

# SIMULAREA STRUCTURILOR REZISTIVE ȘI A CONDENSATOARELOR

**Scopul lucrării:** Evidențierea prin metode matematice (simulare) a comportării reale a rezistoarelor și condensatoarelor

Lucrarea cuprinde patru părți:

- solicitarea electrică a rezistoarelor,
- comportarea în frecvență a rezistoarelor,
- comportarea în frecvență a condensatoarelor,
- solicitarea electrică condensatoarelor în funcție de frecvență.

## Desfășurarea lucrării:

### I. SOLICITAREA ELECTRICĂ A REZISTOARELOR- SOLREZ.XMCD -

Se apelează programul **SOLREZ.XMCD**.

#### 1. Analiza solicitării unui rezistor pentru diverse valori ale rezistenței.

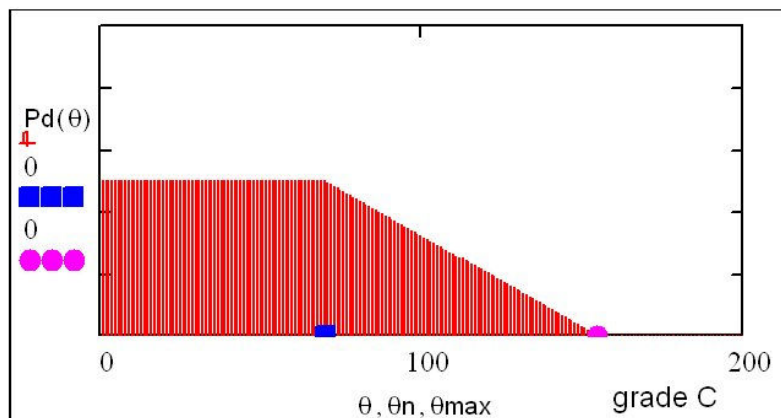
În prima parte a programului se studiază diagrama de disipație a puterii în funcție de temperatura ambiantă, pentru un rezistor cu peliculă de carbon de tipul celor studiate la lucrarea “Rezistoare liniare fixe”.

Se introduc datele:

- $R_n = 24 \text{ K}\Omega$  rezistența nominală,
  - $P_n = 0.5 \text{ W}$  puterea nominală,
  - $U_{\max} = 350 \text{ V}$  tensiunea maximă,
  - $\theta_n = 70^\circ\text{C}$  temperatura nominală,
  - $\theta_{\max} = 155^\circ\text{C}$  temperatura maximă.
- Temperatura ambiantă variază între 1 și  $200^\circ\text{C}$ .

După introducerea parametrilor de mai sus programul va reprezenta grafic puterea disipată ( $P_d$ ) în funcție de temperatura ambiantă  $\theta$ .

$$P_d(\theta) = \begin{cases} P_n, & \text{pentru } \theta \leq \theta_n \\ P_n \frac{\theta_{\max} - \theta}{\theta_{\max} - \theta_n}, & \text{pentru } \theta > \theta_n \end{cases} \quad [1]$$



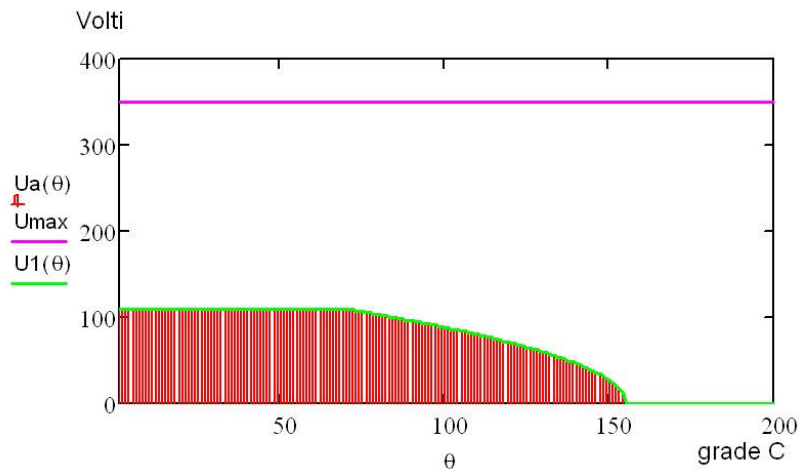
**Fig. 1** Caracteristica de disipație a unui rezistor

Se studiază domeniul maxim de definiție al tensiunii aplicate la bornele unui rezistor [ $U_a(\theta)$ ].

