

SISTEME AUTOOSCILANTE

Conf. univ. dr. Mircea MIGLEI și conf. univ. dr. Mihai MARINCIUC
Universitatea Tehnică a Moldovei

Una din problemele legate de aplicarea în practică a oscilațiilor, mecanice sau electromagnetice, este obținerea oscilațiilor armonice. Pentru acestea este caracteristic faptul că amplitudinea variațiilor periodice ale mărimilor fizice respective rămâne constantă în timp. În sistemele fizice reale oscilațiile libere – ele apar în cazul în care sistemul oscilant este scos din starea sa de echilibru, apoi lăsat liber - sînt oscilații amortizate. În aceste oscilații sistemul pierde continuu energie, adică se produce disipația acesteia fie în urma frecării (în cazul oscilațiilor mecanice), fie prin degajare de căldură Joule (în cazul oscilațiilor electromagnetice). Ca rezultat, amplitudinea mărimilor fizice caracteristice sistemului în cauză, - elongația și viteza pendulului elastic, sarcina electrică a condensatorului, tensiunea la borne și intensitatea curentului electric în cazul circuitului oscilant, – se micșorează în timp și oscilațiile încetează.

Pentru a menține constantă energia sistemului oscilant este necesar ca pierderile ei să fie compensate folosind surse exterioare de energie. Aceste surse pot produce asupra sistemului oscilant atât acțiuni periodice, cît și acțiuni neperiodice. În primul caz oscilațiile sînt numite oscilații forțate sau întreținute, perioada și amplitudinea mărimilor ce le caracterizează fiind determinate de parametrii sursei exterioare de energie.

Dacă însă într-un sistem au loc oscilații periodice în lipsa unei acțiuni periodice exterioare, sistemul este numit autooscilant, iar procesul periodic respectiv, autooscilație.

Exemple mai cunoscute de autooscilații sînt oscilațiile din instrumentele muzicale cu coarde, generate spre exemplu de mișcarea arcușului pe coarde, sau oscilațiile firelor de telegraf sub acțiunea vîntului. În ambele cazuri auzim sunete, ceea ce ne demonstrează prezența oscilațiilor cu frecvențe de câteva sute sau mii de hertzi. Evident, acțiunea arcușului sau a vîntului nu este periodică (deplasarea arcușului într-un sens este însoțită de un număr foarte mare de oscilații ale corzii).

În cele ce urmează vom analiza diferite cazuri concrete de sisteme autooscilante și vom stabili legăturile principale care se manifestă în ele.

I SISTEME AUTOOSCILANTE MECANICE

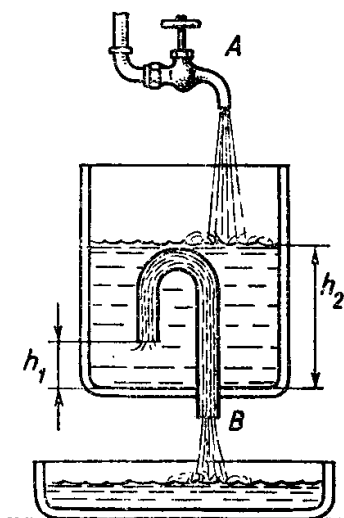


Fig. 1

1. Să analizăm funcționarea sifonului de construcție anumită (fig. 1). Lichidul curge uniform în vas prin tubul A. Nivelul lui se ridică uniform până la înălțimea ce se apropie de h_2 , iar tubul B rămâne astupat cu un „dop” de aer. La

