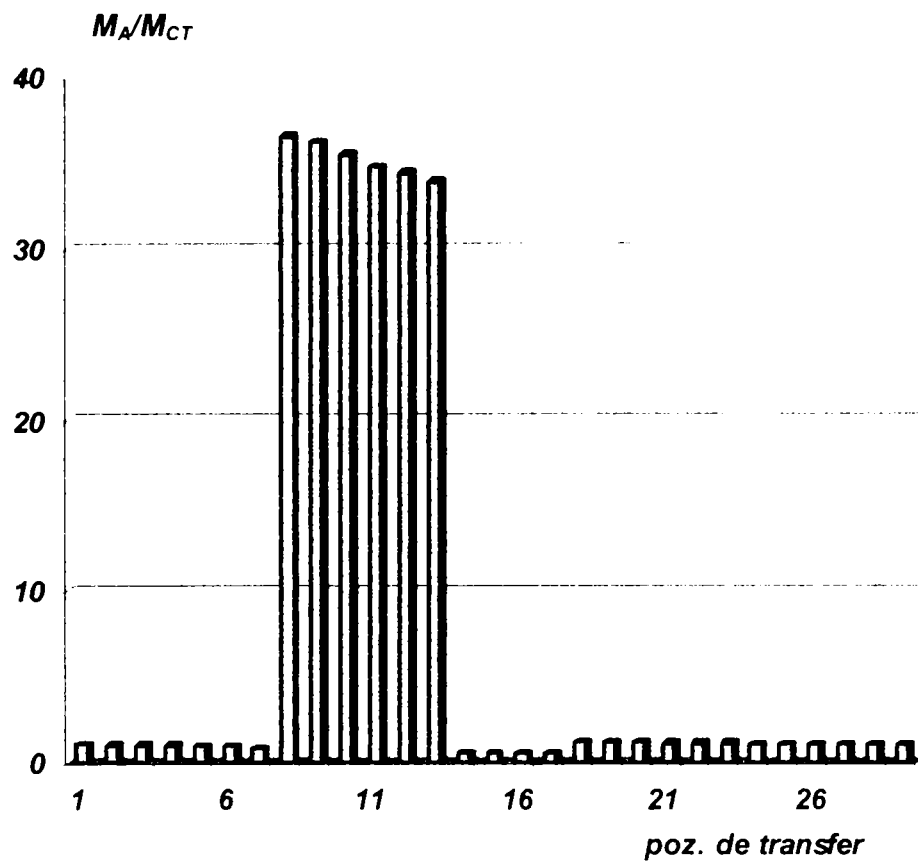


Fig. 4.25. Variația momentului M_A pentru poziția de conectare a sursei 17

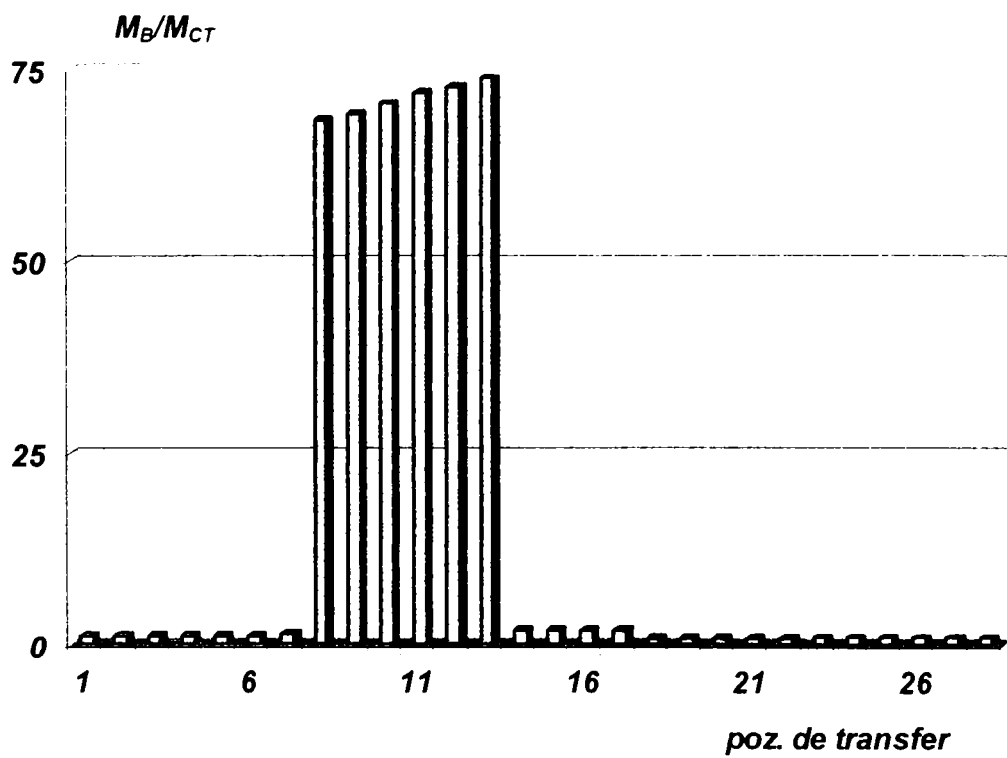


Fig. 4.26. Variația momentului M_B pentru poziția de conectare a sursei 17

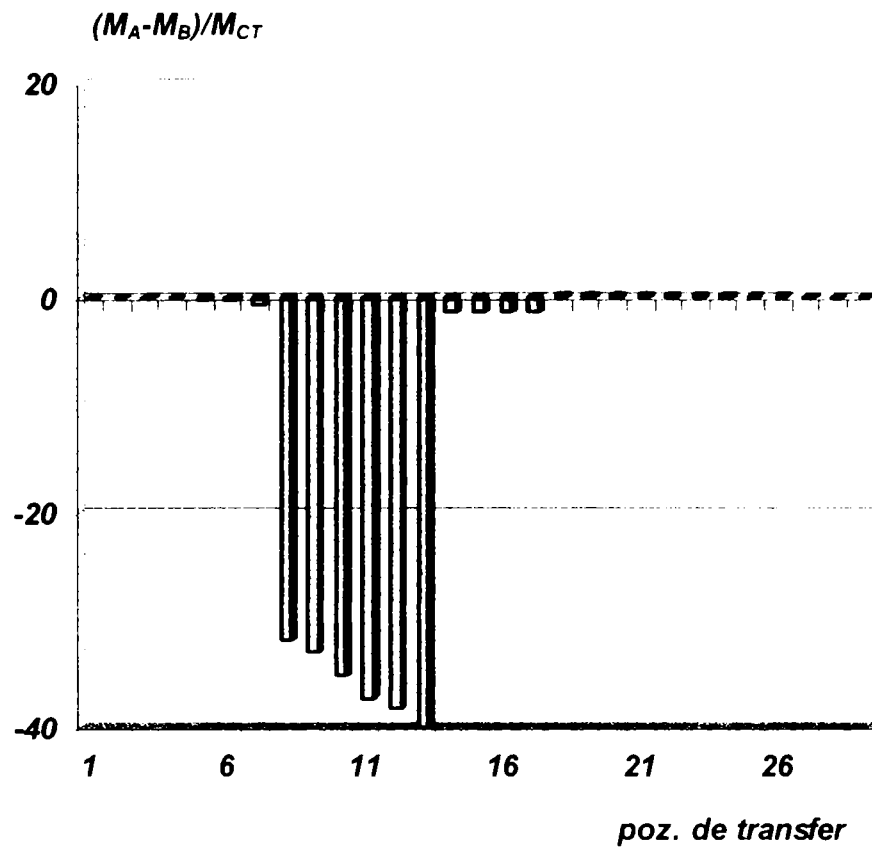


Fig. 4.27. Variația diferenței $M_A - M_B$ pentru poziția de conectare a sursei 17

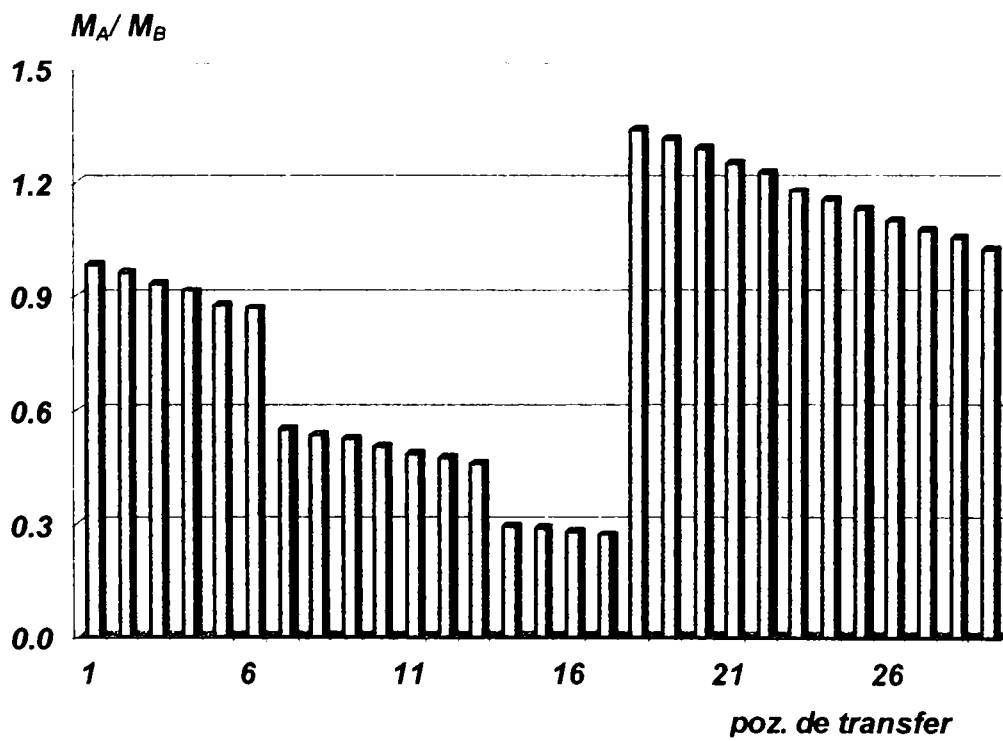


Fig. 4. 28. Variația raportului M_A / M_B pentru poziția de conectare a sursei 17



Poziția sursei de energie: 21 (tab. 4.8 și fig. 4.29...4.32)

Tabelul 4.8

Poz. de transfer	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
0	1	2	3	4
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.980100	1.020304	-0.040204	0.960596
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.741811	1.348053	-0.606242	0.550283
8	36.534175	68.429080	-31.894905	0.533898
9	36.168833	69.120283	-32.951450	0.523274
10	35.445457	70.530901	-35.085444	0.502552
11	34.736548	71.970307	-37.233760	0.482651
12	34.389182	72.697280	-38.308098	0.473046
13	33.873344	73.804345	-39.931001	0.458961
14	0.677467	1.476087	-0.798620	0.458961
15	0.670692	1.490997	-0.820305	0.449828
16	0.657278	1.521425	-0.864147	0.432015
17	0.650706	1.536793	-0.886088	0.423418
18	0.644199	1.552316	-0.908118	0.414992
19	0.634536	1.575956	-0.941420	0.402635
20	0.628190	1.591875	-0.963684	0.394623
21	0.615626	1.607954	-0.992328	0.382863
21	1.105925	0.904221	0.201704	1.223069
22	1.083806	0.922674	0.161132	1.174636
23	1.072968	0.931994	0.140974	1.151260
24	1.062238	0.941408	0.120830	1.128350
25	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
26	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
27	1.025483	0.975150	0.050333	1.051616
28	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304
suma			-222.833048	
media				0.735317

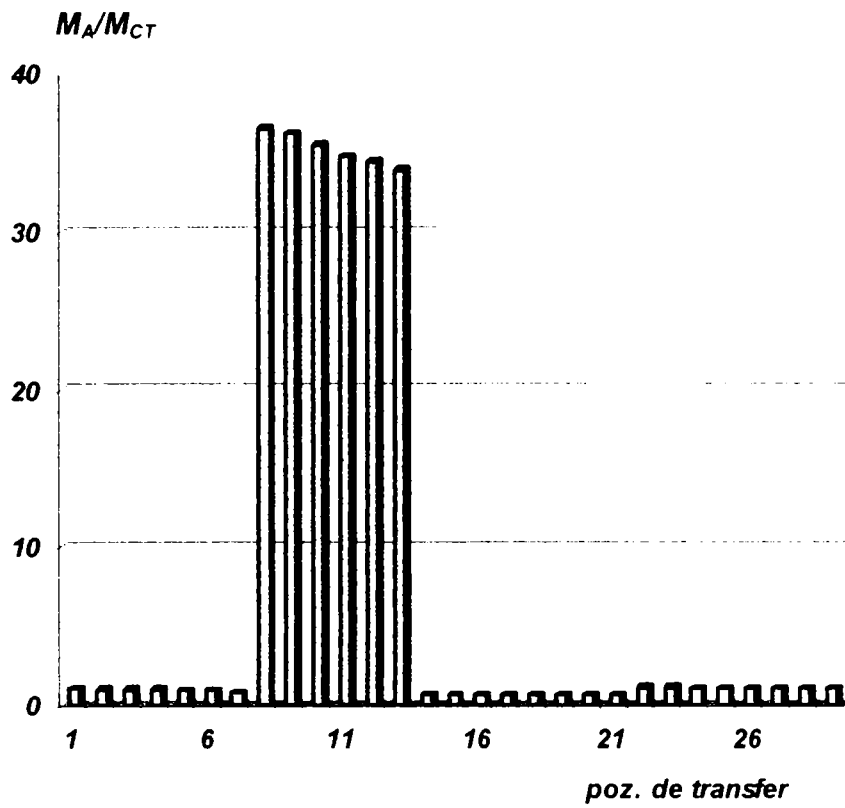


Fig. 4. 29. Variația momentului M_A pentru poziția de conectare a sursei 21

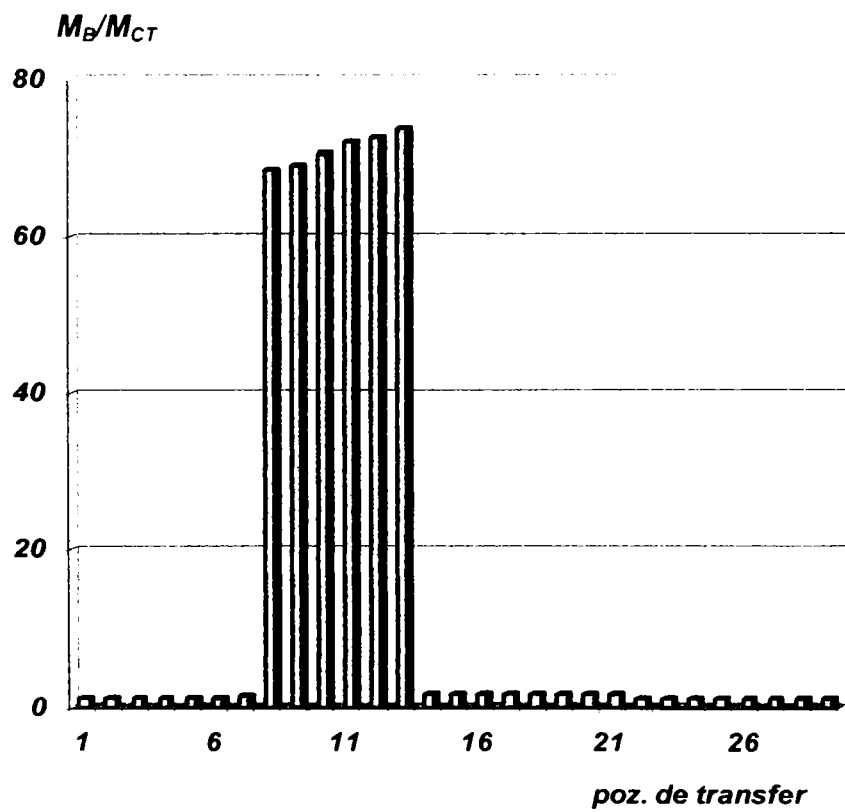


Fig. 4.30. Variația momentului M_B pentru poziția de conectare a sursei 21

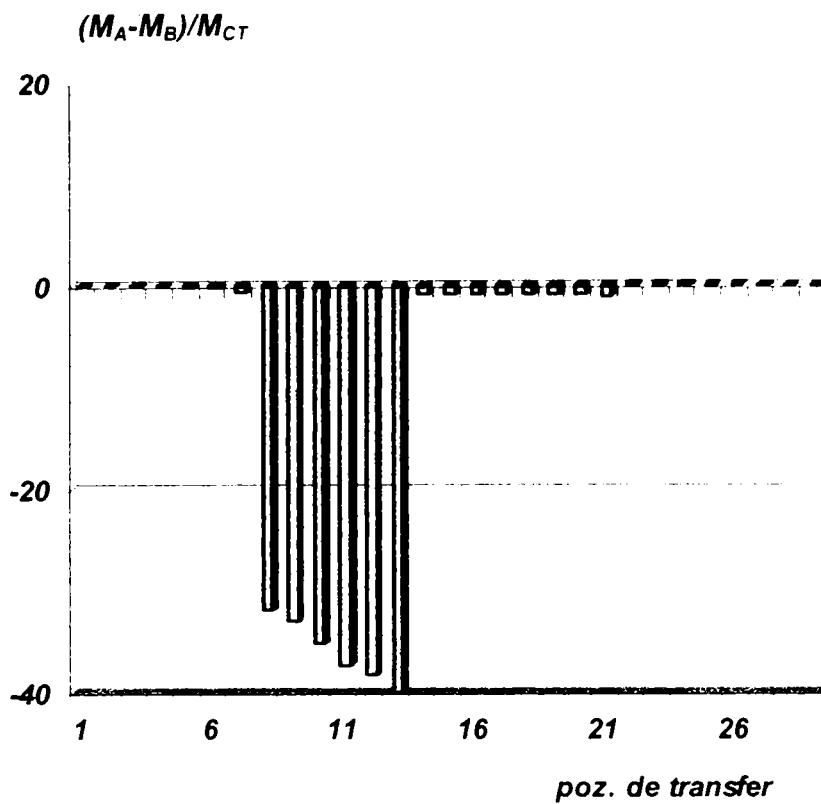


Fig. 4.31. Variația diferenței $M_A - M_B$ pentru poziția de conectare a sursei 21

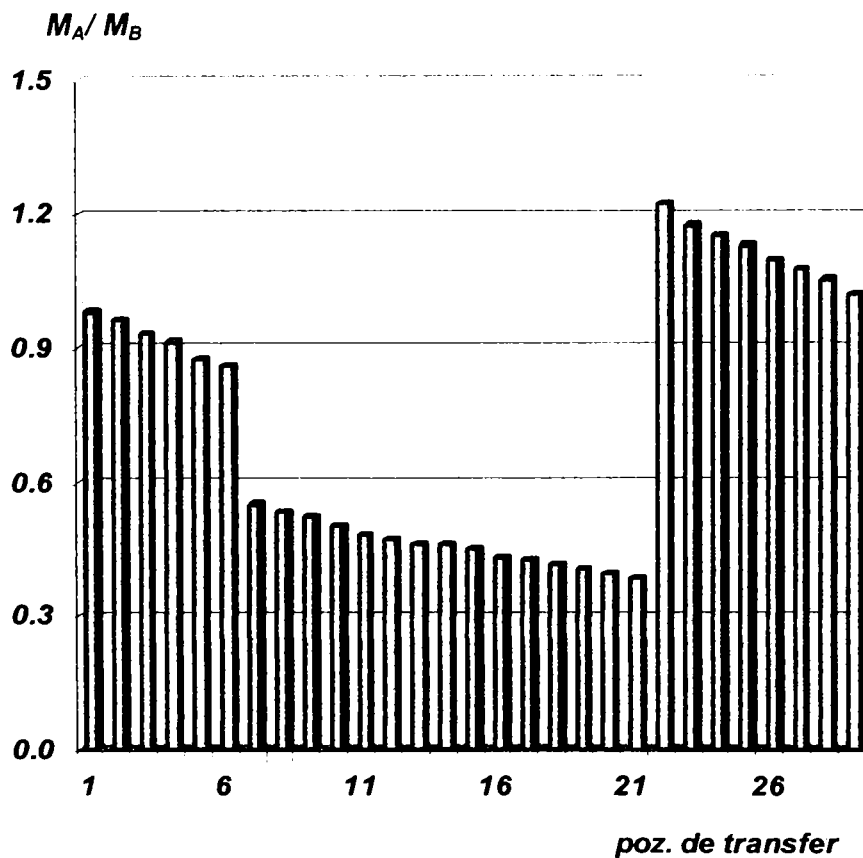


Fig. 4.32. Variația raportului M_A / M_B pentru poziția de conectare a sursei 21

Poziția sursei de energie: 28 (tab.4.9 și fig. 4.33....4.36)

Tabelul 4.9

Poz.de transfer	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
	0	1	2	3
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.980100	1.020304	-0.040204	0.960596
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.741811	1.348053	-0.606242	0.550283
8	36.534175	68.429080	-31.894905	0.533898
9	36.168833	69.120283	-32.951450	0.523274
10	35.445457	70.530901	-35.085444	0.502552
11	34.736548	71.970307	-37.233760	0.482651
12	34.389182	72.697280	-38.308098	0.473046
13	33.873344	73.804345	-39.931001	0.458961
14	0.677467	1.476087	-0.798620	0.458961
15	0.670692	1.490997	-0.820305	0.449828
16	0.657278	1.521425	-0.864147	0.432015
17	0.650706	1.536793	-0.886088	0.423418
18	0.644199	1.552316	-0.908118	0.414992
19	0.634536	1.575956	-0.941420	0.402635
20	0.628190	1.591875	-0.963684	0.394623
21	0.615626	1.624362	-1.008735	0.378996
22	0.609470	1.640769	-1.031299	0.371454
23	0.600328	1.665756	-1.065428	0.360394
24	0.594325	1.682582	-1.088257	0.353222
25	0.588382	1.699577	-1.111196	0.346193
26	0.579556	1.725459	-1.145903	0.335885
27	0.573760	1.742888	-1.169128	0.329201
28	0.568023	1.760493	-1.192470	0.322650
28	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304
suma			-231.489113	
media				0.546299

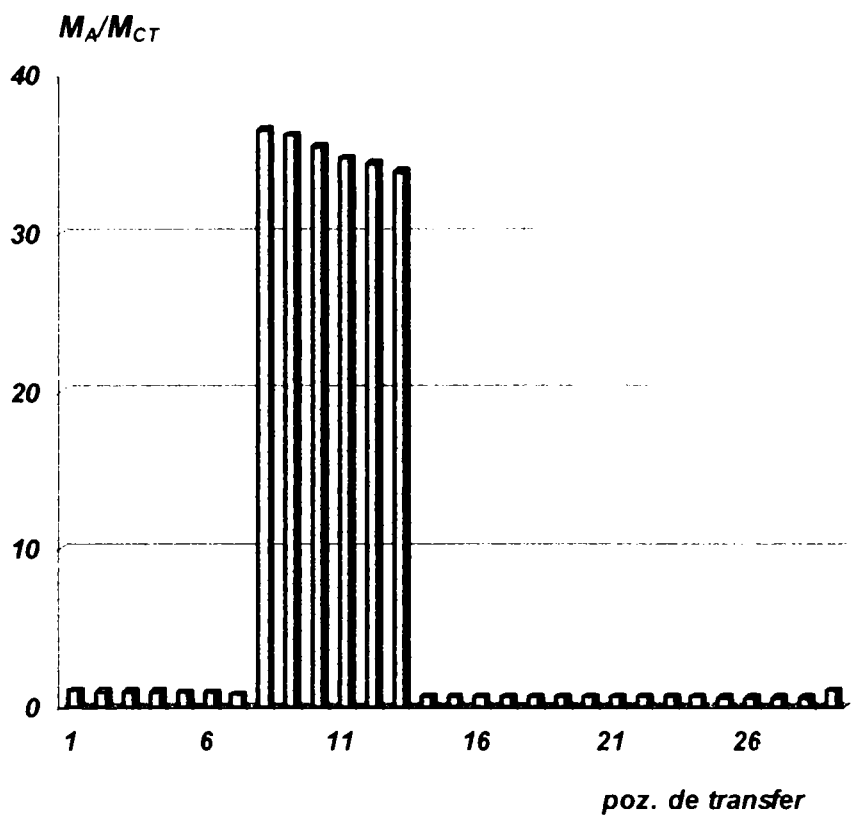


Fig. 4.33. Variația momentului M_A pentru poziția de conectare a sursei 28

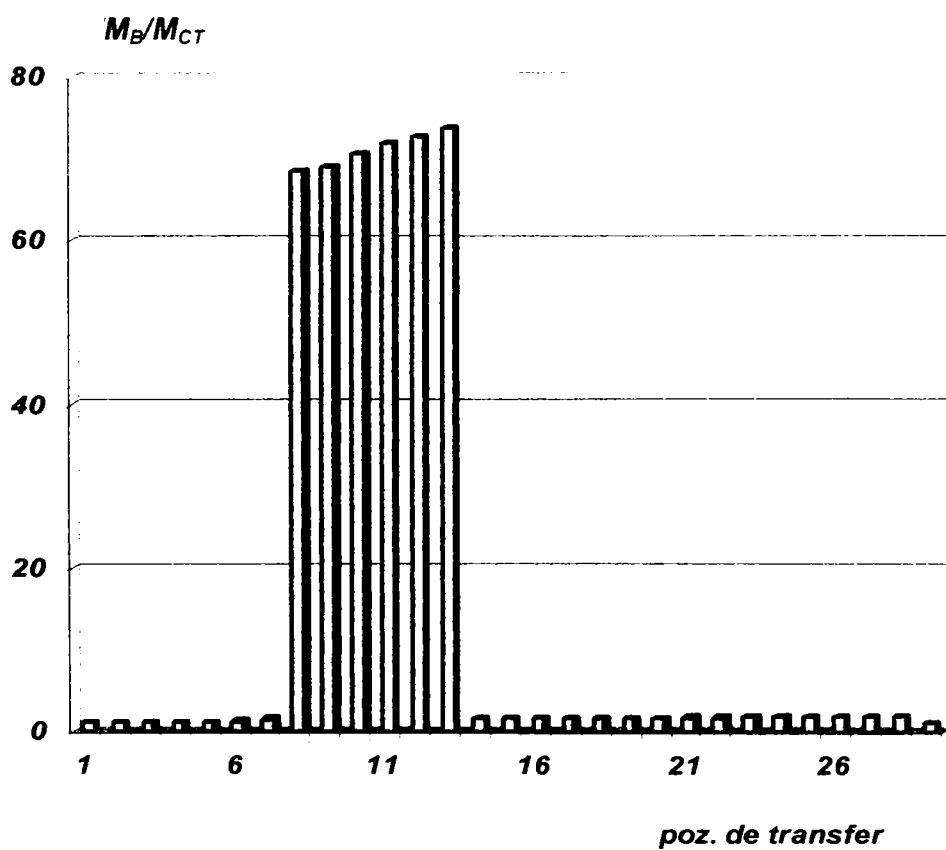


Fig. 4.34. Variația momentului M_B pentru poziția de conectare a sursei 28

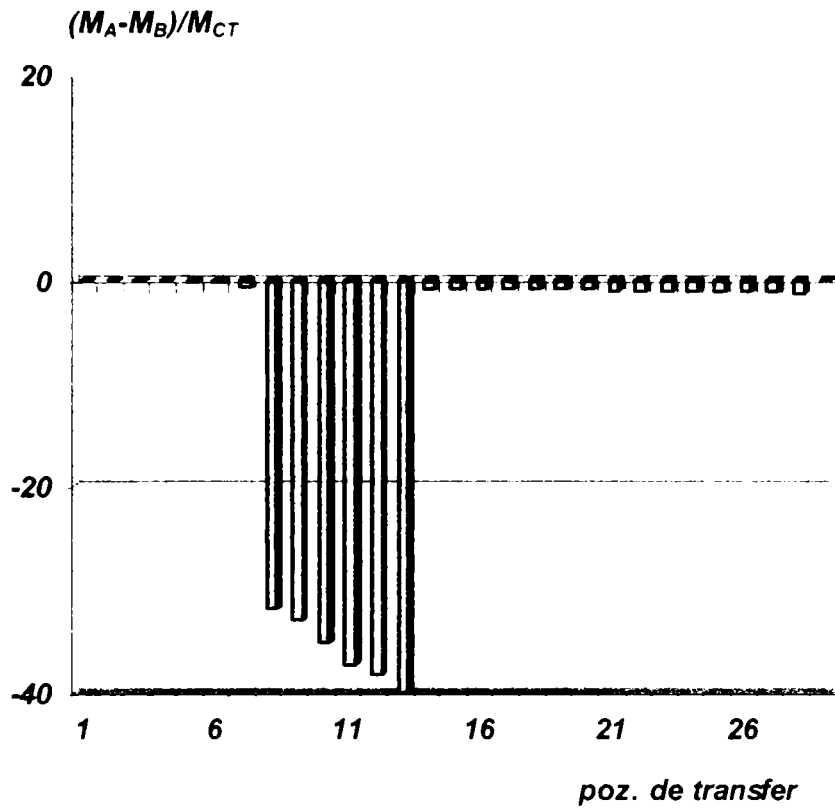


Fig. 4.35. Variația diferenței $M_A - M_B$ pentru poziția de conectare a sursei 28

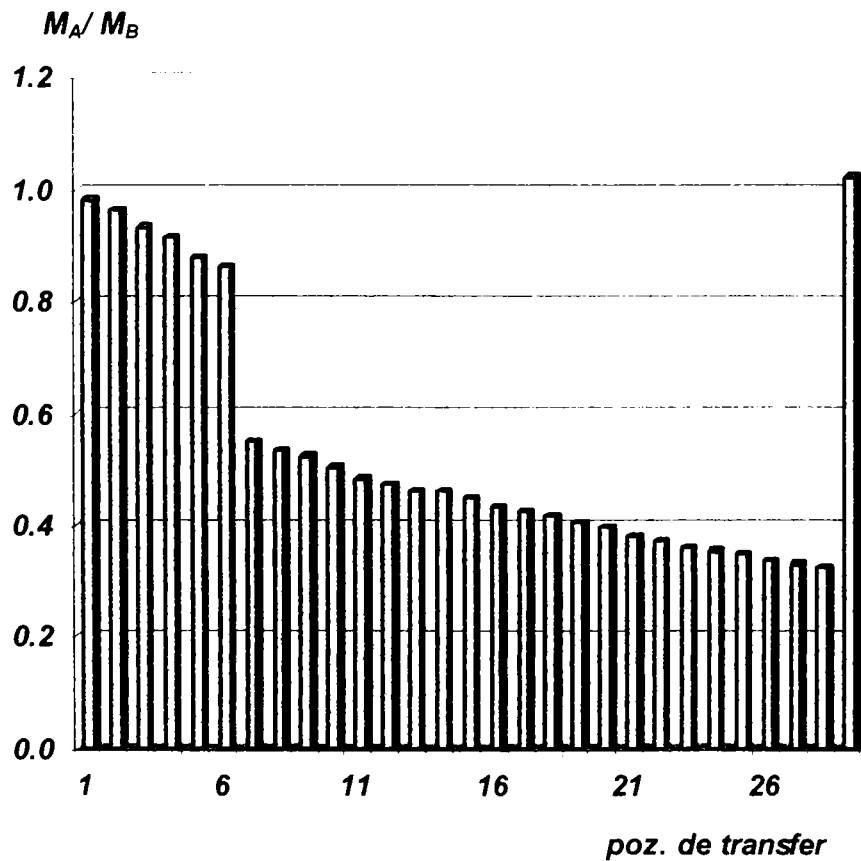


Fig. 4.36. Variația raportului M_A / M_B pentru poziția de conectare a sursei 28

Analizând datele din tabele și alurile variațiilor din figurile prezentate anterior se pot face primele observații calitative privind comportarea sistemului mecanic în regim reversibil și având sursa de energie exterioară plasată în diverse puncte ale circuitului. În tabelul 4.10 sunt redată aceste aspecte calitative care relevă, în primul rând, importanța punctului de conectare a motorului.

