
Capitolul I

CONCEPTE DE BAZĂ PENTRU CIA

I.1. NOȚIUNI INTRODUCATIVE

Circuitele electronice, disponibile în prezent într-o gamă foarte variată, pot fi împărțite în două mari categorii: *circuite analogice* și *circuite logice*, corespunzătoare funcției și naturii semnalelor electrice pe care le procesează.

Un *semnal analogic* este definit pe intervale continue de timp și de amplitudine, pe când un *semnal logic (numeric sau digital)* este definit la valori discrete ale timpului prin valori discrete ale amplitudinii.

Circuitele logice, numerice sau digitale prelucrează semnale care pot lua numai două valori distincte corespunzătoare valorilor binare 0 sau 1. Aceste circuite realizează *funcții logice* sau *de memorare* și au la bază funcționarea dispozitivelor electronice în două stări: *starea blocat* și *starea în conducție*.

Circuitele analogice sunt circuite la care semnalul de ieșire variază continuu în timp, urmărind după o anumită lege variația semnalului de intrare. Aceste circuite prelucrează sau generează *semnale continue* în amplitudine, polaritate sau frecvență, realizând diverse funcții analogice cum ar fi: generare, amplificare, multiplicare, modulare, redresare, schimbare de frecvență etc.

După natura funcției de transfer, exprimată printr-o relație matematică, circuitele analogice se împart la rândul lor în *circuite liniare* și *neliniare*.

Conform definiției, *liniaritatea reprezintă o proprietate care corespunde unui raport constant între variația incrementală a cauzei și variația incrementală a efectului*. Din punct de vedere analitic, proprietatea unui obiect sau sistem de a fi liniar se exprimă astfel: dacă y_1 este răspunsul sistemului la excitația x_1 și y_2 este răspunsul la excitația x_2 , atunci răspunsul la excitația $(x_1 + x_2)$ este $(y_1 + y_2)$, iar răspunsul la excitația kx_1 este ky_1 .

Prin urmare, circuitele analogice liniare se bazează pe existența unei relații liniare între mărimea de ieșire și mărimea de intrare. Deși dispozitivele electronice sunt în general neliniare, ele pot fi considerate liniare pe domenii

de funcționare limitate. În prezent este posibil de realizat circuite electronice caracterizate prin funcții de transfer bine definite, liniare sau neliniare.

Dintre circuitele integrate liniare pot fi exemplificate amplificatoarele, stabilizatoarele de tensiune, circuitele destinate prelucrării complexe a semnalului, circuite de tip PLL (**Phase Locked Loop**) etc., iar din categoria circuitelor neliniare pot fi amintite circuitele de multiplicare, divizare, ridicare la pătrat, logaritmare și antilogaritmare, calcul a valorii efective etc.

Din punct de vedere tehnologic circuitele electronice analogice pot fi realizate cu elemente discrete sau sub formă de circuite integrate, care la rândul lor pot fi realizate sub *formă monolitică* sau sub *formă hibridă*.

Cele mai populare tehnologii de realizare a circuitelor integrate monolitice sunt tehnologia bipolară și MOS (CMOS, PMOS și NMOS).

Tehnologia bipolară este tehnologia tradițională de realizare a circuitelor integrate analogice, care însă își păstrează și în prezent un caracter dominant, datorită capacității de a vehicula curenți mari și nivelului ridicat de precizie.

Cu toate acestea și tehnologia MOS cunoaște în ultimii ani o evoluție tot mai accentuată, determinată în special de necesitatea de a implementa funcții analogice împreună cu funcții logice complexe într-un singur circuit integrat realizat prin aceeași tehnologie. Un exemplu tipic în acest sens este acela în care partea de circuite analogice constituie interfața între semnalele generate de traductoarele mărimilor fizice și un procesor digital, circuitul integrat îndeplinind per ansamblu funcții de măsurare, control și comunicații.

Circuitele integrate hibride sunt circuite la care rezistoarele, conexiunile și eventual condensatoarele se realizează fie prin *tehnologia straturilor groase*, fie prin *tehnologia straturilor subțiri*, iar dispozitivele active și alte componente de circuit neintegrabile (condensatoare sau inductoare de valori mari) se atașează sub formă discretă, printr-un proces tehnologic separat.

