

Bloc de alimentare proiect

Tema proiectului:

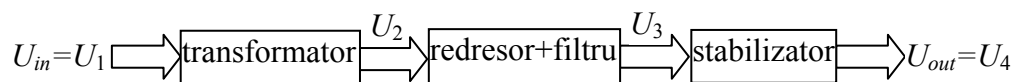
Să se proiecteze un bloc de alimentare (proiectare, simulare, cablaj) care să preia tensiunea de la rețea (220 V_{ef}, 50 Hz) și să o transforme într-o tensiune continuă stabilizată, de valoare mică (de ex. 5 V), pentru alimentarea altor circuite electronice.

Parți componente:

transformator – de joasa frecvență (50 Hz);

redresor + filtru – redresor cu 4 diode, bialternanta în punte, cu condensator de filtraj;

stabilizator – cu circuit integrat, LM723.



Date de proiectare:

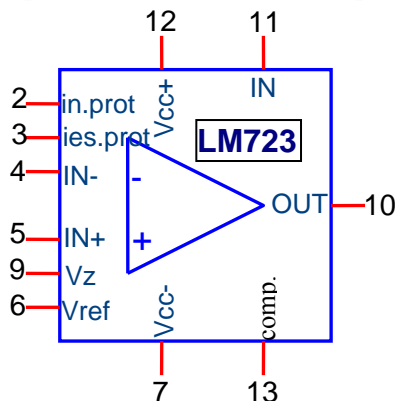
- tipul (fixă, reglabilă) și valorile extreme ale tensiunii stabilizate de ieșire: $U_{out\ min}$, $U_{out\ max}$;
- valoarea maximă necesară a curentului de sarcină: $I_{out\ max}$;
- tipul protecției la scurtcircuit a CI-ului din stabilizator, eventual valoarea curentului de protecție la scurtcircuit: I_{psc} ;
- variația procentuală, în plus, respectiv în minus, a tensiunii de mers în gol a redresorului, datorată variațiilor tensiunii rețelei: $100 \cdot \frac{\Delta E_{3+}}{E_3}$ [%]; $100 \cdot \frac{\Delta E_{3-}}{E_3}$ [%];
- temperatura ambiantă maximă: $t_{a\ max}$;
- tipul capsulei circuitului integrat LM723: TO-116, cu 7x2 pini sau TO-100 (rotundă).

Proiectarea se realizează începând de la sfârșitul schemei către începutul ei. Se începe, deci, de la stabilizator.

Stabilizatorul

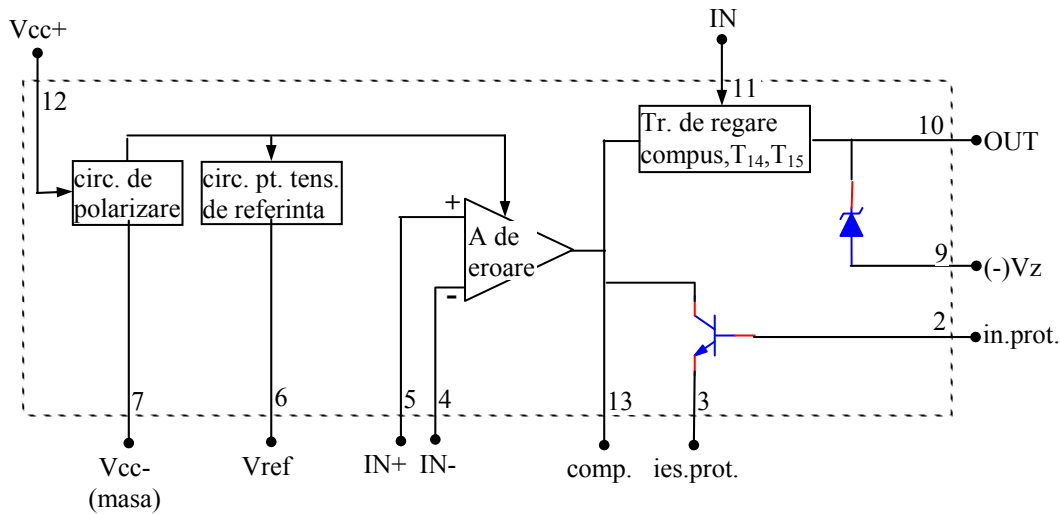
Se realizează un stabilizator cu **circuit integrat LM723**. Pentru acesta avem:

- capsula SO-14 smd, cu 7x2 pini (cu configurația pinilor):



Pinii 1, 8 și 14 sunt nefolosiți.

- structura interioară, la nivel de schemă bloc:



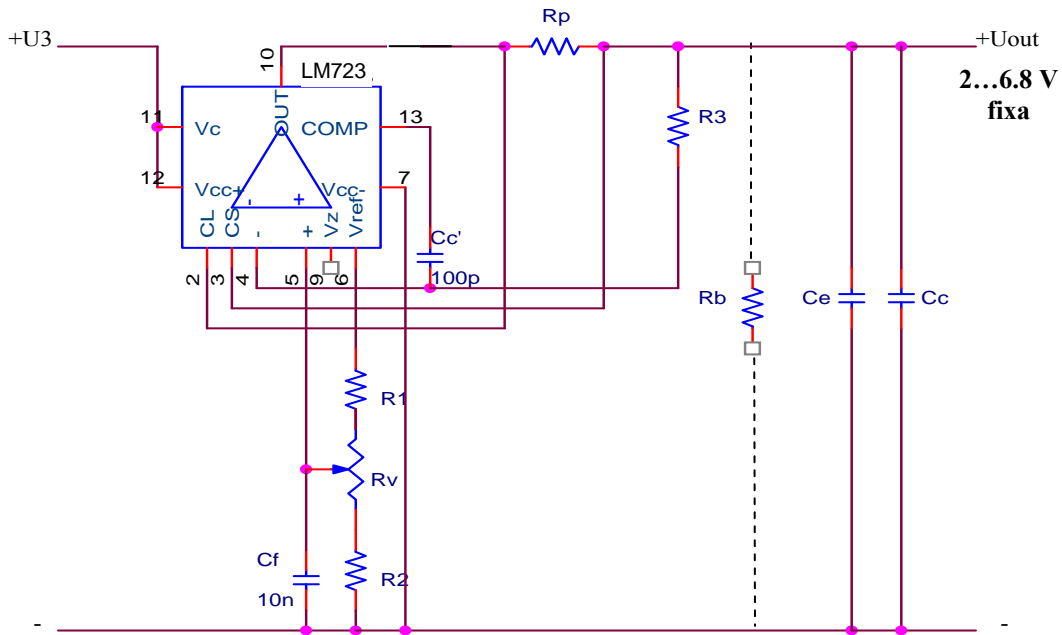
- datele de catalog pentru circuitul integrat LM723:

- tensiunea maximă de intrare (între pinii 12 și 7): $U_{in\ MAX}^* = 40\text{ V}$;
- tensiunea maximă între intrare și ieșire (între pinii 12 și 10): $U_{CE\ MAX\ 15} = 40\text{ V}$;
- tensiunea minimă între intrările amplificatorului de eroare și masă (între pinii 5-7, respectiv 4-7): $+2\text{ V}$;
- curentul maxim de ieșire (pin 10): $I_{out\ MAX} = 150\text{ mA}$;
- curentul maxim de încărcare a ieșirii de referință (pin 6): $I_{ref\ MAX} = 15\text{ mA}$;
- puterea disipată maximă la $25\text{ }^\circ\text{C}$: $P_{d\ MAX\ 25} = 660\text{ mW}$ pentru capsula TO-116, și 800 mW pentru capsula TO-100 (rotundă);
- rezistența termică jonctiune – mediu ambiant: $R_{ja\ CI} = 150\text{ }^\circ\text{C/W}$ pentru capsula TO-116, și $125\text{ }^\circ\text{C/W}$ pentru capsula TO-100;
- temperatura maximă a jonctiunilor: $t_{j\ MAX\ CI} = 125\text{ }^\circ\text{C}$;
- curentul de alimentare fără sarcină: $I_{C_0} \leq 4\text{ mA}$;
- tensiunea de referință (pin 6): $U_{ref} = 6.8 \dots 7.5\text{ V}$ – tipic 7.15 V ;
- domeniul de temperaturi de funcționare normală: $0 \dots +70\text{ }^\circ\text{C}$;
- tensiunea de protecție (de deschidere a tranzistorului de protecție): $U_p [\text{V}] \square 0.7 - 1.7 \cdot 10^{-3} \cdot t_{j\ max} [^\circ\text{C}]$, unde $t_{j\ max}$ = temperatura jonctiunilor la curentul de sarcină la care se face limitarea.

