

ÎNCĂLZIREA MATERIALELOR DIELECTRICE

1. Probleme generale ale încălzirii capacitive

Orice material dielectric (izolant din punct de vedere electric) se polarizează când este introdus într-un câmp electric, ceea ce se traduce printr-o separare de sarcină electrică. Polarizarea unui dielectric poate avea loc la nivelul atomului sau moleculelor. Există patru clase de polarizare:

- *polarizarea electronică și polarizarea ionică*, numite polarizări de deformare, care se datoresc deformării învelișurilor electronice ale atomilor și, respectiv, deplasării ionilor în cristalele ionice sub efectul câmpului electric și apar în toate corpurile, dar sunt relativ slabe, fiind perceptibile numai la materiale nepolare, la care nu există alte tipuri de polarizare;

- *polarizarea de orientare*, caracteristică materialelor cu molecule polare, realizată prin orientarea ca un tot a moleculelor în câmpul electric (polarizare nestructurală) sau numai prin rotirea unor radicali mobili din moleculă (polarizare structurală);

- *polarizarea de relaxare*, datorată acumulărilor de sarcini electrice pe suprafețele de discontinuitate din interiorul materialelor neomogene, determinată de neomogenitatea permitivităților și rezistivităților acestora, numită polarizare interfacială sau de interstraturi.

În figura 9.1-a este prezentată situația unui material cu molecule polare, la care moleculele pot fi echivalate cu dipoli electrici, având la capete sarcini opuse. În lipsa unui câmp electric exterior dipolii sunt orientați aleator, astfel încât materialul nu prezintă încărcare electrică. Dacă materialul este introdus într-un câmp electric intens E (de pildă, între plăcile unui condensator la care se aplică tensiunea U (fig.9.1-b), dipolii se rotesc pentru a se orienta pe direcția câmpului, cu zona + spre placa minus și cu zona minus spre placa +. Dacă se schimbă polaritatea tensiunii U , se schimbă sensul câmpului electric, iar dipolii se rotesc în sens invers (fig.9.1-c).

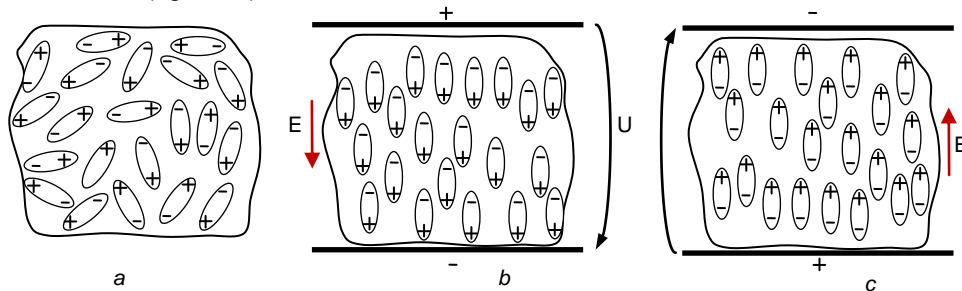


Fig 9.1 Polarizarea materialelor cu molecule polare

Dacă câmpul electric este alternativ de frecvență foarte mare (ordinul MHz),

la variația foarte rapidă a câmpului mișcarea de orientare a moleculelor se face cu întârziere (vâscozitate electrică). Încălzirea capacitivă (dielectrică) prin câmpuri electrice de frecvență ridicată se datorează vâscozității electrice, eventual și curenților de conducție ce apar în materialele dielectrice, care sunt izolatori imperfecti.

Instalațiile industriale ce lucrează pe acest principiu se utilizează la: sudarea foliilor de material plastic, obținerea plăcilor aglomerate din lemn, uscarea materialelor pe bază de celuloză (celofibră, hârtie, lemn), a materialelor textile, a miezurilor de turnătorie, a produselor ceramice și refractare, a produselor alimentare (zahăr, sare, făină), polimerizarea rășinilor sintetice, etc.

Indiferent de materialul tratat, cantitatea de căldură dezvoltată în unitatea de timp este direct proporțională cu frecvența câmpului electric alternativ aplicat.

Încălzirea dielectrică prezintă o serie de avantaje, cum ar fi:

- timp de încălzire redus, ceea ce conferă procesului tehnologic o productivitate ridicată;
- căldura se dezvoltă în toată masa materialului (dielectricului), distribuția temperaturii fiind relativ uniformă. Aceeași distribuție a câmpului termic nu poate fi obținută prin alte procedee de încălzire, întrucât dielectricii sunt materiale cu difuzivitate termică scăzută;
- instalația este nepoluantă și ocupă un spațiu redus.

2. Principiile încălzirii capacitive

Încălzirea capacitivă se realizează prin introducerea materialului de încălzit între plăcile unui condensator ce este conectat la circuitul unui oscilator (generator) de înaltă frecvență.

La un dielectric ideal nu apar pierderi de energie activă deoarece curentul este în întregime capacitiv și are valoarea:

$$I_r = \omega \cdot C \cdot U$$

În cazul real, în dielectric apar pierderi datorită vâscozității electrice și conductivității materialului, iar defazajul tensiune-curent este mai mic de 90° cu un unghi δ numit *unghi de pierderi dielectrice*.

