



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

CONSIDERAȚII PRIVIND REGIMUL TERMIC AL CONDENSATOARELOR CU DIELECTRIC SOLID LA FUNȚIONAREA ÎN REGIM NESINUSOIDAL

Cristian FĂRCAȘ, Rodica CREȚ, Dănuț MATEESCU

CONSIDERATIONS SUR LE REGIME THERMIQUE DES CONDENSATEURS A DIELECTRIQUE SOLIDE, AU FONCTIONNEMENT EN REGIME NON SINUSOÏDAL

L'article présente une méthode de calcul du régime thermique des condensateurs alimentés avec tension non sinusoïdale, en tenant compte de la modification des pertes de puissance active du diélectrique déterminée par la variation de la permittivité et du facteur de pertes avec la fréquence des harmoniques.

Mots-clés: pertes diélectriques, la tension harmonique, la température, la permittivité, facteur de perte

Cuvinte cheie: pierderi dielectrice, tensiune nesinusoidală, regim termic, permitivitate, factor de pierderi

1. Introducere

Regimul termic al condensatoarelor este determinat de relația în care se află energia dezvoltată în condensator din cauza pierderilor active și cea disipată în mediul ambiant prin convecție și radiație. În situația în care pierderile active depășesc puterea ce poate fi disipată către mediu, apare o creștere a temperaturii care duce la distrugerea condensatorului fie prin depășirea stabilității termice, fie prin străpungerea termică a dielectricului.

La alimentarea cu tensiune nesinusoidală puterea de pierderi se modifică față de regimul sinusoidal și implicit și regimul termic al condensatorului.

2. Determinarea pierderilor în regim nesinusoidal

În regim sinusoidal puterea activă disipată în condensator, datorită pierderilor dielectrice se poate determina cu relația:

$$P_{\text{sin}} = U^2 \omega C_n \text{tg} \delta_c, \quad (1)$$

unde U este valoarea eficace a tensiunii alternative aplicate condensatorului, ω - pulsația tensiunii, C_n – capacitatea nominală a condensatorului și $\text{tg} \delta_c$ - tangenta unghiului de pierderi în dielectric.

În regimul nesinusoidal calculul pierderilor se face descompunând în serie Fourier curba de tensiune și însumând pierderile calculate pentru fiecare armonică în parte:

$$P_{\text{nesin}} = \sum_k U_k^2 \omega_k C_{nk} \text{tg} \delta_{ck} \quad (2)$$

k fiind ordinul armonicii $k = f/f_1$.

Atât capacitatea C_{nk} (prin intermediul permitivității relative) cât și $\text{tg} \delta_{ck}$ depind de frecvență și pentru un calcul corect este necesar să se considere dependența lor reală de frecvență. Modificarea pierderilor în regimul nesinusoidal față de cel sinusoidal se apreciază prin intermediul factorului de nesinusoidalitate:

$$\eta = P_{\text{nesin}} / P_{\text{sin}} = \frac{\sum_k U_k^2 \omega_k C_{nk} \text{tg} \delta_{ck}}{U_1^2 \text{tg} \delta_{c1} \omega_1 C_{n1}} = k a_k^2 b_k c_k, \quad (3)$$

unde: $a_k = U_k/U$, $b_k = \text{tg} \delta_{ck} / \text{tg} \delta_{c1}$, $c_k = \epsilon_{rk} / \epsilon_{r1}$, $U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$ ϵ_{r1} , $\text{tg} \delta_{c1}$ - valorile permitivității relative și a factorului de pierderi la frecvența fundamentalei (f_1). Determinarea acestui coeficient cu relația (3) necesită un volum mare de calcule și de aceea în literatură se întâlnesc pentru diferite forme de undă și tipuri de dielectrics formule simplificate [4].

3. Regimul termic al condensatoarelor cu dielectric solid la funcționarea în regim nesinusoidal

Căldura cedată mediului ambiant se calculează cu aceeași relație ca în cazul regimului sinusoidal:

$$Q' = 0,24\alpha_T A(t - t_a), \quad (5)$$

În relația (5) α_T este suma coeficienților de transmisie a căldurii prin convenție - α_k - și radiație - α_r ; A - suprafața laterală a condensatorului; t - temperatura suprafeței condensatorului și t_a - temperatura mediului ambiant.