Schemele de stabilizator de tensiune cu circuit integrat LM723 depind de tipul și domeniul de variație a tensiunii de ieșire. Astfel, sunt posibile trei scheme (trei configurații):

- stabilizator de tensiune fixă, între $2 \dots 6.8\text{ V}$ (**schema 1**):

* în notația unei mărimi, dacă indicele este scris cu litere mari, atunci acea mărime reprezintă valoarea de catalog.

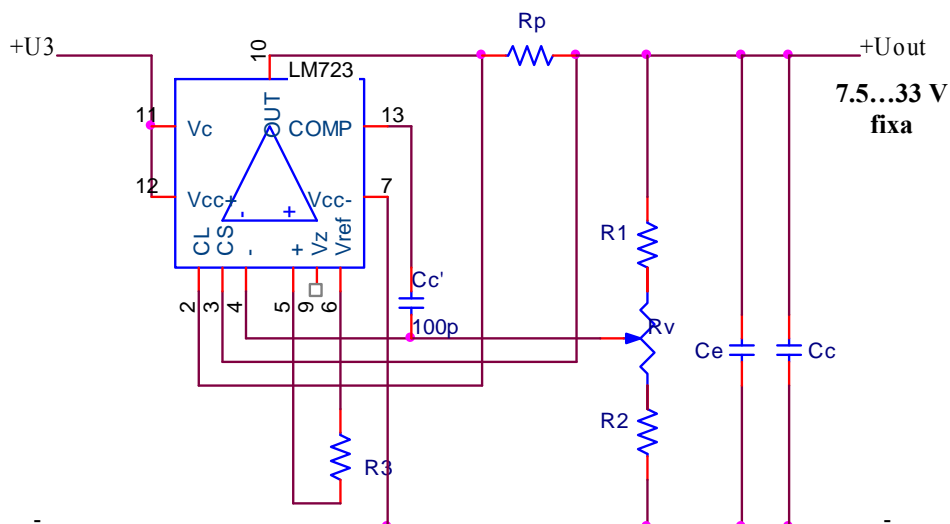


La intrarea neînversoare (5) a amplificatorului de eroare din integrat se aplică o parte din tensiunea de referință (de la pinul 6), U_{ref} , divizată. Condensatorul C_F (ceramic, 10...100 nF, poate fi și electrolitic, până la 5 μ F) are rol de filtraj, reducând zgomotul ce apare în U_{ref} , deci și zgomotul lui U_{out} .

(Tensiunea de ieșire se poate varia din R_V , între aceleași limite. Tensiunea de ieșire nu trebuie să coboare sub 2 V, altfel amplificatorul de eroare din integrat nu mai lucrează normal.)

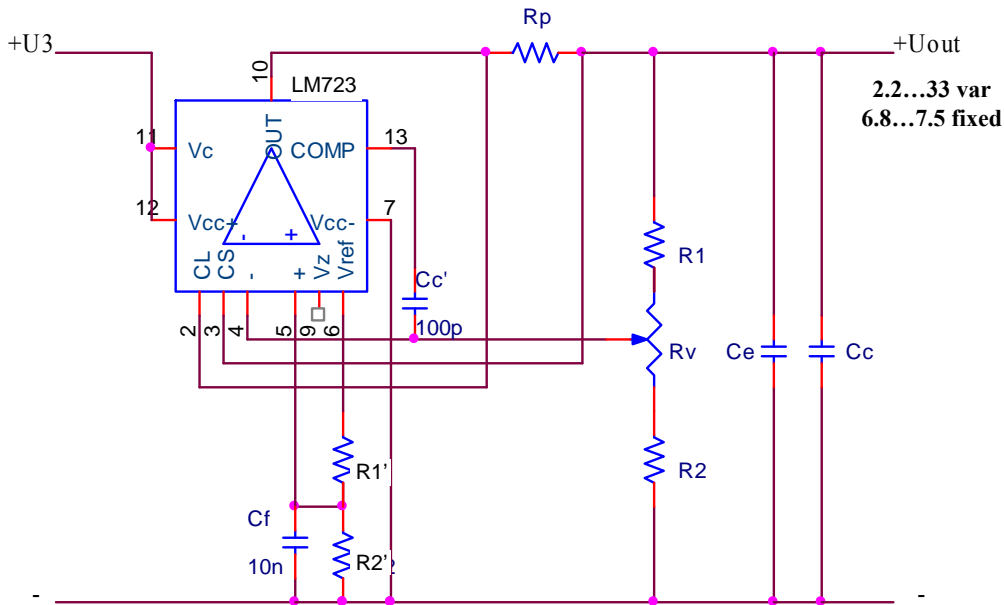
Rezistența de balast, R_b , se pune numai la schemele la care protecția la scurtcircuit a integratului este simplă, nu prin întoarcere.

- stabilizator de tensiune fixă, între 7.5...33 V (**schema 2**):



În acest caz, U_{ref} (pin 6) se aplică direct la intrarea neînversoare (pin 5) a amplificatorului de eroare. Tensiunea U_{out} divizată se aplică la intrarea inversoare (pin 4). (Tensiunea de ieșire se poate varia din R_V , între aceleași limite.)

- stabilizator de tensiune variabilă, de la 2.2 la 33 V sau fixă între 6.8...7,5 V (**schema 3**):



Tensiunile U_{ref} și U_{out} se aplică divizate pe intrările neinversoare și inversoare ale amplificatorului de eroare.
(Tensiunea de ieșire se poate varia din R_v . În cazul tensiunii variabile, minimul poate fi între 2.2...7.5 V și maximul între 6.8...33 V.)

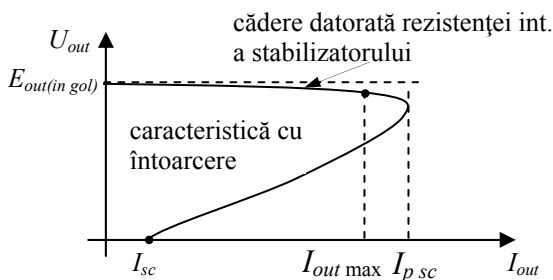
La proiectarea schemelor se ține cont de următoarele considerente:

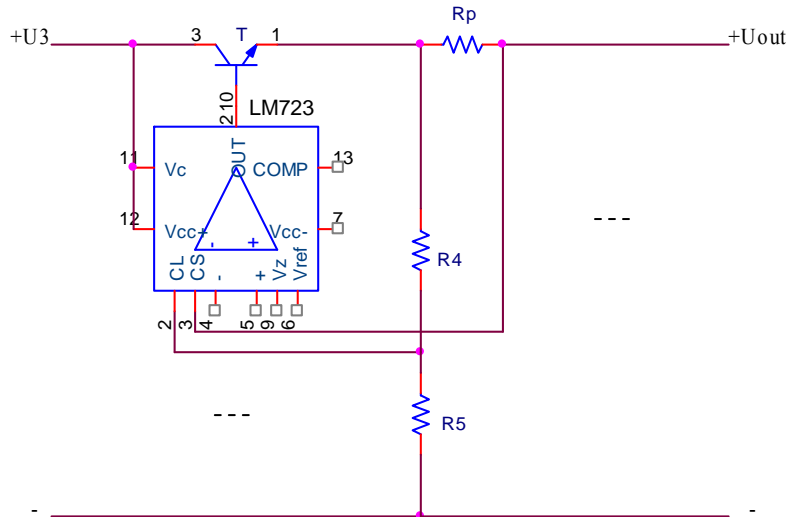
- divizoarele de tensiune se realizează cu RPM-uri (rezistoare cu peliculă metalică, *metal foil resistors*, ca să se modifice puțin cu temperatura);
- condensatorul C_c' se alege ceramic, de 100 pF. El realizează corecția amplificatorului de eroare, eliminând autooscilația acestuia.

Important.

Dacă este necesar ca și curentul de ieșire să fie mai mare de 150 mA, cât poate da integratul, se adaugă în schemă un tranzistor extern, npn, de reglaj serie, notat cu T , ca în figura de mai jos. Atenție: e posibil ca tranzistorul ales să aiba nevoie de radiator, care se calculează și se adaugă în schemă.

Pentru asigurarea protecției la scurtcircuit a integratului, cu întoarcerea caracteristicii (adică în situația în care avem scurtcircuit pe sarcină, curentul de ieșire crește până la valoarea permisă I_{psc} , apoi curentul și tensiunea pe sarcină scad ambele; la o protecție simplă scade numai tensiunea) se adaugă în schemă rezistențele R_4 , R_5 , ca în figură:





Determinarea elementelor schemei:

A. Stabilizatorul:

1. se alege schema (1, 2 sau 3), funcție de tipul și valoarea tensiunii de ieșire U_{out} din datele de proiectare;
2. Se alege tranzistorul extern.