Dacă se are în vedere schema echivalentă a unui condensator real, cu pierderi (fig.9.2-a), precum și diagrama fazorială a curenților pentru cazul considerat (fig.9.2-b), atunci valoarea P_d a pierderilor de putere în dielectric care se transformă în căldură va fi:

$$P_d = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I_e = R \cdot I_a^2 = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta, [\text{W}]$$

unde: R – rezistența echivalentă ce corespunde pierderilor de energie activă, $[\Omega]$;

U – valoarea eficace a tensiunii alternative aplicată condensatorului, $[\text{V}]$;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – pulsația tensiunii de alimentare, $[\text{s}^{-1}]$;

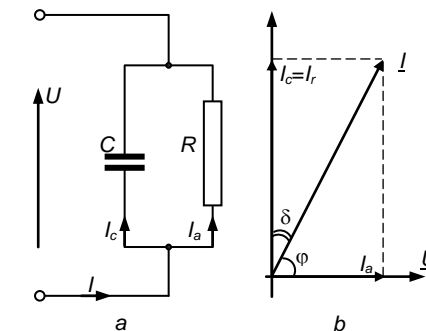


Fig.9.2 Schema echivalentă (a) și diagrama fazorială (b) a unui condensator real

transformă în căldură va fi:

C – capacitatea condensatorului de lucru, [F];

$tg\delta$ – tangenta unghiului de pierderi dielectrice a cărui valoare depinde de: natura materialului, frecvență, temperatură, intensitatea câmpului electric $E=U/d$ și impuritățile din dielectric.

În ipoteza unui câmp electric omogen între plăcile condensatorului și neglijând efectele de capăt, se poate scrie:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}, [F]$$

unde: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – permitivitatea vidului, [F/m];

ε_r – permitivitatea relativă a dielectricului introdus între plăci;

S – suprafața unei plăci, [m²];

d – distanța dintre plăci, [m].

Cu această valoare, expresia pierderilor în dielectric devine:

$$P_d = \omega \cdot C \cdot tg\delta \cdot U^2 = 2\pi \cdot f \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d} \cdot tg\delta \cdot E^2 \cdot d^2 = k_d \cdot \varepsilon_r \cdot tg\delta \cdot f \cdot E^2 \cdot S \cdot d, [W]$$

cu: $S \cdot d = V$ – volumul de material introdus între plăci, [m³],

$$k_d = 2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} = 0,556 \cdot 10^{-10}, [F/m]$$

Puterile specifice în raport cu volumul V sau masa m a încărcăturii sunt:

- puterea dezvoltată în unitatea de volum:

$$P_{dv} = P_d / V = k_d \cdot \varepsilon_r \cdot tg\delta \cdot f \cdot E^2, [W/m^3]$$

- pierderile specifice pe unitatea de masă:

$$P_{dm} = P_d / m = k_d \cdot \varepsilon_r \cdot tg\delta \cdot f \cdot E^2 / \rho, [W/kg]$$

în care ρ este masa specifică a materialului, [kg/m³].

Puterea dezvoltată în dielectric se stabilește pe baza bilanțului energetic care evidențiază: încălzirea materialului până la o anumită temperatură, într-un interval de timp dat; încălzirea pentru transformări de fază; schimbarea stării polimorfice sau pentru efectuarea unor reacții chimice; acoperirea pierderilor termice în mediul ambiant.

În cazul particular al proceselor de uscare, temperatura finală a produsului nu depășește 150°C, deci pierderile termice prin conducție, convecție și radiație se pot neglija, iar ecuația de bilanț termic poate fi pusă sub forma:

$$P_d \cdot dt = m \cdot c \cdot d\theta, [J]$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{c} \frac{P_d}{m} = \frac{k_d \cdot \varepsilon_r \cdot tg\delta}{\rho \cdot c} f \cdot E^2$$

Așadar, viteza de încălzire $d\theta/dt$ este direct proporțională cu frecvența și intensitatea câmpului electric, iar valori suficient de ridicate ale acestui parametru se obțin pentru frecvențe mai mari de 10MHz și la câmpuri de maxim 10⁷V/m (la câmpuri mai ridicate apare pericolul de conturare).

Prin integrarea relației de mai sus, diferența de temperatură între temperatura inițială θ_1 și cea finală θ_2 , în intervalul de timp Δt în care se realizează

încălzirea, devine:

$$\theta_2 - \theta_1 = k_d \frac{\varepsilon_r \cdot tg\delta}{\rho \cdot c} f \cdot E^2 \cdot \Delta t$$

Așadar, diferența de temperatură crește proporțional cu durata încălzirii și nu depinde de cantitatea de material supusă încălzirii.

3. Alegerea frecvenței de lucru a instalației de încălzire capacitivă

Puterea, respectiv cantitatea de căldură dezvoltată într-un dielectric sunt direct proporționale cu frecvența, cu pătratul intensității câmpului electric și cu produsul $\varepsilon_r \cdot tg\delta$, denumit *factor de pierderi*.