Tabelul 4.10

Poziția de conectare a sursei exterioare	Punctul de încărcare maximă la sensul A	Punctul de încărcare maximă la sensul B	Sensul cu valoarea maximă a încărcării
1	8	13	A
4	8	13	A
5	8	13	A
6	8	13	A
15	13	8	B
16	13	8	B
17	13	8	B
21	13	8	B
28	13	8	B

Pentru analiza numerică și optimizarea concretă a circuitului au fost sintetizate datele necesare în tabelul 4.12. Aceste date au rezultat prin prelucrarea informației cuprinse în tabelele 4.1...4.9 și reprezintă criteriile de evaluarea a sistemului, utile în vederea optimizării (tabelul 4.11).

Tabelul 4.11

Coloana din tab. 4.12	Semnificația	Relația de calcul	Valoare optimă
1	momentul de acționare necesar la sensul A al fluxului principal	(3.1)	→ 0
2	momentul de acționare necesar la sensul B al fluxului principal	(3.2)	→ 0
3	variația momentului motor la schimbarea sensului fluxului principal	(3.3)	→ 0
4	variația încărcării la schimbarea sensului pe fluxul principal	(3.6)	→ 0
5	variația încărcării la schimbarea sensului pe fluxul secundar	(3.6)	→ 0
6	coeficientul încărcării reversibile	(3.1)/(3.2)	→ 1
7	suma globală a variației încărcării pentru cele două sensuri ale fluxului principal	$\Sigma(3.3)$	→ 0
8	raportul încărcărilor pentru fluxul principal și secundar la sensul A	M_{A2}/M_{A1} (tab. 4.1...4.9)	→ 1
9	raportul încărcărilor pentru fluxul principal și secundar la sensul B	M_{B2}/M_{B1} (tab. 4.1...4.9)	→ 1
10	raportul mediu al încărcării reversibile	media M_A/M_B (tab. 4.1...4.9)	→ 1

Tabelul 4.12

Pozitia sursei	$\backslash M_L$	$\backslash M_E$	$\backslash M$	$\backslash M_{L,E}$	$\backslash M_{E,S}$	Ψ	$\Sigma \backslash M_{L,E}$	$M_{L,E}/M_L$	$M_{E,S}/M_E$	M_A/M_c mediu
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-1.2106	0.5557	-1.7663	-0.0201	1.7462	-2.1786	295.5793	0.4499	0.4499	2.2789
4	-1.1687	0.5827	-1.7514	-0.0906	1.6608	-2.0058	292.8803	0.4499	0.4431	1.8928
5	-1.1666	0.5993	-1.7659	-0.1310	1.6349	-1.9465	291.0885	0.4453	0.4386	1.7651
6	-1.1339	0.6006	-1.7345	-0.1512	1.5833	-1.8881	289.3024	0.4499	0.4431	1.6399
15	-0.6561	0.9880	-1.6441	-1.2899	0.3542	-0.6641	-207.4925	0.4499	0.4591	0.9288
16	-0.6693	1.0549	-1.7242	-1.3904	0.3338	-0.6345	-219.2634	0.4331	0.4453	0.8747
17	-0.6366	1.0568	-1.6934	-1.4004	0.2929	-0.6024	-220.0144	0.4499	0.4499	0.8375
21	-0.4903	0.7037	-1.1940	-0.9923	0.2017	-0.6967	-222.8330	0.5567	0.5623	0.7353
28	-0.4421	0.7705	-1.2126	-1.1925	0.0201	-0.5738	-231.4891	0.5623	0.5623	0.5463

Compararea valorilor criteriilor înscrise în tabelul 4.12 este dificilă, neconcludentă și, în orice caz, incertă fără o abordare matematică adecvată. Chiar reprezentările grafice (fig. 4.37...4.43) care sunt mai intuitive decât tablourile numerice nu pot conduce decât la concluzii parțiale, fără relevanță privind aspectele relaționale dintre criterii.

Autoarea consideră că în cazul de optimizare urmărit se pretează aplicarea unei metode criteriale multiatribut pentru care există dezvoltate în ultimele decenii mai multe abordări matematice de succes.

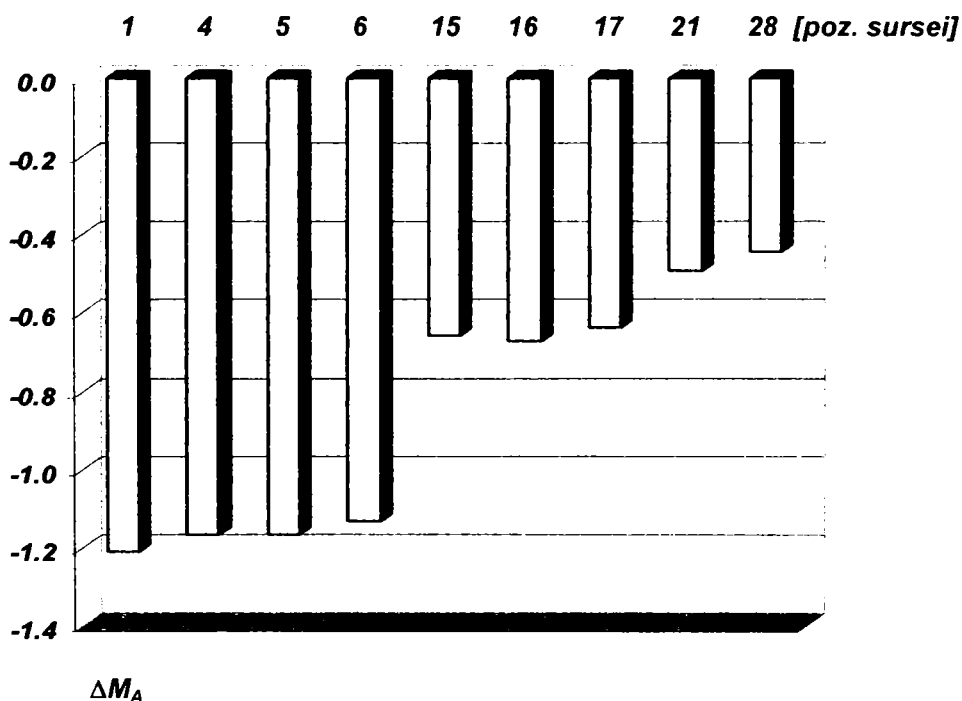


Fig. 4.37. Variația momentului motor adimensionalizat pentru sensul A
 funcție de punctul de conectare al motorului

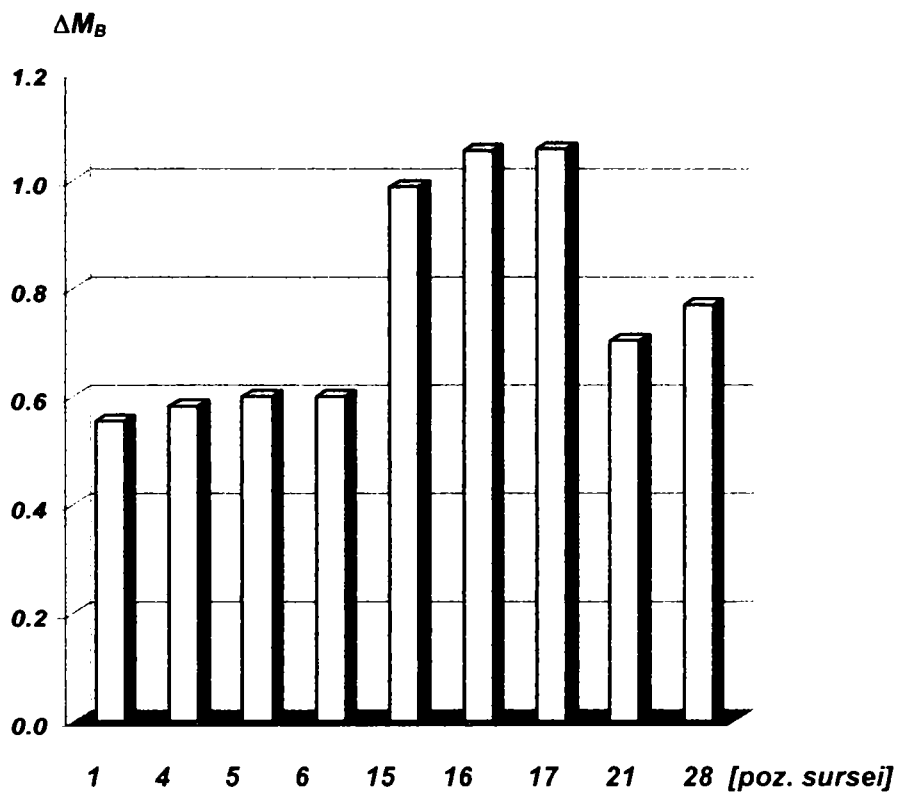


Fig. 4.38. Variația momentului motor adimensionalizat pentru sensul B
funcție de punctul de conectare al motorului

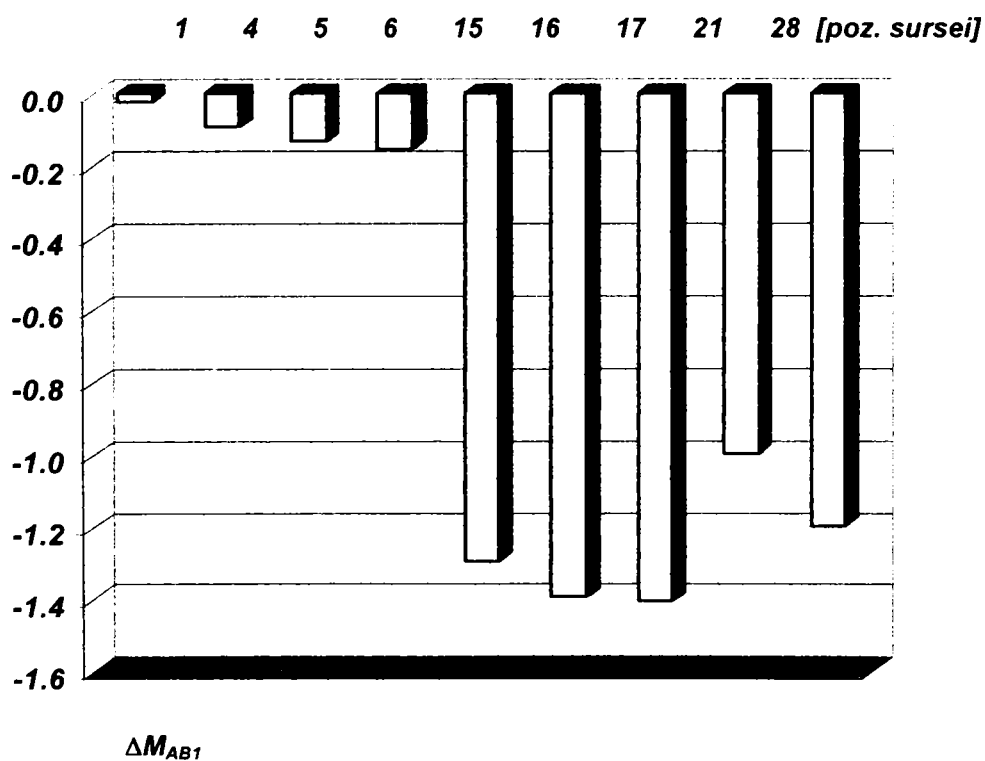


Fig. 4.39. Variația încărcării la schimbarea sensului fluxului principal A-B
funcție de punctul de conectare al motorului

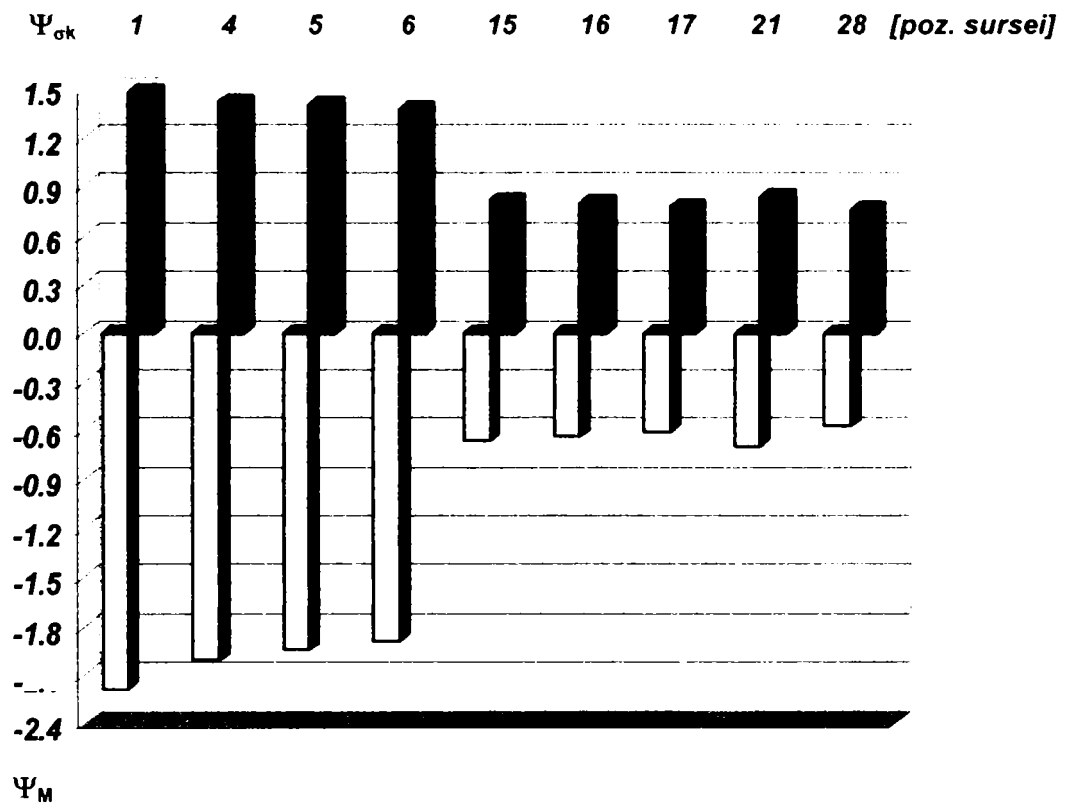


Fig. 4.40. Variația coeficientului încărcării reversibile și a raportului tensiunilor în
 pol funcție de punctul de conectare al motorului

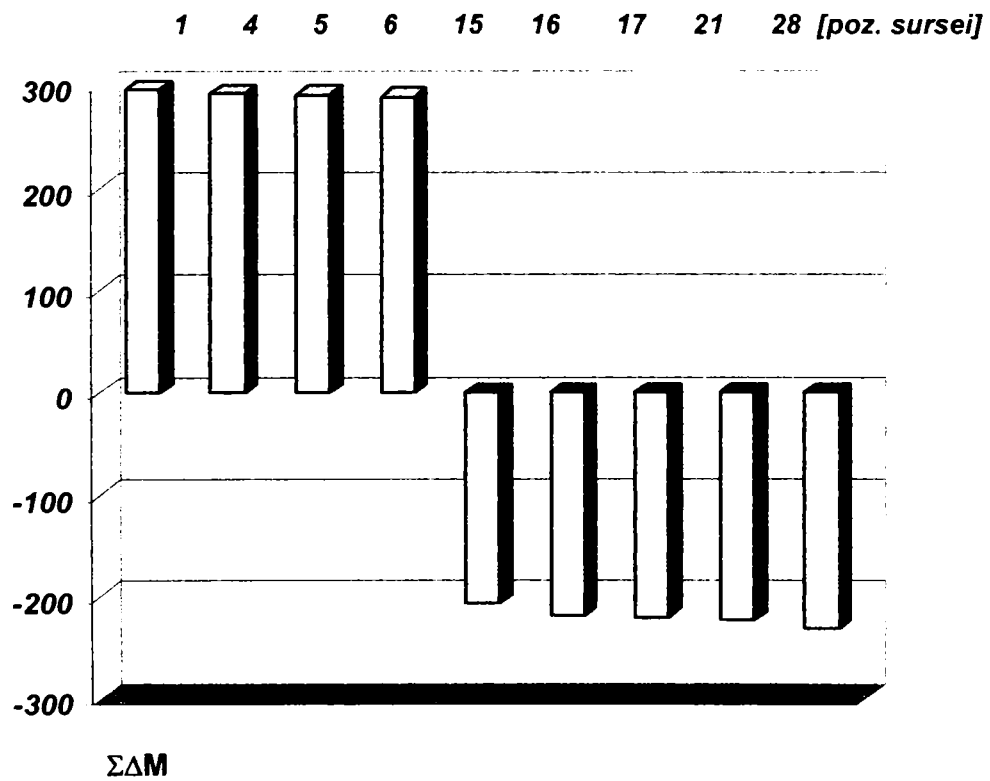


Fig. 4.41. Suma globală a variației încărcărilor pentru cele două senzori
 ale fluxului principal funcție de punctul de conectare a motorului



M_A/M_B mediu

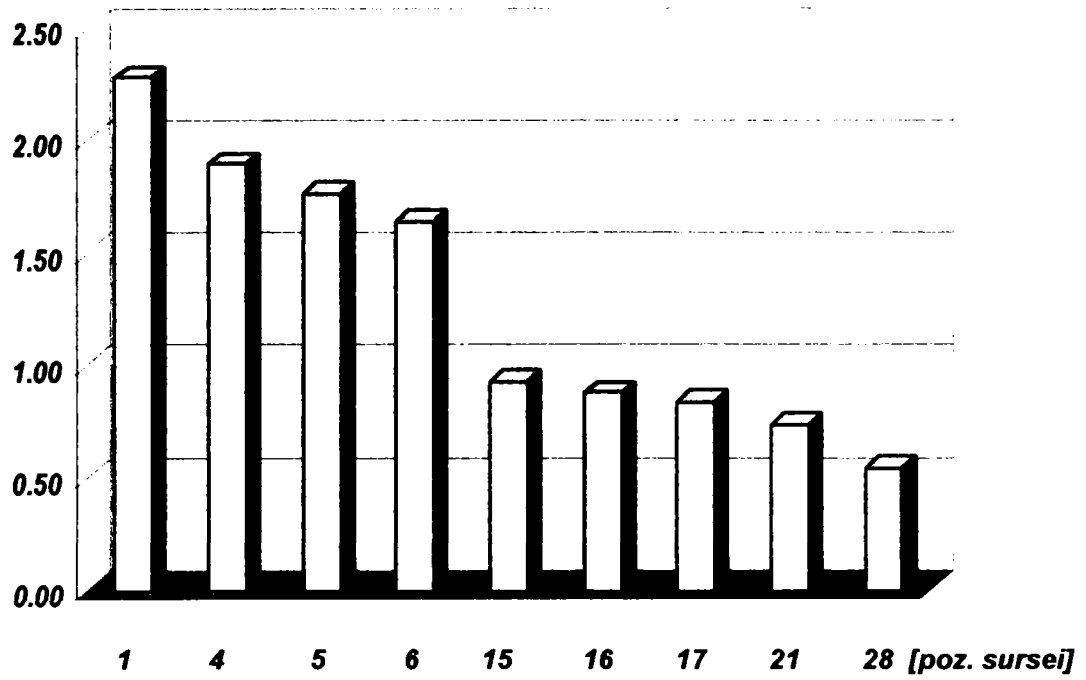


Fig. 4.42. Raportul M_A/M_B mediu funcție de punctul de
conectare a motorului

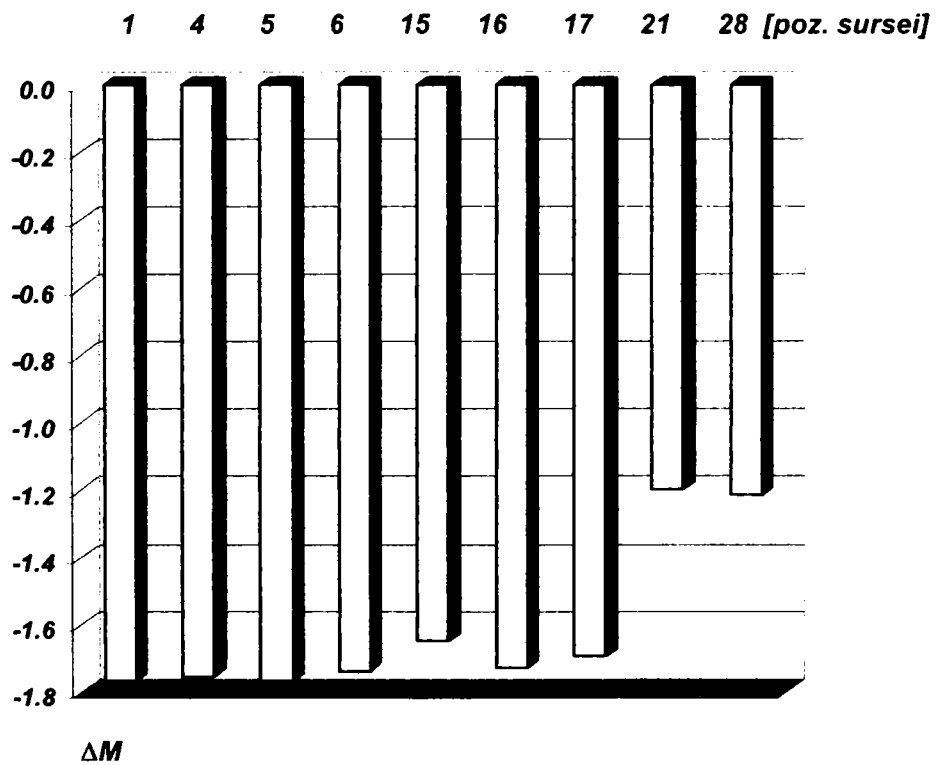


Fig. 4.43. Variația momentului motor la schimbarea sensului
fluxului principal funcție de punctul de conectare al motorului

4.2. SELECTAREA SOLUTIEI OPTIME DE CONECTARE A SURSEI DE ENERGIE EXTERIOARA PRIN METODE MULTICRITERIALE

4.2.1. FUNDAMENTE MATEMATICE. ALGORITMI SPECIFICI

Metoda Electre (Elimination et Choix Traduisant la Realite) a fost concepută de către Roy, Sussmann și Benayoun în anul 1967 și a cunoscut o rapidă dezvoltare și îmbunătățire prin versiunile II, III, IV și TRI. Scopul metodei este obținerea unei informații corecte privind ierarhizarea, sortarea sau luarea unei decizii în analiza unor soluții tehnice, economice sau manageriale, atunci când subiectul analizei prezintă mai multe variante, care sunt caracterizate prin mai multe atribute alocate pe mai multe criterii. De asemenea, metoda încorporează natura fuzzy a deciziei (descriind gradul de imprecizie sau incertitudine) prin implementarea pragurilor numite de indiferență și de preferință. Față de alte metode multiatribut, Electre are un caracter total noncompensator, în sensul că un scor foarte bun privind un criteriu nu compensează în nici o măsură scorul slab atribuit altui criteriu.

Abordarea Electre în variantele noi are la bază două concepte importante: *ierarhizare* și *prag*.

Formularea generală a problemei presupune existența unui număr A de variante, care pot fi apreciate după r criterii (notate g_i , $i=1, 2, \dots, r$). Modelarea matematică generatoare a algoritmului se bazează pe două posibilități relaționale, formulate astfel:

Pentru două alternative $(a, b) \in A$, există posibilitățile:

$$aPb \text{ (} a \text{ este preferat lui } b) \Leftrightarrow g(a) > g(b), \quad (4.1)$$

$$alb \text{ (} a \text{ este indiferent față de } b) \Leftrightarrow g(a) = g(b). \quad (4.2)$$

Introducerea noțiunii de *prag de preferință* p , rafinează gradul de discernământ al deciziei prin completarea:

$$aPb \text{ (} a \text{ este preferat lui } b) \Leftrightarrow g(a) > g(b) + p, \quad (4.3)$$

$$alb \text{ (} a \text{ este indiferent față de } b) \Leftrightarrow |g(a) - g(b)| \leq p. \quad (4.4)$$

Chiar în această abordare, pot rămâne zone decizionale de ezitare între preferință și indiferență, ceea ce a condus la definirea unui *prag suplimentar de indiferență*, q .

În acest dublu model cu praguri intervine un nou operator relațional Q , de slabă preferință:

$$aPb \text{ (a este puternic preferat lui b)} \Leftrightarrow g(a)-g(b)>q, \quad (4.5)$$

$$aQb \text{ (a este slab preferat lui b)} \Leftrightarrow q < g(a)-g(b) \leq p, \quad (4.6)$$

$$alb \text{ (a este indiferent lui b și lui a)} \Leftrightarrow |g(a)-g(b)| \leq q. \quad (4.7)$$

Alegerea pragurilor revine operatorului și are implicații directe asupra relevanței rezultatelor.

Scopul metodei Electre este acela de a crea o relație de ierarhizare S . Considerând alternativele a și b , între acestea pot exista următoarele conexiuni prin relația S :

$$aSb \text{ și } non(bSa), \quad (4.8)$$

$$non(aSb) \text{ și } bSa, \quad (4.9)$$

$$aSb \text{ și } bSa, \quad (4.10)$$

$$non(aSb) \text{ și } non(bSa). \quad (4.11)$$

Primele două situații clasifică alternativele a și b în ordinea (a,b) , respectiv (b,a) , în timp ce a treia variantă indică indiferența (egalitatea calitativă), iar a patra incompatibilitatea.