Tensiunea de alimentare a condensatorului la care se atinge temperatura maximă admisibilă a dielectricului $t_{\max,adm}$, căreia îi corespunde t_{\max} la suprafața dielectricului se determină din egalitatea celor două călduri: produsă: $Q=0,24P_{nesim}$ (2) și cedată mediului ambiant Q (5), ținând seama și de relația (3):

$$U = \sqrt{\frac{0,24\alpha_T A(t_{\max} - t_a)}{\eta\omega_1 C_{n1} \operatorname{tg}\delta_{c1}}} \quad (6)$$

Pentru condensatoarele cu pierderi mici limitativă este tensiunea de străpungere termică, care se poate determina grafic prin reprezentarea variației celor două călduri: cea produsă - $Q=0,24P_{nesim}$ și cea cedată mediului ambiant - Q' , în funcție de temperatura t a dielectricului (figura 1). Căldura disipată variază exponențial cu temperatura (datorită variației de acest tip a conductivității electrice a dielectricului) iar cea cedată mediului este direct proporțională cu aceasta.

Dacă dielectricul funcționează sub tensiunea U_2 pentru care dreapta căldurii cedate Q' este tangentă la exponențiala căldurii produse Q_2 la această tensiune, atunci punctul de echilibru termic C este instabil.

Pentru orice tensiune aplicată mai mare sau egală cu U_2 are loc străpungerea termică.

S-a stabilit că pentru calculul câmpului electric la care are loc străpungerea termică în regim nesinusoidal se pot utiliza relațiile indicate în literatură [4, 6] pentru regimul sinusoidal cu introducerea coeficientului de corecție η . În cazul condensatorului cilindric expresia acestuia este:

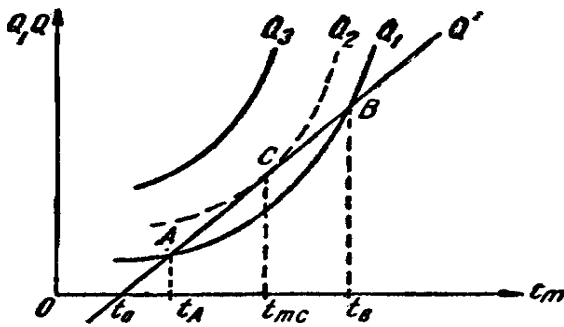


Fig. 1 Variația căldurii produse și disipate cu temperatura dielectricului

$$E_t = 2,7 \cdot 10^6 \frac{\phi(c)}{s} \sqrt{\frac{\lambda}{\eta a f \epsilon_r \text{tg} \delta_\epsilon}} \text{ [V/cm]}, \quad (7)$$

unde:

$$c = \frac{1,15 \lambda_a \alpha_T D_1 \log(D_1 / D_0)}{\lambda [\lambda_a + 1,15 \alpha_T D_1 \log(D_2 / D_1)]}; \quad (8)$$

unde:

a – coeficientul de temperatură al tangentei (în grad^{-1});

λ, λ_a – conductivitatea termică a dielectricului, respectiv a armăturii sau a stratului de protecție (în $\text{W/cm}\cdot\text{grad}$);

s – grosimea dielectricului (în cm);

D_0, D_1, D_2 – diametrele condensatorului: interior, exterior fără strat de protecție, respectiv exterior cu strat de protecție;

$\text{tg} \delta_\epsilon$ - tangenta unghiului de pierderi a dielectricului.

Pentru condensatoarele bobinate sunt valabile relațiile (7) și (8) cu observația că D_0 este diametrul cilindrului pe care se bobinează condensatorul iar s se consideră $s=(D_1-D_0)/2$.

Tensiunea de străpungere termică la acest tip de condensator este:

$$U_t = s_1 E_t, \quad (9)$$

unde s_1 este grosimea foliei de dielectric, în cm .

