

REDRESAREA CURENTULUI ALTERNATIV

Studenti:
Ban Ana Maria Monica
Rusu Corina
Tunaru Adela

Profesori coordonatori:
Prof. dr. ing. Ioan Daniel
Conf. dr. ing. Ciuprina Gabriela

Facultatea de Automatică și Calculatoare
An I Grupa 311 AC

1. CORECTAREA FACTORULUI DE PUTERE

Redresoarele monofazate și trifazate, comandate și necomandate compun o sursă majoră de curenți armonici într-o rețea electrică de distribuție. Cele monofazate, fiind de obicei de capacitate mică, sunt utilizate frecvent într-o gamă variată de echipamente și prin urmare, prezintă riscul poluării rețelelor de distribuție cu armonice. De asemenea, curenții armonici injectați de rețeaua de distribuție electrică sunt foarte dăunători, conținutul triplu de armonici predominante reprezentând o gravă amenințare.

Într-un circuit de curent alternativ pot fi definite 3 noțiuni de putere:

- Puterea aparentă, $S = U \cdot I$. S permite determinarea limitelor de utilizare a unei instalații, aparat sau mașină electrică, deoarece dimensionarea acestora depinde de tensiunea nominală U și de curentul nominal I .

- Puterea activă, $P = U \cdot I \cdot \cos \phi$ reprezintă puterea utilă de lucru (puterea electrică ce poate fi transformată în putere utilă: calorică, mecanică, etc.)

- Puterea reactivă, $Q = U \cdot I \cdot \sin \phi$ însoțește transportul, distribuția și consumul de putere activă. Q poate fi pozitivă sau negativă, după cum circuitul este inductiv sau capacitiv. Un circuit absoarbe putere reactivă dacă este inductiv și furnizează putere reactivă dacă este capacitiv.

Factorul de putere este definit ca raportul dintre puterea activă P și puterea aparentă S a sistemului

Prin îmbunătățirea factorului de putere avem următoarele avantaje:

- Penalizări eliminate;
- Sarcina redusă în transformator și în echipamente;
- Pierderile $I^2 R$ din transformatoare scad, la fel și în cabluri și alte echipamente;
- Sarcina generatoarelor sincrone se reduce;
- Ajută la stabilizarea tensiunii sistemului prin a crește puterea aparent disponibilă;

Toate aceste rezultate sunt posibile în condițiile unui factor de putere mare. Metoda îmbunătățirii factorului de putere la un sistem de distribuție cu tensiune scăzută o reprezintă injectarea în sistem a unei puteri reactive, și anume prin aplicarea unor condensatoare. O altă modalitate ar fi cu ajutorul unei mașini sincrone supraexcitată, însă utilizarea condensatoarelor de putere este cea mai populară modalitate pentru a obține puterea reactivă necesară compensării, îmbunătățind factorul de putere.

Condițiile ideale de control ale circuitului corector al factorului de putere în starea de echilibru sunt:

- Menținerea unei tensiuni de ieșire pur continue de valoare constant
- Menținerea unei forme de undă a curentului de intrare pur sinusoidală

La echilibru, energia de pe condensator este absorbită de sarcina în curent continuu cu o rată medie constantă și pentru menținerea tensiunii condensatorului constantă avem nevoie ca puterea provenită de la dioda să fie egală cu puterea medie de ieșire. Nu este obligatoriu ca sarcina în curent continuu să fie întotdeauna liniară, la fel cum puterea la intrare nu va fi nici ea constantă mereu.

Prin urmare, indiferent dacă puterile medii sunt egale valorile instantanee nu sunt și diferența se va

propaga spre condensator, producând astfel un riplu în curentul alternativ prin acesta. Acest riplu însă poate fi redus la un nivel acceptabil folosind condensatoare de valori mari.

În regim sinusoidal se poate defini cosinusul unghiului dintre tensiune și curent. Mărimea și locația condensatoarelor de corecție trebuie determinată.

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (1.1)$$

Q_c fiind puterea reactivă a capacității.

Factorul de corecție depinde numai de valoarea inițială și finală a factorului de putere. Astfel, capacitatea condensatorului ce trebuie pus la corectarea factorului de putere este exprimată prin următoarea relație:

$$C = \frac{P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)}{\omega \cdot U^2} = \frac{P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)}{2\pi f \cdot U^2} \quad (1.2)$$

Un factor de putere scăzut se traduce printr-un sistem ineficient de distribuție al energiei.

