

Laboratorul 6.

Surse de tensiune electronice.

1 Scopul lucrării

Lucrarea propune studiul unor surse electronice de tensiune continuă implementate în diverse moduri (cu diodă Zener, cu circuit integrat linear, cu circuit integrat în comutație, cu modul integrat în comutație izolat). Se are în vedere observarea comportamentului acestor circuite în diverse condiții de funcționare, statice și dinamice, cu evidențierea avantajelor și dezavantajelor fiecăruia.

2 Noțiuni teoretice

2.1 Introducere

Majoritatea circuitelor electronice necesită una sau mai multe tensiuni de alimentare continue, care trebuie furnizate de sursele de alimentare asociate. Aceste surse de alimentare pot lua o formă elementară (baterii electrochimice, fotovoltaice etc.) sau pot fi la rândul lor realizate sub forma unor circuite electronice specializate. În continuare sunt enumerate câteva exemple de situații practice în care sunt necesare surse de alimentare electronice:

1. Sistemul este alimentat de la rețeaua electrică de curent alternativ ("de la priză"). Tensiunea alternativă disponibilă trebuie redusă și convertită într-o tensiune continuă de valoare precisă. Este exact cazul sursei de alimentare din laborator.
2. Sistemul este alimentat de la o baterie a cărei tensiune scade pe măsură ce bateria se descarcă, însă circuitul are nevoie de o tensiune de alimentare fixă.
3. Sistemul dispune deja de o sursă de alimentare de tensiune continuă, dar o parte a sa necesită o tensiune de alimentare mai mică. Exemplu: un dispozitiv conectat la un calculator primește $5V$ prin portul USB, dar circuitele sale trebuie alimentate la $3.3V$.

Platforma de laborator tratează situații de tipul exemplelor 2 și 3. Ea va fi alimentată cu o tensiune continuă reglabilă, de la sursa de laborator, și va genera prin mai multe metode tensiunea continuă de $5V$.

Ideal, tensiunea de ieșire a sursei electronice este constantă, independentă de tensiunea de intrare, respectiv de curentul consumat din ieșire. În practică, se dorește ca acești factori să influențeze ieșirea într-o măsură cât mai mică.

Spunem că ieșirea este stabilizată, iar o astfel de sursă electronică mai este numită și stabilizator de tensiune.

2.2 Surse de tensiune lineare

În continuare ne propunem să obținem o tensiune continuă de valoare precisă, având la dispoziție o tensiune cvasi-continuă cu valoare imprecisă. Ne vom restrânge la cazul în care tensiunea de ieșire este mai mică decât cea de intrare. Vom lua ca valori nominale tensiunea de intrare $V_{in} = 12V$ și tensiunea de ieșire $V_{out} = 5V$.

O schemă foarte simplă utilizează un divizor rezistiv (Figura 1a). Această abordare are multiple dezavantaje: variațiile tensiunii de intrare se propagă pe ieșire (Figura 1b), respectiv adăugarea unui consumator cauzează reducerea tensiunii de ieșire (Figura 1c).

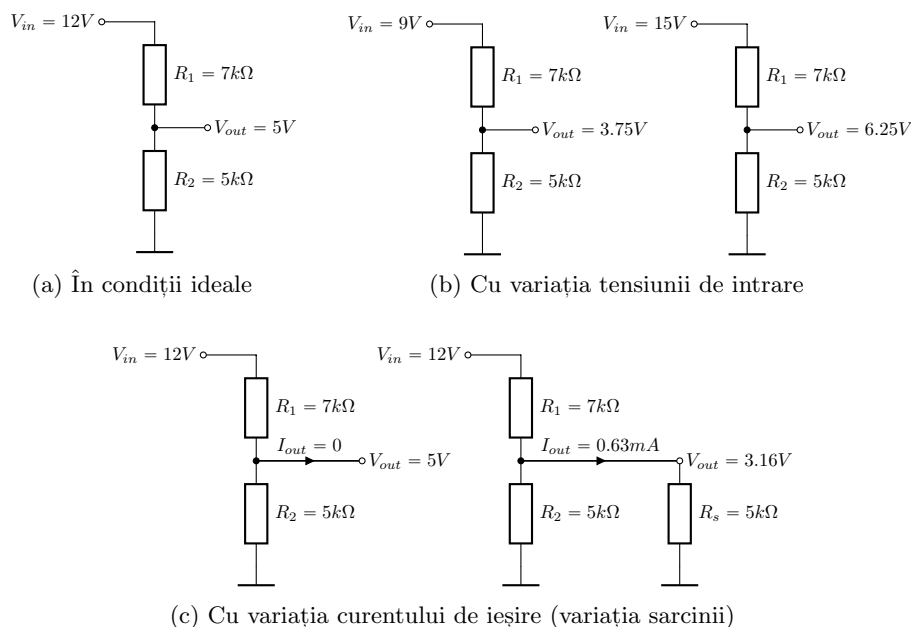


Figura 1: Divizorul de tensiune rezistiv

Concluzie: Divizorul de tensiune rezistiv nu are proprietatea de stabilizator, nici în ceea ce privește intrarea (Figura 1b), nici sarcina (Figura 1c).

