

Disciplina:
ELECTRONICĂ DE PUTERE ÎN AUTOMATICĂ
Proiect:
SURSA STABILIZATĂ DE CURENT CONTINUU
CU FUNCȚIONARE ÎN COMUTAȚIE

Student: Rus Dana-Bendis-Héra
Grupa: 30131

2023-2024

Proiect:
SURSA STABILIZATĂ DE CURENT CONTINUU
CU FUNCȚIONARE ÎN COMUTAȚIE

A.
Proiectarea sursei nestabilizate de curent
continuu

Student: Rus Dana-Bendis-Héra
Grupa: 30131

2023-2024

A.

Proiectarea sursei nestabilizate de curent continuu

- A.1. Calculul și analiza unui transformator de rețea**
- A.2. Calculul circuitelor de redresare**
- A.3. Calculul filtrelor de netezire**

A.1. Calculul și analiza unui transformator de rețea

Datele inițiale se referă la:

- tensiunea primară de alimentare (U_1);
- $U_1 = 220V$
- tensiunile și curenții nominali secundari
 - $U_{2N} = 30V$
 - $I_{2N} = 2A$
- date despre miezul magnetic;
- date despre bobinaj (material, solicitări);

A.1.1 Schema electrica a transformatorului

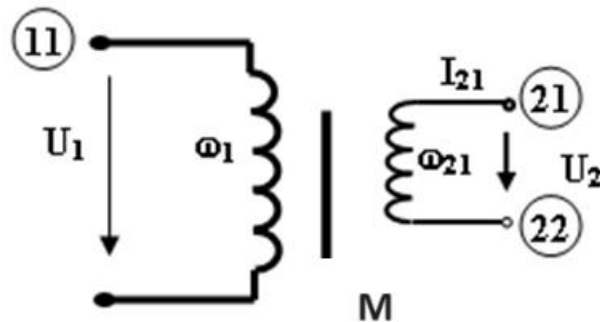


Fig. 1.

în care:

M = miez de fier,

w_1 = înfășurare primară,

w_2 = înfășurare secundară.

A.1.2. Etapele de calcul al transformatorului

A.1.2.1 Puterea totală în secundar (pentru $\cos \varphi = 1$);

$$P_2 = S_2 = U_2 \cdot I_2 = 60 \text{ [W]}$$

A.1.2.2 Puterea de gabarit (de calcul):

$$\eta_{tr} = 0.86$$

$$P_g = \frac{P_2}{2} \left(1 + \frac{1}{\eta_{tr}} \right) = 64.88 \text{ [W]}$$

în care randamentul estimat al transformatorului și densitatea admisă de curent sunt date în tabelul nr.1

Tabel nr.1

$P_2 \text{ [W]}$	10	20	30	50	70	100	200	300	500	700	1000
η_{tr}	0,78	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88	0,92	0,93	0,94	0,945	0,95
J [A/cm ²]	4	3,8	3,6	3,2		2,4	1,40	1,25	1		0,90

De notat că va fi necesară, în general, o interpolare pentru a găsi valoarea necesară (η_{tr}) în acord cu puterea (P_2) rezultată din calcul și care nu va coincide cu valorile date în tabelul nr 1.

A.1.2.3. Calculul aproximativ al secțiunii miezului de fier:

$$J = 3.04 \text{ A/cm}^2$$

$$S_{Fe} = 1.2 * \sqrt{P_g * \frac{1 + \eta_{tr}}{J * \eta_{tr}}} = 8.15 \text{ [cm}^2\text{]}$$

A.1.2.4. Alegerea tipului tolei

Pentru alcătuirea miezului transformatorului se folosesc tole de tipul E+I, conform figurii nr 2 cu o inducție admisă $B=1,1\text{[T]}$. În literatura de specialitate, aceste tole se clasifică la rândul lor, în funcție de anumite caracteristici dimensionale, existând nomenclatoare care ușurează mult alegerea tipului dorit și calculul transformatorului. Dimensiunile principale ale tolei sunt: lățimea tolei (l^*) și înălțimea ferestrei (h), rezultând de aici și celelalte dimensiuni. Evident se presupune cunoscută natura materialului din

care sunt confecționate tolele, în cazul nostru tabla de fier-siliciu. Cunoașterea secțiunii este obligatorie, deoarece puterea maximă pe care o transferă (din primar în secundar) un transformator este dependentă de secțiunea miezului.

