



INSTITUTUL NAȚIONAL ROMÂN
PENTRU

+ STUDIUL AMENAJĂRII ȘI FOLOSIRII IZVOARELOR DE ENERGIE

MONOGRAFII TEHNICE

No. 7

+ FACTORUL DE PUTERE LA TRANSMISIUNI
ELECTRICE ȘI MECANICE

de

A. DERIGAULT

Inginer la «Uzinele de Fier și Domeniile din Reșița», S. A.

Ministerul Instrucțiilor Publice

SOCIALĂ POLITEHNICĂ
TIMIȘOARA

Biblioteca

Nr. fila

5631

Secțiunea

17.g.

Nr. de copii

Imi propun să fac o paralelă între câteva dispozitive de transmisie a energiei pentru a concretiza caracterul special al transmisiei cu curent alternativ și semnificația factorilor caracteristici ai acestuia.

Oricare ar fi modalitatea de transmisie mecanică, hidraulică, pneumatică sau electrică — energia transmisă în unitatea de timp este numeric egală cu produsul a doi factori: unul cu o semnificație calitativă, celălalt cu una cantitativă.

Dacă considerăm cazul unei curele de transmisie acestea sunt forța și viteza, și avem

$$E = F \cdot v.$$

La o transmisie hidraulică sau pneumatică sau la o cădere de apă, acestea sunt presiunea și debitul și avem

$$E = p \cdot q$$

La o transmisie electrică factorii sunt diferența de potențial și curentul, avem

$$E = V \cdot I$$

Primul factor: forța, presiunea, sau diferența de potențial — în toate aceste expresii dă posibilitatea de lucru a dispozitivului, măsura în care acesta, calitativ vorbind, este capabil de a transmite energie, deci fixează

1) Conferință ținută la 8 Aprilie 1930, la «Cercul Inginerilor» U. D. R. din Reșița.

o calitate. Celălalt, adică viteza, debitul, resp., intensitatea de curent, dă o cantitate: drum parcurs, fluid sau electricitate consumată în timpul considerat.

Cei doi factori pot avea valori constante și atunci avem de-a face cu transmisiile continui tip: funia sau cureaua de transmisie, presa hidraulică și curentul electric continuu. Sunt însă în toate trei domeniile considerate și transmisiile în care valoarea factorilor oscilează trecând alternativ deasupra și dedesubtul unei valori nule. Astfel avem în domeniul mecanic gaterul, biela de transmisie, etc.; în domeniul hidraulic transmisia sonică Constantinescu; în domeniul electric, curentul alternativ.

În toate aceste cazuri energia în unitatea de timp, se va exprima prin suma produselor celor doi factori în fiecare moment extinsă asupra unei perioade întregi și raportată la durata acestei perioade: De ex. în cazul unei transmisiile mecanice

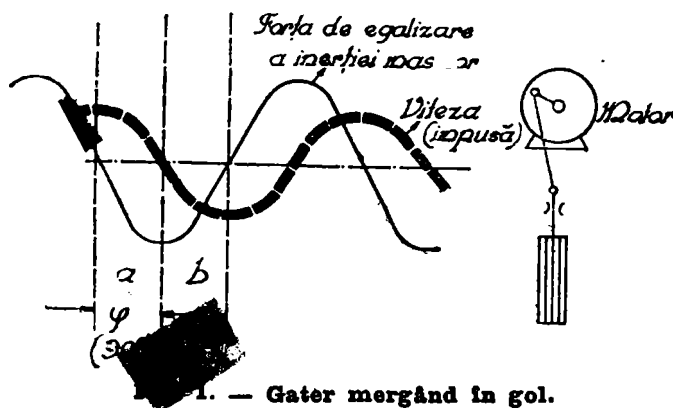
$$E = \frac{1}{T} \int_0^T f \cdot v \cdot dt$$

Legea după care variază valorile factorilor poate fi direct sinusoidală — cazul ideal — sau poate avea un aspect oarecare, în care caz, precum știm, se poate descompune după Fourier într'o sumă de armonice. Vom considera cazul unor transmisiile ascultând de legi pur sinusoidale.

În domeniul mecanic avem cazul tipic al gaterului. Atât viteza cât și forța sau mai exact suma forțelor acționând asupra gaterului au o alătură aproximativ sinusoidală. Însă valoarea forței nu trece prin zero atunci când viteza gaterului este nulă deoarece aceasta are o masă inertă în care s'a acumulat energie sub formă de forță vie.

