

6. Funcțiuni de circuit și de prelucrare a semnalelor

Obiective: cunoașterea principalelor tipuri de circuite și a funcțiilor îndeplinite de ele, modele matematice simple ale circuitelor, interpretarea diagramelor de timp, determinarea valorilor extreme, interpretarea caracteristicilor de frecvență, determinarea unor parametri ai circuitelor.

Noțiuni noi: schemă bloc, redresare, diodă semiconductoare, anod, catod, diagramă de timp, bornă comună, amplificare, defazaj, caracteristică intrare-ieșire, model liniar, caracteristici de frecvență, bandă de trecere, circuit integrat, distorsiuni neliniare, impedanțe de intrare și de ieșire, zgomot electric, stabilizare, rezistență internă, limitarea curentului, rezonator piezoelectric, modulare, semnal purtător, demodulare, filtrare, filtru trece-jos, filtru trece-sus, filtru trece-bandă, filtru oprește-bandă.

Circuitele electronice sînt o clasă de circuite electrice. Ele se disting prin faptul că au scopul de prelucrare a semnalelor sau de conversie a energiei, și folosesc cel puțin o componentă electronică. De regulă, circuitele care prelucrează semnale analogice se numesc circuite analogice, iar cele care prelucrează semnale numerice se numesc circuite numerice.

Funcțiunile circuitelor uzuale sînt:

Amplificare: mărește puterea semnalului, de obicei păstrînd forma lui (anvelopa).

Oscilație: produce (generează) semnal de forma dorită, fără a primi alt semnal din exterior

Redresare: furnizează semnal de o singură polaritate, indiferent de polaritatea semnalului de intrare. Poate avea rol de prelucrare a informației sau energetic.

Stabilizare: menține aceeași valoare a unui semnal, indiferent de acțiunea perturbațiilor. Sîntem obișnuiți cu scopul energetic al stabilizatorului, dar se poate folosi și pentru informație.

Filtrare: această prelucrare va fi tratată sistematic la cursul de Semnale și sisteme. O vom introduce prin două exemple: pentru semnalele periodice, filtrarea are rolul de a elimina unele componente armonice ale semnalului, în funcție de frecvența lor. Pentru circuitele de alimentare cu energie, filtrarea are rolul de a „netezi” forma semnalului (îl aduce mai aproape de un semnal constant). În oricare variantă, filtrarea modifică forma semnalului.

Modulare: suprapunere a formei unui semnal de energie mică (modulator) peste un alt semnal (numit purtător), astfel încît informația primului să se regăsească într-un parametru al semnalului rezultat (numit semnal modulat). Folosită în radiocomunicații, aparate de măsură, etc.

Demodulare: recuperarea informației semnalului modulator din semnalul modulat.

Funcțiuni aritmetice (realizate analogic sau numeric): adunare, scădere, înmulțire, etc.

Conversii AD, DA: conversia din semnal analogic în numeric și invers.

Calcul numeric: prelucrări mai sofisticate decît operațiile aritmetice simple pot fi efectuate numai cu circuite numerice.

Pentru a indica funcționarea exactă a circuitului, se desenează *schema electrică*, conținînd simbolurile tuturor componentelor și legăturile dintre ele. Uneori, este necesară și indicarea

aspectelor tehnologice, cum ar fi locul în care se leagă ecranul cablurilor, forma casei metalice care ecranează circuitul sau diametrul conductoarelor de alimentare.

Pentru a indica funcțiunea și structura circuitului, se desenează *schema bloc*, în care nu apar decât puține simboluri de componente (sau de loc), dar apar simboluri ale funcțiunilor îndeplinite de părți ale circuitului și conectarea acestor părți. În cele ce urmează, vor fi folosite pentru prezentare atât scheme electrice (vezi figurile 4, 8, 30) cât și scheme bloc (vezi figurile 18, 25, 34, 35).

Redresoare

Redresorul este un circuit care transformă semnalul variabil în ambele sensuri într-un semnal care variază într-un singur sens. Se folosește atât pentru scop de alimentare cu energie a circuitelor electrice și electronice, cât și pentru prelucrarea semnalului. Se mai numește circuit de conversie c.a. – c.c. (adică cel care primește semnal de curent alternativ și furnizează semnal de curent continuu). În continuare, vor fi prezentate câteva exemple de circuite de redresare, pentru scop de alimentare. Înțelegerea funcționării circuitului necesită cunoașterea componentelor, motiv pentru care va fi prezentată o componentă folosită frecvent, numită *diodă semiconductoare*.

Dioda semiconductoare este o componentă cu două terminale (simbolul în figura 1), al cărei simbol este prezentat în figura 1. Electrocul marcat cu un segment se numește *anod*, iar electrocul marcat cu un triunghi se numește *catod*. Funcționarea diodei poate fi descrisă simplificat astfel: permite trecerea curentului într-un singur sens. Această descriere simplificată corespunde cu caracteristica curent-tensiune simplificată din figura 2. Ea arată că, la trecerea curentului în sensul din figura 1 (de la anod spre catod), căderea de tensiune pe diodă este nulă. Se spune că dioda este polarizată în sens direct (atunci când curentul are sensul din figură). A doua constatare din aceeași caracteristică este că, la aplicarea tensiunii în sens invers, curentul prin diodă este nul (se mai spune că dioda este invers polarizată sau blocată).

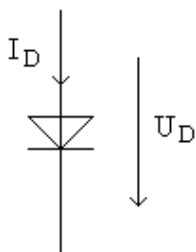


Figura 1: Simbolul diodei semiconductoare

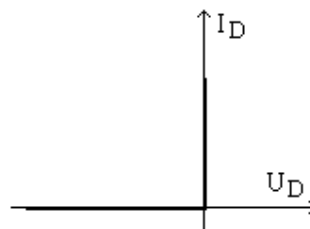


Figura 2: Caracteristica simplificată a diodei

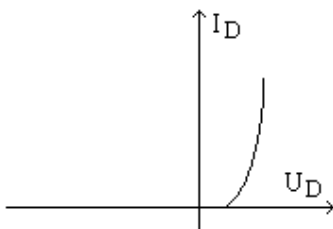


Figura 3: O caracteristică mai apropiată de realitate a diodei semiconductoare

În realitate, caracteristica din figura 2 este doar o variantă simplificată a caracteristicii adevărate a diodei, care are alura din figura 3 (comportarea ei și un model matematic mai fidel vor fi studiate în semestrul 3, la cursul de Dispozitive electronice). Pentru o diodă redresoare fabricată din siliciu (materialul cel mai folosit pentru componente semiconductoare), curentul în sens invers este de ordinul zecilor de nanoamperi, iar tensiunea în sens direct nu depășește 0,8V. Pentru scopul acestei prelegeri, este suficientă aproximarea din figura 2.

Trei scheme uzuale de circuite redresoare sînt prezentate în figura 4: redresor monoalternanță (tensiune monofazată), redresor bialternanță (de tensiune bifazată) și redresor în punte (tensiune monofazată). În aceste circuite, sarcina este pur rezistivă (alte variante de sarcini vor fi studiate la cursurile de circuite). În fiecare schemă, U_1 este tensiunea efectivă din primarul transformatorului iar U_2 este tensiunea efectivă dintr-un secundar de transformator.

Redresorul monoalternanță

Graficele semnalelor de tensiune și curent din schema 4a se construiesc relativ simplu, pe baza ecuațiilor din teoremele Kirchhoff și a caracteristicilor diodelor (graficele în care variabila independentă este timpul se mai numesc *diagrame de timp*). În figura 5 apar tensiunea din secundar, tensiunea pe sarcină, curentul prin sarcină și diodă și tensiunea pe diodă, pentru redresorul monoalternanță (figura 4a). Sensul tensiunii pe sarcină a fost precizat în desen, sensul curentului prin sarcină și diodă este cel considerat în figura 1. Ecuațiile semnalelor din circuit sînt ecuații Kirchhoff (1-3) și ecuația diodei (4):

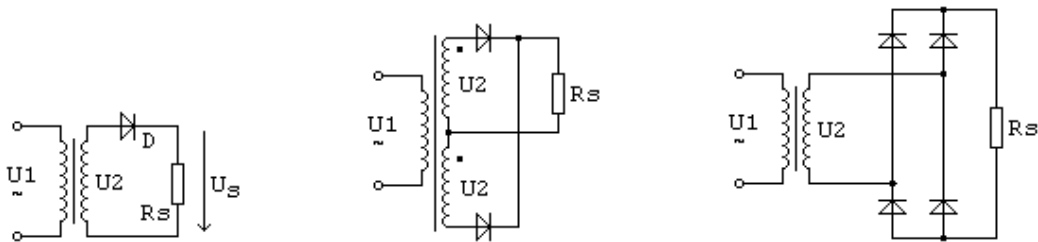


Figura 4: Redresor monoalternanță, bialternanță și în punte

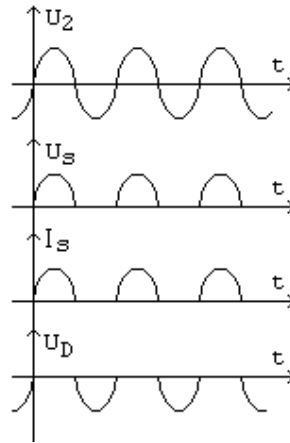


Figura 5: Diagramele semnalelor din redresorul monoalternanță

Ecuția tensiunii pe ochi:
$$u_2(t) = u_D(t) + u_s(t) \quad (1)$$

Tensiunea generatorului (secundarul de transformator):
$$u_2(t) = U_2 \sqrt{2} \sin(\omega t) \quad (2)$$

Relația între tensiunea pe sarcină și curent:
$$u_s(t) = i_D(t) \cdot R_s \quad (3)$$

Ecuția diodei (nu a fost scrisă o relație analitică între tensiune și curent, ci a fost marcat faptul că există această relație, avînd corespondentul grafic aproximativ din figura 2):
$$i_D = i_D(u_D) \quad (4)$$

În relația (2), amplitudinea tensiunii din secundar a fost calculată din tensiunea efectivă (relația cunoscută pentru semnal sinusoidal).

Diagramele au fost construite astfel:

- pentru alternanțele pozitive ale tensiunii din secundar, din relația (1) se deduce că și curentul este pozitiv;
- apoi, din caracteristica din figura 2 se deduce că tensiunea pe diodă este nulă, ceea ce a fost reprezentat în diagrama tensiunii pe diodă U_D , în alternanțele pozitive;
- din precedentele afirmații, se mai deduce că tensiunea pe sarcină este egală cu tensiunea pe secundar, ceea ce a fost reprezentat în alternanțele pozitive ale diagramei lui U_s ;
- pentru alternanțele negative ale tensiunii din secundar, din figura 2 se deduce că valoarea curentului prin diodă este 0;
- apoi, din relația (3) se deduce că tensiunea pe sarcină este 0, ceea ce a fost reprezentat în alternanțele negative ale diagramei lui U_s . Diagrama relevă că tensiunea pe sarcină are un singur puls pe perioadă;
- din relația (1) se deduce că tensiunea pe diodă este egală cu tensiunea pe secundar, ceea ce a fost reprezentat în alternanțele negative ale diagramei tensiunii pe diodă, U_D ;
- în fine, din relația (3) se deduce că forma curentului este similară cu cea a tensiunii pe sarcină, pentru ambele alternanțe, ceea ce a fost reprezentat în diagrama curentului I_D .

Reprezentarea analitică a semnalelor, așa cum au fost deduse mai sus:

$$\begin{aligned} \text{- pentru } t \in [0, T/2] \quad & u_s(t) = u_2(t) = U_2 \sqrt{2} \sin(\omega t) \\ & i_s(t) = i_D(t) = \frac{U_2 \sqrt{2} \sin(\omega t)}{R_s} \\ & u_D(t) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- pentru } t \in [T/2, T] \quad & u_s(t) = u_2(t) = 0 \\ & i_s(t) = i_D(t) = 0 \\ & u_D(t) = U_2 \sqrt{2} \sin(\omega t) \end{aligned}$$

Valorile extreme ale semnalelor sînt:

$$U_{s-\max} = U_2 \sqrt{2} \quad (5)$$

$$I_{s-\max} = I_{D-\max} = \frac{U_2 \sqrt{2}}{R_s} \quad (6)$$

$$U_{D-\min} = -U_2 \sqrt{2} . \quad (7)$$

Aceste valori extreme sînt necesare proiectantului, pentru a alege componentele corecte în circuit. Spre exemplu, trebuie ales un transformator care poate furniza curentul maxim din (6), o diodă care suportă același curent maxim și care suportă tensiunea inversă maximă din (7).

Valoarea medie a tensiunii pe sarcină se calculează așa cum a fost prezentat în capitolul 5, relația (10):

$$U_{s_med} \cong \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_2 \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t) \cdot dt = \frac{U_2 \sqrt{2}}{\omega T} \int_0^{\pi} \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{U_2 \sqrt{2}}{\pi} \quad (8)$$

Valoarea medie a curentului prin diodă este și valoarea medie a curentului prin sarcină; ea se află prin împărțirea valorii tensiunii din relația (8) la rezistența de sarcină:

$$I_{D-\text{med}} = \frac{U_2 \sqrt{2}}{\pi R_s} \quad (9)$$

Redresorul bialternanță

La redresorul bialternanță sînt folosite două secundare, de tensiuni egale, pentru a crea o sursă bifazată. Ele sînt conectate astfel încît tensiunea dintre anozii diodelor să fie $2U_2$. Legarea inversată

a unuia dintre secundare ar face ca tensiunea dintre anodi să fie nulă (pentru a preveni această eroare, fazele tensiunilor din secundar sînt marcate cu punctele din desen, numite borne polarizate). Ca și în cazul redresorului monoalternanță, diagramele semnalelor se deduc din ecuațiile Kirchhoff și din caracteristicile diodelor. Principalele observații relevante sînt acelea că:

- fiecare diodă conduce în cîte o alternanță;
- sarcina este parcursă de curent în fiecare alternanță, deci vor exista două pulsuri pe perioadă;
- tensiunea medie pe sarcină este dublă, față de cazul redresorului monoalternanță;
- tensiunea pe dioda blocată este dublă față de cazul redresorului monoalternanță.