A 1.2.5 Calculul curentului în înfășurarea primară

$$I_1 = P_g / U_1$$

$$I_1 = 0.3 \text{ A}$$

A 1.2.6 Calculul rezistenței nominale (secundare) de sarcină:

$$R_{2N} = U_{2N} / I_{2N}$$

$$R_{2N} = 15 \Omega$$

A 1.2.7 Calculul rezistenței înfășurării **secundare**:

$$R_2 = (0,5 \dots 1,5) \% * R_{2N}$$

Considerând 0.75, $R_2 = 0.11 \Omega$

A 1.2.8 Calculul rezistenței înfășurării **primare**:

$$R_1 = (0,5 \dots 0,7) \% * (U_1 / I_1)$$

Considerând 0.6, $R_1 = 4.48 \Omega$

A 1.2.9 Calculul rezistenței secundare raportate (echivalente, totale):

$$R_2^* = R_2 + R_1 * (U_{2N} / U_1)^2$$

$$R_2^* = 0.2 \Omega$$

A.2. Calculul circuitelor de redresare

Generarea și distribuția de energie electrică este de obicei realizată în curent alternativ, datorită simplității și unor rațiuni economice. Cu toate acestea, multe tipuri de echipamente electrice funcționează cu surse de curent continuu. Tensiunea alternativă trebuie să fie, prin urmare, redresată și, în cele mai multe cazuri filtrată, pentru a oferi o tensiune de ieșire dorită la un curent sau la un nivel de putere necesar.

Date inițiale:

- schemele de redresare;
- tensiunea și curentul secundar al transformatorului de rețea
- capacitatea estimată a condensatorului de filtraj

A.2.1. Scheme de redresare

Redresorul dublă alternanță convertește ambele polarități ale unei alternative în curent continuu. De asemenea se poate obține o tensiune medie de ieșire mai mare.

Pentru înfășurarea secundară (w_2) (bornele 21, 22) se recomandă o redresare în punte (punte monobloc), figura 6.

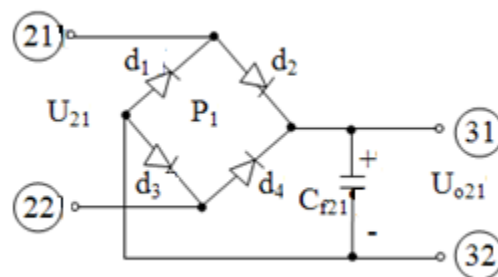


Fig.6

Alegerea punții și a diodelor redresoare se bazează pe calculul solicitărilor acestora la tensiunea maximă (la polarizare inversă) și la curent (mediu) redresat (la polarizare directă) alegând din catalog semiconductoare cu valori acoperitoare. Pe baza acestor valori se va alege tipul necesar de redresoare folosind tabelul nr.6.

Tabel nr. 6

PUNȚI (REDRESOARE) MONOFAZATE					
TIP		I _d [A]	U _{inv max} [V]	I _p ² Δt [A ² s]	U _{ef max} [V]
1PM	0,5	1,2 A	50	4.5	35
	1		100		70
	2		200		140
	4		400		280
3 PM	0,5	3,2 A	50	24	35
	1		100		70
	2		200		140
	4		400		280
10 PM	0,5	10 A	50	162	35
	1		100		70
	2		200		140
	4		400		280

A.2.2. Etape de calcul pentru alegerea redresoarelor

A.2.2.1 Coeficient de siguranță

Se impune un coeficient de siguranță: $\sigma \cong 1,5$.

A.2.2.2. Tensiunile inverse

Tensiunea inversă de catalog este tensiunea maximă pe care o punte sau o diodă o poate bloca. Tensiunile maxime la care sunt supuse punțile, respectiv diodele redresoare, în cazul polarizării inverse, în ipoteza unor condensatoare de filtraj foarte mari și a neglijării căderii directe de tensiune pe semiconductoare vor fi:

$$U_{max21} = \sqrt{2} * U_{21} = 42.43 V$$

Ținând cont de coeficientul de siguranță $\sigma \approx 1,5$, valorile acoperitoare de catalog se referă la valorile:

$$U_{max21}^* = 1.5 * \sqrt{2} * U_{21} = 2.12 * U_{21} = 63.64 V$$

pentru punte monofazăată.