Straturile groase sunt materiale conductoare, dielectrice sau rezistive cu grosimi mai mari de 5 μm , care se obțin prin arderea controlată a unor paste depuse pe un suport ceramic, în configurația dorită. Depunerea se face cu ajutorul unor site fine ale căror ochiuri sunt astupate cu o emulsie printr-un procedeu fotografic, în porțiunile în care pastele nu trebuie depuse pe substrat.

Straturile subțiri sunt realizate prin faze succesive de depunere în vid, urmate de depunerea prin fotogravură a unor pelicule conductoare, rezistive sau izolante pe un substrat ceramic sau din sticlă.

I.2. STRUCTURA CIA

Într-o accepțiune mai largă, un circuit integrat analogic (CIA) este destinat procesării analogice și măririi nivelului de putere al unui semnal electric, controlând puterea debitată în sarcină de către sursa de alimentare cu ajutorul unor dispozitive active de circuit. Prin urmare, dispozitivele active de circuit pot fi privite dintr-un anumit punct de vedere și ca având rolul de a transforma puterea provenită de la sursa de alimentare în putere de semnal.

După cum s-a amintit mai sus, CIA pot fi în general liniare sau neliniare, însă ponderea cea mai mare a o au circuitele integrate liniare. Și aceasta cu atât mai mult cu cât circuitele integrate neliniare se bazează în mare parte tot pe circuite liniare, funcția neliniară fiind obținută de regulă cu ajutorul unor diode sau tranzistoare integrate în structura circuitului sau plasate în exteriorul lui.

Dacă ne referim chiar și numai la circuitele integrate liniare, acestea prezintă o asemenea diversitate și dinamică în dezvoltare, încât prezentarea lor în totalitate constituie o problemă extrem de complicată și laborioasă.

Din categoria circuitelor integrate liniare, cele mai răspândite sunt amplificatoarele, iar dintre acestea amplificatoarele operaționale. Termenul de *amplificator operațional* a fost folosit inițial (prin anii 1940) pentru a desemna o clasă specială de amplificatoare și anume cele utilizate la efectuarea unor operații matematice (adunare, scădere, înmulțire, integrare și diferențiere).

Primele amplificatoare operaționale integrate, sub formă monolitică, au fost proiectate și realizate de Robert J. Widlar, în anii 1960, la firma Fairchild din USA, care în anul 1968 a lansat pe piață circuitul μA 741, din generația a II-a, devenit pentru multă vreme standardul industrial al domeniului.

În prezent, datorită performanțelor tot mai ridicate, versatilității și prețului scăzut, amplificatoarele operaționale domină net aplicațiile analogice.

În afară de amplificatoarele operaționale propriu-zise se mai fabrică și alte tipuri de amplificatoare monolitice, cum ar fi amplificatoarele de audio frecvență, amplificatoare de bandă largă, amplificatoare de radiofrecvență, circuite complexe pentru radio-TV (amplificare-limitare și demodulare de medie frecvență, amplificare, demodulare și preamplificare video etc.) etc.

Fiind imposibil de evidențiat particularitățile tuturor amplificatoarelor, în Fig.I.1 este reprezentată simplificat structura tipică a unui amplificator

integrat, aceasta constituind baza de dezvoltare pentru restul CIA. De exemplu, pe lângă unele etaje specifice, circuitele de polarizare și diferite structuri pe bază de etaje de amplificare sunt prezente în structura oricărui CIA.

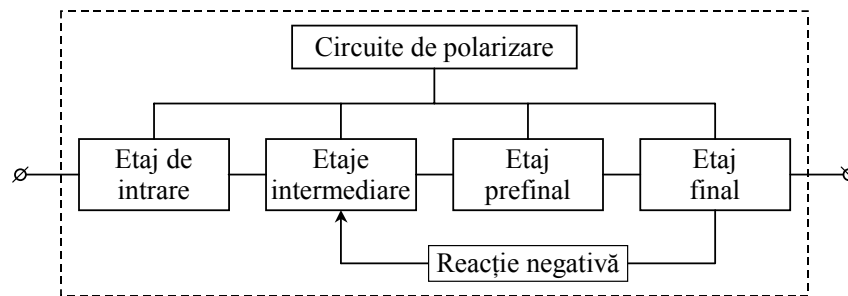


Fig.I.1. Structura tipică a unui amplificator integrat.