Considerăm gaterul mergând în gol și facem abstracție într'o primă aproximație, de forțele de frecare.

Forța lucrând asupra motorului este numai forța inertă



$$F = -m \frac{dv}{dt}$$

decalată cu un sfert de perioadă completă înaintea vitezei (fig. 1). Lucrul mecanic mediu este nul, precum se vede imediat: energia trece de două ori pe perioadă de la gater la motor și invers. Dacă acum gaterul l-

crează, apare forța care pulsează exact cu viteza, și care se anulează când aceasta se anulează (fig. 2). Rezul-

tanta celor două forțe va da o curbă care avansează mai mult sau mai puțin față de curba vitezei. Dacă vom exprima în fiecare moment lucrul mecanic vom vedea că vor fi două intervale în care va merge energie de la gater la motor, și anume în intervalele de timp notate cu a în fig. 2.

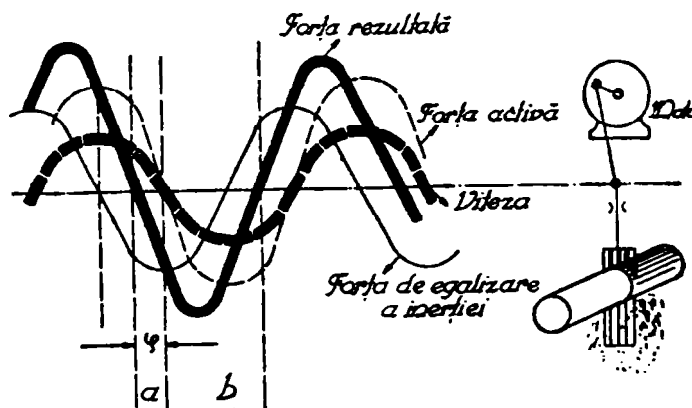


Fig. 2. — Gater în funcție.

În adevăr, în aceste intervale forța și viteza fiind de semne contrare produsul lor va fi negativ.

Ori, dacă am admis că forța și viteza sunt sinusoidale, le putem scrie ca funcții de timp:

$$V = V_{\max} \cos 2 \pi \frac{t}{T}$$

și

$$F = F_{\max} \cos \left(2 \pi \frac{t}{T} + \varphi \right)$$

în care T este durata unei oscilațiuni complete și atunci expresia puterii transmise va fi:

$$E = \frac{1}{T} F_{\max} \times V_{\max} \int_0^T \cos 2 \pi \frac{t}{T} \times \cos \left(2 \pi \frac{t}{T} + \varphi \right) dt$$

adică

$$E = \frac{F_{\max} \times V_{\max} \times \cos \varphi}{2}$$

Expresiile $\frac{F_{\max}}{\sqrt{2}}$ și $\frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$ se numesc valorile eficace ale factorilor pulsanți; le vom nota în mod simplu cu F și V . (La transmisiunile electrice valorile acestea sunt tocmai cifrele fixe arătate de aparatele de măsură — ampermetre și voltmetre, — și coincid cu valorile unui curent continuu care ar da aceeași energie).

Se vede deci că la transmisiunile mecanice alternative puterea transmisă va fi dată de expresia

$$E = F \cdot V \cdot \cos \varphi$$

în care factorul $\cos \varphi$ poartă numele de factor de joc al transmisiei considerate.

Unghiul φ poate fi concretizat ca fiind pierderi care calaj dintre doi vectori reprezentând, una, pierderile

altul viteza maximă a transmisiei considerate: dacă acești vectori se învârtesc în mod solidar făcând un tur complet în timpul T proiecțiile lor pe o axă fixă ne vor da valorile instantanee, în ori ce moment, ale forței și vitezei.

În cazul unui gater de cca 10 HP de exemplu se calculează pentru forță inertă o valoare eficace de 500 kg., și o viteză eficace de 1 m/sec; asta nu înseamnă însă că gaterul în gol necesită 500 kg/m/sec. (resp. 6,70 HP). Dacă facem abstracție de frecări gaterul necesită 0 HP și această cifră se obține înmulțind produsul $F \cdot V$ cu cosinusul decalajului adică un $\cos 90^\circ = 0$ deoarece am văzut că la mersul în gol forța și viteza sunt decalate cu un sfert de perioadă, deci cu un unghi φ de 90° .

