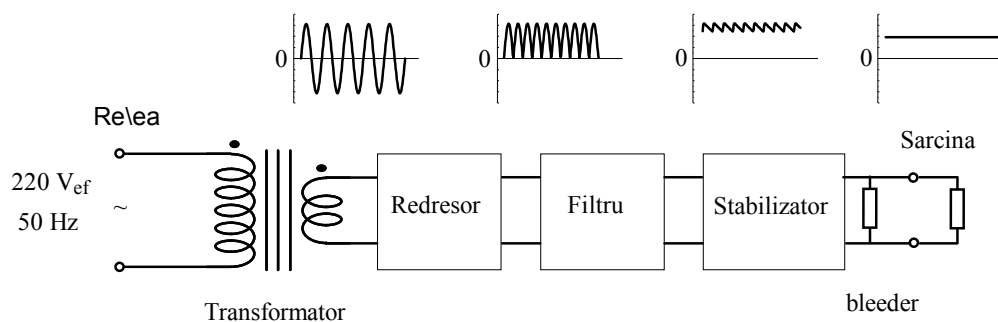


Redresarea și stabilizarea



- A. Structura unui alimentator electronic 144
- B. Redresorul monoalternanță 144
- C. Filtrul capacitiv 145
- D. Redresorul dublă alternanță 148
- E. Stabilizatorul de tensiune cu diodă Zener 150
- Probleme rezolvate 155, probleme propuse 158
- Lucrare experimentală 160

A. Structura unui alimentator electronic

Producerea și distribuția energiei electrice se face cu o tensiune care evoluează sinusoidal în timp, având media zero; frecvența este de 50 de Hz în Europa și de 60 Hz în America de Nord. Alegerea acestei forme este legată de comoditatea producerii dar, mai ales, de posibilitatea utilizării transformatoarelor pentru modificarea valorilor tensiunii și a curentului. Totuși, aparatura electronică are nevoie de energie electrică furnizată sub forma unei tensiuni continue, care nu-și schimbă polaritatea și care rămîne practic constantă în timp. Aceasta este produsă de un **alimentator**, a cărui structură generală este prezentată în Fig. 5.1.

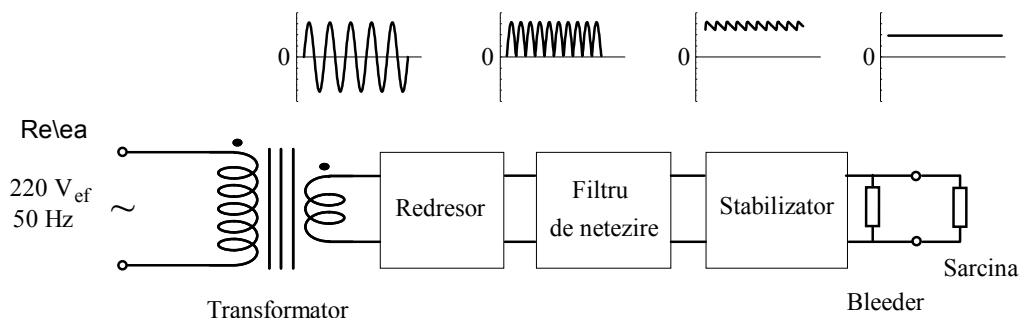


Fig. 5.1. Schema bloc a unui alimentator.

Transformatorul modifică amplitudinea tensiunii sinusoidale (de la valoarea de 311 V corespunzând tensiunii efective de 220 V în Europa) la valoarea convenabilă aparatului care trebuie alimentat. Urmează apoi redresorul, care determină ca tensiunea (și curentul) de la ieșirea sa să fie monopolară (să nu-și schimbe sensul în timp). Forma de undă redresată are o medie nenulă dar prezintă o **ondulație** inacceptabil de mare (**riplu**, în jargonul electroniștilor, de la englezescul ripple). Urmează apoi un **filtru de netezire** care micșorează această ondulație. Dacă precizia cu care tensiunea de alimentare trebuie să rămînă constantă în timp este mare, după filtru se intercalează un stabilizator de tensiune care micșorează substanțial efectele asupra tensiunii de ieșire produse atât de variațiile tensiunii nestabilizate de la intrarea sa cît și de modificările curentului absorbit de sarcină.

În situația cînd întreruperea alimentării s-ar face cu alimentatorul în gol (absența sarcinii) condensatoarele de filtrare ar rămîne încărcate pentru mult timp și ar reprezenta un inconvenient, mai ales dacă alimentatorul este reglabil și este repornit la o tensiune mai mică. Din acest motiv, este bine să montăm permanent la bornele sale o rezistență de valoare mare, cunoscută în jargon ca "**bleeder**", care la deconectare să coboare la zero tensiunea de ieșire într-un timp rezonabil, de ordinul secundelor.

B. Redresorul monoalternanță

Prin redresare (**rectification** în limba engleză), o tensiune alternativă, care trece atât prin valori pozitive cît și prin valori negative, este convertită într-una care are valori de o singură polaritate.

În consecință, dacă tensiunea redresată este aplicată unui consumator (sarcină), **curentul va circula într-un singur sens**.

Principiul redresării constă în comutarea căii de curgere a curentului astfel încît, deși la intrare el circulă în ambele sensuri, trecerea sa prin sarcină să se facă într-un singur sens. Din acest motiv, **comutarea trebuie să se facă sincron cu schimbarea sensului curentului alternativ de la intrare**. Acest lucru se

realizează la generatoarele magnetoelectrice de curent continuu printr-un comutator mecanic care se învîrte odată cu axul generatorului.

Existența diodelor semiconductoare a făcut posibilă construirea unor redresoare statice (fără piese mecanice în mișcare) care să poată fi conectate oriunde în circuitul de curent alternativ. Conducînd numai într-un singur sens, dioda sesizează automat momentul schimbării sensului tensiunii alternative și, în același timp, comută calea de curent, blocîndu-se sau intrînd în conducție. Cel mai simplu redresor este cel **monoalternanță**, prezentat în Fig. 5.2.

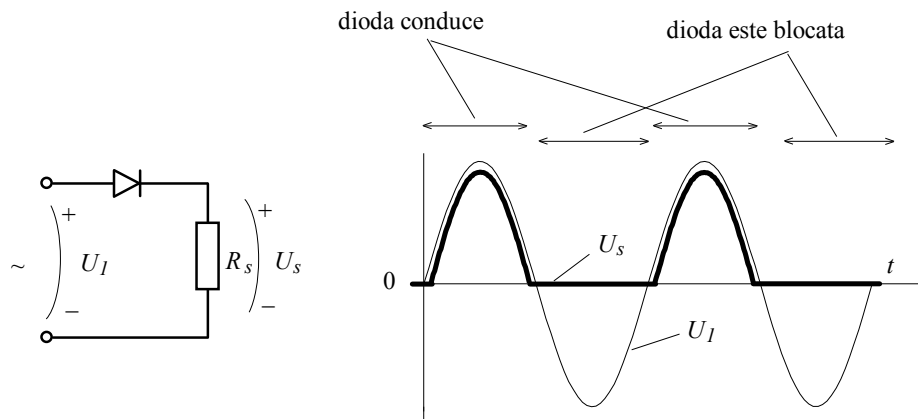


Fig. 5.2. Redresorul monoalternanță.

Tensiunea alternativă U_1 este desenată cu linie subțire iar tensiunea redresată cu linie groasă. Atîta timp cît tensiunea la bornele secundarului este negativă, dioda este invers polarizată și este blocată; curentul prin ea este nul și, conform legii lui Ohm, nulă este și tensiunea pe rezistența de sarcină. Pentru semialternanța pozitivă, dioda este polarizată direct și intră în conducție. Dacă neglijăm, în primă aproximație, căderea de tensiune pe diodă (cu valoarea sub 1 V), întreaga tensiune de la bornele secundarului (cu valori uzuale de zeci de volți) se regăsește la bornele rezistenței de sarcină, ca și cum aceasta ar fi legată direct la bornele secundarului.

În concluzie, rezistența de sarcină este conectată la tensiunea alternativă numai pe parcursul semialternanțelor pozitive; în timpul semialternanțelor negative ea este lăsată, pur și simplu, în gol.