Primul etaj al lanțului de amplificare, numit și *etaj de intrare*, realizează una sau mai multe din următoarele funcții: impedanță mare de intrare, un factor de zgomot cât mai mic, simetrizarea celor două intrări, o amplificare în tensiune moderată și eventual o limitare a semnalului de intrare.

Amplificarea se realizează în proporție majoritară pe etajele următoare, numite *etaje de amplificare intermediare*.

Etajul de intrare și etajele intermediare sunt etaje de semnal mic, funcționând la amplitudini mici ale tensiunilor și curenților, comparativ cu valorile lor de curent continuu. Din acest motiv se poate admite o comportare liniară a dispozitivelor active în jurul punctului static de funcționare și se pot folosi schemele lor echivalente de semnal mic.

Etajul prefinal și *etajul final* sunt etaje de semnal mare, amplitudinile curenților și tensiunilor fiind comparabile cu valorile de curent continuu. Prin urmare, începe să se manifeste și trebuie luată în considerare neliniaritatea dispozitivelor active. Aceste etaje sunt destinate obținerii puterii de ieșire necesare în sarcină, cu randament cât mai mare și distorsiuni cât mai mici.

Amplificatoarele, în special cele operaționale, au o gamă de aplicații foarte variată, în afara funcției de amplificare propriu-zise, cum ar fi realizarea de oscilatoare, filtre active, circuite de integrare și diferențiere, convertoare tensiune-curent și curent tensiune etc. Altfel zis, amplificatorul operațional a devenit un circuit universal, indispensabil în orice aplicație analogică.

I.3. BREVIAR DE TEORIA CIRCUITELOR

Un circuit electronic reprezintă o combinație de componente pasive și active, aranjate astfel încât circuitul să îndeplinească funcția dorită. Orice circuit, oricât de complex, poate fi privit ca o combinație de circuite tot mai simple care în ultimă instanță pot fi analizate cu instrumente fizico-matematice elementare, cum ar fi legea lui Ohm, legile lui Kirchhoff etc. Din acest considerent, cât și pentru a se demistifica falsa impresie de inabordabilitate pe care o poate inspira circuitele electronice începătorilor, s-a considerat utilă o trecere în revistă a celor mai elementare legi și teoreme din teoria circuitelor.

I.3.1. LEGEA LUI OHM

Legea lui Ohm, exprimată sub cele trei forme uzuale, are expresiile:

$$V = IR; \quad I = \frac{V}{R}; \quad R = \frac{V}{I}; \quad (I.1)$$

unde V reprezintă tensiunea [V], R – rezistența [Ω] și I – curentul [A].

Legea lui Ohm poate fi aplicată, după caz, fie circuitului total, fie numai unei componente, conform Fig.2. Dacă se consideră circuitului total, rezistența echivalentă a circuitului și expresia legii lui Ohm sunt date de relațiile:

$$R = R_1 + R_2 \parallel (R_3 + R_4) = R_1 + \frac{R_2(R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} \quad \text{și} \quad I = \frac{V}{R}; \quad (I.2)$$

iar în dacă se consideră numai rezistența R_4 , legea lui Ohm are expresia:

$$I_4 = \frac{V_4}{R_4}. \quad (I.3)$$

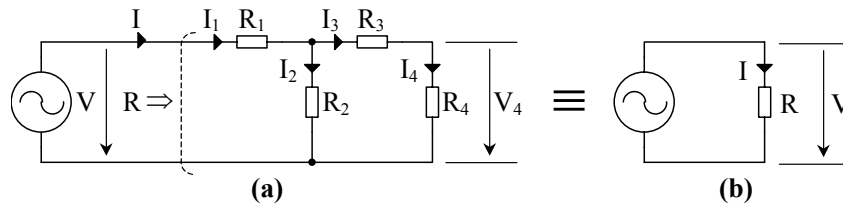


Fig.I.2. Aplicarea legii lui Ohm:

(a) – schema detaliată a circuitului; (b) – schema echivalentă a circuitului.