Un tranzistor bipolar se alege din catalog după parametrii: $I_{C\max}$, $U_{CE\max}$, $P_{d\max T}$

Se calculează puterea disipată maximă pe tranzistorul extern:

$$P_{d\max T} \cong I_{out\max} \cdot (U_{out\max} - U_{pi0})$$

$$U_{CE\max} \cong U_{out\max} - U_{pi0}$$

$$I_{C\max} \cong I_{out\max}$$

unde U_{pi0} reprezintă căderea de tensiune pe rezistența de protecție R_p . Se adoptă inițial în intervalul = 0.8...1 V.

Se adopta un tranzistor care îndeplinește condițiile:

- $I_{C\max} \geq I_{C\max}$ - de la punctul anterior
- $U_{CE\max} \geq U_{CE\max}$
- $P_{d\max T} > P_{d\max T}$, adică puterea disipată maximă din catalog să fie mai mare decât puterea disipată pe tranzistor în condițiile de lucru date.

(Mărimile notate cu indecși litere mari reprezintă valorile de catalog pentru mărimile respective.)

Se recomandă tranzistoare npn (cu siliciu), THT de tip BD, începând cu BD135 pentru puteri mai mici (8 - 10 W), apoi BD235, etc. pentru puteri mai mari. Variantă SMD: MJD122 ... MJD44.

Indicații. Cataloge de componente electronice pot fi găsite la adresa: www.datasheetcatalog.com ; <https://www.alldatasheet.com/> ; <https://ro.mouser.com/CatalogRequest/Catalog.aspx> sau utilizând pagina www.electronica.ro, apoi Catalog.

3. Se determina puterea disipată maximă pe CI, care trebuie să fie mai mică decât valoarea maximă din catalog:

$$P_{d\max CI} \cong \frac{I_{out\max}}{\beta_{\min}} (U_{out\max} - U_{pi0})$$

unde β_{\min} (sau h_{FE}) este coeficientul de amplificare în curent minim al tranzistorului și se ia din datasheet-ul acestuia, din graficul $h_{FE}(I_C)$, la curentul de colector $I_C = I_{out\max}$.

4. se determină exact tensiunea U_p , la care acționează protecția la scurtcircuit. Se calculează mai întâi temperatura maximă a integratului: $t_{j \max} = t_{a \max} + P_{d \max CI} R_{ja CI}$, unde $R_{ja CI}$ reprezintă rezistența termică joncțiune – mediu ambiant – dată de catalog pentru integrat. Se verifică ca: $t_{j \max} < t_{j \max CI}$ a integratului, din catalog (egală cu 125°C).

Dacă nu, se alege alt integrat.

Se determina: $U_p [V] = 0.7 - 1.7 \cdot 10^{-3} \cdot t_{j \max} [^{\circ}C]$.

Este indicat să difere cu cel mult 0.2 față de valoarea adoptată inițial, U_{pi0} . Dacă nu, se fac ajustări.

5. se determină R_p (necesară pentru limitarea curentului de scurtcircuit):

$$R_p = \frac{U_p}{I_{psc}}$$

6. determinăm rezistențele R_4 , R_5 , R_p , care realizează protecția la scurtcircuit a CI-ului:

$$\begin{cases} R_4 + R_5 = \frac{U_{out \max} + U_p}{I_{dp}} \\ R_4 = R_5 \cdot \left(1 - \frac{I_{sc} R_p}{U_p}\right) \end{cases}$$

Curentul I_{dp} reprezintă curentul prin divizorul de protecție; se poate adopta de circa 1% din $I_{out \max}$. I_{sc} reprezintă curentul redus, după ce acționează protecția la scurtcircuit, care se ia ca. 40 ... 60 % din I_{psc} .

7. calculul divizorului $R_1 - R_V - R_2$. Se face pentru fiecare din cele trei scheme separat.

- pentru schema 1:

R_V ajustează U_{out} la valoarea impusă, compensând dispersia lui U_{ref} , imprecizia rezistențelor și căderea de tensiune pe R_3 .

Curentul prin divizor se adoptă în jur de 1 mA. Avem:

$$\begin{cases} R_1 + R_V + R_2 = 7.15 \\ \frac{0.8 \cdot R_V + R_2}{R_1 + 0.8 \cdot R_V + R_2} = \frac{U_{out \max} [V]}{6.8} \\ \frac{R_2}{R_1 + 1.2 \cdot R_V + R_2} = \frac{U_{out \min} [V]}{7.5} \end{cases}$$

R_V se pune de tip potențiomtru. Valorile obținute pentru rezistențe, în kΩ, trebuie normalizate (se adoptă pentru ele valori din catalog). Rezistențele se normalizează, adoptându-se rezistențe cu peliculă metalică cu toleranța 1 %.

- pentru schema 2:

Se adoptă un curent prin divizor, I_d , care să nu încarce mult ieșirea: $I_d = (1...2) \% \cdot I_{out \max}$.

$$\begin{cases} R_1 + R_V + R_2 = \frac{U_{out \min} + U_{out \max}}{2 \cdot I_d} \\ \frac{0.8 \cdot R_V + R_2}{R_1 + 0.8 \cdot R_V + R_2} = \frac{7.5}{U_{out \min}} \\ \frac{R_2}{R_1 + 1.2 \cdot R_V + R_2} = \frac{6.8}{U_{out \max}} \end{cases}$$

R_V se ia de tip semireglabilă. Valorile obținute pentru rezistențe sunt în Ω . Rezistențele se normalizează ca mai sus.

- pentru schema 3:

Se adoptă tensiunea maximă de la intrările amplificatorului de eroare (corespunzător tensiunii de referința maxime, de 7.5 V): $U_{intr\ max} \leq U_{out\ min}$.

Totodată, $U_{intr\ min}$ nu trebuie să coboare sub 2 V – impusă de integrat (corespunzător lui $U_{ref\ min} = 6.8\text{ V}$). ($U_{intr\ min}$ se realizează când U_{ref} este minimă; cand U_{ref} e maximă, rezultă $U_{intr} \square 2.2\text{ V}$. Deci, de la stabilizator se obține o tensiune de ieșire mai mare de 2 V. Se poate obține și 2 V, dar mai trebuie luate niște măsuri.)

Se dimensionează mai întâi divizorul R_1' , R_2' astfel încât să se obțină $U_{intr\ max}$ adoptat (cand U_{ref} e maximă), la un curent de 1 mA:

$$\begin{cases} R_2' [\text{k}\Omega] = U_{intr\ max} [\text{V}] \\ R_1' = 7.5 [\text{k}\Omega] - R_2' \end{cases}$$

Calculăm $U_{intr\ min}$. Obținem, datorită dispersiei lui U_{ref} :

$$U_{intr\ min} = U_{intr\ max} \frac{6.8}{7.5} = 0.905 \cdot U_{intr\ max}$$

Calculăm rezistențele divizorului de ieșire R_1 , R_V , R_2 . Pentru calculul acestuia, se impune și condiția de simetrizare a rezistențelor echivalente la cele două intrări ale amplificatorului de eroare. Rezultă că scade deriva acestuia, deci tensiunea va fi mai bine stabilizată. Avem:

$$\begin{cases} \left(R_1 + \frac{R_V}{2} \right) \parallel \left(R_2 + \frac{R_V}{2} \right) = R_1' \parallel R_2' \\ \frac{0.8R_V + R_2}{R_1 + 0.8R_V + R_2} = \frac{U_{intr\ max}}{U_{out\ min}} \\ \frac{R_2}{R_1 + 1.2R_V + R_2} = \frac{U_{intr\ min}}{U_{out\ max}} \end{cases}$$

Rezistențele se normalizează ca mai sus.

8. se determină rezistența R_3 (din schemele 1 și 2), din condiția reducerii derivei amplificatorului de eroare: $R_3 = \left(R_1 + \frac{R_V}{2} \right) \parallel \left(R_2 + \frac{R_V}{2} \right)$.

Observație. Rezistențele calculate teoretic vor fi puse în schemă cu valori standardizate, care se iau din tabelele cu rezistențe standardizate de pe Internet (corespund rezistorilor fabricați industrial). La standardizare se ține cont de: toleranță (1 % aici), valoare și putere disipată. Rezistența semireglabilă se alege din catalog după valoare și putere disipată.

9. se calculează condensatorii de la ieșire:

$$\begin{cases} C_e [\mu\text{F}] \leq (500 \dots 1000) \cdot I_{out\ max} [\text{A}] \\ C_c = (10 \dots 100) \text{ nF} - \text{mai mare pentru variații mai mari în impuls ale curentului de sarcină.} \end{cases}$$

Se aleg condensatoare standardizate din cataloagele de pe Internet. Condensatoarele ceramice se aleg după valoare și tensiune maximă, iar condensatoarele electrolitice după curentul ondulatoriu maxim, tensiunea nominală și valoare.

10. se calculează, dacă e cazul, radiatorul pentru tranzistorul extern.