C. Filtrul capacitiv

Deși are o singură polaritate, tensiunea produsă de redresor nu poate fi utilizată direct la alimentarea unui aparat electronic deoarece ea suferă variații importante în timp; mai mult, curentul prin sarcină este zero jumătate din timp. Trebuie să găsim o soluție ca furnizarea curentului prin rezistența de sarcină să se facă mult mai uniform; aceasta revine la înmagazinarea sarcinilor electrice pe intervalul de timp cît dioda conduce și utilizarea acestei rezerve pe durata cît dioda este blocată. Dispozitivul care poate înmagazina sarcină electrică este **condensatorul** și cu el se construiește filtrul de netezire, ca în Fig. 5.3.

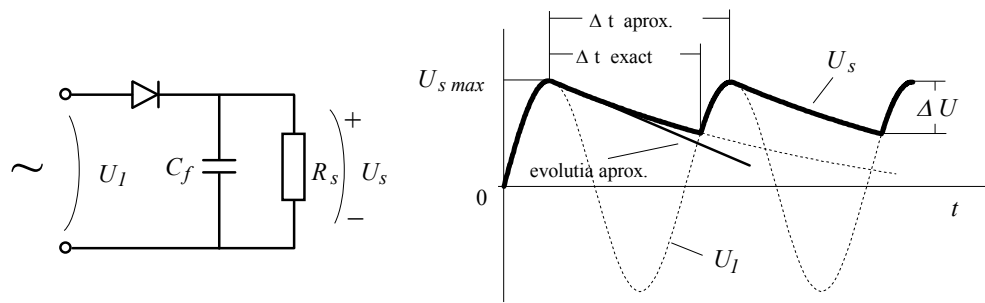


Fig. 5.3. Redresor monoalternanță cu filtru capacitiv.

Să considerăm că, la trecerea prin zero a sinusoidei, condensatorul este inițial descărcat. Pe semialternanța pozitivă dioda intră în conducție și furnizează, pe lângă curentul prin sarcină (determinat de legea lui Ohm), un curent de încărcare a condensatorului, așa cum se vede în Fig. 5.4 a). Rezistența internă a secundarului este suficient de mică astfel încât încărcarea este practic instantanee și tensiunea pe condensator urmărește tensiunea de la bornele secundarului, atingând o valoare maximă egală cu amplitudinea tensiunii sinusoidale a secundarului minus valoarea tensiunii U_{FD} care cade pe dioda în conducție (mai mare, în general, decât 0.6 V, datorită curenților mari)

$$U_{smax} = U_{1ef} \cdot \sqrt{2} - U_{FD} \quad (5.1)$$

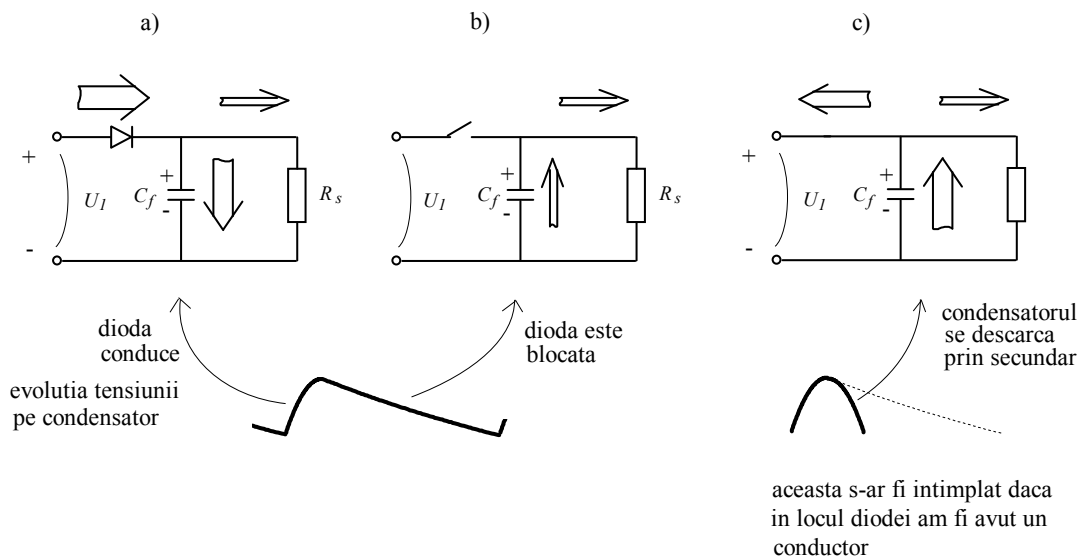


Fig. 5.4. Încărcarea și descărcarea condensatorului de filtrare.

Din acest moment, tensiunea la bornele secundarului începe să scadă. Dacă în locul diodei am fi avut un simplu fir conductor, ca în Fig. 5.4 c), condensatorul ar fi început să se descarce prin secundar, tensiunea sa urmînd în continuare sinusoida, care acum este descendentă. Dioda însă nu permite trecerea curentului în acest sens și ea se blochează imediat ce sinusoida a atins valoarea maximă, **izolînd secundarul de restul circuitului** așa cum se vede în desenul b) al figurii. Condensatorul rămîne să se descarce numai prin rezistența

de sarcină; așa cum știți, evoluția tensiunii este exponențială, cu o constantă de timp egală cu produsul $R_s C_f$. Pentru valori mari ale acestei constante de timp ($R_s C_f \gg$ perioada rețelei), tensiunea, scăzând încet, este aproximativ constantă și, conform legii lui Ohm, curentul de descărcare este și el aproximativ constant $I_s \cong \text{const.} = I_0$. În cazul în care după redresor este montat un stabilizator, așa cum vom vedea, tensiunea pe sarcină este menținută practic constantă (variații sub 0.01 %) și curentul de descărcare este într-adevăr constant.

Cum pe condensator viteza de variație a tensiunii $dU/dt = I_0/C$ este practic constantă, evoluția tensiunii se face aproximativ după o linie dreaptă. Condensatorul nu se descarcă complet pînă la începerea noii semialternanțe pozitive, așa că dioda nu se mai deschide începînd chiar din acest moment, ci abia cînd tensiunea secundarului, crescînd sinusoidal, devine mai mare decît tensiunea pe condensator, care scădea. După deschidere, dioda conduce din nou pînă în momentul cînd sinusoida ajunge la valoarea maximă, asigurînd condensatorului o nouă rezervă de sarcină electrică. Din acest moment dioda se blochează și procesul se repetă periodic. Pentru ca ondulația să fie vizibilă, cazul reprezentat în Fig. 5.3 este acela al unei filtrări extrem de modeste. În aplicațiile practice

majoritatea timpului rezistența de sarcină primește curent de la condensator și nu de la diodă.

Astfel, putem considera, pentru o filtrare bună, că durata Δt a descărcării condensatorului este aproximativ egală cu perioada rețelei de alimentare $\Delta t \cong T = 20 \text{ ms}$. Din acest motiv, adîncimea ondulației rezultă simplu

$$\Delta U \cong \frac{I_0 T}{C_f}, \quad (5.2)$$

relație utilizată în proiectarea redresoarelor.

De multe ori este nevoie să caracterizăm efectul filtrării printr-un factor adimensional, astfel încît să nu mai conteze mărimea tensiunii obținute. Se introduce, astfel, **factorul de ondulație**, ca fiind raportul dintre **amplitudinea** $\Delta U/2$ a ondulației și mărimea medie a tensiunii

$$\gamma = \frac{\Delta U}{2} \frac{1}{U_{med}}. \quad (5.3)$$

În cazul nostru, înlocuind valoarea medie a tensiunii de pe sarcină cu $I_0 R_s$, obținem expresia factorului de ondulație ca

$$\gamma_{mono} \cong \frac{T}{2 R_s C_f}. \quad (5.4)$$

Trebuie subliniat că această aproximație este valabilă pentru filtrări bune, adică la valori $\gamma \ll 1$.

