

CAPITOLUL 5

CIRCUITE ELECTRICE NELINIARE DE CURENT CONTINUU

5-1. MONTAREA ÎN SERIE A ELEMENTELOR NELINIARE

Enunțul problemei

Două termistoare (elemente semiconductoare cu coeficienți de variație a rezistivității cu temperatura de valori mari) având caracteristicile tensiune-curent T_1 și T_2 (fig. 5-1) sunt conectate în serie (fig. 5-2). Să se determine soluțiile dintre termistorul lui T_1 și curent, limitele de modificare a tensiunilor de pe fiecare termistor și la bornele AB (fig. 5-2) în cazul în care curentul prin circuit variază între 1 și 8 mA.

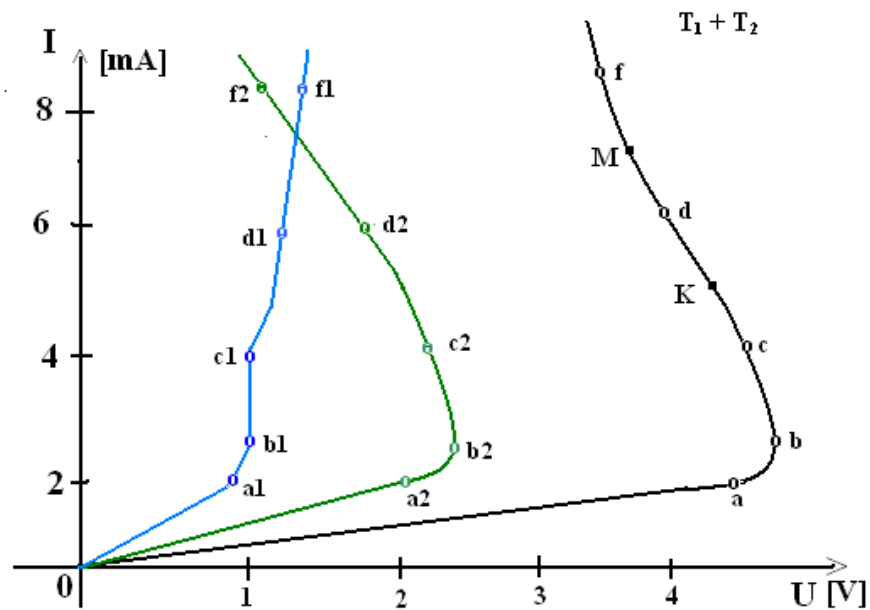


Fig. 5-1 Caracteristica tensiune-curent a termistoarelor

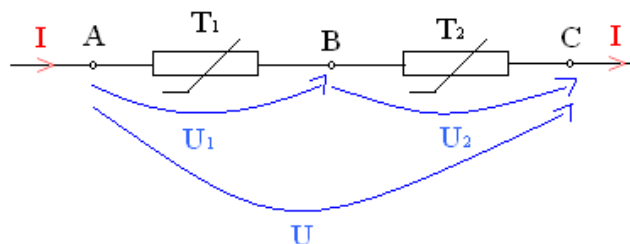


Fig. 5-2 Legarea în serie a rezistoarelor

Rezolvarea problemei

1. **Determinarea relației dintre rezistență și curent.** În problemele prezentate în capitolele precedente s-a propus că rezistența fiecărui receptor este constantă (independentă de curentul care îl străbate). Astfel de rezistoare sunt numite liniare. Caracteristica tensiune-curent a unui rezistor liniar este reprezentată printr-o dreaptă care trece prin originea coordonatelor (fig. 5-3). Din cauză că pentru toate punctele unei drepte raportul dintre tensiune și curent este același.

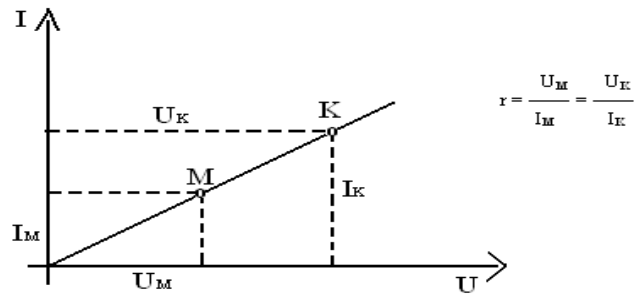


Fig. 5-3 Caracteristica tensiune-curent a unui element liniar

Din caracteristica tensiune-curent, de exemplu, a termistorului T_1 (fig. 5-1) , se observă că punctul O_{a1} caracteristica prezintă o porțiune liniară. În cazul în care curentul se modifică între 0 și 1 mA (punctul a_1 de pe caracteristică) rezistența termistorului este constantă și egală cu :

$$r_{T1} = \frac{U_{a1}}{I_{a1}} = \frac{1,75 \text{ V}}{10^{-3}} = 1750 \Omega = 1,75 \text{ k}\Omega$$

adică, pe această porțiune termistorul are o rezistență liniară.

În același timp, în urma creșterii ulterioare a curentului, caracteristica tensiune-curent se îndepărtează mult de la dreapta inițială (porțiunea $a_1 f_1$ din fig 5-1 ,când curentul este mai mare decât 1 mA) și devine aproape paralelă cu axa

curentului. Aceasta înseamnă că în forma rezistenței unui termistor , $r_T = - \frac{U}{I}$,

numitorului crește, în timp ce numărătorul variază puțin. Din această cauză cu creșterea numitorului I rezistența r_T se micșorează.

Cum se poate, atunci, stabili relația $r_T(I)$?

Cu ajutorul caracteristicii tensiune-curent T_1 (fig. 5-1) se găsesc pentru anumite puncte ale sale relații între tensiune și curent care exprimă rezistența termistorului în acele puncte și se trec valorile obținute în tabelul 5-1.

Tabelul 5-1

Punct a_i caracteristicii tensiune-curent	Curentul I [mA]	Tensiunea U [V]	Rezistența r_{T1} [k Ω]
a_1	1	1,75	1,75
b_1	2	1,9	0,95
c_1	4	1,85	0,46
d_1	6	1,95	0,325
e_1	8	2,15	0,27

Cu ajutorul acestor date se construiește diagrama care reprezintă soluții $r_{T1}(I)$ (fig. 5-4).