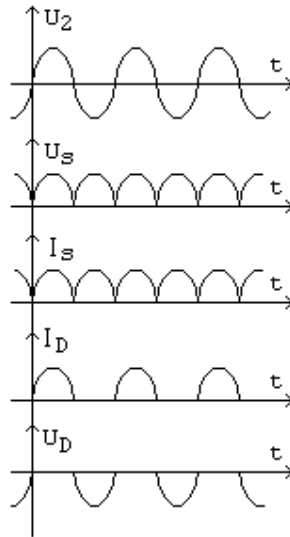


Figura 6: Diagramele semnalelor din redresorul bialternanță

Rezultă diagramele din figura 6 (numai semnale pentru dioda de sus). Reprezentarea analitică a semnalelor din figura 6:

$$u_s(t) = |u_2(t)| = U_2 \sqrt{2} \cdot |\sin(\omega t)|$$

$$i_s(t) = \frac{U_2 \sqrt{2} \cdot |\sin(\omega t)|}{R_s}$$

$$\text{- pentru } t \in [0, T/2] \quad u_{D1}(t) = 0, \quad i_{D1}(t) = i_s(t) = \frac{U_2 \sqrt{2} \sin(\omega t)}{R_s}$$

$$i_{D2}(t) = 0, \quad u_{D2}(t) = -2u_2(t) = -2U_2 \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

$$\text{- pentru } t \in [T/2, T] \quad i_{D1}(t) = 0, \quad u_{D1}(t) = 2u_2(t) = 2U_2 \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

$$u_{D2}(t) = 0, \quad i_{D2}(t) = i_s(t) = \frac{U_2 \sqrt{2} \cdot |\sin(\omega t)|}{R_s}$$

Valorile extreme ale semnalelor sînt:

$$U_{s-\max} = U_2 \sqrt{2} \quad (10)$$

$$I_{s-\max} = I_{D-\max} = \frac{U_2 \sqrt{2}}{R_s} \quad (11)$$

$$U_{D-\min} = -2U_2 \sqrt{2} . \quad (12)$$

Valoarea medie a tensiunii pe sarcină este dublă față de cazul precedent:

$$U_{s_med} \cong \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_2 \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t) \cdot dt + \frac{1}{T} \int_{T/2}^T U_2 \sqrt{2} \cdot |\sin(\omega t)| \cdot dt = \frac{2U_2 \sqrt{2}}{\pi} \quad (13)$$

Redresorul în punte monofazat

Avantajul redresorului în punte (figura 4c) este că furnizează tensiune redresată în ambele alternanțe, fără să fie nevoie de alimentare bifazată (cu două secundare de transformator). Două diode conduc într-o alternanță, în timp ce celelalte două sînt blocate. În alternanța următoare, rolurile perechilor de diode se schimbă. O reprezentare mai concentrată a schemei din figura 4c este cea din figura 7, în care catodul simbolizează polul pozitiv al tensiunii furnizate de punte.

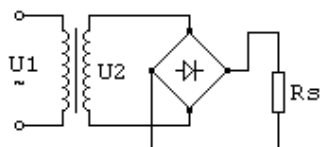


Figura 7: Redresor în punte, alimentat de la sursă monofazată

Temă de casă: să se deseneze diagramele semnalelor pentru redresorul în punte monofazat (tensiunea și curentul prin sarcină, tensiunea și curentul printr-una dintre diode). Să se stabilească valorile extreme ale acestor mărimi, precum și valorile medii ale tensiunii pe sarcină, curentului prin sarcină și curentului printr-o diodă. Se va considera caracteristica simplificată a diodei, din figura 2.

Redresorul în punte trifazat

În aplicațiile cu scop industrial, alimentarea provine de la un sistem electric trifazat. Pentru această situație, se folosește o punte de diode cu structura din figura 8. Fiecare diodă conduce doar o treime din perioadă. Tensiunea pe sarcină are un aspect mai „neted”, cu șase pulsuri pe perioadă.

Valoarea medie a tensiunii pe sarcină este mai apropiată de valoarea de vîrf: $U_{s_med} = \frac{3U_2 \sqrt{2}}{\pi}$, unde U_2 este tensiunea efectivă de linie (între două faze ale alimentării).

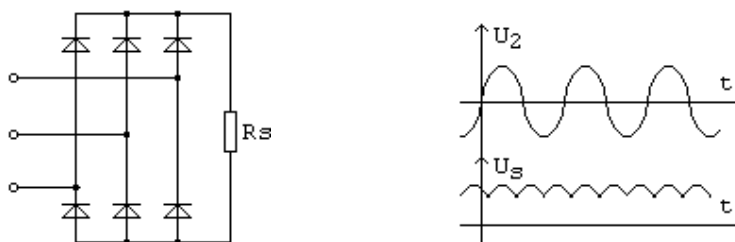


Figura 8: Redresor în punte trifazat

Folosind în punte alte componente semiconductoare, mai complicate decît diodele, se poate obține tensiune redresată reglabilă, utilă în acționări electrice și alte aplicații de puteri mari. Aceste tipuri de circuite vor fi studiate la cursul de Electronică de putere (specializarea Electronică aplicată).

Folosirea unui model mai realist al diodei

Dacă se folosește caracteristica din figura 3, se obțin diagrame mai apropiate de realitate, dar care nu diferă substanțial de cele deja prezentate. Tensiunea pe dioda polarizată direct este aproximativ de 0,7V, așa cum se vede în diagrama din figura 9. În compensație, valoarea maximă a tensiunii pe sarcină va fi mai mică cu 0,7V decît cea dedusă în relațiile (5) și (10). Această diferență

este neimportantă, pentru redresoare care furnizează mai mult de 10V. Apoi, valoarea medie a tensiunii va fi cu 0,2-0,3V mai mică decât cea dedusă în relațiile (8) și (13). În ceea ce privește efectul curentului invers prin diodă, acesta este neglijabil, deoarece căderea de tensiune produsă pe sarcinile uzuale este mult mai mică decât tensiunea medie pe sarcină: $10\text{nA} \times 1\text{k}\Omega = 10\mu\text{V}$.

Aproximările prezentate mai sus sînt aplicabile circuitelor cu rol de alimentare. Ele nu sînt adecvate pentru circuitele care au rol de prelucrare a semnalului, motiv pentru care acele circuite de redresare folosesc alte structuri.

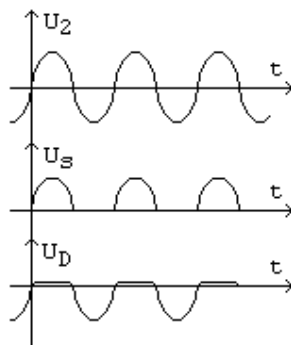


Figura 9: Diagramele semnalelor din redresorul monoalternanță, diodă reală

Redresorul cu filtru

De regulă, tensiunea pe care o furnizează redresorul este utilizată de un circuit electronic, care nu poate funcționa corect, dacă tensiunea are întreruperi sau treceri prin 0, așa cum este cazul în figurile 5 și 6. Se spune că sarcina are nevoie de o formă „netedă” a tensiunii sau a curentului. Pentru a obține o tensiune cu variații mai mici, se folosește un *filtru* al tensiunii redresate. În mod uzual, pentru consumatorii mici (circuite electronice), filtrul este format dintr-un condensator, montat în paralel cu sarcina, ca în figura 10. În timpul vîrfului de tensiune, tensiunea din secundar este mai mare decât tensiunea pe condensator, motiv pentru care dioda se deschide și condensatorul se încarcă cu energie. Între vîrfuri, tensiunea pe condensator este mai mare decât cea din secundar, deci dioda va fi blocată. În acest interval, energia acumulată în condensator alimentează sarcina, ceea ce duce la scăderea tensiunii pe condensator. Funcționarea redresorului cu filtru poate fi descrisă astfel: condensatorul este un acumulator de energie, care se încarcă pe vîrfurile tensiunii de rețea și descarcă prin sarcină, între momentele de încărcare. Se observă caracterul mai „neted” al tensiunii de sarcină, față de redresoarele fără filtru. Valoarea medie a tensiunii este apropiată de valoarea de vîrf a tensiunii din secundar.

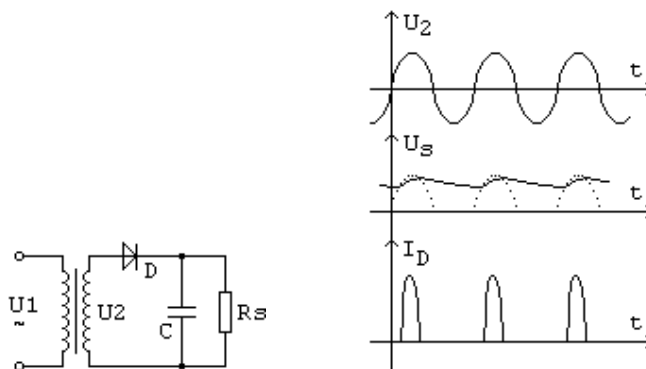


Figura 10: Redresor cu filtru C și diagramele semnalelor din redresor

După cum se observă în diagrama tensiunii de sarcină, există un regim pulsatoriu al tensiunii, care are caracter periodic, pentru că este produs de tensiunea de la rețea, care este periodică.

Diagrama din figura 10 corespunde unui redresor monoalternanță, care are un puls pe perioada de rețea, deci perioada pulsurilor este de 20ms (frecvența de 50Hz). Într-un redresor bialternanță vor fi două pulsuri pe perioada de rețea, cu perioada de 10ms (frecvența de 100Hz). Amplitudinea acestor pulsuri poate fi evaluată aproximativ, dacă considerăm că durata descărcării condensatorului este perioada pulsului (în realitate este mai mică) și că sarcina absoarbe un curent constant (în realitate, curentul este descrescător). Se scrie o ecuație a variației sarcinii electrice acumulate în condensator și o ecuație a sarcinii electrice evacuate de curentul prin R_s :

$$\Delta Q = C \cdot \Delta U \quad (14)$$

$$\Delta Q = I_s \cdot t, \quad (15)$$

unde t a fost aproximat cu perioada pulsului. Rezultă valoarea aproximativă a amplitudinii pulsurilor (practicienii numesc aceste pulsuri *riplu de rețea* sau *ondulație de rețea*):

$$\Delta U = \frac{I_s \cdot t}{C} \quad (16)$$

Un exemplu numeric: la un redresor bialternanță, capacitatea condensatorului de filtrare este de $470\mu\text{F}$, iar consumul mediu al sarcinii este de 20mA. Amplitudinea pulsurilor, de la vîrf la vîrf, este: $\Delta U = \frac{20\text{mA} \cdot 10\text{ms}}{470\mu\text{F}} \cong 0,43\text{V}$. Observați că perioada pulsurilor este de 10ms pentru redresorul

bialternanță și în punte, față de 20ms pentru redresorul monoalternanță. La aceleași valori ale componentelor, amplitudinea pulsurilor unui redresor monoalternanță este dublă, din cauza perioadei duble a pulsurilor.

Din relația (16) rezultă că amplitudinea pulsurilor este invers proporțională cu capacitatea condensatorului, deci vom putea obține riplu mai mic dacă alegem un condensator cu capacitatea mai mare. Așa cum se va arăta la cursul de Circuite electronice, creșterea capacității condensatorului este limitată, deoarece duce la înrăutățirea regimului în care lucrează diodele și transformatorul.

În figura 11a sînt prezentate schema electrică și diagramele de timp ale unui redresor în punte, de putere mică, cu filtru C, soluție tipică de alimentare nestabilizată în multe aparate electronice. Componentele tipice ale redresorului apar în figura 11b, de la dreapta spre stînga: conectorul de alimentare, două siguranțe fuzibile (pentru protecția redresorului), un filtru al tensiunii de la rețea (cele două condensatoare rectangulare și cu bobina dintre ele, împiedică pătrunderea perturbațiilor de la rețea), 4 diode redresoare (notate de la D001 la D004) și condensatorul de filtrare a tensiunii redresate (negru, stînga sus).

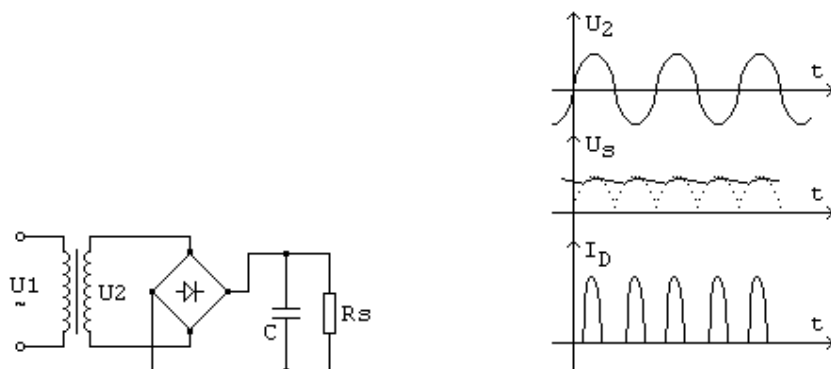


Figura 11a: Redresor în punte, cu filtru C

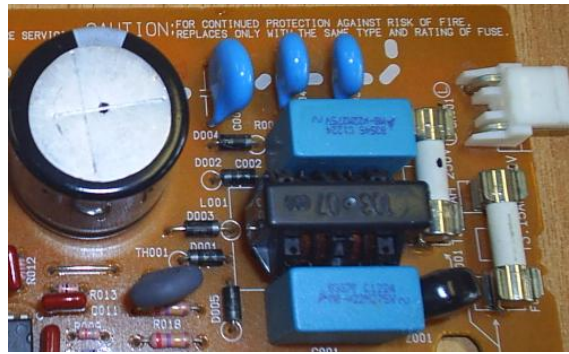


Figura 11b: Realizarea fizică a unui redresor în punte, cu filtru C

Amplificatoare

Amplificatorul este un circuit care mărește puterea semnalului. De aici putem deduce că amplificatorul are cel puțin o poartă de intrare a semnalului (o pereche de borne) și o poartă de ieșire a semnalului (altă pereche de borne), ca în figura 12. Aici, prin semnal de intrare se înțelege fie semnalul de tensiune, fie semnalul de curent; aceeași observație pentru semnalul de ieșire. Puterea semnalului de intrare este produsul $U_i I_i$, iar puterea semnalului de ieșire este produsul $U_s I_s$. Spre exemplu, este posibil ca amplificatorul să păstreze la ieșire aproximativ aceeași tensiune ca la intrare, dar curentul prin sarcină să fie semnificativ mai mare decât cel de intrare. Sau, este posibil ca ambele mărimi de la ieșire să fie mai mari decât cele de la intrare. Cel mai adesea, o bornă a intrării este comună cu o bornă a ieșirii, motiv pentru care toate semnalele de tensiune se măsoară față de aceasta (figura 13). Ea este numită de practicieni *bornă comună* sau *masă* (în limba engleză *Ground*, prescurtat *GND*). A nu se confunda această bornă cu contactul pentru împământarea de protecție (în limba engleză *Earth ground*).