Unele expresii din teoria circuitelor electronice pot crea impresia că sunt noi și specifice acestui domeniu, dar de fapt, la o analiză mai atentă se poate constata că nu sunt altceva decât aplicații particulare ale legii lui Ohm sau a altor legi la fel de elementare. De exemplu, considerând o relație foarte simplă:

$$i_x = \frac{v_1 - v_2}{R}. \quad (I.4)$$

dacă se observă că expresia de la numărător corespunde tensiunii echivalente a două surse legate în serie, mai departe se reduce la aplicarea legii lui Ohm. De asemenea, ecuații de forma de mai sus pot fi rezolvate calculând expresia de la numărător pe baza legii tensiunii a lui Kirchhoff (pct.I.3.2) sau aplicând metoda suprapunerii efectelor (pct.I.3.6)

Legea lui Ohm servește nu numai la calculul numeric a unei mărimi în funcție de celelalte două, conform (I.1), ci și la o analiză intuitivă a circuitului. De exemplu, dacă presupunem că este necesar să se estimeze efectul creșterii rezistenței R_4 asupra curenților din circuit, atunci raționamentul este următorul:

- crescând R_4 , va crește rezistența grupului paralel $R_2 \parallel (R_3 + R_4)$, implicit și rezistența totală: $R = R_1 + R_2 \parallel (R_3 + R_4)$, deci curenții I_4 și I vor scădea;
- scăzând I , va scădea căderea de tensiune pe R_1 și va crește pe grupul paralel $R_2 \parallel (R_3 + R_4)$, deci va crește curentul I_2 .

I.3.2. LEGEA TENSIUNII A LUI KIRCHHOFF

Legea tensiunii a lui Kirchhoff stipulează faptul că pe o buclă (ochi) de circuit închis suma tensiunilor surselor este egală cu suma căderilor de tensiune pe componentele pasive, adică tensiunea netă este egală cu zero. Aplicând această lege circuitului din Fig.I.3, se obțin următoarele expresii:

$$V_1 - V_2 + V_3 = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} \quad \text{sau} \quad V_1 - V_{R_1} - V_{R_2} - V_2 - V_{R_3} + V_3 = 0. \quad (I.5)$$

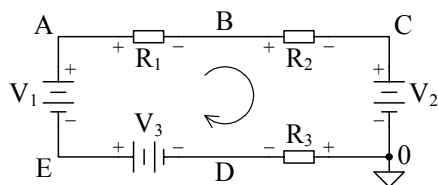


Fig.I.3. Aplicarea legii tensiunii a lui Kirchhoff.

O aplicație uzuală a legii tensiunii a lui Kirchhoff este determinarea tensiunii într-un anumit punct, în raport cu tensiunea unui punct de referință, de regulă masa electrică. În analiza circuitelor electronice apare frecvent situația în care punctul de referință este altul decât cel de masă. De exemplu, tensiunea din punctul A în raport cu masa și cu punctul C are expresiile:

$$V_{A0} = V_2 + V_{R_2} + V_{R_1}; \quad V_{AC} = V_A - V_2 = V_{R_2} + V_{R_1}. \quad (I.6)$$

I.3.3. LEGEA CURENTULUI A LUI KIRCHHOFF

Legea curentului a lui Kirchhoff stipulează faptul că suma curenților care intră într-un punct este egală cu suma curenților care ies din acel punct, adică valoarea netă a curentului într-un punct este egală cu zero. Aplicând această lege circuitului din Fig.I.4, în punctul A, se obțin următoarele expresii:

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad \text{sau} \quad I_1 - I_2 - I_3 = 0. \quad (I.7)$$

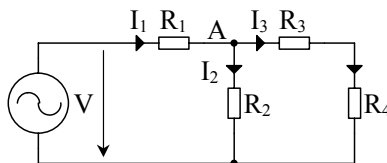


Fig.I.4. Aplicarea legii curentului a lui Kirchhoff.

În afară de determinări cantitative, legea curentului a lui Kirchhoff servește și la efectuarea unei analize intuitive a circuitului. La limită, se poate depista dacă o rezistență este întreruptă sau este în scurtcircuit. De exemplu, dacă rezistența R_2 este întreruptă ($R_2 = \infty$), $I_2 = 0$ și $I_1 \downarrow$, $I_3 \uparrow$ și $I_1 = I_3$, iar dacă R_2 este scurtcircuit ($R_2 = 0$), $I_3 = 0$, $I_1 \uparrow$, $I_2 \uparrow$ și $I_1 = I_2$.