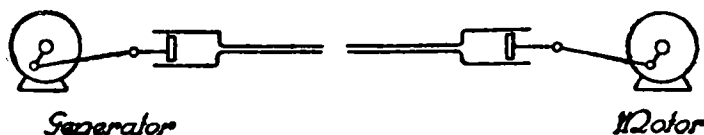


Fig. 3. — Transmisie sonică.

La transmisiile sonice (fig. 3) avem de a face iarăși cu doi factori pulsanți: presiunea apei din țevă

și debitul, care se definește prin quanta de apă care trece în fiecare moment

$$Q = \frac{dM}{dt}$$

printr'o secțiune considerată în unitatea de timp. Vom putea defini deasemeni o presiune eficace, un debit eficace și un decalaj.

Curentul electric alternativ este deasemenea caracterizat prin faptul că atât forța electromotrice cât și curentul sunt în genere mai mult sau mai puțin sinusoidali. Echivalentul forței de inerție este forța electromagnetică de inducție care apare la orice variație a câmpurilor magnetice cauzate de trecerea curentului, și care ca și prima se opune acestor variații. Ori, precum transmisia energiei mechanice nu se poate face decât cu piese inerte, tot așa transmisia energiei pe cale electrică incumbă menținerea unor câmpuri magnetice, prin intermediul cărora se transformă energia electrică în energie mecanică.

De aceia la mersul în gol vom constata (abstracție făcând de echivalentul electric al frecărilor care este încălzirea cuprului prin efect Joule, a fierului prin efect Foucault, etc.) că forța electromotrice va avansa cu 90°

de curent precum avansa forța față de viteza la gater.

În transmisiile electrice ceea ce este preexistent inițial fiind forța electromotrice (contrar ca în transmisiile mecanice unde este preexistentă viteza) vom constata că la mersul în gol curentul este decalat cu

circa 90° în urmă față de tensiune (fig. 4). Dacă acum vom face să lucreze transmisia considerată, va apărea un curent care va varia simultan cu f. e. m. și se va compune cu curentul de mers în gol pe care-l vom avea în momentul în care se va aplica curentul magnetizant. Curentul rezultat va întârzia față de f. e. m. cu un interval oarecare, (fig. 5).

Pentru a obține puterea transmisă trebuie să înmulțim valorile eficiente a tensiunii și curentului cu un factor de putere și anume cu $\cos \varphi$, care se definește la fel ca și în cazul transmisiunilor mecanice:

$$E = V \times J \times \cos \varphi$$

(Pentru cazul curentului trifaz egal repartizat vom avea

$$E = 3 V \times J \times \cos \varphi)$$

Analogia dintre fenomenele electrice și mecanice se datorește faptului că atât masele în mișcare cât și câmpurile electrice variabile acumulează energie, în perioadele a și o cedează îndărăt în perioadele b. Gaterul cedează energia volanului transmisiei și dacă e cazul rețelei electrice la care e conectat motorul său. Motorul electric cedează energia sa magnetică rețelei, accelerând alternatorii din centrale cari în aceste intervale funcționează ca motoare. La fel motorul sonic primește și cedează pulsant energie la generatorul care-l alimentează.

Energia aceasta vagabondă nu înseamnă o pierdere prin ea însăși—am văzut că pulsează fără a-și schimba valoarea dela generator la motor. — Dar pierderile prin frecări la gater cresc în funcție de forțele puse în joc: de asemenea în mașinile și conductele sonice apar pierderi cari cresc în funcție de debit iar la cele electrice, pierderile

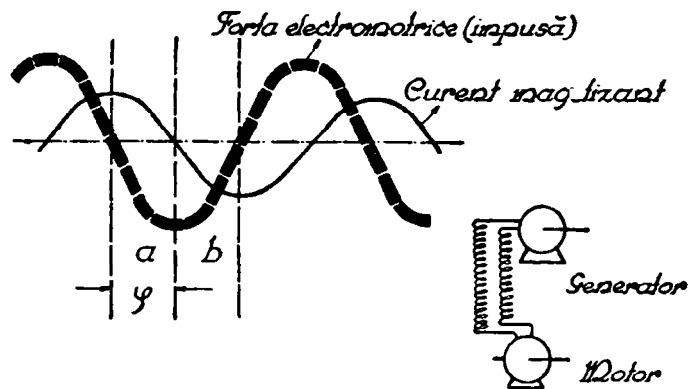


Fig. 4.—Motor electric curent alternativ mergând în gol.