Efectele unui factor de putere scăzut sunt următoarele:

- Se produc pierderi adiționale în sistem cum ar fi:
- Creșterea curentului la aceeași putere activă;
- Creșterea pierderilor în conductoare de legături și dispozitive;
- Se micșorează puterea activă disponibilă la borna unui transformator;
- Puterea activă și aparent disponibilă la borna unui generator sincron este și ea micșorată;
- Cresc pierderile pe linia de transport a energiei;
- Puterea disponibilă în sistem este redusă, micșorând și stabilitatea sistemului totodată;
- Majoritatea furnizorilor de energie electrică impun anumite forme de penalizare pentru a descuraja un factor de putere scăzut al sarcinilor;

Ca urmare, factorul de putere este un element foarte important în proiectarea circuitelor electrice de curent alternativ, deoarece un factor de putere mai mic decât 1 ar fi necesar dacă reactanța circuitului ar fi zero, caz în care, cu un curent mai mic, puterea reală distribuită pe sarcină ar fi aceeași. Un curent mai mare înseamnă secțiuni ale conductorilor mai mari, ceea ce afectează direct costurile realizării instalației electrice.

Pentru o distribuție eficientă a energiei se recomandă corectarea factorului de putere între 0.9 și 0.95. Pentru valori mai mici companiile electrice vor adăuga penalizări costurilor pentru ca aparatura are pierderi de putere activă duble față de o instalație care ar lucra cu valorile normale.

Pentru conectarea factorului de putere la valoarea 1 ($\varphi_2 = 0$) se va folosi relația:

$$C = \frac{P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}{\omega \cdot U^2} = \frac{P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}{2\pi f \cdot U^2} \quad (1.3)$$

La utilizarea de instalații de reglare cu condensatori cu o componentă de putere la invertoare mai mare de 20% din puterea totală, se pot produce fenomene periculoase de rezonanță.

Este necesar ca înainte de a stabili dimensionarea unei instalații de reglare cu condensatori li a treptelor acesteia sa se efectueze mai întâi, din motive de tehnica securității, o verificare a posibilelor situații de rezonanță.

Dacă se consideră puterea instalată de condensatori în corelație cu inductivitățile rețelei (reactanța inductivă a transformatorului) atunci se observă că acestea formează, privind dinspre partea de joasă tensiune, un circuit oscilant paralel cu frecvența rezultantă proprie f_R .

Dacă această frecvență proprie corespunde perfect cu o armonică a rețelei, atunci circuitul oscilant paralel va fi atacat de către aceasta. Prin aceasta se ajunge la fenomene de suprasolicitare și, posibil, de defectare.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \quad (1.4)$$

Reprezintă formula Thomson pentru rezonanța atât în serie, cât și în paralel.

Unde f_0 reprezintă frecvența, ω pulsația, L este mărimea bobinei și C capacitatea condensatorului.

Rezonanța în serie se numește și rezonanță de tensiune, iar cea în paralel, rezonanță de curent.

Datorită curentilor mari ce se pot dezvolta într-un circuit LC serie la rezonanță, este posibilă apariția unor căderi de tensiune periculoase pe condensator și bobină, întrucât fiecare component are o impedanță suficient de mare.

2. TRANSFORMATORUL

Înainte de a trece la redresor, filtru, și stabilizator, avem nevoie de un transformator, deoarece aparaturile ce urmează să fie alimentate de la rețea nu au nevoie de cei 220V primiți, iar dacă da, transformatorul rămâne necesar pentru protecția circuitelor, el putând să frâneze anumite vârfuri de curent care altfel ar putea arde întregul circuit.

Nu vom detalia foarte mult acest dispozitiv fiind foarte complicat, dar este important să cunoaștem totuși cum funcționează.

În mare, transformatorul se compune dintr-un miez feromagnetic cu două înfășurări numite primar și secundar. El pastrează puterea primită, modificând valorile curentului și tensiunii inițiale în funcție de numărul de spire de pe fiecare înfășurare.