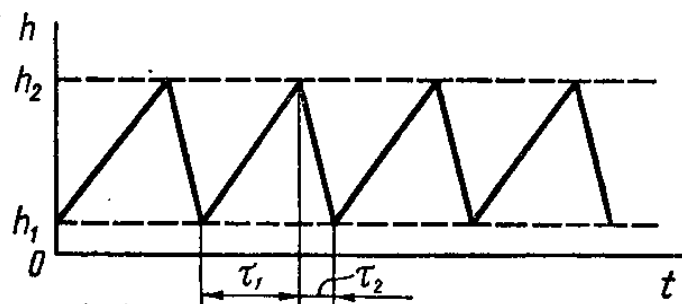


Fig. 2

atingerea nivelului h_2 , presiunea hidrostatică (nivelul superior al interiorului tubului), împinge "dopul" în jos prin tubul B și lichidul se scurge până la înălțimea h_1 , la care aerul pătrunde în porțiunea scurtă a tubului și curgerea lichidului se stopează. Nivelul lui începe din nou să se ridice și a. m. d. Oscilațiile nivelului în funcție de timp sunt reprezentate în fig. 2. Aici τ_1 este timpul de acumulare a lichidului, deci și a energiei, τ_2 este timpul de scurgere. Suma lor reprezintă perioada acestor oscilații. Ele se deosebesc esențial de cele armonice și sînt un exemplu de oscilații discontinue.

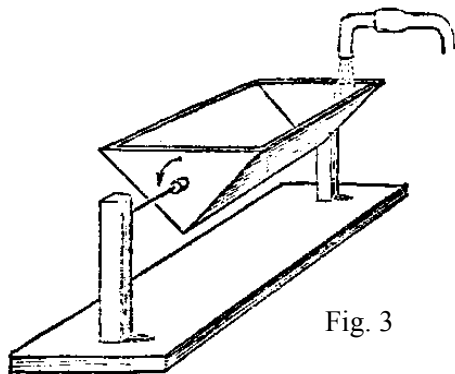


Fig. 3

2. Un alt sistem auto-oscilant este reprezentat în fig. 3. Un vas de secțiune triunghiulară este fixat pe un ax în jurul căruia poate oscila. Vasul pus în mișcare oscilatorie va oscila până când forțele de frecare și rezistența aerului nu-l vor opri. Plasăm vasul sub un robinet și lăsăm un jet uniform de apă să cadă pe peretele oblic al vasului, ceva mai departe de axul său. Pe măsură ce vasul se umple, centrul de greutate al sistemului se ridică mai sus de axul său de suspensie. O presiune mică a jetului este suficientă pentru a răsturna vasul, și deci a vărsa apa din el. După aceasta vasul revine în poziția inițială și procesul se repetă atât timp cât apa curge în el. Vasul va oscila. Graficul care exprimă masa de apă din vas în funcție de timp este asemenea celui din fig. 2.

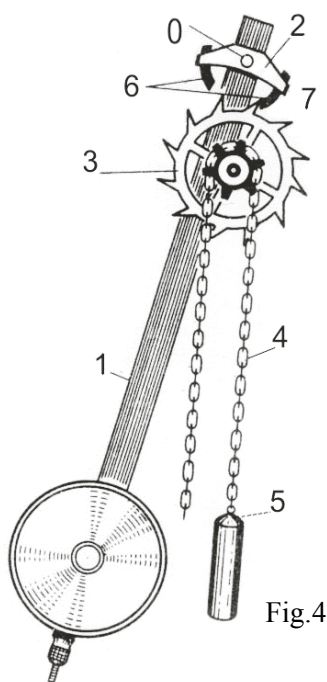


Fig.4

3. Un sistem autooscilant mecanic stă la baza funcționării ceasornicului cu pendul (pendulei) (fig. 4) și a ceasornicului cu arc spiral de oțel. Piesele principale ale pendulei sunt: pendulul 1 care poate oscila în jurul axei fixe 0 și este unit rigid cu ancora 2; roata de clichet 3 cu dinți oblici, fixată pe același ax cu o roată de transmisie peste care este trecut un lanț 4 cu un corp greu 5 suspendat la un capăt al său. Ancora în formă de arc are centrul pe axul pendulului și este prevăzută cu două proeminențe 6 și 7 la capete, care reglează rotația roții cu clichet și a acelor legate de ea. Pendula are drept sursă exterioară de energie un corp ridicat de asupra Pământului. Energia potențială a greutateii este cedată pendulului în mici porțiuni. În poziția reprezentată în fig.4 dinte oblic apasă pe proeminența 7 și împinge pendulul în dreapta. După ce pendulul trece prin poziția de echilibru această proeminență alunecă pe dinte, însă aproape simultan ancora se sprijină cu proeminența 6 pe alt dinte al roții, iar pendulul obține un impuls în sensul opus. În consecință, pendulul primește energie de două ori în decursul unei perioade, în momentele când dintele vine în contact cu proeminența ancorei, și efectuează oscilații neamortizate, a

căror frecvență este egală cu frecvența oscilațiilor lui libere.