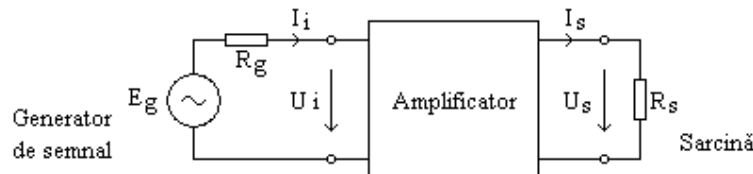


Figura 12: Semnalul de intrare și semnalul de ieșire dintr-un amplificator

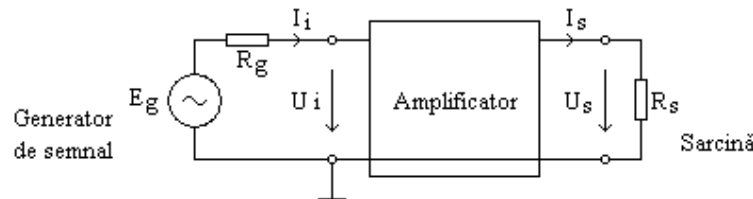


Figura 13: Borna comună a intrării și ieșirii („masă”)

- O consecință a faptului că amplificatorul mărește puterea semnalului este aceea că are nevoie de o sursă de alimentare: ea este cea care furnizează suplimentul de putere a semnalului, ca și puterea necesară pentru consumul intern al amplificatorului. În spiritul acestei proprietăți, transformatorul electric nu este un amplificator, deoarece puterea semnalului de la ieșire este sigur mai mică decât cea de la intrare (figura 14).

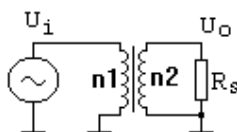


Figura 14: Transformatorul electric

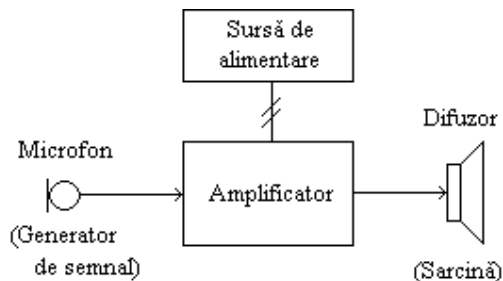


Figura 15: Conectarea unui amplificator de semnal audio

Amplificatorul din figura 15, care amplifică semnalul audio produs de un microfon, furnizează la ieșire semnalul trimis în difuzor, de putere mult mai mare decât cel de intrare. Pentru aceasta, are nevoie de sursa de alimentare. Sursa de energie pentru alimentare poate fi:

- rețeaua electrică;
- baterie de acumulatori;
- baterie chimică;
- baterie de celule solare;
- generator electric rotativ (mașină electrică, precum dinamul și alternatorul).

Tipuri de amplificatoare

Deși toate amplificatoarele respectă principiul privitor la puterea semnalului, configurația lor (schema internă a amplificatorului, aleasă de proiectant) depinde de scopul în care sînt folosite. Din punctul de vedere al puterii semnalului de ieșire, există:

- amplificatoare de putere mică;
- amplificatoare de putere mare.

Amplificatoarele de putere mică sînt cele la care puterea consumată intern este mică și nu pune probleme de răcire a componentelor. De regulă, puterea semnalului de ieșire este mai mică decât puterea consumată intern, așa că principala problemă urmărită nu este disiparea căldurii, ci fidelitatea. Amplificatoarele de putere mare sînt cele la care puterea disipată în interiorul amplificatorului este suficient de mare, încît să fie nevoie de măsuri speciale de răcire a componentelor (radiator, ventilator, răcire cu lichid). Pe lîngă fidelitate, principala problemă de rezolvat este randamentul cu care este folosită puterea sursei de alimentare. De regulă, la aceste amplificatoare randamentul este bun, deci puterea consumată intern este mică față de puterea semnalului de ieșire. În figura 16 apar componente montate pe radiator de căldură, precum și un subansamblu la care radiatorul este răcit forțat, cu ajutorul unui ventilator. Aceeași măsură este folosită la sursa de calculator (răcită cu ventilator) și la emițătoarele radio de putere. Răcirea componentelor este o problemă tehnologică, care va fi studiată la cursul de Tehnologia aparatelor electronice.

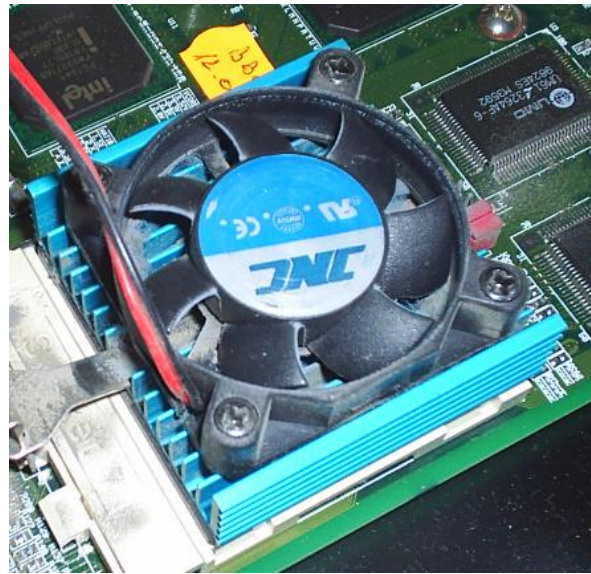


Figura 16: Componente montate pe radiator și ventilator pentru răcirea radiatorului

Din punctul de vedere al domeniului de frecvențe ale semnalului de ieșire, amplificatoarele se clasifică în:

- amplificatoare de audiofrecvență (maxim 1MHz);
- amplificatoare de radiofrecvență (un interval îngust de frecvențe, situat între zeci de kHz și sute de MHz);
- amplificatoare de videofrecvență (de la frecvență 0 la zeci de MHz);
- amplificatoare de microunde (frecvențe peste sute de MHz).

Pentru amplificatoarele de audiofrecvență, de putere mică, se folosesc frecvent circuite integrate într-o capsulă, precum cele din figura 17. Aceste circuite simplifică mult proiectarea și reduc prețul produselor electronice (vor fi studiate la cursul de Circuite integrate analogice). Există și circuite integrate specifice frecvențelor mai mari (amplificatoare de radiofrecvență), dar ele nu pot înlocui total componentele discrete (neintegrate) și circuitele acordate, cu bobine și condensatoare. Aceste amplificatoare vor fi studiate la cursul de Radiocomunicații (specializarea TSTC). Amplificatoarele (în general circuitele) de microunde au o tehnologie cu totul diferită de celelalte categorii. Ele sînt folosite la comunicațiile mobile, comunicațiile prin satelit, radiolocație, cupatoare cu microunde și vor fi studiate la cursul de Tehnica microundelor.



Figura 17: Amplificatoare integrate

În afară de putere și domeniul de frecvențe, configurația amplificatoarelor mai depinde de nivelul semnalului de intrare, fidelitatea dorită, nivelul de zgomot electric și altele. Diferite variante de amplificator vor fi studiate la cursurile de Circuite electronice fundamentale și Circuite integrate analogice. Circuitele digitale elementare sînt tot amplificatoare, dar concepute special să producă semnal de ieșire cu numai două valori distincte. Ele vor fi studiate la cursul de Circuite digitale.

Exemple de utilizare a amplificatoarelor:

- amplificator audio, de putere mare;
- preamplificator de microfon, pentru înregistrarea în calculator;
- amplificator pentru difuzorul din telefonul mobil;
- amplificator de radiofrecvență pentru emițătorul și receptorul radio;
- amplificator pentru semnalul video afișat pe ecranul televizorului;
- amplificator pentru semnalele din aparatele de măsură și echipamentul de automatizare;
- amplificatoare folosite pentru alte funcțiuni de circuit (stabilizare, modulare etc.).

Structura amplificatorului poate fi divizată în mai multe etaje de amplificare, fiecare cu proprietăți distincte. Spre exemplu, un amplificator pentru difuzarea semnalului de microfon în spații largi poate avea structura din figura 18. Primul etaj este conceput special pentru semnal foarte mic, al doilea etaj este un amplificator de tensiune uzual, iar al treilea etaj este conceput special pentru putere mare de ieșire.

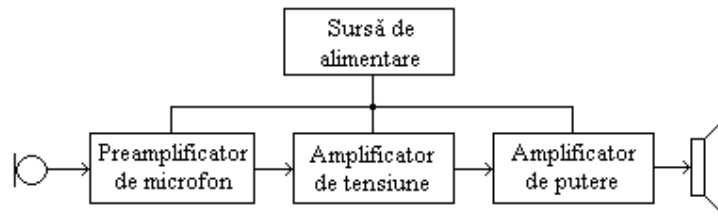


Figura 18: Structura pe etaje a unui amplificator audio de putere

Modele matematice ale amplificatorului

De obicei, se impune ca forma semnalului să rămână nemodificată, la trecerea prin amplificator, pentru a păstra informația inițială. Dacă este așa, atunci funcționarea sa poate fi descrisă printr-un model foarte simplu:

$$x_e(t) = a \cdot x_i(t), \quad (17)$$

în care x_i este semnalul de intrare, x_e este semnalul de ieșire, iar a este un număr real constant, numit *amplificare*. Semnalele de intrare și ieșire pot fi în curent sau în tensiune, în orice combinație. În mod evident, dacă cele două semnale sînt de aceeași natură (amîndouă în curent sau amîndouă în tensiune), amplificarea a este o mărime adimensională. Dacă semnalele sînt de naturi diferite, atunci a are dimensiunea fizică a unei rezistențe sau a unei conductanțe. Dată fiind dependența din relația (17), printr-o funcție de gradul I, se spune că modelul este *liniar* (se mai spune că amplificatorul funcționează liniar). Interpretarea sa este: semnalul de ieșire are aceeași formă cu semnalul de intrare, în fiecare moment. În exemplul din figura 19, semnalele de intrare și ieșire au aceeași formă. Presupunînd că valorile instantanee ale semnalelor sînt exprimate în aceeași unitate de măsură, amplificarea are aproximativ valoarea 4.

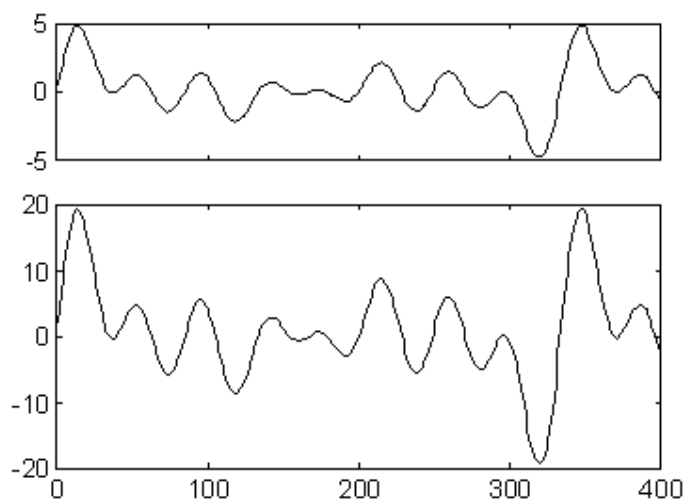


Figura 19: Exemplu de diagrame ale semnalelor de intrare și ieșire, pentru amplificator funcționând ca în modelul (17)

Dacă exprimăm grafic relația (17) dintre x_e și x_i , se obține graficul din figura 20, numit caracteristică intrare-ieșire. Așa cum era de așteptat, graficul este o dreaptă. Panta dreptei este chiar amplificarea a .

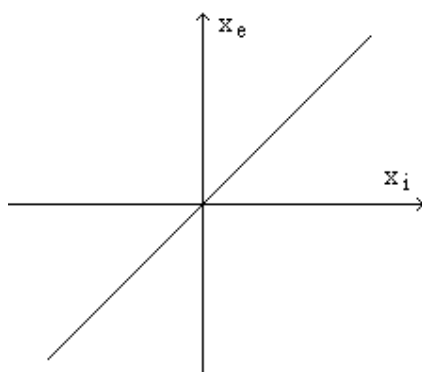


Figura 20: Caracteristica intrare-ieșire a unui amplificator, conform cu modelul (17)

Funcționarea descrisă prin modelul (17) este doar o aproximare, valabilă în condiții restrictive. Totuși, aproximarea este foarte utilă, dacă aceste condiții sînt îndeplinite, deoarece modelul permite anticiparea simplă a semnalului de ieșire. Două abateri importante de la acest model vor fi descrise în continuare: dependența amplificării de frecvență și neliniaritatea.