Acest domeniu este  $U_a(\theta) = \min ( U_{\max}, \sqrt{P_d(\theta) \cdot R_n} )$

[2]

În reprezentarea grafică:



**Fig.2** Graficul tensiunii admisibile

au fost afișate:

- $U_{\max}(\theta) = 350 \text{ V}$  constantă (linie dreaptă),
- $U_1(\theta) = \sqrt{P_d(\theta) \cdot R_n}$
- $U_a(\theta) = \min (U_{\max}, U_1(\theta))$  (zona hașurată).

Se afișează tensiunea maximă aplicabilă la bornele rezistorului pentru diferite temperaturi ambiante:

- $U_a(1)$   $U_a$  la temperatura de  $1^\circ\text{C}$ ,
- $U_a(\theta_n)$   $U_a$  la temperatura nominală,
- $U_a(\theta_1)$   $U_a$  la o temperatură cuprinsă între cea nominală și cea maximă,
- $U_a(\theta_{\max})$   $U_a$  la temperatura maximă.

**Obs.:**  $U_a(\theta_{\max}) = 0$  (întotdeauna)

Domeniul tensiunilor aplicabile pentru un rezistor depinde de rezistența critică a acestuia:

$$R_{crt} = U_{\max}^2 / P_n$$

Rezultă  $R_{crt} = 245 \text{ k}\Omega$  pentru parametrii introduși la punctul 1

- În continuare se vor alege trei valori pentru rezistența nominală  $R_n$ , astfel încât:  $R_n \approx R_{crt} / 10$ ,  $R_n = R_{crt}$ ,  $R_n \approx R_{crt} \times 10$ . Pentru cele trei valori alese, stabiliți în concordanță cu cele studiate la punctul anterior, domeniul tensiunilor aplicabile fiecărui rezistor în parte. Schițați graficele precizând pe axe valorile corespunzătoare ale temperaturilor și tensiunilor și comentați (în referat) rezultatele.
- Se vor preciza pentru cele trei cazuri ale rezistenței nominale valorile tensiunii  $U_a(\theta)$  la temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , la cea nominală și la  $\theta_1$ .

## 2. Analiza solicitării unei grupări de rezistoare.

### 2.1 Rezolvarea grafică a problemei solicitării unei grupări paralel de rezistoare

După ce a fost parcurs punctul 1. vă rugăm sa rezolvați următoarea problemă: Se cere să se determine tensiunea maximă ce poate fi aplicată la bornele unei grupări de trei rezistoare conectate in paralel. Circuitul funcționează într-un mediu instabil din punct de vedere al temperaturii. Intervalul de temperatură este  $\theta$  a ( 10..155 ) grade C. Tipul si parametrii fiecărui rezistor sunt următorii:

- a) Rezistor cu peliculă de carbon TA670, producător Multicomp
- $R_{n1} = 47 \text{ k}\Omega$  rezistența nominală,
  - $P_{n1} = 0.25 \text{ W}$  puterea nominală,
  - $U_{max1} = 250 \text{ V}$  tensiunea maximă,
  - $\theta_{n1} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatura nominală,
  - $\theta_{max1} = 155 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatura maximă.