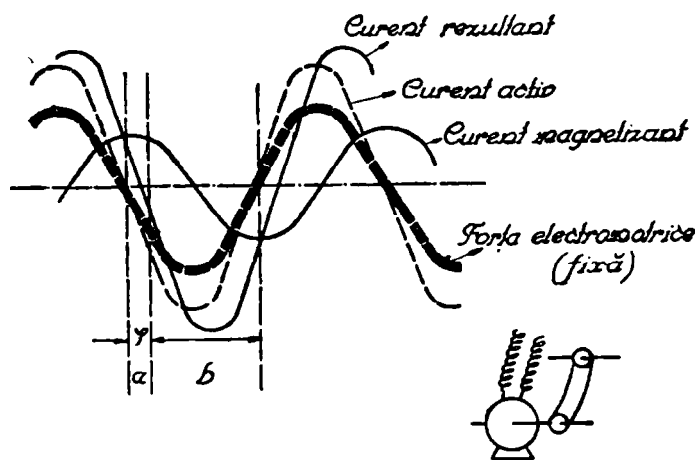


Fig. 5.—Motor electric curent alternativ mergând încărcat.

ohmice cari cresc în funcție de curent (și anume cresc cu pătratul curentului).

Ori, se vede imediat că forța inertă, debitul în gol sau curentul magnetizant mărind în mod inutil valoarea unuia dintre factorii expresiei E , la valoarea constantă a acesteia se vor mări implicit pierderile, și vor trebui dimensionate mai larg toate mașinile, conductele, etc.

S'au căutat soluții la acest dezagrement.

În cazul gaterelor s'a recurs la niște resorturi dimensionate astfel încât să constituie cu masa oscilantă un sistem având o vibrație proprie egală cu numărul de curse a gaterului pe minut.

Forța de inerție va fi egală și de semn contrar cu forța resorturilor: energia maselor în mișcare va pulsa ritmic între resorturi și mase și nu va mai încărca lagărele transmisiilor asupra cărora se va manifesta numai forța efectivă. (Bineînțeles un resort dat implică o anumită viteză a gaterului).

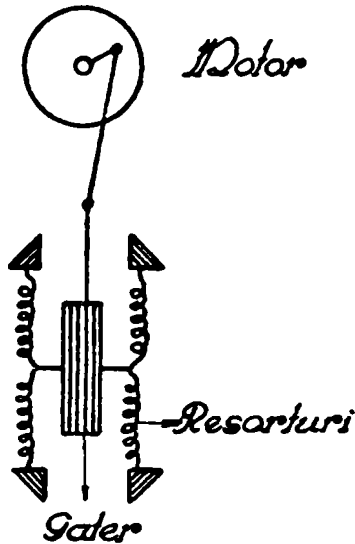


Fig. 6. — Gater compensat.

La transmisiile sonice s'au compensat vibrațiile datorite inerției apei prin saci cu apă cu pereți foarte groși cuplați pe conductă și cari prin elasticitatea lor joacă acelaș rol ca resortele de la gater. (fig. 7).

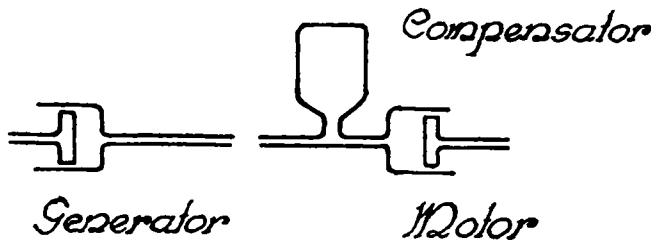


Fig. 7. — Transmisie sonică compensată.