Dacă amplificatorul se comportă tot liniar, valoarea lui a nu mai este o constantă, este necesar un model cu valabilitate mai largă, în care amplificarea a este dependentă de frecvență. Modelul care ține cont de frecvența semnalelor și care este valabil pentru orice semnal de intrare va fi introdus sistematic, la cursul de Analiza și sinteza circuitelor și sistemelor. Aici poate fi introdusă, în mod intuitiv, o restricție a modelului, valabilă pentru semnale sinusoidale, care este foarte utilă pentru caracterizarea amplificatorului în laborator și pentru cunoașterea proprietăților amplificatorului. Presupunem că semnalul de intrare este de formă sinusoidală, ceea ce face ca și semnalul de ieșire să fie tot de formă sinusoidală (această proprietate a semnalelor sinusoidale, prelucrate de circuite liniare, a mai fost menționată în capitolul 5, vezi: Descompunerea semnalelor periodice în componente sinusoidale). Cele două semnale au forma:

$$\begin{aligned} x_i(t) &= A_i \sin(\omega t + \varphi_i) \\ x_e(t) &= A_e \sin(\omega t + \varphi_e) \end{aligned} \quad (18)$$

Atunci, comportarea amplificatorului poate fi descrisă prin două mărimi, numere reale, dependente de frecvență:

- *amplificarea*, mărime care arată de câte ori este mai mare amplitudinea semnalului de ieșire decât cea a semnalului de intrare (similară cu amplificarea din modelul (17));
- *defazajul*, mărime care arată cu cât este defazat semnalul de ieșire, față de cel de intrare.

Pentru similitudine cu modelul (17), aceste două mărimi sînt combinate într-o singură mărime, număr complex, notat cu $a(\omega)$, astfel încît modulul lui $a(\omega)$ este amplificarea iar argumentul lui $a(\omega)$ este defazajul. Pentru semnalele din relațiile (18), cele două mărimi devin:

$$|a(\omega)| = \frac{A_e}{A_i} \quad (19)$$

$$\arg(a(\omega)) = \varphi(\omega) = \omega t + \varphi_e - \omega t - \varphi_i = \varphi_e - \varphi_i \quad (20)$$

Analitic, relația dintre cele două semnale se scrie:

$$x_e(t) = A_e \sin(\omega t + \varphi_e) = |a| \cdot A_i \cdot \sin(\omega t + \varphi_i + \varphi) \quad (21)$$

Cele două componente ale lui $a(\omega)$ sînt funcții de frecvență, iar graficele lor se numesc *caracteristicile de frecvență* ale amplificatorului. Pentru exemplificare, în figura 21 sînt prezentate graficele amplificării și defazajului, aparținînd unui amplificator de audiofrecvență uzual. Pentru comoditate, pe axa orizontală nu este reprezentată pulsația, ci frecvența, iar faza este reprezentată în grade. (Modelul lui $a(\omega)$ va fi analizat în amănunt, sub numele de *funcție de răspuns la frecvență*, la cursul de Analiza și sinteza circuitelor și sistemelor.)

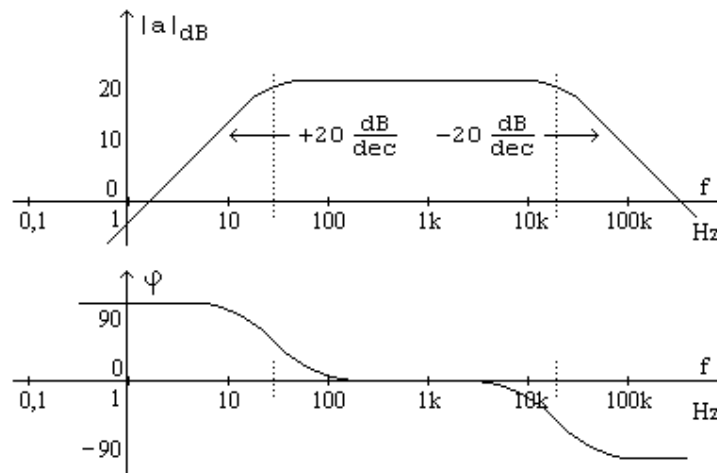


Figura 21: Caracteristici de frecvență ale unui amplificator uzual

Gradarea axelor necesită o mențiune suplimentară. Pentru a reprezenta echilibrat domeniile frecvențelor mici și frecvențelor mari, se preferă gradarea logaritmică a axei absciselor. Aceasta înseamnă că intervalele în care frecvența crește de un număr fix de ori, ocupă spații egale pe axă. Apoi, pentru ca dependența liniară să rămînă, în continuare, reprezentată printr-o dreaptă, amplificarea se reprezintă tot logaritmic. Pentru aceasta, se folosește reprezentarea în decibeli (simbolul dB), conform cu relația:

$$|a|_{dB} = 20 \log |a|, \quad (22)$$

în care $|a|$ este amplificarea din relația (19), iar logaritmul este în baza 10. În fine, faza se reprezintă liniar. Se spune că amplificarea este reprezentată în coordonate logaritmice, iar faza în coordonate semilogaritmice. Reprezentarea în astfel de coordonate este tipică pentru caracteristicile de frecvență, de bandă mai largă, dar le întâlnim și în alte situații. Atenție la originea axelor: frecvența 0 nu este prezentă în grafic (situată la extrema stângă a axei), amplificarea 0 nu este nici ea prezentă în grafic (log 0 situat la extrema de jos a axei amplificării).

La ce este util acest model? În primul rând, putem anticipa semnalul de ieșire al amplificatorului, pentru semnale de intrare periodice. Se cunosc amplitudinea și frecvența semnalului de intrare. Din cele două grafice, la valoarea cunoscută a frecvenței, se extrag valorile amplificării și defazajului. Cu aceste valori se calculează amplitudinea și defazajul semnalului de ieșire, conform relației (21).

O utilizare în condiții mai largi se referă la semnalele de intrare nesinusoidale, dar periodice. Așa cum s-a arătat în capitolul precedent (capitolul 5, Descompunerea semnalelor periodice în componente sinusoidale), semnalul periodic de la intrare poate fi scris ca o sumă de componente armonice. Pentru fiecare din ele se cunosc frecvența, amplitudinea și faza. Din caracteristicile de frecvență ale amplificatorului se deduc amplificarea și defazajul, pentru fiecare componentă a semnalului de intrare. Cu ele se calculează amplitudinea și faza componentei corespunzătoare de la ieșire. Apoi se calculează semnalul de ieșire, ca sumă a componentelor găsite mai sus (din nou, proprietate numai a circuitelor liniare). Această utilizare a modelului are mai mult un scop didactic, pentru că sînt rare ocaziile în care avem nevoie să calculăm exact semnalul de ieșire, corespunzînd unui anumit semnal de intrare periodic. Totuși, ea arată că modelul lui $a(\omega)$ permite anticiparea semnalului de ieșire. Un exemplu de anticipare a semnalului de ieșire, în cazul semnalului periodic, va fi prezentat în secțiunea dedicată filtrelor.

În fine, din același model putem deduce calitativ comportarea amplificatorului (și această utilizare a caracteristicilor de frecvență va fi reluată în secțiunea privitoare la filtrare). Spre exemplu, pentru caracteristicile din figura 21, se observă că există un interval de frecvențe în care amplificarea este constantă. În același interval, defazajul este nul. De aici rezultă că, pentru componentele cu frecvența cuprinsă în acel interval, este valabil modelul (17), model foarte ușor de folosit. Acest interval se numește *banda de trecere* a amplificatorului. În cazul amplificatoarelor de audiofrecvență, ne putem imagina cu ușurință că fabricantul amplificatorului asigură amplificare constantă în banda 20Hz – 20kHz, care cuprinde intervalul util al semnalelor audio, deci semnalul de ieșire va avea aceeași formă cu semnalul de intrare. Apoi, din aceleași caracteristici se observă că amplificarea este scăzătoare, pe măsură ce frecvența componentelor semnalului de intrare se îndepărtează de limitele benzii. Ca o consecință a acestei proprietăți, componentele semnalului de ieșire, situate în afara benzii, vor avea amplitudine foarte mică, chiar dacă semnalul de intrare a avut componente importante la aceste frecvențe.

Modelul lui $a(\omega)$ (relațiile (19), (20), (21)) a fost formulat pentru semnale sinusoidale, deci nu explică comportarea amplificatorului pentru semnale de intrare neperiodice. Totuși, el poate fi exins pentru orice semnal, așa cum se va arăta la cursul de Analiza și sinteza circuitelor și sistemelor. Forma modelului este:

$$X_e(j\omega) = a(\omega) \cdot X_i(j\omega), \quad (23)$$

în care variabila independentă nu mai este timpul, ci pulsația, iar mărimile din model nu mai sînt semnalele de intrare și ieșire, ci niște funcții derivate din acestea, așa cum se va arăta la cursul amintit. Totuși, $a(\omega)$ este aceeași amplificare introdusă prin relațiile (19) și (20), deci comportarea amplificatorului este cunoscută prin caracteristicile de frecvență (vezi exemplul din figura 21), indiferent dacă se folosește modelul (21) sau (23).

Important pentru electroniști: modelele cu care caracterizăm circuitele, în care **frecvența este variabila independentă** (relațiile (19) și (20), relația (23), caracteristicile din figura 21), sînt un instrument specific electroniștilor, foarte des folosit. El descrie proprietățile circuitului, fără să fie

nevoie de expresia particulară a unui semnal, ca funcție de timp. Această metodă de lucru va fi reluată la secțiunea dedicată filtrelor.

Determinarea experimentală a modelului

Modelul definit prin relațiile (19) și (20) poate fi dedus pe cale analitică, din modelele componentelor amplificatorului. Totuși, el poate fi determinat și experimental, prin măsurări simple. Se folosește schema de conectare din figura 22, cu ajutorul căreia se caracterizează amplificatorul. Pentru determinarea caracteristicilor de frecvență, aparatul din dreapta este un osciloscop sau un voltmetru electronic de c.a.. Cu ajutorul generatorului de semnal se aplică la intrare semnal sinusoidal de diferite frecvențe. Pentru fiecare valoare a frecvenței, se determină modulul amplificării și defazajul, conform cu relațiile (19) și (20). Defazajul se măsoară așa cum a fost prezentat în capitolul precedent (figura 7, relația (9)). Cu valorile măsurate se construiesc cele două caracteristici de frecvență, din care apoi se poate prezice comportarea amplificatorului, pentru diferite semnale de intrare. Spre exemplu, pentru un amplificator de audiofrecvență, se determină amplificarea la frecvențele: 10Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 5kHz, 10kHz, 20kHz, 50kHz, 100kHz.

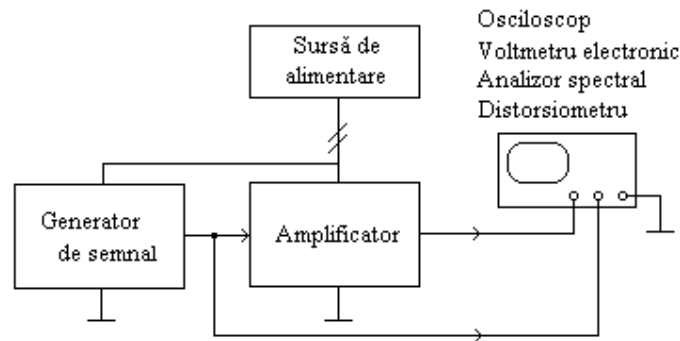


Figura 22: Configurație de măsură, pentru caracterizarea amplificatorului

Neliniaritatea

Pentru toate modelele de mai sus, a fost făcută ipoteza că amplificatorul se comportă liniar. Aceasta înseamnă că orice semnal de intrare sinusoidal produce un semnal de ieșire sinusoidal. În plus, semnalul de ieșire este suma componentelor pe care le-ar produce separat amplificatorul, dacă ar avea la intrare fiecare dintre componentele sinusoidale ale semnalului de intrare. Și această comportare este un model aproximativ, valabil în condiții restrictive. Există două cauze principale ale neliniarității: neliniaritățile intrinseci ale unor componente și limitarea introdusă de sursa de alimentare. Pentru ilustrarea acestui fenomen, să presupunem că un amplificator are modelul (17). Relația între valorile instantanee ale semnalelor de ieșire și intrare trebuie să fie de forma din figura 20. În realitate, este posibil ca forma caracteristicii intrare-ieșire să se abată de la liniaritate, ca în exemplul din figura 23a. Această abatere este produsă de neliniaritățile intrinseci ale componentelor și ea poate fi compensată suficient de fin, prin tehnici adecvate de proiectare a circuitelor, astfel încât să fie respectat satisfăcător modelul (17).

A doua cauză a neliniarității este ilustrată de caracteristica intrare-ieșire din figura 23b. Se observă că semnalul de ieșire nu poate depăși o anumită limită, indiferent de valoarea semnalului de intrare. Modelul (17) este o aproximare valabilă doar pentru semnale de intrare cu valori între limitele marcate pe grafic. Între ele, există relațiile evidente (valabile pentru $a > 0$):

$$\begin{aligned} x_{e-\max} &= a \cdot x_{i-\max} \\ x_{e-\min} &= a \cdot x_{i-\min} \end{aligned} \quad (24)$$

Dacă $a < 0$, graficul ocupă cadranele 2 și 4, iar relațiile (24) se modifică corespunzător.

De regulă, această limitare este indusă de tensiunea de alimentare, deoarece multe dintre circuitele uzuale nu pot produce tensiune de ieșire mai mare decât tensiunea de alimentare. Spre deosebire de precedentă cauză a neliniarității, aceasta nu poate fi compensată prin nici o tehnică: dacă dorim limite mai largi pentru semnalul de ieșire, trebuie pur și simplu să proiectăm un circuit cu tensiune de alimentare mai mare.

În figura 24 sînt prezentate exemple de semnale de ieșire afectate de neliniaritatea amplificatorului, în condițiile în care semnalul de intrare este sinusoidal. Abaterea din primul exemplu este produsă de neliniaritatea componentelor (care poate fi compensată prin proiectare), în timp ce ultimele două exemple sînt limitări induse de tensiunea de alimentare. În amîndouă cazurile se spune că semnalul de ieșire este *distorsionat* neliniar. Reamintim că în toate exemplele în care am considerat semnale de intrare sinusoidale, am avut scopul de a analiza funcționarea amplificatorului, pe un semnal determinist comod de utilizat. Concluziile sînt însă valabile pentru orice formă de semnal.