- b) Rezistor de volum CBT50, producător Tyco Electronics

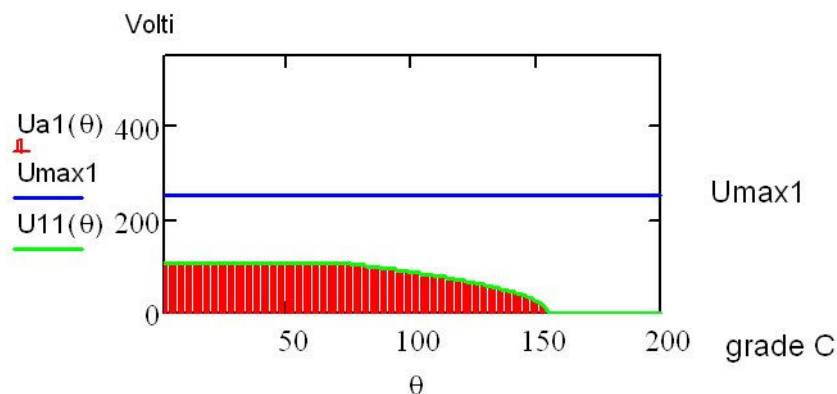
- $R_{n2} = 500000 \text{ }\Omega$  rezistența nominală,
- $P_{n2} = 0.5 \text{ W}$  puterea nominală,
- $U_{max2} = 350 \text{ V}$  tensiunea maximă,
- $\theta_{n2} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatura nominală,
- $\theta_{max2} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatura maximă.

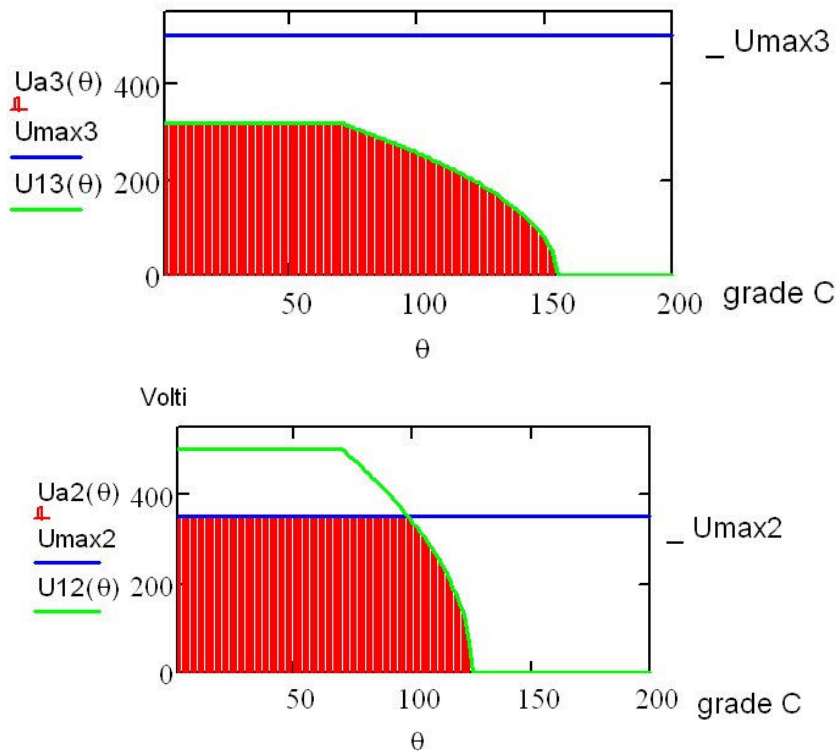
- c) Rezistor cu peliculă de carbon TA670, producător Multicomp

- $R_{n3} = 100000 \text{ }\Omega$  rezistența nominală,
- $P_{n3} = 1 \text{ W}$  puterea nominală,
- $U_{max3} = 500 \text{ V}$  tensiunea maximă,
- $\theta_{n3} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatura nominală,
- $\theta_{max3} = 155 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatura maximă.

În urma efectuării calculelor rezultă rezistențele critice pentru fiecare tip de rezistor introdus  $R_{crt1}$ ,  $R_{crt2}$ ,  $R_{crt3}$ .