În fine la transmisiile electrice aparatul indicat era condensatorul constituit precum se știe din armături separate prin foi subțiri de material izolant. Condensatorul se comportă întocmai ca resor-

tul. Acesta dacă-i impunem o mișcare cu viteză sinusoidală va desvolta o forță oscilatorie având în fiecare moment valori exact opuse forței de inerție desvoltate de o masă grea antrenată în acelaș tempo, precum se vede din studiul fig. 8. La fel un condensator prin care forțăm un curent sinusoidal va desvolta la borne o f.e.m. având o aliură exact inversă tensiunii pe care o dă la borne un bobinaj oarecare (de ex. bobinajul unui motor). Acest lucru rezultă din studiul fig. 8 dacă ne reamintim funcționarea bobinelor și condensatorilor.

Ceeace determină forța contra electromotrice a unui bobinaj este variația câmpului magnetic care-l străbate, și deci variația curentului care-l parcurge. Dacă

... pu e
rezulta o i. . . m. (. . .)
contra electromotrice a
bobinajului) care se v
... în fiecare clipă v
variației curentului (Legea
lui Lenz). In perioada A
(fig. 9) forța aceea a va
fi de acelaș sens ca cu-
rentul, în perioada B va
fi de sens contrar. Dacă
acum impunem o forță elec-
tromotrice fără a între-
ține pe altă cale un câmp magnetic variabil adecuat, va

rezulta un curent (magnetizant) destul de mare pentru a produce câmpul magnetic necesar echilibrării forței electromotrice impuse, și defazat cu 90 de grade în urmă aceste (deoarece este defazat înaintea forței contra i . . . m . . .).

Forța contra-electromotrice a unui condensator este determinată în schimb prin cantitatea de electricitate adusă de curent pe armăturile lui. Deci în perioada A (fig. 9) condensatorul primind

curent se încarcă crescându-i forța contra-electromotrice astfel încât să se opună sosirei curentului. In B curentul schimbându-și sensul condensatorul se descarcă scăzându-i prin aceasta forța contra-electromotrice pe care o căpătase. Dacă impunem condensatorului o forță electromotrice dată el va trebui să desvolte în fiecare clipă o forță contra-electro-motrice egală și de sens contrar ceiace impune trecerea unui curent (capacitiv) defazat cu 90 grade înaintea forței electromotrice deoarece curentul era defazat în urma forței contra-electromotrice.

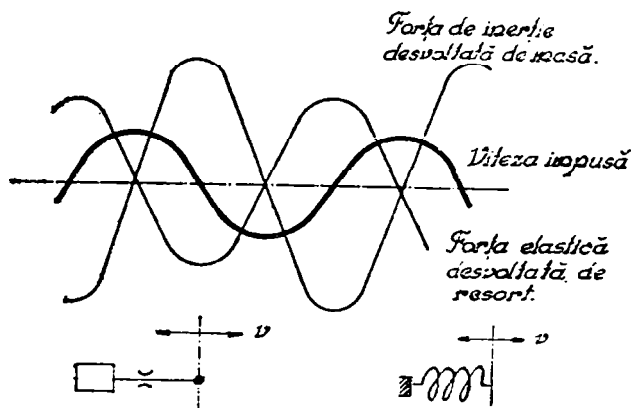


Fig. 8. — Funcționarea masei inerte și resortului în mișcarea alternativă.

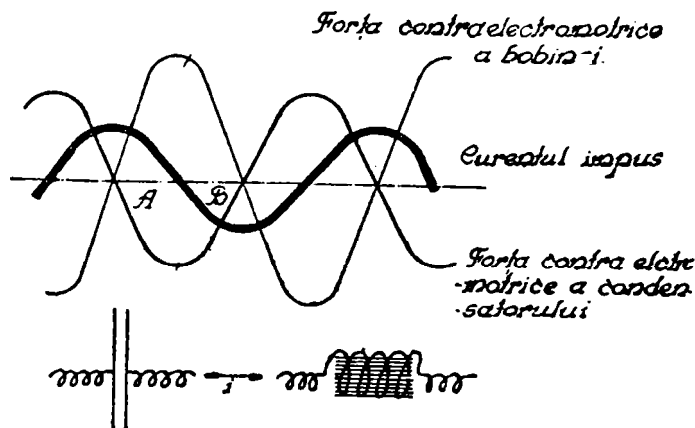


Fig. 9. — Funcționarea unui bobinaj și a unei capacități la curent alternativ.

Dacă acum ambele aparate—bobina și condensatorul—sunt dimensionate adecuat și conectate în paralelă la o f. e. m. dată se vede că curentul consumat de unul va fi mereu opus curentului consumat de celălalt.