Unul din principalii parametri funcționali ai unei instalații de încălzire dielectrică este frecvența acesteia, care se adoptă ținând seama de:

- frecvența de lucru să fie conformă normativelor care stabilesc domeniul frecvențelor industriale și urmăresc evitarea perturbării canalelor și dispozitivelor de telecomunicații;

- variația factorului de pierderi $\varepsilon_r \cdot tg\delta$ cu frecvența și temperatura, întrucât modificări importante ale acestuia pot conduce la scăderea puterii disipate în dielectric;

- apariția fenomenelor de propagare a undelor electromagnetice de-a lungul armăturilor condensatorului.

Frecvențele de lucru fiind de ordinul zecilor sau sutelor de megahertzi, se impune: ecranarea generatorului electronic, a condensatorului de lucru și a cablului de alimentare, prevederea de filtre LC pe conductoarele de alimentare ale generatorului; carcasa generatorului să fie legată la o priză de pământ eficace, cu o rezistență maximă admisă de 2 ohmi.

Mărirea factorului de pierderi $\varepsilon_r \cdot tg\delta$ permite aprecierea posibilității de încălzire dielectrică a unui material. Astfel, la valori supraunitare încălzirea este bună, între 1 și 0,1 este posibilă, iar sub 0,1 aceasta devine practic imposibilă.

La frecvență constantă, puterea absorbită de dielectric se modifică în cursul procesului de încălzire (variază $\varepsilon_r \cdot tg\delta$) și are un caracter crescător sau coborâtor.

Dacă factorul de pierderi $\varepsilon_r \cdot tg\delta$ crește cu temperatura, procesul de încălzire va începe la o valoare scăzută a puterii generatorului pentru a asigura o rezervă de putere. În cazul în care puterea limită a sursei este depășită înainte de a atingerea temperaturii finale, generatorul este deconectat prin protecția de suprasarcină.

Dacă factorul de pierderi $\varepsilon_r \cdot tg\delta$ scade cu temperatura, procesul de încălzire va începe la valoarea maximă a puterii generatorului pentru a atinge temperatura finală a materialului pe durata stabilită a procesului tehnologic.

Mărirea frecvenței de lucru este limitată superior de apariția fenomenului de propagare de-a lungul armăturilor condensatorului (când aceasta are suprafața mare), ceea ce duce la modificarea câmpului electric și implicit, la neuniformitatea încălzirii.

Dacă dimensiunile dielectricului sunt mari, se recurge la alimentarea în mai multe puncte a condensatorului de lucru (fig.9.3) ce permite frecvențe de lucru ridicate și puteri specifice de volum apreciabile. Alimentarea se poate face în trei

puncte (fig.9.3-a) sau într-un singur punct central (fig.9.3-b), caz în care se utilizează inductanțe fără miez pentru reducerea neuniformităților câmpului electric.

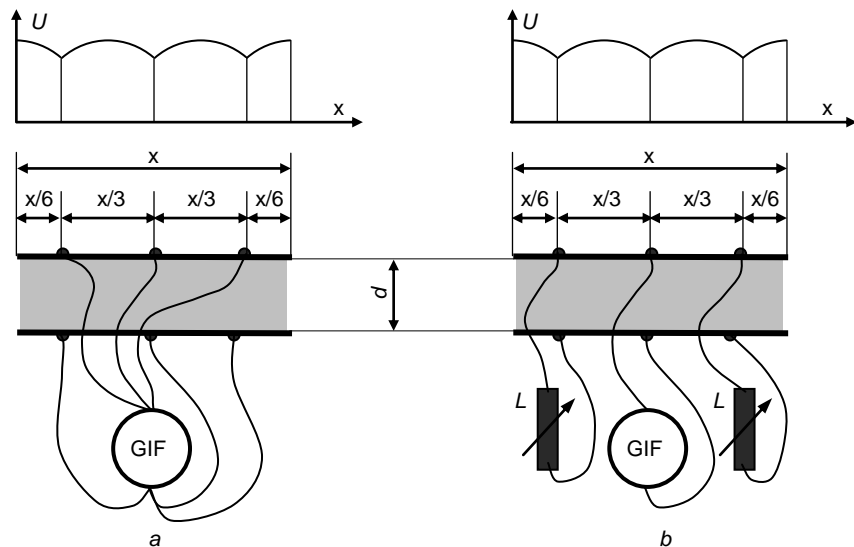


Fig.9.3 Alimentarea condensatoarelor de lucru de mari dimensiuni
 x – lungimea plăcii; d – distanță dintre plăci; L – inductanță pe aer; U – tensiunea sursei;
 GIF – generator de înaltă frecvență.

Inductanțele, împreună cu porțiuni ale plăcilor din jurul punctelor de conexiune, se acordează pe frecvența de lucru a generatorului. În acest caz, în punctele de conexiune a inductanțelor, tensiunile sunt în fază și au același modul. În decursul procesului de încălzire acordul se reface dacă parametrii dielectricului se schimbă.