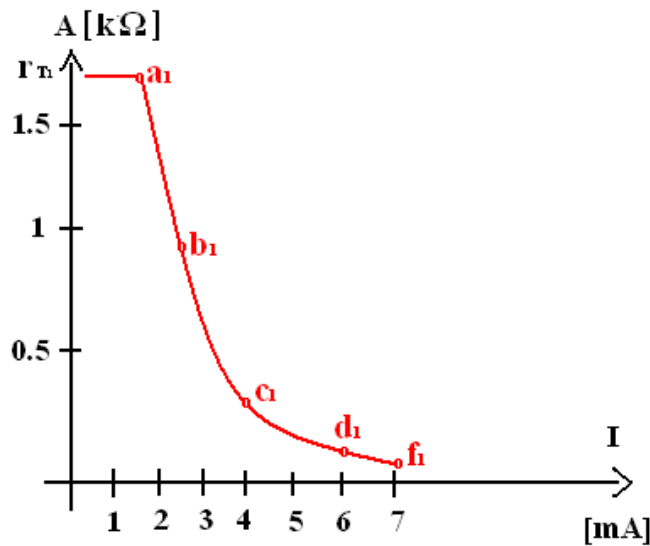


Fig. 5-4 Graficul care reprezintă rezistența unui termistor funcție de curent

Pentru ușurarea comparării graficul obținut cu caracteristica tensiune-curent T_1 (fig. 5-1) punctele corespunzătoare ale graficului și caracteristicii sunt reprezentat în același mod.

Astfel, rezistența unui element neliniar nu este constantă și se determină prin relațiile $r_T(I)$ și $r_T(U)$.

2. Determinarea limitelor de variație a tensiunii pe termistoare. Pentru termistorul T_1 se pot utiliza date din tabelul 5-1. Din acest tabel se poate redacta atunci când curentul variază între 1 și 8 mA tensiunea crește de la $U_{a1} = 1,75$ V la $U_{f1} = 2,15$ V. Pentru termistorul T_2 se obține, cu ajutorul caracteristicii sale tensiune-curent (fig. 5-1) valorile limite ale termistoarelor $U_{b2} = 2,6$ V și $U_{f2} = 1,9$ V.

3. Trasarea caracteristicii tensiune-curent pentru două termistoare cuplate în serie. Relația între tensiunea la bornele AC (fig. 5-2) și curentul I se exprimă prin caracteristica tensiune curent a porțiunii AC (fig. 5-2), adică a două elemente neliniare conectate în serie. Cum se construiește această caracteristică ?

În acest caz trebuie utilizate proprietățile caracteristicii serie: tensiunea la bornele AC (fig. 5-2) este egală cu suma tensiunilor de pe porțiunile AB și BC sau $U = U_1 + U_2$. În acest caz , după caracteristicile tensiune-curent ale termistoarelor T_1 și T_2 (fig. 5-1) se poate, de exemplu, pentru un curent de 1 mA să se determine tensiunea totală pe cele două termistoare: $U_a = U_{a1} + U_{a2}$. Punctul a (fig. 5-1) a cărui abscisă este egală cu suma absciselor punctelor a_1 și a_2 , aparțin caracteristicii tensiune-curent echivalente. Caracteristicile cu însumarea absciselor punctelor b_1 și b_2 (pentru un curent egal cu 2 mA), c_1 și c_2 (pentru un curent egal cu 4 mA), etc. , și se obțin punctele b, c, etc, ale curentului tensiune-curent echivalente.

Astfel, caracteristica echivalentă a unui montaj serie poate fi construită prin adunarea tensiunilor de pe termistorul parcurs de același curent.

Din caracteristica tensiune-curent echivalente (fig. 5-1) se găsește că tensiunea pe porțiunea AB (fig. 5-2), atunci când curentul variază între 1 și 8 mA, se modifică între limitele valorii maxime U_b și valorii minime U_d :

$$\Delta U = U_b - U_d = 4,45 - 4 = 0,45 \text{ V}$$

Discuții suplimentare

1. Este posibil de înlocuit rezistențele neliniare conectării în serie cu un rezistor echivalent? După ce s-a obținut caracteristica tensiune-curent echivalentă ($T_1 + T_2$) reprezentată în fig 5-1, se poate deci construi o diagramă care dă legătura între rezistență și curentul care parcurge porțiunea AC (fig. 5-2), la fel cum s-a făcut deja pentru termistorul T_1 . Graficul $r_{AC}(I)$ caracterizează variația rezistenței neliniare echivalente, incluzând două termistoare conectate în serie.

Graficul $r_{AC}(I)$ poate fi construit prin adunarea ordonatelor graficelor $r_T(I)$ ale celor două termistoare.

2. Ce curent va trece prin circuitul termistoarelor dacă porțiunea AC (fig. 5-2) este conectată la bornele unei mase de tensiune de 4 V ?

Cu ajutorul caracteristicii tensiune-curent echivalente ($T_1 + T_2$) din fig. 5-1 se poate determina nu numai tensiunea la bornele porțiunii AC curentul fiind dat, dar și curentul atunci când se dă tensiunea. Porțiunea KM a caracteristicii va fi atunci aproape paralelă cu axa curentului, cea mai mică variație a tensiunii sursei în jurul valorii de 4 V produce variații bruște ale curentului prin circuit (între limitele 5 și 7 mA).

3. Care va fi regimul de alimentare a porțiunii AC atunci când tensiunea este stabilizată ?

Porțiunea AC (fig. 5-2) trebuie să fie alimentată de la o masă de rezistență internă $r_0 \gg r_{AC1}$ de exemplu, prin conectarea unei surse de alimentare obișnuite conectată în serie cu o rezistență relativ ridicată. Eventualele soluții ale curentului prin circuit (porțiunea KM) nu influențează aproape deloc tensiunea U_{AC} , ceea ce înseamnă că tensiunea pe porțiunea AC va fi foarte slabă.

Pentru stabilizarea tensiunii în circuite de curent continuu se utilizează în mod obișnuit elemente neliniare cu caracteristici tensiune-curent care au porțiuni aproape paralele cu axa curentului (stabilovolt).