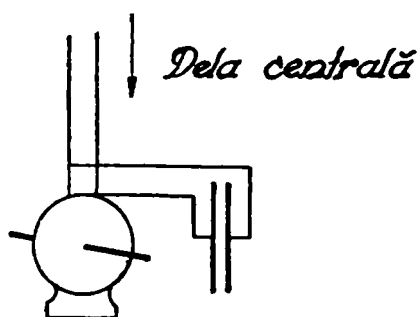


Fig. 10. — Motor electric compensat cu un condensator.

Echivalentul electric la fig. 6 și 7 va fi deci condensatorul dimensionat ad-hoc și cuplat la bornele motorului (fig. 10).

Energia magnetizantă a motorului—sau energia intrinsecă a acestuia după numirea propusă de D-1 C. Budeanu—va oscila între condensator și motor.

Ele consuesc așa-zecii condensatori până la câteva mii de KVA: aceste aparate au o cifră de pierderi prin încălzirea dielectricului mai mică de 1% și sunt deja introduse pretutindeni.

În cazul transmisiei energiei pe cale electrică sunt însă și alte modalități de a înlătura circulația curenților magnetizanți atât de supărători. Am văzut că acești curenți magnetizanți se datoresc necesității de a menține în motoare un anumit câmp magnetic. Însă menținerea acestui câmp nu implică neapărat nevoia de a lua dela rețea curent magnetizant.

Motoarele electrice uzuale se împart în două categorii: motoare sincrone, la care un rotor magnetizat cu curent continuu este antrenat în ritmul frecvenței rețelei de un bobinaj statoric adecuat; și asincrone, la care rotorul este antrenat cu o viteză mai mică decât frecvența rețelei grație curenților cari se induc în el din cauza acestei diferențe de viteze. La motoarele sincrone câmpul magnetic poate fi întreținut de către curentul continuu întrebuințat, dacă acesta este destul de tare. Asemenea motoare, dacă le supraexcităm sunt capabile să livreze curent magnetizant, întocmai ca un condensator.

Se întrebuințează de aceea asemenea motoare supraexcitate și mergând în gol pentru a descărca centralele de curenții magnetizanți. De aceea li se dă și numele de condensatori învârtitori.

La motoarele asincrone obișnuite câmpul magnetic de asemeni poate fi creat pe altă cale decât luând curent magnetizant dela rețea și anume prin diverse dispozitive de compensare introducând în rotor curent magnetizant. Acesta nu mai poate fi însă curent continuu deoarece rotorul se învârtește mai încet decât câmpul învârtitor dat de curentul luat dela rețea. Dacă ω este pulsația curentului de rețea și deci a câmpului învârtitor impus moto-

rului și ω_r pulsația rotorului atunci curentul introdus în rotor trebuie să aibă pulsația

$$\omega_e = \omega - \omega_r$$

Dacă de ex. câmpul turnant al rețelei face 1240 ture/min. ca la „Reșița”¹⁾ și rotorul se învârtiște cu 1200 ture el trebuie alimentat cu un curent pulsant dând 40 ture/min. adică cu 20 perioade pe minut ($\frac{1}{3}$ per/sec.).

Pentru a obține acest lucru sunt posibile o sumedenie de combinații din care voi indica numai pe cele mai interesante.

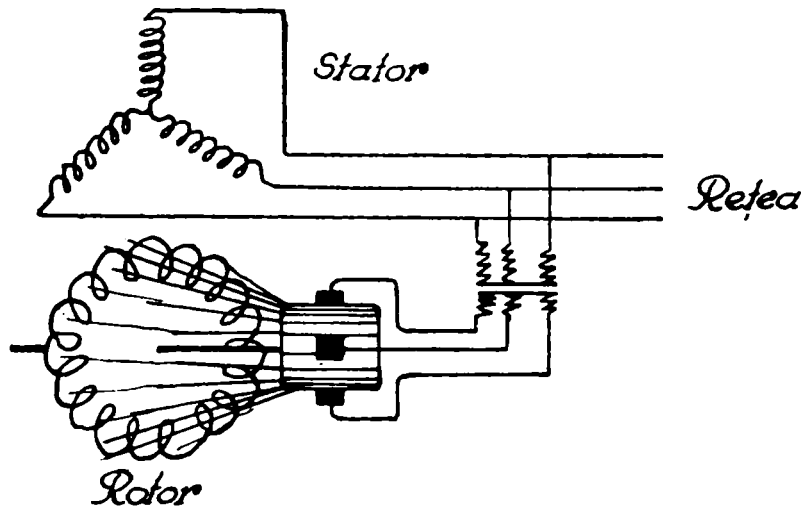


Fig. 11. — Schema motorului compensat tip Heyland.