Pentru condensatorul plan, intensitatea câmpului electric la care se străpunge termic condensatorul se calculează cu relația:

$$E_t = 3,8 \cdot 10^6 \frac{\phi(c)}{s} \sqrt{\frac{\lambda}{\eta a f \epsilon_r \text{tg} \delta_\epsilon}}, \text{ [V/cm]} \quad (10)$$

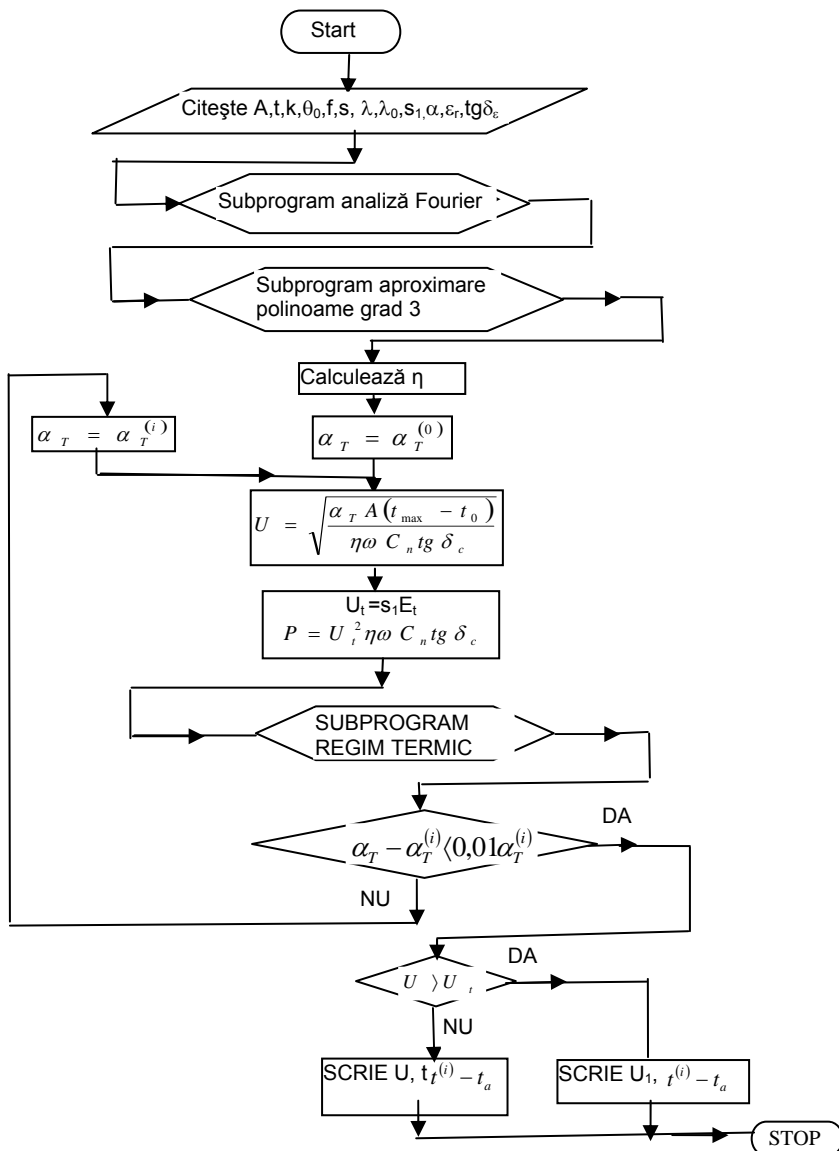


Fig. 2. Schema logică a programului de calcul al regimului termic al condensatoarelor alimentate la tensiune nesinusoidală

În scopul determinării regimului termic al condensatoarelor alimentate la tensiune nesinusoidală s-a elaborat un program de calcul a cărei schemă logică este prezentată în figura 2.

Programul cuprinde următoarele subprograme:

- de calcul al coeficienților a pe baza analizei Fourier;
- de determinare a coeficienților b și c utilizând o metodă

Spline de aproximare a curbelor $\text{tg} \delta = f(\omega)$ și $\varepsilon_r = f(\omega)$ prin polinoame de gradul 3;

- de calcul al regimului termic [1, 3, 5] care determină temperatura și coeficientul total de convecție și radiație.

4. Rezultate și discuții

Programul a fost rulat pentru condensatorul bobinat cu policarbonat, de capacitate nominală $C = 0,47 \mu\text{F}$ și $U = 400 \text{V}$ ale cărui date constructive și caracteristici de material, inclusiv dependența de frecvență a factorului de pierderi și a permitivității relative sunt indicate în [2].

Formele de undă pentru care s-au calculat coeficienții de nesinusoidalitate la diverse frecvențe ale purtătoarei sunt indicate în figura 3, rezultatele obținute fiind cele din figura 4.

Pe baza rezultatelor obținute s-a trasat variația tensiunii maxime de lucru a condensatorului cu frecvența – figura 5 – pentru două dintre formele de undă considerate și pentru unda sinusoidală.