Pentru a obține proprietatea de stabilizator, vom înlocui fie rezistența R_1 , fie R_2 , printr-un "element regulator", care va reduce efectul intrării, respectiv al sarcinii, asupra ieșirii. Vorbim astfel de un "element regulator serie" plasat în locul lui R_1 (numit astfel deoarece apare în serie cu sarcina), respectiv de un "element regulator paralel" plasat în locul lui R_2 , (în paralel cu sarcina).

Cel mai simplu element regulator este o diodă stabilizatoare de tensiune, numită și diodă Zener, care are proprietatea că, în polarizare inversă, se străpunge și păstrează între terminale o tensiune "constantă" - slab dependentă de curentul

prin diodă. Repetând experimentul din Figura 1, în care am înlocuit rezistența R_2 cu o diodă Zener, având o tensiune de $5.1V$ la un curent de $10mA$ și o rezistență dinamică de 10Ω , obținem aproximativ rezultatele din Figura 2. Se constată că tensiunea de ieșire este stabilizată - ea variază foarte puțin atât în cazul variației intrării, cât și al adăugării unei rezistențe de sarcină.

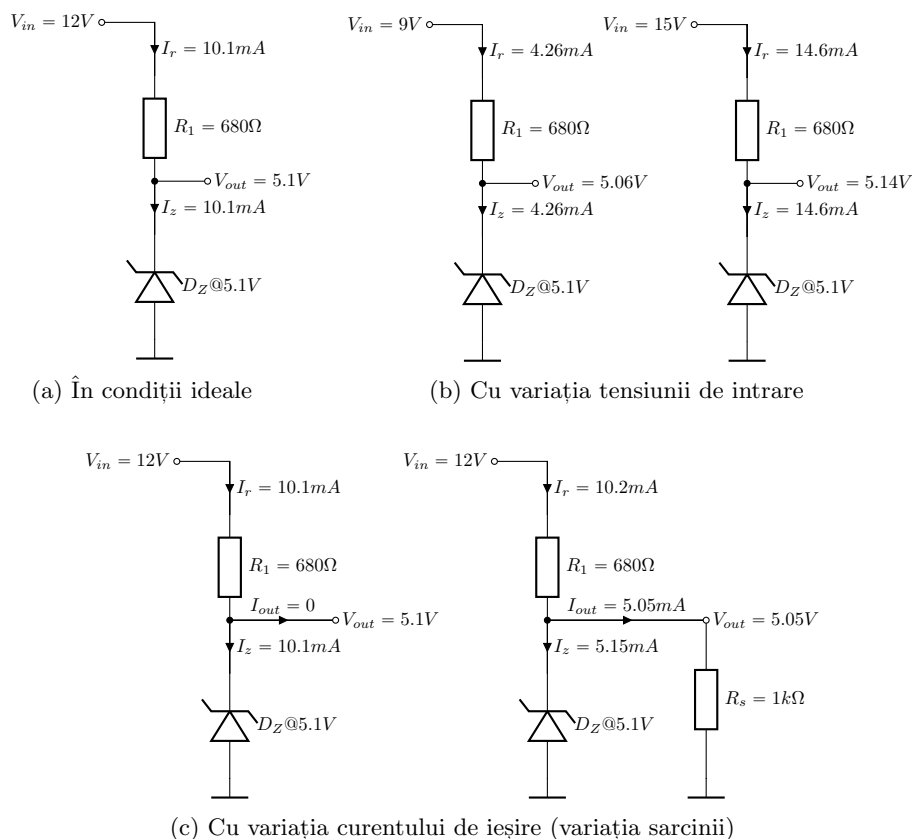


Figura 2: Stabilizatorul de tensiune cu diodă Zener

Stabilizatorul cu diodă Zener prezintă mai multe dezavantaje:

1. În practică, diodele Zener au o toleranță mare a tensiunii (5%).
2. În practică, diodele Zener au o rezistență dinamică semnificativă (tensiunea stabilizată variază cu curentul prin diodă).
3. Circuitul este foarte ineficient - consumă curent de la sursa sa de alimentare chiar și atunci când nu furnizează curent pe ieșire - de aceea poate fi folosit doar în aplicații de consum redus și fără necesități deosebite de precizie.

Observație: Există circuite integrate denumite stabilizatoare-paralel^a (ex. TL431) care conțin o schemă cu tranzistoare ce emulează o diodă Zener performantă, fără dezavantajele 1 și 2.

^aen. - shunt regulators

Randamentul este îmbunătățit în cazul circuitului cu element regulator serie. În exemplul următor (Figura 3a) acesta este tranzistorul Q_1 , comandat de un amplificator operațional, numit în acest context și ”amplificator de eroare”. Eroarea se referă la diferența dintre tensiunea de referință V_{ref} , obținută de la un circuit tip stabilizator-paralel cu consum redus, și tensiunea de reacție¹ V_{fb} obținută prin divizarea tensiunii de ieșire. Întrucât prin reacție negativă eroarea este minimizată (ideal devine zero), tensiunea de ieșire devine, cu bună aproximație: $V_{out} = V_{ref}(1 + R_2/R_1)$. Tranzistorul preia diferența dintre tensiunea de intrare și cea de ieșire.