A.2.2.3. Curentul mediu redresat de durată, este dat de relația:

$$\bar{I}_{2i} \cong 0,7 \cdot \bar{I}_2(A)$$

asa încât pentru alegerea punții se consideră valoarea:

$$\bar{I}_2^* = 1,5 \cdot 0,7 \cdot \bar{I}_2 = 1,05 \cdot \bar{I}_2(A), \text{ și anume}$$

$$\bar{I}_2^* = 2.1 A$$

Se va alege din catalog:

-puntea de tip 3PM, 1 cu valorile

$$U_{inv} = 100 V > U_{max21}^* = 63.64 V$$

$$I_d = 3.2 A > \bar{I}_2^* = 2.1 A$$

Din catalog se aleg și valorile solicitărilor termice:

$$I_p^2 \cdot \Delta t = 24 A^2 \cdot s$$

A.2.2.4. Verificarea redresoarelor la curentul de pornire

Curentul „de pornire” apare la încărcarea condensatoarelor de filtraj la punerea sub tensiune a sursei nestabilizate (transformator, redresor, condensator de filtraj).

În tabelul nr. 7 sunt date valori estimative în mF (uzuale în cazul surselor stabilizate de sau de uz curent) pentru diferite valori ale tensiunii redresate (\bar{U}_0) laborator și ale curentului redresat (\bar{I}_0).

Tabel nr. 7

$\bar{I}_0 [A] \backslash \bar{U}_0 [V]$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3
10	0.75	1.5	2.25	3	3.75	4.5	5.25	6	6.75	7.5	8.25	9	9.75	10.5	11.25
20	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4	4.4	4.8	5.2	5.6	6
30	0.25	0.50	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75
40	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3
50	0.15	0.3	0.45	0.6	0.75	0.9	1.05	1.2	1.35	1.5	1.65	1.8	1.95	2.1	2.25
60	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5

Valoarea curentului „de pornire” este aproximat prin relația:

$$I_p \cong I_{Dp} \cong \frac{\sqrt{2} \cdot \tilde{U}_2}{R_2^* + k \cdot r_d}$$

in care:

Considerând $k = 2$, $r_d = 0.4 \, \Omega$: $I_p = 42.43 \, A$

și respectiv (r_d) este rezistența „echivalentă” a diodei, iar (k) este numărul de diode aflate simultan în conducție:

- $k=2$ pentru figura 6 (cazul punții)

Valorile orientative ale rezistențelor echivalente ale diodelor redresoare de tensiuni joase ($U_{inv \text{ cata log}} < 100 - 150 \, V$) sunt date în tabelul nr.8.

Tabelul nr.8

$I_D [A]$	0.3	0.7	1	3	5	10
$r_d [\Omega]$	4	1.7	1.2-3.75	0.4	0.24	0.12

Durata încărcării inițiale a condensatorului de filtraj se poate aproxima cu relația:

$$\Delta t^* \cong (R_2^* + k \cdot r_d) \cdot C_f,$$

rezultând:

$$\text{Considerând } C_f = 2.5 \, mF, \Delta t^* = 2.5 \, ms$$

Solicitarea termică a diodei la încărcarea inițială corespunde relației:

$$I_p^2 \cdot \Delta t^* = \frac{2(\tilde{U}_2)^2}{(R_2^* + k \cdot r_d)} \cdot C_f = 4.5 \, A^2 \cdot s$$

Acesta valoare trebuie să fie mai mica decât valoarea

$$(I_p^2 \cdot \Delta t)$$

alese din catalog pentru punte.

A.3. Calculul filtrului de netezire

A.3.1. Calculul condensatorului de filtrare a tensiunii redresate

Calculul se referă la valorile necesare ale condensatorului (C_{f21}). Calitatea filtrării este dată de *factorul de pulsație* (p) și de *coeficientul de filtrare* (q).