În ceasornicul cu arc rolul pendulului îl are de obicei un balansier (o roată mică cu arc spiral), care efectuează oscilații de torsiune în jurul axului său.

Așadar, sistemul oscilant al ceasornicului îl constituie pendulul sau balansierul. Sursa de energie este corpul ridicat sau arcul spiral deformat. Ancora care permite roții de clichet să se rotească cu un dinte în decursul unei semiperioade joacă rolul unei supape, iar interacțiunea ancorei cu roata de clichet reprezintă conexiunea inversă (reacțiunea) dintre sursa de energie și corpul oscilant, legătură ce asigură acțiunea forței periodice care menține oscilațiile

corpului. În ceasornice energia potențială a corpului suspendat (sau a arcului deformat) este transmisă treptat, în porțiuni mici, sistemului oscilant, astfel fiind compensate pierderile de energie la frecare.

Sistemele autooscilante cercetate mai sus au mai multe trăsături comune. În toate sistemele există un corp care oscilează: masa apei din sifon (sau înălțimea coloanei de apă din el), vasul cu secțiunea triunghiulară, pendulul sau balansierul ceasornicului. Sistemele conțin surse neperiodice de energie: apa ridicată la înălțime (de la care ea curge), corpul greu suspendat de lanțul ceasornicului sau arcul spiral deformat. Construcția sistemului autooscilant asigură primirea de la sursă a unor porțiuni anumite de energie la momentele de timp potrivite, astfel realizându-se o conexiune inversă.

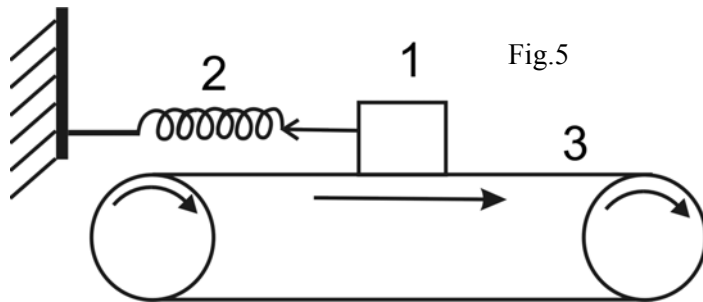


Fig.5

4. Să analizăm sistemul mecanic reprezentat în fig.5. Corpul 1 legat de resortul 2 se află pe banda rulantă 3. Sub acțiunea forței de frecare de repaus care acționează asupra corpului din partea benzii, acesta se deplasează spre dreapta. Deplasarea este însoțită de alungirea resortului și de creșterea forței

elastice care acționează asupra corpului. La un moment aceasta devine mai mare decât valoarea maximă a forței de frecare de repaus ce acționează asupra corpului. Ca rezultat, corpul se deplasează spre stânga și forța elastică se micșorează. Corpul se oprește, apoi se mișcă iar spre dreapta, și așa mai departe. În aceste mișcări corpul parcurge distanțe egale în ambele sensuri. La deplasarea corpului spre dreapta lucrul forței de frecare este pozitiv, iar la deplasarea spre stânga el alunecă pe banda rulantă, lucrul forței de frecare la alunecare fiind negativ. În afară de această, asupra corpului mai acționează și forța de rezistență a aerului, lucrul acesteia fiind de asemenea negativ. Evident, oscilațiile sânt posibile doar în cazul în care lucrul pozitiv compensează pierderile de energie datorate forței de frecare în mișcarea spre stânga și a forței de rezistență a aerului la mișcarea în ambele sensuri. Această condiție se îndeplinește numai în cazul dacă forța de frecare de repaus ce acționează asupra corpului la mișcarea sa spre dreapta este mai mare în modul decât forța de frecare la alunecare în mișcarea sa spre stânga. În primul caz, corpul se mișcă împreună cu banda rulantă, în cel de al doilea, în sens opus mișcării acesteia, deși cu viteză relativă (față de bandă) nenulă. Conchidem că mișcarea corpului este periodică dacă modulul forței de frecare ce acționează asupra lui se micșorează odată cu creșterea vitezei relative. În caz contrar oscilațiile corpului sânt amortizate și el se oprește, după un timp, în poziția în care forța de frecare la alunecare este echilibrată de forța elastică a resortului.