Aserțiunea aSb este acceptată prin testarea a două principii:

- *principiul concordanței*, care reclamă o majoritate a criteriilor, luând în considerare importanța lor relativă prin factori de pondere (*principiul majorității*)
- *principiul non-discordanței*, care impune ca în minoritatea de criterii care nu suportă aserțiunea, nici unul să nu prezinte o opoziție puternică (*principiul respectului minorităților*).

Practic, se definește o *matrice de concordanță* $C(a,b)$, ale cărei elemente corespund tuturor perechilor posibile din mulțimea variantelor $[(a,b) \in A]$. Dacă celor g criterii li se atribuie ponderile k_j , $j=1, 2, \dots, r$, matricea de concordanță se poate scrie sub forma:

$$C(a,b) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^r k_j c_j(a,b), \text{ unde } k = \sum_{j=1}^r k_j, \quad (4.12)$$

cu coeficienții $c(a,b)$:

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 1, & \text{daca } g_j(a) + q_j \geq g_j(b) \\ 0, & \text{daca } g_j(a) + p_j \leq g_j(b), \quad j = 1, \dots, r. \\ \frac{p_j + g_j(a) - g_j(b)}{p_j - q_j}, & \text{in restul cazurilor} \end{cases} \quad (4.13)$$

Coeficienții de pondere sunt priviți ca niște coeficienți de importanță (echivalenți unui număr de voturi alocate unui criteriu candidat), nu trebuie să fie subunitari și prin însumare să fie egali cu 1, ci pot avea orice valori, atribuite de operator.

Metoda Electre mai introduce și *principiul discordanței*, care indică existența discordanțelor asociate aserțiunii aSb . În acest scop se definește al treilea prag, denumit *pragul de veto*, v_j , care exclude total pentru orice criteriu j relația aSb , pe baza testului:

$$g_j(b) > g_j(a) + v_j. \quad (4.14)$$

Indicii de discordanță pentru fiecare criteriu j , $d_j(a,b)$ se calculează cu relațiile:

$$d_j(a,b) = \begin{cases} 0, & \text{daca } g_j(a) + p_j(b) \geq g_j(b) \\ 1, & \text{daca } g_j(a) + v_j \leq g_j(b), \quad j = 1, \dots, r. \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j}{v_j - p_j}, & \text{in alte cazuri} \end{cases} \quad (4.15)$$

O matrice de discordanță este scrisă pentru fiecare criteriu, spre deosebire de matricea de concordanță care este unică pentru problemă.

Pentru fiecare variantă și criteriu există astfel o măsură a concordanței și discordanței. În etapa finală este necesară realizarea efectivă a ierarhizării căutate. Procedura propusă de metoda Electre este elaborarea unei matrici de credibilitate, care stabilește gradul de certitudine al aserțiunii "a este cel puțin atât de bun ca și b". Gradul de credibilitate al unei perechi $(a,b) \in A$ se calculează astfel:



$$S(a,b) = \begin{cases} C(a,b), & \text{daca } d_j(a,b) \leq C(a,b) \quad \forall j \\ C(a,b) \cdot \prod_{j \in J(a,b)} \frac{1-d_j(a,b)}{1-C(a,b)}, & \text{unde } J(a,b) \text{ este un set de criterii.} \\ & d_j(a,b) > C(a,b) \end{cases} \quad (4.16)$$

În final, ierarhizarea variantelor analizate este prezentată sub formă grafică ascendentă sau descendentă.

4.2.2. APLICAREA METODEI ELECTRE PENTRU OPTIMIZAREA STANDURILOR ENERGORECUPERATIVE

Pentru finalizarea aplicației inițiate în paragrafele anterioare s-a apelat la un soft dedicat, și anume, la programul ELECTRE III/IV, versiunea 1.b, elaborată de Universite Paris-Dauphine în colaborare cu Institute of Computing Science of Poznan, în 1994.

Versiunea demo avută la dispoziție de autoare prezintă două limitări: admite numai cinci criterii și șase variante. Datorită acestei constrângeri, din cele zece criterii definite în tabelul 4.12 au fost eliminate 4, considerate cu un anumit grad de redundanță în raport cu celelalte sau cu relevanță mai slabă pentru comportarea sistemului. De asemenea, dintre cele nouă variante au fost păstrate doar șase, fiind omise cele care prezentau un grad mare de similitudine cu cele învecinate.

Având în vedere faptul că programul realizează sortarea ascendentă sau descendentă a caracteristicilor numerice ale criteriilor, a fost necesară prelucrarea preliminară a datelor la criteriile pentru care valoarea țintă este unitară. Astfel, pentru criteriile (M_A/M_B) med și Ψ_M , s-au micșorat valorile reale cu 1 și au rezultat datele redată în tabelul 4.13, corespunzător unor criterii echivalente $(M_A/M_B)^*$ med și Ψ_M^* , pentru care valoarea țintă este 0.

Tabelul 4.13

$(M_A/M_B)^* \text{ med}$	Ψ_M^*
-1.278922	3.178610
-0.892836	1.005848
0.071232	0.335923
0.125296	0.365472
0.264683	0.303290
0.453701	1.573760



Din aceleași considerente s-a lucrat numai cu valori absolute pentru celelalte criterii.

Tabloul datelor prelucrate adecvat modului de lucru al programului ELECTRE III/IV este redat în tabelul 4.14.

Tabelul 4.14

	Criteriul 1	Criteriul 2	Criteriul 3	Criteriul 4	Criteriul 5	Criteriul 6
Pozitia sursei (Alternativa)	ΔM_A	ΔM_B	Ψ_M^*	$\Sigma \Delta M_{AB}$	$(M_A/M_B)_{med}^*$	$(M_{A1}/M_{A2}) / (M_{B1}/M_{B2})^*$
1	-1.2106	0.5557	3.178610	295.5793	1.278922	0.000000
4	-1.1687	0.5827	1.005848	292.8803	0.892836	0.015228
15	-0.6561	0.9880	0.335923	207.4925	0.071232	0.020000
16	-	-	2	2	2	27411
21	-0.4903	0.7037	0.303290	222.8330	0.264683	0.010101
28	-0.4421	0.7705	1.573760	231.4891	0.453701	0.000000

Câteva secvențe din rularea programului sunt prezentate în continuare în figurile 4.44...4.65. Acestea conțin capturi de ecran cu explicarea declarațiilor, simbolurilor și rezultatelor în subsolul figurilor.

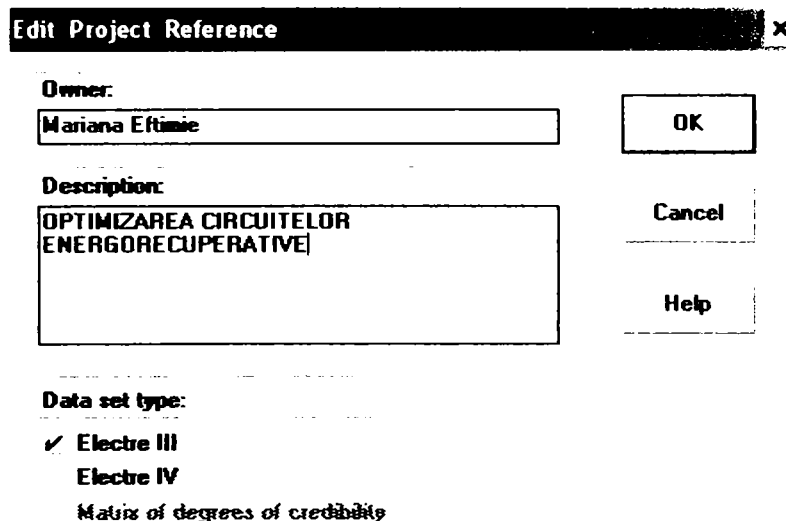


Fig. 4.44. Denumirea proiectului și selectarea metodei

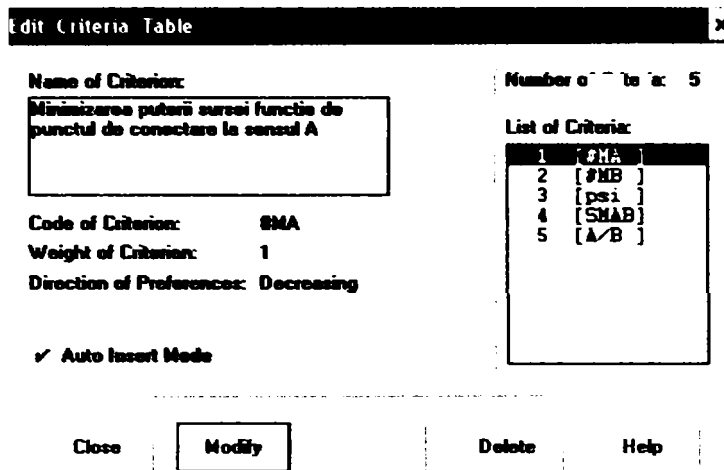


Fig. 4.45. Editarea criteriului 1, cu precizarea descrierii sale, a simbolului, a coeficientului de pondere și a preferinței de evoluție în procesul de ierarhizare

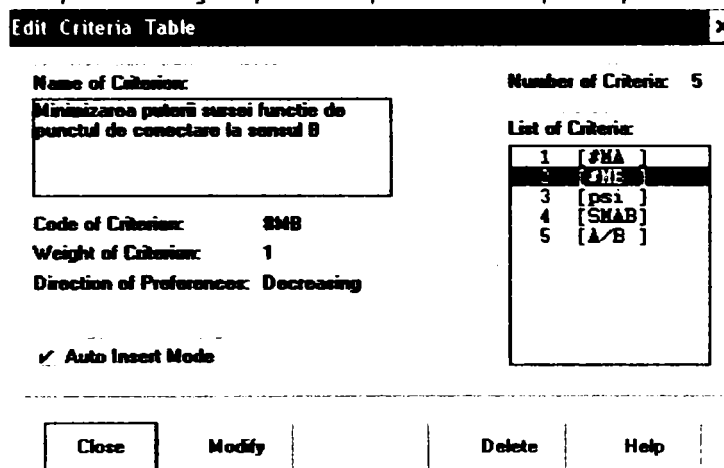


Fig. 4.46. Editarea criteriului 2, cu precizarea descrierii sale, a simbolului, a coeficientului de pondere și a preferinței de evoluție în procesul de ierarhizare

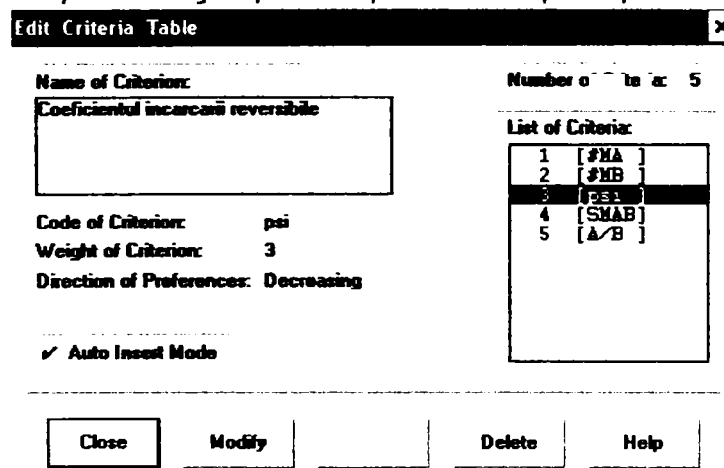


Fig. 4.47. Editarea criteriului 3, cu precizarea descrierii sale, a simbolului, a coeficientului de pondere și a preferinței de evoluție în procesul de ierarhizare

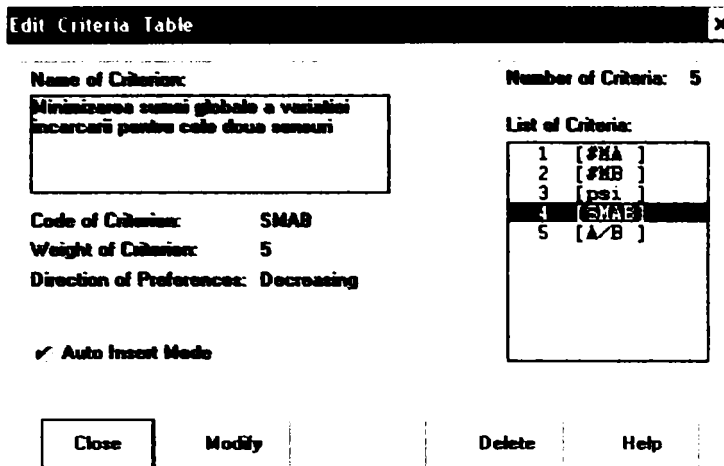


Fig. 4.48. Editarea criteriului 4, cu precizarea descrierii sale, a simbolului, a coeficientului de pondere și a preferinței de evoluție în procesul de ierarhizare

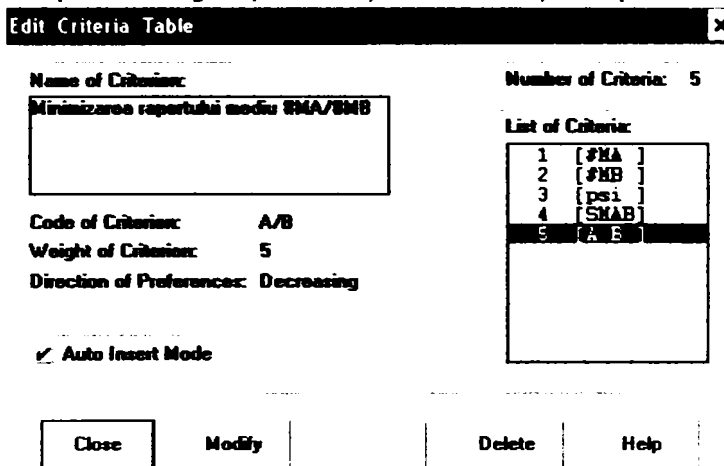


Fig. 4.49. Editarea criteriului 5, cu precizarea descrierii sale, a simbolului, a coeficientului de pondere și a preferinței de evoluție în procesul de ierarhizare

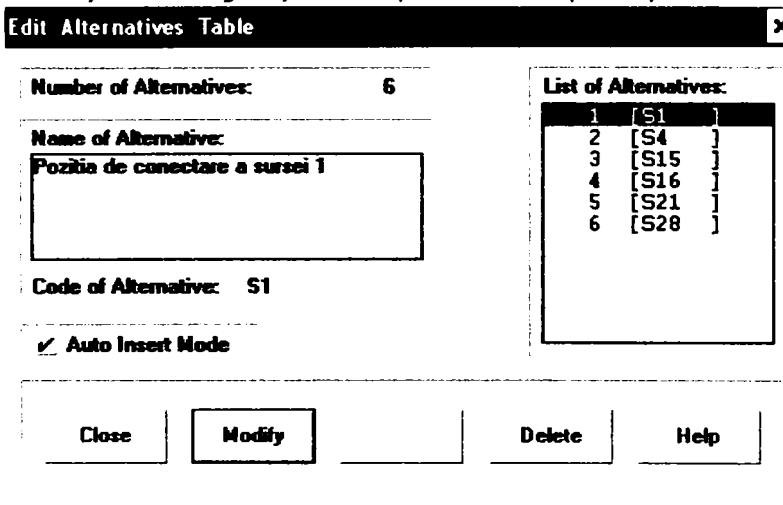


Fig.4.50. Editarea alternativei 1, cu precizarea descrierii sale și a simbolului

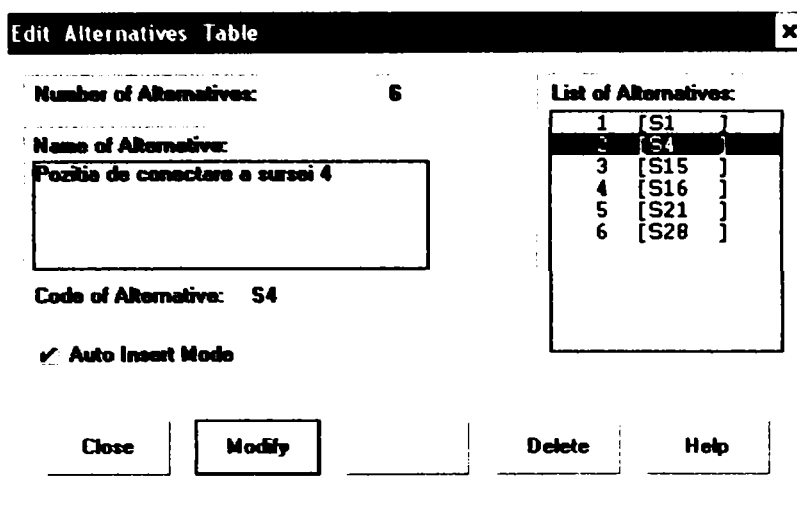


Fig.4.51. Editarea alternativei 2, cu precizarea descrierii sale și a simbolului

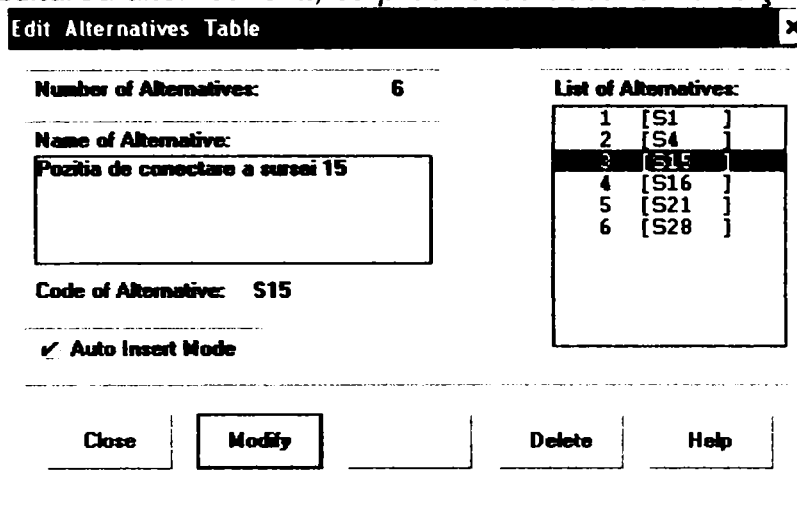


Fig.4.52. Editarea alternativei 3, cu precizarea descrierii sale și a simbolului

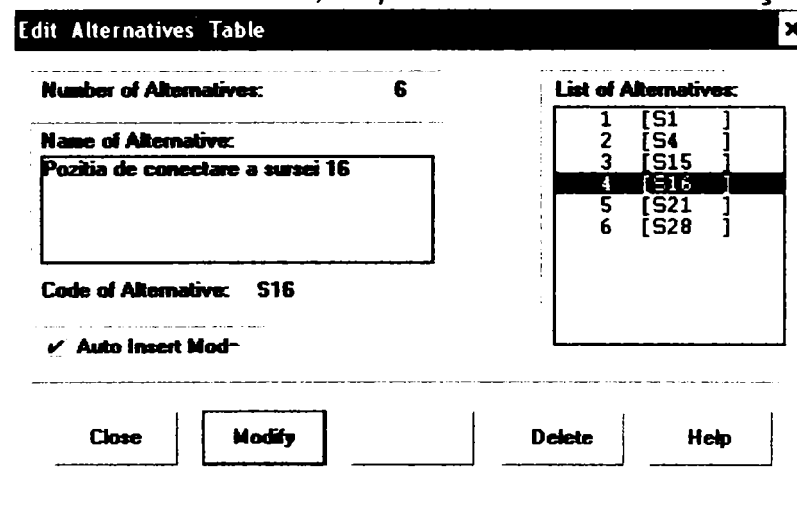


Fig.4.53. Editarea alternativei 4, cu precizarea descrierii sale și a simbolului

Edit Alternatives Table [X]

Number of Alternatives: 6

Name of Alternative:
 Pozitia de conectare a sursei 21

Code of Alternative: S21

Auto Insert Mode

List of Alternatives:

1	[S1]
2	[S4]
3	[S15]
4	[S16]
5	[S21]
6	[S28]

Close Modify Delete Help

Fig. 4.54. Editarea alternativei 5, cu precizarea descrierii sale și a simbolului

Edit Alternatives Table [X]

Number of Alternatives: 6

Name of Alternative:
 Pozitia de conectare a sursei 28

Code of Alternative: S28

Auto Insert Mode

List of Alternatives:

1	[S1]
2	[S4]
3	[S15]
4	[S16]
5	[S21]
6	[S28]

Close Modify Delete Help

Fig. 4.55. Editarea alternativei 6, cu precizarea descrierii sale și a simbolului

Edit Performances Table [X]

	SMa	SMB	psi	SMAB	A/B
S1	1.2106	0.5557	3.1786	295.57	1.2789
S4	1.1687	0.5827	1.0058	292.88	0.8928
S15	0.6561	0.988	0.3359	207.49	0.0712
S16	0.6693	1.0549	0.3654	219.26	0.1252
S21	0.4903	0.7037	0.3033	222.83	0.2646
S28	0.4421	0.7705	1.5738	231.49	0.4537

Number of Criteria: 5

Number of Alternatives: 6

0.4537

Close Help

Fig. 4.56. Fereastră cu editarea tabloului valorilor numerice ale performanțelor pentru cele cinci criterii și șase alternative

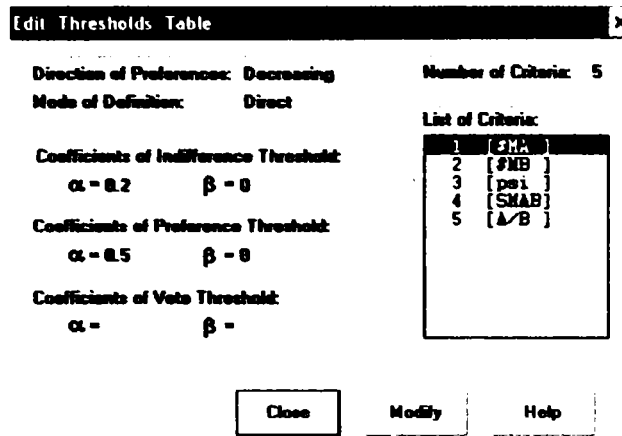


Fig. 4.57. Editarea valorilor pragurilor de indiferență și preferință pentru criteriul 1 ($p=\alpha g_j + \beta$; pragul de veto a fost invalidat având în vedere dispersia mică a datelor)

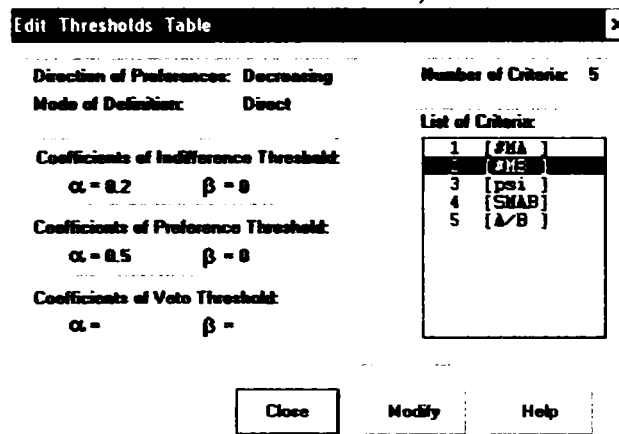


Fig. 4.58. Editarea valorilor pragurilor de indiferență și preferință pentru criteriul 2 ($p=\alpha g_j + \beta$; pragul de veto a fost invalidat având în vedere dispersia mică a datelor)

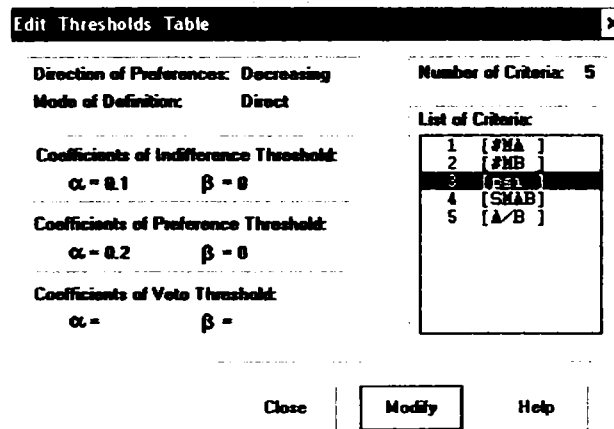


Fig. 4.59. Editarea valorilor pragurilor de indiferență și preferință pentru criteriul 3 ($p=\alpha g_j + \beta$; pragul de veto a fost invalidat având în vedere dispersia mică a datelor)

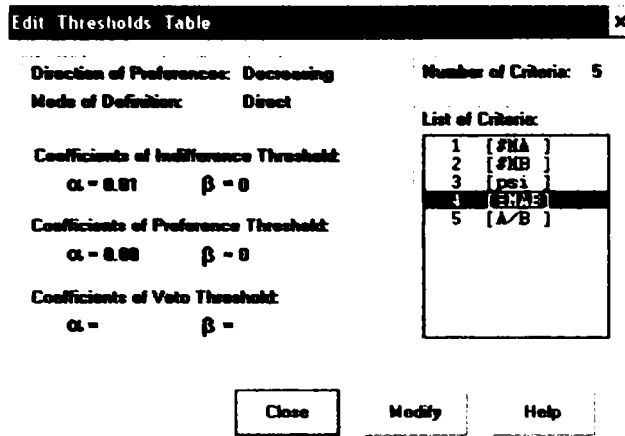


Fig. 4.60. Editarea valorilor pragurilor de indiferență și preferință pentru criteriul 4 ($p=\alpha g_j + \beta$; pragul de veto a fost invalidat având în vedere dispersia mică a datelor)

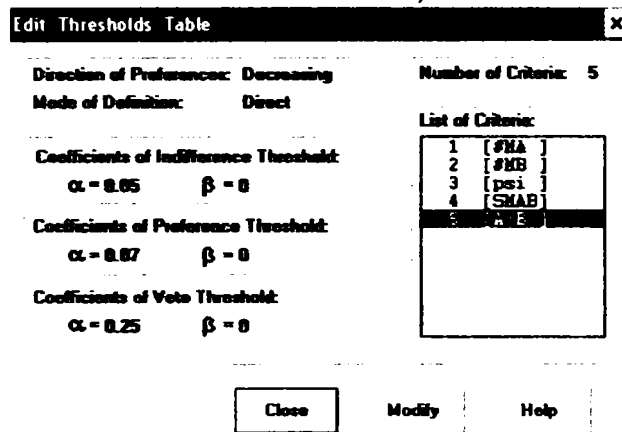


Fig. 4.61. Editarea valorilor pragurilor de indiferență și preferință pentru criteriul 5 ($p=\alpha g_j + \beta$; pragul de veto a fost invalidat având în vedere dispersia mică a datelor)

	S1	S4	S15	S16	S21	S28
S1	1	0.5	0.069	0.071	0.062	0.062
S4	1	1	0.072	0.074	0.062	0.25
S15	0.95	0.95	1	1	0.95	0.95
S16	0.94	0.95	0.31	1	0.87	0.94
S21	0.98	0.99	0.31	0.63	1	1
S28	0.97	0.79	0.12	0.12	0.24	1

Fig. 4.62. Matricea de concordanță, rezultată prin testarea principiilor concordanței și non-discordanței



Valorile unitare indică indiferența (fiecare alternativă este la fel de bună ca și ea însăși; alternativa S15 este la fel de bună ca și alternativa S16).

Valorile subunitare cu cât sunt mai apropiate de 0 indică preferințe mai puternice (S16 este cel mai puternic preferată variantei S4 și în ordine descrescătoare variantelor S1, S28 și S21, dar este mai puțin bună în raport cu varianta S15)

	S1	S4	S15	S16	S21	S28
S1	1	0.5	0.069	0.071	0.062	0.062
S4	1	1	0.072	0.074	0.062	0.25
S15	0.95	0.95	1	1	0.95	0.95
S16	0.94	0.95	0.31	1	0.81	0.94
S21	0.98	0.99	0.31	0.63	1	1
S28	0.97	0.79	0.12	0.12	0.24	1

Fig. 4.63. Matricea de credibilitatea, care are în vedere și coeficienții de discordanță, rafinând gradul de discernământ între alternative

Valoarea 1 indică indiferența, valoarea 0 exprimă aserțiunea non a**S**b – de exemplu S4 nu este preferată nici uneia dintre celelalte variante sau S1 față de S15, S16, S21 și S28 .

Valorile subunitare indică intensitatea relației de preferință între variante, intensitate care se accentuează pe măsura scăderii valorii – de exemplu relația S16**S**S21 este mai puternică decât S16**S**S28).