4. Câmpul electric între armăturile unui condensator de lucru plan

Câmpul electric ce se stabilește între armăturile unui condensator plan, ce conține un dielectric, are valoarea:

$$E = U / d, \text{ [V/m]}$$

Sunt frecvente cazurile în care materialele ce se încălzesc se compun din mai multe straturi de dielectrici diferiți, dispuși paralel sau perpendicular pe armăturile condensatorului.

a) În cazul a n straturi de dielectric paralele cu armăturile condensatorului (dielectrici în serie - fig.9.4-a), asociind fiecărui strat format din același material un condensator, rezultă o schemă echivalentă (fig.9.4-b). Neglijând efectele de capăt, obținem, pentru puterea specifică pe unitatea de volum a stratului k , expresia:

$$P_{dvk} = k_d \cdot \varepsilon_{rk} \cdot \text{tg}\delta_k \cdot f \cdot E_k^2, \text{ [W/m}^3\text{]}$$

sau

$$P_{dvk} = k_d f \frac{\text{tg}\delta_k}{\varepsilon_{rk}} \frac{U^2}{\left[\sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\varepsilon_{rj}} \right]^2}, \text{ [W/m}^3\text{]}$$

și se observă că încălzirea maximă are loc în stratul în care raportul $\text{tg}\delta_k/\varepsilon_{rk}$ este maxim, unde $\text{tg}\delta_k$ și ε_{rk} sunt tangenta unghiului de pierderi și permitivitatea relativă a stratului k . Alegând valoarea frecvenței pentru care raportul $\text{tg}\delta_k/\varepsilon_{rk}$ este mai mare cu cel puțin un ordin de mărime față de rapoartele similare ale celorlaltor straturi, se realizează încălzirea selectivă a stratului k .

În cazul particular, când între armăturile condensatorului de lucru există un strat de aer (de grosime d_1 și $\varepsilon_{r1}=1$) și unul de material dielectric (d_2 și ε_{r2}), câmpurile electrice în aer (E_1) și dielectric (E_2) au expresiile:

$$E_1 = \frac{U}{d_1 + d_2 / \varepsilon_{r2}} \quad \text{și} \quad E_2 = \frac{U}{\varepsilon_{r2}(d_1 + d_2 / \varepsilon_{r2})}$$

din care se desprind următoarele concluzii:

- intensitatea câmpului electric în stratul de aer este mai mare decât intensitatea câmpului electric în dielectric;
- intensitatea câmpului electric în aer crește proporțional cu permitivitatea dielectricului, pe când în dielectric intensitatea câmpului electric scade;
- prin apropierea armăturii superioare de dielectricul având o grosime constantă (se reduce grosimea stratului de aer) intensitatea câmpului electric crește în ambele straturi, dar mai mult în aer.

Conform ultimei concluzii, puterea dezvoltată în dielectric se poate modifica la $U=\text{ct.}$ prin variația grosimii stratului de aer, dar valoarea maximă a acestei puteri este de cel mult:

$$(P_{dv2})_{\max} = k_d \cdot \frac{\text{tg}\delta_2}{\varepsilon_{r2}} \cdot f \cdot E_1^2 = k_d \cdot \frac{\text{tg}\delta_2}{\varepsilon_{r2}} \cdot f \cdot 0,5 \cdot E_{str}^2,$$

în care $E_{str} = \sqrt{2} \cdot E_1$ este amplitudinea intensității câmpului electric la care are loc străpungerea stratului de aer ($E_{str} = 35 \text{ kV/cm}$).

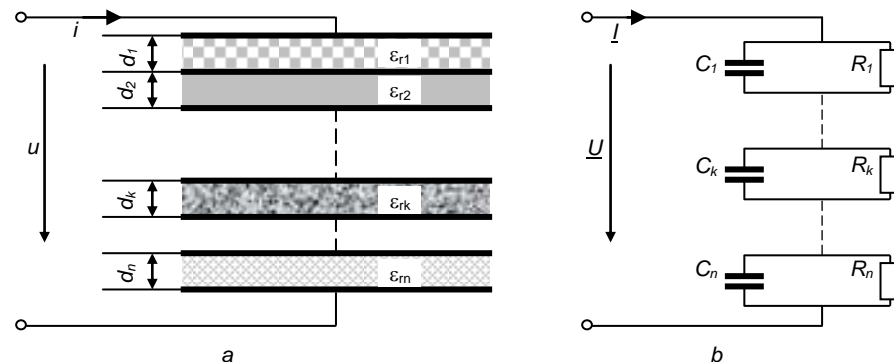


Fig.9.4 Distribuția tensiunilor la dielectrici multistrat
 a – condensator cu dielectric multistrat; b – schema echivalentă

b) În cazul unui material format din n straturi de material dielectric, perpendiculare pe armăturile condensatorului (dielectrici în paralel), puterea dezvoltată în unitatea de volum a stratului k este:

$$P_{dvk} = k_d \cdot f \cdot \varepsilon_{rk} \cdot tg\delta_k \cdot \frac{U^2}{d^2} = k_d \cdot f \cdot \varepsilon_{rk} \cdot tg\delta_k \cdot E_k^2, [W]$$

relație dedusă în aceleași condiții ca și în cazul precedent.

În acest caz, pentru stratul în care factorul de pierderi $\varepsilon_{rk} \cdot tg\delta_k$ are valoare maximă încălzirea va fi cea mai ridicată.

5. Generator electronic industrial pentru încălziri capacitive

Generatorul electronic industrial de tip GIF-1,5c-20 este destinat preîncălzirii pastilelor de bachelită în vederea turnării sau pentru tratamentul termic al maselor plastice și similarelor acestora. Puterea debitată la frecvența de 15..25 MHz este de 1,5kW, la o tensiune de aproximativ 3kV și un curent de 0,5...0,6A.