Se remarcă peste o anumită frecvență, o interdependență puternică între tensiunea de străpungere termică și frecvența de utilizare, funcție de forma undei nesinusoidale.

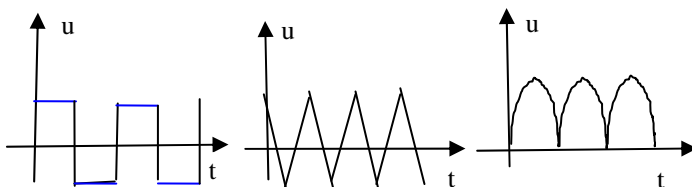


Fig. 3 Forma de undă ale tensiunilor aplicate condensatorului:
a – dreptunghiulară; b – triunghiulară; c – alternativă redresată

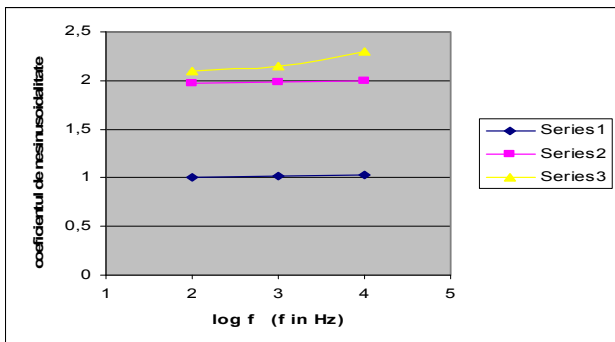


Fig. 4 Variația coeficientului de nesinusoidalitate cu frecvența: 1 - undă dreptunghiulară; 2 - undă alternativă redresată; 3 - undă triunghiulară

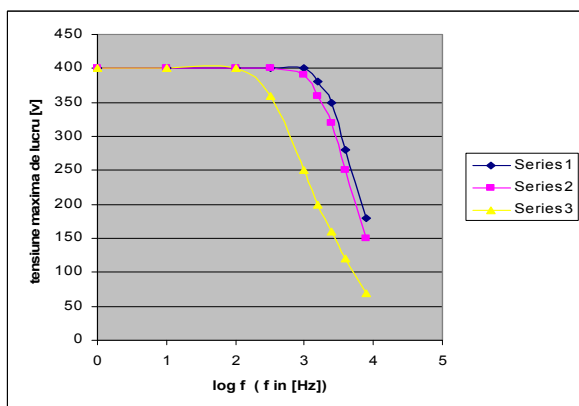


Fig. 5 Variația tensiunii maxime de lucru cu frecvența: 1- undă sinusoidală; 2 - undă triunghiulară; 3 - undă dreptunghiulară

5. Concluzii

Parametrii de funcționare (tensiune, frecvență) ai unui condensator sunt limitați de regimul deformant prin intermediul coeficientului de nesinusoidalitate, care la rândul lui depinde de forma unde și de caracteristicile de material ale dielectricului.

Deci, este utilă o verificare a regimului termic prin metoda propusă pentru fiecare caz în parte.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Creț, R., *Materiale electrice*, Editura Mediamira, Iuj Napoca, 2007.
- [2] Iancu, O., *Regimul termic al condensatoarelor fixe cu dielectric solid*, În: *Electrotehnica, electronica, automatica*, nr. 6, 1976.
- [3] Noțingher, P., *Materiale electrotehnice*. Vol I și II. Editura Politehnica press, 2005.
- [4] Renne, V.T., ș.a., *Rascioti i konstruirovanie kondensatorov*. Editura tehnică, București, 1966.
- [5] Saforostov, V.E., ș.a., *Rasciot poteri v kondensatorah s bumatnîh dielektricom pri trapezoilnoi forme crivoi naprajenii*, *Electricestvo* nr.1, 1981.
- [6] Tareev, B.M., *Fizika Dielectriceskih Materialov*, *Energoizdat*, Moskva, 1982.

Conf.Dr.Ing. Cristian FĂRCAȘ
Facultatea de Electronică și Telecomunicații
e-mail: Cristian.Farcas@ael.utcluj.ro
Conf.Dr.Ing. Rodica CREȚ
Facultatea de Inginerie Electrică, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
membru AGIR
Ing. Dănuț MATEESCU
profesor, Colegiul Național „Spiru Haret”, Târgoviște