- Se reprezintă grafic  $P_d(\theta)$  pentru fiecare tip de rezistor în parte:
- Se reprezintă grafic  $U_a(\theta)$  pentru fiecare tip rezistor:
- Se definește o temperatură de funcționare maximă  $\theta_{fmax}$  la care se vor calcula ulterior tensiunile corespunzătoare. Valoarea inițială este  $\theta_{fmax}=110$  grade



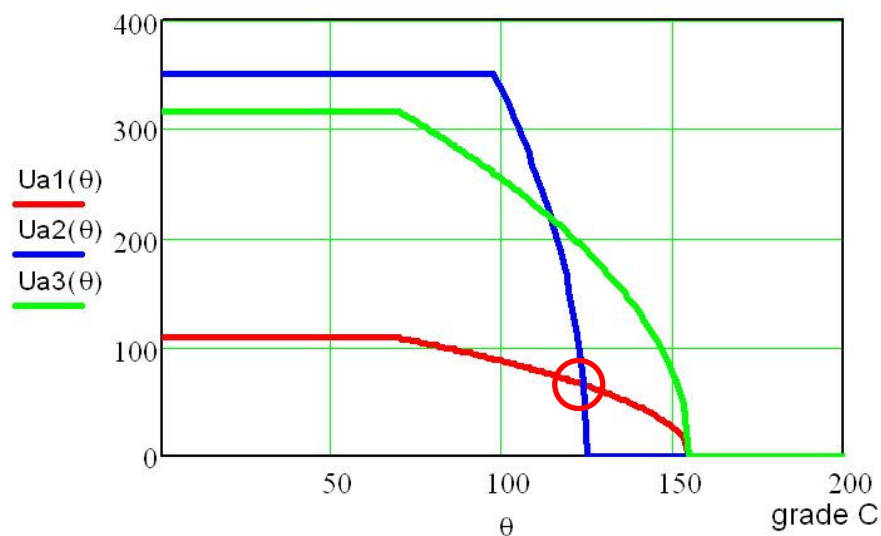


**Fig. 3** Graficele tensiunii admisibile pentru cele trei rezistoare

Rezultă tensiunile maxime admisibile ce pot fi aplicate la bornele fiecărui tip de rezistor pentru o temperatură ambiantă  $\theta_{fmax}$ . Se va preciza tensiunea maxima admisibila pentru următoarele temperaturi ambiante  $\theta_{fmax}$ : 20 grade, 70 grade, 100 grade, 120 grade modificând valoarea in program.

Pentru cazul general se poate utiliza graficul ce reunește solicitările individuale ale celor trei rezistoare  $U_{a1}(\theta)$ ,  $U_{a2}(\theta)$  și  $U_{a3}(\theta)$ . Tensiunea admisibilă rezultă  $U_{adm} = \min(U_{a1}(\theta_{fmax}), U_{a2}(\theta_{fmax}), U_{a3}(\theta_{fmax}))$

Se va defini prin relații matematice (în referat), pe domenii de temperatură, solicitarea electrică a grupării rezistoarelor. Pentru aceasta trebuie să fie determinate temperaturile punctelor de intersecție ale graficelor.



**Fig 4.** Graficele solicitării pentru cele trei rezistoare

2.2 Se cere sa se rezolve aceeași problemă ca la punctul anterior pentru alte valori ale rezistenței nominale:

Rezistor cu peliculă de carbon **TA670**

Rezistor de volum **CBT50**

Rezistor cu peliculă de carbon **TA672**

Rn1=360000 Ω

Rn2=390000 Ω

Rn3=75000 Ω

**TEMĂ** (se va prezenta in cadrul referatului): Să se rezolve problema solicitării electrice pentru gruparea serie a trei rezistoare, cu datele de la punctul 2.1.