Schema de forță a instalației (fig.9.5) cuprinde filtrul de rețea FR , siguranțele automate S_1 , S_2 și S_3 , transformatorul ridicător de tensiune TIT ce alimentează redresorul cu tuburi electronice (gazotroane) T_1, T_2 și T_3 , de la care înalta tensiune se aplică oscilatorului de radio-frecvență (RF) realizat cu ajutorul tubului electronic oscilator TO (triodă de putere).

Oscilatorul de putere de RF este un oscilator LC , cu circuit oscilant acordat în anod. Circuitul oscilant este alcătuit din inductanța L_2 și condensatorul de lucru C_L . Frecvența generată este variabilă cu C_L , fiind dată de relația lui Thomson:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_L}}$$

Reacția pozitivă necesară pentru întreținerea oscilațiilor este realizată prin cuplajul mutual al bobinei L_2 cu bobina L_1 .

Cuplajul circuitului de lucru cu trioda se face prin condensatorul C_{sa} . Inductanța L_3 este o bobină de șoc, ce are rolul de a împiedica frecvența înaltă a curentului anodic să se închidă prin sursa de curent continuu.

Ca urmare a variației frecvenței, determinată de variația valorilor condensatorului C_L (prin distanța variabilă dintre armături sau prin materialele de dimensiuni sau naturi diferite), se va produce și o modificare a amplitudinii tensiunii din anod, respectiv grilă. Acest efect nedorit este compensat printr-un circuit separat montat între grilă și catod.

Circuitul de stabilizare al tensiunii anodice este format din următoarele elemente: rezistoarele liniare R_2 și R_3 , rezistoarele neliniare B_1 și B_2 (lămpi cu incandescență) și condensatorul C_{dg} . Acest circuit funcționează astfel: la creșterea amplitudinii potențialului alternativ din anod va apare o creștere a amplitudinii potențialului alternativ în grilă. Acest semnal este redresat pe spațiul grilă-catod, iar efectul constă în apariția unei tensiuni pulsatorii negative care va fi aplicată circuitului de reglare. Dacă, de exemplu, amplitudinea tensiunii alternative anodice crește, va crește tensiunea din grilă, iar punctul de funcționare al lămpilor B_1 și B_2

se va modifica: la creșterea tensiunii va rezulta o creștere a valorii rezistenței lămpilor, determinând o creștere a valorii tensiunii negative din spațiul grilă-catod. Creșterea negativării grilei va modifica punctul de funcționare a triodei în sensul micșorării pantei efective și a curentului anodic, micșorând amplitudinea tensiunii alternative în circuitul de sarcină. Rezultatul va fi menținerea nivelului tensiunii alternative la o valoare constantă, reglabilă prin intermediul rezistorului R_3 .

Schema de comandă are în componență: întrerupătorul general I , transformatorul TBA de alimentare a circuitului de suprasarcină și a lămpii de semnalizare (notată cu Ba), transformatorul ferorezonant $TFTO$ care alimentează filamentele tubului oscilator TO cu tensiune constantă, transformatorul $TFTR$ pentru alimentarea filamentelor tuburilor redresoare $T_1..T_3$, ventilatorul V de răcire a tubului de emisie, contorul de ore CH , releul termic RT , releul de suprasarcină RS și releul de lucru RL .

La închiderea întrerupătorului I sunt alimentate transformatoarele $TFTR$ și $TPFO$ care asigură încălzirea filamentelor tuburilor electronice. Aducerea la temperatura de regim a filamentelor este sesizată de releul termic RT care își închide contactul său în circuitul releului de lucru RL (releu de timp cu temporizare la revenire). Contactul RL se închide în circuitul bobinei contactorului K .

După închiderea contactului releului termic RT , se apasă pe butonul de pornire BP și dacă microîntreruptoarele acționate de uși (MU_1 și MU_2) și de capac (MC_1 și MC_2) sunt închise, cuplează contactorul K . Prin închiderea contactelor de forță ale contactorului K se pune sub tensiune transformatorul ridicător TIT și între plăcile condensatorului de lucru CL avem un câmp electric de intensitate și frecvență ridicată. În același timp, se aprinde lampa B_V și începe să lucreze releul de timp RL ce determină durata procesului de încălzire. După terminarea timpului reglat (între 0 și 6 minute) contactul RL (contact normal deschis temporizat la deschidere) revine în starea deschis, declanșând contactorul K .

Regimul de avarie. În caz de avarie, de exemplu la apariția conturnărilor sau a străpungerii dielectricului, schema este scoasă de sub tensiune de către releul de suprasarcină RS . În regim normal, releul de suprasarcină este alimentat cu doi curenți de același sens. Primul curent – I_1 – este determinat de tensiunea continuă la bornele rezistenței R_4 . Această tensiune este proporțională cu curentul absorbit de la redresor. Așadar curentul I_1 este proporțional cu curentul absorbit de la redresor, deci cu sarcina oscilatorului. Al doilea curent – I_2 – este curentul continuu (redresat monoalternată de dioda D) care parcurge secundarul transformatorului TBa . Acest curent este constant, invariabil cu regimul de funcționare.