4. Ce utilizări au termistoarele ? Coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura majorității termistoarelor este de aproape 10 ori mai mare decât al metalelor și are semn negativ. Termistoarele sunt des folosite în dispozitive de reglare, de măsură și de compensație a influenței temperaturii. Astfel, în cazul unui voltmetru creșterea temperaturii determină apariția unui erori datorat creșterii a rezistenței circuitului său (a cadrului și a rezistenței adiționale). Înlocuind o parte din rezistența adițională a unui voltmetru printr-un termistor a cărui rezistență scade cu creșterea temperaturii se obține o scădere considerabilă (de 10 ÷ 15 ori) a erorii voltmetrului datorită temperaturii.

5-2. CONECTAREA ÎN SERIE A ELEMENTELOR LINIARE ȘI NELINIARE

Enunțul problemei

Un circuit (fig. 5-5, a) este format dintr-o sursă de tensiune electromotoare $E_a = 300 \text{ V}$, rezistor linear $r_a = 115 \text{ k}\Omega$ și o porțiune AC (anod-catod) a unei triode. Curentul prin circuit, care reprezintă și curentul anodic al triodei I_a , determină între anod și catod o tensiune U_a (tensiunea anodică) între grila G și catodul C ale triodei este conectată în serie sursa de tensiune electromotoare $E_g = 1 \text{ V}$ a cărei prezență produce apariția pe caracteristica tensiune-curent (relații dintre curentul anodic I_a și tensiunea anodică U_a) a curbei ENL (fig. 5-6). Se cere :

- 2) determinarea curentului I_a a tensiunilor U_a și U_r ;
- 1) înlocuirea elementului neliniar (trioda) printr-o porțiune echivalentă dinamică și determinarea curentului prin circuit I_a care asigură o tensiune U_a variabilă între limitele 140 și 172 V.

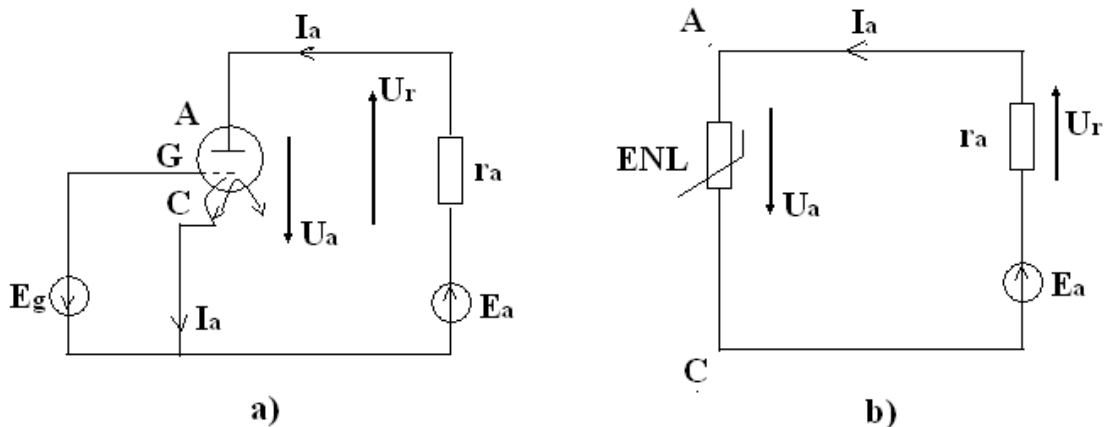


Fig. 5-5 Conectarea în serie a unui rezistor linear cu triodă (a), schema echivalentă a circuitului (b)

Rezolvarea problemei

1. Metoda de rezolvare. Înlocuind trioda (porțiunea AC, fig. 5-5, a) cu un element neliniar ENL se obține schema echivalentă a circuitului dat (fig. 5-5, b) care este formată din rezistorul liniar $r_a = 115 \text{ k}\Omega$ se poate construi (ca mai jos).

Astfel, pentru rezolvarea problemei date se pot utiliza toate metodele menționate în § 5- 1 (a se vedea, de asemenea, și discuția suplimentară 1 a acestui paragraf) .

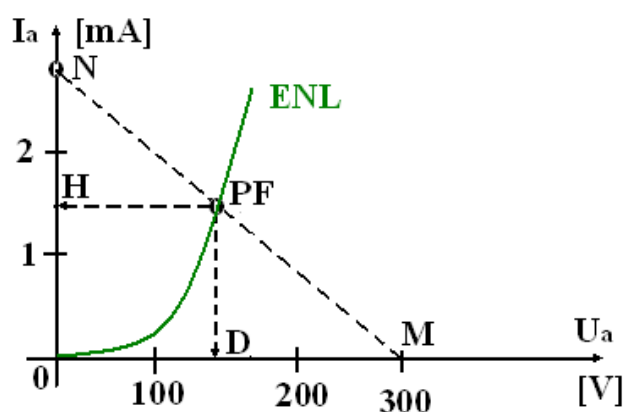


Fig. 5-6 Intersecția caracteristicii tensiune-curent a unui element neliniar cu caracteristica de sarcină

Este, deci, logic să se examineze aici o problemă analogă (deja studiată!). Circuitul dat (fig.5-5) prin faptul că unul din elementele sale este un rezistor liniar. Astfel de circuite sunt des utilizate în practică și calculul lor prezintă un interes deosebit. Pe de altă parte, și aceasta este, de asemenea esențial, există o metodă mai simplă pentru calcularea unei conexiuni serie a elementelor liniare și neliniare. Ea se bazează pe punerea la punct a ceea ce se numește caracteristica de sarcină.

Se va arăta că această metodă se bazează pe circuitul dat (fig. 5-5 b) pentru care:

$$r_a I_a = U_r = E_a - U_a ,$$

de unde:

$$r_a = \frac{E_a}{r_a} - \frac{U_a}{r_a}$$

Notând mărimile cunoscute $\frac{E_a}{r_a} = a$ și $\frac{1}{r_a} = b$, se obține ecuația unei drepte

$$I_a = a - bU_a$$

Se adeverește că avem două relații pentru curentul I_a în funcție de tensiunea U_a : una este dată de graficul ENL (fig. 5-6) și cealaltă de ecuația dreptei $I_a = a - bU_a$, și exprimă proprietățile circuitului format din conectarea în serie a r_a și ENL. Reglarea simetrică a celor două relații indirecte permite găsirea valorilor curentului I_a și a tensiunii U_a care satisfac proprietățile ENL (trioda) și a circuitului (fig. 5-5,b).