Dacă, dintr-un motiv sau altul, ondulația crește, aceasta provoacă o scădere a tensiunii medii. Analizând desenul din Fig. 5.3, se constată că

$$\boxed{U_{med} = U_{s\ max} - \Delta U/2} \quad (5.5)$$

Am considerat, pentru simplitate, că sarcina redresorului este un rezistor. În realitate nu se întâmplă aproape niciodată așa, pentru că rezistoarele pot fi încălzite și în curent alternativ și, deci, nu au nevoie neapărat de tensiune continuă. Sarcina este, în general, un circuit complex, care nu respectă legea lui Ohm și care are nevoie de o tensiune constantă dar necesită un curent care nu este constant în timp. Ce se întâmplă dacă intensitatea curentului prin sarcină suferă o variație foarte rapidă? Panta cu care coboară tensiunea pe condensator se schimbă brusc dar rămâne în continuare suficient de mică pentru ca tensiunea la bornele sarcinii să nu varieze semnificativ. Curentul suplimentar este furnizat instantaneu de imensa rezervă de sarcină de pe condensator.

În realitate, însă, condensatoarele de valori foarte mari (mii și zeci de mii de μF) utilizate la filtrare sunt condensatoare electrolitice cu aluminiu și sunt realizate prin înfășurarea unui sandwich metal-izolator-metal. Din acest motiv, ele prezintă o inductanță semnificativă, care se comportă ca un "șoc" pentru variațiile bruște de curent. Din acest motiv, condensatorul nu poate furniza rapid vîrfurile de curent cerute de sarcină și, în consecință, în aceste momente tensiunea pe sarcină coboară brusc.

Rezolvarea constă în montarea, în paralel cu condensatorul de valoare foarte mare, a unui condensator de valoare mică, dar cu inductanță neglijabilă (Fig. 5.5). Acesta poate fi unul electrolitic cu tantal (disponibil de valori de câțiva μF) sau unul ceramic (valori de $0.1\ \mu\text{F}$). Acum vîrfurile scurte de curent sunt suplinite de condensatorul de valoare mică (dar care răspunde rapid) iar variațiile lente sunt suplinite de condensatorul de valoare mare care are o rezervă de sarcină mult mai mare. Când firele între alimentator și circuitul care trebuie alimentat sunt lungi, pentru a elimina efectul inductanței lor, un alt condensator rapid trebuie montat chiar pe circuitul alimentat.

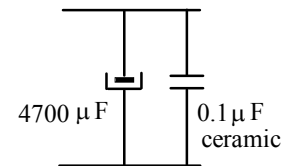


Fig. 5.5.

D. Redresorul dublă alternanță

În circuitul descris anterior, încărcarea condensatorului se făcea o singură dată într-o perioadă, în timpul semialternației pozitive. Datorită prețului scăzut al diodelor,

azi se folosește aproape exclusiv redresarea dublă alternanță care oferă, în aceleași condiții, un riplu redus la jumătate.

O astfel de schemă, care utilizează o **punte de diode**, este prezentată în Fig. 5.6. În timpul semialternației pozitive conduc diodele D_2 și D_4 , pe când în timpul semialternației negative intră în conducție diodele D_1 și D_3 . Rezultatul este acela că prin rezistența de sarcină sensul curentului rămâne neschimbat.

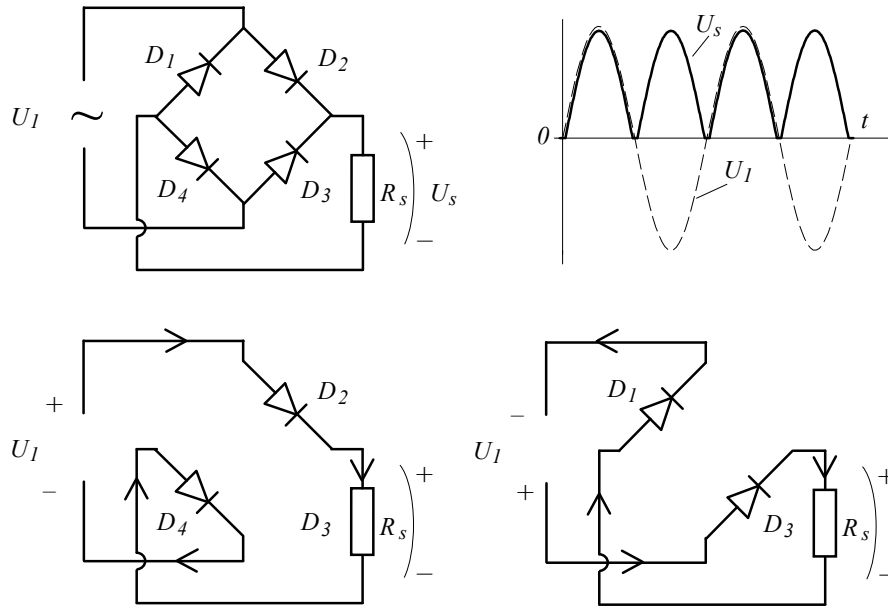


Fig. 5.6. Redresorul dublă alternanță.

Dacă aplicăm și filtrarea, forma de undă a tensiunii de pe sarcină arată ca în Fig. 5.7, unde am desenat cu linie întreruptă evoluția tensiunii redresate în absența filtrării. Tensiunea maximă este egală cu amplitudinea tensiunii sinusoidale, din care trebuie scăzute căderile de tensiune pe cele două diode în conducție

$$U_{smax} = U_{1ef} \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot U_{FD} \quad (5.6)$$

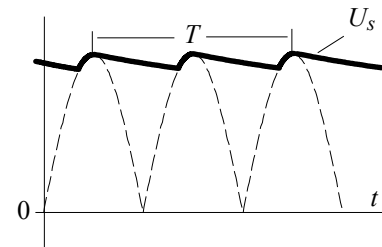


Fig. 5.7. Tensiunea de ieșire a unui redresor dublă alternanță, după filtrare.

De data aceasta, condensatorul se descarcă un timp egal practic cu jumătate din durata perioadei sinusoidei de la intrare, de două ori mai scurt decât la redresarea monoalternanță. Din acest motiv, pentru același produs $R_s C_f$, adâncimea ondulației și, corespunzător, factorul de ondulație au valori de două ori mai mici decât în cazul filtrării monoalternanță

$$\gamma_{dublă\ alt.} \cong \frac{T}{4R_s C_f} \quad (5.7)$$

cu $T = 20 \text{ ms}$, perioada rețelei de alimentare. Pentru un curent de ieșire I_0 adâncimea ripului este

$$\Delta U \cong \frac{I_0 T}{2C_f} \quad (5.8)$$

Să vedem de ce condensatoare avem nevoie pentru un curent de 1 A și un riplu rezonabil, de 1 V. Cum perioada rețelei în Europa este de 20 mS, obținem o valoare $C_f \cong \frac{I_0 T}{2\Delta U} = \frac{1A \cdot 20mS}{2V} = 10 \text{ mF} = 10\,000 \mu\text{F}$, adică o valoare destul de mare. Dacă dorim curenți mai mari, valoarea necesară crește proporțional cu valoarea curentului. Condensatoarele electrolitice cu aluminiu ajung pînă pe la 68 000 μF , dar cele care suportă tensiuni și curenți mari sunt voluminoase și scumpe. Scăderea riplului de un număr de ori se poate realiza cu prețul creșterii capacității de filtraj de același număr de ori. E bine, deci, să nu ne încăpățînăm să obținem un riplu prea mic, mai ales că acesta poate fi redus ulterior de mii de ori, **mult mai comod și ieftin**, prin stabilizare. Un riplu de 1-2 V este, din aceste motive, o alegere bună.

Merită subliniat că la redresarea dublă alternanță, ondulația are frecvența de 100 Hz și nu de 50 Hz ca la redresarea monoalternanță. Prezența unui riplu de 50 Hz la un redresor dublă alternanță este semnul sigur că una sau două diode din punte sunt întrerupte și el funcționează ca unul monoalternanță.

E. Stabilizatorul de tensiune cu diodă Zenner

Așa cum am văzut, tensiunea medie după redresare și filtrare depinde de amplitudinea tensiunii sinusoidale de la bornele secundarului transformatorului care, la rîndul ei, este proporțională cu amplitudinea tensiunii de la rețea. Or, aceasta nu este riguros constantă, datorită mărimii variabile a curentului absorbit de consumatori. În plus, chiar după filtrare, tensiunea produsă mai are o componentă variabilă, numită ondulație, cu frecvența de 50 Hz sau 100 Hz (după tipul redresării).