În cazul tensiunii obținute prin redresarea unei tensiuni alternative se constată o componentă continuă (\bar{U}), egală cu valoarea medie a tensiunii redresate, peste care se suprapune o componentă alternativă ($\Delta\tilde{U}$). Întrucât componenta alternativă („ripple”) are o formă complicată, greu de descris analitic, acesta se aproximează cu prima armonică (\tilde{U}_1) a cărei amplitudine are valoarea apropiată de amplitudinea componentei alternative. **Factorul de pulsație** (p) al tensiunii pulsatorii redresate, în lipsa unui condensator, este definit prin raportul:

$$p_i = \frac{\Delta\tilde{U}}{\bar{U}} \cong \frac{\tilde{U}_1}{\bar{U}}$$

(p_i la „intrare”, adică în lipsa condensatorului)

În cazul redresării dublă alternanță (idealizate, fără condensator)

$$p \equiv p_i = \frac{2}{3} \cong 67\%.$$

Neglijând căderile directe de tensiune pe diode, redresarea unei tensiuni efective (U_{ef}) conduce la o valoare medie (fără condensator de filtrare), de valoare:

$$\bar{U} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \tilde{U}_{ef} \cong 0,9 \cdot \tilde{U}_{ef}$$

Dacă (ΔU_D) este căderea directă pe diode (luată, pentru a simplifica calculele $\Delta U_D = 0,75V$), în cazul punții din figura A.2.1.a:

$$\tilde{U}_2 \cong 0,9 \cdot e_2^* - 2\Delta U_D$$

Prezența condensatorului de filtrare reduce componenta alternativă și mărește valoarea medie, în funcție atât de valoarea condensatorului de filtraj cât și de cea a rezistenței de sarcină, în gama posibilă:

$$\tilde{U}_2 \cong (0,9 \div 1,41) \cdot e_2^* - k \cdot \Delta U_D; k = 2.$$

La o rezistență de sarcină și condensator de filtraj de valori mari, ne apropiem de valoarea (1,41), pe când la rezistență de sarcină mică și condensator mic, se coboară spre 0,9 (caz fără condensator).

Să presupunem că, prin folosirea condensatoarelor, se dorește o reducere a factorului de pulsație de la $p_i = 67\%$ la

$$P_o = (8 \dots 10)\%$$

în condițiile sarcinii nominale ($R_{SN} = \frac{U_2}{I_2}$),

A.3.2. Etapele de calcul al valorilor condensatoarelor de filtrare

A.3.2.1. Se calculează coeficientul de filtrare

$$q = \frac{p_i}{p_o} = 7.45 \gg 1, \text{ pentru } p_o = 9\%$$

A.3.2.2. Calculul rezistențelor echivalente

Pe baza rezistenței nominale de sarcină (R_{SN}), și a rezistenței totale a redresorului

$$\begin{aligned} R_{rt} &= R_2^* + k \cdot r_d; \\ k &= 1 \text{ (pentru diode) sau } k = 2 \text{ (pentru punte)} \\ R_{rt} &= 1 \Omega; \end{aligned}$$

se poate calcula valoarea necesară a condensatorului de filtrare.

A.3.2.3. Calculul condensatorului de filtrare folosește relația:

$$\begin{aligned} C_f^* &= \frac{1600 \cdot q(R_{rt} + R_{SN})}{R_{rt} \cdot R_{SN}} \quad [\mu F] \\ C_f^* &= \frac{1600 \cdot q(R_{rt} + R_{SN})}{R_{rt} \cdot R_{SN}} = 12.715 \text{ mF} \end{aligned}$$

Valoarea calculată se compară cu valorile estimate din tabelul A.2.2.3.a (C_{fi}).