	S1	S4	S15	S16	S21	S28
S1	I	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻
S4	P	I	P ⁻	P ⁻	P ⁻	P ⁻
S15	P	P	I	P	P	P
S16	P	P	P ⁻	I	P	P
S21	P	P	P ⁻	P ⁻	I	P
S28	P	P	P ⁻	P ⁻	P ⁻	I

Fig. 4.64. Matricea de ierarhizare, care transpune matricea de credibilitate într-o formulă mai tranșantă, bazată pe trei simboluri (I – alb – relație de indiferență, P – a**P**b – relație de preferință și P⁻ - b**Q**a – relație de slabă preferință)

Pe baza matricii de ierarhizare se crează soluția problemei, cu prezentare în forma grafică mai intuitivă. Locul în ierarhie a alternativelor rezultă pe baza unui scor calculat prin însumarea pe linie a relațiilor aS_b și aQ_b . Astfel, pe primul loc se clasifică alternativa S15, care cumulează un scor 5P. Urmează alternativa S16 cu scorul $4P+1P'$ ș.a.m.d.

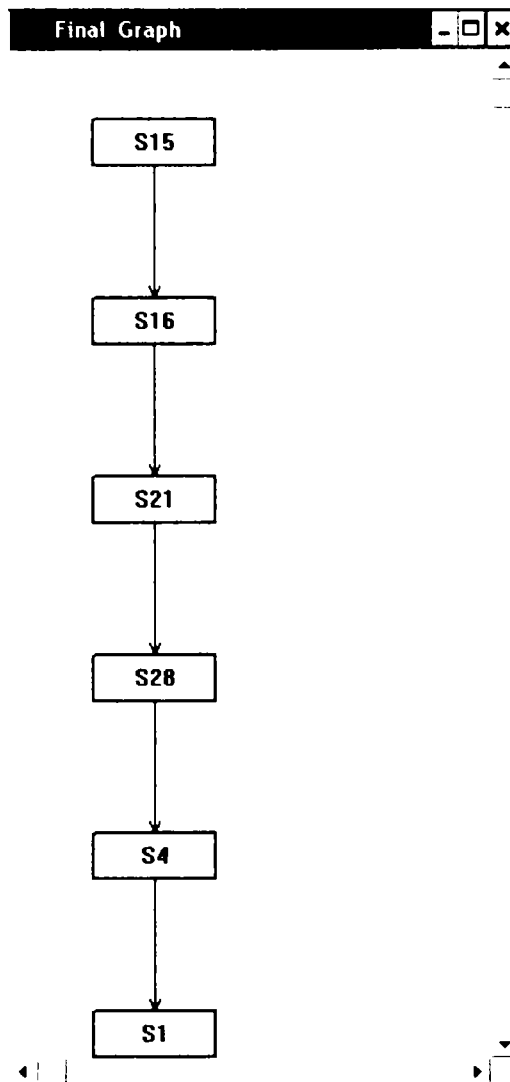


Fig. 4.65. Ierarhizarea finală bazată pe matricea de ierarhizare
(S15: 5P, S16: $4P+P'$, S21: $3P+2P'$; S28: $2P+3P'$; S4: $P+4P'$; S1: 5P)

Ca urmare a demersului matematic desfășurat anterior rezultă următoarele observații:

- parametrii energetici și de încărcare a tronsoanelor circuitului depind cu un grad mare de corelație de poziția de conectare a sursei de energie exterioară și de sensul fluxului energetic principal



- optimizarea presupune minimizarea sau tendința de atingere a valorii unitare, funcție de criteriu
 - criteriile de optimizare vizează parametrii energetici ai circuitului în toate punctele sale de transformare energetică, dar importanța lor relativă nu este egală. Din acest motiv este suficientă selectarea unui set minim, dar suficient de curpinzător pentru descrierea comportării sistemului și a influențelor asupra acesteia. Chiar în setul de criterii selectate ca relevante se impune ierarhizarea importanței prin stabilirea unor factori de pondere
 - setul de criterii propus pentru optimizarea circuitului energorecuperativ conține:
 - variația puterii motoare pentru cele două sensuri ale fluxului energetic principal
 - coeficientul încărcării reversibile
 - suma globală a variației încărcării reversibile
 - raportul mediu al încărcării reversibile
 - stabilirea soluției optime necesită o abordare matematică adecvată. S-a propus și aplicat metoda ELECTRE III/IV, care face parte din categoria metodelor de selecție multiatribut și este capabilă să realizeze ierarhizări ale unui șir de variante caracterizate printr-un set extins de criterii, asigurând o credibilitate fundamentată matematic a rezultatelor
 - prima etapă de optimizare a circuitului poate fi considerată finalizată prin stabilirea poziției optime de conectare a sursei exterioare de energie în punctul 15 al circuitului. Urmează finalizarea optimizării care vizează minimizarea variației încărcărilor relative în acționare reversibilă și deducerea parametrilor finali ai standului
 - pentru cazul particular în care standul nu are caracter reversibil determinarea poziției optime a sursei se realizează mult mai simplu, prin analiza a două criterii ($M_{A1}-M_{A2}$, M_{A1}/M_{A2} , respectiv $M_{B1}-M_{B2}$, M_{B1}/M_{A2}). Din tabelul 4.12 rezultă că pentru sensul A poziția optimă de conectare a motorului este în punctul 1, iar pentru sensul B, în punctul 21.
-



4.3. MINIMIZAREA VARIATIEI INCARCARILOR RELATIVE PENTRU POZITIA OPTIMA A SURSEI DE ENERGIE EXTERIOARA

În prima etapă de optimizare s-a desfășurat un demers bazat pe ipoteza indicației egale cu unitatea, pentru ambele sensuri ale fluxului energetic principal, la sistemul de măsurare a încărcării, inclus în circuit în imediata vecinătate a dispozitivului de încărcare.

În etapa a doua se urmărește determinarea unei valori optime a încărcării adimensionalizate $(M_{CT})_B$ pe criteriul minimizării variației încărcărilor la schimbarea sensului fluxului principal.

Din punct de vedere matematic acest criteriu se formulează prin relația:

$$\sum_1^{j_{max}} \left(\frac{M_{\Phi A, j}}{(M_{CT})_A} - \frac{M_{\Phi B, j}}{(M_{CT})_B} \right) = 0, \quad (4.17)$$

iar aplicarea criteriului trebuie să conducă la o lege de forma:

$$(M_{CT})_B = f(M_{CT})_A. \quad (4.18)$$

Satisfacerea relației (4.17) semnifică un echilibru energetic global în funcționarea standului, în timp ce legea (4.18) tinde să răspundă cerinței de solicitare egală pe ambele flancuri ale danturii, la reversarea sensului.

Practic, revine în atenție tabelul 4.5 aferent poziției sursei în punctul 15, cu completarea sumelor încărcărilor pentru cele două sensuri (tab.4.15).

Dacă se calculează raportul $\Sigma M_A / \Sigma M_B$ rezultă valoarea 0.530296. Aceasta, ca factor, se aplică valorilor M_B / M_{CT} din coloana 2, rezultând o scădere semnificativă a sumei din coloana 3 (aproximativ -6). Pentru obținerea minimizării ideale, la valoarea nulă, se face o corecție a factorului $\Sigma M_A / \Sigma M_B$, operație ușor de realizat în câteva iterații efectuate pe tabelul Excel.

Valoarea găsită ca optimă este $\Sigma M_A / \Sigma M_B = 0.516295$, care conduce la datele caracteristice finale ale circuitului, date prezentate în tabelul 4.16.



Tabelul 4.15

Poz.de transfer	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
0	1	2	3	4
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.980100	1.020304	-0.040204	0.960596
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.056873	-0.129610	0.877365
7	0.913354	1.072968	-0.159614	0.851241
8	36.534175	67.060499	-30.526323	0.544794
9	36.168833	67.737877	-31.569044	0.533953
10	35.445457	69.120283	-33.674826	0.512808
11	34.736548	70.530901	-35.794353	0.492501
12	34.389182	71.243334	-36.854152	0.482700
13	33.873344	72.328258	-38.454914	0.468328
14	0.541974	1.808206	-1.266233	0.299730
15	0.536554	1.826471	-1.289917	0.293765
15	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
16	1.180749	0.846920	0.333829	1.394168
17	1.157134	0.864204	0.292930	1.338959
18	1.145563	0.872933	0.272629	1.312314
19	1.134107	0.881751	0.252356	1.286199
20	1.117095	0.895179	0.221917	1.247902
21	1.105925	0.904221	0.201704	1.223069
22	1.083806	0.922674	0.161132	1.174636
23	1.072968	0.931994	0.140974	1.151260
24	1.062238	0.941408	0.120830	1.128350
25	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
26	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
27	1.020304	0.975150	0.045154	1.046305
28	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304
suma	234.59369	441.751910	-207.492540	
media				0.928768

Tabelul 4.16

Poz. de transfer	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
0	1	2	3	4
1	0.990000	0.521510	0.468490	1.898333
2	0.980100	0.526778	0.453322	1.860556
3	0.965399	0.534800	0.430599	1.805158
4	0.955745	0.540202	0.415543	1.769236
5	0.936630	0.551226	0.385403	1.699174
6	0.927263	0.545658	0.381605	1.699347
7	0.913354	0.553968	0.359386	1.648749
8	36.534175	34.623000	1.911175	1.055200
9	36.168833	34.972727	1.196106	1.034201
10	35.445457	35.686457	-0.241000	0.993247
11	34.736548	36.414752	-1.678204	0.953914
12	34.389182	36.782577	-2.393395	0.934931
13	33.873344	37.342718	-3.469374	0.907094
14	0.541974	0.933568	-0.391594	0.580540
15	0.536554	0.942998	-0.406444	0.568987
15	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
16	1.180749	0.846920	0.333829	1.394168
17	1.157134	0.864204	0.292930	1.338959
18	1.145563	0.872933	0.272629	1.312314
19	1.134107	0.881751	0.252356	1.286199
20	1.117095	0.895179	0.221917	1.247902
21	1.105925	0.904221	0.201704	1.223069
22	1.083806	0.922674	0.161132	1.174636
23	1.072968	0.931994	0.140974	1.151260
24	1.062238	0.941408	0.120830	1.128350
25	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
26	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
27	1.020304	0.975150	0.045154	1.046305
28	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304
suma	234.259369	234.258968	0.000401	
media				1.252494

Analiza tabelului 4.16 permite următoarele observații:

- pentru sensul fluxului principal A încărcarea sistemului se face astfel încât indicația sistemului de măsurare să fie $M_{CT}=1$; pentru sensul B, încărcarea se aplică la nivelul la care indicația este $M_{CT}=0.516295$
- sumele momentelor M_A/M_{CT} și M_B/M_{CT} sunt practic egale, iar diferența lor nulă:

$$\sum_{j=1}^{28} \frac{M_{Aj}}{M_{CT}} = 234.259369, \quad (4.19)$$

$$\sum_{j=1}^{28} \frac{M_{Bj}}{M_{CT}} = 234.258968, \quad (4.20)$$

$$\sum_{j=1}^{28} \frac{M_{Aj}}{M_{CT}} - \sum_{j=1}^{28} \frac{M_{Bj}}{M_{CT}} = 0.000401. \quad (4.21)$$

□ în aceste condiții este asigurată încărcarea egală pentru ambele sensuri pe porțiunea de buclă dintre punctele 8 și 13, unde – în valori absolute – are nivelul cel mai ridicat. Raportul încărcării pe această porțiune de traseu este:

$$\left(\frac{M_{A8} \dots M_{A13}}{M_{B8} \dots M_{B13}} \right) = (1.05 \dots 0.90). \quad (4.19)$$

Raportul încărcării reversibile, prin semnificația sa – încărcare egală a flancurilor la reversarea sensului – devine o caracteristică foarte importantă a standului. Intervalul de valori obținut (rel. 4.19) este foarte favorabil, exprimând, de fapt unul dintre scopurile optimizării. Se observă că acest raport este practic foarte aproape de unitate, ceea ce reprezintă valoarea țintă ideală (fig. 4.66).

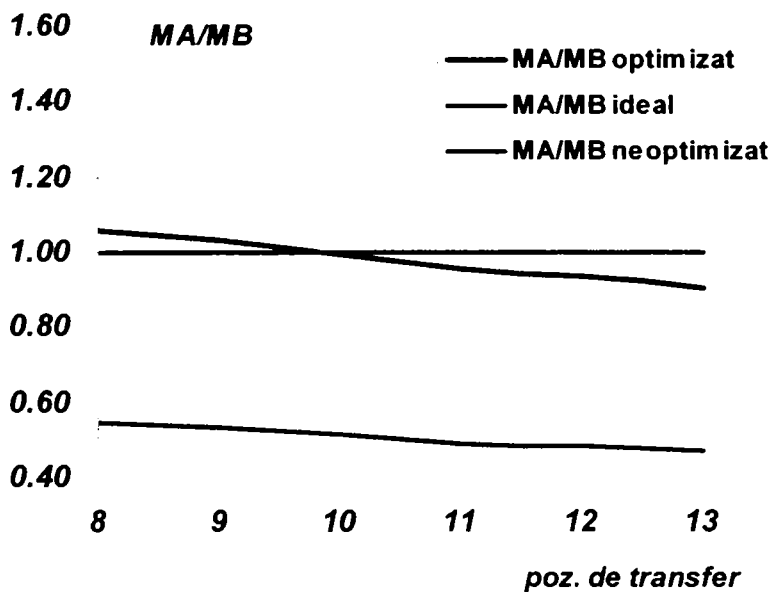


Fig. 4.66. Reprezentare comparativă a raportului încărcărilor pe tronsonul cel mai solicitat, în cazul standului fără optimizarea legilor de încărcare, a standului optimizat, cu figurarea valorii ideale unitare

Coeficientul tensiunilor reversibile la încovoiere are o alură identică. Coeficientul tensiunilor reversibile la contact este prezentat comparativ în figura 4.67.

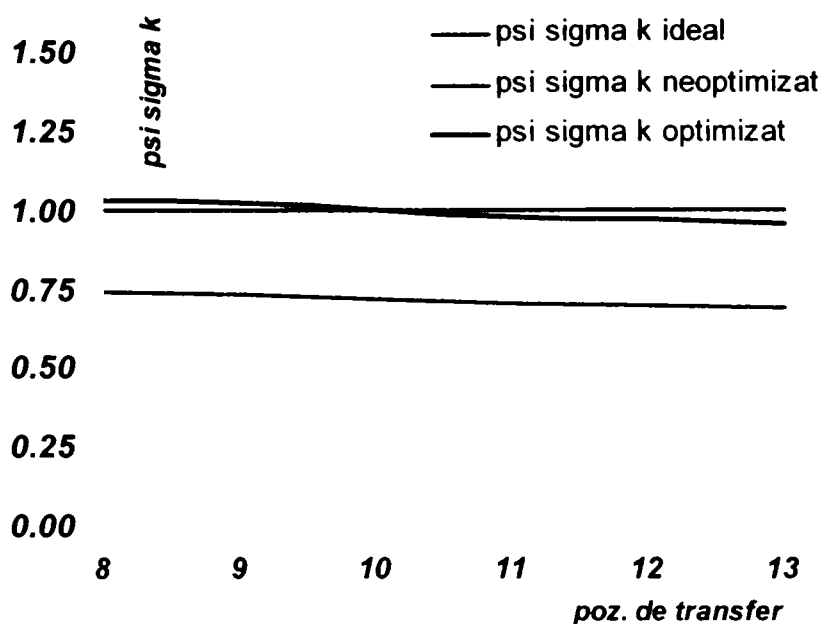


Fig. 4.67. Coeficientul tensiunilor reversibile la contact pe tronsonul cel mai solicitat pentru standul neoptimizat și optimizat în raport cu valoarea ideală, unitară

□ optimizarea circuitului poate fi considerată completă, având în vedere asigurarea consumului minim de energie și încărcarea egală pentru ambele sensuri ale fluxului energetic principal.

4.4. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

În capitolul 4 al tezei s-a realizat un exercițiu de optimizare a unui stand de testare sau rodare a transmisiilor cu angrenaje în circuit mecanic închis.

Optimizarea s-a bazat pe criterii care vizează o serie de parametri energetici ai circuitului, selectați ca având relevanță semnificativă pentru comportarea acestuia.

Pentru analiză și optimizare s-a propus o schemă cinematică având valoare ridicată de generalizare pentru clasa standurilor energorecuperative cu o singură buclă.

Aplicația concretă care a demonstrat modul de aplicare a metodelor și criteriilor de optimizare propuse, precum și rezultatele care permit evaluarea utilității și eficienței optimizării, a avut la bază schema unui stand de încercare a transmisiilor melcate.

Modelarea matematică a elementelor standului a vizat exclusiv aspectele de comportament energetic. Practic, punctelor de transformare energetică li s-au atribuit valori statistice ale randamentelor mecanice.

Pentru simularea numerică a funcționării și comportării circuitului s-au impus valorile fixe ale rapoartelor de transmitere ale celor două transmisii melcate, $i=50$ și 9 poziții alternative de conectare a sursei exterioare de energie.

Optimizarea s-a realizat pe baza unei metode care presupune două etape:

- determinarea poziției optime a sursei de energie exterioară în circuit, presupunând încărcarea constantă pentru ambele sensuri ale fluxului energetic principal ($M_{CT}=1$). Etapa este echivalentă cu minimizarea consumului energetic al standului.
- stabilirea legăturii $M_{CTB}=f(M_{CTA})$ pentru egalizarea încărcărilor la reversibilitatea sensurilor, pentru poziția optimă a sursei exterioare.

Determinarea datelor preliminare necesare optimizării a fost realizată cu ajutorul unui program original, conceput în limbajul Visual Basic. Stocarea rezultatelor în formă tabelară a fost asigurată printr-un link creat între aplicația VB și un fișier Excel.

Prelucrarea datelor din tabele a condus la stabilirea numerică a zece parametri caracteristici standului (tab. 4.12). Dintre aceștia au fost selectați ca relevanți 5 (utilizați ulterior drept criterii de optimizare):

- variația puterii motoare pentru cele două sensuri ale fluxului energetic principal ($M_{A1}-M_{A2}$, $M_{B1}-M_{B2}$)
- coeficientul încărcării reversibile ($M_{A1}-M_{A2}/ M_{B1}-M_{B2}$)
- suma globală a variației încărcării reversibile [$\Sigma(M_A/M_{CT}-M_B/M_{CT})$]
- raportul mediu al încărcării reversibile, (M_A/M_B) med.

Dintre cele 9 variante au fost selectate 6 cu diferențe considerate semnificative între valorile parametrilor.

Ierarhizarea alternativelor privind poziția motorului în circuit s-a realizat utilizând metoda Electre, o metodă multicriterială și multiatribut, cu grad ridicat de credibilitate fundamentată matematic. Pentru aplicație s-a utilizat programul specializat ELECTRE III/IV.

A rezultat că poziția cea mai favorabilă a motorului din punct de vedere al încărcării reversibile și, respectiv, consumului energetic, este punctul de conectare 15.

A doua etapă de optimizare a stabilit raportul încărcărilor relative la dispozitivul de creare a sarcinii din condiția de egalizare a încărcării la reversibilitatea mișcării. A rezultat că dacă pentru sensul fluxului principal A se aplică momentul adimensionalizat $M_{CT}=1$, la inversarea mișcării, pentru sensul B este optimă încărcarea $M_{CT}=0.516295$.

Se pot formula câteva concluzii cu caracter de generalitate:

- standurile cu circuit închis sunt caracterizate prin parametri de încărcare, respectiv energetici specifici
- reversibilitatea mișcării, posibilă numai pe standurile cu circuit închis, este însoțită de variații semnificative ale încărcării pe același tronson cinematic și respectiv de consum energetic diferit pentru cele două sensuri ale fluxului energetic principal
- cei mai importanți parametri caracteristici standurilor cu circuit închis sunt:
 - variația momentului motor la schimbarea sensului fluxului principal
 - coeficientul încărcării reversibile
 - suma globală a variației încărcării reversibile
 - raportul mediu al încărcării reversibile
 - coeficientul tensiunilor reversibile de contact (în pol)
- optimizarea funcțională și energetică a standului este necesară și utilă, vizând minimizarea consumului de energie și asigurarea încărcării egale la reversibilitatea sensului de mișcare
- optimizarea se desfășoară după un algoritm bine stabilit, care reprezintă o aplicație numerică pentru proiectarea fiecărui stand original. Volumul mare de date necesare impune utilizarea calculului automat, pentru care, însă nu există programe specializate

În cuprinsul prezentului capitol se regăsesc o serie de contribuții originale, dintre care se enumeră următoarele:

- elaborarea modelului numeric pentru o schemă de circuit



energorecuperativ cu o buclă, cu valoarea ridicată de generalizare

- determinarea setului complet de date preliminarea necesare calculului de optimizare, prin utilizarea programului original scris în Visual Basic, având ca rezultat o bază de date coerentă și ușor de accesat și prelucrat
- evaluarea unei serii de zece caracteristici specifice standului pentru nouă poziții posibile ale motorului de acționare
- selectarea a cinci dintre parametrii specifici standului, declarați drept criterii semnificative de apreciere a comportamentului acestuia și utilizați ulterior în algoritmul de optimizare
- desfășurarea și finalizarea primei etape de optimizare cu ajutorul programul ELECTRE III/IV dedicat ierarhizării soluțiilor în probleme multicriteriale și multiatribut
- derularea celei de-a doua etape de optimizare privind egalizarea încărcărilor reversibile, cu obținerea unei soluții performante din punct de vedere energetic și al simulării condițiilor reale de încărcare
- prezentarea minuțioasă a rezultatelor intermediare și finale prin 16 tabele de date și 65 figuri reprezentative.

BIBLIOGRAFIE

[B6], [B7], [E1], [E5], [E6], [E7], [J1], [J2], [M4], [M5], [N4], [N5], [N10], [N14], [N15], [N16], [N17], [P3], [R1], [R2], [R6], [R7], [V1], [W16], [W17], [W18], [W19]



5. Studiu privind numărul
optim de transmisii
încercate, incluse într-o
buclă energetică

5.1. PRINCIPII GENERALE ȘI CRITERII DE APRECIERE

Principalele avantaje ale standurilor energorecuperative sunt consumul redus de energie, menținerea și măsurarea cu ușurință a încărcării și caracterul reversibil al mișcării.

Odată aleasă ca soluție de principiu utilizarea unui stand de testare/rodare cu circuit închis, se pune și problema numărului de transmisii de încercat, care pot fi incluse în schemă.

Prima condiție care trebuie satisfăcută, indiferent de numărul transmisiilor este valoarea unitară a raportului de transmitere global:

$$\prod_{j=1}^k i_j = 1, \quad (5.1)$$

unde j este numărul de ordine al transmisiei, iar k reprezintă numărul total de transmisii.

Condiția (5.1) este, evident, îndeplinită numai pentru un număr k par de transmisii. În plus, legarea în schemă impune asocierea câte unei perechi de transmisii în poziție simetrică.

Având în vedere structura închisă a schemei, trebuie analizată în fiecare caz de transmisie (cu angrenaje cilindrice, conico-cilindrice, conice, melcate etc.) posibilitatea constructivă de continuitate și închidere a circuitului. Se poate deduce faptul că, pe măsură ce numărul perechilor de transmisii încercate crește, soluția constructivă a standului devine tot mai complicată, cu un număr de elemente mecanice tot mai mare, care introduc pierderi, crescând consumul energetic al standului, precum și un mare dezechilibru energetic de-a lungul circuitului.

Rezultă că, cel puțin din punct de vedere constructiv, numărul minim de transmisii – o singură pereche – este cel mai indicat.

Pentru compararea performanțelor standului cu două, patru sau mai multe transmisii se consideră relevant și se propune drept criteriu de apreciere coeficientul încărcării reversibile și raportul tensiunilor reversibile în polul angrenării:

$$\Psi_M = \frac{\Delta M_A}{\Delta M_B} = \frac{M_{A1} - M_{A2}}{M_{B1} - M_{B2}} = \Psi_{\sigma k}^2, \quad (5.2)$$

unde ΔM_A are semnificația variației încărcării la sensul A și este proporțional cu aportul de energie necesar funcționării standului în acest sens al fluxului energetic principal, iar ΔM_B are același înțeles pentru sensul invers, B. Raportul tensiunilor reversibile în polul angrenării are relevanța cea mai semnificativă pe tronsonul cel mai încărcat și, în special, în punctele de transformare energo-cinematice corespunzătoare angrenării propriu-zise.

Coeficientul încărcării reversibile Ψ_M are un caracter sintetic, dar în același timp foarte cuprinzător, fiind o expresie a echilibrului energetic al standului. În mod ideal mărimea adimensională Ψ_M trebuie să fie unitară. Îndepărtarea de unitate, în ambele sensuri are aceeași semnificație: aportul energetic la unul dintre sensuri este mult mai mare decât la celălalt.

Un alt parametru energetic cu valoare de criteriu de apreciere este și variația încărcării la schimbarea sensului fluxului principal:

$$\Delta M = \Delta M_A - \Delta M_B. \quad (5.3)$$

Acest indicator arată diferența momentelor motoare necesară acoperirii pierderilor pentru cele două sensuri ale fluxului principal și, în mod indirect, caracterizează diferența de randament global al standului:

$$\eta_A = \frac{M_{CT}}{M_{A1j}}, \quad (5.4)$$

$$\eta_B = \frac{M_{CT}}{M_{B1j}}, \quad (5.5)$$

în condițiile în care se consideră $M_{CT} = 1$, se atribuie indicele 1 fluxului principal și indicele j poziției de conectare a sursei exterioare de energie. Desigur, este de dorit ca randamentul să fie cât mai ridicat și echilibrat pe cele două sensuri. Trebuie avut în vedere faptul că, în valori absolute, pierderile de energie sunt direct proporționale cu puterile vehiculate.

Se propune, în continuare, un studiu comparativ al performanțelor standurilor de încercare, care includ aceeași transmisie, în două variante: cu una, respectiv două perechi de transmisii legate într-o buclă închisă.



5.2. ANALIZA COMPARATIVA A PERFORMANTELOR STANDULUI IN SCOPUL OPTIMIZARII NUMARULUI DE PERECHI DE TRANSMISII INCERCATE SIMULTAN

Pentru relevanța studiului s-a luat în considerare o transmisie de complexitate medie, în două trepte (una conică și una cilindrică). S-au alcătuit schemele cinematice aferente încercării a două transmisii, respectiv patru transmisii simultan, în condițiile respectării dezideratului închiderii geometrice a circuitului.

În figura 5.1 este redată schema standului pentru testarea unei singure perechi de transmisii.

Soluția adoptată pentru schemă a respectat recomandarea indicată în capitolul anterior, privind plasarea optimă a motorului de acționare pe un tronson rapid. Pentru închiderea mecanică a circuitului au fost prevăzute două grupuri conice cu raport de transmitere unitar.

Pe schemă sunt figurate 26 de puncte de transformări energo-cinematice. Se observă simetria sistemului prin plasarea "în oglindă" a transmisiilor.

În figura 5.2 este redată schema concepută pentru aceeași transmisie conico-cilindrică, în varianta cu două perechi de transmisii aflate simultan pe stand. Principiul simetriei a fost respectat pe semibuclă, transmisiile fiind legate două câte două simetric, astfel încât raportul de transmitere este egal cu 1 pe ambele jumătăți de circuit. Motorul a fost plasat pe treapta rapidă a două dintre transmisiile nepereche.

Pe schemă sunt indicate 33 puncte de transformare energo-cinematică.

Pentru a pune în evidență eventuala influență a raportului de transmitere global al transmisiei, sau a rapoartelor pe treptele transmisiei, s-au realizat simulări funcționale pentru combinații de rapoarte de transmitere recomandate de standard.