5. O situație similară întâlnim în cazul unui pendul care poate să alunecă pe un ax ce se rotește (fig. 6, axul este hașurat, iar săgeata indică sensul de rotație al acestuia). Pendulul se mișcă spre dreapta sub acțiunea forței de frecare de repaus dintre ax și mufa pe care este fixat pendulul. Pe măsura creșterii unghiului dintre tija pendulului și verticală, se mărește momentul forței de greutate care va opri pendulul și apoi îl va deplasa spre poziția de echilibru. Condiția de existență a oscilațiilor neamortizate rămâne aceeași ca în cazul precedent: forța de frecare la alunecarea mufei pe ax trebuie să fie mai mică decât forța de frecare de repaus dintre aceleași corpuri.

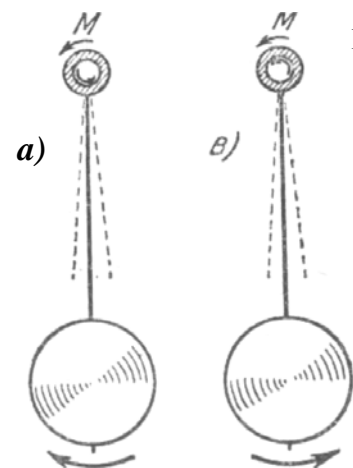
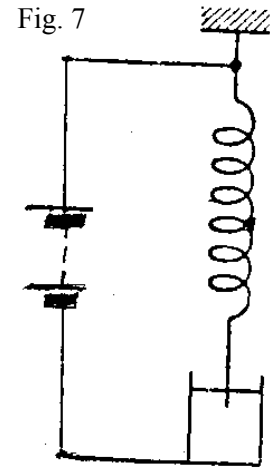


Fig.6

În ultimele două exemple de sisteme autooscilante mecanice se evidențiază clar faptul că în anumite condiții o mișcare uniformă (a benzii rulante sau a axului) generează o mișcare oscilatorie.

II. SISTEME AUTOOSCILANTE ELECTROMECHANICE

1. Unul din cele mai simple sisteme electromagnetice autooscilante (cunoscut și sub numele de spirala lui Rojet sau de inimă de mercur) este un resort vertical, un capăt al căruia este fix, iar celălalt este introdus într-un vas cu mercur (fig. 7). Sistemul este conectat la o sursă de t.e.m. constantă. Curenții electrici prin spirele vecine au același sens, deci acestea se atrag între ele și resortul se comprimă, astfel că capătul său de jos iese din mercur. Curentul prin spire se întrerupe, forțele de atracție dispar, iar forțele elastice din resortul comprimat îl readuc la starea inițială. Circuitul se închide și procesul se repetă. Ca rezultat, se obțin oscilații stabile, a căror perioadă depinde de proprietățile elastice ale resortului. Sursa de energie neperiodică este sursa de t.e.m. constantă. Conexiunea inversă este realizată de mercurul din vas, care închide circuitul atunci când resortul face contact cu el, și de resortul ale cărui spire sînt parcurse de curenți paraleli de același sens și îl comprimă.



2. Un alt sistem autooscilant electromecanic este reprezentat în fig. 8. El constă dintr-un electromagnet fix E_1 alimentat de la o sursă de curent continuu. El crează un câmp magnetic vertical. Al doilea electromagnet E_2 , suspendat de patru resorturi și alimentat de aceeași sursă de curent, poate oscila în direcție verticală. În circuitul de alimentare al acestui electromagnet este montat întrerupătorul K ce întrerupe circuitul la deplasarea electromagnetului E_2 în jos. Dacă electromagneții sînt orientați unul spre celălalt cu polii opuși, electromagnetul E_2 efectuează autooscilații.

Dacă electromagnetul E_1 este rotit cu 180° sau sensul curentului este schimbat în opus, polii învecinați ai electromagneților se resping, curentul nu se întrerupe și electromagnetul E_2 nu mai oscilează.