A.3.2.4. Analiza comportării în sarcină a redresorului cu filtru

Valoarea **exactă** a tensiunii medii redresate, **în sarcină** (TG cu condensator de filtrare) necesită un calcul complex. Pentru a evita acest efort se folosesc diagramele din figura 9 în care:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_r = R_{rt} = R_2^* + k \cdot r_d, \\ R_o = R_{SN} = \frac{U_2}{I_2}, \\ \omega = 314(\text{rad/sec}); C_o = C_f^*, \text{ (tabelul nr 7)} \\ E_o = 1,41 \cdot e_2^* - k \cdot \Delta U_D, k = 1 \text{ sau } k = 2 \\ R_r = R_{rt} = R_2^* + k \cdot r_d = 1\Omega \\ R_o = R_{SN} = \frac{U_2}{I_2} = 15\Omega \\ k_r = \frac{R_r}{R_o} = 0.067 \\ \omega = 314(\text{rad/sec}); C_o = C_f^* = 2.8\text{mF (tabelul nr 7)} \\ E_o = 1,41 \cdot e_2^* - k \cdot \Delta U_D = 40.93\text{V}, k = 2 \end{array} \right.$$

Evident, relațiile anterioare se aplică pentru fiecare înfășurare secundară și rezultă **coeficientul de tensiune în sarcină**:

$$k_u = \frac{U_o}{E_o} \text{ dependent de } (\omega C_o R_o) \text{ și de raportul } \left(k_r = \frac{R_r}{R_o} \right)$$

așa încât, în sarcină, (la $\bar{I}_{oi} = \tilde{I}_{2i}$), tensiunea pe condensatoarele de filtrare va fi:

$$\bar{U}_{oiN}^* = k_{ui}^* \cdot \bar{E}_{oi}$$

$$\bar{U}_{oN}^* = k_u^* \cdot \bar{E}_o$$

Caracteristicile liniarizate de sarcină vor fi cele din figura 7

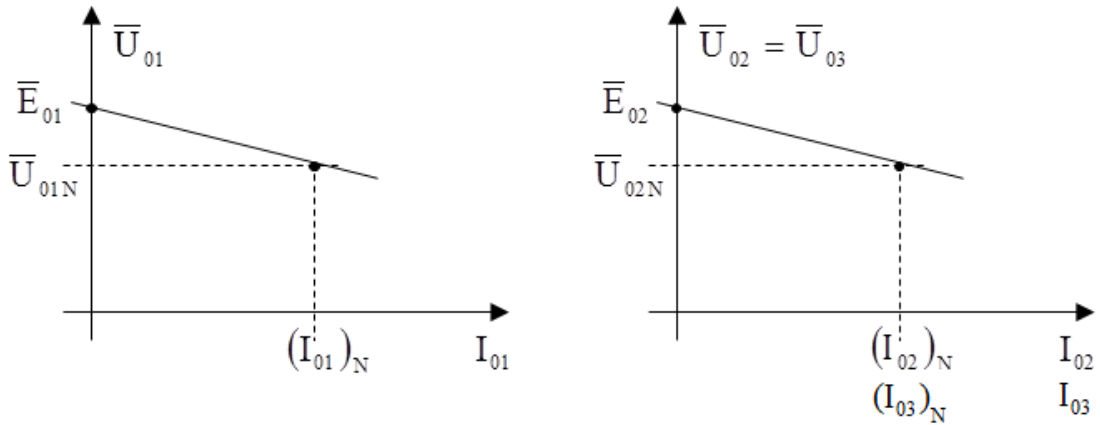


Figura 7 Caracteristicile liniarizate de sarcină ale transformatorului

A.3.2.5. Calculul prin nomograme al valorii condensatorului de filtrare (C_{fi}^{**})

Plecând de la valoarea impusă pentru factorul de pulsație (p_o) și cunoscând valorile

$$R_o = R_{SN}; R_r = R_{rt} = R_{2+}^* + k \cdot r_d, k_r = \frac{R_r}{R_o}$$

rezultă din monograma dată în figura 10. produsul $(\omega C_o R_o)$ și deci

$$C_o = C_f^{**} = \frac{(\omega C_o R_o)}{\omega R_o} [F]$$

$$C_o = C_f^{**} = \frac{(\omega C_o R_o)}{\omega R_o} = 2.5 \text{ mF}$$

A.3.2.6. Valoarea finală a condensatorului de filtraj va fi media aritmetică

$$\bar{C}_{fi} = \frac{C_{fi}^* + C_{fi}^{**}}{2} [F]$$

$$\bar{C}_{fi} = \frac{C_{fi}^* + C_{fi}^{**}}{2} = \frac{2.8 + 12.715}{2} = 7.61 \text{ mF}$$

Tensiunea de lucru a condensatoarelor va fi egală cu tensiunea inversă de catalog a diodelor (punților).