Curentul I_1 , în regim normal, este mult mai mic decât I_2 , iar cei doi curenți parcurg în același sens bobina releului RS . Suma curenților I_2+I_1 nu determină, în regim normal, anclanșarea releului RS (figura 9.6). Condensatorul C_1 realizează o valoare medie a tensiunii la bornele releului RS .

În caz de avarie crește curentul absorbit de la redresor, crește tensiunea la bornele rezistenței R_4 și va crește de câteva ori curentul I_1 . Suma curenților I_2+I_1 devine mare și va determina, în regim de avarie, anclanșarea releului RS . Contactul normal-închis RS din circuitul bobinei contactorului K se deschide, contactorul K declanșează, determinând deschiderea contactelor principale K . La oprirea alimentării schemei de forță se anulează curentul I_1 , dar releul rămâne

anclanșat deoarece este alimentat de curentul I_2 (figura 9.6). Semnalizarea regimului de avarie se realizează prin aprinderea becului Br .

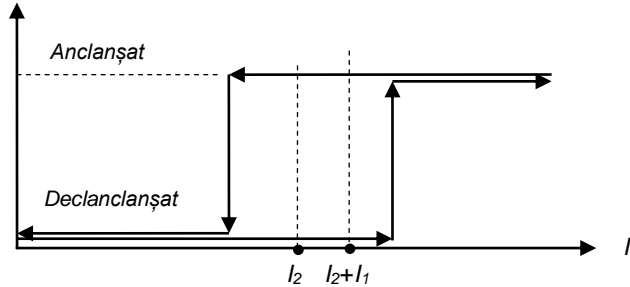


Fig.9.6 Caracteristica releului RS

După înlăturarea defectului (prin îndepărtarea armăturilor sau înlocuirea materialului străpuns), pentru repornire, se apasă pe butonul de deblocare a avariei BAV (ce anulează curentul I_2) și apoi din nou pe butonul BP .

6. Încălzirea cu microunde

Încălzirea cu microunde este principial aceeași cu încălzirea în radio-frecvență, cu diferența că undele electromagnetice din spațiul de lucru au frecvențe foarte mari, de 0,915 sau 2,45 GHz. Ca urmare, lungimea de undă a microundelor este foarte scurtă în comparație cu lungimea de undă a undelor de radiofrecvență.

Microundele sunt foarte bine absorbite de substanțe care au în structura lor molecule de apă. La frecvența microundelor, apa are factorul de pierderi egal cu 12 (de sute de ori mai mare decât al multor substanțe dielectrice). Din acest motiv materialele care conțin apă se încălzesc eficient și se usucă cu ajutorul microundelor.

Principalele elemente ale unui echipament cu microunde sunt generatorul și alimentarea sa, aplicatorii între care se introduce produsul de încălzit și ghidurile de undă care conduc energia de la generator la aplicatori.

Generatorul de microunde. La frecvențele de ordinul GHz oscilatorii clasici cu triode nu convin pentru realizarea generatoarelor de putere. Se folosesc generatoare speciale: *magnetronul* și *klistronul*.

Magnetronul este un tub cu vid servind ca oscilator și constituit din doi electrozi: un catod cilindric central înconjurat de un anod metallic circular prezentând fante și cavități. Între catod și anod se află un spațiu de interacțiune. Ansamblului i se aplică o tensiune continuă înaltă. Catodul încălzit emite electroni care vor fi atrași de anodul pozitiv. Tubului i se aplică un câmp magnetic cu ajutorul unui magnet permanent puternic, după o direcție paralelă cu axul catodului. Sub acțiunea combinată a câmpului electric și magnetic electronii de îndreaptă spre anod pe o traiectorie curbă. Fiecare ansamblu fantă-cavitate formează un circuit rezonant cu o frecvență precisă, pereții cavității reprezentând inductanța iar pereții fantei, armăturile condensatorului. Frecvența de rezonanță este determinată de dimensiunile cavității și fantei.

În figura 9.7 este prezentată imaginea exterioară a magnetronului ce echipează cuptorul cu microunde folosit în cadrul aplicației, iar în figura 9.8 este prezentată schița constructivă și funcțională.