3. La acordarea instrumentelor muzicale, precum și atunci cînd un dirijor de cor dă tonul, este folosit diapazonul, un mic instrument acustic din oțel, de forma literei U care, pus să oscileze, produce un sunet de o anumită frecvență constantă. Evident, oscilațiile diapazonului sînt amortizate. Amplitudinea lor poate fi menținută constantă incluzând diapazonul într-un sistem autooscilant electromecanic a cărui schemă este reprezentată în fig. 9. Sursa de tensiune constantă S alimentează electromagnetul E . În poziția

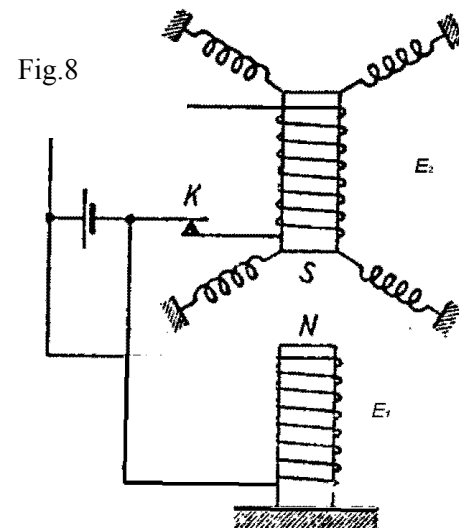
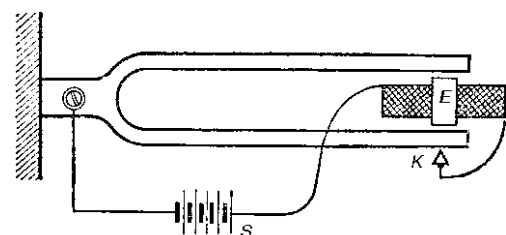


Fig. 9



în care piciorușele diapazonului oscilînd sînt îndepărtate unul de altul, se stabilește contactul K . Prin înfășurarea electromagnetului circulă un curent electric și piciorușele diapazonului sînt atrase. Ca urmare, circuitul electric se întrerupe, piciorușele oscilînd se îndepărtează iar unul de altul, iar se stabilește contactul K , și așa mai

departe. Astfel se obțin oscilații neamortizate.

4. O situație similară se realizează în soneria electrică în care la închiderea circuitului oscilează o bară de oțel având la capăt o bilă mică care lovește în clopoțel (fig. 10).

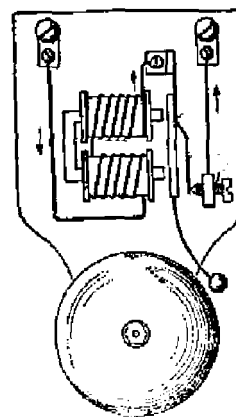


Fig. 10

III. SISTEME AUTOOSCILANTE ELECTRICE

1. Un sistem utilizat în radiotehnică este oscilatorul cu tub electronic, cu ajutorul căruia se obțin oscilații neamortizate de frecvență înaltă. El se numește astfel deoarece una din părțile principale ale lui este trioda, un tub electronic cu trei electrozi: catodul C_a , anodul A și grila G. O altă parte componentă este un circuit oscilant conectat în circuitul anodic, alcătuit dintr-o bobină de inductanța L_a și un condensator cu capacitatea C (fig. 11).

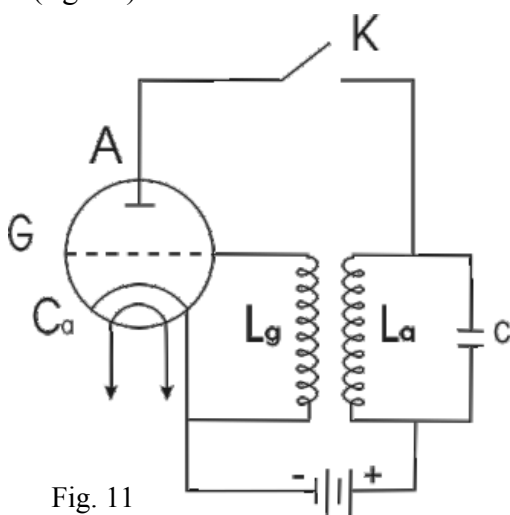


Fig. 11

Dacă se închide cu întrerupătorul K circuitul anodic, prin acesta va trece un curent care va încărca condensatorul C al circuitului oscilant. Acesta din urmă se va descărca prin bobina L_a și în circuit vor lua naștere oscilații, a căror frecvență va fi determinată de valoarea capacității și a inductanței circuitului (formula lui Thomson)

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_a C}}$$

La valori mici ale mărimilor L_a și C , frecvența este înaltă.