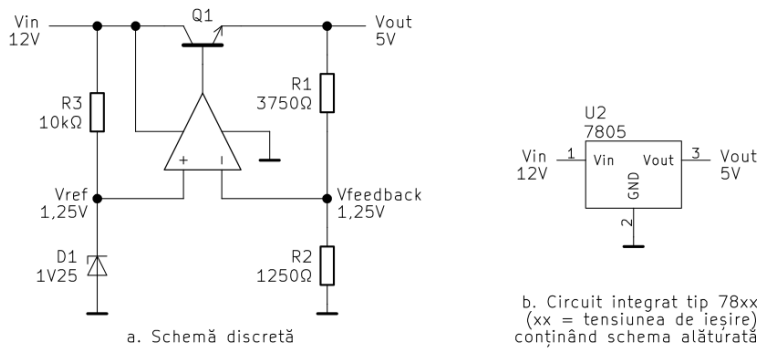


Figura 3: Stabilizatorul de tensiune cu reacție, linear

Acest tip de circuit face parte din clasa stabilizatoarelor lineare, întrucât este un circuit analogic linear. De obicei când spunem ”stabilizator linear”² ne referim la exact acest tip de stabilizator. Circuitul se fabrică sub formă integrată (Figura 3b) ca un dispozitiv cu trei terminale: intrare, masă și ieșire.

Stabilizatorul linear serie are în general un randament mai bun decât varianta echivalentă cu diodă Zener, dar aceasta nu înseamnă că are un randament bun. Curentul prin tranzistor este practic egal cu cel de ieșire, iar tensiunea colector-emitor pe tranzistor este egală cu diferența intrare-ieșire.

Raportul puterilor disipate pe tranzistor și pe sarcină este:

$$\frac{P_{tranzistor}}{P_{sarcina}} = \frac{V_{in} - V_{out}}{V_{out}} \quad (1)$$

iar randamentul este:

$$\eta = \frac{P_{sarcina}}{P_{total}} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (2)$$

Astfel, pentru exemplul nostru ($12V \rightarrow 5V$), randamentul este de aproximativ 42% neglijând consumul propriu al stabilizatorului. Randamente mari se pot obține doar cu stabilizatoare lineare tip low-dropout (LDO) în aplicații în care tensiunea de ieșire este foarte apropiată de tensiunea de intrare. Pentru sarcini cu consum relativ mic de curent, randamentul scăzut nu este o problemă deosebită, dar pentru consum mare (sute de mA, A) puterea disipată pe tranzistor devine semnificativă, ducând la încălzirea acestuia.

¹en. - feedback

²en. - linear regulator

2.3 Surse de tensiune în comutație

Pentru a obține randamente mai mari (70–90% sau chiar mai mari) se utilizează stabilizatoare în comutație. Acestea utilizează circuite L-C și comutatoare electronice (tranzistoare, diode) pentru a reduce tensiunea de intrare la nivelul dorit pe ieșire. Stabilizarea ieșirii se obține tot prin reacție negativă, dar spre deosebire de cazul linear, când tranzistorul era comandat cu un curent variabil, aici circuitul de control va comanda elementul de comutație cu impulsuri de durată și/sau frecvență variabilă.

Randamentul mare se obține exploatând două proprietăți importante:

- Tranzistorul în regim de comutație disipă o putere mult mai mică decât în regim linear, întrucât produsul tensiune-curent este întotdeauna mic: când tranzistorul este blocat curentul prin el este zero, iar când este în conducție în regim de comutator, tensiunea pe el este aproape zero.
- Inductanțele și capacitățile sunt elemente de circuit reactive, nedisipative, altfel spus energia electrică poate fi transferată între o bobină ideală și un condensator ideal fără pierderi. Dezavantajul este că acest transfer are un caracter dinamic, adică circuitul trebuie să se afle tot timpul în regimuri tranzitorii - de unde necesitatea de a funcționa în regim de comutație. Motivele sunt aceleași din care un transformator nu poate funcționa în curent continuu, doar alternativ.

Deci, dacă utilizăm un circuit L-C comutat în locul elementului serie, acesta nu va disipa o putere semnificativă în comparație cu puterea consumată de sarcină, rezultând un randament ridicat.

Schema în comutație corespunzătoare schemei lineare prezentate mai sus se numește coborâtor de tensiune¹ și este prezentat în Figura 4a. Comutatorul, reprezentat aici de un tranzistor MOS, comută periodic sub acțiunea circuitului de control, care reglează factorul de umplere al impulsurilor astfel încât tensiunea de ieșire a stabilizatorului să atingă valoarea programată.

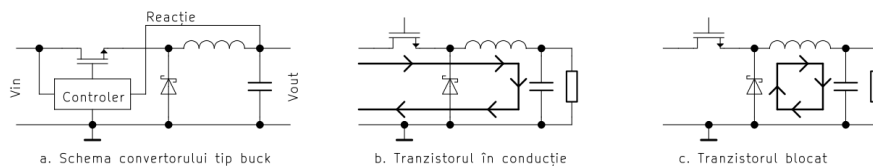


Figura 4: Stabilizatorul de tensiune în comutație, de tip "buck"

Când tranzistorul este în conducție, curentul circulă pe bucla reprezentată în Figura 4b. Energia este preluată de la sursa de intrare și transferată astfel: o parte către sarcină și o parte către câmpul magnetic al bobinei (se "încarcă" bobina).