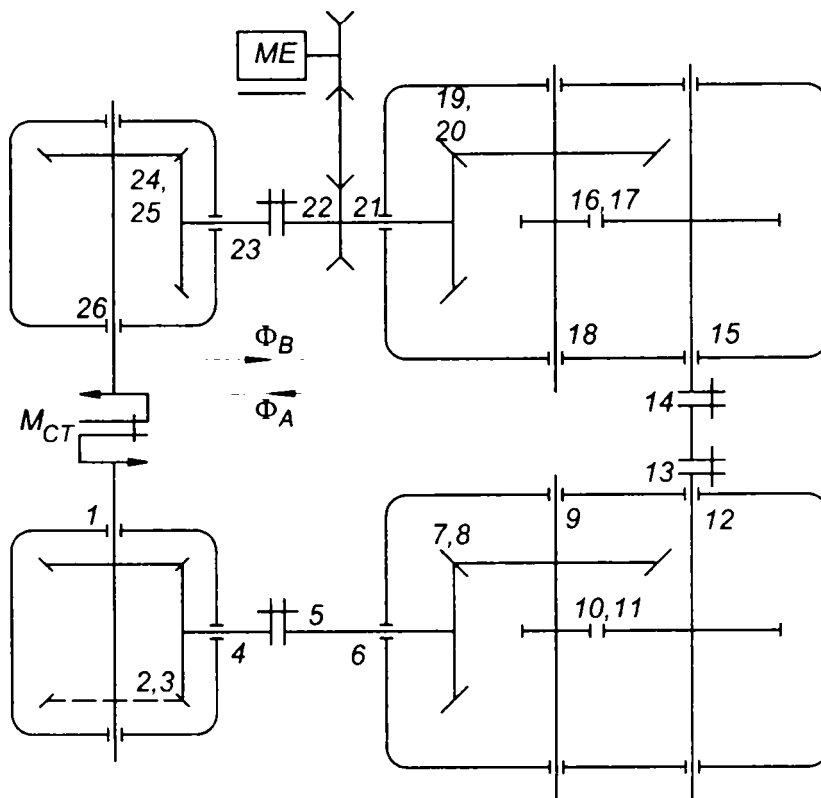


Fig.5.1. Schema standului cu o singură pereche de transmisii conico-cilindrice

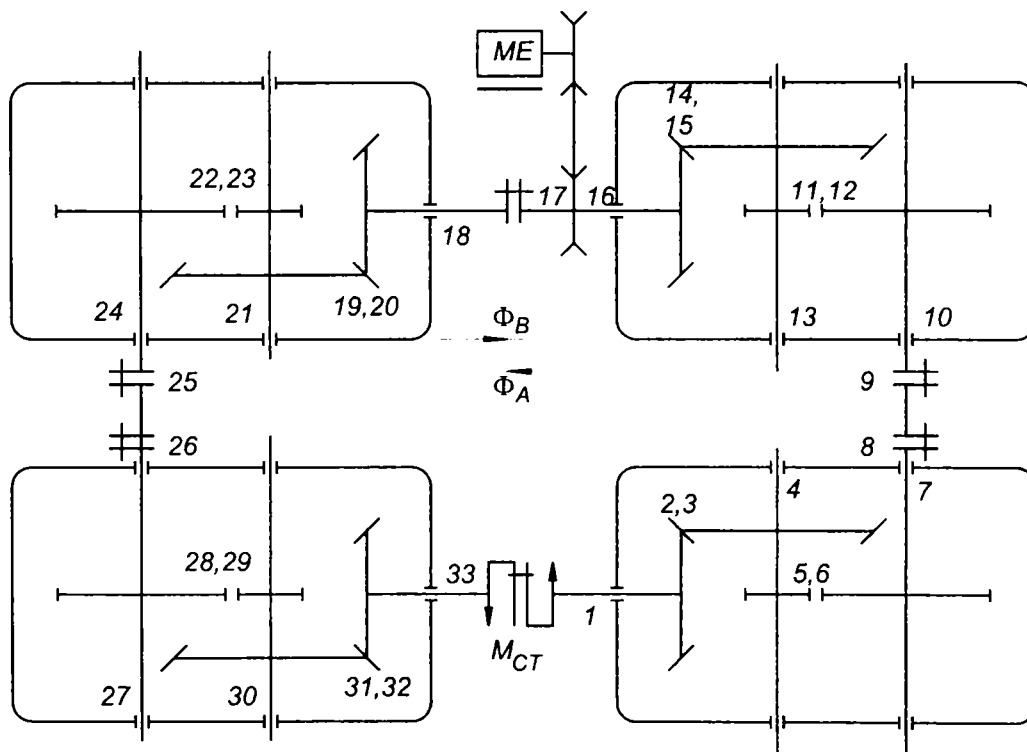


Fig. 5.2. Schema standului cu două perechi de transmisii conico-cilindrice

În tabelul 5.1 sunt prezentate variante de transmisii în două trepte, cu diverse rapoarte de transmitere pe trepte și raportul de transmitere total al transmisiilor, pentru care urmează să se determine parametrii energetici caracteristici.

Tabelul 5.1

Raport de transmitere pe treapta conică	Raport de transmitere pe treapta cilindrică	Raport de transmitere total al transmisiei
2	2.5	5
2	3.2	6.4
2	4	8
2	5	10
2.5	3.2	8
2.5	4	10
2.5	5	12.5
3.2	3.2	10.24
3.2	2	12.8
3.2	4	16

S-au făcut simulări ale comportării sistemului pentru toate cele 10 combinații de rapoarte de transmitere.

În tabelele 5.2...5.5 sunt prezentate datele preliminare necesare analizei comparate pentru primele două combinații de rapoarte de transmitere pe trepte. Tabelele aferente celorlalte combinații de rapoarte de transmitere sunt redată în Anexa 2.



Tabelul 5.2

Poz.	2 transmisii		$i_{conic}=2$	$i_{cilindric}=2.5$	M_A/M_B
	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	
1	0.990000	1.0101010	1.0101010	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.0254833	1.0254833	-0.050333	0.950918
3	0.9653985	1.0358417	1.0358417	-0.070443	0.931994
4	0.9557445	1.0463047	1.0463047	-0.090560	0.913448
5	0.9366296	1.0676579	1.0676579	-0.131028	0.877275
6	0.9272633	1.0784423	1.0784423	-0.151179	0.859817
7	0.9133544	1.0948653	1.0948653	-0.181511	0.834216
8	1.8084417	2.2118491	2.2118491	-0.403407	0.817615
9	1.7903573	2.2341910	2.2341910	-0.443834	0.801345
10	1.7635019	2.2682142	2.2682142	-0.504712	0.777485
11	4.3646672	5.7278136	5.7278136	-1.363146	0.762013
12	4.3210205	5.7856703	5.7856703	-1.464650	0.746849
13	4.2346001	5.9037452	5.9037452	-1.669145	0.717274
14	4.1499081	6.0242298	6.0242298	-1.874322	0.688869
15	4.1084090	6.0850806	6.0850806	-1.976672	0.675161
16	4.0467829	6.1777468	6.1777468	-2.130964	0.655058
17	2.0031575	2.4960593	2.4960593	-0.492902	0.802528
18	1.9831260	2.5212720	2.5212720	-0.538146	0.786558
19	1.9533791	2.559667	2.559667	-0.606288	0.763138
20	0.7735381	1.2927611	1.2927611	-0.519223	0.598361
21	0.7658027	1.3058193	1.3058193	-0.540017	0.586454
21	1.0784423	0.9272633	0.9272633	0.151179	1.163038
22	1.0676579	0.9366296	0.9366296	0.131028	1.139893
23	1.0463047	0.9557445	0.9557445	0.090560	1.094754
24	1.0358417	0.9653985	0.9653985	0.070443	1.072968
25	1.0203041	0.9801000	0.9801000	0.040204	1.041020
26	1.0101010	0.9900000	0.9900000	0.020101	1.020304



Tabelul 5.3

4 transmisii	$i_{\text{conic}}=2$	$i_{\text{cilindric}}=2.5$	
Poz.	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$
1	0.990000	1.010101	-0.020101
2	0.975150	1.025483	-0.050333
3	1.930797	2.071683	-0.140886
4	1.911489	2.092609	-0.181120
5	1.882816	2.124476	-0.241660
6	4.659971	5.364839	-0.704869
7	4.613371	5.419030	-0.805659
8	4.521104	5.529622	-1.008518
9	4.430682	5.642472	-1.211790
10	4.386375	5.699466	-1.313091
11	4.320579	5.786260	-1.465681
12	2.138686	2.337883	-0.199196
13	2.117300	2.361498	-0.244198
14	2.085540	2.397460	-0.311919
15	1.032342	1.210838	-0.178496
16	1.022019	1.223069	-0.201050
17	1.001578	1.248029	-0.246451
17	1.248029	0.801263	0.446767
18	1.223069	0.817615	0.405454
19	1.210838	0.825874	0.384964
20	1.192675	0.838450	0.354225
21	2.361498	1.693840	0.667658
22	2.337883	1.710949	0.626934
23	2.302814	1.737004	0.565810
24	5.699466	4.386375	1.313091
25	5.642472	4.430682	1.211790
26	5.529622	4.521104	1.008518
27	5.419030	4.613371	0.805659
28	5.364839	4.659971	0.704869
29	5.284367	4.730935	0.553432
30	2.092609	1.911489	0.181120
31	2.071683	1.930797	0.140886
32	2.040608	1.960200	0.080408
33	1.010101	0.990000	0.020101

Tabelul 5.4

Poz.	2 transmisii		$i_{\text{conic}}=2$	$i_{\text{cilindric}}=3.2$	M_A/M_B
	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	
1	0.990000	1.010101	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	1.025483	-0.050333	0.950918
3	0.965399	1.035842	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.913354	1.094865	1.094865	-0.181511	0.834216
8	1.808442	2.211849	2.211849	-0.403407	0.817615
9	1.790357	2.234191	2.234191	-0.443834	0.801345
10	1.763502	2.268214	2.268214	-0.504712	0.777485
11	5.586774	7.331601	7.331601	-1.744827	0.762013
12	5.530906	7.405658	7.405658	-1.874752	0.746849
13	5.420288	7.556794	7.556794	-2.136506	0.717274
14	5.311882	7.711014	7.711014	-2.399132	0.688869
15	5.258764	7.788903	7.788903	-2.530140	0.675161
16	5.179882	7.907516	7.907516	-2.727634	0.655058
17	2.564042	2.496059	2.496059	0.067982	1.027236
18	2.538401	2.521272	2.521272	0.017129	1.006794
19	2.500325	2.559667	2.559667	-0.059342	0.976817
20	0.773538	1.292761	1.292761	-0.519223	0.598361
21	0.765803	1.305819	1.305819	-0.540017	0.586454
21	1.078442	0.927263	0.927263	0.151179	1.163038
22	1.067658	0.936630	0.936630	0.131028	1.139893
23	1.046305	0.955745	0.955745	0.090560	1.094754
24	1.035842	0.965399	0.965399	0.070443	1.072968
25	1.020304	0.980100	0.980100	0.040204	1.041020
26	1.010101	0.990000	0.990000	0.020101	1.020304

Tabelul 5.5

Poz.	4 transmisii		$i_{\text{conic}}=2$	$i_{\text{cilindric}}=3.2$	M_A/M_B
	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	
1	0.990000	1.010101	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	1.025483	-0.050333	0.950918
3	1.930797	2.071683	2.071683	-0.140886	0.931994
4	1.911489	2.092609	2.092609	-0.181120	0.913448
5	1.882817	2.124477	2.124477	-0.241660	0.886250
6	5.964763	6.866995	6.866995	-0.902232	0.868613
7	5.905116	6.936359	6.936359	-1.031243	0.851328
8	5.787013	7.077917	7.077917	-1.290904	0.817615
9	5.671273	7.222364	7.222364	-1.551091	0.785238
10	5.614560	7.295317	7.295317	-1.680757	0.769612
11	5.530342	7.406414	7.406414	-1.876072	0.746696
12	2.737519	2.337883	2.337883	0.399636	1.170939
13	2.710144	2.361498	2.361498	0.348646	1.147638
14	2.669492	2.397460	2.397460	0.272032	1.113467
15	1.321398	1.210838	1.210838	0.110560	1.091309
16	1.308185	1.223069	1.223069	0.085115	1.069592
17	1.282021	1.248030	1.248030	0.033991	1.027236
17	1.248030	0.801263	0.801263	0.446767	1.557578
18	1.223069	0.817615	0.817615	0.405454	1.495898
19	1.210838	0.825874	0.825874	0.384964	1.466130
20	1.192676	0.838451	0.838451	0.354225	1.422476
21	2.361498	1.693840	1.693840	0.667658	1.394168
22	2.337883	1.710950	1.710950	0.626934	1.366424
23	2.302815	1.737005	1.737005	0.565810	1.325739
24	7.295317	5.614560	5.614560	1.680757	1.299357
25	7.222364	5.671273	5.671273	1.551091	1.273500
26	7.077917	5.787013	5.787013	1.290904	1.223069
27	6.936359	5.905116	5.905116	1.031243	1.174636
28	6.866995	5.964763	5.964763	0.902232	1.151260
29	6.763990	6.055597	6.055597	0.708393	1.116982
30	2.092609	1.911489	1.911489	0.181120	1.094754
31	2.071683	1.930797	1.930797	0.140886	1.072968
32	2.040608	1.960200	1.960200	0.080408	1.041020
33	1.010101	0.990000	0.990000	0.020101	1.020304

În tabelele 5.6...5.15 sunt prezentate valorile criteriilor de comparație a performanțelor celor două variante de standuri supuse analizei.

Tabelul 5.6

$i_{\text{conic}} = 2$	$i_{\text{cilindric}} = 2.5$ 2 transmisii	$i_{\text{total}} = 5$ 4 transmisii
ΔM_A	-0.3126396	-0.246451
ΔM_B	0.378556	0.4467666
$\Sigma(M_A - M_B)$	-14.719067	0.9466671
Ψ_M	-0.8258741	-0.551632
ΔM_{AB}	-0.6911956	-0.693218
η_A	0.9272633	0.801263
η_B	0.7658027	0.801263
$\Psi_{\sigma k}$	0.8729334	1.072968
punct $\sigma_{k \max}$	11	28

Tabelul 5.7

$i_{\text{conic}} = 2$	$i_{\text{cilindric}} = 3.2$ 2 transmisii	$i_{\text{total}} = 6.4$ 4 transmisii
ΔM_A	-0.312640	0.033991
ΔM_B	0.378556	0.446767
$\Sigma(M_A - M_B)$	-15.990053	3.322528
Ψ_M	-0.825874	0.076083
ΔM_{AB}	-0.691196	-0.412775
η_A	0.927263	0.801263
η_B	0.765803	0.801263
$\Psi_{\sigma k}$	0.872933	1.072968
punct $\sigma_{k \max}$	11	28

Tabelul 5.8

$i_{\text{conic}} = 2$	$i_{\text{cilindric}} = 4$ 2 transmisii	$i_{\text{total}} = 8$ 4 transmisii
ΔM_A	-0.312640	0.354496
ΔM_B	0.378556	0.446767
$\Sigma(M_A - M_B)$	-17.442609	6.037799
Ψ_M	-0.825874	0.793471
ΔM_{AB}	-0.691196	-0.092270
η_A	0.927263	0.801263
η_B	0.765803	0.801263
$\Psi_{\sigma k}$	0.872933	1.072968
punct $\sigma_{k \max}$	11	28

Tabelul 5.9

$i_{\text{conic}} = 2$	$i_{\text{cilindric}} = 5$ 2 transmisii	$i_{\text{total}} = 10$ 4 transmisii
ΔM_A	-0.312640	0.755128
ΔM_B	0.378556	0.446767
$\Sigma(M_A - M_B)$	-19.258303	9.431886
Ψ_M	-0.825874	1.690206
ΔM_{AB}	-0.691196	0.308361
η_A	0.927263	0.801263
η_B	0.765803	0.801263
$\Psi_{\sigma k}$	0.8729334	1.072968
punct $\sigma_{k \max}$	11	28

Tabelul 5.10

$i_{\text{conic}} = 2.5$	$i_{\text{cilindric}} = 3.2$ 2 transmisii	$i_{\text{total}} = 8$ 4 transmisii
ΔM_A	-0.312640	-0.222413
ΔM_B	0.378556	0.446767
$\Sigma(M_A - M_B)$	-21.575539	0.898865
Ψ_M	-0.825874	-0.497828
ΔM_{AB}	-0.691196	-0.669180
η_A	0.927263	0.801263
η_B	0.765803	0.801263
$\Psi_{\sigma k}$	0.872933	1.072968
punct $\sigma_{k \max}$	11	28

Tabelul 5.11

$i_{\text{conic}} = 2.5$	$i_{\text{cilindric}} = 4$ 2 transmisii	$i_{\text{total}} = 10$ 4 transmisii
ΔM_A	-0.312640	0.033991
ΔM_B	0.378556	0.446767
$\Sigma(M_A - M_B)$	-23.866406	3.345575
Ψ_M	-0.825874	0.076083
ΔM_{AB}	-0.691196	-0.412775
η_A	0.927263	0.801263
η_B	0.765803	0.801263
$\Psi_{\sigma k}$	0.872933	1.072968
punct $\sigma_{k \max}$	11	28

Tabelul 5.12

$i_{\text{conic}} = 2.5$	$i_{\text{cilindric}} = 5$ 2 transmisii	$i_{\text{total}} = 10$ 4 transmisii
ΔM_A	-0.312640	0.354496
ΔM_B	0.378556	0.446767
$\Sigma(M_A - M_B)$	-26.729990	6.403963
Ψ_M	-0.825874	0.793471
ΔM_{AB}	-0.691196	-0.092270
η_A	0.927263	0.801263
η_B	0.765803	0.801263
$\Psi_{\sigma k}$	0.872933	1.072968
punct $\sigma_{k \max}$	11	28

Tabelul 5.13

$i_{\text{conic}} = 3.2$	$i_{\text{cilindric}} = 3.2$ 2 transmisii	$i_{\text{total}} = 10.24$ 4 transmisii
ΔM_A	-0.312640	-0.446767
ΔM_B	0.378556	0.446767
$\Sigma(M_A - M_B)$	-29.395218	-2.083545
Ψ_M	-0.825874	-1.000000
ΔM_{AB}	-0.691196	-0.893533
η_A	0.927263	0.801263
η_B	0.765803	0.801263
$\Psi_{\sigma k}$	0.872933	1.072968
punct $\sigma_{k \max}$	11	28

Tabelul 5.14

$i_{\text{conic}} = 3.2$	$i_{\text{cilindric}} = 4$	$i_{\text{total}} = 5$
	2 transmisii	4 transmisii
ΔM_A	-0.312640	-0.246451
ΔM_B	0.378556	0.446767
$\Sigma(M_A - M_B)$	-32.859722	0.089860
Ψ_M	-0.825874	-0.551632
ΔM_{AB}	-0.691196	-0.693218
η_A	0.927263	0.801263
η_B	0.765803	0.801263
Ψ_{σ_k}	0.872933	1.072968
punct $\sigma_k \text{ max}$	11	28

Tabelul 5.15

$i_{\text{conic}} = 3.2$	$i_{\text{cilindric}} = 5$	$i_{\text{total}} = 16$
	2 transmisii	4 transmisii
ΔM_A	-0.312640	0.003944
ΔM_B	0.378556	0.446767
$\Sigma(M_A - M_B)$	-37.190352	2.806617
Ψ_M	-0.825874	0.008827
ΔM_{AB}	-0.691196	-0.442823
η_A	0.927263	0.801263
η_B	0.765803	0.801263
Ψ_{σ_k}	0.872933	1.072968
punct $\sigma_k \text{ max}$	11	28

În figurile 5.3...5.7 sunt redate comparativ reprezentările grafice ale parametrilor care au variații semnificative funcție de rapoartele de transmitere pe trepte, respectiv raportul de transmitere total.

Pentru a facilita interpretarea unui volum atât de mare de date s-a procedat la alcătuirea tabelului 5.16, care comprimă informația într-o sinteză accesibilă aprecierii calitative a relației de preferință între variantele analizate.

Presupunând la modul cel mai simplu că se atribuie factori de pondere egali tuturor criteriilor, în tabelul 5.16 s-au indicat într-o matrice care conține pe coloane cele 10 variante cu 4 transmisii, iar pe linii 7 parametri caracteristici. S-au indicat relații de ordine calitativă, conform legendei tabelului – relații determinate pe baza comparației valorilor numerice efective ale criteriilor.

Se menționează că aprecierea a luat în considerare un randament total mediu (determinat ca medie aritmetică a randamentului total la sensul A,



respectiv B).

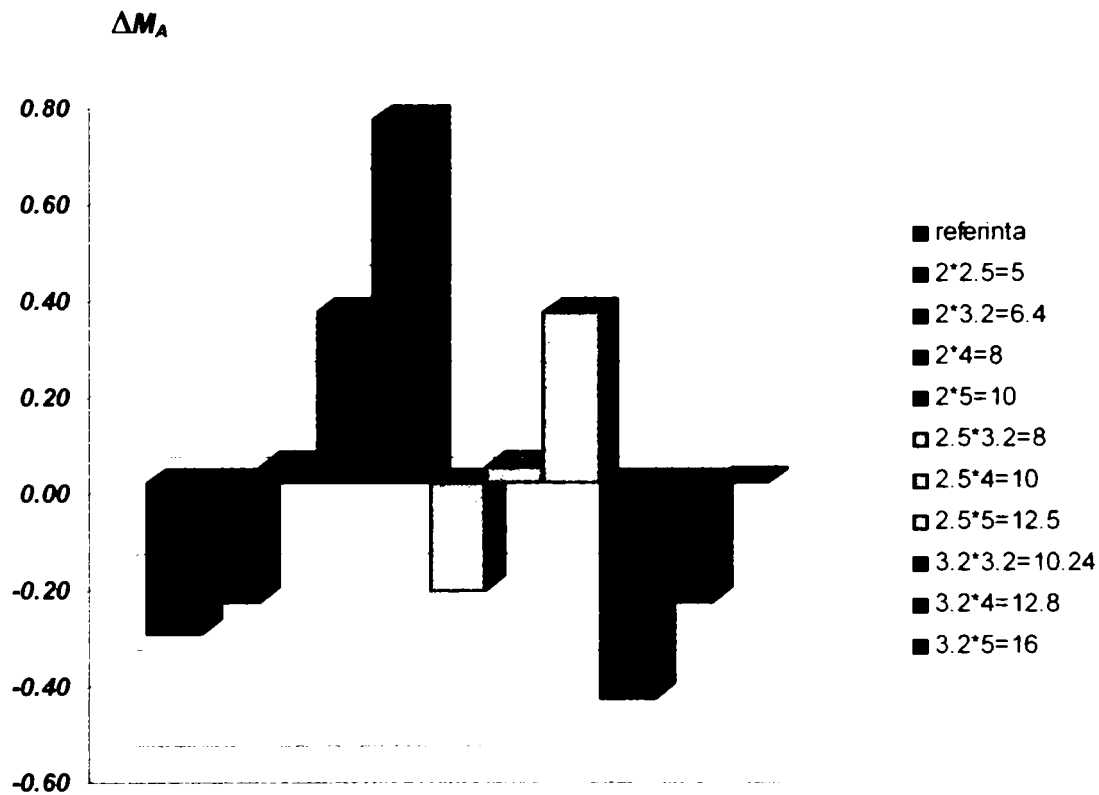


Fig. 5.3. Momentul motor la sensul fluxului energetic principal A, în cazul standului cu 2 transmisii și respectiv 4 transmisii (în 10 variante)

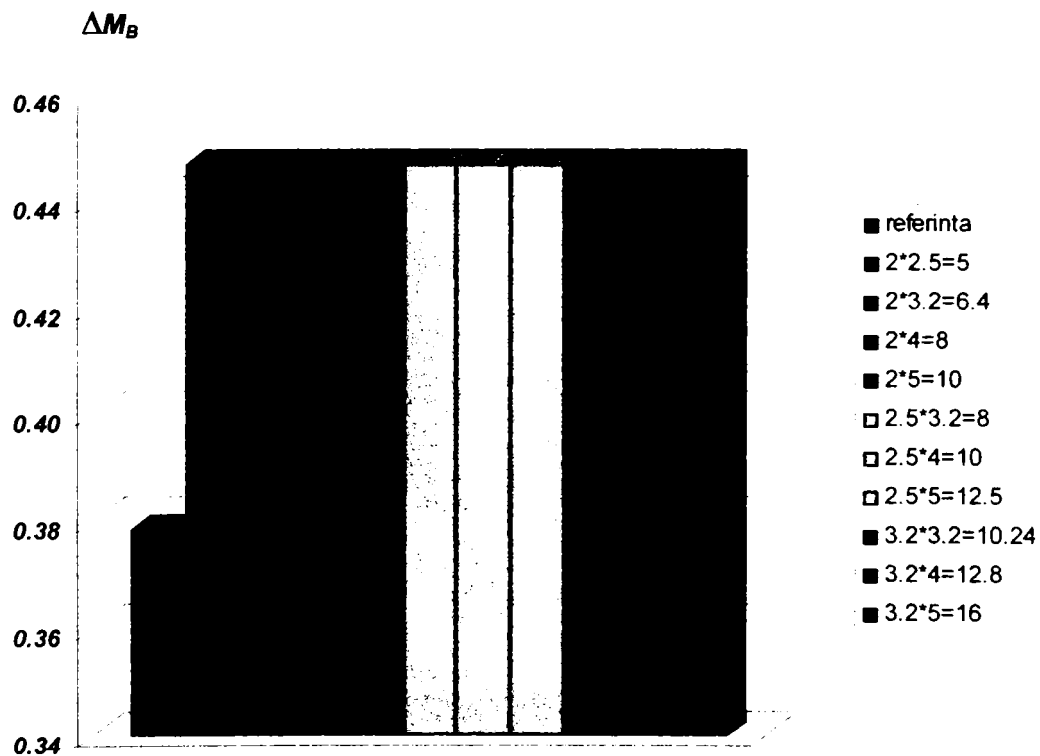


Fig. 5.4. Momentul motor la sensul fluxului energetic principal B, în cazul standului cu 2 transmisii și respectiv 4 transmisii (în 10 variante)

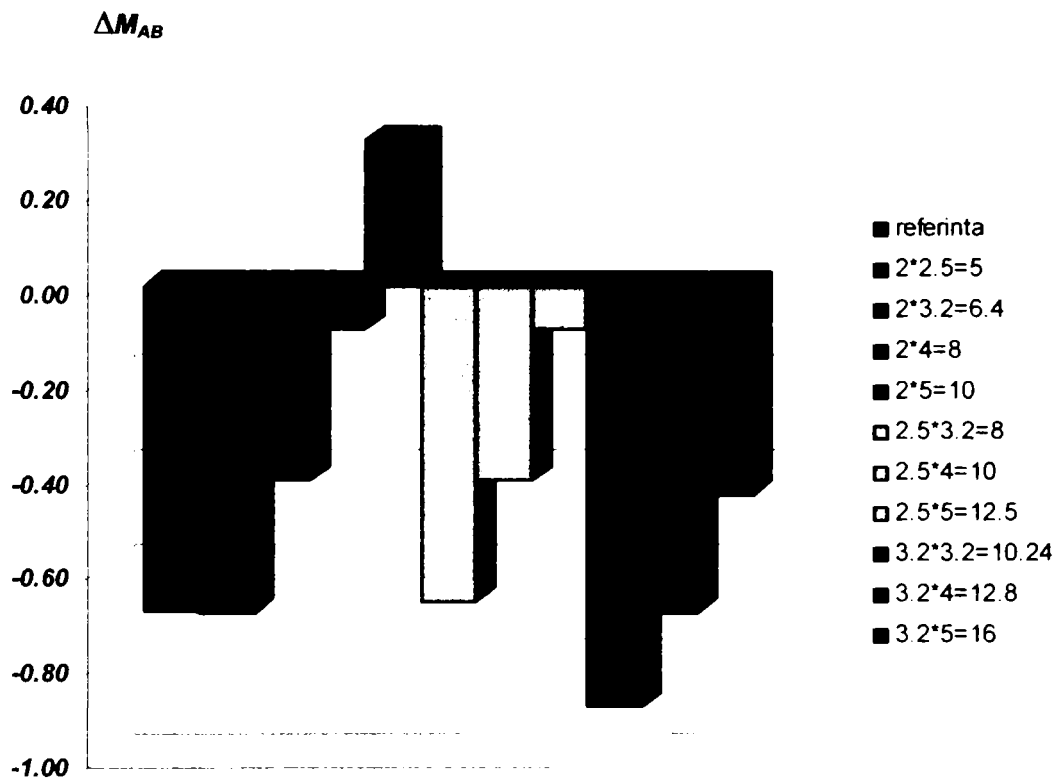


Fig. 5.5. Variația momentului motor la reversarea sensului fluxului energetic principal, în cazul standului cu 2 transmisii și respectiv 4 transmisii (în 10 variante)