Datorită rezistenței active a bobinei L_a oscilațiile din circuitul oscilant sînt amortizate. Pentru a obține oscilații neamortizate în circuitul grilă-catod se introduce bobina L_g . Curentul alternativ care parcurge bobina L_a induce în bobina grilei L_g o t.e.m. variabilă, a cărei frecvență este egală cu cu frecvența oscilațiilor din circuit. Prin urmare, între grilă și catod apare o tensiune variabilă de aceeași frecvență. Această tensiune variabilă dirijează curentul anodic în circuitul tubului, mărindu-l sau micșorându-l în tact cu oscilațiile din circuitul oscilant.

De exemplu, după închiderea circuitului, în decursul unei semiperioade potențialul grilei este pozitiv, adică tubul este deschis și prin el circulă curent anodic. În acest timp sarcina negativă de pe armătura superioară a condensatorului trece prin bobina L_a formând un curent, o parte din energia căruia se disipează din cauza degajării căldurii Joule în bobină. Însă în acest timp curentul anodic are același sens, ca și curentul din circuitul oscilant (ei sunt în aceeași fază) și acest curent compensează pierderile de energie din circuitul oscilant.

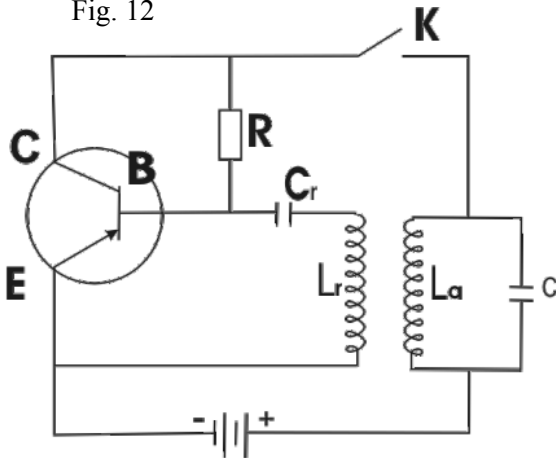
În decursul semiperioadei a doua potențialul grilei este negativ: tubul este închis și curentul anodic în el dispare. Procesul descris se repetă în fiecare perioadă.

Astfel, în decursul fiecărei perioade tubul electronic introduce automat, la momentul necesar, bateria în circuitul oscilant, asigurînd completarea energiei în el și menținînd prin aceasta în circuit oscilații neamortizate.

Oscilațiile neamortizate obținute cu ajutorul tubului electronic reprezintă autooscilații, deoarece aici sunt prezente toate elementele fundamentale, caracteristice pentru sistemele autooscilante:

1. sursa de energie constantă;
2. dispozitivul care reglează debitarea energiei de la sursă – supapa (rolul supapei îl joacă trioda);

Fig. 12



3. sistemul oscilant (circuitul oscilant);
4. reacțiunea pozitivă, prin intermediul căreia sistemul oscilant dirijează supapa (cuplajul inductiv al bobinei L_a cu bobina L_r).

2. În fig. 12 e reprezentat un sistem autooscilant în care în loc de triodă este utilizat un tranzistor semiconductor. Reacțiunea pozitivă se realizează prin bobina L_r , un capăt al căreia este conectat la emitorul tranzistorului, iar al doilea, prin intermediul condensatorului C_r la baza tranzistorului. Bobina de reacțiune e conectată astfel încât la creșterea intensității curentului din

circuitul colectorului, la bază este aplicată o tensiune ce permite trecerea curentului prin tranzistor; iar la micșorarea curentului colectorului – o tensiune ce duce la blocarea tranzistorului.

Rezistorul R din circuitul bazei tranzistorului stabilește valorile inițiale ale intensității curentului bază-colector în lipsa unei tensiuni variabile la capetele bobinei de reacțiune L_r .