Când tranzistorul este blocat, curentul circulă pe bucla reprezentată în Figura 4c. Se observă că nu mai este preluată energie de la sursă, însă energia

¹en. - buck switch-mode power supply

înmagazinată în câmpul magnetic al bobinei este acum transferată către sarcină (se "descarcă" bobina).

Cele două stări se succed periodic cu o frecvență relativ ridicată (în jur de $50kHz$ în cazul prezentei platforme de laborator).

Se disting două regimuri de funcționare ale stabilizatoarelor în comutație în general:

- Regimul continuu, în care curentul prin bobină crește în prima etapă și scade în a doua, oscilând în jurul unei valori medii, dar nu atinge niciodată zero.
- Regimul discontinuu, în care curentul scade la zero undeva pe durata celei de-a doua etape - din acel moment până la următoarea deschidere a tranzistorului nu se mai transferă energie între bobină și sarcină.

Regimul discontinuu apare de obicei când curentul consumat din ieșirea stabilizatorului este mic - astfel încât circuitul de control va reduce timpul cât tranzistorul stă pornit, și deci energia transferată prin bobină, întrucât consumatorul cere o cantitate redusă de energie.

În regim continuu, dacă T este perioada impulsurilor de comandă pentru tranzistor și D este factorul de umplere al acestora, tranzistorul va fi pornit un timp $T_{on} = DT$ și oprit un timp $T_{off} = (1 - D)T$. Aplicând ecuația bobinei ($V_L = L di_L/dt$) și punând condiția să avem același curent la începutul și la sfârșitul unui ciclu, obținem condiția ca integrala tensiune-timp să fie zero. Aproximând curentul ca variind linear, avem:

$$(V_{in} - V_{out})DT = V_{out}(1 - D)T \Rightarrow D = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (3)$$

De asemenea, putem scrie:

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad (4)$$

Observăm că (cel puțin într-o discuție idealizată, în care am neglijat pierderile pe tranzistor, pe diodă și pe rezistența parazită a bobinei) raportul de divizare nu mai este dat de un raport de rezistențe, ca în cazul linear, ci de un raport de timpi, formula fiind foarte asemănătoare. Acest raport este menținut de circuitul de control la valoarea corectă și ajustat prin reacție negativă pentru a compensa efectele pe care le-am neglijat în această discuție simplificată.

Un dezavantaj al surselor în comutație este acela că, din cauza existenței unui regim dinamic permanent, tensiunea de ieșire se va afla într-o permanentă variație în jurul valorii sale continue - va prezenta un riplu¹ suprapus cu valoarea continuă, numit de unii autori "zgomot (de comutație)", întrucât este un efect secundar, nu dorit.

Pentru orice sursă bine proiectată acest riplu are o amplitudine mică ($< 100mV$) și poate fi redus suplimentar prin introducerea pe ieșirea sursei a unui filtru RLC trece-jos.

¹en. - ripple

2.4 Discuție suplimentară

Există o multitudine de alte tipuri de surse în comutație, printre care amintim:

- Convertorul boost, ridicător de tensiune - permite obținerea unei tensiuni de ieșire mai mare decât cea de intrare, lucru imposibil cu un circuit linear.
- Convertoarele forward și flyback - utilizează un transformator ce oferă în plus funcția de izolare - permit alimentarea unui circuit complet izolat electric de cel de intrare. Se folosesc în sursele alimentate de la rețeaua electrică de 230V, unde izolarea ieșirii față de intrare este esențială pentru protecția împotriva electrocutării.

Față de un transformator clasic, care oferă de asemenea izolare între primar și secundar dar funcționează la frecvența rețelei de 50Hz, transformatoarele folosite în sursele în comutație operează la frecvențe de sute ... mii de ori mai mari. Întrucât în același interval de timp se efectuează mult mai multe cicluri de transfer de energie, energia transferată pe ciclu este mult mai mică. Astfel, pentru o sursă bine proiectată, transformatorul poate avea dimensiuni mecanice mult mai mici. Se va observa în acest sens modulul integrat de pe platforma de laborator care implementează o astfel de sursă izolată și conține un astfel de transformator.

3 Desfășurarea lucrării

3.1 Precauții

ATENȚIE!

Întrucât platforma implică utilizarea unor curenți și puteri mai mari decât în cazul circuitelor de semnal, se impune atenție sporită pentru evitarea accidentelor.

Se recomandă configurarea sursei de laborator pentru un curent maxim de **0.2A**.

Platforma funcționează cu un domeniu larg al tensiunii de alimentare. În cazul stabilizatoarelor lineare, diferența dintre tensiunea de alimentare și cea de ieșire se pierde pe un element disipativ (tranzistor, rezistor) care va degaja căldură.

ATENȚIE!