Soluția necesară se obține, în general, pe cale grafică, din cauză că una dintre soluții este deja dată prin curba ENL (fig. 5-6). Pentru stabilirea dreptei se iau două puncte caracteristice:

$$a) I_a = 0 \text{ sau } 0 = a - bU_a,$$

De unde:

$$U_a = \frac{a}{b} = \frac{E_a}{r_a} \quad r_a = E_a$$

și se obține, deci, punctul M (fig.5-7) de coordonate $U_a = E_a$; $I_a = 0$;

$$b) U_a = 0 \text{ sau } I_a = \frac{E_a}{r_a}$$

adică, tocmai punctul N (fig. 5-7) de coordonate $U_a = 0$, $I_a = \frac{E_a}{r_a}$.

Astfel, dreapta căutată, numită caracteristica de sarcină, poate fi trasată după punctele intersecției sale cu axele curentului și a tensiunii (punctele N și M din fig. 5-7).

2. Calculul curentului și a tensiunii. Peste graficul ENL se trasează cealaltă relație între I_a și U_a (fig. 5-6), adică tocmai caracteristica de sarcină MN. Punctul său M este determinat de $U_a = E_a = 300$ V și punctul N, prin valoarea

$$I_a = \frac{E_a}{r_a} = \frac{300}{115 \cdot 10^{-3}} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 2,6 \text{ mA}$$

Dreapta MN taie caracteristica elementului neliniar în punctul PF (punct de funcționare) care reprezintă soluția grafică a celor două soluții examinate. Astfel spus, punctul PF determină unicul regim realizabil al circuitului (fig.5-5).

Acest regim este determinat de curentul $I_a = 1,3 \text{ mA}$ (fig. 5-6, ordonata OH a punctului PF) și de tensiunea $U_a = 160 \text{ V}$ (fig. 5-6, abscisa OD a punctului PF)

Tensiunea pe rezistorul liniar

$$U_r = E_a - U_a = 300 - 160 = 140 \text{ V}$$

este determinată de către segmentul de dreaptă MD (fig. 5-6).

Dat fiind că soluția este găsită ca punctul de intersecție a caracteristicii tensiune-curent și a caracteristicii de sarcină, metoda utilizată este numită << metoda intersecțiilor >> .

3.Înlocuirea unui element neliniar printr-o porțiune echivalentă liniară a circuitului. Să găsim mai întâi porțiunea din caracteristica tensiune-curent care trebuie să fie liniarizată. În acest scop, vom transpune caracteristica ENL (fig. 5-6) pe fig. 5-8 (curba ODFA) și vom alege porțiunea DF corespunzătoare tensiunilor date (după condițiile problemei) $U_a = 140$ până la 180 V .

Apoi se va substitui porțiunea DF a curbei prin segmentul DF al dreptei și se va determina parametrii dreptei. După aceea, se va trasa prin punctele D și F o dreaptă O_1K_1 pe care apoi o vom deplasa paralel până când trece prin originea coordonatelor (dreapta OK). Toate punctele dreptei OK (fig. 5-8) se

caracterizează prin același raport $\frac{U_a}{I_a} = r_e$. Se poate deci stabili pentru orice punct.

Astfel, atunci când $I_a = 2 \text{ mA}$ vom avea $U_a = 120 \text{ V}$ și

$$r_e = \frac{U_a}{I_a} = \frac{120}{2 \cdot 10^{-3}} = 60 \text{ k}\Omega$$

În caracteristică, dreapta OK reprezintă caracteristica tensiune-curent a rezistorului liniar $r_e = 60 \text{ k}\Omega$

Abscisele punctelor corespunzătoare dreptelor OK și O_1K_1 (fig. 5-8) sunt plasate pentru o valoare a unei tensiuni constante $U_e = E_e = 75 \text{ V}$, determinată de segmentul de dreaptă OO_1 (fig. 5-8).

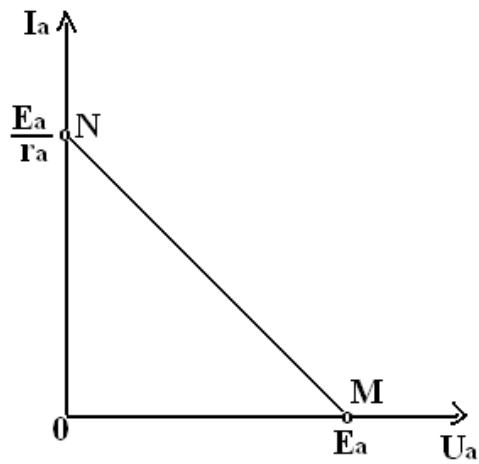


Fig. 5-7 Caracteristica (dreapta) de sarcină

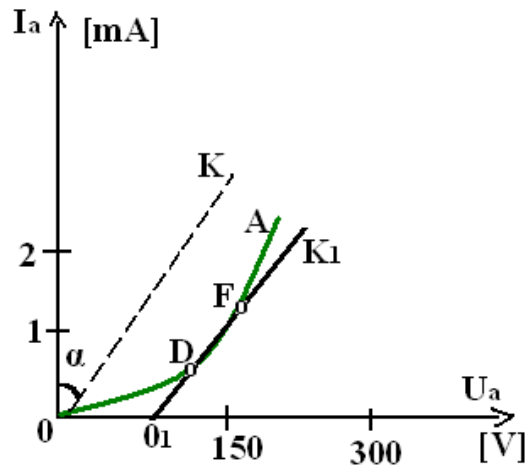


Fig. 5-8 Lungimea porțiunii DF a caracteristicii tensiune-curent ODFC

Dacă, deci, dreapta OK se determină prin ecuația:

$$U_a = r_e I_a$$

Dreapta O_1K_1 se determină prin :

$$U_a = r_e I_a + E_e$$

sau

$$I_a = \frac{U_a - E_e}{r_e}$$

Această ultimă relație corespunde porțiunii de circuit AC (fig. 5-9) care este echivalentă (în condițiile date) cu porțiunea AC din (fig.5-9,b) .