La închiderea întrerupătorului în circuitul oscilant iau naștere oscilații electrice libere. Aceste oscilații, prin circuitul de reacțiune, dirijează intensitatea curentului colector-bază, iar condensatorul circuitului oscilant este periodic alimentat, prin intermediul tranzistorului, cu o sarcină electrică suplimentară. În acest caz pierderile de energie în circuitul oscilant în decurs de o perioadă se compensează prin alimentarea cu energie de la sursa de curent.

Așadar, în diversele sisteme autooscilante analizate mai sus se realizează posibilitatea de a obține oscilații neamortizate (de natură fizică diferită) în lipsa unor acțiuni exterioare periodice, oscilații pe larg aplicate în practică.

BIBLIOGRAFIE

1. С. Э. Хайкин. Физические основы механики. Физматгиз, Москва, 1963.
2. Элементарный учебник физики. Том III. Под ред. Г. С. Ландсберга. Наука, физматгиз, Москва, 1971.
3. С.П. Савельев. Механика. Физматгиз, Москва, 1975.
4. А.А. Евграфова, В.А. Коган. Курс физики. Высшая школа. Москва. 1984.
5. M. Marinciuc, S. Rusu. Fizică. Manual pentru clasa a 11-a. Univers Pedagogic. Chișinău, 2004.

TRATAMENTUL TERMOMAGNETIC AL STICLEI

Vasilii Șaragov
Universitatea de Stat "A. Russo", Bălți

Rezumat: Sînt prezentate unele rezultate experimentale referitoare la tratamentul ambalajului și al difuzorilor din sticlă, al sticlei în foi și al fiolelor din sticlă medicinală cu câmpuri magnetice constante, variabile și în impulsuri. Se arată că tratamentul termomagnetic duce la creșterea rezistenței mecanice a sticlei cu (20...40) %, a microdurității cu (5...15) % și a termostabilității cu (5...10) %.

Domeniile de utilizare a sticlei se extind pe an ce trece, date fiind avantajele pe care le prezintă acest material cum ar fi transparența, posibilitatea de producere a articolelor din sticlă de diferite culori, caracterul igienic al acestora și altele.

În ultimul timp însă utilizarea sticlei tradiționale se confruntă cu o concurență serioasă din partea polimerilor. Acest fapt se explică prin existența unor particularități vulnerabile ale sticlei, ca rezistența mecanică joasă, termostabilitatea mică, iar în unele cazuri și rezistența chimică insuficientă. La sfârșitul secolului trecut au fost elaborate diferite metode de mărire de 3...5 ori a rezistenței mecanice a sticlei (prin schimb de ioni [1], călire [2], decapare în soluție de HF [3]). Utilizarea acestor metode însă este limitată de cheltuielile financiare mari și de complexitatea utilajului tehnologic necesar. În ultimii ani, pentru a reduce gradul de deteriorare al suprafețelor din sticlă se folosește metoda acoperirii cu straturi de protecție [4], iar pentru a îmbunătăți rezistența chimică a suprafețelor acestea se dezalcalinizează cu gaze acide [5]. Prin aceste metode rezistența mecanică a articolelor din sticlă nu crește decât cu 10...20 %, însă aplicarea lor necesită utilaj specific și de aceea ele au un grad redus de utilizare. Acest fapt stimulează căutarea de noi căi de prelucrare a sticlei în vederea îmbunătățirii proprietăților ei termomecanice. Ca urmare, a crescut interesul pentru problema interacțiunii câmpurilor electromagnetice cu sticla în stare solidă și a tratamentului termomagnetic al articolelor industriale din sticlă.

Scopul lucrării de față constă în elaborarea tehnologiei de tratament termomagnetic al sticlei. Experimentul a fost efectuat în două etape. La început, în condiții de laborator, a fost modelat regimul tratamentului termomagnetic al probelor din sticlă de diferite compoziții. Etapa a doua a experimentului a fost realizată nemijlocit la fabrica de sticlă. În calitate de probe de cercetare au fost folosite borcane din sticlă incoloră; difuzori din sticlă transparentă incoloră și sticlă lăptoasă; sticlă în foi și fiole din sticlă medicinală. Probele au fost tratate în câmpuri magnetice constante, variabile și în impulsuri, în următoarele condiții de tratament termomagnetic: temperatura a variat de la 20 la 900 °C; durata acțiunii câmpului (1...120) s; inducția câmpului magnetic a variat până la 250 mT.