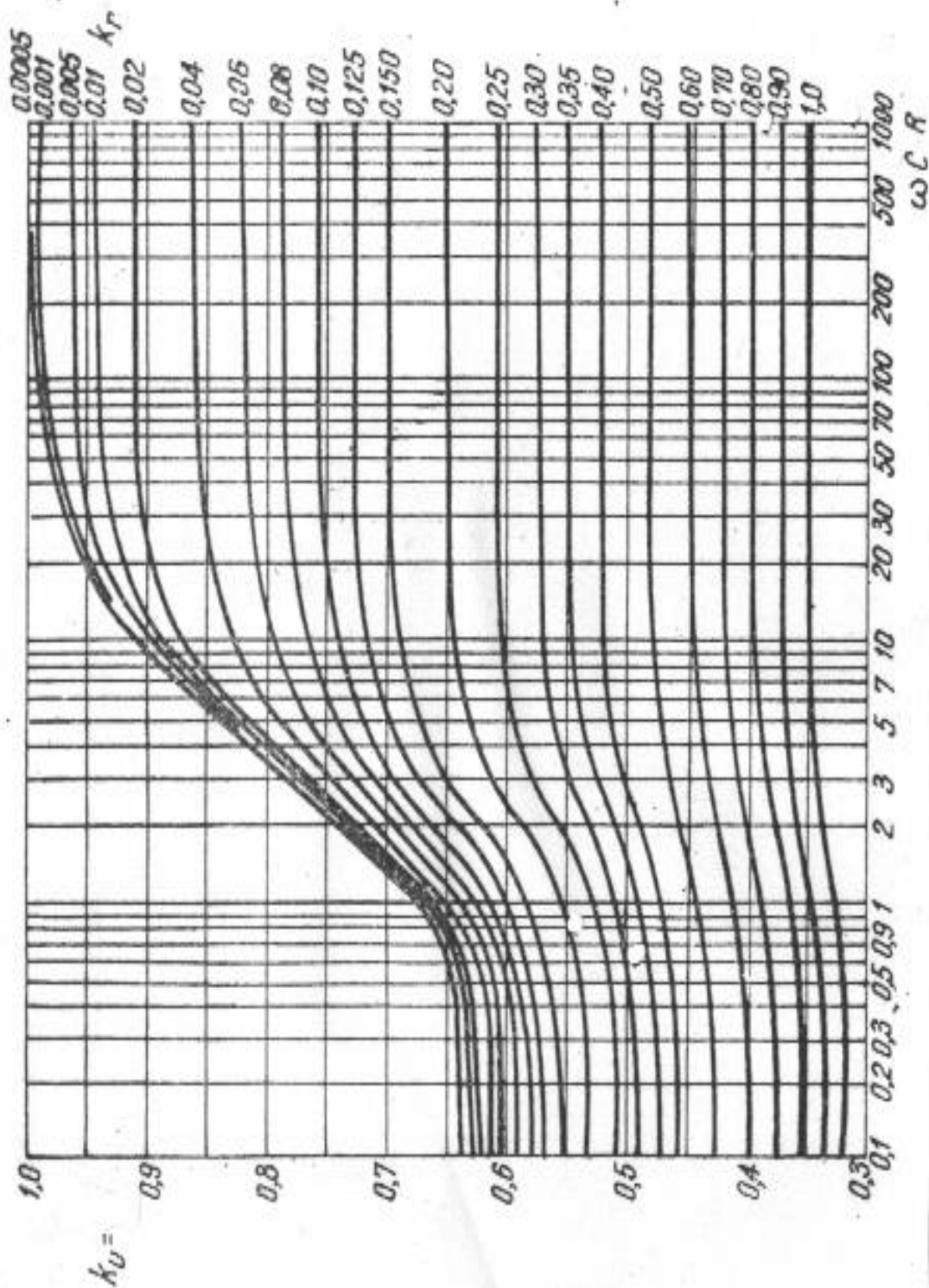


Figura 9. Variația coeficientului de tensiune în gol în funcție de $\omega C_0 R_0$ pentru redresorul bialternanță (în punte)