- Evitați alimentarea plăcii la mai mult de 15V.
- Evitați producerea de scurt-circuite pe ieșirile surselor.
- Evitați atingerea componentelor U2, R1, D1 ce pot deveni fierbinți în situațiile sus-menționate.

3.2 Descrierea platformei de laborator

Lucrarea se va desfășura pe baza plăcii reprezentate în Figura 5 și Figura 6.

Platforma permite studiul unei multitudini de surse de tensiune electronice în diferite regimuri de funcționare. Platforma este proiectată ca un sistem modular având ca blocuri principale:

- un stabilizator linear cu circuit integrat tip 7805;
- un stabilizator în comutație tip buck cu circuit integrat tip LM2574;
- un bloc pentru testarea stabilizatoarelor de mai sus cu sarcini rezistive fixe, respectiv comutate;
- un stabilizator auxiliar cu diodă Zener (pentru curenți mici de ieșire)
- o sursă de tensiune cu ieșirea izolată față de intrare, realizată cu un modul integrat;
- o aplicație ilustrativă privind transmisia optică a informației între două circuite izolate electric - folosește stabilizatorul auxiliar și sursa izolată.

Fiecare bloc stabilizator are asociat un LED ce indică funcționarea acestuia.

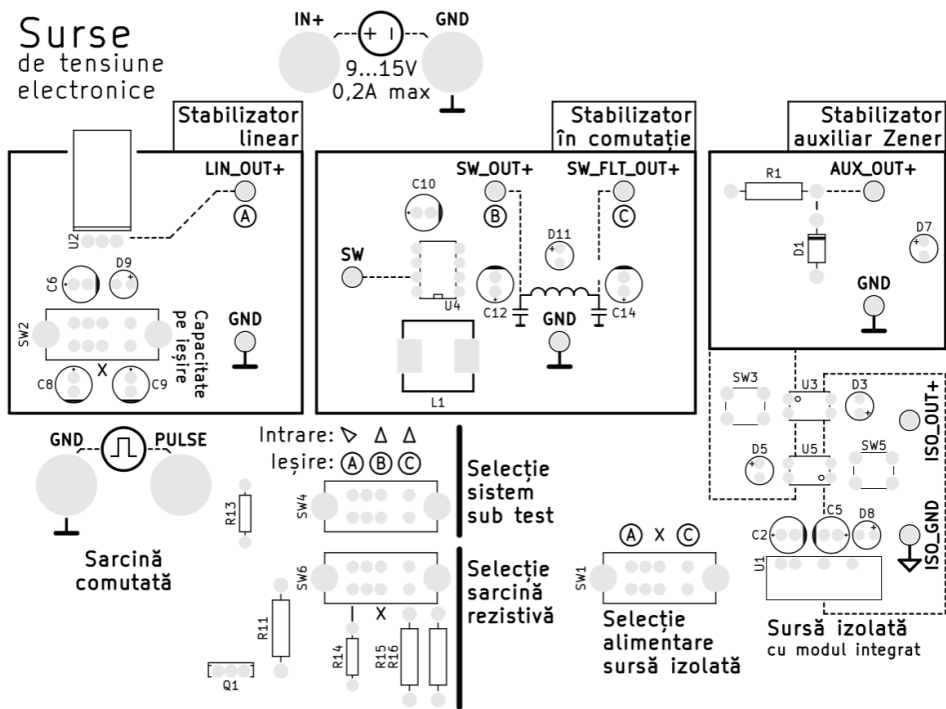


Figura 5

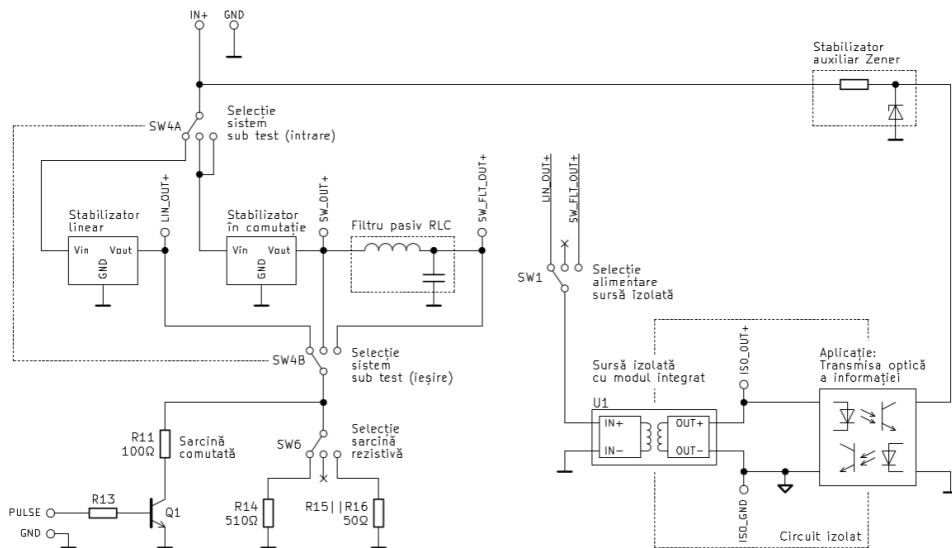


Figura 6: Schema simplificată a plăcii.