- se determină puterea disipată maximă admisă de tranzistorul fără radiator, $P_{d\ MAX\ 0}$;

$$P_{d\text{MAX}0} = \frac{t_{j\text{MAX}T} - t_{a\text{max}}}{R_{jc} + R_{ca}}, \text{ cu } t_{j\text{MAX}T}, R_{jc} \text{ și } R_{ca} \text{ luați din catalog } (R_{ja,T} = R_{jc} + R_{ca}) \text{ pentru}$$

tranzistorul ales.

Radiatorul va fi necesar dacă $P_{d\text{MAX}0} \leq P_{d\text{max}T}$.

- se determină puterea maximă admisă, la temperatura $t_{a\text{max}}$, de către dispozitivul cu radiator, cu răcire naturală, $P_{d\text{MAX}r}$; dacă e îndeplinită condiția: $P_{d\text{max}T} \leq P_{d\text{max}r}$, atunci se calculează radiatorul. Dacă nu, este necesară fie o răcire forțată, fie adoptarea unui dispozitiv de putere mai mare.

- se determină rezistența termică totală joncțiune - aer: $R_{ja\text{tot}} = \frac{t_{j\text{MAX}T} - t_{a\text{max}}}{P_{d\text{max}T}}$.

- se calculează rezistența termică radiator - aer: $R_{ra} = \frac{R_{ca}(R_{ja\text{tot}} - R_{jc})}{R_{ca} - (R_{ja\text{tot}} - R_{jc})} - (R_{iz} + R_{cr})$, unde se

consideră că rezistența totală a radiatorului este formată din: R_{ra} , între locul de contact cu dispozitivul semiconductor și mediu; R_{iz} care reprezintă rezistența termică a izolației electrice, când este necesară; R_{cr} , între capsulă și radiator. Ultimele două se estimează:

$$R_{iz} [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \approx \frac{275 \dots 325}{A_c [\text{mm}^2]}, \text{ cu } A_c \text{ - aria suprafeței de contact dintre capsulă și radiator;}$$

$$R_{cr} [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \approx \frac{200 \dots 275}{A_c [\text{mm}^2]} \text{ - scade dacă radiatorul are contact cât mai bun cu piesa (se poate}$$

folosi unsoare, o șaibă subțiră de plumb, etc.).

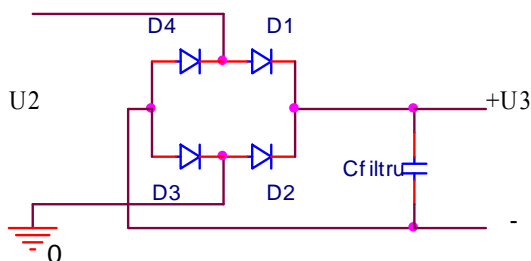
(Am folosit că $R_{ja\text{tot}}$ se poate scrie ca : $R_{ja\text{tot}} = R_{jc} + R_{ca} // (R_{iz} + R_{cr} + R_{ra})$.)

- se determină suprafața necesară a radiatorului: $S [\text{cm}^2] = \frac{650 \cdot k}{R_{ra} - 33 \frac{\sqrt[4]{k}}{\sqrt{\lambda g}}}$,

unde: λ [$\text{W}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}$] este conductibilitatea termică a metalului ($\lambda_{Al} = 210 \text{ W}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}$; $\lambda_{Cu} = 280 \text{ W}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}$); k [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$] este un coeficient de poziție și culoare, dat în tabelul 1.1/pag.80/[1]; g [mm] – grosimea plăcii radiatorului. Grosimea tablei se ia de 1...4 mm, mai mică pentru puteri mai mici. Dispozitivul se montează în centru. Dacă radiatorul este de formă dreptunghiulară, suprafața S rezultată se multiplică cu factorul de corecție m , dat în fig. 1.28/pag.81/[1].

Redresorul + filtrul

Schema circuitului redresor bialternanță în punte, cu filtru capacitiv este:



Caracteristici:

- număr de diode: 4;
- tensiunea inversă maximă a diodelor: $1.5 \cdot U_3$;
- curentul de vârf repetitiv prin diode: $4 \cdot I_3$;
- curentul mediu maxim prin diode: $0.5 \cdot I_3$;
- numărul de înfășurări secundare ale transformatorului: 1;
- diametrul conductorului din primarul transformatorului: d_1 ;
- diametrul conductorului din secundarul transformatorului: $1.19 \cdot d_2$;
- secțiunea miezului transformatorului: $S_{Fe} = S_m$;
- capacitatea condensatorului de filtraj: C_{filtru} .

Date de proiectare:

- curentul mediu redresat maxim sau curentul continuu maxim, consumat de sarcină (adică de stabilizator) (la tensiunea de rețea nominală): $I_3 = I_{psc}$ (e curentul la care acționează protecția la scurtcircuit și care nu se modifică la creșterea tensiunii rețelei peste valoarea nominală);

- tensiunea medie redresată sau tensiunea continuă pe sarcină (la curentul I_3): U_3 ; reprezintă tensiunea nominală de la intrarea stabilizatorului, la curentul maxim de sarcină.

$$U_3 \cong U_{outmax} + U_{CE\ satur} + u_{r3m} + U_p + (0.8...1) V,$$

unde u_{r3m} = amplitudinea pulsațiilor tensiunii de ieșire din redresor+filtru. Tensiunea u_{r3m} se adoptă între 0.2...0.8 V la curenți de sarcină mici, respectiv între 0.4...2 V la curenți mari (aici se poate lua numeric egală cu curentul de sarcină). $U_{CE\ sat}$ se ia din datasheet-ul tranzistorului ales.

- căderea relativă de tensiune pe rezistența internă a redresorului (când e impusă de la calculul stabilizatorului): λ - se adoptă 0.15;
- variația tensiunii redresate: u_{r3m} ;
- creșterea posibilă a tensiunii rețelei, în procente.

Alegerea diodelor redresoare se face astfel încât:

- tensiunea inversă maximă din catalog $U_{RRM} > 1.5 \cdot U_3$;

- curentul mediu redresat maxim din catalog $I_0 = I_{FAV} > \frac{I_{3\max}}{m}$, unde $I_{3\max}$ se ia I_3 pentru redresor urmat de stabilizator cu element de reglaj serie, iar m = numărul de alternanțe redresate = 2;

- curentul de vârf repetitiv maxim: $I_{FRM} = i_{Dm\max} > 8 \frac{I_{3\max}}{m}$, (cu $I_{3\max} = I_3$ și $m = 2$);

Se alege dioda cu datele de mai sus, pentru care se ia din catalog curentul de suprasarcină maxim: I_{FSM} .

Se recomandă diode redresoare standard, de tip 1N4001. Ex. dioda 1N4001 de la firma Philips, care are datasheet-ul suficient de complet și este de tip THT. Varianta SMD: 1N4001-4007 (firma Diodes).

Se determină tensiunea maximă din secundarul transformatorului:

$$U_{2m} \approx U_3(1 + 1.5 \cdot \lambda) + pU_D. \text{ Valoarea efectivă a acesteia este: } U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}}, \text{ unde } p = \text{numărul}$$

de diode în serie = 2, iar U_D = tensiunea de deschidere a diodei.

Determinarea condensatorului de filtraj. C_{filtru} se ia de o valoare cu ca. 60 % mai mare decât C_e de la ieșirea stabilizatorului. Tensiunea nominală a condensatorului trebuie să depășească valoarea tensiunii maxime de mers în gol a redresorului. Se ia $\geq U_{3m}$. Curentul ondulatoriu admis de condensator (din catalog) trebuie să fie mai mare decât $I_{out\ max}$.

Transformatorul

La blocul de alimentare proiectat aici se va calcula un transformator de rețea de mică putere, cu o singură tensiune de alimentare în primar (alimentare de la rețea) și un singur secundar.

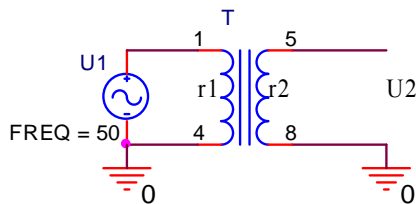
Date de proiectare:

- valoarea efectivă a tensiunii de alimentare în primar: $U_1 = U_{in}$ (= 220 V_{ef} – aici), și frecvența acesteia: f (= 50 Hz – aici);
- valoarea efectivă a tensiunii din secundar: U_2 ;
- condițiile de lucru (ușoare, medii - aici, sau grele);
- particularități constructive (cu/fără impregnare: cu impregnare – aici; tip tolă și material: tabla silicioasă, laminată la cald, de 0.35 mm grosime – aici; etc.).