## II. COMPORTAREA ÎN FRECVENȚĂ A REZISTOARELOR- COMPFREZ.XMCD -

Se apelează programul **COMPFREZ.XMCD**.

**Scop:** Studiarea comportării rezistorului în gama de frecvență.

Pentru studiu a fost ales un rezistor bobinat cimentat tip RBC 1003.

Se introduc următorii parametri:

R<sub>n</sub> - 350 Ω rezistența nominală  
tol - 10 % toleranța  
P<sub>n</sub> - 3 W puterea nominală

Rezistorul este realizat prin bobinare avînd:

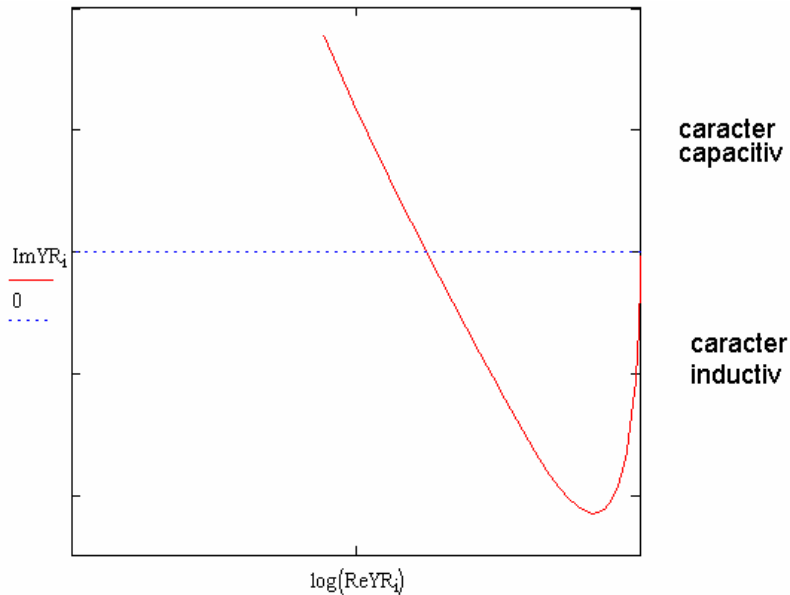
l<sub>b</sub> - 14 mm lungimea părții bobinate;  
D<sub>b</sub> - 3 mm diametrul bobinajului;  
N - 28 numărul de spire.

Se calculează inductanța parazită cu ajutorul formulei:

$$L_p = \frac{\mu N^2 S}{l}$$

Capacitatea parazită este mai greu de calculat. Experimental s-a constatat că C<sub>p</sub>>>0,3 pF.

Cu aceste date se poate calcula frecvența de rezonanță (formula [1] din cadrul programului Matcad). Reprezentarea grafică din figura 5 permite foarte ușor determinarea caracterului capacitiv sau inductiv al rezistorului.



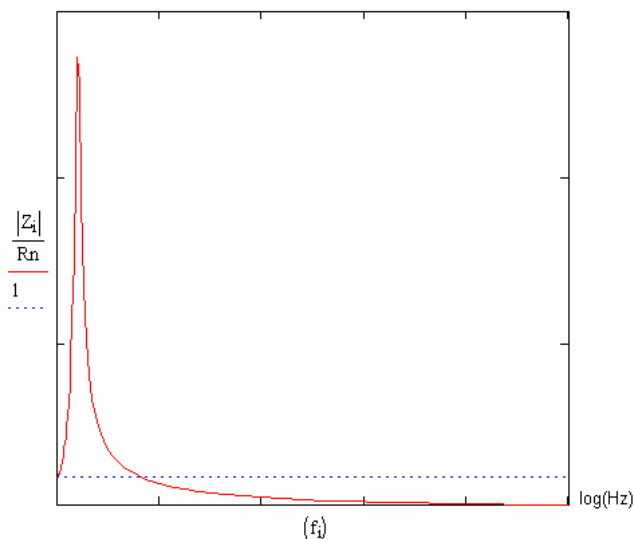
**Fig. 5** Prezentarea caracterului rezistiv,inductiv sau capacitiv în funcție de frecvență

- Pentru:  $\omega = 0$  - caracter pur rezistiv
- $\omega \in (0, \omega_0)$  - caracter inductiv
- $\omega > \omega_0$  - caracter capacitiv

Pentru valori ale rezistenței mai mari decât  $R_c$  (problema 3 din anexă) rezistorul prezintă numai caracter capacitiv.