Experiențele de laborator au arătat că sub acțiunea câmpurilor magnetice rezistența mecanică a fiolelor crește cu (10...20) %, iar microduritatea cu (5...10) %. Proprietățile mecanice se modifică începând cu temperatura de 400 °C.

În condiții de producție au fost tratate termomagnetic ambalaje din sticlă transparentă și diferiți difuzori.

Pentru obținerea câmpurilor magnetice constante și variabile a fost folosit un electromagnet fixat de asupra benzii rulante. Construcția electromagnetului este descrisă în [6]. Probele din sticlă erau supuse acțiunii unui câmp magnetic constant cu inducția de 250 mT timp de 2 s. Inducția câmpului magnetic variabil atingea 150 mT, iar durata tratamentului termomagnetic 1 s. Câmpul magnetic în impulsuri s-a obținut utilizând o baterie de condensatori. Tratamentul termomagnetic se efectua într-un inductor instalat pe banda rulantă, a cărui formă era în dependență de dimensiunile articolelor. Durata tratamentului în acest caz era de (1...4) s, câmpul magnetic în impulsuri având următorii parametri: inducția de 60 mT, intensitatea de 50 kA/m, numărul de impulsuri la o probă 5...10.

Rezultatele experimentale arată că tratarea articolelor cu câmp magnetic constant duce la creșterea rezistenței mecanice cu (20...40) %, în același timp valoarea minimă a rezistenței mecanice crește de 1,5...2 ori. Este de menționat stabilitatea și reproductibilitatea rezultatelor obținute. Acțiunea câmpurilor magnetice variabile și în impulsuri asupra sticlei mărește rezistența mecanică cu (20...15) %. Se observă că efectul este de aproximativ 2 ori mai mic decât în cazul câmpului magnetic constant. Tratamentul termomagnetic duce la creșterea microdurității cu (5...15) %, fapt care reduce uzura suprafețelor articolelor în timpul producerii și transportării. Termostabilitatea articolelor supuse acțiunii câmpurilor magnetice

crește cu (5...10) %.

Mărirea temperaturii sticlei, a inducției câmpului magnetic și a duratei de tratament are ca rezultat îmbunătățirea proprietăților termomecanice ale articolelor. În consecință, se reduc de 2...4 ori pierderile de articole în etapele de producere, transportare și exploatare și, în plus, poate fi micșorată cu (5...10) % masa lor.

Creșterea rezistenței mecanice a articolelor din sticlă în urma tratării termomagnetice depășește efectul obținut prin acoperire de protecție [4] sau prin metoda tratamentului termochimic cu gaze acide [5], însă e mai mică decât cea obținută prin metoda călirii [2] sau a schimbului de ioni [1].

Avantajele principale ale tratamentului termomagnetic al sticlei sînt posibilitatea aplicării metodei la articole de diferite forme, fără schimbarea tehnologiei de producție; păstrarea stării inițiale a suprafețelor articolelor din sticlă; poluarea redusă a mediului în comparație cu utilizarea altor metode.

În baza rezultatelor cercetărilor au fost elaborate recomandări practice pentru implementarea tehnologiei tratamentului termomagnetic al diferitelor articole din sticlă la fabricile de sticlă.

BIBLIOGRAFIE

1. Бутаев А. М. Прочность стекла. Ионнообменное упрочнение. - Махачкала: Дагестанский государственный университет, 1997. - 253 с.
2. Богуславский И. А. Высокопрочные закаленные стекла. - М.: Стройиздат, 1969. - 208 с.
3. Scholze H. Glass: Nature, Structure, and Properties. - New-York, Berlin: Springer-Verlag, 1991. - 450 p.
4. Гулоян Ю. А., Казаков В. Д., Смирнов В. Ф. Производство стеклянной тары. - М.: Легкая индустрия, 1979. - 256 с.
5. Шарагов В. А. Химическое взаимодействие поверхности стекла с газами. - Кишинев: Штиинца, 1988. - 130 с.
6. Șaragov V., Baburin A. și Rusu I. Dispozitiv pentru tratamentul produselor din sticlă în câmp magnetic // Brevet de invenție al Republicii Moldova. - Nr. 265 F1. - BOPI, 1995, Nr. 8.