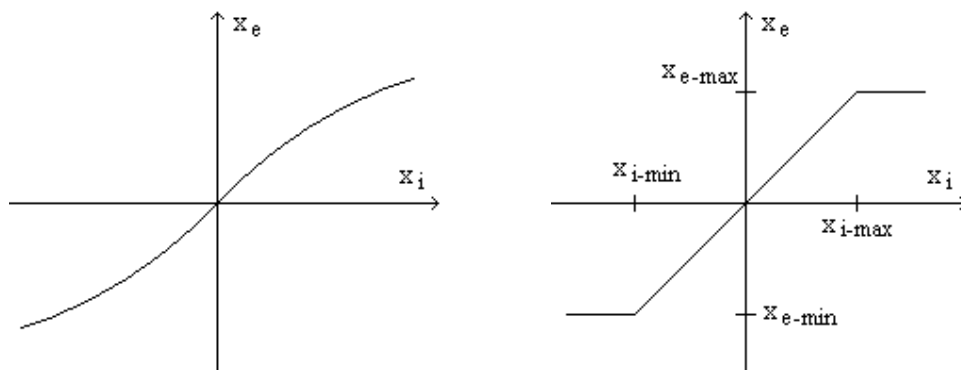


Figura 23: Caracteristici intrare-ieșire cu neliniarități



Figura 24: Semnal de ieșire distorsionat

Alte noțiuni specifice

Noțiunile introduse pînă aici: amplificare, defazaj, caracteristică intrare-ieșire, caracteristici de frecvență, bandă de trecere, funcționare liniară, valori maxime ale semnalului de intrare și de ieșire, distorsiuni neliniare. În afară de aceste noțiuni, amplificatoarele mai sînt caracterizate printr-o serie de parametri, care precizează performanțele. Aceștia vor fi analizați în detaliu, la cursul de circuite electronice fundamentale. Dintre ei, un parametru cunoscut precizează care este *puterea maximă* obținută la ieșire, pe o sarcină standard. Alți doi parametri, *impedanța de intrare* și *impedanța de ieșire*, caracterizează transferul de putere între generator, amplificator și sarcină. În fine, o noțiune importantă, pe care electroniștii o întîlnesc în toate situațiile, este *zgomotul electric*.

Zgomotul electric este o manifestare a cîmpurilor electromagnetice din mediul înconjurător, care perturbă funcționarea circuitelor (se mai numește *perturbație*). El este produs de funcționarea circuitelor de alimentare, de circuitele de iluminat, de echipamentele de acționări electrice, de emițătoarele radio etc. Cîteva exemple:

- zgomotul produs în receptoarele radio-tv de telefonul mobil, în momentul apariției unui apel;
- punctele aleatoare albe și negre, care apar pe ecranul televizorului, cînd în vecinătate se folosește un motor electric cu perii, cum ar fi cel de la mixer;
- zgomotul de 100Hz, provenind de la alimentarea amplificatorului, care se suprapune peste semnalul transmis către difuzor;

- semnalul perturbator de amplitudine mică, care apare în amplificatoare, dacă în apropiere există un emițător radio de putere mare;
- semnalul perturbator de 50Hz, suprapus peste semnalul util de microfon.

În toate situațiile, proiectarea circuitului trebuie să diminueze efectul zgomotului. În acest scop, se aplică tehnici speciale de circuit (vor fi studiate la cursul de Circuite electronice) și se iau suplimentar măsuri tehnologice (cum ar fi ecranarea conductoarelor, care se va studia la cursul de Tehnologia circuitelor electronice).

Stabilizatoare

Stabilizatorul este un circuit care păstrează constantă valoarea unei mărimi, indiferent de acțiunea perturbațiilor. Există stabilizatoare de tensiune și stabilizatoare de curent, după mărimea care trebuie păstrată constantă. Stabilizatoarele de tensiune (sursă de tensiune constantă) sînt foarte frecvent utilizate, în timp ce stabilizatoarele de curent (surse de curent constant) sînt folosite mai rar. Scopul în care folosim stabilizatorul poate fi:

- alimentare stabilizată (scop energetic);
- furnizarea unei mărimi de referință constante (scop informațional).

În figura 25 apar două exemple de utilizarea a stabilizatorului de tensiune, pentru alimentarea cu tensiune constantă a unui consumator. De obicei, aparatele electronice au nevoie de acest tip de alimentare (cu tensiune stabilizată), deci rezistența de sarcină din figură este circuitul de alimentare al unui aparat. Sursa de alimentare din figura 15 sau 18 este tot un stabilizator de tensiune, iar sursa de alimentare a calculatorului dumneavoastră este tot un stabilizator de tensiune. Modul în care lucrează stabilizatoarele va fi studiat la cursul de Circuite electronice fundamentale.

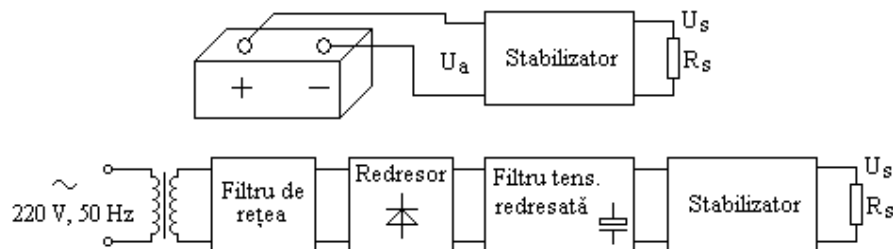


Figura 25: Stabilizatoare de tensiune, alimentate de la baterie sau de la rețea

Care poate fi perturbația al cărei efect trebuie să-l împiedice stabilizatorul? În primul caz din figura 25, energia este furnizată de o baterie, despre care știm că prezintă tensiune variabilă la borne, în funcție de starea de încărcare. Deci variațiile lente ale tensiunii de alimentare reprezintă una dintre perturbații. Apoi, tensiunea de la borne variază și în funcție de curentul absorbit de sarcină, deci sarcina însăși este o perturbație care trebuie prevenită. În fine, stabilizatorul este un circuit electronic, a cărui funcționare depinde de temperatura mediului, deci temperatura este o altă perturbație (cu acțiune lentă). În al doilea caz din figura 25, energia este furnizată de rețeaua electrică de curent alternativ. Pentru a obține tensiunea de alimentare a sarcinii, este nevoie de un transformator de rețea, un redresor cu diode, un filtru al tensiunii redresate și un stabilizator. Stabilizatorul trebuie să compenseze efectul tuturor perturbațiilor amintite mai sus, plus variațiile rapide ale tensiunii de alimentare, produse de rețea sau de redresor. Variațiile produse de redresorul cu filtru au fost deja prezentate în figura 10, diagrama lui U_s și au – cel mai adesea – aspectul din figura 26. În concluzie, principalele perturbații sînt:

- sarcina (curentul variabil absorbit);
- alimentarea (variații rapide sau lente);
- temperatura mediului.

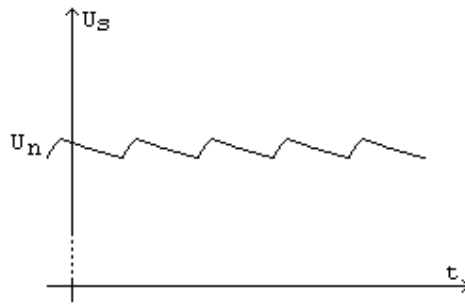


Figura 26: Variațiile tensiunii furnizate de redresor și filtru

Caracteristica de sarcină

Cîteva dintre proprietățile stabilizatorului pot fi descrise prin grafice suficient de sugestive, utile pentru proiectantul aparatului alimentat. Cea mai importantă proprietate este stabilizarea în raport cu curentul de sarcină, adică proprietatea de a menține constantă tensiunea de sarcină (sau de ieșire), indiferent de fluctuațiile curentului de sarcină. Expresia sa grafică se numește caracteristică de sarcină și este ilustrată în figura 27. Ea poate fi determinată experimental, prin măsurări la borne (vezi lucrarea de laborator și prima temă de casă). Numele de caracteristică de sarcină sugerează că ea pune în evidență efectul principalei perturbații (adică sarcina) asupra tensiunii stabilizate. Dacă această proprietate depinde semnificativ de tensiunea de alimentare, atunci este necesar să reprezentăm o familie de caracteristici, fiecare corespunzînd unei tensiuni de alimentare. Caracteristica din figura 27 este interpretată astfel: există un interval destul de larg al curentului de sarcină, pentru care tensiunea este foarte puțin dependentă de curentul de sarcină. Acest interval este încadrat de liniile punctate de pe desen. Utilizatorul va evita funcționarea în afara intervalului, întrucît tensiunea este mai mult afectată de curentul de sarcină.

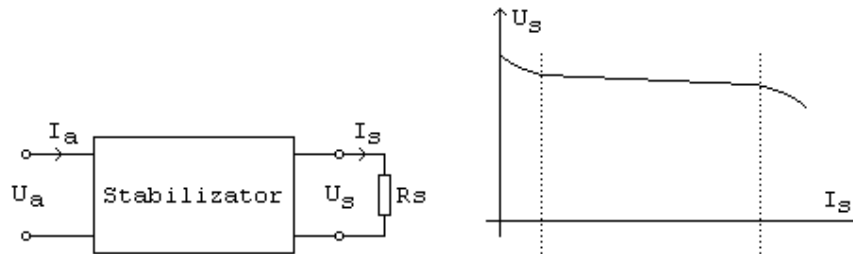


Figura 27: Caracteristica de sarcină a unui stabilizator

În interiorul intervalului de stabilizare, ne dorim ca variația tensiunii să fie cît mai mică. Parametrul care descrie această proprietate este numit rezistența internă (sau rezistența de ieșire) a stabilizatorului, definită astfel:

$$R_o = - \left. \frac{dU_s}{dI_s} \right|_{U_a = \text{const}} \quad (25)$$

Se observă că rezistența de ieșire este modulul pantei caracteristicii. Evident, dorim ca valoarea rezistenței de ieșire să fie cît mai mică, pentru ca variațiile curentului de sarcină să producă abateri neglijabile ale tensiunii. Pentru intervalul de stabilizare, un circuit echivalent al stabilizatorului este cel din figura 28, în care intervin ca parametri: tensiunea de mers în gol a stabilizatorului și rezistența de ieșire. Cei doi parametri pot fi determinați din datele experimentale (vezi prima temă de casă).

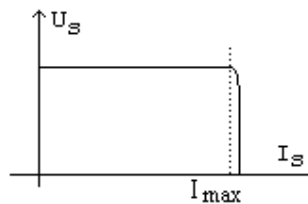
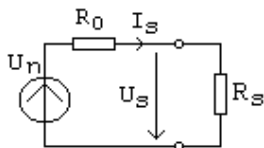


Figura 28: Circuitul echivalent al stabilizatorului Figura 29: Protecție prin limitarea curentului

Protecție prin limitarea curentului

Ca orice circuit, stabilizatorul funcționează doar între anumite limite ale mărimilor externe. În afara limitelor, fie funcțiunea nu mai este îndeplinită, fie circuitul este în pericol să se distrugă. În cazul curentului de sarcină mai mare decât valoarea maximă indicată de fabricant, circuitul poate într-adevăr să se distrugă. Ca să evite o astfel de situație, proiectantul alege schema stabilizatorului în așa fel, încât curentul maxim să nu poată fi depășit. Se spune că circuitul a fost protejat prin *limitarea curentului*. Un exemplu de caracteristică de sarcină cu limitare este cea din figura 29, pe care o găsim la toate sursele de alimentare din laborator. Iată cum acționează limitarea: dacă creștem treptat curentul consumat, sursa menține tensiunea constantă. Dacă însă consumul are tendința să depășească valoarea maximă, sursa diminuează tensiunea de ieșire, astfel încât curentul să rămână la valoarea maximă admisă (la sursa de laborator, acest regim este semnalizat prin stingerea LED-ului „Tensiune constantă” și aprinderea LED-ului „Curent constant”).

Parametri specifici

Principalii parametri prin care sînt caracterizate stabilizatoarele de tensiune sînt:

- tensiunea de ieșire (sau de sarcină) *nominală* – este valoarea indicată de fabricant;
- curentul maxim de ieșire: este valoarea maximă a curentului de sarcină pentru care circuitul încă îndeplinește funcțiunea de stabilizare (valoare indicată în figura 29);
- domeniul admisibil al tensiunilor de alimentare: valoarea maximă și minimă ale tensiunii de alimentare, între care stabilizatorul își îndeplinește funcțiunea;
- valoarea maximă a tensiunii de zgomot (sau de ondulație) pe sarcină: se referă la pulsările tensiunii de sarcină (ca în figura 26), produse de alimentare, de stabilizatorul însuși sau de alte surse, dar pe care stabilizatorul nu reușește să le „netezească”;
- randamentul stabilizatorului: raportul dintre puterea transmisă sarcinii și puterea consumată de stabilizator (vezi capitolul 3, figura 13);
- rezistența de ieșire, din relația (25) (se mai numește sensibilitatea tensiunii în raport cu curentul de sarcină);
- sensibilitățile tensiunii în raport cu alimentarea și cu temperatura ambiantă.

Pentru curenți de sarcină nu prea mari, există deja multe circuite stabilizatoare integrate într-o capsulă. Acestea nu necesită nici o componentă externă sau foarte puține componente, deci contribuie la reducerea spațiului ocupat de circuit și la reducerea prețului. În figura 30 este prezentată schema unui stabilizator care folosește un circuit integrat foarte popular, pentru tensiune nominală de sarcină de +5V. Terminalele circuitului sînt numite In (de la *Input* = intrare), Out (de la *Output* = ieșire) și Gnd. În figura 31 este prezentată imaginea unor circuite integrate care, împreună cu alte componente, îndeplinesc funcțiunea de stabilizare a tensiunii.

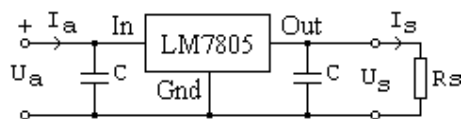


Figura 30: Schema unui stabilizator realizat cu circuit integrat



Figura 31: Circuite integrate cu rol de stabilizare a tensiunii

Oscilatoare

Oscilatoarele sînt circuite care generează semnale periodice, de forma dorită, fără a primi vreun semnal din exterior. Ca și amplificatoarele, au nevoie de o sursă de alimentare. După frecvența generată și tehnologia folosită, oscilatoarele se clasifică în:

- oscilatoare de foarte joasă frecvență (sub 10Hz);
- oscilatoare de audiofrecvență (10Hz-1MHz);
- oscilatoare de radiofrecvență (sute de kHz – sute de MHz);
- oscilatoare de microunde (sute de MHz – 10GHz).