Fig. 9.7 Imaginea exterioară a unui magnetron

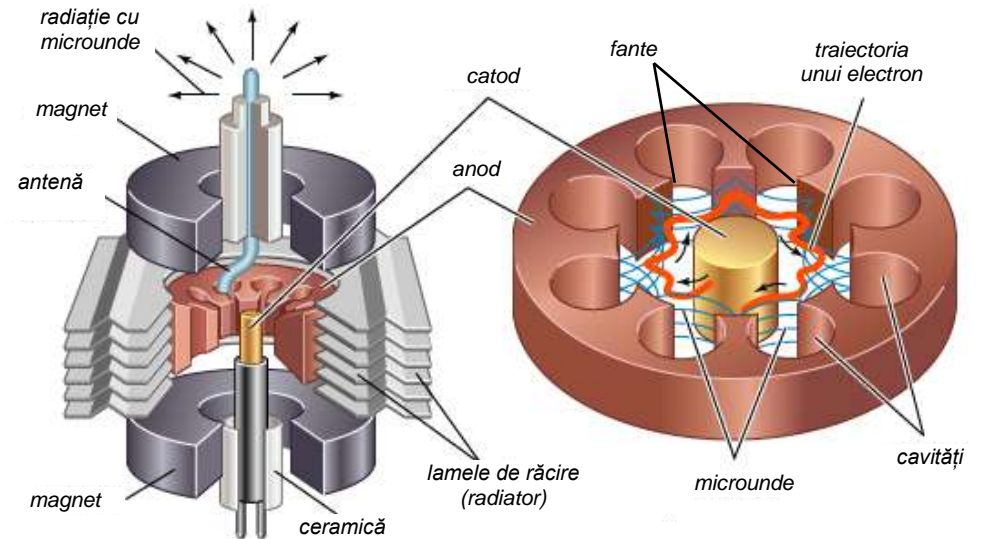


Fig. 9.8 schița constructivă și funcțională a unui magnetron

Ghidurile de undă asigură transmisia energiei de la generator la aplicatori. Acestea sunt tuburi cu secțiune circulară, rectangulară, eliptică sau coaxiale.

Construcția lor este foarte precisă, cu toleranțe de ordinul micronilor pentru ca microundele să nu fie atenuate pe măsura deplasării lor, iar în ghid să se formeze unde staționare. De exemplu, un ghid de undă rectangular, la frecvența de 2,45 GHz are dimensiunile secțiunii 72,14 x 34,04 mm, iar lungimea un multiplu întreg de 61,24 mm.

Aplicatorii. Dacă în cazul încălzirii în radio-frecvență aplicatorii erau plăcile unui condensator între care se plasa produsul de încălzit, la încălzirea cu microunde au forma unor incinte închise, care conțin produsul și undele electromagnetice. Există două forme de bază pentru aplicatorii de microunde: aplicatorul *monomod* și aplicatorul *multimod*. Aplicatorul "monomod" este folosit în cazul aplicațiilor industriale, iar cel „multimod” este folosit îndeosebi la cuptoare casnice cu microunde.

În figura 9.9 se prezintă un aplicator cavități „multimod”. În cavitatea 1 au loc reflexii succesive ale microundelor pe pereții metalici, astfel încât produsul 5 se va încălzi în orice punct s-ar afla în interiorul cavității. Apar însă neuniformități în distribuția câmpului electric, ceea ce poate produce o distribuție neuniformă de temperatură. Aceasta se poate corecta, fie utilizând un ventilator electromagnetic (cu pale metalice) 4, fie imprimând produsului o mișcare de rotație cu ajutorul unui platou turnant 6. Celelalte elemente sunt: 2 – magnetron, 3 – ghid de unde.

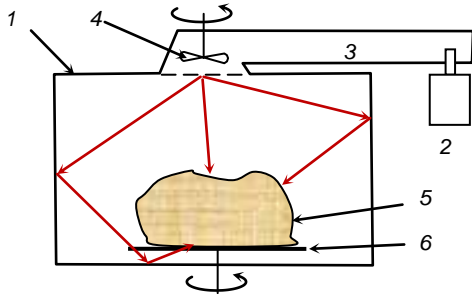


Fig.9.9 Aplicator cavități multimod

Aplicațiile încălzirii cu microunde (MO)

A. În domeniul casnic există în lume mai mult de 100 milioane de aparate pentru pregătirea hranei cu MO. Puterea unitară este redusă, sub un 1kW. Avantajele gătirii cu MO sunt: timp de încălzire scurt (de ordinul minutelor, față de ordinul zecilor de minute la încălzire tradițională), consum de energie scăzut (reducere de până la 50% față de metodele încălzirii rezistive), procedeu complet automatizat (ca regim de lucru, putere, durată), încălzirea poate fi întreruptă instantaneu, gătire curată, fără noxe, spațiu mic ocupat.

B. În domeniul industrial încălzirea cu MO este folosită la: uscarea de produse textile, uscarea de produse pe bază de hârtie, fabricarea lentilelor de contact, uscarea și sterilizarea produselor farmaceutice, polimerizarea rășinilor sintetice, vulcanizarea rapidă a cauciucului, uscări de produse din ceramică, lipirea plăcilor de lemn, etc.

Dezavantajele folosirii instalațiilor cu RF sau MO sunt legate de efectele biologice nocive. Expunerea la radiații de foarte înaltă frecvență poate da arsuri în profunzimea țesuturilor, fără ca încălzirea superficială să fie excesivă. Există un prag al radiației peste care modificările care apar sunt ireversibile. Organele cele mai sensibile sunt ochiul și creierul. Prin ecranare se reduce mult nivelul radiațiilor. De regulă, nivelul trebuie să fie sub 1 mW/cm² la 2 cm de ușa de acces.

Standardele multor țări se bazează pe noțiunea de „Specific Absorption Rate” (SAR) care poate fi corelată cantitativ cu efectele biologice. SAR este definit ca puterea electromagnetică absorbită de unitatea de masă de țesut biologic. Limita prevăzută de standarde este 0,4 W/kg. Această limită este de zece ori mai mică decât valoarea minimă pentru care au fost evidențiate efecte biologice. Pentru zonele de interes public, standardele au introdus un factor de siguranță asupra SAR egal cu 5, care face ca limita pentru populație să fie de 0,08 W/kg.