Pornind de la modelul prezentat la curs, expresia [3] permite calcularea impedanței rezistorului analizat.

În figura 6 a fost reprezentată variația  $|Z|/R$  în funcție de frecvență. Se poate observa foarte ușor diferența între  $f_0$  și  $f_r$ .



**Fig. 6** Variația modulului impedanței în gama de frecvență

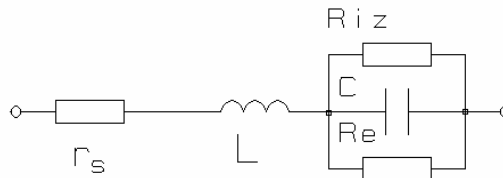
Tema: Să se rezolve problemele propuse [1, 2, 3 și 4] din Anexa 5 = program COMPFREZ.XMCD.

### III. COMPORTAREA ÎN FRECVENȚĂ A CONDENSATOARELOR - COMPFCON.XMCD

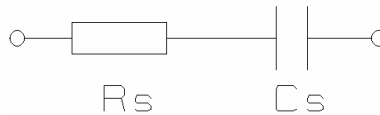
Se apelează programul **COMPFCON.XMCD**.

Programul analizează comportarea în gama de frecvență a unui condensator pe baza unei scheme echivalente, prin studiul impedanței  $|Z(f)|$ , precum și efectul conectării în circuit a condensatorului prin două trasee de cablaj (inductive).

Schema folosită este dată în figura următoare:



**Fig. 7** Schema echivalentă completă serie a unui condensator.



**Fig. 8** Schema echivalentă a unui condensator.

unde:

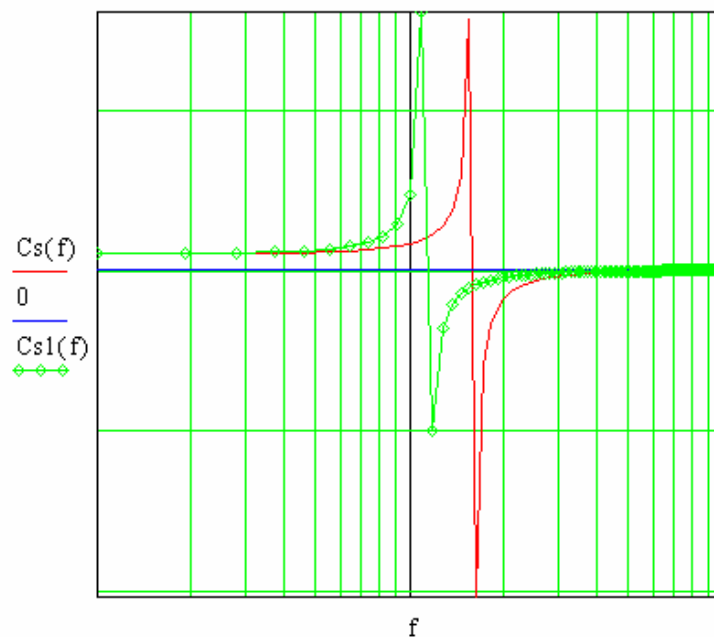
$r_s$  reprezintă rezistența armăturilor și terminalelor;

$L$  inductanța armăturilor și terminalelor;

$R_e$  rezistența de pierderi în dielectric;

$R_{iz}$  rezistența de izolație.