Formele cel mai uzuale de semnale generate sînt: sinusoidă, triunghi, dreptunghi, dinte de fierăstrău (vezi capitolul 5, semnalele periodice din figura 5). În laborator, folosim frecvent aparate generatoare de semnal periodic, care sînt – în esență – oscilatoare (vezi generatorul din figura 22). Pe panoul frontal al oricărui generator trebuie să se găsească două reglaje de frecvență (brut și fin), două reglaje de amplitudine (brut și fin) și mufa pentru semnalul de ieșire. Suplimentar, se pot găsi selectorul formei de undă, reglajul componentei medii, indicatorul de frecvență etc.

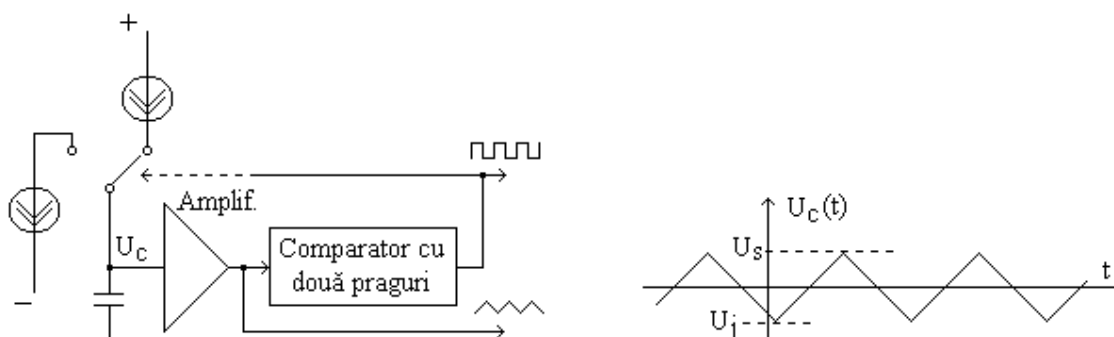


Figura 32: Principiul de funcționare al oscilatorului de relaxare

Exemplu de generare a oscilației (oscilator de relaxare)

Există mai multe metode de generare a oscilației, cu proprietăți diferite (vor fi studiate la Circuite electronice fundamentale). În figura 32 este prezentat principiul după care funcționează multe generatoare de laborator (se numește oscilator de relaxare). Două generatoare de curent constant sînt folosite pentru a injecta curent, respectiv pentru a extrage curent din condensatorul C. Ele își schimbă rolul, de fiecare dată cînd tensiunea pe condensator atinge pragul de sus sau de jos (pragurile sînt fixate). Depășirea pragurilor este detectată de un comparator, al cărui semnal de ieșire schimbă starea comutatorului, de fiecare dată cînd constată o depășire. Pentru a nu perturba tensiunea de pe condensator, este necesar un amplificator repetor, adică un amplificator care repetă la ieșire tensiunea de la intrare. Se poate pune întrebarea: de ce să mai folosim un amplificator, dacă dorim ca tensiunea de ieșire să fie egală cu cea de intrare? Scopul este să nu perturbăm tensiunea de

pe condensator, motiv pentru care este necesar un amplificator cu impedența de intrare foarte mare (zeci de $M\Omega$). Se observă aici aceeași soluție ca cea prezentată în capitolul 2 (voltmetrul electronic, a cărui proprietate esențială este tot impedența foarte mare de intrare).

Analiza în timp

În privința semnalelor obținute, este evident că extremele semnalului de pe condensator sînt cele două praguri ale comparatorului (figura 32b). Dar de unde rezultă că semnalul este triunghiular? Pentru aceasta, se scrie ecuația tensiunii la bornele unui condensator (modelul condensatorului va fi analizat mai amănunțit la cursul de Componente și circuite pasive):

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt. \quad (26)$$

Cum $i(t)$ este constantă pe porțiuni, iar integrala unei constante este funcția de gradul 1, rezultă că semnalul de tensiune pe condensator este liniar pe porțiuni. Pentru ca triunghiul să fie simetric, este necesar ca cele două generatoare de curent constant să furnizeze valori egale ale curentului. Acum se poate estima durata porțiunii crescătoare a semnalului, din relația:

$$\Delta U = U_s - U_j = \frac{1}{C} I \cdot t_1. \quad (27)$$

Egalitatea curenților atrage egalitatea duratelor, deci rezultă perioada semnalului triunghiular:

$$T = t_1 + t_2 = 2t_1 = 2C \frac{U_s - U_j}{I}. \quad (28)$$

Ieșirea comparatorului este cea care decide starea comutatorului curenților, deci poate fi un semnal cu doar două valori distincte (semnal binar). Din acest semnal se produce semnalul dreptunghiular.

Observăm că, la oscilatoare, este importantă forma semnalului de ieșire, motiv pentru care trebuie realizată o analiză în variabila timp (diagrama din figura 32, relațiile (26), (28)). De aici deduceți imediat că electroniștii trebuie să stăpînească foarte bine și **modelele în timp**, în aceeași măsură cu **modelele în frecvență** (vezi secțiunile pentru amplificatoare și filtre).

În afară de generatoarele de semnal pentru testare, se folosesc circuite oscilatoare în foarte multe aparate electronice: în toate echipamentele de comunicații, în toate echipamentele digitale (calculatoare), în traductoare, toate aparatele electronice programabile etc.

Parametrii specifici oscilatoarelor sînt:

- stabilitatea frecvenței;
- stabilitatea amplitudinii;
- domeniul frecvențelor generate;
- factorul de distorsiuni (arată cît de mult se abate semnalul sinusoidal generat de la forma corectă de sinusoidă).

Acolo unde se cere o stabilitate foarte bună a frecvenței (comunicații, calculatoare), oscilatoarele folosesc o componentă specifică, care are această proprietate: *rezonatorul piezoelectric*. Acesta este construit dintr-un cristal de cuarț sau dintr-o ceramică piezoelectrică (componenta este denumită, cel mai frecvent, *crystal* sau *quartz*, chiar dacă nu întotdeauna înăuntru se găsește cuarț). Materialele piezoelectrice sînt prezentate la cursul de Materiale pentru electronică, iar utilizarea în circuit este prezentată la cursurile de circuite electronice. În figura 33 este prezentată o porțiune din placa de bază a unui calculator, pe care se găsesc două rezonatoare piezo, în capsulă de metal.



Figura 33: Două capsule de rezonator piezoelectric, pe placa de bază a unui calculator

Modulatoare și demodulatoare în tehnica radio

Undele radio folosite pentru radiodifuziune și pentru comunicații de date au frecvența de bază mult mai mare decât frecvența semnalelor audio (din cauză că propagarea este slabă, la frecvențe joase). Ca urmare, este nevoie ca semnalul de joasă frecvență, care poartă informația, să fie suprapus peste semnalul de frecvență mare (zis *semnal purtător*), înainte de a fi trimis către antenă. Operația se numește *modulare*. Un exemplu sugestiv este radiodifuziunea în unde ultracurte, la care semnalul original poate avea componente de maxim 15kHz (se spune că are banda de 15kHz), în timp ce frecvența semnalului purtător este mai mare de 90MHz (cam de 6.000 ori mai mare). La recepție, are loc operația inversă, numită *demodulare*, prin care se extrage semnalul original, din semnalul modulat. Etapele prelucrării semnalului într-un emițător și un receptor radio uzuale sînt prezentate în schemele bloc din figurile 34 și 35. Se observă că în tehnica radio se folosesc, pe lângă modulator și demodulator, circuite din categoriile amplificator, oscilator, filtru, stabilizator (pentru alimentare).

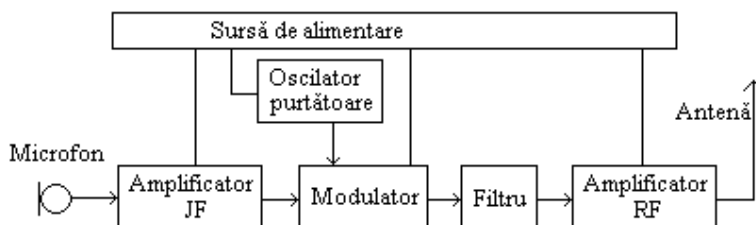


Figura 34: Schema bloc a unui emițător radio

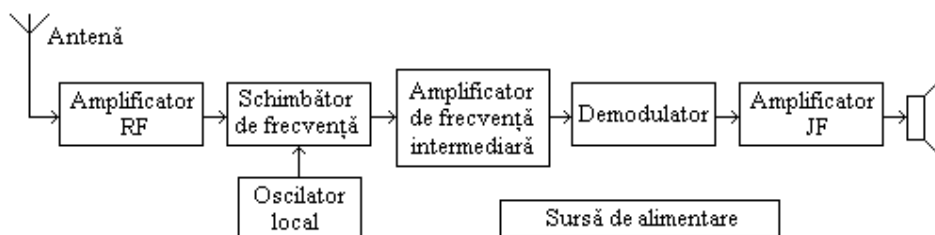


Figura 35: Schema bloc a unui receptor radio

Filtre

Filtrele au rolul de a modifica forma și conținutul de armonice ale semnalului (se numește *spectrul* semnalului). În acest curs, vom introduce intuitiv funcțiunea de filtrare. Tratarea sistematică va fi făcută la cursul de Analiza și sinteza circuitelor și sistemelor.

Filtrele se folosesc în două scopuri:

- „netezirea” tensiunii furnizate de redresor (această utilizare a fost descrisă la secțiunea dedicată redresoarelor). În acest caz, modificarea formei este scopul final;
- modificarea informației conținute de un semnal, prin modificarea componenței spectrale. În acest caz, modificarea formei nu este relevantă, ci conținutul de armonice.

De regulă, funcțiunea îndeplinită de filtru este descrisă prin caracteristica sa de frecvență, deoarece funcționarea sa este strâns legată de conținutul spectral al semnalelor. Caracteristica de frecvență are aceeași semnificație ca cea introdusă la amplificatoare (modelul dat de relațiile (19), (20), (21) și exemplul de aspect grafic din figura 21).

Exemple de caracteristici de frecvență ale filtrelor:

- *filtrul trece-jos* (FTJ), care transmite frecvențele joase și atenuează frecvențele înalte (figura 36a). Circuitul folosit în compunerea redresorului este un FTJ (el păstrează componenta medie a semnalului și atenuează undulațiile, adică componentele de frecvență mai mare). Un alt exemplu de utilizare este filtrul pentru eliminarea zgomotului de frecvență mare, suprapus peste semnalul util, care este de frecvență mai joasă.
- *filtrul trece-sus* (FTS), care transmite semnalele de frecvențe înalte și le diminuează pe cele de frecvențe joase (figura 36b). Exemplu de utilizare: circuitul de eliminare a componentei medii și a semnalelor de frecvențe foarte joase (sub 5 Hz) de la intrarea osciloscopului.
- *filtrul trece-bandă* (FTB), care transmite semnalele dintr-o bandă de frecvențe determinată, atenuând pe cele din afara benzii (figura 36c). Exemple de utilizare: filtrul care lasă să treacă doar semnalele din banda pe care dorim să o recepționăm, în receptorul radio, filtrul care lasă să treacă semnalele din banda 0,3kHz – 3,4kHz, în telefonie, sau filtrul care lasă să treacă doar semnalele din banda 450-460 kHz, în amplificatoarele de frecvență intermediară din receptoarele radio MA.
- *filtrul oprește-bandă* (FOB), care elimină din semnalul de intrare componentele dintr-o bandă fixată (figura 36d). Exemple: filtre care elimină zgomotul de rețea sau zgomotul produs de aparatele care oscilează pe o anumită frecvență. Banda de oprire a filtrului se alege centrată pe frecvența care trebuie eliminată.

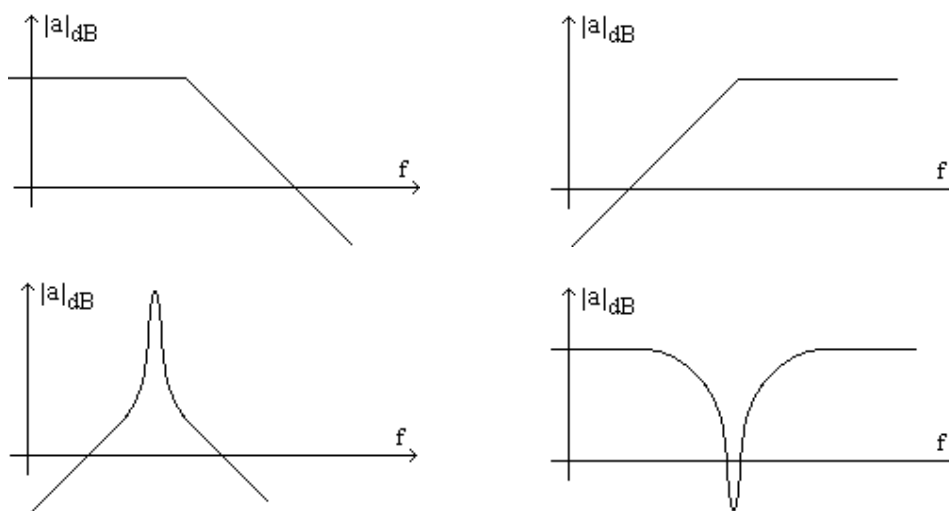


Figura 36: Caracteristici de frecvență ale unor filtre: FTJ, FTS, FTB, FOB

La limită, majoritatea amplificatoarelor pot fi descrise și ca filtre. Totuși, ele au fost proiectate special pentru mărirea puterii semnalului, ceea ce filtrele nu fac, deci este justificată tratarea lor separată.