Alimentarea plăcii se realizează de la o sursă de tensiune continuă conectată la bornele din partea superioară etichetate $IN+$ și GND . Tensiunea nominală de alimentare este de $12V$, dar placa funcționează și cu o gamă mai largă de valori ($9 - 15V$).

Alimentarea este conectată prin comutatorul $SW4$ la unul din cele două blocuri stabilizatoare principale (cel linear - poziția A, respectiv cel în comutație - poziția B). Stabilizatorul auxiliar este alimentat în permanență. Același comutator $SW4$ conectează și ieșirea blocului stabilizator selectat la blocul de testare în sarcină.

Blocul de testare în sarcină permite ca pe ieșirea stabilizatorului selectat să fie conectate:

- o rezistență fixă de aproximativ 500Ω (R_{14})
- o rezistență fixă de aproximativ 50Ω (R_{15} în paralel cu R_{16})
- o rezistență de aproximativ 100Ω comutată sub comanda unui generator de impulsuri conectat la bornele $PULSE$ și GND .

Având în vedere că stabilizatoarele furnizează aproximativ $5V$ pe ieșire, această schemă permite obținerea unui curent de ieșire având o componentă constantă de $0, 10$ sau $100mA$, peste care se poate suprapune o componentă ce comută între 0 și $50mA$. Se pot astfel studia diverse regimuri de funcționare ale stabilizatorului linear, respectiv a celui în comutație.

În plus, stabilizatorul linear are posibilitatea conectării unei capacități pe ieșire prin comutatorul $SW2$. Aceasta are efect asupra regimului dinamic (vizibil când se utilizează sarcina comutată). Stabilizatorul în comutație necesită o capacitate minimă pe ieșire. Capacitatea utilizată în cazul său nu este configurabilă; se poate alege însă conectarea unui filtru RLC între ieșirea sa și sarcină ($SW4$ în poziția C).

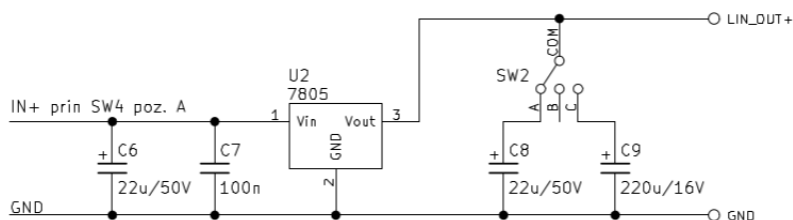


Figura 7: Schema detaliată a stabilizatorului linear.

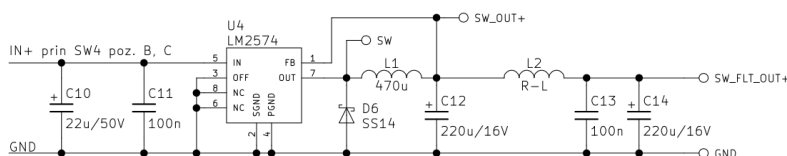


Figura 8: Schema detaliată a stabilizatorului în comutație.

Comutatorul SW1 selectează alimentarea sursei izolate. În poziția centrală, aceasta este deconectată - modul de lucru preferat când se studiază stabilizatoarele principale. Sursa izolată nu are ieșirea stabilizată - tensiunea de ieșire este proporțională cu cea de intrare, ca la un transformator. Astfel, ea trebuie alimentată cu o tensiune stabilizată, provenită de la unul din blocurile stabilizatoare. Comutatoarele SW1 și SW4 trebuie să se afle în aceeași poziție pentru a alimenta sursa izolată.

Sursa izolată și stabilizatorul auxiliar alimentează cele două porturi ale unui bloc de comunicație digitală realizat cu optocuploare. Acesta ilustrează o metodă des utilizată de transmitere a informației între două circuite izolate electric.

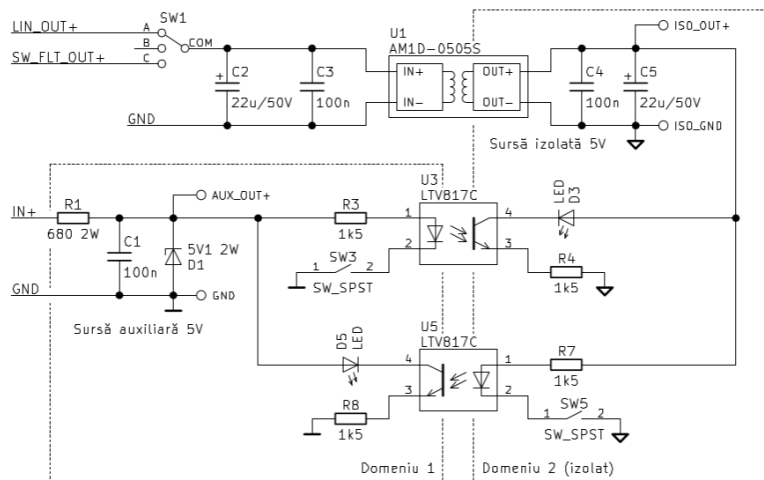


Figura 9: Schema detaliată a sursei izolate, a stabilizatorului auxiliar, respectiv a blocului de comunicație optică.