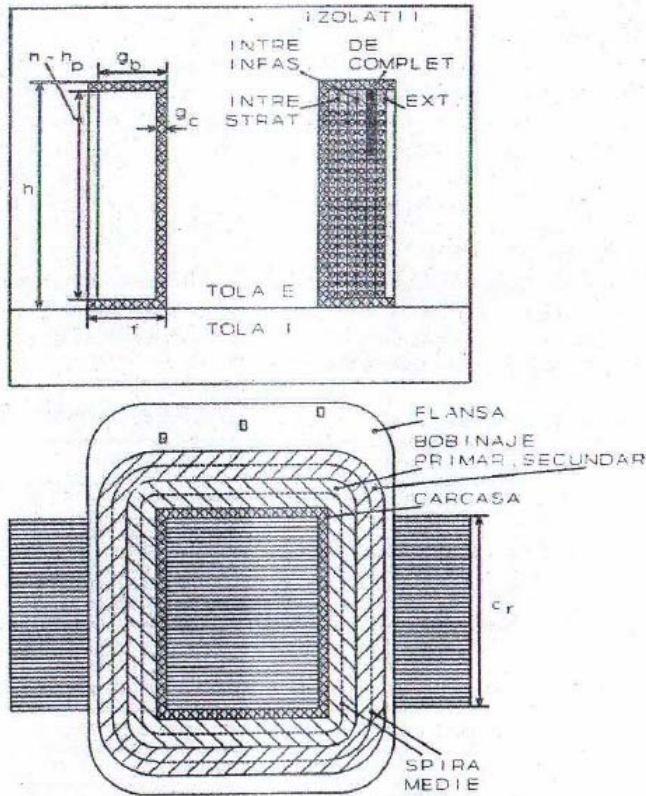
Observație. La proiectarea transformatorului se acordă atenție sporită unităților de măsură pentru mărimile luate din tabele, fiind adesea folosiți multipli și submultipli ai unităților din **SI**, după cum impune producătorul de conductoare emailate pentru înfășurări, de tole, etc. Se recomandă specificarea unităților de măsură lângă fiecare mărime utilizată în calcule.

Etapele de proiectare a transformatorului

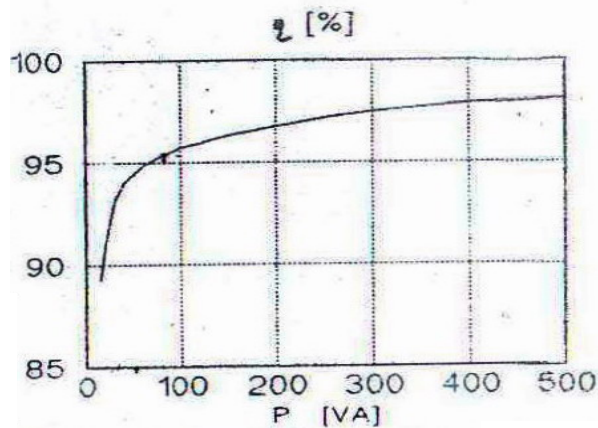
1. stabilirea schemei de lucru:



Structura internă a transformatorului va fi de tipul cu un primar și cu un secundar, cu miez feromagnetic cu tole de tipul E + I, cu izolație între miez și înfășurări de tip carcasă cu flanșe. Bobinele sunt realizate din conductoare de Cu, înfășurate pe coloana centrală a miezului.



2. se calculează puterea utilă în secundar: $P_u = U_2 I_2$. Se adoptă randamentul transformatorului, conform graficului din figura de mai jos [2]. Atenție: la folosirea graficului se ține cont ca pe abscisă se află P , nu P_u , unde P reprezintă puterea totală absorbită de transformator de la rețea, care include și pierderile ($\eta = \frac{P_u}{P} = \frac{P_u}{P_u + P_p}$). Se stabilește, deci și puterea P .



3. Se calculează secțiunea miezului: $S_m = k\sqrt{P}$, în care se adoptă coeficientul k : $k = (1.3...1.9) \cdot 10^{-4}$ - pentru condiții de lucru grele, k mare, și invers.

4. se adoptă inducția maximă în miez, B_m , în funcție de condițiile de lucru și de materialul tolei. Pentru miezuri din tole de 0.35 mm grosime, din tablă silicioasă, laminată la cald (folosite aici): $B_m = 0.9...1.45$ T; se iau valori mici pentru condiții grele de lucru (răcire

proastă, suprasarcini frecvente, etc.) și invers. În condiții medii se recomandă valori între 1.15...1.25 T. Cu valoarea adoptată se calculează numărul de spire pe volt: $N_0 = \frac{1}{4.44 f S_m B_m}$

spire/V. Numerele de spire ale înfășurării primare, respectiv secundare vor fi:

- în primar: $N_1 = U_1 N_0$;

- în secundar: $N_2 = (1.02...1.10) U_2 N_0$. Coeficientul din paranteza rotundă se alege mai mare la puteri mici, sub 10W.

Raportul de transformare al transformatorului este:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}} \Rightarrow \frac{L_1}{L_2} = \frac{U_1^2}{U_2^2} \Rightarrow L_2 = L_1 \cdot \frac{U_2^2}{U_1^2}$$

$$(L = \mu \cdot \frac{N^2 S}{l} \Rightarrow \sqrt{L} \propto N ; \text{ la simulare adoptăm: } L_1 = 100 \text{ mH; } U_1 = 220 \text{ V.})$$

5. se determină diametrele conductoarelor înfășurărilor. Se calculează mai întâi curentul din primar: $I_1 = \frac{P}{U_1}$. Curentul din secundar, I_2 , se cunoaște.

Se adoptă densitățile de curent din înfășurări: $j_{1,2} = 2...8 \text{ A/mm}^2$. Se aleg valori mai mari pentru bobinajele exterioare și în condiții ușoare de lucru și invers.

Se recomandă densități de curent între 2 și 4 A/mm^2 , aici, mai mici la puteri mari și invers.

Se calculează diametrele conductoarelor din fiecare înfășurare:

$$j_{1,2} = \frac{I_{1,2}}{s_{1,2}} = \frac{I_{1,2}}{\pi d_{1,2}^2 / 4} \Rightarrow d_{1,2} = \sqrt{\frac{4 I_{1,2}}{\pi j_{1,2}}}$$

de conductoare A.1.2.a/b./pag.23,24/[2], dat mai jos (valorile standard pentru diametrele conductoarelor să fie mai mari sau egale cu cele calculate).

d [mm] fără izol.	d _z [mm] cu izol.	R _{ca} [Ω/m]	S [mm ²]	Nr. spire/cm	Nr. spire/cm ²	
					fără izol. între str.	cu izol. între str.
0.05	0.068	8.80063	0.00196	147.05	16150	13250
0.07	0.092	4.49012	0.00385	108.69	9700	8330
0.10	0.123	2.20016	0.00785	81.30	6100	4470
0.12	0.149	1.52789	0.01131	67.11	4210	3190
0.15	0.180	0.97785	0.01767	55.55	2880	2260
0.18	0.210	0.67906	0.02545	47.61	2050	1730
0.20	0.231	0.55004	0.03142	43.29	1715	1465
0.22	0.255	0.45458	0.03801	39.21	1460	1210
0.25	0.285	0.35203	0.04909	35.08	1150	978
0.28	0.317	0.28063	0.06158	31.54	925	813
0.30	0.337	0.24446	0.07069	29.67	807	722
0.35	0.394	0.17960	0.09621	25.38	594	530
0.40	0.444	0.13751	0.12566	22.52	470	350
0.45	0.501	0.10865	0.15904	19.96	371	277
0.50	0.551	0.08801	0.19635	18.14	300	224
0.55	0.609	0.07273	0.23758	16.42	250	190
0.60	0.659	0.06112	0.28274	15.17	209	162
0.65	0.709	0.05207	0.33183	14.10	180	142
0.70	0.759	0.04490	0.38485	13.17	153	125
0.80	0.872	0.03438	0.50265	11.46	127	95.5
0.90	0.972	0.02716	0.63617	10.28	93	78
1.00	1.087	0.02200	0.78540	9.19	75	65
1.20	1.291	0.01528	1.13097	7.74	52	40.5
1.50	1.595	0.00978	1.76715	6.26	33.5	26.5
2.00	2.100	0.00550	3.14159	4.76	19	15.5

6. se calculează aproximativ secțiunea bobinei: $S_b = S_{b1} + S_{b2} = \frac{N_1}{C_1} + \frac{N_2}{C_2}$, unde $C_{1,2}$ reprezintă numărul de spire pe cm^2 și se ia din tabelul de conductoare, conform particularităților constructive (cu/fără impregnare). Transformatoarele cu impregnare sunt fără izolație între straturi și invers.

Se calculează suprafața necesară a ferestrei miezului: $S_{f\text{ nec}} = \frac{S_b}{\gamma}$, unde γ reprezintă coeficientul de umplere a ferestrei miezului – se adoptă: $\gamma = 0.7$ aici.