Stabilizatorul (**voltage regulator** în limba engleză) are rolul de a micșora aceste variații, forma tensiunii la ieșirea sa apropiindu-se foarte mult de o funcție constantă. Acest efect este măsurat prin **factorul de stabilizare** S_U , definit ca raportul variațiilor tensiunii la intrarea și respectiv, ieșirea sa

$$S_U = \frac{\Delta U_{nestab}}{\Delta U_{stab}} \quad (5.9)$$

Cu cît acest factor are valori mai mari, cu atît stabilizatorul este mai eficient.

O altă cauză a variației tensiunii produse de alimentator este modificarea în timp a curentului prin sarcină. Această variație a tensiunii poate fi exprimată ca $\Delta U_s = -R_0 \Delta I_s$ unde R_0 este rezistența sa echivalentă Thevenin. După cum am arătat, tensiunea medie după filtrare este $U_{med} \cong U_{smax} - \Delta U/2$, deci scade la creșterea ondulației.

Scăderea tensiunii produse atunci cînd sarcina absoarbe mai mult curent se datorează și rezistenței secundarului transformatorului dar, în principal, măririi ondulației, care este proporțională cu valoarea curentului

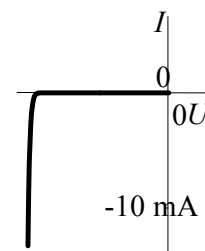


Fig. 5.8. Caracteristica inversă a unei diode Zener.

Astfel, în absența stabilizatorului, alimentatorul ar avea o rezistență internă inacceptabil de mare.

Așa cum se vede în Fig. 5.8, diodele Zener prezintă la polarizare inversă o regiune pe caracteristica statică unde tensiunea pe diodă rămîne practic constantă la variații importante ale curentului. Aici, rezistența

dinamică $r_Z = dU/dI$ are valori de ordinul 5-10 Ω . Utilizînd această proprietate, se pot realiza stabilizatoare de tensiune, avînd schema din Fig. 5.9 a).

Pentru ca dioda Zener să stabilizeze tensiunea, curentul prin ea nu trebuie să scadă nici un moment sub valoarea de 10 mA.

Pentru variațiile tensiunii de intrare, așa cum se vede în desenul b) al figurii, circuitul se comportă ca un divizor format din rezistorul R și rezistența **dinamică** r_Z a diodei Zener (rezistența de sarcina are valori mult mai mari decît r_Z). Pentru a obține un factor bun de stabilizare rezistența de "balast" R trebuie să fie mult mai mare decît rezistența dinamică a diodei Zener: $R \gg r_Z$.

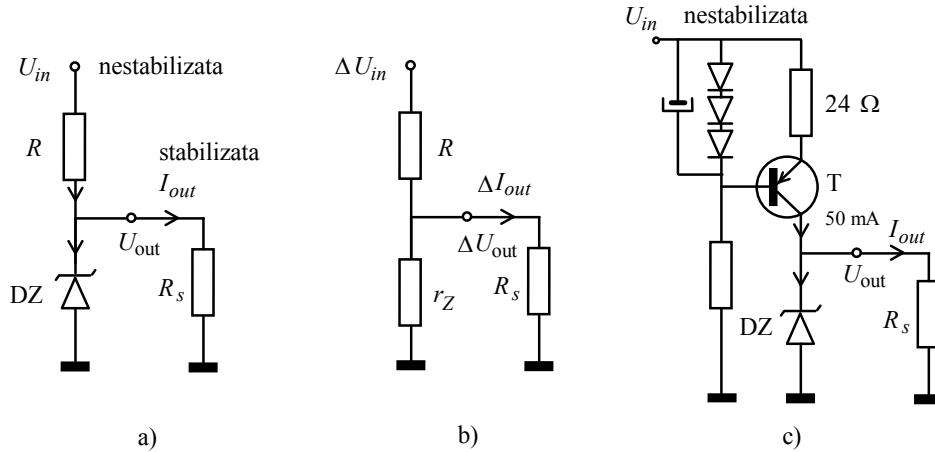


Fig. 5.9. Stabilizator cu diodă Zener (a), schema sa echivalentă pentru variații (b) și varianta perfecționată, cu sursă de curent (c).

În această aproximație, obținem factorul de stabilizare în tensiune ca

$$S_U \cong \frac{R + r_Z}{r_Z} \cong \frac{R}{r_Z} \quad (5.10)$$

Pe de altă parte, pentru a beneficia de rezistența dinamică mică a diodei, trebuie să trimitem prin ea un curent de cel puțin 10 mA, astfel că rezistența R va fi parcursă de $I_S + 10 \text{ mA}$ și va trebui să pierdem o tensiune cel puțin egală cu $10 \text{ mA} \cdot R$. În consecință, nu putem obține un factor de stabilizare prea mare. Dacă tensiunea pierdută este de 5 V, $R = 500 \Omega$ și S_U este pe undeva între 50 și 100.

Mărirea acestui factor, **fără sacrificarea unei tensiuni mai mari**, se poate face dacă înlocuim rezistorul R cu o sursă de curent, ca în Fig. 5.9 c). Deși tensiunea pierdută va fi aceeași, rezistența dinamică (la variații) prezentată de acest dispozitiv va fi mult mai mare; cu un simplu tranzistor bipolar putem obține rezistențe echivalente de ordinul M Ω , crescînd astfel de 1000 de ori factorul de stabilizare.

Privită dinspre rezistența de sarcină (Fig. 5.9 b), rezistența de ieșire R_0 a stabilizatorului este rezistența echivalentă a divizorului

$$R_0 \cong \frac{R r_Z}{R + r_Z} \cong r_Z \quad (5.11)$$

și este, deci, de ordinul a 5-10 Ω .

O micșorare semnificativă a acestei rezistențe se poate obține dacă circuitului i se adaugă un tranzistor, ca în Fig. 5.10. Sarcina este acum legată în emitorul tranzistorului, unde potențialul este cu 0.6 V mai coborât decât potențialul bazei. Astfel,

variațiile tensiunii pe sarcină sunt egale cu cele ale tensiunii de pe dioda stabilizatoare, factorul de stabilizare rămânând același.

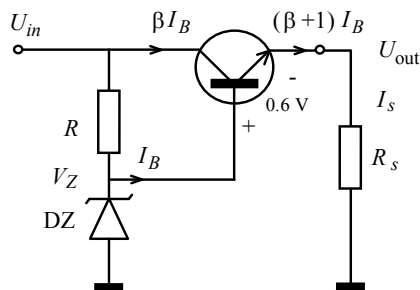


Fig. 5.10. Stabilizator cu diodă Zener și tranzistor.

Așa cum se vede în figură, numai $1/(\beta + 1) < 1/100$ din curentul prin sarcină este absorbit din anodul diodei Zener (β fiind factorul de amplificare al tranzistorului). Putem scrie, deci, rezistența de ieșire a stabilizatorului perfecționat ca

$$R_0 = \frac{-\Delta U_s}{\Delta I_s} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{-\Delta V_B}{\Delta I_B}; \quad (5.12)$$

dar fracția din dreapta este chiar rezistența de ieșire a stabilizatorului fără tranzistor, care era practic rezistența dinamică a diodei Zener. În concluzie,

$$R_0 = \frac{r_Z}{\beta}. \quad (5.13)$$

Astfel,

tranzistorul reduce de β ori rezistența de ieșire a stabilizatorului

care ajunge, în acest mod, la valori sub 0.1 Ω .

Performanțe mult mai bune sînt oferite de **stabilizatoarele integrate**, disponibile odată cu apariția tehnologiei circuitelor integrate; în Fig. 5.11 sunt reprezentate două astfel de stabilizatoare, de +12 V și -12V, cu un curent maxim de 1 A. Creșterea factorului de stabilizare este realizată prin înlocuirea rezistorului de balast cu o sursă de curent. De asemenea, utilizarea reacției negative face posibilă atingerea unor valori infime pentru rezistența de ieșire. Chiar măsurată cu un voltmetru digital, tensiunea de ieșire apare a fi constantă, stabilizatorul apropiindu-se foarte mult de sursa ideală de tensiune.