Relația care descrie această transformare este foarte simplă:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.1)$$

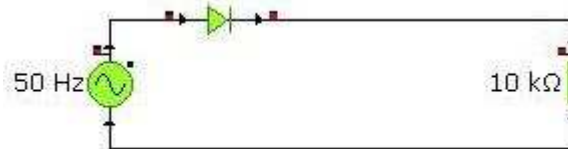
Unde U_1 , U_2 sunt tensiunile din primar, respectiv secundar, iar N_1 , N_2 numărul de spire din înfășurarea primară respective cea secundară. Cunoscând puterea și tensiunea U_1 putem afla, dacă este necesar, intensitățile de curent I_1 și I_2 .

3. CIRCUITE REDRESOARE

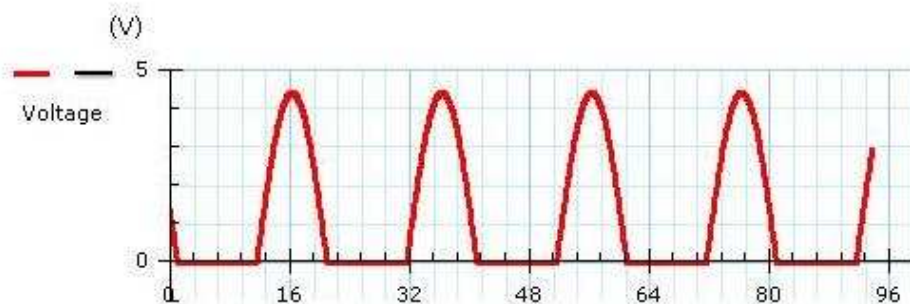
Cu ajutorul redresorului unda poate fi „tratăta” astfel încât utilizăm numai partea sa pozitivă. Circuitele redresoare se bazează pe diode rezistoare.

REDRESOR MONOALTERNANȚĂ

Schema este următoarea:



Folosește o singură diodă ce permite trecerea curentului doar în semiperioada pozitivă. În semiperioada negativă dioda se opune trecerii curentului, generând astfel o „lipsă” de curent în toată semiperioada. Ca rezultat, graficul va arăta numai părțile pozitive ale unde.

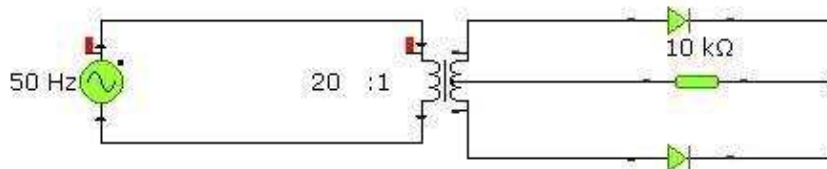


Este de menționat faptul că valorile de pe simulare sunt aleatoare, folosite doar pentru a evidenția forma unde. Dezavantajele sunt următoarele:

- Nu folosesc mare parte a capacității sursei
- Au randament mic, aproximativ 40%

REDRESOR DUBLĂ ALTERNANȚĂ CU PRIZĂ MEDIANĂ

Schema este următoarea:



Circuitul utilizează un transformator (de regulă coborâtor de tensiune) care are în secundar o priză intermediară la jumătatea numărului de spire.

Putem înțelege mult mai bine funcționarea acestui redresor dacă luăm pe rând fiecare jumătate de perioadă (semi-perioadă).

Ansamblul poate fi privit și ca două redresoare mono alternanță legate la aceeași sarcină.

În cazul semiperioadei pozitive, doar prima diodă conduce curent, cea de-a doua fiind blocată. Astfel doar partea de sus a înfășurării secundare a transformatorului conduce curent.

În a doua semiperioadă polaritatea tensiunii se inversează, a doua diodă conduce curent, iar prima este blocată. Sarcina va vedea unda sinusoidală de aceeași polaritate cu cea anterioară.