Se alege tola cu S_f cel mai apropiat de $S_{f\text{ nec}}$, din tabelul de tole A.1.1.a/b./pag.21,22/[2], dat mai jos. Dacă nu găsim una corespunzătoare se crește puțin B_m și/sau $j_{1,2}$ și se recalculează.

Daca tot nu se rezolvă, se alege tola imediat mai mare și se acceptă o umplere mai proastă a ferestrei miezului. A doua soluție este mai puțin recomandată.

Se recomandă tole E8, E10 sau E12.5 aici, mai mari la puteri disipate P mai mari.

Tip tola	a [cm]	b=2a [cm]	h=3a [cm]	e=6a [cm]	f=4a [cm]	$l_m=8a+wa$ [cm]	$S_f=ah$ [cm ²]
E4	0.40	0.80	1.20	2.40	1.60	4.46	0.48
E5	0.50	1.00	1.50	3.00	2.00	5.57	0.75
E6.4	0.64	1.28	1.92	3.84	2.5	7.13	1.23
E8	0.80	1.60	2.40	4.80	3.20	8.91	1.92
E10	1.00	2.00	3.00	6.00	4.00	11.14	3.00
E12.5	1.25	2.50	3.75	7.50	5.00	13.93	4.69
E14	1.40	2.80	4.20	8.40	5.60	15.60	5.88
E16	1.60	3.20	4.80	9.60	6.40	17.83	7.68
E18	1.80	3.60	5.40	10.80	7.20	20.05	9.72
E20	2.00	4.00	6.00	12.00	8.00	22.28	12.00
E25	2.50	5.00	7.50	15.00	10.00	27.85	18.75
E32	3.20	6.40	9.60	19.20	12.80	35.65	30.72

Tip tola	pentru c/b=1.5		masa tolei E [g]		masa tolei I [g]	
	S_m [cm ²]	V_m [cm ³]	0.35 mm	0.5 mm	0.35 mm	0.5 mm
E4	0.96	4.61	0.78	1.11	0.26	0.37
E5	1.50	9.00	1.21	1.73	0.40	0.58
E6.4	2.46	18.87	1.99	2.84	0.66	0.95
E8	3.84	36.86	3.10	4.44	1.03	1.48
E10	6.00	72.00	4.85	6.93	1.62	2.31
E12.5	9.38	140.63	7.58	10.83	2.53	3.61
E14	11.76	197.57	9.51	13.58	3.17	4.53
E16	15.36	294.91	12.42	17.74	4.14	5.91
E18	19.44	419.90	15.72	22.45	5.24	7.48
E20	24.00	576.00	19.40	27.72	6.47	9.24
E25	37.50	1125.00	30.32	43.31	10.11	14.44
E32	61.44	2359.30	49.67	70.96	16.56	23.65

Tab. Caracteristicile tolelor.

7. se calculează grosimea teoretică a pachetului de tole: $c = \frac{S_m}{b}$. Verificăm dacă $\frac{c}{b} = 1.2 \dots 2$ (ideal 1.5). Mărimea $\frac{c}{b}$ se numește factor de formă al transformatorului. Dacă nu este îndeplinită condiția precedentă, se alege altă tolă. (Randamentul transformatorului depinde foarte mult de factorul sau de formă și de raportul $\frac{g_b}{a}$, cu g_b = grosimea bobinajului și a = lățimea ferestrei. De aceea se recomandă ca aceste cantități să fie cât mai apropiate de valoarea lor optimă.)

Se calculează grosimea reală a pachetului de tole (necesară pentru carcasă):

$c_r = (1.04 \dots 1.08)c$. Coeficientul de multiplicare depinde de netezimea suprafeței tolelor din miez și de planeitatea acestora.

8. se calculează umplerea ferestrei miezului. Se aleg mai întâi carcasa și izolațiile, din tabelul de mai jos [2]. Grosimea bobinajului cu tot cu izolații va fi:

(pe peretele central al miezului se pune mai întâi carcasa, apoi se bobinează primarul, se pune izolație între înfășurări, apoi se bobinează secundarul, apoi se pune izolația exterioară – a se vedea și figura de mai jos [2]. Primarul și secundarul se fac cu sau fără izolație între straturi, după cum transformatorul este fără sau cu impregnare.)

$g_b = g_c + \sum_l g_{izl} + g_{izext} + \sum_{k=1}^2 w_k d_{izk}$, unde s-au folosit următoarele notații:

- g_c = grosimea carcasei (izolează miezul de bobinaje);
- g_{izl} = grosimea izolației numărul l , dintre stratul l și $(l+1)$. Acest tip de izolație se pune și între înfășurări și nu se pune la exterior. Indicele l desemnează, deci, stratul. Se lucrează astfel: dacă transformatorul este fără impregnare, se pune izolație și între straturile fiecărei înfășurări, și între înfășurări; dacă transformatorul este cu impregnare, nu se pune izolație între straturi, doar între înfășurări (deci, suma va avea un singur termen, aici, în acest caz).
- g_{izext} = grosimea izolației exterioare;
- $\sum_{k=1}^2 w_k d_{izk} = w_1 d_{iz1} + w_2 d_{iz2}$ - aici. Termenul reprezintă suma grosimilor efective ale celor două bobinaje, fără izolații intermediare (între straturi, între înfășurări, exterioară sau fața de miez). Indicele k desemnează, deci, înfășurarea (aici, $k = 1, 2$).

Acest termen se calculează astfel: calculăm mai întâi numărul de straturi din înfășurarea k :

$w_k = \frac{N_k}{N_{k\text{ strat}}}$, care se rotunjește la întregul superior (în practică se completează stratul cu folie

izolantă). Mărimea $N_{k\text{ strat}}$ reprezintă numărul de spire pe strat: $N_{k\text{ strat}} = \frac{h - h_p}{d_{izk}}$, cu $h =$

înălțimea ferestrei miezului (a se vedea și figura 2/pag.9/[2]), în care se bobinează spiră lângă spira, apoi strat după strat; h_p = dublul grosimii carcasei, care vine în partea de sus, respectiv jos a ferestrei miezului – de obicei se ia $h_p = 2g_c$; d_{izk} = diametrul conductorului cu izolație a înfășurării k , – se ia din tabelul de conductoare.

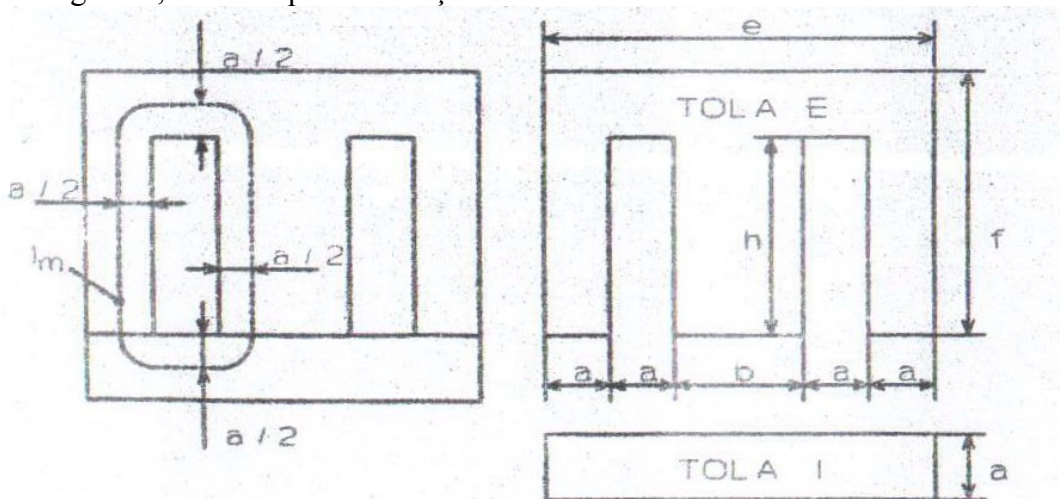
Izolația la transformatoarele de rețea de mică putere

diametru conductor	grosime izolație
sub 0.1 mm	0.01...0.03 mm
0.1...0.5 mm	0.03...0.05 mm
peste 0.5 mm	0.06...0.12 mm
la exterior	carton 0.1...0.25 mm

Materialul și grosimea carcaselor și flanșelor

P[VA]	material	grosime
< 10	textolit, pertinax	0.3...0.6 mm
	plastic	0.5...1.0 mm
10 - 50	textolit, pertinax	0.5...1.0 mm
	plastic	0.8...1.2 mm
50 - 100	textolit, pertinax	1.0...2.0 mm
	plastic	1.2...2.5 mm
> 100	textolit, pertinax	2.0...3.0 mm
	plastic	2.5...3.5 mm

Umplerea este bună dacă: $\frac{g_b}{a} = 0.8...0.92$ (a se vedea și figura de mai jos). Dacă e prea mică, se realege tola, nu se umple cu izolație.