Se observă formarea a două domenii (circuite) izolate electric, dar cuplate:

- magnetic prin modulul U1 ce conține un oscilator, un transformator și un redresor;
- optic prin optocuploarele U3 și U5 ce conțin fiecare un LED și un fototranzistor.

3.3 Cerințe

3.3.1 Verificarea plăcii de laborator

Se pune în funcțiune platforma și se verifică funcționarea acesteia astfel:

1. Se identifică elementele componente ale platformei de laborator prin corespondență cu imaginea plăcii, respectiv cu schema-bloc prezentate în capitolul "Descrierea platformei de laborator".
2. Se plasează toate comutatoarele în poziția de mijloc. Pentru SW1, SW6 și SW2 aceasta este marcată X (deconectat). Pentru SW4 aceasta este marcată B - va fi selectat stabilizatorul în comutație.
3. Se configurează sursa de alimentare de laborator pentru tensiunea continuă de **12V** și curentul maxim de ieșire de **0.2A**.
4. Se conectează sursa de laborator la platformă. Se constată aprinderea LED-urilor D11 și D7, corespunzând stabilizatorului în comutație, respectiv celui auxiliar cu diodă Zener. Dacă cele 4 comutatoare au fost corect configurate, celelalte LED-uri de pe placă trebuie să rămână stinse.
5. Se comută SW4 pe poziția din dreapta (C - selecție stabilizator în comutație cu filtru pe ieșire). Se constată aceeași stare a LED-urilor.
6. Se comută SW4 pe poziția din stânga (A - selecție stabilizator linear). Se constată stingerea LED-ului D11 și aprinderea LED-ului D9.
7. Se comută SW1 pe poziția din stânga (A), determinând alimentarea sursei izolate din ieșirea stabilizatorului linear. Se constată aprinderea LED-ului D8.
8. Se constată transmiterea stărilor logice prin optocuploare între cele două circuite izolate, prin apăsarea butoanelor SW3 și SW5.
9. Se oprește sursa izolată prin plasarea comutatorului SW1 în poziția centrală (X), pentru a nu introduce zgomot în circuitele măsurate.

3.3.2 Stabilizatorul cu diodă Zener

Se studiază comportamentul stabilizatorului auxiliar cu diodă Zener (observație: acesta este cel mai simplu tip de stabilizator de tensiune). În acest sens, se va măsura tensiunea de ieșire a acestuia cu un voltmetru între bornele AUX_OUT+ și GND, pentru diferite valori ale tensiunii de alimentare, cu și fără consum pe ieșire. Curentul consumat din ieșirea stabilizatorului Zener este în mod normal zero; când se apasă butonul SW3 apare un curent de aproximativ $2mA$ prin R_3 și LED-ul din interiorul lui U3.

Se completează un tabel de forma:

Tensiunea de alimentare (V_{in})	15	12	9	8	7
Cu ieșirea în gol (V_{out})					
Cu SW3 apăsat (V_{out})					

Tabela 1

Încercați și valori intermediare ale tensiunii intrare, astfel încât să găsiți punctul (punctele) în care circuitul nu mai stabilizează. Putem vorbi de un punct clar definit, sau vorbim mai degrabă de o degradare treptată a stabilizării?

Utilizați un soft pentru a reprezenta grafic datele măsurate.

3.3.3 Stabilizatorul cu 7805 - regim static

Se studiază comportamentul stabilizatorului linear în regim static.

Se verifică faptul că SW4 este în poziția A, SW1 în poziția X.

Se măsoară tensiunea de ieșire cu un voltmetru între bornele LIN_OUT+ și GND.

Se procedează similar cu pașii parcurși la punctul 2, de această dată folosindu-se comutatorul SW6 pentru a lega diferite rezistențe pe ieșirea stabilizatorului: 500Ω în poziția din stânga, 50Ω în dreapta, niciuna în centru.

ATENȚIE! Nu lăsați rezistența de 50Ω cuplată timp îndelungat pentru a evita încălzirea stabilizatorului. Reduceți comutatorul SW6 în poziția centrală după realizarea măsurătorii.

Se completează un tabel de forma:

Tensiunea de alimentare (V_{in})	15	12	9	8	7
Cu ieșirea în gol (V_{out})					
Cu sarcină 500Ω (V_{out})					
Cu sarcină 50Ω (V_{out})					

Tabela 2

Se reduce tensiunea de alimentare până se observă scăderea semnificativă a tensiunii de ieșire - cu câteva sute de mV. Dacă este necesar se adaugă măsurători în puncte intermediare față de cele exemplificate în tabel.

Se reprezintă grafic datele măsurate - toate cele 3 curbe pe aceleași axe.

Se trag concluzii privind comportarea observată a stabilizatorului.

3.3.4 Stabilizatorul cu 7805 - regim dinamic

Se studiază comportamentul stabilizatorului linear în regim dinamic.

Regimul dinamic se referă la variația tensiunii de ieșire a stabilizatorului când sunt prezente variații rapide ale tensiunii de intrare, respectiv ale curentului de ieșire. Se va studia doar a doua situație, folosind sarcina comutată de 100Ω disponibilă pe platformă.