I.3.4. REGULA DIVIZORULUI DE TENSIUNE

Regula divizorului de tensiune servește pentru calculul tensiunii de ieșire în gol. Aplicând legea lui Ohm circuitului din Fig.I.5, rezultă:

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2}; \quad V_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}V; \quad V_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}V; \quad (I.8)$$

unde s-a considerat că tensiunea de ieșire poate fi atât V_1 cât și V_2 .

Din (I.8) se observă că raportul de divizare reprezintă raportul dintre rezistențe laturii alăturate tensiunii de ieșire și suma rezistențelor de pe circuit.

Condiția de gol la ieșirea divizorului se asigură utilizând ca sarcină un circuit cu impedanță de intrare suficient de mare pentru ca să poată fi neglijată. Altfel, pentru ca raportul de divizare să nu fie afectat de erori, în (I.8) trebuie considerată rezistența de sarcină în paralel cu rezistența ramurii de ieșire.

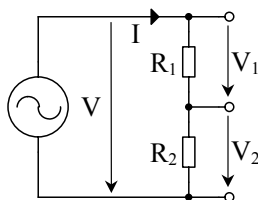


Fig.I.5. Aplicarea regulii divizorului de tensiune.

De obicei, divizoarele de tensiune sunt conectate cu un capăt la masă, adică divid o singură tensiune de intrare în raport cu masa. În cazul circuitelor electronice apar situații în care divizorul este flotant, ambele capete aflându-se la tensiuni diferite de zero, astfel încât este divizată diferența a două tensiuni, conform Fig.I.6. În acest caz, considerând $V_1 > V_2$, relațiile (I.8) capătă forma:

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_1 + R_2}; V_{10} = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}(V_1 - V_2); V_{20} = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(V_1 - V_2). \quad (I.9)$$

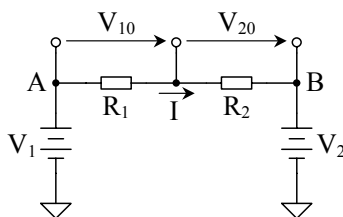


Fig.I.6. Divizor de tensiune flotant.

Analizând (I.8) și (I.9) se observă că raportul de divizare rămâne neschimbat, având aceeași expresie în ambele cazuri. Ceea ce se schimbă este expresia căderii de tensiune pe divizor, care în cazul divizorului flotant nu se mai calculează în funcție de potențialul masei, ci în funcție de tensiunea din punctul B (conform pct.I.3.2), cu relații de forma (I.6).

I.3.5. REGULA DIVIZORULUI DE CURENT

Dacă ieșirea este în gol, regula divizorului de curent servește pentru calculul curentului prin oricare din cele două ramuri ale circuitului din Fig.I.7. Aplicând legea curentului a lui Kirchhoff și legea lui Ohm, se obține sistemul:

$$I = I_1 + I_2; \quad V = I_1 R_1 = I_2 R_2; \quad (\text{I.10})$$

a cărui rezolvare conduce la rezultatul:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I; \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I. \quad (\text{I.11})$$

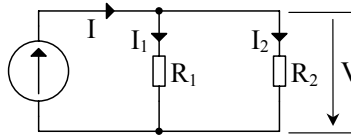


Fig.I.7. Aplicarea regulii divizorului de curent.

Din (I.11) se observă că, spre deosebire de cazul divizorului de tensiune, (I.8), raportul de divizare reprezintă raportul dintre rezistențe laturii opuse celeia prin care circulă curentul de interes și suma rezistențelor de pe circuit.

I.3.6. TEOREMA LUI THEVENIN

Teorema lui Thevenin permite conversia unui circuit complex într-un circuit echivalent mai simplu, constituit dintr-o sursă de tensiune și o rezistență serie, numite *tensiune Thevenin* și *rezistență Thevenin*. Pentru obținerea circuitului echivalent Thevenin trebuie parcurși următorii pași secvențiali:

1. Stabilirea punctului de simplificare (de aplicare a teoremei lui Thevenin).
2. Deschiderea circuitului în punctul de simplificare și **calculul în condiții de gol a tensiunii Thevenin** corespunzătoare.
3. Pasivizarea circuitului, adică punerea surselor de tensiune în scurtcircuit și a surselor de curent în gol (păstrând în circuit numai rezistențele lor interne, dacă este cazul) și **calculul rezistenței echivalente Thevenin**.
4. Înlocuirea circuitului inițial cu circuitul echivalent Thevenin.