O categorie specială de stabilizatoare o constituie **referințele de tensiune**. Ele nu sînt destinate alimentării unor circuite ci producerii unei tensiuni electrice extrem de constante, necesare în operații de comparație cu alte tensiuni. Principala calitate a unei referințe de tensiune

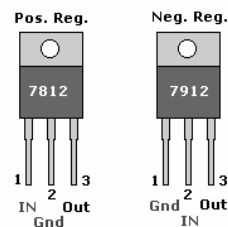


Fig. 5.11. Stabilizatoare de tensiune integrate.

este deriva ei cu temperatura. Cele mai bune performanțe sunt de ordinul a câțiva ppm/°C (1 ppm înseamnă o parte la un milion, adică 10^{-6}).

Enunțuri frecvent utilizate

(atît de frecvent încît merită să le memorați)

-Schema bloc a unui alimentator electronic, care preia energia de la rețeaua de curent alternativ și o furnizează apoi la o tensiune continuă, conține transformatorul, redresorul, filtrul de netezire, stabilizatorul și rezistența de descărcare (bleeder).

- Transformatorul furnizează în secundar o tensiune alternativă de valoare convenabilă; această valoare este determinată de tensiunea din primar și valoarea raportului de transformare.

- Redresorul convertește tensiunea alternativă (care își schimbă periodic polaritatea) într-o tensiune continuă, cu o singură polaritate. Valoarea acesteia nu este însă constantă în timp, evoluînd periodic între zero și valoarea de vîrf.

- La redresarea monoalternanță, energia este primită numai în decursul unui anumit tip de semialternanțe (fie numai pozitive, fie numai pozitive); în timpul celorlalte semialternanțe, secundarul este izolat fața de consumator (sarcină).

- Introducerea unui filtru capacitiv face ca tensiunea pe sarcină să nu mai coboare la zero, avînd variații mult mai mici; acest lucru se obține prin încărcarea periodică a condensatorului de la transformator prin pulsuri de curent scurte și intense și descărcarea sa, în restul timpului, prin sarcină. Practic, majoritatea timpului sarcina primește curent de la condensator.

- Ondulația (riplul) este proporțională cu perioada rețelei, cu intensitatea curentului prin sarcină și invers proporțională cu capacitatea condensatorului.

- Pentru a măsura gradul de netezire indiferent de mărimea tensiunii, se definește factorul de ondulație prin raportul între amplitudinea ondulației (jumătate din valoarea vîrf la vîrf) și valoarea medie a tensiunii.

- La redresarea dublă alternanță (folosită aproape exclusiv azi) condensatorul se încarcă pe fiecare semialternanță, timpul de descărcare fiind jumătate din cel de la redresarea monoalternanță iar riplul de două ori mai mic.

- Cu redresarea dublă alternanță, pentru a obține un riplu de 1 V_{VV} la un curent de 1 A avem nevoie de un condensator de $10\ 000\ \mu\text{F}$; capacitatea necesară variază proporțional cu intensitatea curentului și invers proporțional cu mărimea riplului.

- Stabilizatorul micșorează variațiile tensiunii de ieșire, atît cele produse de variația tensiunii de intrare, cît și cele produse de variația curentului prin sarcină. Performanțele sale sunt caracterizate de factorul de stabilizare, care trebuie să fie mare, și de rezistența de ieșire, care trebuie să fie cît mai mică.

- La un stabilizator cu diodă Zener, factorul de stabilizare este egal cu raportul dintre rezistența de balast și r_Z (rezistența dinamică a diodei Zener) iar rezistența de ieșire este egală cu r_Z .

- Pentru ca stabilizatorul să funcționeze trebuie ca valoarea curentului prin dioda Zener să nu coboare nici un moment sub 10 mA (altfel rezistența r_Z crește mult).

- Rezistența de ieșire poate fi micșorată prin cuplarea unui tranzistor la ieșire; în plus, dacă rămînem la aceeași valoare a curentului prin sarcină, putem mări rezistența de balast și, în consecință, factorul de stabilizare.

- O cale suplimentară de mărire a factorului de stabilizare este înlocuirea rezistenței de balast cu o sursă de curent.

-Toate aceste performanțe pot fi atinse mult mai comod și ieftin prin cumpărarea unui stabilizator integrat.

Termeni noi

-schemă bloc	desen în care se reprezintă structura unui sistem complex prin simboluri (de obicei dreptunghiuri) ce desemnează blocuri cu funcții diferite și linii care urmăresc transmiterea informației sau energiei de la un bloc la altul;
-transformator	dispozitiv electromagnetic, utilizat în cele mai multe cazuri pentru convertirea unei tensiuni alternative (sinusoidale) într-a altă tensiune de același tip, dar cu amplitudine diferită;
-primar	înfășurarea transformatorului la care se aplică sursa de tensiune externă;
-secundar	înfășurarea transformatorului unde se obține tensiunea "transformată";
-redresare	convertirea unei tensiuni alternative (care își schimbă periodic polaritatea) într-o tensiune cu o singură polaritate care evoluează periodic;
- filtrare	prelucrarea unui semnal în urma căreia componentele de anumite frecvențe sunt favorizate iar altele atenuate.
- filtru de netezire	filtru care transmite componenta continuă (de frecvență nulă) și atenuează variațiile;
-ondulație (riplu)	variația periodică a unei tensiuni, rămasă după acțiunea filtrului de netezire;
-factor de ondulație	mărime adimensională care caracterizează eficiența filtrării tensiunii redresate; se definește prin raportul dintre amplitudinea ondulației și valoarea medie a tensiunii;
- stabilizator de tensiune	circuit care micșorează variațiile tensiunii, atât cele provocate de modificările tensiunii de intrare cât și pe cele cauzate de variația curentului prin sarcină;

Probleme rezolvate

Problema 1. Să se proiecteze un alimentator nestabilizat care să producă la ieșire o tensiune V_{out} de minimum 12 V cu un riplu de cel mult 2 V vîrf la vîrf și să debiteze un curent I_{out} de pînă la 1 A. Vor trebui alese capacitatea de filtraj, tensiunea efectivă în secundarul transformatorului, rezistența bleeder-ului, siguranțele conectate în primarul și secundarul transformatorului precum și raportul de transformare.

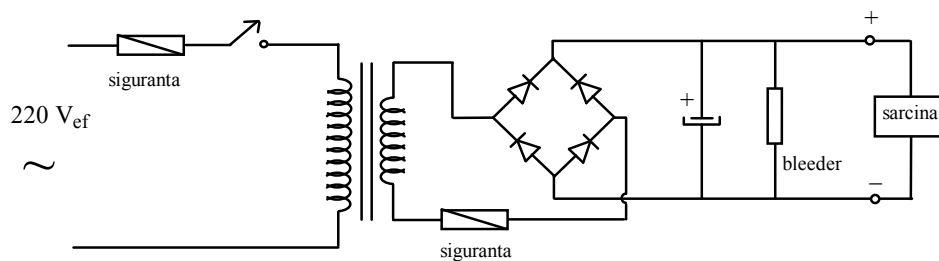


Fig. 5.12.

Mai întîi desenăm schema, fără valorile componentelor (Fig. 5.12). Alegem, bineînțeles, redresarea dublă alternanță. În circuitul primarului, imediat ce firul de alimentare intră în carcasă, înaintea întrerupătorului, trebuie conectată siguranța pentru a proteja atît împotriva defectării transformatorului cît și a unui scurtcircuit pe circuitul întrerupătorului.

a) Tensiunea transformatorului

Cum tensiunea minimă trebuie să fie 12 V iar riplul va avea o adîncime de 2 V, valoarea de vîrf a tensiunii redresate va fi 14 V. Tensiunea în secundar va trebui însă să fie mai mare, datorită pierderii pe cele două diode prin care circulă curentul în ochiul secundarului. La curenți mari tensiunea de deschidere a unei diode cu siliciu se apropie de 1 V, așa că tensiunea în secundar va avea amplitudinea (valoarea de vîrf) egală cu 16 V. Cum pentru circuitele de curent alternativ se obișnuiește să se dea valorile efective, va trebui să înmulțim cu $1/\sqrt{2} = 0.707$: tensiunea efectivă în primar va trebui să fie 11.2 V. Alegem valoarea standardizată de 12 V.

b) Condensatorul de filtraj

Pentru ca în timp de o semiperioadă ($\Delta t = 10$ ms) condensatorul să se descarce cu $\Delta V = 2$ V sub un curent de 1 A, capacitatea trebuie să aibă valoarea $C = I_{out} \cdot \Delta t / \Delta V = 5000 \mu\text{F}$. Este o valoare mare, dar rezonabilă. Condensatorul va trebui să aibă tensiunea de funcționare de cel puțin 25 V (valoarea standardizată imediat inferioară, 16 V, este chiar la limită).