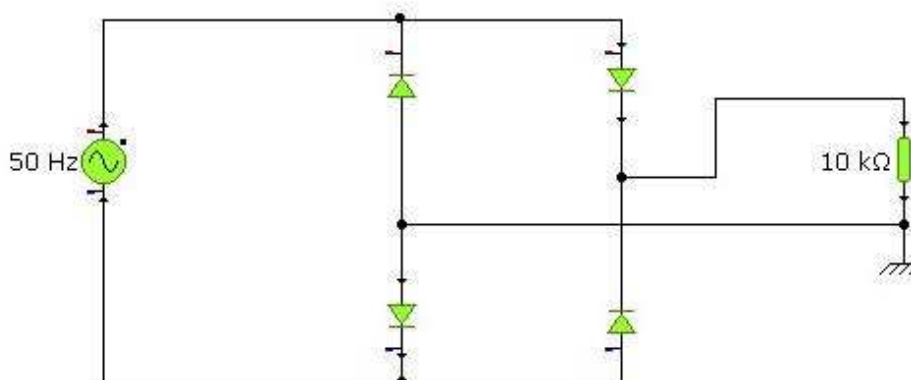
Dezavantaje:

- Deși are randament mai bun, secundarul nu este utilizat în totalitate.
- Se poate folosi doar în alimentări cu tensiuni mici în care se dorește minimizarea căderii de tensiune pe diode

REDRESORUL DUBLĂ ALTERNANȚĂ ÎN PUNTE

Este cel mai frecvent întâlnit tip de redresor. Utilizează patru diode.

Schema:



Pe o diagonală punții se aplică tensiunea alternativ sinusoidală din secundarul unui transformator. La cealaltă diagonală se obține tensiunea continuă care se aplică rezistorului.

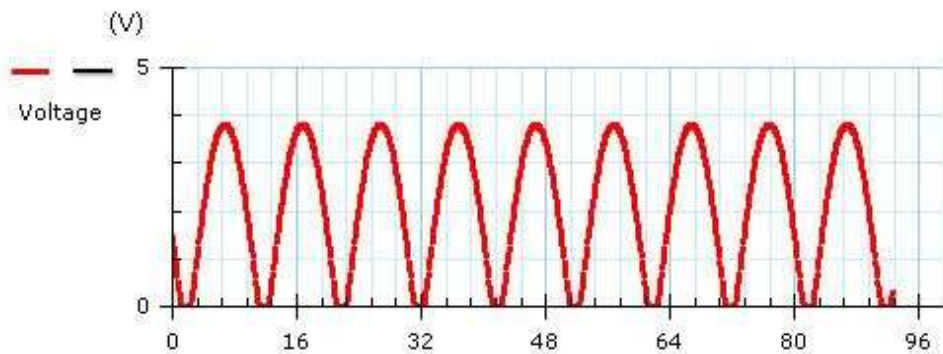
Curentul trece prin două diode serie. Indiferent de polaritate curentul prin sarcină are aceeași direcție de curgere. Astfel o semi-perioadă negativă la sursă este o semi-perioadă pozitivă pe sarcină.

Căderea de tensiune pierdută dinspre sursă spre sarcină este dublă față de redresorul dublă alternanță cu priză mediană.

Curentul prin sarcină $i_o = i_1 + i_2$ (unde i_1, i_2 reprezintă curenții prin bobine) are expresia analitică:

$$i_o = I_M |\sin \omega t| \quad (3.1)$$

Unde I_M - valoarea maximă a intensității.



Din nou, este de menționat că valorile din simulare sunt aleatoare, pentru a evidenția forma graficului.

Curentul și tensiunea redresată I_o, V_o sunt:

$$I_o = \frac{2I_M}{\pi} \quad (3.2)$$

$$V_o = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot \frac{2V_2}{\pi} \quad (3.3)$$

R_i - rezistența de pierderi

R_L - rezistența de sarcină

V_2 - tensiunea din secundar

Amplitudinile componentei fundamentale:

$$I_{o2} = \frac{4I_M}{3\pi} \quad (3.4)$$

$$V_{o2} = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot \frac{4V_2}{3\pi} \quad (3.5)$$

Valoarea efectivă a curentului:

$$I_{OEF} = \frac{I_M}{\sqrt{2}} \quad (3.6)$$

Factorul de ondulație γ :

$$\gamma = \frac{V_{o2}}{V_0} = \frac{2}{3} = 0,67 \quad (3.7)$$

Factorul de ondulație este subunitar în comparație cu redresorul mono-alternanță, datorită creșterii componentei continue și scăderii componentei alternative. Factorul de ondulație: $\gamma' = 0,48$

Solicitările diodelor:

- Curentul maxim $I_{Amax} = I_M$
- Curentul mediu $I_{A0} = \frac{I_0}{2}$
- Tensiunea inversă maximă pe diodă $V_{Amax} \cong V_2$

Avantaje:

- Tensiunea inversă maximă pe diodă este egală cu tensiunea din secundar, care, la aceeași tensiune redresată, este jumătate din valoarea corespunzătoare redresorului cu priză median
- Transformatorul nu necesită priză median
- Trece curent prin secundar întreaga perioadă și este de formă sinusoidală, ca cel din primar
- La aceeași putere de ieșire putem folosi un transformator mai mic la redresorul u punte față de cel cu priză mediană

Aplicații practice ale redresoarelor în punte:

- Amplificatoare audio casnice și industriale
- Mașini unelte
- Ventilații
- Sursa computerului
- Aspiratoare
- Frigidere
- Instalații de aer condiționat
- Sursa de alimentare în toate echipamentele casnice

4. FILTRUL

Forma de undă obținută la ieșirea unui redresor fără filtru elimină partea negativă din graficul tensiunii dar nu este tocmai potrivită pentru alimentarea sarcinii (aparaturii) din cauza ondulației încă prezente a semnalului. Aceasta ondulație poate produce efecte nedorite în diversele aplicații, mai ales în cazul celor care funcționează cu motor electric, el devenind instabil, în funcție de amplitudinea tensiunii primite. Pentru corectarea acestor ondulații este necesară adăugarea unui filtru. Vom discuta acum despre cele mai folosite filtre:

REDRESOARE CU FITRU CAPACITIV

Sub forma sa cea mai simplă, filtrul capacitiv se leagă în paralel între redresor și sarcină.

Cum funcționează?

Reamintim ecuațiile exponentiale ale condensatorului:

Încărcare: sarcină și curent:

$$q = Q \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (4.1)$$

$$i = I e^{-\frac{t}{RC}} \quad (4.2)$$

Descărcare: sarcină și curent:

$$q = Qe^{-\frac{t}{RC}} \quad (4.3)$$

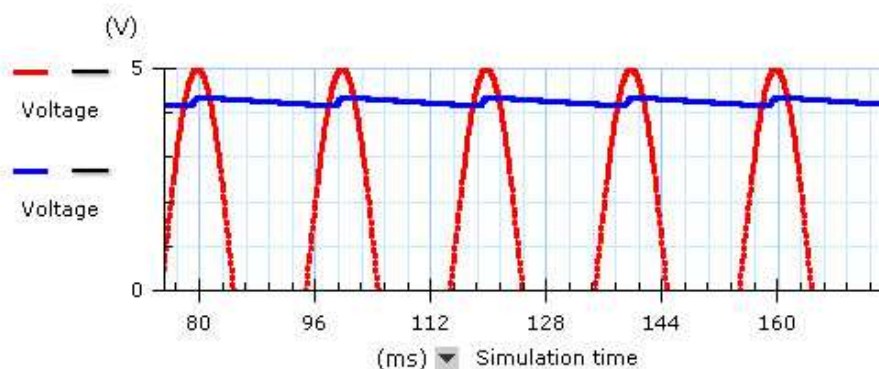
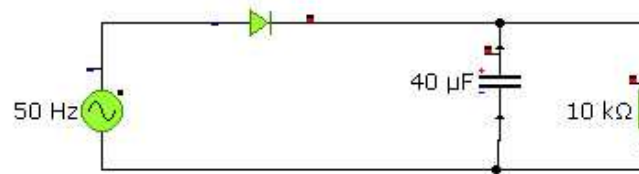
$$i = -Ie^{-\frac{t}{RC}} \quad (4.4)$$

Acest condensator funcționează în următorul fel:

Știm că forma unde ce alimentează circuitul variază în timp după ecuația $v = V_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$ luând $\varphi = 0$ pentru a simplifica, iar graficele de încărcare și descărcare ale condensatorului după funcțiile exponențiale de mai sus. În prima parte, considerăm condensatorul descărcat total în $t = 0$, ceea ce va face ca și tensiunea la bornele lui, și cea dată de redresor să fie 0.

La încărcare, condensatorul va avea mereu la borne tensiunea generată, și deci, va urma graficul funcției sinusoidale a curentului, până când acesta atinge valoarea maximă. Asta face ca sarcina să se alimenteze direct de la sursă.