Pentru exemplificare, se consideră un divizor de tensiune cu rezistență de sarcină la ieșire (Fig.I.8). Considerând ca punct de simplificare ieșirea

circuitului, din Fig.I.8.b se poate calcula tensiunea echivalentă Thevenin în punctul de simplificare, aplicând regula divizorului de tensiune (pct.I.3.4):

$$V_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V. \quad (I.12)$$

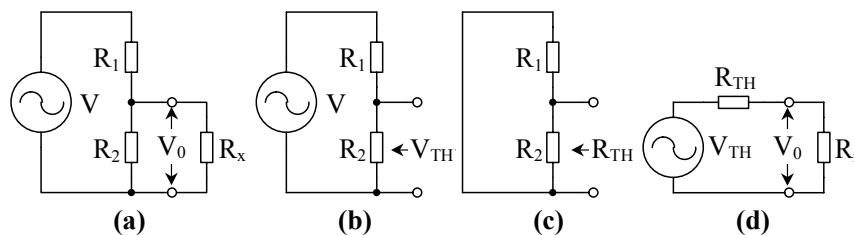


Fig.I.8. Aplicarea teoremei Thevenin:

(a) – circuit inițial; (b) – circuit deschis pentru calcul V_{TH} ; (c) – circuit pasivizat pentru calcul R_{TH} ; (d) – circuit echivalent Thevenin.

Apoi, pasivizând circuitul (Fig.I.8.c), se calculează rezistența Thevenin:

$$R_{TH} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (I.13)$$

În fine, circuitul echivalent Thevenin rezultă cu structura din Fig.I.8.d, unde R_{TH} și V_{TH} au valorile și semnificațiile conform (I.12) și (I.13).

I.3.7. TEOREMA LUI NORTON

Teorema lui Norton este similară cu teorema lui Thevenin, adică permite de asemenea conversia unui circuit complex într-un circuit echivalent mai simplu, care de data aceasta este constituit dintr-o sursă de curent și o rezistență paralel, numite *curent Norton* și *rezistență Norton*. Pentru obținerea circuitului echivalent Norton trebuie parcurși următorii pași secvențiali:

5. Stabilirea punctului de simplificare (de aplicare a teoremei lui Norton).
6. Deschiderea circuitului în punctul de simplificare și **calculul în condiții de scurtcircuit a curentului Norton** corespunzător.
7. Pasivizarea circuitului, adică punerea surselor de tensiune în scurtcircuit și a surselor de curent în gol (păstrând în circuit numai rezistențele lor interne, dacă este cazul) și **calculul rezistenței echivalente Norton**.
8. Înlocuirea circuitului inițial cu circuitul echivalent Norton.

Pentru exemplificare, se consideră un divizor de tensiune cu rezistență de sarcină la ieșire (Fig.I.9). Considerând ca punct de simplificare ieșirea circuitului, din Fig.I.9.b se poate calcula curentul echivalent Norton în punctul de simplificare, în condiții de scurtcircuit, conform relației:

$$I_N = \frac{V}{R_1}. \quad (\text{I.14})$$

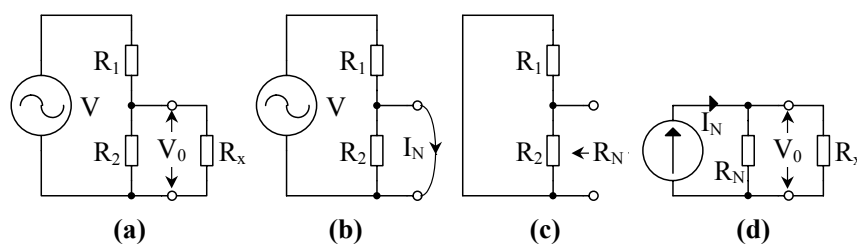


Fig.I.9. Aplicarea teoremei Norton:

- (a) – circuit inițial; (b) – circuit deschis, pus în scurtcircuit pentru calcul I_N ;
 (c) – circuit pasivizat pentru calcul R_N ; (d) – circuit echivalent Norton.