Să observăm ce s-ar fi întîmplat dacă am fi impus un riplu mult mai mic, de exemplu de numai 0.1 V. Am fi avut atunci nevoie de o condensator cu o capacitate de 100 000 μF , o valoare total nepractică.

c) Rezistorul "bleeder"

Rostul lui este ca la deconectarea alimentatorului, în absența rezistenței de sarcină, să descarce într-un timp convenabil condensatorul de filtraj. Dacă ne mulțumim cu o constantă de timp $\tau = RC$ de cîteva secunde, rezultă valoarea bleeder-ului de 1 k Ω .

d) Siguranțele

Curentul mediu absorbit de sarcină este de maximum 1 A dar dacă am pune o astfel de siguranță în secundar, ea ar fi spulberată imediat. 1 A este curentul mediu (în modul) dar pentru a calcula efectele încălzirii trebuie să ținem seama de **valoarea sa efectivă**. Or, așa cum am văzut, condensatorul este încărcat cu pulsuri

scurte de curent. Din această cauză, forma curentului prin secundar este cea din Fig. 5.13 a), unde se observă, suplimentar, pulsul foarte mare de la momentul inițial când condensatorul era descărcat.

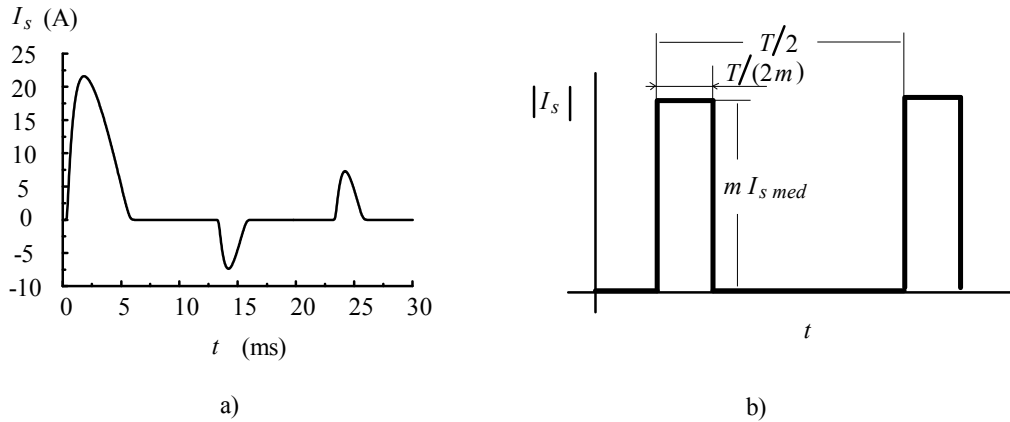


Fig. 5.13. Evoluția curentului prin secundar.

Pentru intensitatea efectivă vom face un calcul aproximativ. Dacă presupunem (pentru simplitate) pulsurile ca fiind rectangulare (desenul b al figurii) și de durată $\frac{T}{2m}$, adică a m -a parte din semiperioadă, ele

vor avea intensitatea $mI_{s\ med} = mI_{out}$ iar valoarea efectivă va fi $I_{ef} = \sqrt{\frac{T}{2m} \cdot m^2 \cdot I_{out}^2} = \sqrt{m} \cdot I_{out}$. Cu cât filtrarea va fi mai bună, cu atât valoarea efectivă a curentului va fi mai mare și siguranța se va încălzi mai mult.

Din acest motiv vom multiplica cu 4 valoarea curentului mediu, obținând 4 A. Este bine, însă, să avem și o rezervă, pentru cazul în care sarcina absoarbe timp îndelungat curentul maxim. Înmulțim cu un factor de 2 și obținem valoarea finală de 8 A. Nu trebuie să uităm să alegem o siguranță temporizată (lentă), altfel la punerea sub tensiune, condensatorul încărcându-se de la zero va absorbi un curent important și o va arde.

Raportul de transformare este $220 / 12 \cong 18$, astfel că în primar va trebui să punem o siguranță de $8\text{ A} / 18 \cong 0.5\text{ A}$. Evident, și ea trebuie să fie o siguranță temporizată.

e) Dimensionarea transformatorului

Curenții în primar și secundar **nu sunt sinusoidali** ci sub forma unor pulsuri scurte și intense, cu atât mai scurte și intense cu cât filtrarea este mai bună. Am văzut că valoarea efectivă a curenților crește la îmbunătățirea filtrării și, bineînțeles, și încălzirea transformatorului. Din acest motiv, la alegerea puterii transformatorului trebuie să multiplicăm cu un factor (pentru filtrări rezonabile 4 este o valoare bună) valorile medii ale curenților.

Este bine, deci, să admitem un riplu de ordinul a 1 V, cu atât mai mult cu cât el va fi redus foarte mult de către stabilizator.

Problema 2. Reproiectați alimentatorul, pentru a obține o tensiune **stabilizată** de 12 V, la un curent de 1 A.

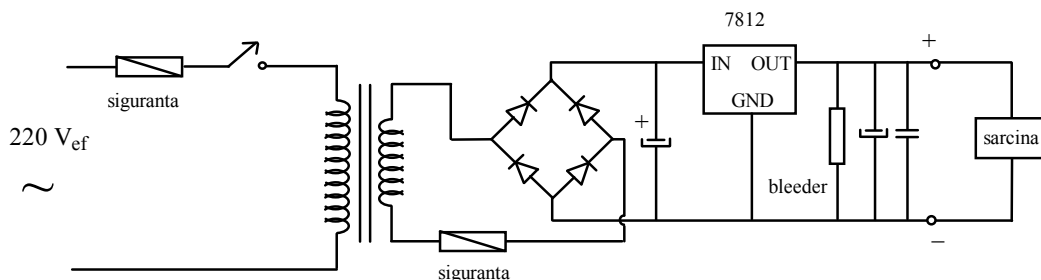


Fig. 5.14.

a) Alegerea stabilizatorului

Cum tensiunea de ieșire este fixă, alegem un stabilizator integrat de tensiune fixă pozitivă din seria 78XX cu tensiunea nominală de 12 V, adică un stabilizator 7812. Există mai multe variante, codificate cu litere după tipul capsulei, tip care stabilește și curentul maxim și puterea maximă disipată. Va trebui să utilizăm unul cu valoarea curentului maxim de 1 A; în ceea ce privește puterea disipată, așa cum vom vedea, ea va trebui să fie de 5-7 W. La ieșirea sa este bine să conectăm un condensator de filtrare de valoare modestă (electrolitic, 10 μ F), dublat de unul care funcționează la frecvențe mari (ceramic, 100 nF).

b) Tensiunea transformatorului

Pentru a putea stabili tensiunea de la ieșire, la intrarea stabilizatorului tensiunea nu trebuie să coboare nici un moment sub $12\text{ V} + 3\text{ V} = 15\text{ V}$. Cu alte cuvinte, pe stabilizator trebuie să pierdem în orice moment cel puțin 3 V (Fig. 5.15). Păstrând ripple-ul de 2 V de la proiectarea precedentă, avem acum nevoie de o amplitudine după redresare de cel puțin 17 V. Adăugând și pierderea de tensiune pe diode, ajungem la amplitudinea tensiunii din secundar, 19 V. Este exact cu trei volți mai mare decât în cazul proiectării precedente, tocmai datorită pierderii suplimentare pe stabilizator. Rezultă de aici tensiunea efectivă din secundar 13.4 V_{ef} . Aceasta este o tensiune minimă, este clar că nu vom găsi un transformator cu această valoare. Putem găsi, însă, unul cu tensiunea în jur de 16 V_{ef} , ceea ce va produce o amplitudine în secundar 23 V, crescând la 7 V tensiunea pierdută pe stabilizator. În aceste condiții, stabilizatorul nostru va trebui să disipe, la curent maxim, aproape 7 W. Din acest motiv nu este indicată utilizarea unui transformator cu tensiunea de ieșire mai mare.