În schimb, la descărcare, valoarea instantanee a tensiunii dată de redresor va varia (tot sinusoidal) mult mai repede decât cea exponențială din condensatorul în descărcare. Prin urmare, sursa se va alimenta de la cea mai mare valoare, deci de la condensator până când valoarea tensiunii de la redresor va fi din nou mai mare. Ca exemplu, avem următoarea grafică (valorile sunt doar orientative):



Cum calculăm valoarea capacității condensatorului astfel încât variația valorii instantanee a tensiunii să fie cât mai mică?

Definim:

- V_0 = tensiunea pe sarcină
- I_0 = curentul prin sarcină
- V_2 = tensiunea dată de redresor

- R_L = rezistența de sarcină
Avem

$$\Delta V_o = \frac{\pi I_0}{\omega C} \quad (4.5)$$

Legea Ohm spune că $I_0 = \frac{V_0}{R_L}$, deci ecuația noastră devine:

$$\Delta V_o = \frac{\pi V_0}{\omega R_L C} \quad (4.6)$$

Definim factorul de ondulație γ , care ne indica cât de mare este variația valorii tensiunii aplicata pe sarcină, ca:

$$\gamma = \frac{\Delta V_o}{V_0} = \frac{\pi}{\omega R_L C}$$

Cu cât γ este mai mic, ne apropiem de o tensiune “continuă” deci pentru o tensiune absolut continuă capacitatea condensatorului C ar fi infinită dar, cum nu există un asemenea condensator, încercăm doar sa-l apropiem pe γ de 0.

Cu această ecuație vom putea calcula capacitatea C în funcție de γ și rezistența de sarcină dorită.

Acesta este cel mai simplu dintre filtre, se poate folosi atât împreună cu un redresor monoalternanță cât și cu unul dublă alternanță. Totuși, în cele mai multe cazuri efectul creat de acest filtru capacitiv nu este tocmai adecvat pentru majoritatea aparatelor cce umează sa fie conectate la rețea cu acest filtru. Pentru un rezultat mai bun se folosește filtrul în π despre care vom vorbi în continuare.

REDRESOARE CU FILTRU IN π

Filtrul π este unul dintre cele mai folosite datorită avantajelor lui în foarte multe aplicații. El poate fi considerat ca fiind format dintr-un filtru capacitiv C_1 urmat de un divizor al amplitudinii undulațiilor de pe C_1 cu raportul $\frac{|X_{C2}|}{R_F}$ dacă se îndeplinește condiția $|X_{C2}| \gg R_F$, R_F fiind rezistența filtrului în cazul în care filtrul este filtru în π cu rezistență (vom vedea că există și alt tip de filtru în π). Reactanța X_{C2} se calculează la frecvența undulațiilor (pe un redresor dublă alternanță vom folosi 2ω). Dacă notăm cu γ_C factorul de ondulație pe condensatorul de intrare C_1 , dat de relația

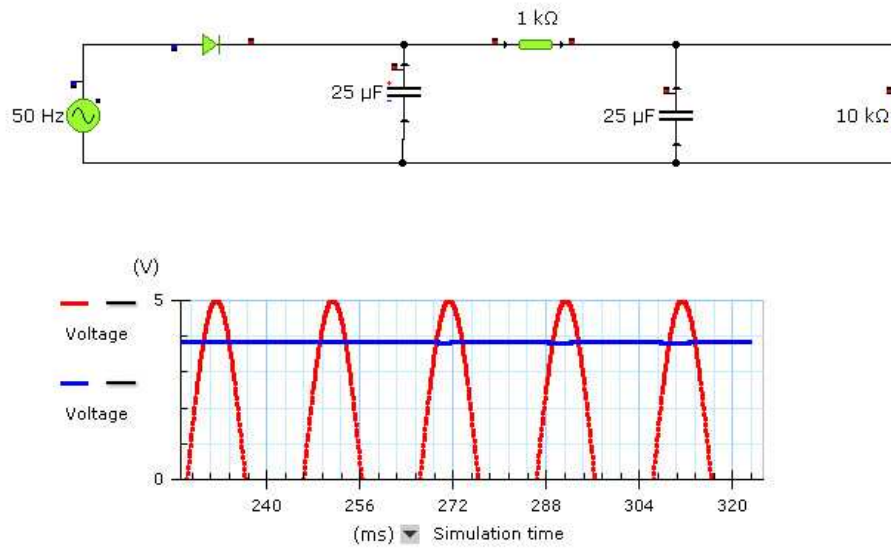
$$\gamma_C = \frac{\pi}{2\omega R_L C_1} = \frac{\pi |X_{C1}|}{R_L} \quad (4.7)$$