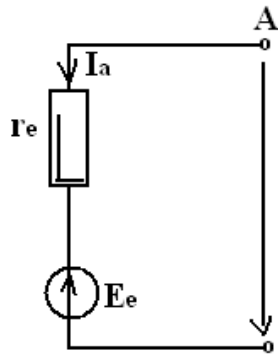


Fig. 5-9 Tensiune electromotoare și rezistor ; porțiune echivalentă a caracteristicii tensiune-curent

Determinarea curentului I_a prin circuitul din fig. 5-5, b atunci când în loc de ENL este conectată porțiunea AC din fig. 5-9, se face astfel

$$I_a = \frac{E_a - E_e}{r_a + r_e} = \frac{300 - 75}{(115 + 60) \cdot 10^3} = 1,28 \text{ mA} ,$$

Adică, rezultatul este foarte apropiat de acela obținut mai înainte $I_a = 1,3 \text{ mA}$. Eroarea mai mică decât 2 % este considerată ca fiind foarte mică pentru un precedent grafic.

Astfel, un element neliniar funcționează pe o mică porțiune din caracteristica sa tensiune-curent și dacă aceasta poate fi înlocuită cu a aproximație dinainte constantă printr-o dreaptă, atunci ENL poate fi reprezentat pe schema echivalentă printr-un rezistor echivalent și o tensiune electromotoare echivalentă.

Discuții suplimentare

1. Cum se rezolvă problema printr-o metodă de însumare a caracteristicilor triodei rezistorul r_a ? În fig. 5-10 sunt trasate caracteristicile tensiune-curent a triodei 1 (curba ENL luată din fig. 5-6) și dreapta 2 care reprezintă caracteristica rezistorului liniar r_a . Această dreaptă

$$U_a$$

este trasată după ecuația $I_a = \frac{U_a}{r_a}$ aplicând metodele indicate mai sus (atunci când

$$r_a$$

s-a analizat dreapta OK, fig. 5-8)

Adunarea absciselor punctelor corespunzătoare curbei 1 și dreaptei 2 au ca rezultat curba 3 (fig. 5-10), care reprezintă curba tensiune-curent a caracteristicii ENL cu rezistorul r_a (fig. 5-5,b).

Din curba 3 (fig. 5-10) se determină că pentru $E_a = 300$ V curentul $I_a = 1,3$ mA, rezultatul care s-a obținut deja pentru circuitul examinat (fig 5-5,b).

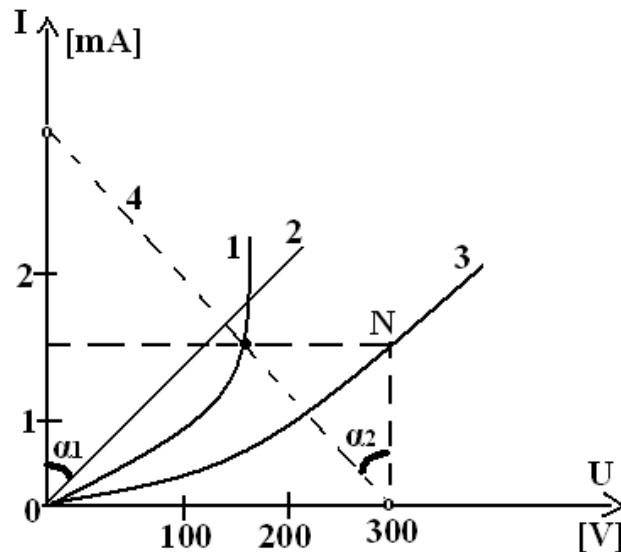


Fig. 5-10 Trasearea caracteristicii tensiune-curent echivalente (3) prin însemnarea absciselor caracteristicilor rezistorului liniar (2) și a triodei (1)

2. Există vreo legătură între caracteristica rezistorului r_a și caracteristica de sarcină? Se propune cititorului să verifice cu ajutorul desenului din fig. 5-10 că vârfurile $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, adică faptul că dreapta de sarcină 4 (transpusă din fig. 5-6)

reprezintă imaginea în oglindă a dreptei 2 față de axa verticală care trece prin punctele $U = E_a = 300 \text{ V}$.

3. Cum se determină mijlocul de înclinare al caracteristicii de sarcină? În anumite cazuri este mai ușor de trasat caracteristica de sarcină 4 (fig. 5-10) sau dreapta 2 (fig. 5-10) cu ajutorul unghiului $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$.

Acest unghi poate fi calculat cu raportul

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{U_R}{M_U}}{I} = \frac{M_I}{M_U} \cdot r_a,$$

unde M_U , M_I sunt sarcinile axelor absciselor (a tensiunii) și ordonatei (a curentului) din fig. 5-10.

Pentru cazul prezentat s-au ales scările: $M_U = 90 \frac{\text{V}}{\text{cm}}$ și $M_I = 10^{-3} \frac{\text{A}}{\text{cm}}$ având deci

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{10^{-3}}{90} r_a = \frac{10^{-3}}{90} 115 \cdot 10^3 = 1,28 \text{ și } \alpha = 51^\circ.$$

Utilizarea unghiului α pentru construcția curbei de sarcină este indicată mai ales

atunci când raportul $\frac{E_a}{r_a}$ este atât de mare încât punctul N (fig. 5-7) iese din limitele graficului.

Astfel, având valoarea rezistorului liniar r_a caracteristica de sarcină poate fi construită fie după unghiul de înclinare în raport cu axa curentului, fie după curentul în regim de scurt circuit al elementului neliniar.

4. Ce metodă se utilizează pentru curentul unei conexiuni serie a două elemente neliniare? Dacă în circuitul din fig. 5-5, b se înlocuiește r_a printr-un element neliniar, calculul circuitului poate fi realizat fie după o metodă de adunare a caracteristicilor tensiune-curent (a se vedea § 5-1 și discuția suplimentară 1 din acest paragraf), fie utilizând metoda intersecțiilor expusă în această problemă. Să considerăm caracteristicile tensiune-curent a două elemente neliniare ca fiind indice și corespunzătoare graficului ENL din fig. 5-6. Trasând acest grafic pe fig. 5-11 (curba 1) și trasând imaginea sa în oglindă față de axa y deplasată în poziția

MM_1 (curba 2 din fig. 5-11), se obține punctul de funcționare PF (corespunzător punctului de intersecție al curbelor 1 și 2). Ordonata punctului PF determină curentul prin circuitul examinat $I = 1,1$ mA. Abscisa punctului PF determină tensiunea pe primul element neliniar.