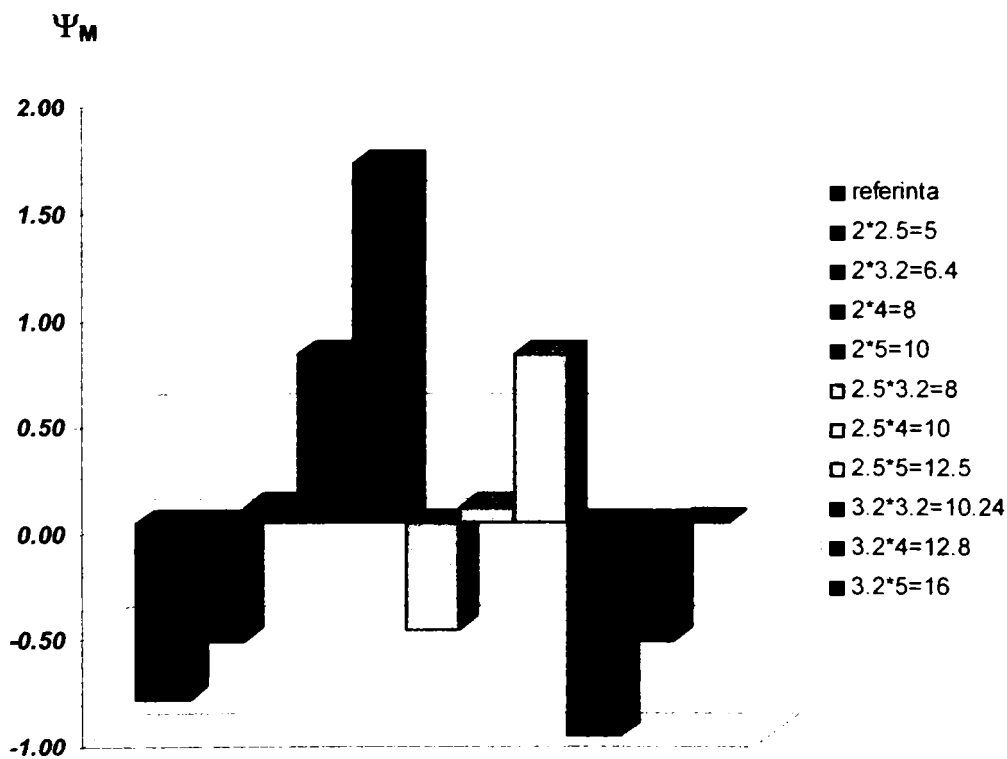


Fig. 5.6. Coeficientul încărcării reversibile, în cazul standului cu 2 transmisii și respectiv 4 transmisii (în 10 variante)

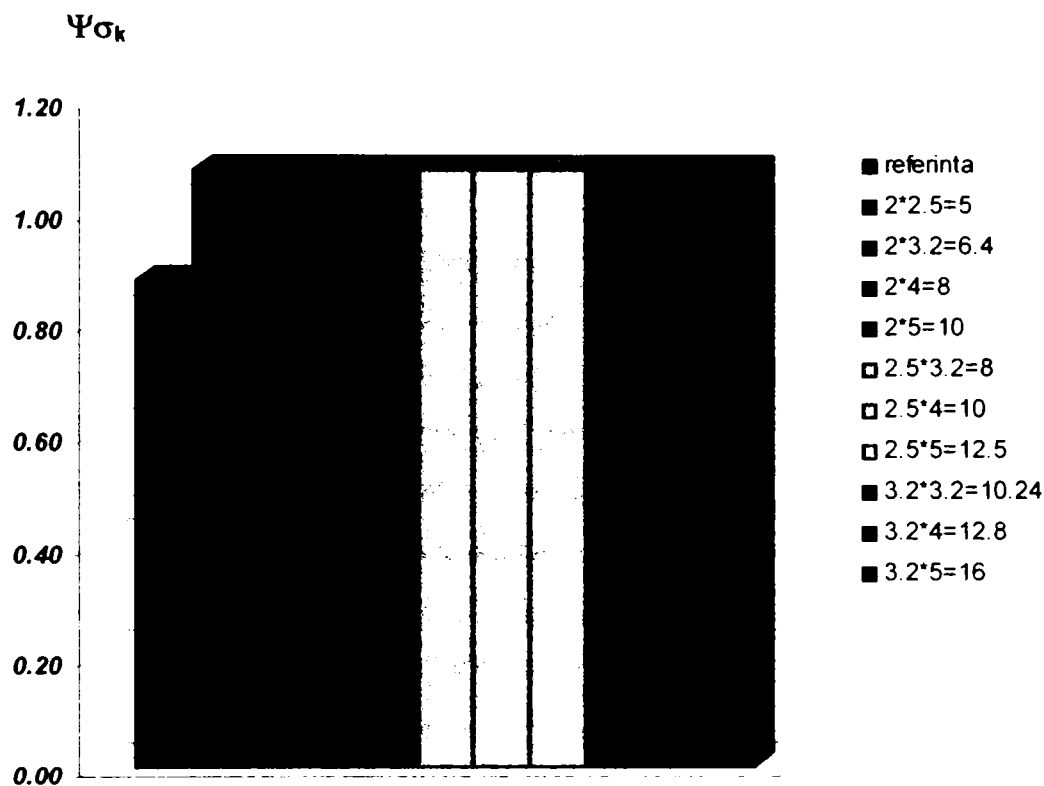


Fig. 5.7. Raportul tensiunilor reversibile în polul angrenării, în cazul standului cu 2 transmisii și respectiv 4 transmisii (în 10 variante)

Tabelul 5.16

$i_{con} \cdot i_{ch}$	4 transmisii										cazuri favorabile schemei cu 4 transm.
	2*2.5	2*3.2	2*4	2*5	2.5*3.2	2.5*4	2.5*5	3.2*3.2	3.2*4	3.2*5	
ΔM_A				>			>	>			7
ΔM_B	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	0
ΔM_{AB}		>	>	>	>	>	>			>	3
$\Sigma \Delta M_{AB}$											10
ΨM	>	>	>	>	>	>	>		<	<	1
η_{med}	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	0
Ψ_{σ_k}	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	0
Scor total favorabil schemei cu 4 transmisii din 70 criterii comparate (10 soluții x7 parametri)											21
	soluția cu 2 transmisii este mai slabă										
	> soluția cu 2 transmisii este mai bună										
	= soluțiile cu 2 și 4 transmisii pot fi considerate cu performanțe asemănătoare										

De asemenea, trebuie menționat faptul că raportul tensiunilor în polul angrenării, pe treapta cea mai solicitată, rezultă calitativ superior pentru schema cu 2 transmisii ($\Psi_{\sigma_k}=0.873$), în comparație cu schema cu 4 transmisii în toate cazurile ($\Psi_{\sigma_k}=1.073$). Prezumpția se bazează pe faptul că, așa cum s-a

demonstrat în capitolul precedent, schema cu două transmisii, prin optimizare, asigură rapoarte ale tensiunilor în pol foarte apropiate de unitate.

Analizând datele din tabele 5.6...5.16 și figurile 5.3...5.7 rezultă următoarele observații:

- pentru circuitul cu o singură pereche de transmisii momentul motor aferent sensurilor A și B, variația momentului motor la schimbarea sensului fluxului, coeficientul încărcării reversibile și randamentele corespunzătoare sensurilor A și B sunt total insensibile la valoarea totală a raportului de transmitere al transmisiilor testate sau la repartitia pe trepte a rapoartelor de transmitere pe treptele transmisiei. Singurul parametru variabil cu raportul de transmitere total este suma variației momentului motor la schimbarea sensului fluxului principal.
- din figura 5.5 rezultă că, pentru circuitul cu 4 transmisii incluse în buclă, variația momentului motor la schimbarea sensului fluxului principal crește odată cu creșterea raportului de transmitere total și este cu atât mai accentuată cu cât raportul de transmitere pe prima treaptă este mai mare.

Prin deducție rezultă că la creșterea numărului de trepte al transmisiilor încercate etapa a doua de optimizare (egalizarea încărcărilor la reversibilitatea sensului) este obligatorie pentru echilibrarea energetică globală a sistemului.

- considerând ca referință de comparație valoarea parametrilor standului cu o pereche de transmisii (la care majoritatea caracteristicilor sunt indiferente la rapoartele de transmitere) se poate analiza comportarea standului cu două perechi de transmisii și din punct de vedere al momentului motor pe sensuri. În figurile 5.3 și 5.4 sunt redată grafic momentul motor la sensul fluxului principal A, respectiv B pentru diversele combinații de rapoarte de transmitere pe trepte admise.

Se observă faptul că, în majoritatea cazurilor soluția de referință, cu o singură pereche de transmisii este superioară și, deci preferabilă, celei cu două perechi. Diferențele sunt semnificative, până la nivelul la care raportul parametrului studiat pentru cele două tipuri de standuri

depășește valoarea 10. Figura 5.4 pune în evidență un aspect particular și interesant. În schema cu patru transmisii, momentul motor la sensul B are valoare constantă, insensibilă la rapoartele de transmitere, dar la o valoare mai mare decât în cazul schemei cu două transmisii, ceea ce pledează din nou în favoarea acesteia.

- un criteriu declarat ca important prin caracterul sintetic de caracterizare a comportamentului standului este coeficientul încărcării reversibile. Valoarea de referință a acestuia, aferentă schemei cu două transmisii poate fi comparată cu valorile variabile, dependente de rapoartele de transmitere totale și pe trepte, caracteristice schemei cu patru transmisii, în figura 5.6.

Se observă că valorile Ψ_M înregistrează valori foarte diferite, cu aluri crescătoare de la baze care depind de raportul de transmitere pe prima treaptă. Comportarea inegală a standului cu patru transmisii îl clasează și la acest criteriu în urma schemei simple, cu numai două transmisii. De remarcat este valoarea unitară a parametrului numai în cazul particular al egalității rapoartelor de transmitere parțiale, pe trepte, caz în care simetria schemei este perfectă.

- analiza tabelului 5.16 arată că dintr-un total de 70 puncte aferente criteriilor posibile la standurile cu 4 transmisii analizate, numai 21 sunt favorabile schemei complexe. Ca urmare, și o astfel de analiză de maximă cuprindere indică utilizarea schemei cu 2 transmisii ca preferabilă.

Concluzia generală care rezultă din analiza desfășurată este aceea că standurile cu număr minim de transmisii sunt mai economice și mai echilibrate energetic astfel că se recomandă în defavoarea celor cu perechi multiple de transmisii. De asemenea, complexitatea constructivă a standurilor cu 4 transmisii, prin implicațiile privind precizia, creșterea numărului de elemente de legătură, spațiul ocupat, prețul etc. susține concluzia obținută prin analiză energetică.

5.3. CONCLUZII SI CONTRIBUTII ORIGINALE

Prezentul capitol conține un studiu privind oportunitatea includerii unui număr mai mare de două transmisii într-un circuit închis de testare.

Sunt analizate comparativ două scheme de standuri care testează același tip de transmisie, reprezentând variante cu una, respectiv două perechi de transmisii simetric plasate.

Pentru aprofundarea studiului s-a propus analiza standurilor de testare a unei transmisii de complexitate medie – o transmisie în două trepte, una conică și una cilindrică.

Pentru a pune în evidență eventuala influență a raportului de transmitere al ansamblului testat asupra comportamentului energetic al standului, s-au realizat simulări ale funcționării acestuia pentru 10 combinații de rapoarte de transmitere standardizate repartizate pe cele două trepte ale transmisiei testate.

Studiul a condus la următoarele concluzii:

- din punct de vedere constructiv este preferabilă soluția de stand cu număr minim de transmisii (elemente mecanice auxiliare mai puține, pretenții de precizie mai scăzute, spațiu mai redus, masă mai mică, preț mai accesibil)
 - din punct de vedere energetic, s-au stabilit drept criterii de apreciere momentul motor de acționare aferent sensurilor A și B ale fluxului energetic principal, variația momentului motor la schimbarea sensului fluxului principal, randamentul mediu al standului, coeficientul încărcării reversibile și raportul tensiunilor de contact în polul angrenării
 - se constată că toate aceste criterii au valori constante pentru toate cele 10 de simulări de funcționare exersate în cazul standului cu o singură pereche de transmisii. Rezultă că schema cu număr minim de transmisii este insensibilă la raportul de transmitere total sau pe trepte al transmisiei testate. Afirmatia, este, desigur, valabilă în termenii criteriilor definite, care au un caracter adimensional
 - în cazul standului cu patru transmisii incluse în circuit toate criteriile de comparație propuse au valori variabile în limite largi
 - variabilitatea valorii criteriilor este influențată atât de raportul de
-

transmitere total al transmisiei încercate, cât și de rapoartele de transmitere pe treptele acesteia

- toate criteriile recomandă soluția de stand cu două transmisii

Pe parcursul capitolului 5, printre contribuțiile autoarei se încadrează și următoarele:

- proiectarea schemelor de standuri pentru testarea simultană a două, respectiv patru transmisii conico-cilindrice
- simularea funcționării standurilor pentru 10 de combinații de rapoarte de transmitere pe trepte, din șirul recomandat de standarde
- stabilirea criteriilor relevante din punct de vedere al echilibrului energetic în vederea comparației performanțelor standurilor
- prelucrarea tabelară a datelor intermediare și analiza comparativă numerică și grafică a rezultatelor finale
- ierarhizarea tipurilor de scheme de standuri pe baza fiecărui criteriu
- recomandarea finală de utilizare a standurilor care includ un număr minim de transmisii testate.

BIBLIOGRAFIE

[C3], [E2], [J1], [M4], [N3], [N6], [N13], [N15], [N16], [P1], [P3], [R7], [V1]



6. Concluzii finale si contributii originale

Subiectul prezentei teze se înscrie în sfera optimizării proiectării standurilor de testare și rodare a transmisiilor cu angrenaje, cu direcționarea cercetării pe domeniul mai specializat al standurilor de testare cu circuit mecanic închis.

Obiectivele tezei au vizat două aspecte principale:

- optimizarea din punct de vedere structural a schemei standului, prin stabilirea celui mai favorabil punct de conectare a motorului la circuit, din condiția de minimizare a consumului de energie (luând în considerare reversibilitatea mișcării); Consecutiv, s-a urmărit stabilirea relației dintre încărcările aplicate la cuplajul torsiometric, în scopul obținerii egalizării sarcinii la reversibilitatea mișcării.
- desfășurarea unui studiu comparativ asupra standurilor energorecuperative privind optimizarea din punct de vedere al numărului de perechi de transmisii care pot fi incluse simultan în schemă pentru testare. Studiul și-a propus fundamentarea pe criterii de echilibru și stabilitate energetică și a urmărit influența rapoartelor de transmitere total și parțiale pe trepte asupra comportării standurilor.

Primul capitol al tezei introduce subiectul acesteia, atribuindu-i o locație de integrare în sfera proiectării și încercării roților dințate, respectiv a transmisiilor cu angrenaje. Relevă, de asemenea, necesitatea cercetării pe direcția propusă de teză și integrarea lucrării într-un domeniu de cercetare cu bogată tradiție la Facultatea de Mecanică din Timișoara.

Capitolul al doilea rezumă concluziile unui studiu aprofundat al materialului bibliografic și al ofertei de piață la nivel internațional:

- transmisiile cu angrenaje sunt larg utilizate în construcția unor mașini și echipamente fabricate în producție de serie și masă, în condițiile în care cerințele de calitate și fiabilitate sunt impuse de piață la un nivel tot mai ridicat
-

□ tradiția îndelungată în proiectare și execuție au condus la elaborarea și acceptarea relativ unanimă la nivel mondial a unor standarde de calcul al angrenajelor. Continentul european lucrează după standardul ISO-DIN, iar cel american după normativul ANSI, cele două sisteme de normare fiind similare prin mijlocirea AGMA

□ standurile de testare a transmisiilor cu angrenaje se deosebesc fundamental din punct de vedere structural și constructiv-funcțional în raport cu caracterul deschis sau închis al lanțului cinematic care le definește

□ standurile de testare a transmisiilor cu angrenaje în circuit închis elimină dezavantajele standurilor în circuit deschis (consum mare de energie, un element disipativ de energie cu uzare intensă și rapidă și, la nivel constructiv, sistemele aferente de răcire). Reducerea consumului energetic are la bază faptul că sursa exterioară trebuie să acopere exclusiv pierderile energetice din elementele mecanice ale circuitului (angrenaje, cuplaje, lagăre), esențial fiind caracterul energorecuperativ (de recirculare a energiei într-o buclă care conține două sau mai multe transmisii de testat). Aceste caracteristici importante indică standurile cu circuit închis pentru testarea transmisiilor de putere mare și rodarea oricărui tip de transmisie

□ din punct de vedere cinematic, standurile cu circuit închis sunt caracterizate prin raport de transmitere total unitar și posibilitatea reversibilității mișcării

□ structura standului poate include una sau mai multe bucle energetice închise

□ comportamentul energetic al standurilor cu circuit mecanic închis poate fi caracterizat printr-o serie de parametri specifici, printre care: pierderile de putere, pierderile de putere relative, variația momentului motor la schimbarea sensului, coeficientul de pierderi, diferența maximă de încărcare pe același tronson oarecare, variația încărcării relative, coeficientul încărcării reversibile, raportul tensiunilor de contact în polul angrenării și randamentul total

Capitolul al treilea al tezei formulează scopul și etapele optimizării schemei unui stand energorecuperativ, pe baza minimizării unor parametri

caracteristici definiți în capitolul anterior și declarați drept criterii de optimizare.

De asemenea, pornind de la constatarea necesității unui volum foarte extins de calcul este descris un soft original, conceput în Visual Basic.

Programul este elaborat pentru o schemă de stand destinat testării unei transmisii melcate și, ca facilități, permite introducerea valorilor randamentelor mecanice care modelează din punct de vedere matematic pierderile pe elementele mecanice din schemă (angrenaje, cuplaje, lagăre), a raportului de transmitere al transmisiei melcate testate și a numărului de ordine atribuit poziției de conectare a sursei de energie exterioară.

În capitolul al patrulea al tezei s-a realizat un exercițiu de optimizare a unui stand de testare cu o schemă cinematică având valoare ridicată de generalizare pentru clasa standurilor energorecuperative cu o singură buclă.

Aplicația concretă care a demonstrat modul de aplicare a metodelor și criteriilor de optimizare propuse, precum și rezultatele care permit evaluarea utilității și eficienței optimizării, a avut la bază schema unui stand de încercare a transmisiilor melcate.

Pentru simularea numerică a funcționării și comportării circuitului s-au impus valorile fixe ale rapoartelor de transmitere ale celor două transmisii melcate, $i=50$ și 9 poziții alternative de conectare a sursei exterioare de energie.

Optimizarea s-a realizat pe baza unei metode care presupune două etape:

- determinarea poziției optime a sursei de energie exterioară în circuit, presupunând încărcarea constantă pentru ambele sensuri ale fluxului energetic principal ($M_{CT}=1$). Etapa este echivalentă cu minimizarea consumului energetic al standului.
- stabilirea legăturii $M_{CTB}=f(M_{CTA})$ în scopul egalizării încărcărilor la reversibilitatea sensurilor, pentru poziția optimă a sursei exterioare.

Determinarea datelor preliminare necesare optimizării a fost realizată cu programul original, descris în capitolul anterior. Stocarea rezultatelor în formă tabelară a fost asigurată printr-un link creat între aplicația VB și un fișier Excel.

Criteriile de optimizare, reprezentând minimizarea unor parametri energetici considerați semnificativi au vizat următoarele caracteristici:

- variația puterii motoare pentru cele două sensuri ale fluxului energetic principal ($M_{A1}-M_{A2}$, $M_{B1}-M_{B2}$)
- coeficientul încărcării reversibile $(M_{A1}-M_{A2})/(M_{B1}-M_{B2})$
- suma globală a variației încărcării reversibile $[\Sigma(M_A/M_{CT}-M_B/M_{CT})]$
- raportul mediu al încărcării reversibile (M_A/M_B med).

Dintre cele 9 variante au fost selectate 6 cu diferențe considerate semnificative între valorile parametrilor.

Ierarhizarea alternativelor privind poziția motorului în circuit s-a realizat utilizând metoda Electre, o metodă multiatribut, cu grad ridicat de credibilitate fundamentată matematic. Pentru aplicație s-a utilizat programul specializat ELECTRE III/IV.

A rezultat că poziția cea mai favorabilă a motorului din punct de vedere al încărcării reversibile și, respectiv, consumului energetic, este punctul de conectare 15.

A doua etapă de optimizare a stabilit raportul încărcărilor relative la dispozitivul de creare a sarcinii din condiția de egalizare a încărcării la reversibilitatea mișcării. A rezultat că dacă pentru sensul fluxului principal A se aplică momentul adimensionalizat $M_{CT}=1$, la inversarea mișcării, pentru sensul B este optimă încărcarea $M_{CT}=0.516295$.

Capitolul al cincilea conține un studiu privind oportunitatea includerii unui număr mai mare de două transmisii într-un circuit închis de testare.

Sunt analizate comparativ două scheme de standuri care testează același tip de transmisie, reprezentând variante cu una, respectiv două perechi de transmisii simetric plasate. Pentru aprofundarea studiului s-a propus analiza standurilor de testare a unei transmisii de complexitate medie – o transmisie în două trepte, una conică și una cilindrică.

Pentru a pune în evidență eventuala influență a raportului de transmitere al ansamblului testat asupra comportamentului energetic al standului, s-au realizat simulări ale funcționării acestuia pentru 10 combinații de rapoarte de transmitere standardizate repartizate pe cele două trepte ale transmisiei testate.

Studiul a condus la următoarele concluzii:

- din punct de vedere constructiv este preferabilă soluția de stand cu
-

număr minim de transmisii

- din punct de vedere energetic, s-au stabilit drept criterii de apreciere momentul motor de acționare aferent sensurilor A și B ale fluxului energetic principal, variația momentului motor la schimbarea sensului fluxului principal, randamentul total mediu al standului, coeficientul încărcării reversibile și raportul tensiunilor de contact în pol
- se constată că toate aceste criterii au valori constante pentru toate cele 10 simulări de funcționare exersate în cazul standului cu o singură pereche de transmisii. Rezultă că schema cu număr minim de transmisii este insensibilă la raportul de transmitere total sau pe trepte al transmisiei testate.
- în cazul standului cu patru transmisii incluse în circuit toate criteriile de comparație propuse au valori variabile în limite largi
- variabilitatea valorii criteriilor este influențată atât de raportul de transmitere total al transmisiei încercate, cât și de rapoartele de transmitere pe treptele acesteia
- toate criteriile recomandă soluția de stand cu două transmisii

Descrierea sintetică a conținutului pe capitole și prezentarea concluziilor parțiale de mai sus conduc la următoarele considerente finale:

- standurile de testare energorecuperative, prin referințele bibliografice și ofertă de piață, sunt insuficient cercetate din punct de vedere teoretic și experimental, ceea ce motivează inițierea prezentei lucrări
 - caracterul energorecuperativ și reversibilitatea mișcării sunt principalele avantaje ale standurilor închise față de cele în circuit deschis
 - optimizarea standurilor energorecuperative se poate extinde până la aspecte care vizează egalizarea încărcării reversibile, ceea ce implică atât asigurarea echilibrului energetic al sistemului la reversibilitate, cât și încărcarea conform condițiilor reale de lucru la ambele sensuri ale fluxului energetic principal
 - standurile cu o singură buclă prezintă stabilitate a parametrilor energetici și de încărcare conformă legilor impuse în structura cu număr minim de transmisii incluse în circuit. Două sau mai multe perechi de transmisii
-

legate într-o singură buclă dezechilibrează sistemul, scade randamentul total al acestuia și induce încărcări sensibile la rapoartele de transmitere parțiale, pe trepte

- algoritmi propuși și exersați în teză, rezultatele aplicării acestora, recomandările privind uni sau multi-pereche a transmisiilor din circuit reprezintă realizări care satisfac obiectivele formulate și conduc la concluzia că scopul tezei a fost îndeplinit.

În spațiul general al cercetării subiectului dedicat standurilor energorecuperative, autoarea își aduce aportul prin contribuții originale care vizează:

- sistematizarea cunoștințelor existente referitoare la standurile de testare cu circuit mecanic închis
 - studiul ofertei largi de echipamente de testare, la nivel mondial, ofertă dovedită substanțială numai pentru standurile cu circuit deschis
 - elaborarea unei scheme reprezentative pentru un stand de încercare a unei transmisii melcate în circuit închis
 - propunerea unui algoritm de optimizare care vizează poziția optimă de conectare a motorului la circuit în vederea minimizării consumului global de energie și egalizarea încărcării reversibile în scopul simulării cât mai fidele a condițiilor reale de lucru
 - stabilirea parametrilor preliminari necesari optimizării și elaborarea unui soft original dedicat calculului automat al acestora
 - stocarea datelor furnizate de program prin conectarea controlului Data la un fișier Microsoft Excel. Cele 10 worksheet-uri ale fișierului conțin valorile tabelare ale încărcărilor în cele 28 puncte de transformare energo-cinematică, pentru 10 poziții de conectare a motorului
 - elaborarea modelului numeric pentru o schemă de circuit energorecuperativ cu o buclă, cu valoarea ridicată de generalizare
 - determinarea setului complet de date preliminară necesare calculului de optimizare, prin utilizarea programului original scris în Visual Basic, având ca rezultat o bază de date coerentă și ușor de accesat și prelucrat
 - evaluarea unei serii de zece caracteristici specifice standului pentru nouă
-

poziții alternative ale motorului de acționare

- selectarea a cinci dintre parametrii specifici standului, declarați drept criterii semnificative de apreciere a comportamentului acestuia și utilizați ulterior în algoritmul de optimizare
 - desfășurarea și finalizarea primei etape de optimizare cu ajutorul programul ELECTRE III/IV dedicat ierarhizării soluțiilor în probleme multiatribut
 - derularea celei de-a doua etape de optimizare privind egalizarea încărcărilor reversibile, cu obținerea unei soluții performante din punct de vedere energetic și al simulării condițiilor reale de încărcare
 - prezentarea minuțioasă a rezultatelor intermediare și finale prin 16 tabele de date și 65 figuri ilustrative
 - proiectarea schemelor de standuri pentru testarea simultană a două, respectiv patru transmisii conico-cilindrice
 - simularea funcționării standurilor pentru 20 de combinații de rapoarte de transmitere pe trepte, din șirul recomandat de standarde
 - stabilirea criteriilor relevante din punct de vedere al echilibrului energetic în vederea comparației performanțelor standurilor
 - prelucrarea tabelară a datelor intermediare și analiza comparativă numerică și grafică a rezultatelor finale
 - ierarhizarea tipurilor de scheme de standuri pe baza fiecărui criteriu
 - recomandarea finală de utilizare a standurilor care includ un număr minim de transmisii testate.
-

Bibliografie

- [A1] *Achiriloaie, I.,* **Încercarea accelerată a cuplajelor cu fricțiune**, Simpozionul M.T.M., Timișoara, 1980
- [A2] *Anghel, St., Vela, I., Anghel, I.,* **Cu privire la determinarea durabilității roții flexibile a transmisiei armonice dințate**, Simpozionul de Mecanisme și transmisii mecanice, Timișoara, 1980
- [B1] *Balekics, M., Crudu, M., Pommersheim, A.,* **Măsurarea variației momentelor de torsiune într-un stand cu circuit mecanic închis**, Simpozionul de tensometrie, Univ. Dunărea de Jos, Galați, 1989
- [B2] *Balekics, M., Balekics, G.,* **Determinarea limitei la ciupire a flancurilor roților dințate cu ajutorul testului COMT-B**, Bul. Șt. și Tehnic al IPT, Fasc.1, 1978
- [B3] *Balekics, M.,* **Elastohidrodinamica nestaționară aplicată la angrenaje cilindrice**, Sesiunea de comunicări științifice, Universitatea Petru Maior, Târgu Mureș, 2000
- [B4] *Bolos, V., ș.a,* **Considerații privind randamentul de funcționare al angrenajelor melcate spiroide**, PRASIC, Brașov, 1998
- [B5] *Bos, J.,* **Design and Testing of a Marine Gearbox**, AGMA 99FTM10, ISBN 1-55589-748-7, 1999
- [B6] *Buchanan, J., Sheppard, Ph., Vanderpooten, D.,* **Project Ranking Using ELECTRE III**, Universite Paris-Dauphine, p.1-36, 1999
-

- [B7] *Buchanan, J., Henig, E.J.,* **Objectivity and Subjectivity in the Decision Making Process**, Annals of Operations Research, p.333-345, 1980
- [C1] *Cărăbaș, I., Balekics, M.,* **Stand, metodă și tehnologie pentru rodarea angrenajelor cilindrice**, The International Meeting of the Carpathian Region Specialists in the Field of Gears. Third Edition, Baia Mare, 2000
- [C2] *Cărăbaș, I., Cărăbaș, T.,* **Some Aspects about Cylindrical Gear Lapping**, The 8-th Symposium on mechanismus and Mechanical Transmissions, with International Participation, Timișoara, 2000
- [C3] *Cărăbaș, I.,* **Contribuții la metodologia de rodare a angrenajelor**, Teza de doctorat, Universitatea "Politehnica" Timișoara, 99
- [C4] *Chișiu, A., ș.a.,* **Organe de mașini**, E.D.P., București, 1976
- [C5] *Crudu, M.,* **Contribuții la studiul mecanismelor cu conexiuni dinamice**, Teza de doctorat, Institutul Politehnic, București, 1971
- [C6] *Crudu, M., Perju, D.,* **Dispozitiv pentru încărcarea inerțială pentru sisteme în circuit mecanic închis**, Construcția de mașini, nr.10, 1967
- [D1] *Davîdov, B.L., ș.a.,* **Reductori. Mașghiz**, Moskva, 1963
- [D2] *Dirmeier, H., Bohm, R.,* **Entwicklung eines elektrohydraulischen Torsionserregers zur Untersuchung von umlaufenden Getrieben**, Industrie Anzeiger, 93, Nr.26, 1971
- [E1] *Eftimie, M., Nicoară, I.,* **Algorithm For The Optimization Of Closed-Loop Mechanical Circuit And Automated Calculus Using Original Software**, Buletinul Științific al UPT, Journal of Mechanical Engineering, Transactions on Mechanics, Tom 54 (68), Fascicola 2, ISSN 1224-6077
- [E2] *Eftimie, M., Nicoară, I.,* **Comparative Study Of Closed-Loop Test Circuits Regarding The Transmission Pairs Number**, Buletinul Științific al UPT, Journal of Mechanical Engineering, Transactions on Mechanics, Tom 54 (68), Fascicola 2, ISSN 1224-6077
-