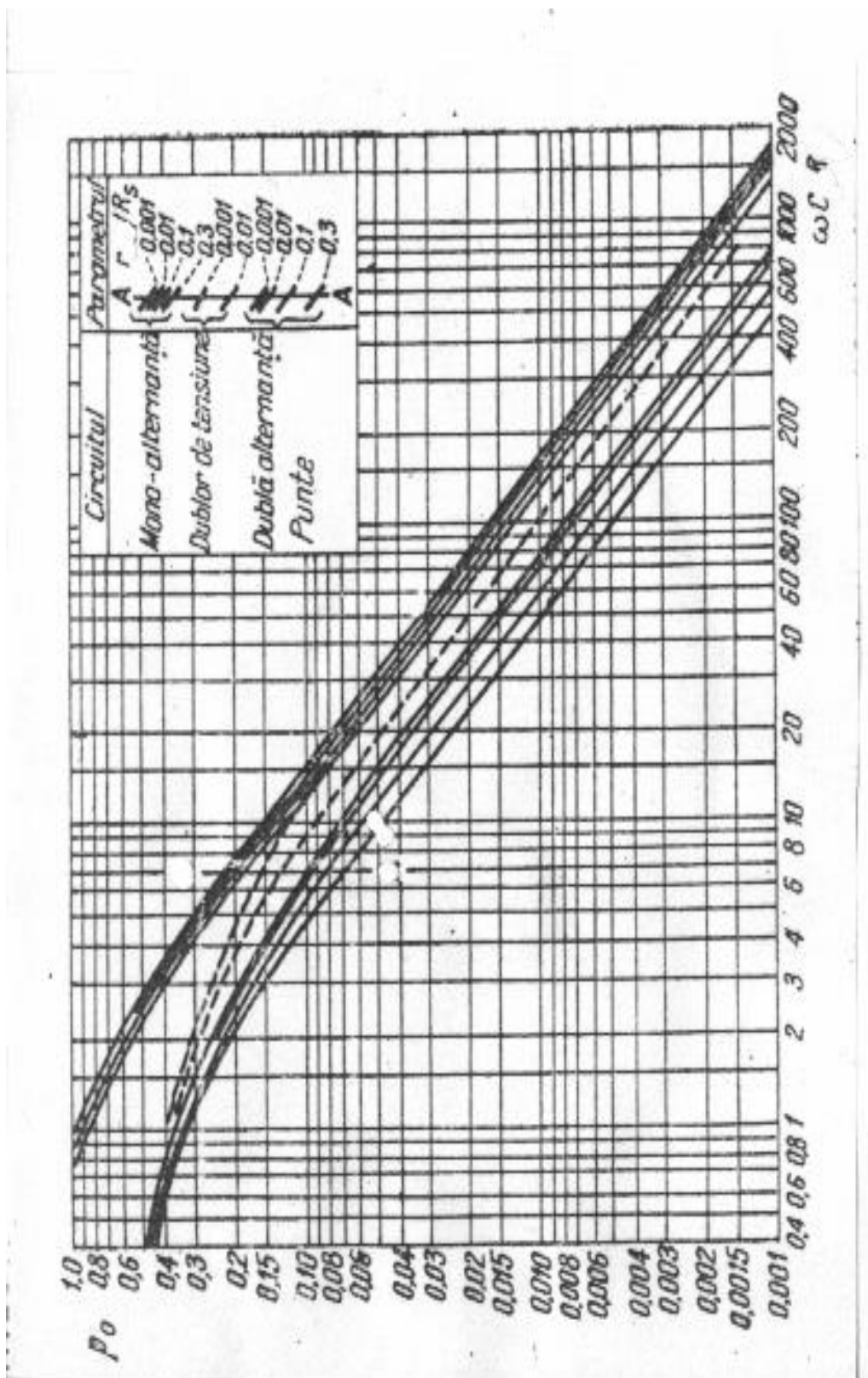


Figura 10. Variația factorului de pulsație pentru diferite tipuri de redresoare