Atunci factorul de ondulație pe sarcină va fi

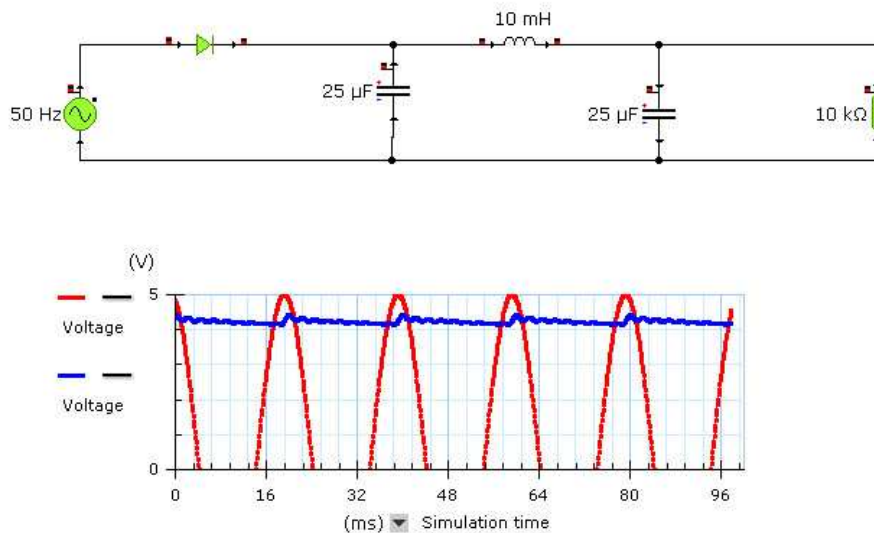
$$\gamma_\pi = \gamma_C \frac{|X_{C2}|}{R_F} = \frac{\pi |X_{C1}| |X_{C2}|}{R_L R_F} \quad (4.8)$$

Aceeași expresie se obține și pentru un redresor monoalternanță urmat de un filtru în π , numai că reactanțele vor fi calculate la frecvența ω , în loc de 2ω cum am folosit în cazul în care filtrul este aplicat unui redresor dublă alternanță (punte de diode)

Schema acestui circuit este următoarea:



Dezavantajul filtrului în π rezistiv este pierderea de tensiune continuă pe rezistența R_F , pierderea energiei prin efect Joule, deoarece mărimea acestei rezistențe trebuie să fie foarte mare pentru a obține un efect cât mai bun, iar aceasta implică și mari pierderi de energie. Prin urmare, vom folosi o alternativă numită filtrul în π inductiv. Înlocuind rezistența R_F cu o inductanță L_F care să satisfacă condiția $|X_{C2}| \gg |X_{LF}|$ obținem următoarea schemă, la fel, cu valori doar orientative ale componentelor:



Factorul de ondulație în sarcină este dat tot de relația (nr) dacă înlocuim pe R_F cu $|X_{LF}|$.

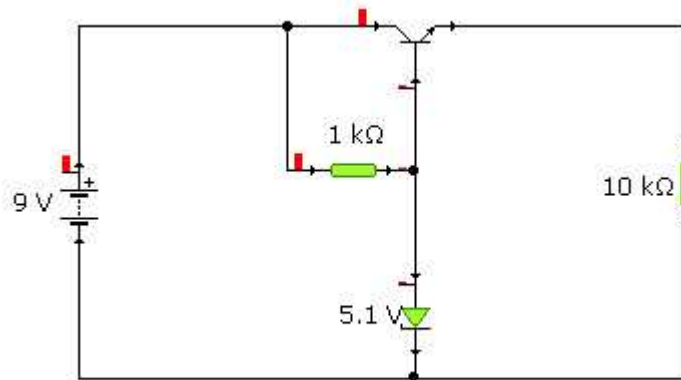
După cum vedem, rezultatul filtrului în π inductiv este mai slab, dar îl putem îmbunătăți măbind valoarea

L_F

5. STABILIZATORUL

Stabilizatorul de tensiune este un circuit care, ideal, asigură la ieșire o tensiune independent de tensiunea de intrare, de curentul de sarcină și de temperatură.