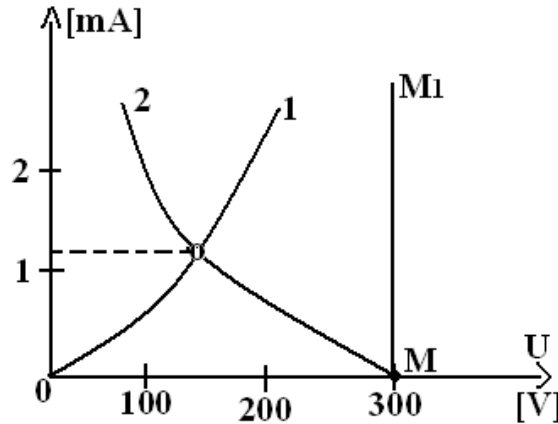


Fig. 5-11 Determinarea regimului de funcționare al unui circuit format din două elemente neliniare identice conectate în serie prin intersecția caracteristicii tensiune-curent (1) și a regiunii sale reflectate (2)

5. În acest caz este avantajos de utilizat metoda de adunare a caracteristicilor? Dacă într-un circuit neliniar format din elemente conectate în serie tensiune electromotoare a sursei de alimentare este necunoscută, ca de exemplu, în § 5-1, metoda intersecțiilor este dificilă de realizat și rezolvarea problemei se obține mai rapid dacă se utilizează metoda de adunare a caracteristicilor tensiune-curent.

6. Care sunt avantajele și dezavantajele metodei de liniarizare a unei porțiuni dintr-o caracteristică tensiune-curent? Înlocuirea unui element neliniar printr-un rezistor liniar echilibrat și o tensiune electromotoare echivalentă permite transformarea circuitului neliniar în circuit liniar pentru care există metode de calcul analitice destul de simple. Avantajul principal al metodelor analitice față de metodele grafice constă în posibilitatea obținerii soluții generale a unei probleme.

Totodată, metoda de liniarizare a caracteristicii tensiune-curent a unui ENL prezintă dificultăți: trebuie cunoscută dinainte porțiunea de lucru a caracteristicii, sau diagrama acestei caracteristici în mai multe porțiuni liniare.

7. Trebuie dată tensiunea electromotoare $E_g = 1 \text{ V}$, ce se aplică între grila și catodul triodei? O triodă reprezintă ceea ce se numește un element neliniar comandat. E_a este formată din două circuite : de ieșire (cu curentul I_a) și de comandă (între grilă și catod, cu tensiunea electromotoare E_g). Circuitul de ieșire sau circuitul principal are caracteristicile tensiune-curent diferite în funcție de tensiunea electromotoare de comandă E_g . Pentru problema examinată s-a utilizat o triodă, de tip 6H2 π pentru care sunt date (în cataloage de triode) funcția de caracteristici de ieșire tensiune-curent pentru diferite valori ale tensiunii E_g . Pentru problema dată s-a ales una din aceste caracteristici pentru $E_g = 1 \text{ V}$.

5-3. CONECTAREA ÎN SERIE A ELEMENTELOR LINIARE ȘI NELINIARE

Enunțul problemei

În circuitul din fig. 5-12, curentul $I = I_n = 600 \text{ mA}$, sunt conectare în paralel un element neliniar (un baretor) având caracteristica tensiune-curent $I_b (U)$ (fig.5-13) și un rezistor liniar $r = 50 \Omega$.

Să se determine limitele de variație a tensiunii pe baretor , atunci când curentul total al circuitului I variază între -20 și $+10 \%$ din valoarea normală.

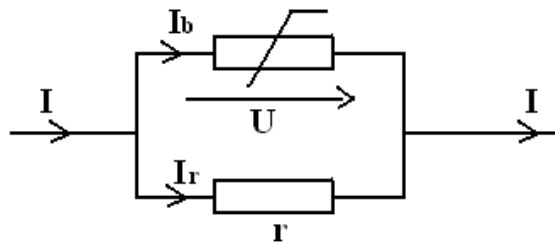


Fig. 5-12 Conectarea în paralel a unui rezistor liniar cu un element neliniar (baretor)

1. Construirea caracteristicii tensiune-curent echilibrate. Pentru elemente neliniare conectate în serie (§ 5-1) caracteristica tensiune-curent echilibrată a fost construită luând în considerare condiția de egalitate dintre tensiunea totală cu suma tensiunilor de pe elementele neliniare, adică de relația $U_a = U_{a1} + U_{a2}$ (fig. 5-1). Același metodă s-a utilizat și în § 5-2 (discuția suplimentară 1) în cazul conectării în serie a elementelor neliniare și liniare.

În cazul conectării în paralel este evident că se poate obține caracteristica tensiune-curent echivalentă luând în considerare egalitatea dintre curentul total și suma curenților prin semnalul dispuse în paralel, adică, în cazul de aici (fig. 5-12) $I = I_b + I_r$.

Prima oară se construiește caracteristica tensiune-curent a rezistorului r trasând dreapta $I_r (U)$ care trece prin originea coordonatelor (fig. 5-13), de

$$U_{a2} = 10$$

exemplu, și prin punctul a_2 de coordonate $U_{a2} = 10 \text{ V}$ și $I_{a2} = \frac{10}{50} = 0,2 \text{ A} = 200 \text{ mA}$.

Caracteristica tensiune-curent echivalentă $I (U)$ s-a trasat (fig. 5-13) prin adunarea ordonatelor (curenții) curbelor $I_r (U)$ și $I_b (U)$ pentru aceleași abscise (tensiuni).

De exemplu, pentru tensiunea de 12 V punctul c_3 (fig. 5-13) se obține prin însemnarea ordonatelor punctului b_3 și a punctului a_3 ($I_{c3} = I_{b3} + I_{a3}$). În mod analog se găsesc și punctele c, c_1 și c_2 .