Miez feromagnetic din tole E+I, ștanțate fără deșuri;
 l_m reprezintă lungimea circuitului magnetic.

9. se determină rezistențele înfășurărilor, $r_{1,2}$. Se calculează mai întâi lungimea spirei medii, l_s (a se vedea și figura 2/pag.9/[2]):

$$l_s = 2(b + 2g_c) + 2(c_r + 2g_c) + \pi(g_b - g_c).$$

Rezistențele înfășurărilor vor fi: $r_k = N_k l_s R_{0k}$, unde $R_{0k} [\Omega/m]$ = rezistența pe unitatea de lungime a înfășurării k – se ia din tabelul de conductoare.

10. se calculează randamentul transformatorului obținut. Se determină mai întâi pierderile. Acestea sunt de două feluri: pierderi Joule în înfășurări, respectiv pierderi în miez, prin histerezis și curenți turbionari. Pierderile din înfășurări se calculează:

$$P_{Cu} = \sum_{k=1}^2 r_k I_k^2 = r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2.$$

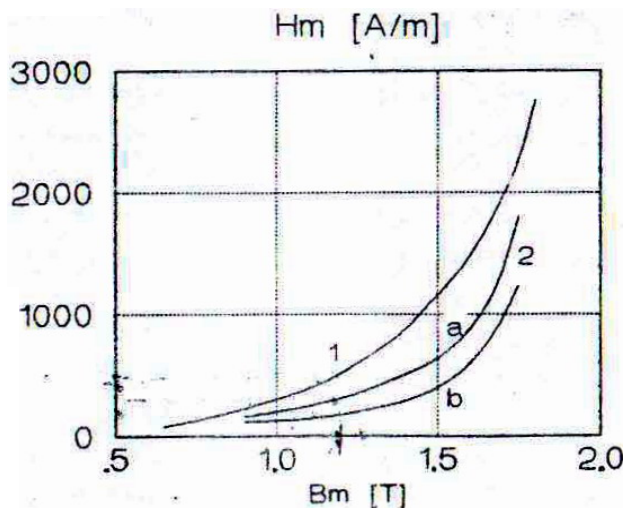
Pierderile în miez se calculează: $P_{Fe} = P_{Fe0} M_{Fe} B_m$, unde $P_{Fe0} [W/kg \cdot T]$ = pierderi specifice – pentru tole laminate la cald E+I, $P_{Fe0} = 1.1 \dots 1.3 \text{ W/kg} \cdot T$ (dacă se folosesc șuruburi de strângere a pachetului de tole, acestea pot scurtcircuita tolele măbind pierderile prin curenți turbionari cu circa 5...10 %). Mărimea M_{Fe} = masa miezului, care se determină fie ca produsul dintre numărul de tole din miez și masa unei tole (din tabelul de tole), fie ca produsul dintre densitatea $\rho_{miez} \square \rho_{Fe} = 7700 \text{ kg/m}^3$ și volumul miezului $V_m = V_{m(1.5)} \frac{c/b}{1.5}$, cu $V_{m(1.5)}$ = volumul miezului când factorul de formă este ideal 1.5, luat din tabelul de tole.

Puterea totală pierdută la nivelul transformatorului este: $P_p = P_{Cu} + P_{Fe}$. Randamentul obținut

va fi: $\eta_{calculat} = \frac{P_u}{P} = \frac{P - P_p}{P} = 1 - \frac{P_p}{P}$.

Se verifică ca: $|\eta_{calculat} - \eta| \leq 5\%$, unde η este randamentul adoptat inițial. Dacă nu, se recalculează de la început.

11. se calculează curentul de mers în gol: $I_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{l_m H_m}{N_1}$, unde l_m = lungimea medie a circuitului magnetic – se ia din tabelul de tole; H_m = intensitatea maximă a câmpului magnetic din miez – se ia din figura de mai jos [2], în funcție de B_m .



Curbe de magnetizare: **1** - tole laminata la cald; **2** - banda spiralizata laminata la rece; **a** - $P > 250 \text{ VA}$; **b** - $P < 10 \text{ VA}$.

Se verifică ca: $\begin{cases} I_0 < (0.3..0.5) I_1 \text{ pentru } P = 2 \dots 15 \text{ VA, respectiv} \\ I_0 < (0.1..0.3) I_1 \text{ pentru } P > 15 \text{ VA.} \end{cases}$

Daca nu, se recalculează numărul de spire din primar.

12. se calculează supraîncălzirea transformatorului. Se determină mai întâi temperatura maximă a bobinajului în timpul lucrului: $t_{a \max \text{ bob}} = t_{a \max} + \Delta T$, (în °C), unde ΔT reprezintă

supraîncălzirea și se calculează: $\Delta T = \frac{P_p}{\alpha_r (S_{br} + \nu S_{mr})}$. Mărimea α_r [W/m²·°C] este

coeficientul global de evacuare a caldurii, cu valori între 9...20 W/m²·°C, cu atât mai mic cu cât izolațiile sunt mai groase și invers, și totodată mai mare la bobinaje impregnate. Mărimea $\nu = \frac{P_{Cu}}{P_{Fe}}$. Suprafețele S_{br} și S_{mr} reprezintă suprafețele de răcire totale (exterioare) ale bobinei,

respectiv miezului – se calculează din geometria transformatorului, astfel:

$S_{br} = 2h(b + 2g_b) + 4hg_b + 4g_b(b + 2g_b) =$ suprafața exterioară a bobinei necuprinsă în fereastra miezului;

$S_{mr} = 2c_r(6a + 5a) + 2a(6a + 6a + h + h) =$ suprafața exterioară a miezului, fără partea din fereastra și din bobină.

Observație. Atenție la unitățile de măsură ale mărimilor utilizate.

Se verifică ca: $t_{a \max \text{ bob}} \leq 45-70$ °C, la transformatoare cu izolație de clasa Y (obișnuită).

La finalizarea schemei se aleg din cataloagele de componente electronice componente cu valori **standardizate** și care să respecte parametrii necesari, pentru toate elementele schemei.

Simularea și cablajul

Simularea schemei electrice și cablajul se vor face cu ajutorul programului **Orcad 16**. Ca rezultat al simulării schemei trebuie să se obțină formele de undă corecte la intrare și la ieșirea fiecărui bloc funcțional (transformator, redresor, filtru, stabilizator).

Observație.

În schema simulată se vor trece valorile standardizate ale componentelor electronice ale schemei, care corespund schemei reale, care se poate realiza practic. Studenții trebuie să cunoscă foarte bine modul de alegere a componentelor din cataloage (criteriile de alegere a oricărui tip de componentă dintr-o schemă electrică din catalog, parametrii specifici după care se alege fiecare tip de componentă, condițiile pe care trebuie să le îndeplinească, soluții pentru rezolvarea situațiilor când nu se găsește componenta potrivită).

Etape la realizarea cablajului (schematic):

- importul schemei din secțiunea Capture în secțiunea Layout Plus;
- trasarea conturului aproximativ al plăcuței (se va ajusta ulterior, după realizarea footprint-urilor și poziționarea finală a componentelor) și plasarea automată a componentelor în interiorul conturului;
- **realizarea/verificarea tuturor footprint-urilor** pentru toate componentele schemei electrice, pe baza foilor de catalog (datasheets) ale componentelor alese; atașarea footprint-ului corect fiecărei componente;
- poziționarea corectă a componentelor (circuitul integrat pe mijoc, având mai multe conexiuni, elementele de reglaj (potențiometrul) spre margine, elementele care disipă mai multă putere (tranzistorul, etc.) spre margine, pentru a se răci mai ușor, diodele punții grupate, rezistențele din divizoarele rezistive grupate, etc.) Se urmărește păstrarea ordinii subcircuitelor (transformator, redresor, filtru, stabilizator). Se respectă regulile de poziționare corectă indicate în curs. Se urmărește păstrarea unui traseu de masă, respectiv de potențial

constant (V_{out+}) relativ rectilinii și pe marginea cablajului (pentru o mai bună evacuare a căldurii), trasee care se vor îngroșa ulterior.