Motoarele mici se pot compensa după sistemul Heyland sau Osnos.

Motorul Heyland (fig. 11) are în rotor pe lângă bobinajul obișnuit un bobinaj de curent continuu prevăzut cu colector. Acest bobinaj este alimentat dela rețea prin 3 perii prin intermediul unui transformator adecuat, care poate fi constituit dintr'o derivație a bobinajului statoric.

Față de stator curentul cu care este alimentat acest bobinaj și deci câmpul creat de el are exact frecvența rețelei, indiferent cu ce viteză se mișcă rotorul.

Față de rotorul în mișcare, frecvența curentului este egală cu diferența periodicităților rețelei și rotorului, astfel încât tensiunea necesară pentru a-l întreține va fi redusă cam în aceeași proporție știut fiind că rezi-

¹⁾ In Reșița curentul are 20,8 per/sec.

stența inductivă a unui bobinaj cu fier este proporțională cu frecvența curentului introdus.

Motorul Osnos (fig. 12) primește curentul în rotor prin inele. Intr'un bobinaj secundar de curent continuu cu co-

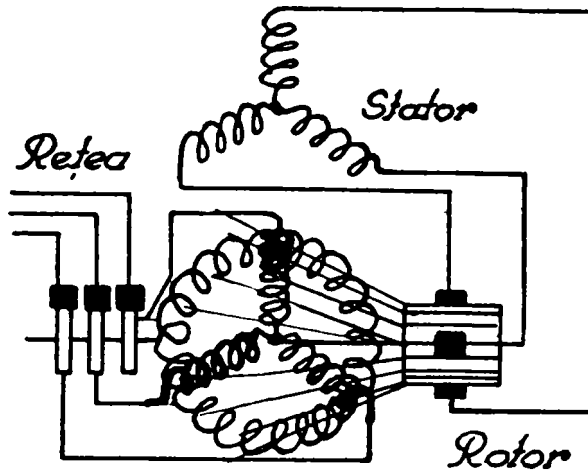


Fig. 12. — Schema motorului compensat tip Osnos.

lector lasat de asemeni în rotor se induc curenți din cauza câmpului turnant de frecvența rețelei în care se află acest bobinaj. Dacă rotorul s'ar învârti cu viteza câmpului turnant am putea culege curent continuu dela colector. Pulsația rotorului ω_r fiind mai mică decât pulsația ω a rețelei se va culege dela colector curenți având pulsația

$$\omega_c = \omega - \omega_r$$

curenți cari vor magnetiza motorul, dispensându-ne de a lua curent dela rețea pentru acest scop.

Motoarele mari se magnetizează cu ajutorul unor mașini

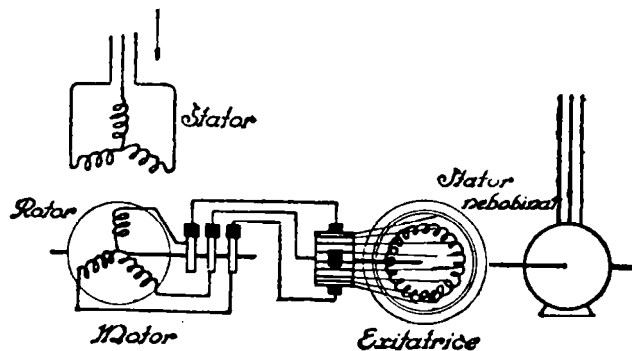


Fig. 13. — Schema motorului cu excitatrice Leblanc.

cu colector speciale (Leblanc) (fig. 13). Acestea sunt constituite dintr'un bobinaj curent continuu rotindu-se într'un stator nebobinat. Acest bobinaj fiind oprit într'un câmp de frecvență

$$\omega - \omega_r$$

creat de însăși curenții induși în rotorul motorului ne va da curenți adiționali de această frecvență a căror intensitate și fază o putem regula după voie.