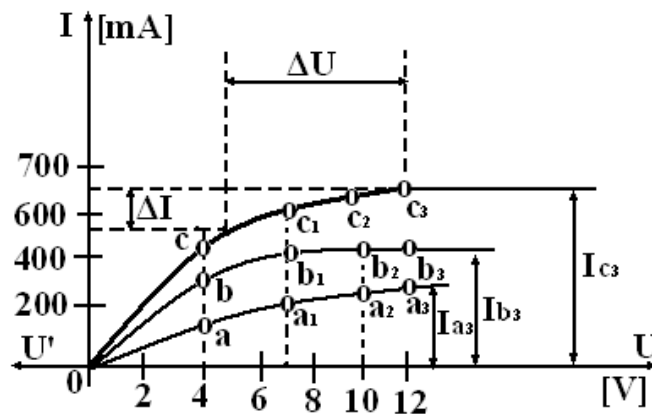


Fig. 5-13 Trasarea caracteristicii tensiune-curent echivalente (O_{c3}) prin adunarea caracteristicilor rezistorului linear (O_{a3}) și a baretorului (O_{b3})

2. Determinarea limitelor de variație a tensiunii pe baretor. Curentul prin circuit variază (conform datelor problemei) între valorile $I_1 = 0,8 I_n = 0,8 \cdot 600 = 480 \text{ mA}$ și $I_2 = 1,1 \cdot I_n = 1,1 \cdot 600 = 660 \text{ mA}$ sau cu $\Delta I = I_2 - I_1 = 600 - 480 = 180 \text{ mA}$. Specificând în fig. 5-13 I_1, I_2 și ΔI se găsește utilizând caracteristica $I (U)$, limitele variației tensiunii $\Delta U = U_2 - U_1 = 11,6 \text{ V} - 5,6 \text{ V} = 6 \text{ V}$.

Discuții suplimentare

1.

1. Cum se rezolvă problema invers: să se determine curentul total I dacă se dă tensiunea U ? La prima vedere s-ar putea crede că problema inversă poate fi la fel rezolvată construind caracteristica tensiune-curent $I(U)$ echivalentă (fig. 5-13). După obținerea ei și cunoscând U sau ΔU se va putea găsi I sau ΔI . Cu toate că un astfel de mod de rezolvare ar fi posibil, este mai complicat, din cauză că nu este necesară (pentru problema inversă) să se traseze caracteristica tensiune-curent echivalentă. În adevăr, după valoarea dată a tensiunii U și a caracteristicii $I_b(U)$ se găsește curentul care străbate prin baretor I_b și aplicând legea lui Ohm, se

2.

3.

4.

5.

obține curentul care străbate rezistorul $I_r = \frac{U}{r}$. Apoi se determină curentul total

$$I = I_b + I_r.$$

Astfel, caracteristica tensiune-curent echivalentă a unei conexiuni în paralel de elemente neliniare este necesară pentru calcularea unui circuit, atunci când este alimentat de la o sursă de curent. Dacă un circuit cu montaj în paralel este alimentat de la o sursă de tensiune, calculul său poate fi realizat fără caracteristica echivalentă.

2. Influențează numărul elementelor conectate în paralel metoda de calcul adaptată? Metoda de calcul depinde de modul de alimentare al circuitului (a se vedea discuția precedentă) și nu numărul de elemente conectate în paralel. De exemplu, dacă în circuitul din fig. 5-12 ar fi elemente conectate în paralel a căror caracteristică tensiune-curent să fie date, pentru obținerea relației $I(U)$ (fig. 5-13) ar trebui adunate ordonatele punctelor corespunzătoare curbei trei caracteristicii tensiune-curent date. Dacă un astfel de montaj în paralel (cu trei elemente) este conectat la o sursă de tensiune, calculul circuitului se realizează fără caracteristica echivalentă.

5-4. PROBLEME PROPUSE SPRE REZPLVARE

63. Fiind dată caracteristica tensiune-curent a unui redresor cu germaniu pentru conectarea directă (tabelul 5-2) să se construiască graficul care reprezintă relația dintre rezistența redresabilă și tensiune (după cele 4 date).

Tabelul 5-2

U [V]	0,5	1	1,5	1,8
I [mA]	7,7	25	120	175

64. Două stabilovolturi , a căror caracteristici tensiune-curent sunt date în tabelul 5-3, sunt conectate în serie. Să se traseze caracteristica tensiune-curent echivalentă celor două stabilovolturi și să se determine tensiunea totală U de la borne pentru un curent de 18 mA.

Tabelul 5-3

I [mA]	5	10	15	20	25	30
U ₁ [V]	74,5	74,6	74,8	75,5	75,5	76
U ₂ [V]	146,4	146,5	146,7	147,4	147,4	148

65. Să se traseze graficul care dă legături dintre rezistorul echivalent și curent pentru cele două stabilovolturi conectate în serie din problema 64.

66. Un tub cu doi electrozi, a căror caracteristică tensiune-curent este dată în tabelul 5-4, este conectat în serie cu un rezistor liniar $r = 4 \text{ k}\Omega$ și alimentat de la o sursă de tensiune de 200 V. Să se determine curentul prin tub.

Tabelul 5-4

U [V]	20	40	80	120	160	200
I [mA]	3,5	9	28	54	84	112

67. Tensiunea $U = 300 \text{ V}$ este aplicată unui circuit format dintr-o fotocelulă și un rezistor $r = 10 \text{ M}\Omega$ conectate în serie. Caracteristica tensiune-curent a fotocelulei este dată în tabelul 5-5. Să se determine curentul care străbate circuitul și tensiunea de pe rezistor și fotocelulă

Tabelul 5-5

U [V]	50	100	150	200	250
I [μ A]	0,2	0,6	1,4	2,6	5,6

68. Pentru datele din problema 67 să se determine unghiul de înclinare α față de axa curentului a caracteristicii de sarcină, dacă scara axei curentului este

$$M_I = \frac{3\mu\text{A}}{\text{cm}} \quad \text{și cea a axei tensiunii } M_U = \frac{75\text{ V}}{\text{cm}} .$$

69. Să se determine, în condițiile datelor din problema 67, limitele de variație ale tensiunii de pe fotocelulă dacă rezistorul r variază cu $\pm 20\%$.