- [E3] *Eftimie, M.,* **Particularități energetice ale transmisiilor mecanice energorecuperative**, Referat nr.1, UPT, 2003
- [E4] *Eftimie, M.,* **Sinteza echipamentelor pentru comanda încărcării circuitelor mecanice închise**, Referat nr.2, UPT, 2004
- [E5] *Eftimie, M., Gruescu, C., Nicoară, I.,* **Optimization criteria for closed-loop transmission test stands**, The 2nd International Conference, Power Transmissions '06, Novi Sad, Serbia & Montenegro
- [E6] *Eftimie, M., Gruescu, C., Nicoară, I.,* **Optimization of a closed-loop transmission test stand using the method ELECTRE III**, The 2nd International Conference, Power Transmissions '06, Novi Sad, Serbia & Montenegro
- [E7] *Eftimie, M.,* **Optimizarea circuitelor mecanice energorecuperative**, Referat nr.3, UPT, 2005
- [F1] *Fînaru, L., Brava, I.,* **Visual Basic**, Editura Polirom, București, 2001
- [F2] *Federn, K., ș.a.,* **Drehschwingungs - Prüfmaschinen für umlaufende Maschinen-elemente. Entwicklung unter schwingungstechnischen und Konstruktion methodischen Aspekten. Teil 1,2**, Konstruktion 26, Nr.9, 10, 1974
- [G1] *Gafițeanu, M., ș.a,* **Aspecte teoretice și experimentale ale durabilității roților dințate cilindrice**, Conferința Tribotehnica, București, 1987
- [G2] *Gheorghiu, N., ș.a.,* **Unele particularități funcționale ale transmisiei electrocarului EC-3**, Simpozionul Mecanisme și transmisii mecanice, Reșița, 1976
- [H1] *Halmague, S., Kim, L.,* **Hybrid Electric Vehicles**, National Renewable Energy Lab, USA, 2005
- [H2] *Hoepflich, M.G.,* **Analysis of Micropitting on Prototype Surface Fatigue Test Gears**, AGMA 99FTM5, ISBN 1-55589-743-6, 1999
-

- [H3] *Horovitz, B., Kovacs, F.,* **Contribuții la încercarea roților dințate cilindrice din oțel**, Construcția de mașini, nr.6, 1971
- [H4] *Horovitz, B., ș.a.,* **Aplicarea metodei sarcinii progresive la încercarea roților dințate**, Construcția de mașini, nr.10, 1966
- [H5] *Horovitz, B,* **Ein neues Zahnrad-prufenfahren**, Maschinenmarkt, nr.2, 1970
- [H6] *Hiloti, C., ș.a.,* **Metode și mijloace de încercare a automobilelor**, Editura Tehnică, București, 1982
- [J1] *Johnson, S.,* **Microsoft Office, Excel 2003**, Editura Teora, București, 2004
- [J2] *Janko, W., Bernroider, E.,* **Multi-criteria Decision Making . An Application Study of Electra&Topsis**, Blanca Spee, h01070503@wu-wien.ac.at,p.1-19, 2005
- [K1] *Kovacs,F., Nicoară,I.,* **Dinamica standurilor în circuit închis utilizate la încercarea electropalanelor**, Simpozionul Mecanisme și transmisii mecanice, Timișoara, 1980
- [K2] *Kovacs,F., Nicoară,I.,* **Contribuții la studiul dinamic al standurilor de încercare a angrenajelor**, Simpozionul Mecanisme și transmisii mecanice, Reșița, 1976
- [K3] *Kovacs,F., Nicoară,I. ,* **Dinamica standurilor în circuit închis utilizate la încercarea electropalanelor,:** Simpozionul Mecanisme și transmisii mecanice, Timișoara, 1980
- [K4] *Karin, I.N., Reznik,G.I.,* **Stend dlea ispitanii i obkatki cerviacinîh reductorov s nagrujeniem pozamknutomu konturu**, Trudî Celiabinskovo politechniceskovo instituta. Nr.59, 1969
- [K5] *Kudriavțev, L.A.,* **Eksperimentalnoe issledovanie uglavnîh kolevanii i șuma preamozuboi peredaci. Voprosi geometrii i dinamiki zubciatîh peredaci**, Nauka, Moskva, 1964
- [M1] *Manolescu,N.I., ș.a.,* **Teoria mecanismelor și a mașinilor**, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1972
-

- [M2] *McGleasson, B.,* **Compliant Spindle in Lapping and Testing Machines**, AGMA 02FTM8, ISBN 1-55589-808-4, 2000
- [M3] *Mikoleizig, G.,* **Cilyndrical Gear Inspection and Bevel Gear Inspection – A Simple Task by Means od Dedicated CNC-Controlled Gear Inspection Machine**, AGMA 2000FTM9, ISBN 1-55589-770-3,2000
- [M4] *Microsoft Press,* **Visual Basic 6.0, Ghidul programatorului**, Editura Teora, București, 1998
- [M5] *Moussau, V., Dias, L.,* **Valued Outranking Relations in ELECTRE Providing Mangeable Diaggregation Procedures**, European Journal of Operational Research, 156, p. 467-482, 2004
- [M6] *Miloiu, Gh.,* **Versuche an Zahnradgetrieben auf Verspannungsprufstanden**, Antriebstechnik 12, Nr.4, 1973
- [N1] *Niemann, G., Winter, H.,* **Der FZG-Pitting-Test Zur Ermittlung der Zahnflanken-Tragfahigkeit**, Konstruktion, Nr.5, 6, 7, 8, 9, 10, 1960
- [N2] *Niemann, G., Retting, H.,* **Error Induced Dynamic Gear-Tooth Load**, Proc.I.Mach. series E, Paper 20, London, 1958
- [N3] *Nicoară, I.,* **Stand pentru încercarea angrenajelor**, Al III-lea Simpozion Național MTM, Timișoara, 1980
- [N4] *Nicoară, I., Kovacs, F.,* **Determinarea randamentului și a pierderilor mecanice la un circuit închis**, Al III-lea Simpozion Național MTM, Timișoara, 1980
- [N5] *Nicoară, I., Kovacs, F.,* **Criterii de apreciere a sistemelor mecanice închise**, Third IFToMM International Symposium, Bucharest, 1981
- [N6] *Nicoară, I.,* **Metode de analiză a standurilor de încercare a angrenajelor**, Simpozion Realizări și perspective în proiectarea, execuția și controlul angrenajelor, Craiova, 1986
-

- [N7] *Nicoară, I., Crudu, M.,* **Sisteme mecanice închise cu element flexibil**, Al IV-lea Simpozion Național. Proiectarea asistată de calculator. PRASIC , Brașov, 1990
- [N8] *Nicoară, I.,* **Stand pentru încercarea reductoarelor planetare**, Simpozionul Național MTM și RI, Timișoara, 1992
- [N9] *Nicoară, I.,* **Particularități ale analizei circuitelor recuperative cu tensionare după legi de încărcare impuse**, The Sixth IFToMM International Symposium, Bucharest, 1993
- [N10] *Nicoară, I., Perju, D.,* **Closed Mechanical Circuits with Cyclic Variable Load**, Buletinul Științific și Tehnic UTT Fasc.Mecanica, Tom 38 (52), 1993
- [N11] *Nicoară, I.,* **Load Laws Influence over the Stress in Gears**, Buletinul Științific și Tehnic UTT Fasc.Mecanica 1993, Tom 38 (52)
- [N12] *Nicoară, I., Perju, D.,* **Energetical Closed Circuit with Automatic Control of the Load**, The First International Assembly Designated as Heavy Machinery Production TN' 93, University Kraguievac, Yugoslavia, 1993
- [N13] *Nicoară, I., Perju, D.,* **Particularities of the Mechanical Closed Circuits with Excentrical Spurgear**, Bul. Șt. și Tehnic al UTT, Tom 40 (54), Seria Mecanica, 1995
- [N14] *Nicoară, I., Gruescu, C.,* **Parametrii de calitate ai standurilor cu flux energetic închis pe cale mecanică**, Partea I și Partea II-a, Analele Universității Tg.Mureș, 2000
- [N15] *Nicoară, I., Gruescu, C.,* **Specific Features of Closed Mechanical Circuits**, The Eighth International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms, IFToMM, Liberec, 2000
- [N16] *Nicoară, I.,* **Încercarea angrenajelor**, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2001
- [N17] *Ngo, A., T., Moussau Lamsade, V.,* **Using Assignment Examples to Infre Category Limits for the ELECTRE III Method**, Universite Paris-Dauphine, 2000
-

- [N18] *Nakamura, K.,* **Experimental Studies about the Effects of Dynamic Loads upon Gear Noise**, Bul. ISME, Nr.10, 1967
- [O1] *Ozguven, H.N., ș.a.,* **Assesment of Some Recently Developed Mathematical Models in Gear Dynamics**, Proccedings of 8-th World Congress of Theory of Machines and Mechanisms - IFToMM, Praga, 1991
- [P1] *Paizi, Gh., Stere, N., Lazăr.,* **Organe de mașini și mecanisme**, E.D.P., București, 1980
- [P2] *Popa, H., ș.a.,* **Managementul și ingineria sistemelor de producție**, Editura Politehnica, Timișoara, 2001
- [P3] *Pommersheim, A.,* **Influența geometriei danturii asupra fenomenului de gripare la roți dințate cilindrice din oțel**, Teza de doctorat, Institutul Politehnic Timișoara, 1989
- [P4] *Pommersheim, A., Balekics, M., Crudu, M.,* **Program de calcul pentru repartitia sarcinii pe dantură funcție de rigiditate**, Buletin Științific, Universitatea Baia Mare, Seria C, Vol.V, 1991
- [P5] *Popinceanu, N., ș.a.,* **Contribuții la determinarea randamentului angrenajelor cu roți dințate din material plastic**, Construcția de mașini, Nr.10, 1963
- [R1] *Roy, B.,* **The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods**, Readings in Multiple Criteria Decisions, Springer-Verlag, p.155-183, 1990
- [R2] *Roy, B.,* **Decision Science or Aid-Science Decision?**, European Journal of Operational Research, 66, p. 184-203, 1993
- [R3] *Rešetov, D.N. (pod redacții) ,* **Mașini i stendi dlea ispitaniia detalei**, Mașinostroeniia, Moskva, 1979
- [R4] *Retting, H.,* **Überlast zulässig**, Maschinenmarkt Industrie Juornal, Wurzburg 77, 1971
- [R5] *Roșca, D.* **Eléments de machines**, Editura Universitaria, Craiova, 1999, ISBN 973-8043-36-9
-

- [R6] Roşca, D., Roşca, A. **Analysis and Evaluation of Abrasive Wear for Spur Gearing**, XXVI Oktobarsko Savetovanje Rudara i Metalurga, 527-532, Bor, Yugoslavia, 1994
- [R7] Roşca, D., Roşca, A. **Modelisation des reducteurs et multiplicateurs**, A 5^a Conferință Internațională de Sisteme Electromecanice și Energetice – SIELMEN 2005, Chișinău
- [S3] Shipley, G., **Ways to Load-Test Gears**, Gear Design and Application. Ed. by N.P.Chironis. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1967
- [T1] Tudor, A., **Durabilitatea și fiabilitatea transmisiilor mecanice**, Editura Tehnică, București, 1988
- [V1] Vela, I., **Construcția și exploatarea dispozitivelor**, IPTVT, Timișoara, 1989
- [V2] Vela, I., **Proiectarea dispozitivelor**, vol. I, Ed. Eftimie Murgu Reșița, 1998, ISBN 973-98496-5-2
- [W1] Write, N.A., Kukureca, S.N., **Wear testing and measurement techniques for polymer composite gears**, *Wear*, 251/2001, p.1567-1578
- [W2] Wyluda, P., Wolf, D., **Examination of Finite Element Analysis and Experimental Results of Quasi-statically Loaded Acetal Copolymer Gears**, Ticona Summit, 2003
- [W3] <http://www.mathworks.com>
- [W4] <http://www.klotz.de>
- [W5] <http://www.gearresearch.org>
- [W6] <http://www.ameridrives.com>
- [W7] <http://www.ikonagear.com>
- [W8] <http://www.testrigns.com>
- [W9] <http://www.grc.nasa.gov>
- [W10] <http://www.elsevier.com>
-

- [W11] <http://agmafoundation.org>
- [W12] <http://www.efunda.com>
- [W13] <http://www.gears-manufacturers.com>
- [W14] <http://www.gartechnology.com>
- [W15] <http://www.centerspace.net>
- [W16] <http://www.ulb.ac.be/ElectreIII.htm>
- [W17] <http://www.sbaer.uca.edu>
- [W18] <http://www.lamsade.dauphine.fr/resumes/doc85.html>
- [W19] <http://www.dbai.tuwien.ac.at/marchives/fuzzy-mail97/0065.html>
- [W20] <http://www.ruhr-uni-bochum.de/lmgk/englisch.html>
- [W21] <http://www.fzg.mw.tum.de/forschung>

Progidy-ET, Issue nr.12, 2005,
Tascomp Limited, UK

ANEXA 1

Modulul Code al programului Optimizarea circuitelor energorecuperative

```
Private Sub Form_Load()  
Dim Text1 As Integer  
Dim Text2 As Double  
Dim Text3 As Double  
Dim Text4 As Double  
Dim Text5 As Double  
Dim Text6 As Integer  
Dim RaportTransmitere As Single  
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()  
Select Case Text6  
Case Is = 1  
Call Calcul1  
Case Is = 4  
Call Calcul4  
Case Is = 5  
Call Calcul5  
Case Is = 6  
Call Calcul6  
Case Is = 15  
Call Calcul15  
Case Is = 16  
Call Calcul16  
Case Is = 17  
Call Calcul17  
Case Is = 21  
Call Calcul21  
Case Is = 28  
Call Calcul28  
End Select  
End Sub
```

```
Private Sub Calcul1()  
Select Case Text1  
Case Is = 1  
Text2 = Text7  
Text3 = 1 / Text7 ^ 11 / Text8 ^ 4 / Text9 ^ 6 / Text10 ^ 5 / Text11 ^ 2  
Case Is = 2  
Text2 = Text7 * Text8  
Text3 = 1 / Text7 ^ 10 / Text8 ^ 4 / Text9 ^ 6 / Text10 ^ 5 / Text11 ^ 2  
Case Is = 3  
Text2 = Text7 * Text8 * Text9  
Text3 = 1 / Text7 ^ 10 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 6 / Text10 ^ 5 / Text11 ^ 2  
Case Is = 4  
Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9  
Text3 = 1 / Text7 ^ 10 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 5 / Text11 ^ 2  
Case Is = 5  
Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 * Text10  
Text3 = 1 / Text7 ^ 9 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 5 / Text11 ^ 2
```

```

Text2 = Text7 ^ 10 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9
  Case Is = 26
Text2 = Text7 ^ 10 * Text8 ^ 4 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
  Case Is = 27
Text2 = Text7 ^ 10 * Text8 ^ 4 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / Text7 / Text9
  Case Is = 28
Text2 = Text7 ^ 11 * Text8 ^ 4 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / Text7
End Select
Text4 = Text2 - Text3
Text5 = Text2 / Text3
End Sub
-----
Private Sub Calcul4()
  Select Case Text1
    Case Is = 1
      Text2 = Text7
      Text3 = 1 / Text7
    Case Is = 2
      Text2 = Text7 * Text8
      Text3 = 1 / Text7 / Text8
    Case Is = 3
      Text2 = Text7 * Text8 * Text9
      Text3 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
    Case Is = 4
      Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
      Text3 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9
    Case Is = 5
      Text2 = 1 / Text7 ^ 9 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 5 / Text11 ^ 2
      Text3 = Text7 ^ 9 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
    Case Is = 6
      Text2 = 1 / Text7 ^ 9 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 4 / Text11 ^ 2
      Text3 = Text7 ^ 9 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
    Case Is = 7
      Text2 = 1 / Text7 ^ 8 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 4 / Text11 ^ 2
      Text3 = Text7 ^ 8 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
    Case Is = 8
      Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 8 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 4 / Text11
      Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 8 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 4 * Text11
    Case Is = 9
      Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 8 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 4 / Text11
      Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 8 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 4 * Text11
    Case Is = 10
      Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 7 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 4 / Text11
      Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 7 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 4 * Text11
    Case Is = 11
      Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 7 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 3 / Text11
      Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 7 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 3 * Text11
    Case Is = 12
      Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 7 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 2 / Text11
      Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 7 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 2 * Text11
    Case Is = 13
      Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 6 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 2 / Text11
      Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 6 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 2 * Text11
    Case Is = 14

```



```
Text2 = 1 / Text7 ^ 6 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 6 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 2
Case Is = 15
Text2 = 1 / Text7 ^ 6 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 6 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 2
Case Is = 16
Text2 = 1 / Text7 ^ 5 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 5 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 2
Case Is = 17
Text2 = 1 / Text7 ^ 5 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10
Text3 = Text7 ^ 5 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10
Case Is = 18
Text2 = 1 / Text7 ^ 4 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10
Case Is = 19
Text2 = 1 / Text7 ^ 4 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 3 / Text10
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3 * Text10
Case Is = 20
Text2 = 1 / Text7 ^ 4 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2 / Text10
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10
Case Is = 21
Text2 = 1 / Text7 ^ 3 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2 / Text10
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10
Case Is = 22
Text2 = 1 / Text7 ^ 3 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
Case Is = 23
Text2 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
Case Is = 24
Text2 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 ^ 2
Case Is = 25
Text2 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
Case Is = 26
Text2 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
Text3 = Text7 * Text8 * Text9
Case Is = 27
Text2 = 1 / Text7 / Text9
Text3 = Text7 * Text9
Case Is = 28
Text2 = 1 / Text7
Text3 = Text7
End Select
Text4 = Text2 - Text3
Text5 = Text2 / Text3
End Sub
```

```
Private Sub Calcul5()
Select Case Text1
Case Is = 1
Text2 = Text7
Text3 = 1 / Text7
Case Is = 2
Text2 = Text7 * Text8
Text3 = 1 / Text7 / Text8
Case Is = 3
```



Text2 = Text7 * Text8 * Text9
Text3 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
Case Is = 4

Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
Text3 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9
Case Is = 5

Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 * Text10
Text3 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9 / Text10
Case Is = 6

Text2 = 1 / Text7 ^ 9 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 4 / Text11 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 9 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Case Is = 7

Text2 = 1 / Text7 ^ 8 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 4 / Text11 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 8 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Case Is = 8

Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 8 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 4 / Text11
Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 8 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 4 * Text11
Case Is = 9

Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 8 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 4 / Text11
Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 8 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 4 * Text11
Case Is = 10

Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 7 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 4 / Text11
Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 7 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 4 * Text11
Case Is = 11

Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 7 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 3 / Text11
Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 7 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 3 * Text11
Case Is = 12

Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 7 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 2 / Text11
Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 7 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 2 * Text11
Case Is = 13

Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 6 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 2 / Text11
Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 6 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 2 * Text11
Case Is = 14

Text2 = 1 / Text7 ^ 6 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 6 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 2
Case Is = 15

Text2 = 1 / Text7 ^ 6 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 6 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 2
Case Is = 16

Text2 = 1 / Text7 ^ 5 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 5 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 2
Case Is = 17

Text2 = 1 / Text7 ^ 5 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10
Text3 = Text7 ^ 5 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10
Case Is = 18

Text2 = 1 / Text7 ^ 4 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10
Case Is = 19

Text2 = 1 / Text7 ^ 4 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 3 / Text10
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3 * Text10
Case Is = 20

Text2 = 1 / Text7 ^ 4 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2 / Text10
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10
Case Is = 21

Text2 = 1 / Text7 ^ 3 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2 / Text10
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10
Case Is = 22

Text2 = 1 / Text7 ^ 3 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2



```
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
  Case Is = 23
Text2 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
  Case Is = 24
Text2 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 ^ 2
  Case Is = 25
Text2 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
  Case Is = 26
Text2 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
Text3 = Text7 * Text8 * Text9
  Case Is = 27
Text2 = 1 / Text7 / Text9
Text3 = Text7 * Text9
  Case Is = 28
Text2 = 1 / Text7
Text3 = Text7
End Select
Text4 = Text2 - Text3
Text5 = Text2 / Text3
End Sub
```

```
Private Sub Calcul6()
  Select Case Text1
    Case Is = 1
      Text2 = Text7
      Text3 = 1 / Text7
    Case Is = 2
      Text2 = Text7 * Text8
      Text3 = 1 / Text7 / Text8
    Case Is = 3
      Text2 = Text7 * Text8 * Text9
      Text3 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
    Case Is = 4
      Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
      Text3 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9
    Case Is = 5
      Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 * Text10
      Text3 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9 / Text10
    Case Is = 6
      Text2 = Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10
      Text3 = 1 / Text7 ^ 3 / Text8 / Text9 / Text10
    Case Is = 7
      Text2 = 1 / Text7 ^ 8 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 4 / Text11 ^ 2
      Text3 = Text7 ^ 8 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
    Case Is = 8
      Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 8 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 5 / Text10 ^ 4 / Text11
      Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 8 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 4 * Text11
    Case Is = 9
      Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 8 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 4 / Text11
      Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 8 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 4 * Text11
    Case Is = 10
      Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 7 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 4 / Text11
      Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 7 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 4 * Text11
    Case Is = 11
      Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 7 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 3 / Text11
```



```
Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 7 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 3 * Text11
  Case Is = 12
Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 7 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 2 / Text11
Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 7 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 2 * Text11
  Case Is = 13
Text2 = RaportTransmitere / Text7 ^ 6 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 2 / Text11
Text3 = RaportTransmitere * Text7 ^ 6 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 2 * Text11
  Case Is = 14
Text2 = 1 / Text7 ^ 6 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 4 / Text10 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 6 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 2
  Case Is = 15
Text2 = 1 / Text7 ^ 6 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 6 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 2
  Case Is = 16
Text2 = 1 / Text7 ^ 5 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 5 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 2
  Case Is = 17
Text2 = 1 / Text7 ^ 5 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10
Text3 = Text7 ^ 5 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10
  Case Is = 18
Text2 = 1 / Text7 ^ 4 / Text8 ^ 3 / Text9 ^ 3 / Text10
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10
  Case Is = 19
Text2 = 1 / Text7 ^ 4 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 3 / Text10
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3 * Text10
  Case Is = 20
Text2 = 1 / Text7 ^ 4 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2 / Text10
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10
  Case Is = 21
Text2 = 1 / Text7 ^ 3 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2 / Text10
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10
  Case Is = 22
Text2 = 1 / Text7 ^ 3 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
  Case Is = 23
Text2 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 ^ 2 / Text9 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
  Case Is = 24
Text2 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9 ^ 2
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 ^ 2
  Case Is = 25
Text2 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
  Case Is = 26
Text2 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
Text3 = Text7 * Text8 * Text9
  Case Is = 27
Text2 = 1 / Text7 / Text9
Text3 = Text7 * Text9
  Case Is = 28
Text2 = 1 / Text7
Text3 = Text7
End Select
Text4 = Text2 - Text3
Text5 = Text2 / Text3
End Sub
```

```
Private Sub Calcul15()
```

```

Case Is = 20
Text2 = 1 / (Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10)
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10
Case Is = 21
Text2 = 1 / (Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3 * Text10)
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10
Case Is = 22
Text2 = 1 / (Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3)
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
Case Is = 23
Text2 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3)
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
Case Is = 24
Text2 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 ^ 2)
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 ^ 2
Case Is = 25
Text2 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9)
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
Case Is = 26
Text2 = 1 / (Text7 * Text8 * Text9)
Text3 = Text7 * Text8 * Text9
Case Is = 27
Text2 = 1 / (Text7 * Text9)
Text3 = Text7 * Text9
Case Is = 28
Text2 = 1 / Text7
Text3 = Text7
End Select
Text4 = Text2 - Text3
Text5 = Text2 / Text3
End Sub
-----
Private Sub Calcul16()
Select Case Text1
Case Is = 1
Text2 = Text7
Text3 = 1 / Text7
Case Is = 2
Text2 = Text7 * Text8
Text3 = 1 / Text7 / Text8
Case Is = 3
Text2 = Text7 * Text8 * Text9
Text3 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
Case Is = 4
Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
Text3 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9)
Case Is = 5
Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 * Text10
Text3 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 * Text10)
Case Is = 6
Text2 = Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10
Text3 = 1 / (Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10)
Case Is = 7
Text2 = Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10 * Text11
Text3 = 1 / (Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10 * Text11)
Case Is = 8
Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11)

```




```
Text2 = 1 / Text7
Text3 = Text7
End Select
Text4 = Text2 - Text3
Text5 = Text2 / Text3
End Sub
```

```
Private Sub Calcul17()
Select Case Text1
Case Is = 1
Text2 = Text7
Text3 = 1 / Text7
Case Is = 2
Text2 = Text7 * Text8
Text3 = 1 / Text7 / Text8
Case Is = 3
Text2 = Text7 * Text8 * Text9
Text3 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
Case Is = 4
Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
Text3 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9)
Case Is = 5
Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 * Text10
Text3 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 * Text10)
Case Is = 6
Text2 = Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10
Text3 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 * Text10)
Case Is = 7
Text2 = Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10 * Text11
Text3 = 1 / (Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10 * Text11)
Case Is = 8
Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11)
Case Is = 9
Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11)
Case Is = 10
Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 2 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 2 * Text11)
Case Is = 11
Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11)
Case Is = 12
Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11)
Case Is = 13
Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2)
Case Is = 14
Text2 = Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2)
Case Is = 15
Text2 = Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2)
Case Is = 16
Text2 = Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 17
```



```
Text2 = 1 / (Text7 ^ 5 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 3 * Text10)
Text3 = Text7 ^ 5 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 3 * Text10
  Case Is = 18
Text2 = 1 / (Text7 ^ 4 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 3 * Text10)
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 3 * Text10
  Case Is = 19
Text2 = 1 / (Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3 * Text10)
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3 * Text10
  Case Is = 20
Text2 = 1 / (Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10)
Text3 = Text7 ^ 4 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10
  Case Is = 21
Text2 = 1 / (Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10)
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2 * Text10
  Case Is = 22
Text2 = 1 / (Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2)
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
  Case Is = 23
Text2 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2)
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
  Case Is = 24
Text2 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 ^ 2)
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 ^ 2
  Case Is = 25
Text2 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9)
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
  Case Is = 26
Text2 = 1 / (Text7 * Text8 * Text9)
Text3 = Text7 * Text8 * Text9
  Case Is = 27
Text2 = 1 / (Text7 * Text9)
Text3 = Text7 * Text9
  Case Is = 28
Text2 = 1 / Text7
Text3 = Text7
End Select
Text4 = Text2 - Text3
Text5 = Text2 / Text3
End Sub
```

```
Private Sub Calcul21()
  Select Case Text1
    Case Is = 1
      Text2 = Text7
      Text3 = 1 / Text7
    Case Is = 2
      Text2 = Text7 * Text8
      Text3 = 1 / Text7 / Text8
    Case Is = 3
      Text2 = Text7 * Text8 * Text9
      Text3 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
    Case Is = 4
      Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
      Text3 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9
    Case Is = 5
      Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 * Text10
      Text3 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9 / Text10
    Case Is = 6
```



Text2 = Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10
Text3 = 1 / Text7 ^ 3 / Text8 / Text9 / Text10
Case Is = 7

Text2 = Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10 * Text11
Text3 = 1 / (Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10 * Text11)
Case Is = 8

Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11)
Case Is = 9

Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11)
Case Is = 10

Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 2 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 2 * Text11)
Case Is = 11

Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11)
Case Is = 12

Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11)
Case Is = 13

Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2
Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2)
Case Is = 14

Text2 = Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2)
Case Is = 15

Text2 = Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2)
Case Is = 16

Text2 = Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 17

Text2 = Text7 ^ 7 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 7 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 18

Text2 = Text7 ^ 7 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 7 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 19