Asemenea aparate se impun la consumatorii racordați la uzine unde se tarifează din motive de economie generală a exploatărei și energia dewattată: se pare însă că viitorul aparține condensatorilor statice cari în ultimul timp au făcut progrese considerabile.

Pentru a termina și pentru a vă oferi și o relaxare binevenită după aceste considerente vreau să analizez un alt fenomen de o amploare cu totul diferită, și anume transmiterea civilizației dela o generație la alta. Civilizația unui popor sau a unui grup de popoare poate fi extinsă tot printr'un produs de doi factori:



$$C = F \times Q$$

unul calitativ caracterizând stadiul sufletesc, intelectual și moral, celălalt cantitativ caracterizând quantumul realizărilor materiale și sociale ale poporului considerat. Ori, istoria ne arată pe de o parte că civilizația nu progresează în mod continuu ci are perioade de decădere, de eclipsă. Pe de altă parte evoluția primului factor are un avans de fază față de a ultimului.

În adevăr, decadența morală a civilizației grupului mediteranean de ex., a început înainte de a se produce prăbușirea materială a civilizației Greco-Romane, precum se vede din fig. 14.

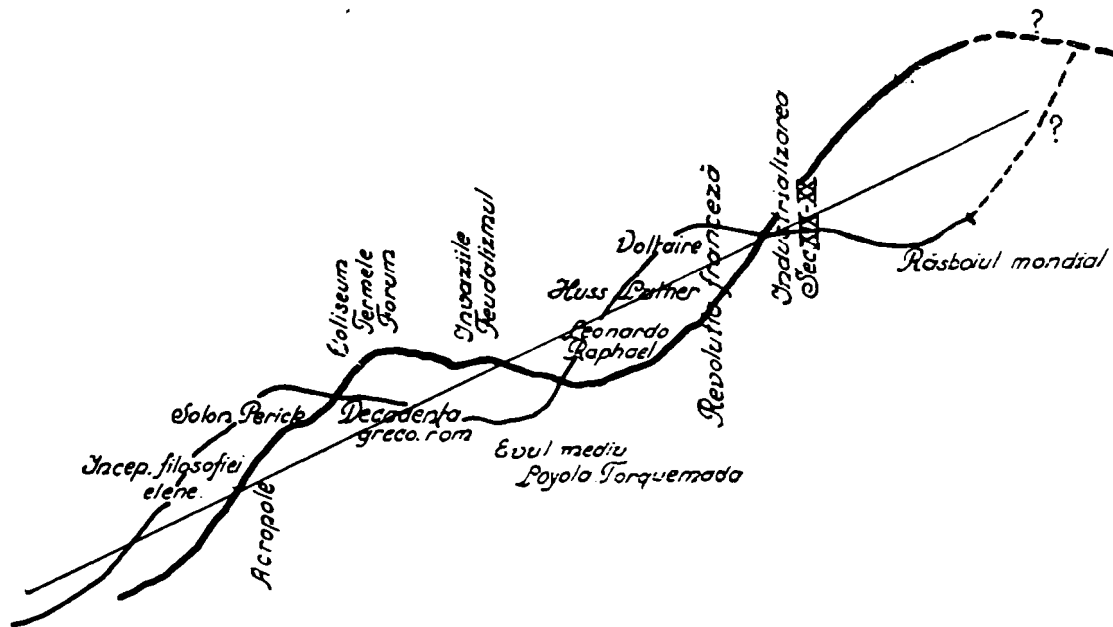


Fig. 14. — Diagrama evoluției spirituale și materiale a Europei.

Renașterea s'a manifestat apoi în primul rând în domeniul intelectual și moral, și abia secolul al XX-lea a adus renașterea socială și materială. În fine se pare că din punct de vedere moral omenirea se găsește într'o eclipsă bine marcată, a cărui minimum să sperăm că va fi coincident cu războiul mondial.

În una din cele mai interesante piese ale lui Bernard Shaw, „Back to Methuselah” dânsul ne arată o omenire ajunsă peste un număr respectabil de secole, la un stadiu de civilizație în care mașinile, cărțile, muzeele etc. constituie amuzarea copiilor și adolescenților pe când oameni maturi, considerabil spiritualizați, vor medita la probleme pur abstracte plimbându-se printr'o lume de mult aservită complet omului și schimbată într'un vast parc englezesc. Ar fi faza punctată din fig. 14.