Model matematic în variabila frecvență

Un model matematic pentru un filtru simplu se poate realiza, pe baza cunoștințelor de fizică, din liceu. Se consideră circuitul din figura 37, aflat în regim permanent sinusoidal (adică semnalul de intrare și cel de ieșire sînt semnale sinusoidale, întinse pe un orizont foarte lung de timp). Semnalul de intrare are forma din relația (29), iar toate celelalte semnale au tot formă sinusoidală, întrucît circuitul este liniar:

$$e(t) = E \cdot \sin(\omega t) \quad (29)$$

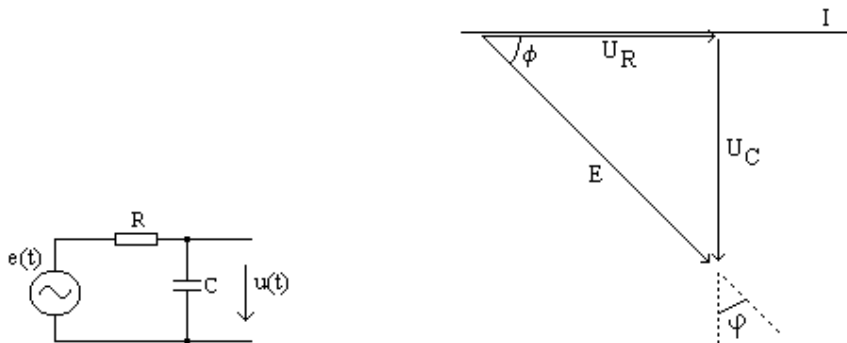


Figura 37: Circuit RC în regim sinusoidal Figura 38: Diagrama fazorilor în circuitul RC

Reprezentarea fazorială din figura 38 exprimă următoarele relații:

- elementul comun între cele două componente de circuit este curentul (se presupune că circuitul lucrează în gol, adică nu mai există altă impedanță de sarcină, în paralel cu condensatorul);
- tensiunea pe rezistor este în fază cu curentul;
- tensiunea pe condensator este defazată în urma curentului cu un sfert de perioadă;
- tensiunea de intrare este suma fazorială a tensiunilor pe rezistor și pe condensator (teorema Kirchhoff II).

Amplitudinile tensiunilor pe cele două componente: $U_R = RI$, $U_C = I \cdot X_C = \frac{I}{\omega C}$.

Relația lor cu amplitudinea tensiunii de intrare: $E = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} = I \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$.

Defazajul curentului față de tensiunea de intrare:

$\phi = \arctg\left(\frac{U_C}{U_R}\right) = \arctg\left(\frac{1}{\omega RC}\right) = \pi/2 - \arctg(\omega RC)$ (curentul înaintea tensiunii, din cauza capacității).

Defazajul tensiunii de ieșire față de cea de intrare: $\varphi = -(\pi/2 - \phi) = -\arctg(\omega RC)$ (tensiunea de ieșire întârziată față de cea de intrare).

Expresiile curentului și tensiunii de ieșire (originea fazei este tot tensiunea de intrare):

$$i(t) = \frac{E}{|Z|} \cdot \sin(\omega t + \phi) = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad (30)$$

$$u(t) = \frac{E}{|Z|} \cdot \frac{1}{\omega C} \cdot \sin(\omega t + \phi - \pi/2) = \frac{E}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} \cdot \sin(\omega t + \phi). \quad (31)$$

Conform cu modelul introdus prin relațiile (19) și (20), pentru amplificatoare, se pot determina mărimile care exprimă modulul amplificării (amplitudinile din relațiile (29) și (31)) și defazajul (fazele din aceleași relații):

$$|a(\omega)| = \frac{U_C}{E} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} \quad (32)$$

$$\varphi(\omega) = (\omega t + \phi - \pi/2) - \omega t = -\arctg(\omega RC) \quad (33)$$

Important pentru electroniști: Modelul frecvențial (variabila independentă este frecvența)

Relațiile de mai sus definesc amplificarea și defazajul (pentru semnal de intrare sinusoidal) ca funcții de frecvență. Este un model pe care electroniștii îl folosesc foarte frecvent, pentru a descrie funcțiunile circuitelor. Exprimarea grafică a mărimilor din relațiile (32) și (33) este dată în figura 39. Cele două grafice formează caracteristicile de frecvență ale filtrului. Așa cum a fost prezentat în cazul amplificatoarelor, modelul filtrului, dat în relațiile (32) și (33), are o arie de aplicare mult mai largă decât cazul semnalelor sinusoidale.

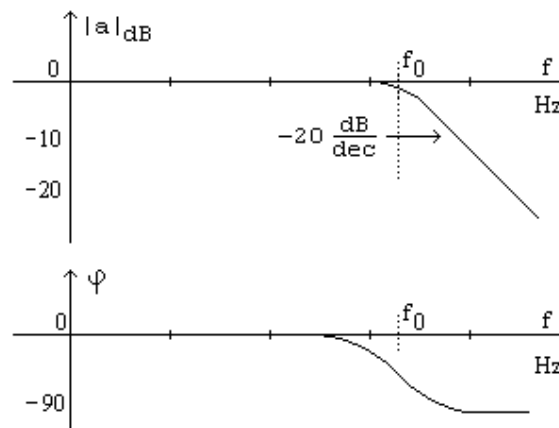


Figura 39: Caracteristicile de frecvență ale filtrului din figura 37

Ce se poate constata imediat, din caracteristicile de frecvență ale filtrului? Pe de o parte, amplificarea la frecvențe joase este 0dB, iar defazajul este nul, adică semnalul de ieșire are aceeași amplitudine și aceeași fază cu cel de intrare. Pe de altă parte, la frecvențe înalte, defazajul are valoarea constantă -90 grade iar amplificarea scade odată cu creșterea frecvenței. În mod convențional, frecvența de frîngere a caracteristicii este cea la care se întâlnesc asimptotele:

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \text{ sau } f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (34)$$

Se constată că semnalele cu frecvența mai mare decât frecvența de frîngere sînt atenuate (cu atît mai atenuate cu cît este mai mare frecvența), în timp ce semnalele de frecvență mai mică sînt reproduse la ieșire la fel cum au apărut la intrare. De aceea, acest tip de filtru se numește „trece-jos” („trec” numai frecvențele joase).

Pe baza caracteristicilor de frecvență, se poate anticipa semnalul de ieșire, atît pentru semnale periodice, cît și pentru cele neperiodice. Utilizarea caracteristicilor pentru semnale neperiodice (modelul din relația (23)) va fi analizată la un alt curs. Utilizarea caracteristicilor pentru semnale

periodice, este identică cu cea explicată în secțiunea privind amplificatoarele (relația (21)). Un exemplu de semnal periodic, descompus în componentele armonice, apare în figura 40, sus (pentru reprezentarea comodă a armonicilor, am renunțat aici la coordonate logaritmice). O componentă a semnalului de ieșire (graficul de jos) are amplitudinea egală cu amplitudinea componentei corespunzătoare de la intrare, înmulțită cu amplificarea dedusă din caracteristica filtrului (graficul din mijloc), pentru frecvența respectivei componente. Semnalul de ieșire rezultă prin însumarea componentelor armonice.

Totuși, așa cum s-a arătat și în cazul amplificatoarelor, nu folosim frecvență caracteristicile de frecvență pentru anticiparea semnalului de ieșire, ci pentru a deduce proprietățile frecvențiale ale filtrului.

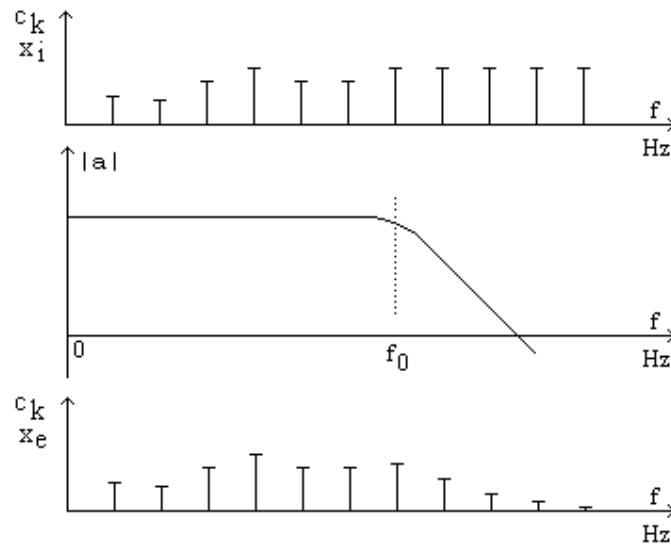


Figura 40: Atenuarea componentelor de frecvență mare de către FTJ

Exemplu de utilizare 1

Un aparat (foarte popular) care se bazează pe utilizarea filtrelor este „orga de lumini”. Cu acest aparat se generează iluminare de culoare diferită, în funcție de conținutul spectral al semnalelor audio. Spre exemplu, atunci când semnalul audio conține componente de frecvență joasă, se generează intens culoarea roșie, la frecvențele ridicate se generează culoarea verde (sau albastră), iar la frecvențele intermediare se generează culoarea galbenă. Întrucât semnalele au componentă spectrală bogată, generarea diferitelor culori poate avea loc simultan, rezultând foarte multe combinații. O schemă bloc a acestui aparat este dată în figura 41. Cele trei caracteristici de frecvență, corespunzătoare celor trei filtre, sînt reprezentate în figura 42. Masa de mixaj dintr-un studio de înregistrări audio dispune de un set similar de filtre, dar mult mai numeros.

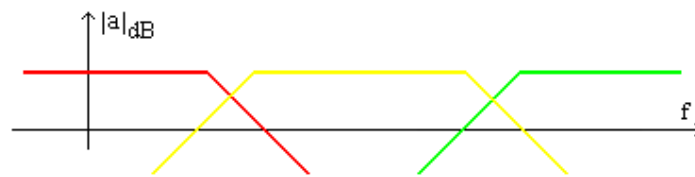


Figura 42: Cele trei caracteristici de frecvență ale filtrelor

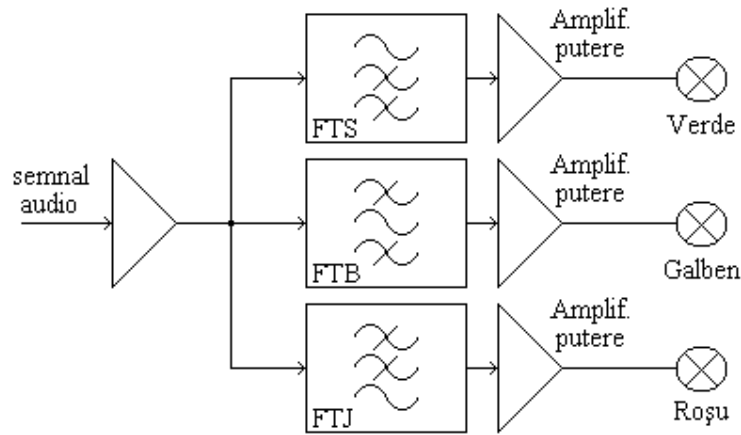
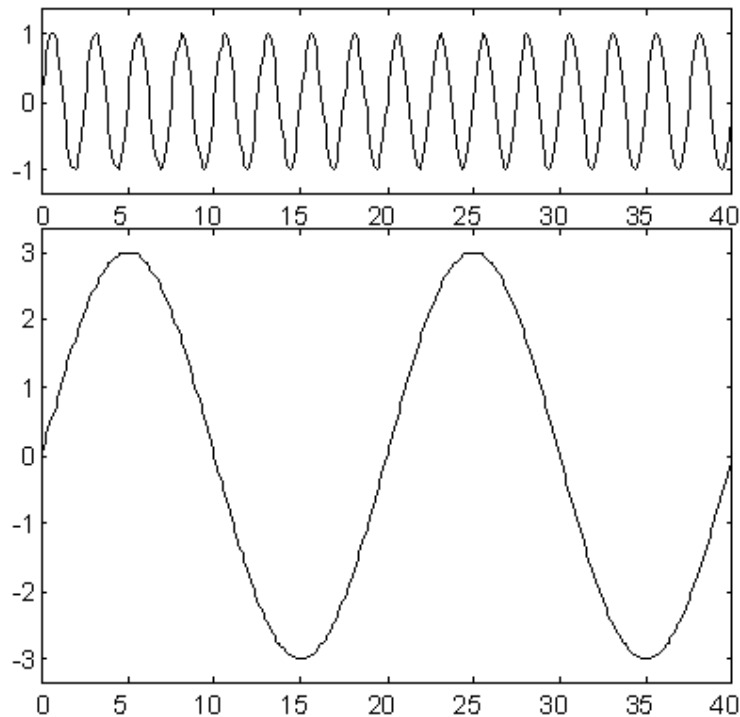


Figura 41: Schema bloc a orgii de lumini

Exemplu de utilizare 2

Un alt exemplu de filtrare este cel al eliminării componentelor perturbatoare dintr-un semnal (eliminarea zgomotului). Spre exemplu, un semnal ca cel din figura 43 (sus), care are frecvența mare față de cea a rețelei (400Hz), a fost perturbat de semnalul de rețea (graficul din mijloc, frecvența de 50Hz) și a rezultat semnalul din figura 43 (jos). Semnalul perturbat este aplicat la intrarea unui FOB, ca cel din figura 36d, centrat pe frecvența de 50Hz. La ieșire se obține, cu foarte bună aproximație, semnalul original (sus). Eliminarea perturbației a fost posibilă deoarece semnalul util nu are componente de frecvențe apropiate de cea a perturbației, lucru care se vede în figura 44, sus (jos este reprezentată caracteristica de frecvență a filtrului, în coordonate liniare).