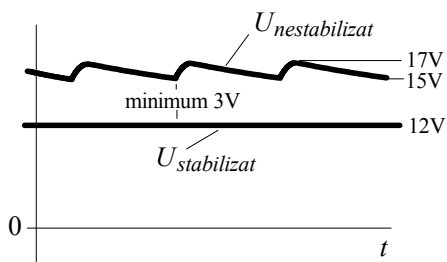


Fig. 5.15.

c) **Condensatorul de filtraj și siguranța din primar** vor avea aceleași valori ca la problema precedentă, deoarece ele au fost determinate de mărimea curentului. De asemenea, și **rezistorul bleeder** rămîne același, numai că este bine să fie mutat la ieșirea stabilizatorului.

d) Dimensionarea transformatorului

În urma creșterii tensiunii efective de la 12 V_{ef} la 16 V_{ef} , puterea a crescut cu o treime. Este bine, deci, să ținem seama de această creștere în alegerea transformatorului.

Probleme propuse

P 5.1. Evoluția în timp a tensiunii pe condensatorul de filtrare, cu valoarea de $10\,000\,\mu\text{F}$, vizualizată cu osciloscopul, arată ca în Fig. 5.16. Valorile de tensiune sunt în volți.

- Identificați tipul redresorului (mono sau dublă alternanță).
- Calculați și reprezentați grafic evoluția în timp a curentului prin condensator.
- Determinați valoarea rezistenței de sarcină.

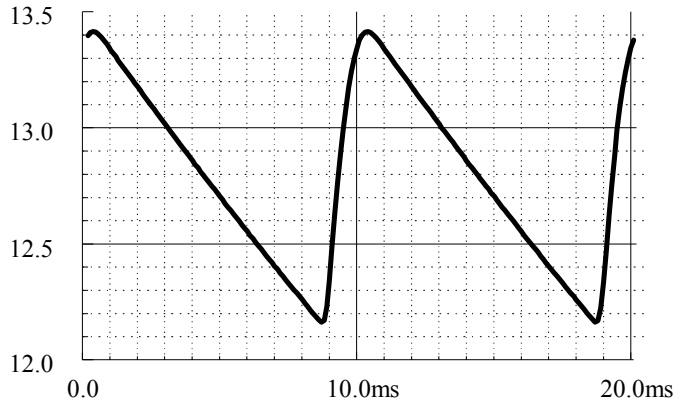


Fig. 5.16.

P 5.2. Circuitul din Fig. 5.17 este o variantă de redresor dublă alternanță, care folosește două diode în loc de patru.

- Explicați funcționarea lui, desenând sensurile curenților pe fiecare semialternanță;
- Care este prețul plătit pentru cele două diode economisite? Ce soluție credeți că este mai ieftină azi?

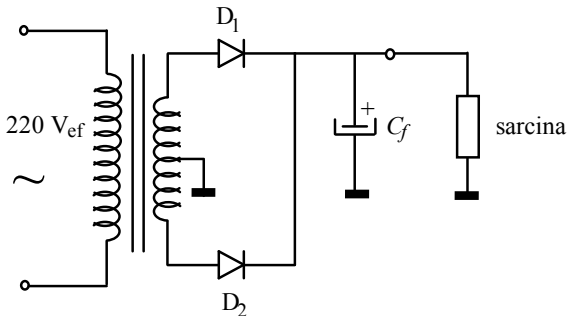


Fig. 5.17.

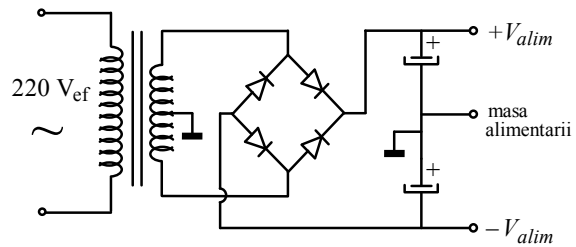


Fig. 5.18.

P 5.3. În Fig. 5.18 aveți un redresor care furnizează simultan două tensiuni de alimentare, egale dar de polarități opuse (pentru așa-numita alimentare diferențială).

- Explicați funcționarea sa, desenând sensurile curenților.
- Identificați tipul redresării, monoalternanță sau dublă alternanță.

P 5.4. Dioda Zener din stabilizatorul prezentat în Fig. 5.19 are tensiunea nominală de $10\,\text{V}$ iar în jurul valorii curentului de $10\,\text{mA}$ prezintă o rezistență dinamică de $10\,\Omega$. Tensiunea redresată și nestabilizată are o valoare medie de $15\,\text{V}$ cu un riplu de $2\,\text{V}_{\text{VV}}$.

- Calculați curentul prin rezistența de balast R .
- Ce curent maxim poate absorbi sarcina, cu condiția ca valoarea curentului prin diodă să nu scadă sub $10\,\text{mA}$?
- Estimați factorul de stabilizare în tensiune și, de aici, mărimea ondulației tensiunii stabilizate.
- Tensiunea la rețeaua de $220\,\text{V}_{\text{ef}}$ se modifică cu 10% . Estimați variația

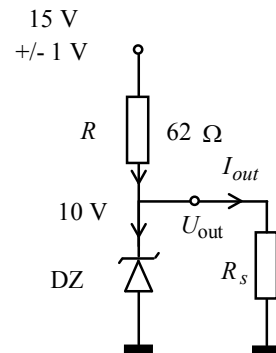


Fig. 5.19.

tensiunii nestabilizate și pe aceea a tensiunii stabilizate.

f) Determinați rezistența de ieșire a stabilizatorului; calculați cu cât se modifică tensiunea pe sarcină dacă valoarea curentului absorbit de aceasta variază între zero și cea maximă, calculată la punctul b).

P 5.5. Intercați la ieșirea stabilizatorului din problema precedentă un tranzistor, ca în Fig. 5.10, care are un factor de amplificare $\beta = 50$.

a) Ce curent maxim poate absorbi acum sarcina, cu condiția ca valoarea curentului prin diodă să nu scadă sub 10 mA ?

b) Ce rezistență de ieșire are acum stabilizatorul perfecționat ?

P 5.6. Dacă sarcina nu are nevoie de un curent așa de mare, utilizarea tranzistorului vă permite să ameliorați factorul de stabilizare. Presupunând că sarcina nu cere mai mult de 50 mA,

a) calculați curentul maxim pe care baza tranzistorului îl absoarbe din anodul diodei;

b) alegeți o rezistență de balast mai mare, asigurându-vă însă că valoarea curentului prin dioda Zener nu scade nici un moment sub 10 mA;

c) determinați ce factor de stabilizare ați obținut acum;

d) în final, calculați mărimea riplului tensiunii stabilizate.

P 5.7. Aveți la dispoziție o tensiune redresată, cu valoarea medie de 15 V și cu o ondulație de $2 V_{VV}$ și trebuie să obțineți o tensiune stabilizată de 9 V, sarcina având nevoie de un curent între zero și 100 mA.

a) Proiectați un stabilizator cu diodă Zener (curentul prin diodă nu trebuie să scadă sub 10 mA).

b) Presupunând ca dioda Zener are o rezistență dinamică de 10Ω , calculați factorul de stabilizare și rezistența de ieșire.

c) Estimați puterea disipată pe dioda Zener, când curentul de sarcină este 50 mA și când acesta este nul.

P 5.8. Perfecționați stabilizatorul precedent, prin adăugarea unui "tranzistor compus" la ieșire, care are factorul $\beta = 1000$ (tranzistorul compus este realizat prin interconexiunea a două tranzistoare). Estimați cât va fi curentul absorbit din anodul diodei Zener și modificați corespunzător rezistența de balast. Ce valoare a factorului de stabilizare ați obținut ?

Lucrare experimentală

Experimentul 1. Redresarea monoalternanță

Aveți pe planșetă (Fig. 5.20) un redresor monoalternanță cu o diodă redresoare, care este deja legat la secundarul transformatorului. În partea din dreapta, jos, se găsesc trei rezistențe de sarcină, legate cu unul din capete la un fir comun. Conectați borna negativă a redresorului la acest fir comun iar borna pozitivă la una din rezistențele de sarcină. Vizualizați tensiunea redresată și desenați-o pe caiet. Poate fi ea utilizată la alimentarea unui aparat electronic ? De ce ?