În acest sens, se va configura un generator de semnal pentru a produce impulsuri cu nivele 0V și 5V, frecvență în jur de 1kHz și factor de umplere 50%. Se cuplează generatorul de semnal la perechea de borne etichetate PULSE și GND.

Se observă pe osciloscop tensiunea de ieșire. Întrucât perturbațiile sunt mici față de componenta continuă a tensiunii de ieșire, osciloscopul trebuie cuplat în modul AC - cu eliminarea componentei continue.

Se măsoară amplitudinea vârf-la-vârf a perturbațiilor observate, respectiv timpul de stabilizare al regimului tranzitoriu. La nevoie se va ajusta frecvența

generatorului de semnal pentru a observa corect fenomenele tranzitorii pe osciloscop. Observațiile se realizează în mai multe condiții de funcționare: cu și fără capacitate pe ieșire (selecție din comutatorul SW2), cu și fără sarcină fixă în paralel cu cea comutată (selecție din SW6).

Se trec într-un tabel de forma următoare valorile măsurate:

	$C_o = 0$ (fără)		$C_o = 22\mu F$		$C_o = 220\mu F$	
R_S fixă:	fără	50Ω	fără	50Ω	fără	50Ω
$\Delta V_{out}(mV_{pp})$						
$t_{stab}(\mu s)$						

Tabela 3

Se realizează observații și cu $R_S = 500\Omega$, doar calitativ - se constată un comportament intermediar față de cazurile cu $R_S = 50\Omega$, respectiv fără R_S ?

Se trag concluzii privind comportarea observată a stabilizatorului.

Se deconectează generatorul de semnal pentru a nu perturba următoarele experimente.

3.3.5 Sursa în comutație

Se studiază stabilizatorul în comutație, cu sarcină constantă.

1. Se comută SW4 în poziția B. Se verifică faptul că toate cele 4 comutatoare sunt în poziția centrală și doar LED-urile D11 și D7 sunt aprinse.
2. Se măsoară, cu ajutorul osciloscopului conectat între bornele SW_OUT+ și GND, riplul prezent pe ieșire (componenta alternativă a tensiunii de ieșire, de formă aproximativ triunghiulară), în cele trei situații (fără R_S , $R_S = 500\Omega$, $R_S = 50\Omega$) selectate din comutatorul SW6.

Atenție: semnalul este foarte mic, osciloscopul trebuie configurat astfel:

- cuplaj AC (eliminarea componentei continue);
 - limitarea benzii de frecvență¹ dacă aparatul dispune de această funcție - va reduce zgomotul;
 - scala de timp: $10\mu s/div$ - important, întrucât frecvența de comutație este $\approx 50kHz$;
 - scala de tensiune: minimă disponibilă, de exemplu $10mV/div$. Va fi ulterior aleasă o scală mai puțin sensibilă dacă este nevoie;
 - trigger: se ajustează nivelul până se obține un grafic stabil.
3. Se vizualizează, în aceleași 3 cazuri, riplul prezent pe ieșirea filtrată SW_FLT_OUT+, constatându-se că este mai mic decât cel măsurat pe ieșirea normală a stabilizatorului (este posibil chiar să nu fie vizibil pe osciloscop).

Ce dezavantaj ar putea prezenta ieșirea filtrată? Pentru a răspunde acestei întrebări, măsurați cu voltmetrul (sau cu osciloscopul plasat în modul DC) ieșirea normală (SW_OUT+) și ieșirea filtrată (SW_FLT_OUT+) fără rezistență de sarcină, respectiv cu rezistența de 50Ω . Atenție, pentru a cupla corect

¹en. - bandwidth limit

rezistența de sarcină, comutatorul SW4 trebuie plasat în poziția C, altfel sarcina va fi cuplată înainte de filtru.

Ce se observă? Care ieșire oferă o stabilizare mai bună?

Estimați rezistența echivalentă serie a filtrului.

4. Se vizualizează tensiunea nodului comutat (borna SW) pentru cele 3 valori ale rezistenței de sarcină. Se constată trecerea de la modul de funcționare discontinuu la cel continuu când se mărește curentul consumat.

Pentru a realiza aceste observații, trebuie readus osciloscopul pe modul DC, cu scala de tensiune de 2 sau 5V / div.

Se descriu graficele observate.

5. Se plasează stabilizatorul în modul continuu (sarcină de 50Ω). Se variază tensiunea de alimentare, observând efectul asupra tensiunii din nodul SW. Se măsoară factorul de umplere al tensiunii din nodul SW. Se rețin 3 valori (de exemplu pentru 9V, 12V și 15V). Se compară cu valorile calculate teoretic.
6. (bonus) Se calculează capacitatea parazită din nodul SW. În acest sens, se măsoară frecvența oscilației libere care apare în modul discontinuu.

3.3.6 Sursa în comutație - bonus

Se studiază calitativ comportamentul ieșirii stabilizatorului în comutație cu sarcina rezistivă comutată la 100Hz și la 10kHz.

3.3.7 Stabilizatorul cu 7805 - bonus

Se studiază calitativ comportamentul ieșirii stabilizatorului linear cu sursa izolată conectată.