7. Desfășurarea aplicației

- Se vor calcula: capacitatea condensatorului de lucru, factorul de pierderi, compenentele activă și reactivă a curentului, unghiul de pierderi dielectrice și puterea dezvoltată în unitatea de volum pentru câteva cazuri concrete de materiale dielectrice. Se va realiza diagrama fazorială a curentilor.

- Se va calcula tensiunea maximă ce se poate aplica condensatorului de lucru, cunoscând distanța între armăturile condensatorului, natura și grosimea dielectricului. Se va considera dielectricul mixt, format din strat de dielectric și strat de aer.

- Se vor identifica elementele componente ale instalației “Generator electronic industrial pentru încălziri dielectrice” tip GIF-1,5c-20 și se va explica funcționarea schemelor electrice de forță și de comandă;

- Se vor încălzi diferite probe de material format din unul sau mai multe straturi, măsurându-se temperaturile finale cu ajutorul pirometrului cu radiație;

- Se va determina intensitatea câmpului electric și pierderile dielectrice în unitatea de volum pentru diferite distanțe dintre plăci. Tensiunea de lucru, în valoare eficace este de 3000V, iar curentul anodic se va citi pe aparatul de pe panoul frontal;

- Se analizează construcția, funcționarea și schema electrică a cuptorului cu microunde Panasonic NN-A554w.

Se consemnează concluziile studiului efectuat.

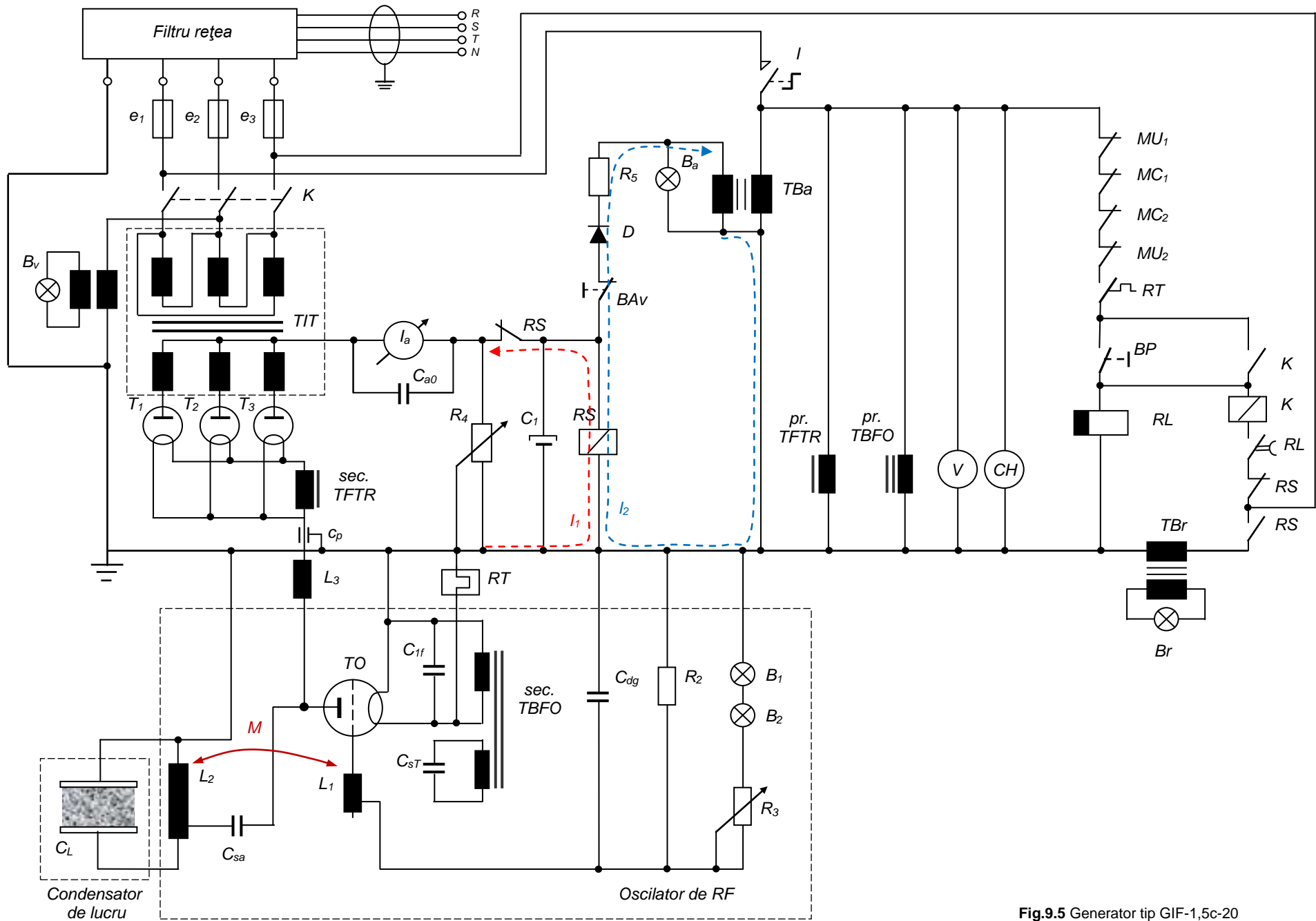


Fig.9.5 Generator tip GIF-1,5c-20
Schema electrică