70. O sursă de tensiune $U = 300\text{ V}$ alimentează un rezistor $r = 10\text{ k}\Omega$ conectată în serie cu o triodă 6H8. Care este plaja de variație a curentului prin circuit și a tensiunii pe tub dacă rezistorul r variază între limitele $\pm 20\%$. Caracteristica tensiune-curent a lămpii electrice este dată în fig. 5-14.

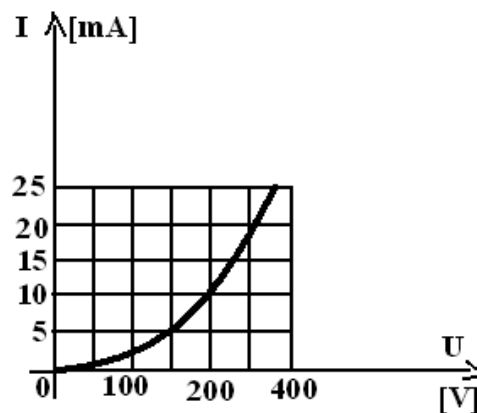


Fig. 5-14 Caracteristica tensiune-curent a triodei 6H8

71. Lampa cu incandescentă a cărei caracteristică tensiune-curent este dată în tabelul 5- 6 este conectată în serie cu un rezistor la o sursă de alimentare de tensiune $U=120V$. Care va fi rezistența rezistorului astfel încât tensiunea pe lampă să fie egală cu $75V$?

Tabelul 5-6

U [V]	0	20	40	60	80	100	120
I [A]	0	0,2	0,5	0,9	1,4	2	2,5

72. Caracteristica tensiune-curent a unui baretor de tip 0,3 B– 1- 7- 35 este reprezentată în fig. 5-17. Liniarizând porțiunea caracteristicii pentru care $16 \leq U \leq 32 V$, să se determine tensiunea electromotoare echivalentă și rezistorul de tensiuni liniare echivalente a baretorului în regimul de funcționare dat, precum și sensul curentului printr-o ramură și tensiunea electromotoare echivalentă.

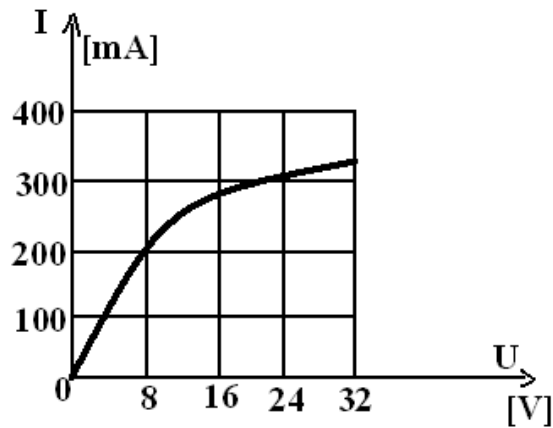


Fig. 5-16 Caracteristica tensiune-curent a unui baretor de tip 0,3 b – 7 - 35

73. Baretorul, a cărei caracteristică tensiune-curent este dată în fig. 5-15, este conectat în paralel cu rezistorul liniar $r = 80 \Omega$ și cuplate la o tensiune continuă $U = 16V$. Să se determine curenții prin toate ramurile circuitului.

74. Un termistor și un baretor, a căror caracteristici sunt date prin curbele α și 1 din fig. 5-16, sunt conectate în paralel.

Să se traseze caracteristica tensiune-curent echivalentă a conexiunii.

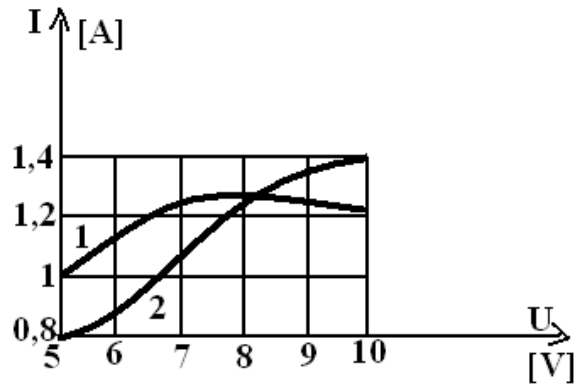


Fig. 5-16

75. În serie cu porțiunea neliniară a circuitului din problema 74 este conectat un rezistor liniar $r = 1,15 \Omega$. Să se determine curentul care străbate circuitul și tensiunile pe porțiunea neliniară și rezistor, dacă întreg circuitul este alimentat de la o sursă de tensiune de 10V.

Bibliografie

1. Ioan de Sabata, Bazele electrotehnicii, Tipografia IPTVT, Timișoara, 1974
2. Răduleț R., Bazele electrotehnicii, Editura didactică și pedagogică, București
3. Timotin A. și Hortopan V., Lecții de bazele electrotehnicii, Editura didactică și pedagogică, București, 1964
4. Zaitchik M. Y., Problèmes et exercices d'électronique générale, Moscou, 1980

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
GRUP ȘCOLAR INDUSTRIAL TRANSPORTURI CĂI
FERATE ARAD**

INDUCȚIA MAGNETICĂ

Proiect de specialitate pentru examen certificare competențe profesionale

ELEVA : **Sorina Kimak**, clasa a-XII-a A

Specializarea : tehnician în telecomunicații

PROFESOR COORDONATOR
Ing. Alexandru Lăscoi

2004

CUPRINS

CAPITOLUL 5	1
CIRCUITE ELECTRICE NELINIARE DE CURENT CONTINUU	
5-1 MONTAREA ÎN SERIE A ELEMENTELOR NELINIARE	1
Enunțul problemei	1
Rezolvarea problemei	2
Discuții suplimentare	6
5-2 CONECTAREA ÎN SERIE A ELEMENTELOR LINIARE ȘI NELINIARE	7
Enunțul problemei	7
Rezolvarea problemei	8
Discuții suplimentare	13
5-3 CONECTAREA ÎN SERIE A ELEMENTELOR LINIARE ȘI NELINIARE	17
Enunțul problemei	17
Discuții suplimentare	19
5-4 PROBLEME PROPUSE SPRE REZOLVARE	20
BIBLIOGRAFIE	24