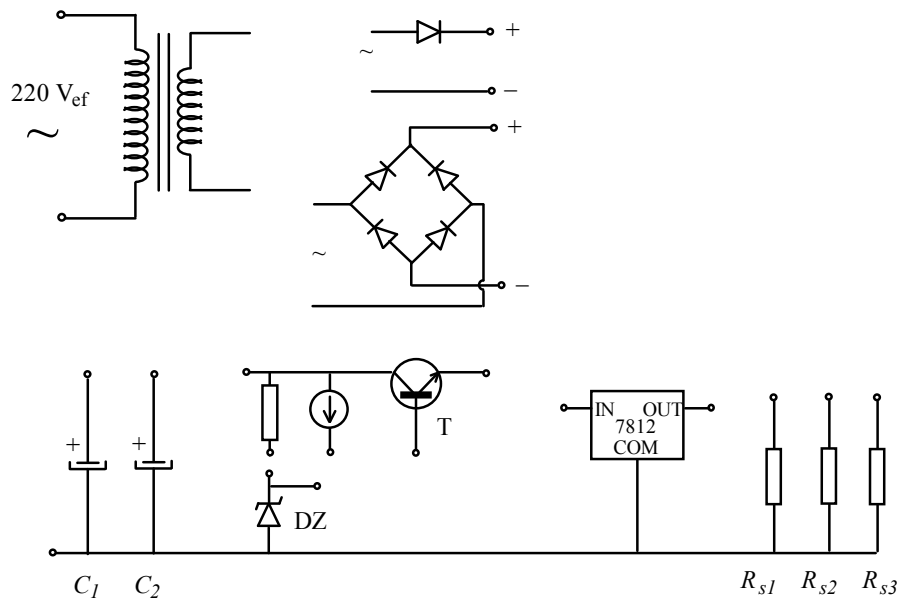


Fig. 5.20.

Legăți acum în paralel pe rezistența de sarcină unul din condensatoarele de filtrare din stînga planșetei. Cum se modifică forma de undă a tensiunii de pe sarcină ? Desenați pe caiet forma de undă și identificați duratele de timp în care dioda conduce. Schimbați acum condensatorul de filtrare și explicați ce observați. Care din condensatoare are valoare mai mare ?

Veți măsura în continuare factorul de ondulație, utilizînd numai condensatorul cu capacitate mai mare și legînd, pe rînd, cele trei rezistențe de sarcină. Pentru aceasta va trebui să determinați, cu osciloscopul, adîncimea ondulației și tensiunea medie.

Calculați teoretic factorul de ondulație, utilizînd formula aproximativă (5.6). Comparați valorile măsurate cu cele calculate. Pentru care situații sunt ele mai apropiate și de ce ?

Experimentul 2. Redresarea dublă alternanță

Desfaceți legăturile de la ieșirea redresorului monoalternanță. Pe aceeași planșetă, puțin mai jos, aveți un redresor dublă alternanță, realizat cu o **punte redresoare** ce conține patru diode. Legăți borna sa de ieșire negativă la firul comun al rezistențelor de sarcină iar borna pozitivă la capătul unei rezistențe de sarcină; refaceți, punct cu punct, toate determinările de la experimentul 1. De data aceasta, pentru calculul teoretic al factorului de ondulație va trebui să folosiți relația (5.7). Comparați valorile factorului de ondulație pentru cele

două redresoare. Ce concluzie practică trageți ? Cum s-ar fi putut, pe altă cale, micșora la jumătate ondulația, păstrând redresorul monoalternanță ?

Experimentul 3. Stabilizatorul de tensiune cu diodă Zener

Legăți acum ieșirile redresorului dublă alternanță direct la condensatorul de filtrare de valoare mare; atenție, borna negativă trebuie obligatoriu legată la firul comun. Apoi, de la capătul condensatorului, mergeți la intrarea stabilizatorului, ca în Fig. 5.21. Deocamdată nu conectați nici o rezistență de sarcină, operînd stabilizatorul "în gol".

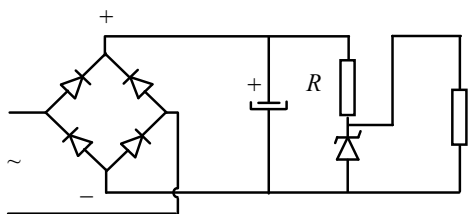


Fig. 5.21.

Măsurați ondulația la intrarea în stabilizator și apoi pe dioda stabilizatoare. Din raportul lor, calculați factorul de stabilizare în tensiune la funcționare în gol. Cunoșcînd valoarea rezistorului de balast R , determinați rezistența dinamică a diodei stabilizatoare cu relația (5.9). Trageți o concluzie în privința efectului stabilizatorului asupra ondulației. Mai este acum nevoie de capacități foarte mari pentru filtrare ?

Cuplați acum la ieșirea stabilizatorului, pe rînd, cele trei rezistențe de sarcină și măsurați cu un voltmetru digital tensiunea de ieșire. Calculați, cunoscînd valorile rezistențelor, intensitățile curenților și desenați dependența tensiunii de ieșire în funcție de curent. Determinați, de aici, rezistența de ieșire a stabilizatorului.

Dacă stabilizatorul reduce atît de mult ondulația, nu am putea renunța total la filtrare ? Îndepărtați condensatorul de filtrare de la intrare legînd borna pozitivă a redresorului direct la stabilizator. Vizualizați forma tensiunii pe rezistența de sarcină și explicați ce se întîmplă. Formulați o concluzie asupra mărimii ondulației permise la intrarea unui stabilizator.

Experimentul 4. Perfecționarea stabilizatorului pentru micșorarea rezistenței de ieșire

Conectați acum, între stabilizatorul anterior și rezistența de sarcină, un tranzistor, ca în Fig. 5.22. Legați, pe rînd, cele trei rezistențe de sarcină în emitorul tranzistorului și măsurați tensiunea. Procedînd ca la experimentul precedent, determinați rezistența de ieșire și calculați de cîte ori este acum mai mică.

Determinați și factorul de stabilizare. A fost el afectat de perfecționarea efectuată ?

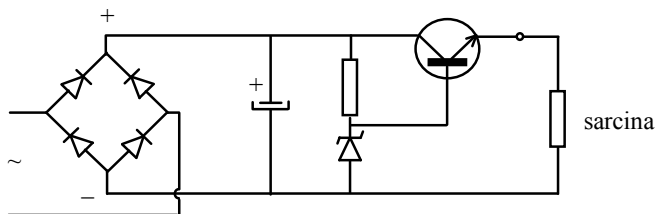


Fig. 5.22.

Experimentul 5. Perfecționarea stabilizatorului pentru mărirea factorului de stabilizare

Curentul absorbit din anodul diodei Zener a fost micșorat de β ori prin introducerea tranzistorului. Am putea acum să mărim de β ori rezistența de balast, mărind de același număr de ori factorul de stabilizare. Vom fi, însă, mult mai ambițioși și, dacă tot înlocuim rezistența de balast, o vom înlocui cu o sursă de curent (Fig. 5.23). Determinați factorul de stabilizare și comparați-l cu valoarea sa anterioară. A meritat efortul?

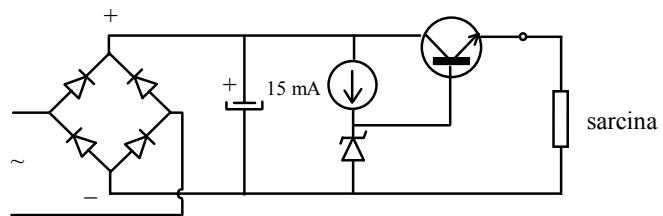


Fig. 5.23.

Experimentul 6. Stabilizator de tensiune integrat

Vom investiga acum comportarea unui stabilizator integrat, de tipul 7812 (12 V, tensiuni pozitive) care trebuie conectat ca în Fig. 5.24. Determinați, ca și la experimentul anterior, factorul de stabilizare și rezistența de ieșire. Comparați aceste valori cu cele obținute pentru stabilizatorul cu diodă Zener și pentru variantele sale perfecționate de la experimentele 4 și 5..

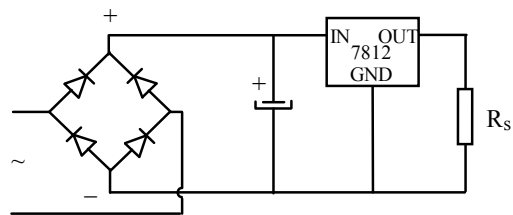


Fig. 5.24.