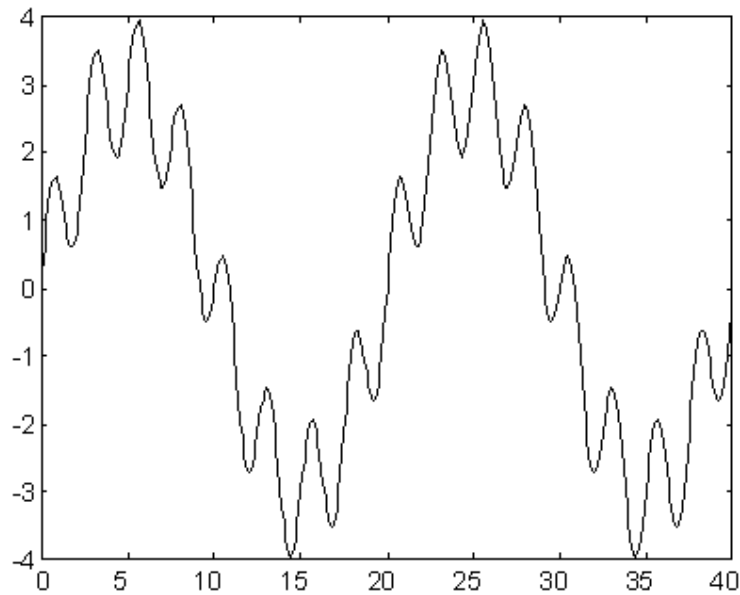


Figura 43: Semnalul original (sus), semnalul perturbator (mijloc) și semnalul perturbat (jos)

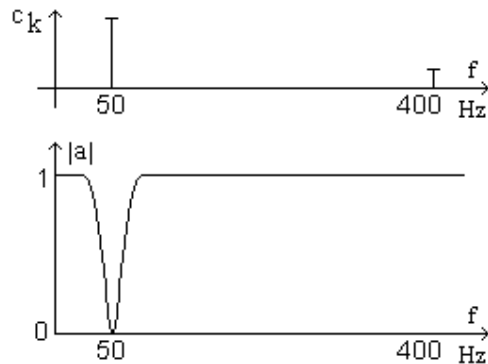


Figura 44: Componenta spectrală a celor două semnale și filtrul FOB care elimină perturbația

Ne putem imagina și situația opusă, în care semnalul de frecvență joasă este cel util, în timp ce semnalul de frecvență mai mare este perturbația. În acest caz, este nevoie de un FOB centrat pe 400Hz sau de un FTJ, care atenuează componentele cu frecvențe peste 100Hz.

Circuite numerice programabile

Sfârșitul secolului 20 și începutul celui curent au adus o dezvoltare explozivă a tehnicii numerice, adică a circuitelor numerice destinate prelucrării informației. Toate domeniile vieții economice și sociale sînt influențate de acest progres tehnologic, dar cele care au progresat cel mai mult, datorită tehnicii numerice, sînt:

- telecomunicațiile (telefonie mobilă, centrale telefonice digitale, transmisiunile de date, poșta electronică, telefonie IP);
- automatizările industriale (reglarea mărimilor din procesele industriale, transferul datelor, planificarea producției);
- divertismentul (toate categoriile de jocuri mijlocite de calculator, înregistrările digitale de sunet și imagine, jucăriile);
- stocarea și regăsirea informației în sistemele cu volume mari de date (baze de date ale băncilor, editurilor, instituțiilor guvernamentale);

- proiectarea asistată de calculator.

Acest domeniu foarte vast va fi studiat la cursurile de programare, circuite digitale, arhitectura calculatoarelor, microcontrolere.

În esență, sistemele numerice au două componente: aparatele numerice programabile (calculatoarele de toate dimensiunile = *hardware*) și programele care rulează în aceste circuite (*software*). Circuitele se diferențiază prin capacități de procesare (număr de instrucțiuni pe secundă), capacități de memorare și interfețele cu lumea exterioară. Există o varietate imensă de astfel de sisteme de calcul, de la supercalculatoare (de mare capacitate de procesare) până la calculatoare de buzunar și microcontrolere pentru reglarea temperaturii. Esențialul funcționării circuitelor din această categorie este efectuarea de operațiuni de prelucrare a semnalelor, sub comanda unui program, scris de proiectant. La unele aplicații, programul este scris o singură dată, în timpul producției aparatului (termostatul, calculatorul de buzunar, aparatele de divertisment, imprimanta etc.). Alte aplicații necesită reprogramarea, fie pentru actualizarea datelor (casa de marcat electronică, roboții industriali etc.), fie pentru că destinația lor este de a îndeplini sarcini foarte diverse (calculatorul personal).

Pentru ilustrarea circuitelor de prelucrare numerică a informației, în figura 45 este prezentată schema bloc a unui termostat, bazat pe un microcontroler uzual. Rolul său este de a comanda circuitul de încălzire al unui cuptor electric, astfel încât temperatura internă să urmărească programul stabilit de operator.

Se observă că numărul de componente hardware necesare aparatului este foarte mic: microcontrolerul, un cristal de cuarț cu două condensatoare (pot să lipsească), circuitul senzor de temperatură (lucrează tot numeric), trei butoane, un afișor cu 20 caractere, sursa de alimentare stabilizată și un releu, pentru comanda rezistorului de încălzire (nu au fost figurate stabilizatorul și întrerupătoarele circuitelor de alimentare). Microcontrolerul are nevoie de puține resurse: memorie internă 2000 octeți, 1.000.000 instrucțiuni pe secundă, 12 linii de intrare/ieșire. Programul scris în microcontroler (*software-ul*) rezolvă următoarele sarcini:

- măsurarea periodică a temperaturii;
- citirea butoanelor prin care operatorul introduce planificarea încălzirii;
- algoritmul de reglare automată a temperaturii;
- afișarea mărimilor necesare operatorului;
- comanda circuitului de încălzire (închis/deschis);
- măsurarea timpului (pentru respectarea planificării).

Proiectarea unui astfel de circuit presupune câteva etape principale:

- analiza solicitării beneficiarului, astfel încât să fie aleasă soluția cea mai adecvată;
- alegerea soluției (dintre cele deja cunoscute din manuale, alte proiecte, recomandări ale fabricantilor etc.), alegerea și dimensionarea componentelor hardware;
- scrierea programului care va fi înscris în memoria microcontrolerului și executat de fiecare dată când circuitul este alimentat;
- execuția prototipului, proiectarea aspectelor tehnologice (cablaj, lipirea componentelor, carcasă, ventilație) și proiectarea producției de serie mare.

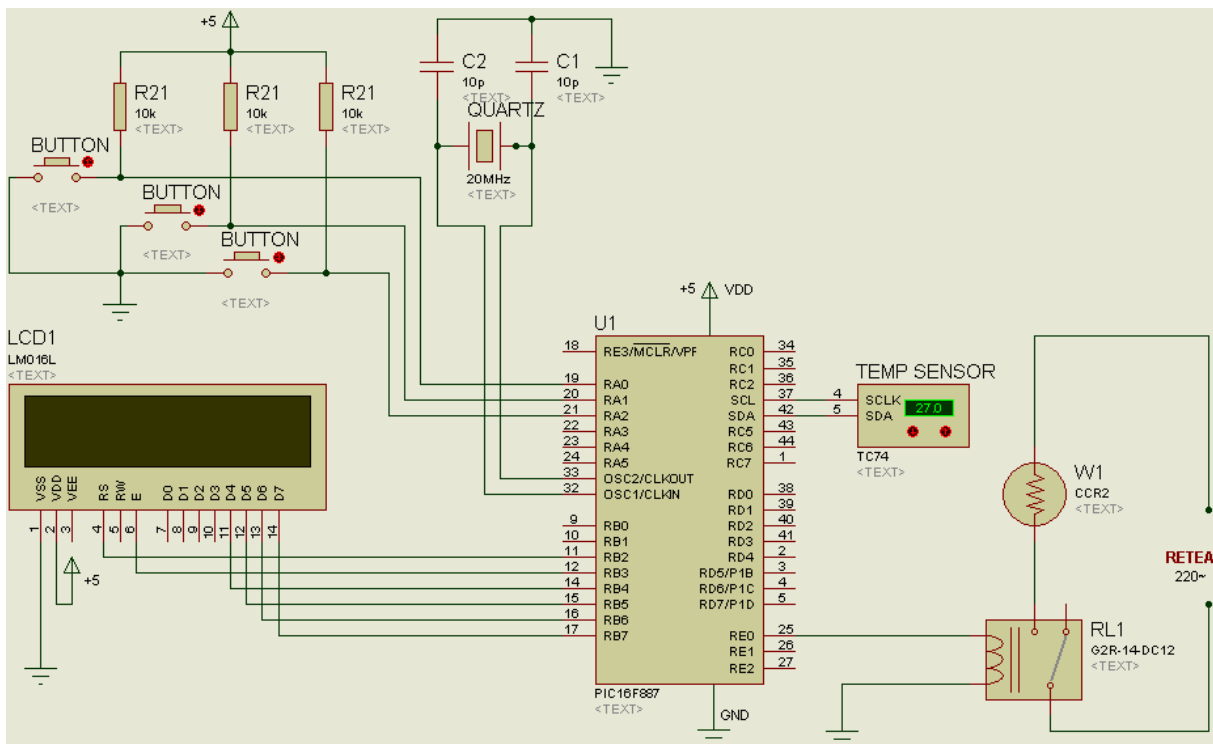


Figura 45: Schema unui termostat cu microcontroler

Programe de asistare a proiectantului de circuite

Pentru proiectarea circuitelor, există programe specializate, care rulează pe calculatoare uzuale (PC) și care îl ajută pe proiectant. Aceste programe fac parte din metodele moderne de proiectare, conform conceptului de proiectare asistată de calculator (CAD = Computer Aided Design). În cazul circuitelor electronice, acțiunile îndeplinite sînt:

- desenarea schemei electrice;
- simularea funcționării circuitului, adică determinarea valorilor mărimilor variabile din circuit, în timpul funcționării, ca funcții de variabila timp;
- proiectarea cablajului imprimat, într-unul sau mai multe straturi;
- pregătirea documentelor necesare producției (desenele tuturor straturilor cablajului, desenul de amplasare a componentelor, lista de materiale).

Unele dintre aceste acțiuni sînt îndeplinite automat (fără intervenția operatorului uman), dar majoritatea este totuși sub controlul operatorului.

Cele mai cunoscute programe cu acest rol sînt PADS (firma Mentor Graphics), OrCAD (firma Cadence), Eagle (firma CADSoft), Electronics Workbench (National Instruments), Altium. Variante reduse ale programelor (număr mai mic de componente sau suprafață mai mică a circuitului) sînt disponibile pentru uzul studenților sau pentru demonstrații, în scopuri necomerciale. Spre exemplu, schema din figura 45 a fost desenată cu ajutorul unui astfel de program. Tot un program de proiectare asistată a desenat interfața cu operatorul din figura 46. Scopul utilizării programului este de simulare a funcționării amplificatorului, pentru a anticipa eventualele erori de proiectare.

Utilizarea tuturor posibilităților programelor de proiectare va fi studiată (și exersată!) la cursul de Proiectare asistată a circuitelor electronice, la orele de practică, precum și la proiectele de circuite electronice.

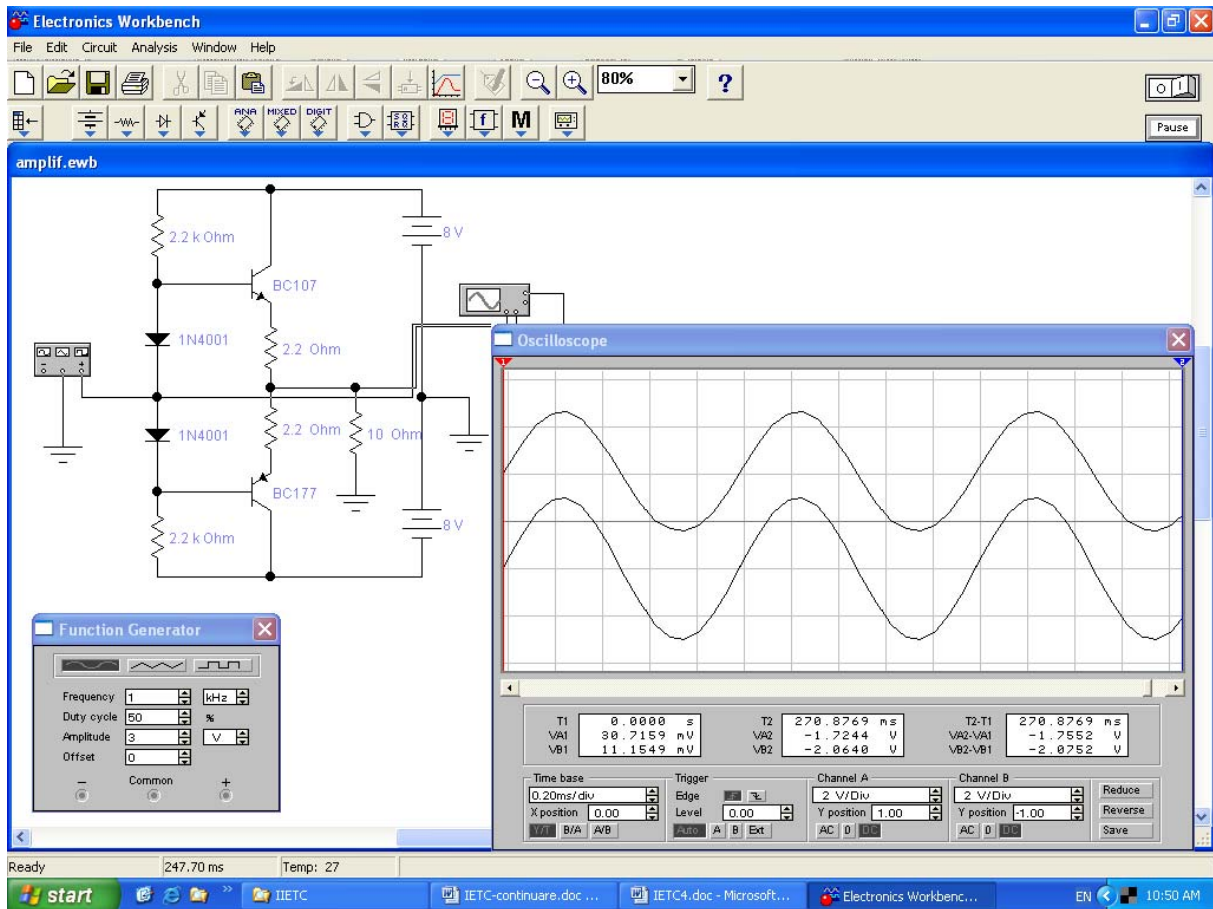


Figura 46: Interfața grafică a unui program de simulare a circuitelor