Dependența de frecvență a lui  $C_s$  și a lui  $|Z(f)|$  este prezentată mai jos:



**Fig. 9** Dependența de frecvență a capacității echivalente serie.

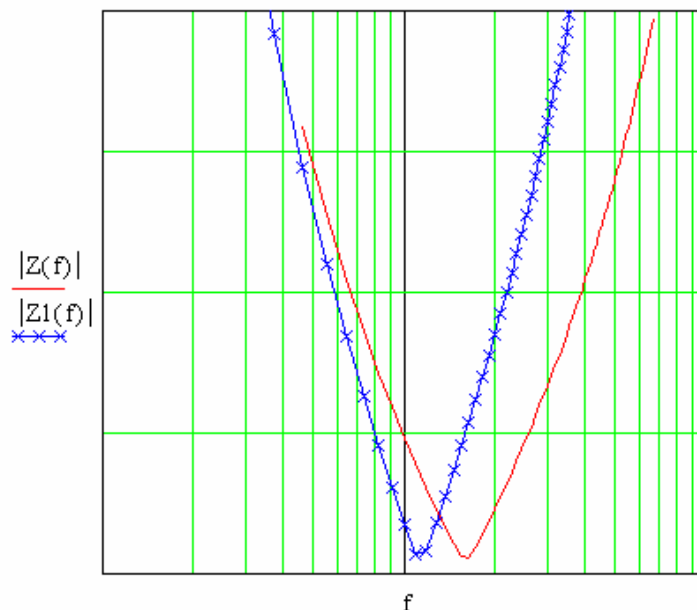


Fig 10 Dependența de frecvență a modulului impedanței.

#### IV. SOLICITAREA ELECTRICĂ A CONDENSATOARELOR ÎN FUNCȚIE DE FRECVENȚĂ -SOLCON.XMCD-

Se apelează programul **SOLCON.XMCD**.

Programul **SOLCON.XMCD** prezintă modul cum este solicitat un condensator real din punct de vedere al tensiunii aplicate la bornele sale, în funcție de frecvență.

Se definesc pentru început, pe scurt, câțiva din parametrii condensatoarelor ce se folosesc în această lucrare:

**Capacitatea nominală, C** - este capacitatea înscrisă pe corpul condensatorului

**Tensiunea nominală, Un** - este tensiunea maximă care se poate aplica condensatorului pentru o funcționare normală de lungă durată.

**Tangenta unghiului de pierderi, tg δ** - parametru care caracterizează pierderile de putere activă în condensator, definit ca raportul dintre puterea activă și puterea reactivă în condensator ( $\text{tg } \delta = \frac{P_a}{P_r}$ ).

**Puterea nominală, Pn** - este puterea maximă pe care o poate disipa condensatorul, putere care se dezvoltă din cauza pierderilor în dielectric.

**Curentul nominal, In** - este curentul maxim care poate străbate condensatorul. Valoarea sa este determinată de pierderile de putere care au loc în armăturile și terminalele condensatorului.

Se introduc datele pentru un condensator cu următorii parametri:

$$C = 68 \text{ nF},$$

$$U_n = 160 \text{ V},$$

$$P_n = 0.05 \text{ W},$$

$$I_n = 0,1 \text{ A},$$

$$\text{tg } \delta = 8 \cdot 10^{-3}.$$

Frecvența variază între (100, 100000) Hz cu pasul de 400 Hz.