Vom vedea stabilizatorul serie. Schema lui este următoarea:



Acea sursă de curent continuu nu este decât o asemănare cu ce va ieși din filtru, folosită pentru a putea desena doar această parte a circuitului fără întreg ansamblul.

Cum funcționează?

Întreaga tensiune de ieșire v_o se compară cu tensiunea de referință v_Z dată de o diodă stabilizatoare (dioda Zener) direct pe baza tranzistorului, tensiunea la intrarea acestuia fiind

$$v_{BE} = v_Z - v_o \quad (5.1)$$

Variația tensiunii v_{BE} este în antifază cu variația tensiunii de ieșire, astfel că atunci când aceasta din urmă crește, va crește și tensiunea pe tranzistorul regulator, care va prelua variația de tensiunii de ieșire. Din relația anterioară rezultă că tensiunea stabilizată $v_o \cong v_Z$ (tensiunea diodei de referință). Tensiunea aproximativ constantă V_Z aplicată între bază și collector se regăsește pe sarcină între emitor și collector.

Deducerea parametrilor de bază se face prin următoarele relații:

$$i = i_Z + i_B \quad (5.2)$$

$$v_I = Ri + v_Z \quad (5.3)$$

$$i_o = (\beta_F + 1)i_B \quad (5.4)$$

Unde i este curentul prin rezistorul de la baza tranzistorului, i_Z este curentul prin dioda Zener, i_B este curentul prin baza tranzistorului, R valoarea rezistenței de la baza tranzistorului, v_I este tensiunea primită de la filtru, iar β_F este factorul beta al tranzistorului.

Notă: vom folosi o diodă Zener ce stabilizează tensiunea la 5V deoarece aceasta este tensiunea de care avem nevoie în foarte multe cazuri, mai ales în cazul circuitelor electronice digitale, care funcționează la 0 și 5V.

REZULTATE EXPERIMENTALE

În acest proiect, am construit un circuit asemănător pe care îl prezentăm în fața dumneavoastră. Este vorba de transformator – redresor în punte – filtru – stabilizator.

De asemenea am făcut și o serie de măsurători pentru a verifica funcționamentul acestuia:

Tensiune de alimentare(AC valoare efectivă) (V)	Tensiune la bornele unei diode (V)	Tensiune la bornele condensatorului (DC,filtru)(V)	Tensiune la bornele diodei Zener (DC,V)	Tensiune pe sarcină de 10kΩ (DC,V)	Riplu (%)
10.9	4,7	14.35	5.58	4.98	≤ 2%

Tensiunea la bornele unei diode este de 4,7 dar, la fiecare alternanță se folosesc două diode care sunt legate între ele în serie, deci, la bornele redresorului tensiunea va fi $4,7 \times 2 = 9.4$ V.

La bornele condensatorului tensiunea, măsurată în DC este 14.35. Asta înseamnă că multimetrul folosit arată o valoare medie a tensiunii citite. Aceasta mărire se datorează faptului că factorul de ondulație scăzut duce la o tensiune mai constantă spre valorile mari, deci elimină cele mai multe din valorile instantanee mici care coboară media valorii tensiunii.

S-au mai făcut și alte măsurători pe diferite sarcini:

La 100kΩ s-au citit 5.03 V

La 35kΩ - 5.01 V

La 4.85kΩ - 4.95 V

La 1.40kΩ - 4.93 V

Riplul:

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V_{\max}} \times 100 = \frac{100mV}{5V} \times 100 \leq 2\%$$

După cum vedeți, riplul rezultat este mai mic decât 2%, un rezultat destul de bun pentru un circuit neprofesionist.

Într-adevăr, circuitul reușește să redreseze curentul alterantiv și să îl stabilizeze aproape de cei 5V pe care îi “promite” dioda Zener.

Bibliografie:

- *Teoria Circuitelor Electrice*, C.I. Mocanu, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1979
- *Electrotecnia*, Jose Antonio Fidalgo Sanchez, Manuel Ramon Fernandez Perez, Noemi Fernandez Fernandez, Everest, 2009
- *Dispozitive și circuite electronice*, D. Dascășu, M. Profirescu, A. Rusu, I. Costea
- <http://www.circuiteelectrice.ro>
- <http://www.scribd.com>
- <http://users.utcluj.ro>