Apoi, pasivizând circuitul (Fig.I.9.c), se calculează rezistența Norton:

$$R_{TH} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (\text{I.15})$$

În fine, circuitul echivalent Norton are structura din Fig.I.9.d, unde R_N și I_N au valorile și semnificațiile conform (I.14) și (I.15).

Teoremele lui Thevenin și Norton sunt echivalente. Circuitul pasivizat având aceeași structură (Fig.I.8.c și Fig.I.9.c) rezistențele echivalente rezultă egale, (I.13) și (I.15). Tensiunea Thevenin se calculează la gol iar curentul Norton în scurtcircuit. Echivalența dintre schemele echivalente Thevenin și Norton, dintre generatoarele de tensiune și de curent, este descrisă de relațiile:

$$\begin{cases} R_N = R_{TH} \\ I_N = V_{TH}/R_{TH} \end{cases} \quad \text{respectiv} \quad \begin{cases} R_{TH} = R_N \\ V_{TH} = I_N R_N \end{cases}. \quad (\text{I.16})$$

I.3.8. TEOREMA SUPERPOZIȚIEI

Teorema superpoziției se aplică numai în cazul circuitelor liniare, cu condiția ca acestea să conțină numai surse de semnal independente. Conform

acestei teoreme, efectul simultan al mai multor surse de semnal poate fi determinat ca sumă algebrică a efectelor fiecărei surse determinate individual.

De exemplu, se consideră circuitul din Fig.I.10.a și se pune problema determinării curentului I_2 . Aplicând teorema superpoziției dispar o parte din ecuații și astfel calculele se simplifică, comparativ cu aplicarea legilor lui Kirchhoff. Efectele individuale ale celor două surse de semnal, V_1 și V_2 , se pot calcula pe baza schemelor din Fig.I.10.b și Fig.I.10.c, în care s-a păstrat activă numai sursa de semnal de interes, celelalte pasivizându-se. Astfel, efectul sursei V_1 , reprezentat de curentul I_{21} , se poate calcula din Fig.I.10.b, cu relația:

$$I_{21} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \frac{V_1}{R_1 + R_2 \parallel R_3}, \quad (\text{I.17})$$

unde s-a utilizat regula divizorului de curent (pct.I.3.5). În mod analog, efectul sursei V_2 , reprezentat de curentul I_{22} , se poate calcula din Fig.I.10.c, cu relația:

$$I_{22} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{V_2}{R_3 + R_1 \parallel R_2}, \quad (\text{I.18})$$

Având în vedere că rezultatul final este suma algebrică a celor două rezultate individuale, se obține pentru acesta din urmă următoarea expresie:

$$I_2 = I_{21} + I_{22} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \frac{V_1}{R_1 + R_2 \parallel R_3} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{V_2}{R_3 + R_1 \parallel R_2}. \quad (\text{I.19})$$

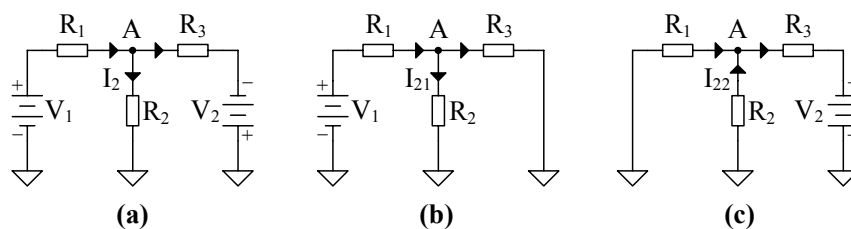


Fig.I.10. Aplicarea teoremei superpoziției:

(a) – circuitul inițial; (b) – circuit parțial pasivizat pentru calculul efectului sursei V_1 ; (c) – circuit parțial pasivizat pentru calculul efectului sursei V_2 .

Observație:

Teoremele, legile și regulile de calcul, prezentate mai sus, sunt aplicabile la analiza circuitelor electronice atât în curent continuu, cât și în curent alternativ, cu mențiunea că în curent alternativ mărimile trebuie exprimate în complex.