- realizarea conectorilor de conexiune (padstack-uri) de intrare (IN1, IN2) și de ieșire (Out+, Out-), plasate la marginea cablajului pentru a fi accesate ușor, legate prin porțiuni de trasee imprimate de punctele corespunzătoare din schemă;
- stabilirea regulilor de DRC (design rule check) pentru rutare;
- **rutarea automată și manuală** (acolo unde este nevoie) a cablajului, pe unul, cel mult două straturi, urmată de optimizări prin re poziționare și rutare repetată până la obținerea unui cablaj care să respecte regulile de realizare și regulile de compatibilitate electromagnetice;
- realizarea eventualilor pini de test, pentru verificarea funcționării corecte a schemei și pentru obținerea formelor de undă indicate de simulare;
- ajustarea formei plăcuței, cu indicare dimensiunilor acesteia;
- verificarea regulilor de compatibilitate electromagnetice.
- generarea fișelor de date (fișele Gerber) pentru realizarea practică a cablajului:
 - fișe de gaurire, cu conturul plăcii și gaurile precum și tabelul cu coordonatele și diametrele gaurilor;
 - fișe de corodare, cu configurația traseelor imprimate (recomandabil pe un strat, pe BOTTOM);
 - fișe de inscripționare, cu conturul componentelor și notațiile de pe placă;
 - fișe de lipire, cu mască selectivă de lipire, aplicată pe BOTTOM în cazul cablajelor cu componente TH (through hole);

Dacă avem cablaj dublu strat, cu componente care se lipesc pe TOP (SMD-uri), atunci vom avea două fișe de corodare, una reprezentând traseele imprimate de pe TOP, cealaltă cu traseele de pe BOTTOM și o fișe de lipire pentru TOP, cu padstack-urile de pe TOP unde se va depune pasta de lipit pentru lipirea terminalelor SMD-urilor.

Observații.

1. Transformatorul nu se pune, de obicei, pe placă; se prevede doar conector la care se vor lega firele din secundar, care alimentează intrarea redresorului. Dacă se dorește amplasarea transformatorului pe placă, se prevede spațiul corespunzător, accesoriile de prindere și se respectă distanțele necesare față de celelalte componente și față de margini.

2. Atenție la amplasarea condensatorilor electrolitici, care sunt de dimensiuni mari în raport cu celelalte componente. Pentru reducerea spațiului ocupat pe placă se pot amplasa vertical.

3. Atenție la amplasarea radiatorului, dacă tranzistorul extern de reglaj serie este prevăzut cu radiator.

Bibliografie

1. D. Ionescu, *"Tehnologie electronică - proiect"*, disponibil pe web:
<http://telecom.etc.tuiasi.ro/telecom/staff/dDerevlean/discipline%20predate/index.htm>
2. M. I. Montrose, *"Printed circuit board design techniques for EMC compliance: a handbook for designers"*, 2nd ed., New York, NY, IEEE; Wiley - Interscience, 2000, ISBN 0780353765.
3. M. Ciugudean, *"Proiectarea unor circuite electronice"*, Ed. Facla, Timișoara, 1983.
4. K. S. Kundert and O. Zinke, 2004, *"The Designer's Guide to Verilog-AMS"*, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.
5. Cataloage de componente electronice on line

Exemple de date de proiectare:

- tipul (fixă, reglabilă) și valorile extreme ale tensiunii stabilizate de ieșire: $U_{out\ min}$, $U_{out\ max}$;
- valoarea maximă necesară a curentului de sarcină: $I_{out\ max}$;
- tipul protecției la scurtcircuit a CI-ului din stabilizator: prin caracteristică cu întoarcere, eventual valoarea curentului de protecție la scurtcircuit: I_{psc} ;
- variația procentuală, în plus, respectiv în minus, a tensiunii de mers în gol a redresorului, datorată variațiilor tensiunii rețelei: $100 \cdot \frac{\Delta E_{3+}}{E_3}$ [%]; $100 \cdot \frac{\Delta E_{3-}}{E_3}$ [%];
- temperatura ambiantă maximă: $t_{a\ max}$;
- tipul capsulei circuitului integrat LM723: TO-116, cu 7x2 pini pt. CI de tip THT sau capsula SO-14 pt. CI de tip smd.
- frecvență rețea: 50 ± 0.1 Hz;

(Indicații: $I_{out\ max}$ se dă mai mare de 0.15 A, pentru ca stabilizatorul să necesite tranzistor extern de reglaj serie.)

Nr.	tip U_{out}	$U_{out\ min} \dots U_{out\ max}$ [V.c.c.]	$I_{out\ max}$ [A]	$(I_{psc}$ [A])	$100 \cdot \frac{\Delta E_{3+}}{E_3}$ %; $100 \cdot \frac{\Delta E_{3-}}{E_3}$ %	$t_{a\ max}$ [°C]
1	reglabilă	5...9	0.3	0.4	10;12	35
2	fixă	6±0.3	1.5	1.6	12;10	37
3	reglabilă	4...8	1.0	1.1	15;10	35
4	fixă	7±0.3	1.0	1.2	12;10	40
5	reglabilă	6...10	0.4	0.5	10;14	36
6	fixă	16±0.4	0.8	0.9	14;10	38
7	reglabilă	5...12	0.4	0.5	10;12	40
8	fixă	10±0.6	1.0	1.1	12;10	36
9	reglabilă	10...15	0.3	0.4	10;10	38
10	fixă	12±0.5	1.2	1.3	12;14	35
11	reglabilă	15...20	0.3	0.4	10;14	37
12	fixă	14±0.4	0.9	1.1	14;10	36
13	reglabilă	3...12	1.0	1.2	12;10	38
14	fixă	10±0.5	1.5	1.7	14;12	40
15	reglabilă	5...15	0.7	0.9	15;10	35
16	fixă	7±0.4	1.8	1.9	10;15	38
17	reglabilă	8...12	0.4	0.6	10;12	40
18	fixă	18±1	0.5	0.6	12;10	36
19	reglabilă	10...20	0.2	0.25	10;10	37
20	fixă	20±1	0.4	0.5	12;10	38
21	reglabilă	6...18	0.8	0.9	10;14	35
22	fixă	22±1	0.3	0.4	12;14	40
23	reglabilă	10...15	0.6	0.7	12;10	37

24	fixă	5±0.2	1.2	1.3	15;14	36
25	reglabilă	7...20	0.8	0.9	12;12	38
26	fixă	11±0.5	0.7	0.8	14;10	39
27	reglabilă	9...16	1.0	1.2	10;12	40
28	fixă	22±1	0.8	1.0	10;10	38
29	reglabilă	18...22	1.0	1.1	12;10	35
30	fixă	6±0.2	1.5	1.7	15;15	37
31	reglabilă	20...25	0.8	0.9	12;10	35
32	fixă	9±0.4	1.2	1.3	14;14	38
33	reglabilă	5...12	1.5	1.6	15;10	40
34	fixă	18±0.8	0.8	1.1	10;12	36
35	reglabilă	9...11	1.5	1.6	14;12	37
36	fixă	20±1	1.0	1.2	10;10	39
37	reglabilă	8...12	1.0	1.2	12;15	36
38	fixă	25±1	0.7	0.9	10;12	38
39	reglabilă	10...20	0.8	0.9	12;12	35
40	fixă	15±0.6	0.8	1.0	12;10	35
41	reglabilă	3...7	1.2	1.4	15;12	37
42	fixă	8±0.3	1.2	1.3	14;12	38
43	reglabilă	10...20	0.5	0.6	12;10	36
44	fixă	12±0.4	0.9	1.2	14;12	40
45	reglabilă	6...12	0.9	1.0	12;15	39
46	fixă	9±0.4	1.5	1.6	10;15	36
47	reglabilă	7...10	1.0	1.2	15;10	35
48	fixă	10±0.5	0.8	1.0	12;14	39
49	reglabilă	5...10	0.8	0.9	12;10	37
50	fixă	5±0.2	1.0	1.2	14;12	36
51	reglabilă	12.5...15	0.9	0.98	12;12	35
52	fixă	15±0.4	1.1	1.19	14;12	37
53	reglabilă	12...15	0.8	0.88	10;15	40
54	fixă	14±0.4	1.1	1.18	12;14	36
55	reglabilă	9...15	0.9	0.96	14;10	38
56	fixă	13±0.2	0.9	1.00	14;12	39
57	reglabilă	7.5...12	1.2	1.35	12;10	36
58	fixă	12±0.3	1.1	1.20	10;12	35
59	reglabilă	9...12.5	0.8	0.87	12;15	37
60	fixă	11±0.2	1.1	1.20	15;10	35
61	reglabilă	9...12	0.8	0.86	10;14	38
62	fixă	10±0.3	1.2	1.30	14;10	40
63	reglabilă	7.5...10	0.9	0.98	14;12	36
64	fixă	10±0.2	1.0	1.10	12;10	38
65	reglabilă	7.5...9	1.3	1.40	12;12	37
66	fixă	9±0.2	0.8	0.88	14;10	35
67	reglabilă	5...9	1.2	1.30	15;10	39
68	fixă	7±0.1	0.9	0.98	10;15	37
69	reglabilă	5...7.5	1.0	1.09	12;14	40
70	fixă	5±0.1	1.0	1.10	10;12	36