Text2 = Text7 ^ 7 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 7 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 20

Text2 = Text7 ^ 8 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 8 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 21

Text2 = Text7 ^ 8 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 8 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2)
Case Is = 22

Text2 = 1 / (Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2)
Text3 = Text7 ^ 3 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
Case Is = 23

Text2 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2)
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 2
Case Is = 24

Text2 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 ^ 2)
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 ^ 2
Case Is = 25

Text2 = 1 / (Text7 ^ 2 * Text8 * Text9)



```
Text3 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
  Case Is = 26
Text2 = 1 / (Text7 * Text8 * Text9)
Text3 = Text7 * Text8 * Text9
  Case Is = 27
Text2 = 1 / (Text7 * Text9)
Text3 = Text7 * Text9
  Case Is = 28
Text2 = 1 / Text7
Text3 = Text7
End Select
Text4 = Text2 - Text3
Text5 = Text2 / Text3
End Sub
```

```
Private Sub Calcul28()
  Select Case Text1
    Case Is = 1
      Text2 = Text7
      Text3 = 1 / Text7
    Case Is = 2
      Text2 = Text7 * Text8
      Text3 = 1 / Text7 / Text8
    Case Is = 3
      Text2 = Text7 * Text8 * Text9
      Text3 = 1 / Text7 / Text8 / Text9
    Case Is = 4
      Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9
      Text3 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9
    Case Is = 5
      Text2 = Text7 ^ 2 * Text8 * Text9 * Text10
      Text3 = 1 / Text7 ^ 2 / Text8 / Text9 / Text10
    Case Is = 6
      Text2 = Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10
      Text3 = 1 / Text7 ^ 3 / Text8 / Text9 / Text10
    Case Is = 7
      Text2 = Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10 * Text11
      Text3 = 1 / (Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 * Text10 * Text11)
    Case Is = 8
      Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11
      Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 3 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11)
    Case Is = 9
      Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11
      Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 * Text11)
    Case Is = 10
      Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 2 * Text11
      Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 2 * Text11)
    Case Is = 11
      Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11
      Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 4 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11)
    Case Is = 12
      Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11
      Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11)
    Case Is = 13
      Text2 = RaportTransmitere * Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2
      Text3 = RaportTransmitere / (Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 2 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2)
    Case Is = 14
      Text2 = Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2
```

```

Text3 = 1 / (Text7 ^ 5 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2)
Case Is = 15
Text2 = Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 3 * Text11 ^ 2)
Case Is = 16
Text2 = Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 6 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 17
Text2 = Text7 ^ 7 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 7 * Text8 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 18
Text2 = Text7 ^ 7 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 7 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 3 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 19
Text2 = Text7 ^ 7 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 7 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 20
Text2 = Text7 ^ 8 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 8 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 4 * Text11 ^ 2)
Case Is = 21
Text2 = Text7 ^ 8 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 8 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2)
Case Is = 22
Text2 = Text7 ^ 9 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 9 * Text8 ^ 2 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2)
Case Is = 23
Text2 = Text7 ^ 9 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 9 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 4 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2)
Case Is = 24
Text2 = Text7 ^ 9 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 9 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2)
Case Is = 25
Text2 = Text7 ^ 10 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 10 * Text8 ^ 3 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2)
Case Is = 26
Text2 = Text7 ^ 10 * Text8 ^ 4 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 10 * Text8 ^ 4 * Text9 ^ 5 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2)
Case Is = 27
Text2 = Text7 ^ 10 * Text8 ^ 4 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 10 * Text8 ^ 4 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2)
Case Is = 28
Text2 = Text7 ^ 11 * Text8 ^ 4 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2
Text3 = 1 / (Text7 ^ 11 * Text8 ^ 4 * Text9 ^ 6 * Text10 ^ 5 * Text11 ^ 2)
End Select
Text4 = Text2 - Text3
Text5 = Text2 / Text3
End Sub
-----
Private Sub Command2_Click()
End
End Sub

```



ANEXA 2

2 transmisii		$i_{conuc}=2$	$i_{conuc}=4$	
Poz.	M_A/M_{CT}	M_A/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.913354	1.094865	-0.181511	0.834216
8	1.808442	2.211849	-0.403407	0.817615
9	1.790357	2.234191	-0.443834	0.801345
10	1.763502	2.268214	-0.504712	0.777485
11	6.983468	9.164502	-2.181034	0.762013
12	6.913633	9.257072	-2.343440	0.746849
13	6.775360	9.445992	-2.670632	0.717274
14	6.639853	9.638768	-2.998915	0.688869
15	6.573454	9.736129	-3.162675	0.675161
16	6.474853	9.884395	-3.409542	0.655058
17	3.205052	2.496059	0.708993	1.284045
18	3.173002	2.521272	0.651729	1.258492
19	3.125407	2.559667	0.565739	1.221021
20	0.773538	1.292761	-0.519223	0.598361
21	0.765803	1.305819	-0.540017	0.586454
21	1.078442	0.927263	0.151179	1.163038
22	1.067658	0.936630	0.131028	1.139893
23	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
24	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
25	1.020304	0.980100	0.040204	1.041020
26	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

4 transmisii		$i_{conuc}=2$	$i_{conuc}=4$	
Poz.	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	1.930797	2.071683	-0.140886	0.931994
4	1.911489	2.092609	-0.181120	0.913448
5	1.882817	2.124477	-0.241660	0.886250
6	7.455954	8.583744	-1.127790	0.868613
7	7.381395	8.670448	-1.289054	0.851328
8	7.233767	8.847396	-1.613630	0.817615
9	7.089091	9.027955	-1.938864	0.785238
10	7.018200	9.119147	-2.100946	0.769612
11	6.912927	9.258017	-2.345090	0.746696
12	3.421899	2.337883	1.084016	1.463674
13	3.387680	2.361498	1.026182	1.434547
14	3.336865	2.397460	0.939405	1.391833
15	1.651748	1.210838	0.440910	1.364136
16	1.635231	1.223069	0.412162	1.338990
17	1.602526	1.248030	0.354496	1.284045
17	1.248030	0.801263	0.446767	1.557578
18	1.223069	0.817615	0.405454	1.495898
19	1.210838	0.825874	0.384964	1.466130
20	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
21	2.361498	1.693840	0.667658	1.394168
22	2.337883	1.710950	0.626934	1.366424
23	2.302815	1.737005	0.565810	1.325739
24	9.119147	7.018200	2.100946	1.299357
25	9.027955	7.089091	1.938864	1.273500
26	8.847396	7.233767	1.613630	1.223069
27	8.670448	7.381395	1.289054	1.174636
28	8.583744	7.455954	1.127790	1.151260
29	8.454988	7.569497	0.885491	1.116982
30	2.092609	1.911489	0.181120	1.094754
31	2.071683	1.930797	0.140886	1.072968
32	2.040608	1.960200	0.080408	1.041020
33	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

2 transmisii		$i_{\text{concl}}=2$	$i_{\text{concl}}=5$	
Poz.	M_a/M_{cT}	M_B/M_{cT}	$(M_a - M_B)/M_{cT}$	M_a/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.913354	1.094865	-0.181511	0.834216
8	1.808442	2.211849	-0.403407	0.817615
9	1.790357	2.234191	-0.443834	0.801345
10	1.763502	2.268214	-0.504712	0.777485
11	8.729334	11.455627	-2.726293	0.762013
12	8.642041	11.571341	-2.929300	0.746849
13	8.469200	11.807490	-3.338290	0.717274
14	8.299816	12.048460	-3.748643	0.688869
15	8.216818	12.170161	-3.953343	0.675161
16	8.093566	12.355494	-4.261928	0.655058
17	4.006315	2.496059	1.510256	1.605056
18	3.966252	2.521272	1.444980	1.573115
19	3.906758	2.559667	1.347091	1.526276
20	0.773538	1.292761	-0.519223	0.598361
21	0.765803	1.305819	-0.540017	0.586454
21	1.078442	0.927263	0.151179	1.183038
22	1.067658	0.936630	0.131028	1.139893
23	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
24	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
25	1.020304	0.980100	0.040204	1.041020
26	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

4 transmisii		$i_{\text{concl}}=2$	$i_{\text{concl}}=5$	
Poz.	M_a/M_{cT}	M_B/M_{cT}	$(M_a - M_B)/M_{cT}$	M_a/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	1.930797	2.071683	-0.140886	0.931994
4	1.911489	2.092609	-0.181120	0.913448
5	1.882817	2.124477	-0.241660	0.886250
6	9.319943	10.729680	-1.409737	0.868613
7	9.226743	10.838060	-1.611317	0.851328
8	9.042208	11.059245	-2.017037	0.817615
9	8.861364	11.284944	-2.423580	0.785238
10	8.772751	11.398933	-2.626183	0.769612
11	8.641159	11.572521	-2.931362	0.746696
12	4.277374	2.337883	1.939491	1.829593
13	4.234600	2.361498	1.873102	1.793184
14	4.171081	2.397460	1.773621	1.739792
15	2.064685	1.210838	0.853847	1.705170
16	2.044038	1.223069	0.820969	1.671237
17	2.003158	1.248030	0.755128	1.605056
17	1.248030	0.801263	0.446767	1.557578
18	1.223069	0.817615	0.405454	1.495898
19	1.210838	0.825874	0.384964	1.466130
20	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
21	2.361498	1.693840	0.667658	1.394168
22	2.337883	1.710950	0.626934	1.366424
23	2.302815	1.737005	0.565810	1.325739
24	11.398933	8.772751	2.626183	1.299357
25	11.284944	8.861364	2.423580	1.273500
26	11.059245	9.042208	2.017037	1.223069
27	10.838060	9.226743	1.611317	1.174636
28	10.729680	9.319943	1.409737	1.151260
29	10.568735	9.461871	1.106864	1.116982
30	2.092609	1.911489	0.181120	1.094754
31	2.071683	1.930797	0.140886	1.072968
32	2.040608	1.960200	0.080408	1.041020
33	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

2 transmisii		$i_{\text{conz}}=2.5$	$i_{\text{conz}}=3.2$	
Poz.	M_a/M_{c1}	M_a/M_{c2}	$(M_a-M_{c1})/M_{c1}$	M_a/M_{c2}
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.913354	1.094865	-0.181511	0.834216
8	2.260552	2.764811	-0.504259	0.817615
9	2.237947	2.792739	-0.554792	0.801345
10	2.204377	2.835268	-0.630890	0.777485
11	6.983468	9.164502	-2.181034	0.762013
12	6.913633	9.257072	-2.343440	0.746849
13	6.775360	9.445992	-2.670632	0.717274
14	6.639853	9.638768	-2.998915	0.688869
15	6.573454	9.736129	-3.162675	0.675161
16	6.474853	9.884395	-3.409542	0.655058
17	2.564042	3.120074	-0.556033	0.821789
18	2.538401	3.151590	-0.613189	0.805435
19	2.500325	3.199584	-0.699259	0.781453
20	0.773538	1.292761	-0.519223	0.598361
21	0.765803	1.305819	-0.540017	0.586454
21	1.078442	0.927263	0.151179	1.163038
22	1.067658	0.936630	0.131028	1.139893
23	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
24	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
25	1.020304	0.980100	0.040204	1.041020
26	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

4 transmisii		$i_{\text{conz}}=2.5$	$i_{\text{conz}}=3.2$	
Poz.	M_a/M_{c1}	M_a/M_{c2}	$(M_a-M_{c1})/M_{c1}$	M_a/M_{c2}
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	2.413496	2.589604	-0.176108	0.931994
4	2.389361	2.615762	-0.226401	0.913448
5	2.353521	2.655596	-0.302075	0.886250
6	7.455954	8.583744	-1.127790	0.868613
7	7.381395	8.670448	-1.289054	0.851328
8	7.233767	8.847396	-1.613630	0.817615
9	7.089091	9.027955	-1.938864	0.785238
10	7.018200	9.119147	-2.100946	0.769612
11	6.912927	9.258017	-2.345090	0.746696
12	2.737519	2.922354	-0.184835	0.936751
13	2.710144	2.951873	-0.241729	0.918110
14	2.669492	2.996825	-0.327333	0.890773
15	1.057119	1.210838	-0.153720	0.873047
16	1.046548	1.223069	-0.176521	0.855673
17	1.025617	1.248030	-0.222413	0.821789
17	1.248030	0.801263	0.446767	1.557578
18	1.223069	0.817615	0.405454	1.495898
19	1.210838	0.825874	0.384964	1.466130
20	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
21	2.951873	2.117300	0.834573	1.394168
22	2.922354	2.136687	0.783667	1.366424
23	2.878519	2.171256	0.707263	1.325739
24	9.119147	7.018200	2.100946	1.299357
25	9.027955	7.089091	1.938864	1.273500
26	8.847396	7.233767	1.613630	1.223069
27	8.670448	7.381395	1.289054	1.174636
28	8.583744	7.455954	1.127790	1.151260
29	8.454988	7.569497	0.885491	1.116982
30	2.615762	2.389361	0.226401	1.094754
31	2.589604	2.413496	0.176108	1.072968
32	2.550760	2.450250	0.100510	1.041020
33	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

2 transmisii		$i_{\text{concl}}=2.5$	$i_{\text{concl}}=4$	
Poz.	M_2/M_{2T}	M_B/M_{2T}	$(M_2-M_B)/M_{2T}$	M_2/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.913354	1.094865	-0.181511	0.834216
8	2.260552	2.764811	-0.504259	0.817615
9	2.237947	2.792739	-0.554792	0.801345
10	2.204377	2.835268	-0.630890	0.777485
11	8.729334	11.455627	-2.726293	0.762013
12	8.642041	11.571341	-2.929300	0.746849
13	8.469200	11.807490	-3.338290	0.717274
14	8.299816	12.048460	-3.748643	0.688869
15	8.216818	12.170161	-3.953343	0.675161
16	8.093566	12.355494	-4.261928	0.655058
17	3.205052	3.120074	0.084978	1.027236
18	3.173002	3.151590	0.021411	1.006794
19	3.125407	3.199584	-0.074177	0.976817
20	0.773538	1.292761	-0.519223	0.598361
21	0.765803	1.305819	-0.540017	0.586454
21	1.078442	0.927263	0.151179	1.163038
22	1.067658	0.936630	0.131028	1.139893
23	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
24	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
25	1.020304	0.980100	0.040204	1.041020
26	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

4 transmisii		$i_{\text{concl}}=2.5$	$i_{\text{concl}}=4$	
Poz.	M_2/M_{2T}	M_B/M_{2T}	$(M_2-M_B)/M_{2T}$	M_2/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	2.413496	2.589604	-0.176108	0.931994
4	2.389361	2.615762	-0.226401	0.913448
5	2.353521	2.655596	-0.302075	0.886250
6	9.319943	10.729680	-1.409737	0.868613
7	9.226743	10.838060	-1.611317	0.851328
8	9.042208	11.059245	-2.017037	0.817615
9	8.861364	11.284944	-2.423580	0.785238
10	8.772751	11.398933	-2.626183	0.769612
11	8.641159	11.572521	-2.931362	0.746696
12	3.421899	2.922354	0.499545	1.170939
13	3.387680	2.951873	0.435807	1.147638
14	3.336865	2.996825	0.340040	1.113467
15	1.321398	1.210838	0.110560	1.091309
16	1.308185	1.223069	0.085115	1.069592
17	1.282021	1.248030	0.033991	1.027236
17	1.248030	0.801263	0.446767	1.557578
18	1.223069	0.817615	0.405454	1.495898
19	1.210838	0.825874	0.384964	1.466130
20	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
21	2.951873	2.117300	0.834573	1.394168
22	2.922354	2.138687	0.783667	1.366424
23	2.878519	2.171256	0.707263	1.325739
24	11.398933	8.772751	2.626183	1.299357
25	11.284944	8.861364	2.423580	1.273500
26	11.059245	9.042208	2.017037	1.223069
27	10.838060	9.226743	1.611317	1.174636
28	10.729680	9.319943	1.409737	1.151260
29	10.568735	9.461871	1.106864	1.116982
30	2.615762	2.389361	0.226401	1.094754
31	2.589604	2.413496	0.176108	1.072968
32	2.550760	2.450250	0.100510	1.041020
33	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304



2 transmisii		$i_{conuz}=2.5$	$i_{conuz}=5$	
Poz.	M_a/M_{c1}	M_b/M_{c1}	$(M_c-M_b)/M_{c1}$	M_c/M_b
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.913354	1.094865	-0.181511	0.834216
8	2.260552	2.764811	-0.504259	0.817615
9	2.237947	2.792739	-0.554792	0.801345
10	2.204377	2.835268	-0.630890	0.777485
11	10.911668	14.319534	-3.407866	0.762013
12	10.802551	14.464176	-3.661624	0.746849
13	10.586500	14.759363	-4.172863	0.717274
14	10.374770	15.060574	-4.685804	0.688869
15	10.271023	15.212701	-4.941679	0.675161
16	10.116957	15.444367	-5.327410	0.655058
17	4.006315	3.120074	0.886241	1.284045
18	3.966252	3.151590	0.814662	1.258492
19	3.906758	3.199584	0.707174	1.221021
20	0.773538	1.292761	-0.519223	0.598361
21	0.765803	1.305819	-0.540017	0.586454
21	1.078442	0.927263	0.151179	1.163038
22	1.067658	0.936630	0.131028	1.139893
23	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
24	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
25	1.020304	0.980100	0.040204	1.041020
26	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

4 transmisii		$i_{conuz}=2.5$	$i_{conuz}=5$	
Poz.	M_a/M_{c1}	M_b/M_{c1}	$(M_c-M_b)/M_{c1}$	M_c/M_b
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	2.413496	2.589604	-0.176108	0.931994
4	2.389361	2.615762	-0.226401	0.913448
5	2.353521	2.655596	-0.302075	0.886250
6	11.649928	13.412100	-1.762171	0.868613
7	11.533429	13.547575	-2.014146	0.851328
8	11.302760	13.824057	-2.521296	0.817615
9	11.076705	14.106180	-3.029475	0.785238
10	10.965938	14.248667	-3.282729	0.769612
11	10.801449	14.465652	-3.664203	0.746696
12	4.277374	2.922354	1.355020	1.463674
13	4.234600	2.951873	1.282728	1.434547
14	4.171081	2.996825	1.174256	1.391833
15	1.651748	1.210838	0.440910	1.364136
16	1.635231	1.223069	0.412162	1.336990
17	1.602526	1.248030	0.354496	1.284045
17	1.248030	0.801263	0.446767	1.557578
18	1.223069	0.817615	0.405454	1.495898
19	1.210838	0.825874	0.384964	1.466130
20	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
21	2.951873	2.117300	0.834573	1.394168
22	2.922354	2.138687	0.783667	1.366424
23	2.878519	2.171256	0.707263	1.325739
24	14.248667	10.965938	3.282729	1.299357
25	14.106180	11.076705	3.029475	1.273500
26	13.824057	11.302760	2.521296	1.223069
27	13.547575	11.533429	2.014146	1.174636
28	13.412100	11.649928	1.762171	1.151260
29	13.210918	11.827338	1.383580	1.116982
30	2.615762	2.389361	0.226401	1.094754
31	2.589604	2.413496	0.176108	1.072968
32	2.550760	2.450250	0.100510	1.041020
33	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

2 transmisii		$i_{conic}=3.2$	$i_{conic}=3.2$	
Poz.	M_a/M_{cT}	M_a/M_{cT}	$(M_c - M_a)/M_{cT}$	M_a/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.913354	1.094865	-0.181511	0.834216
8	2.893507	3.538958	-0.645452	0.817615
9	2.864572	3.574706	-0.710134	0.801345
10	2.821603	3.629143	-0.807540	0.777485
11	8.938838	11.730562	-2.791724	0.762013
12	8.849450	11.849053	-2.999603	0.746849
13	8.672461	12.090870	-3.418409	0.717274
14	8.499012	12.337623	-3.838611	0.688869
15	8.414022	12.462245	-4.048223	0.675161
16	8.287811	12.652025	-4.364214	0.655058
17	2.564042	3.993695	-1.429653	0.642022
18	2.538401	4.034035	-1.495634	0.629246
19	2.500325	4.095467	-1.595142	0.610510
20	0.773538	1.292761	-0.519223	0.598361
21	0.765803	1.305819	-0.540017	0.586454
21	1.078442	0.927263	0.151179	1.163038
22	1.067658	0.936630	0.131028	1.139893
23	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
24	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
25	1.020304	0.980100	0.040204	1.041020
26	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

4 transmisii		$i_{conic}=3.2$	$i_{conic}=3.2$	
Poz.	M_a/M_{cT}	M_a/M_{cT}	$(M_c - M_a)/M_{cT}$	M_a/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	3.089275	3.314693	-0.225418	0.931994
4	3.058382	3.348175	-0.289793	0.913448
5	3.012507	3.399163	-0.386656	0.886250
6	9.543621	10.987192	-1.443571	0.868613
7	9.448185	11.098174	-1.649989	0.851328
8	9.259221	11.324667	-2.065446	0.817615
9	9.074037	11.555783	-2.481746	0.785238
10	8.983297	11.672508	-2.689211	0.769612
11	8.848547	11.850262	-3.001715	0.746696
12	2.737519	3.740613	-1.003094	0.731837
13	2.710144	3.778397	-1.068253	0.717274
14	2.669492	3.835936	-1.166444	0.695917
15	0.825874	1.210838	-0.384964	0.682068
16	0.817615	1.223069	-0.405454	0.668495
17	0.801263	1.248030	-0.446767	0.642022
17	1.248030	0.801263	0.446767	1.557578
18	1.223069	0.817615	0.405454	1.495898
19	1.210838	0.825874	0.384964	1.466130
20	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
21	3.778397	2.710144	1.068253	1.394168
22	3.740613	2.737519	1.003094	1.366424
23	3.684504	2.779207	0.905296	1.325739
24	11.672508	8.983297	2.689211	1.299357
25	11.555783	9.074037	2.481746	1.273500
26	11.324667	9.259221	2.065446	1.223069
27	11.098174	9.448185	1.649989	1.174636
28	10.987192	9.543621	1.443571	1.151260
29	10.822384	9.688956	1.133429	1.116982
30	3.348175	3.058382	0.289793	1.094754
31	3.314693	3.089275	0.225418	1.072968
32	3.264973	3.136320	0.128653	1.041020
33	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304



2 transmisii		$i_{concl}=3.2$	$i_{concl}=4$	
Poz.	M_A/M_T	M_B/M_T	$(M_A-M_B)/M_T$	M_A/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.913354	1.094865	-0.181511	0.834216
8	2.893507	3.538958	-0.645452	0.817615
9	2.864572	3.574706	-0.710134	0.801345
10	2.821603	3.629143	-0.807540	0.777485
11	11.173548	14.663203	-3.489655	0.762013
12	11.061813	14.811316	-3.749503	0.746849
13	10.840576	15.113588	-4.273011	0.717274
14	10.623765	15.422028	-4.798264	0.688869
15	10.517527	15.577806	-5.060279	0.675161
16	10.359764	15.815032	-5.455268	0.655058
17	3.205052	3.993695	-0.788643	0.802528
18	3.173002	4.034035	-0.861034	0.786558
19	3.125407	4.095467	-0.970061	0.763138
20	0.773538	1.292761	-0.519223	0.598361
21	0.765803	1.305819	-0.540017	0.586454
21	1.078442	0.927263	0.151179	1.163038
22	1.067658	0.936630	0.131028	1.139893
23	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
24	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
25	1.020304	0.980100	0.040204	1.041020
26	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

4 transmisii		$i_{concl}=3.2$	$i_{concl}=4$	
Poz.	M_A/M_T	M_B/M_T	$(M_A-M_B)/M_T$	M_A/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	3.089275	3.314693	-0.225418	0.931994
4	3.058382	3.348175	-0.289793	0.913448
5	3.012507	3.399163	-0.386656	0.886250
6	11.929527	13.733990	-1.804464	0.868613
7	11.810231	13.872717	-2.062486	0.851328
8	11.574027	14.155834	-2.581807	0.817615
9	11.342546	14.444729	-3.102182	0.785238
10	11.229121	14.590635	-3.361514	0.769612
11	11.060684	14.812827	-3.752143	0.746696
12	3.421899	3.740613	-0.318714	0.914796
13	3.387680	3.778397	-0.390717	0.896592
14	3.336865	3.835936	-0.499071	0.869896
15	1.032343	1.210838	-0.178496	0.852585
16	1.022019	1.223069	-0.201050	0.835619
17	1.001579	1.248030	-0.246451	0.802528
17	1.248030	0.801263	0.446767	1.557578
18	1.223069	0.817615	0.405454	1.495898
19	1.210838	0.825874	0.384964	1.466130
20	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
21	3.778397	2.710144	1.068253	1.394168
22	3.740613	2.737519	1.003094	1.366424
23	3.684504	2.779207	0.905296	1.325739
24	14.590635	11.229121	3.361514	1.299357
25	14.444729	11.342546	3.102182	1.273500
26	14.155834	11.574027	2.581807	1.223069
27	13.872717	11.810231	2.062486	1.174636
28	13.733990	11.929527	1.804464	1.151260
29	13.527980	12.111194	1.416786	1.116982
30	3.348175	3.058382	0.289793	1.094754
31	3.314693	3.089275	0.225418	1.072968
32	3.264973	3.136320	0.128653	1.041020
33	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304



2 transmisii		$i_{conic}=3.2$	$i_{cilindric}=5$	
Poz.	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	0.965399	1.035842	-0.070443	0.931994
4	0.955745	1.046305	-0.090560	0.913448
5	0.936630	1.067658	-0.131028	0.877275
6	0.927263	1.078442	-0.151179	0.859817
7	0.913354	1.094865	-0.181511	0.834216
8	2.893507	3.538958	-0.645452	0.817615
9	2.864572	3.574706	-0.710134	0.801345
10	2.821603	3.629143	-0.807540	0.777485
11	13.966935	18.329003	-4.362068	0.762013
12	13.827266	18.514145	-4.686879	0.746849
13	13.550720	18.891985	-5.341264	0.717274
14	13.279706	19.277535	-5.997829	0.688869
15	13.146909	19.472258	-6.325349	0.675161
16	12.949705	19.768790	-6.819084	0.655058
17	4.006315	3.993695	0.012620	1.003160
18	3.966252	4.034035	-0.067783	0.983197
19	3.906758	4.095467	-0.188709	0.953922
20	0.773538	1.292761	-0.519223	0.598361
21	0.765803	1.305819	-0.540017	0.586454
21	1.078442	0.927263	0.151179	1.163038
22	1.067658	0.936630	0.131028	1.139893
23	1.046305	0.955745	0.090560	1.094754
24	1.035842	0.965399	0.070443	1.072968
25	1.020304	0.980100	0.040204	1.041020
26	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304

4 transmisii		$i_{conic}=3.2$	$i_{cilindric}=5$	
Poz.	M_A/M_{CT}	M_B/M_{CT}	$(M_A-M_B)/M_{CT}$	M_A/M_B
1	0.990000	1.010101	-0.020101	0.980100
2	0.975150	1.025483	-0.050333	0.950918
3	3.089275	3.314693	-0.225418	0.931994
4	3.058382	3.348175	-0.289793	0.913448
5	3.012507	3.399163	-0.386656	0.886250
6	14.911908	17.167488	-2.255579	0.868613
7	14.762789	17.340897	-2.578107	0.851328
8	14.467533	17.694792	-3.227259	0.817615
9	14.178183	18.055911	-3.877728	0.785238
10	14.036401	18.238294	-4.201893	0.769612
11	13.825855	18.516034	-4.690179	0.746696
12	4.277374	3.740613	0.536761	1.143495
13	4.234600	3.778397	0.456203	1.120740
14	4.171081	3.835936	0.335145	1.087370
15	1.290428	1.210838	0.079590	1.065731
16	1.277524	1.223069	0.054455	1.044523
17	1.251973	1.248030	0.003944	1.003160
17	1.248030	0.801263	0.446767	1.557578
18	1.223069	0.817615	0.405454	1.495898
19	1.210838	0.825874	0.384964	1.466130
20	1.192676	0.838451	0.354225	1.422476
21	3.778397	2.710144	1.068253	1.394168
22	3.740613	2.737519	1.003094	1.366424
23	3.684504	2.779207	0.905296	1.325739
24	18.238294	14.036401	4.201893	1.299357
25	18.055911	14.178183	3.877728	1.273500
26	17.694792	14.467533	3.227259	1.223069
27	17.340897	14.762789	2.578107	1.174636
28	17.167488	14.911908	2.255579	1.151260
29	16.909975	15.138993	1.770982	1.116982
30	3.348175	3.058382	0.289793	1.094754
31	3.314693	3.089275	0.225418	1.072968
32	3.264973	3.136320	0.128653	1.041020
33	1.010101	0.990000	0.020101	1.020304