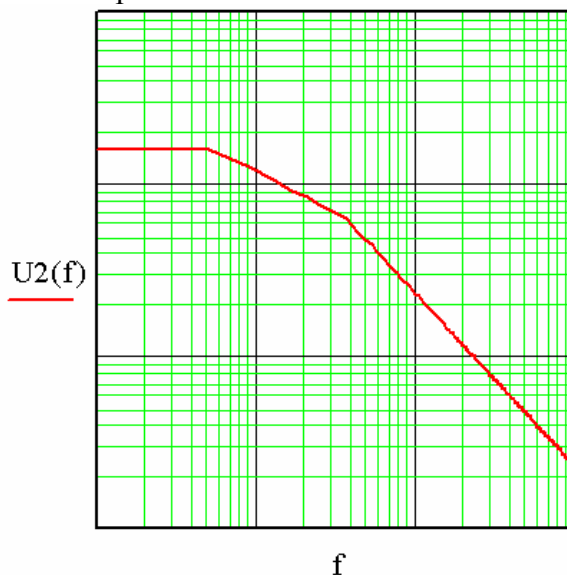
În funcție de valoarea puterii maxime disipate de condensator  $P_{dmax}$  față de puterea nominală întâlnim două situații:

a)  $P_n > P_{dmax}$ ,

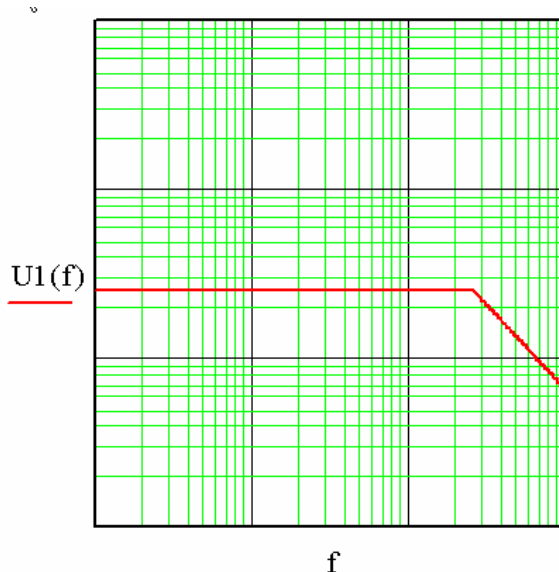
b)  $P_n \leq P_{dmax}$

În mod corespunzător există în cele două situații reprezentări diferite ale tensiunii maxime în funcție de frecvență (vezi figurile 11 și 12).

În cazul a) există pentru condensator două frecvențe caracteristice  $f_\alpha$  și  $f_\beta$  care delimitează domeniile de solicitare. În cazul b) există o singură frecvență caracteristică:  $f_c$ . Programul alege în funcție de valoarea  $P_{dmax}$  cazul corespunzător.



**Fig. 11** Tensiunea maximă aplicabilă la bornele condensatorului în cazul  $P_{dmax} > P_n$ .



**Fig. 12** Tensiunea maximă aplicabilă la bornele condensatorului în cazul  $P_{dmax} < P_n$ .

În cazul a), până la atingerea frecvenței  $f_{\alpha}$  nu trebuie depășită tensiunea, deci se poate aplica tensiunea  $U_n$ . La frecvența  $f_{\alpha}$ , datorită puterii disipate de dielectric, se atinge puterea nominală și, de la această frecvență în sus, trebuie scăzută corespunzător tensiunea. La frecvența  $f_{\beta}$  se atinge valoarea curentului nominal  $I_n$  și, pentru frecvențe mai mari, tensiunea trebuie scăzută și mai mult.

Expresiile tensiunii se prezintă mai jos:

pentru  $f < f_{\alpha}$   $U(f) = U_n$

pentru  $f_{\alpha} < f < f_{\beta}$   $U(f) = \sqrt{\frac{P_n}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta}}$

pentru  $f > f_{\beta}$   $U(f) = \frac{I_n}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$

În cazul b)  $P_{dmax} \leq P_n$  nu mai există limitare în putere deoarece valoarea  $P_n$  nu este atinsă nici în cea mai defavorabilă situație. Când frecvența crește se atinge la un moment dat curentul nominal, valoare ce nu trebuie depășită. Expresia tensiunii este prezentată mai jos:

pentru  $f < f_c$   $U(f) = U_n$

pentru  $f > f_c$   $U(f) = \frac{I_n}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$