

3.8 Brezizgubna regulacija moči na bremenu

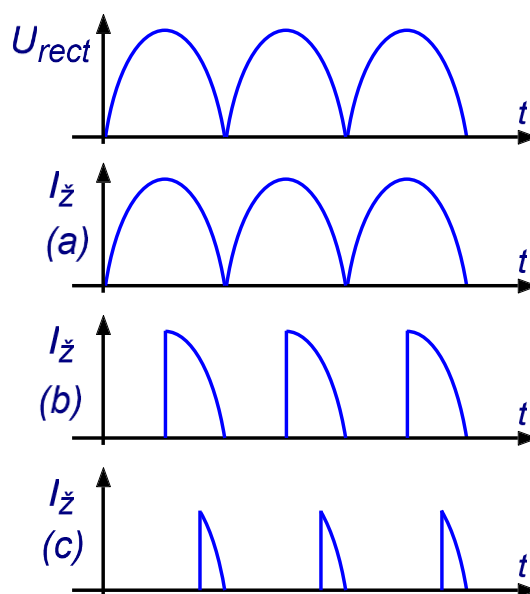
Spreminjati želimo svetilnost žarnice. Na razpolago je vir izmenične napetosti s stalno amplitudo 12 VAC (če ne bi vadili, bi imeli opravka z omrežno napetostjo 230 VAC) in frekvenco 50 Hz. Tako napetost dobimo iz transformatorja, ki je priključen na električno omrežje. Seveda so nam na razpolago tudi elektronska vezja in žarnica.

Svetilnost žarnice bi lahko zmanjšali tako, da bi ji zaporedno vezali primeren upornik. Napetost z vira bi se razdelila med dodani upornik in žarnico, ki bi jo zato dobila manj in manj svetila; naloga opravljena. Ker pa je na dodanem uporniku napetost in skozenj teče električni tok, se ta upornik po nepotrebem greje, morda celo močno greje. Potrata električne energije nam ni všeč, zato se spreminjanja svetilnosti lotimo drugače.

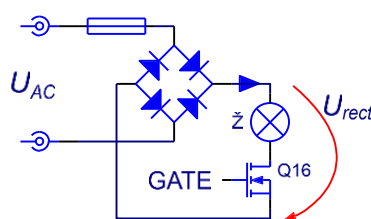
Na zgornjem diagramu na sliki 1 je narisana usmerjena izmenična napetost U_{rect} . Če je žarnica stalno priključena na tako napetost, teče tok $I_{\check{z}}$ skozi žarnico ves čas in žarnica polno sveti (diagram a). Vežimo zaporedno z žarnico stikalo. To stikalo lahko pustimo razklenjeno vsako prvo polovico polperiode, potem pa ga sklenemo, zato tok teče skozi žarnico le vsako zadnjo polovico polperiode (slika 1, diagram b); v tem primeru žarnica sveti s približno polovično svetilnostjo. Seveda lahko stikalo sklenemo še kasneje v vsaki polperiodi (slika 1, diagram c), takrat žarnica le še brli. Potrebujemo torej stikalo, ki ga bomo v primernem trenutku polperiode sklenili in skozi žarnico pognali tok, ob koncu polperiode pa vselej razklenili. Za stikalo lahko uporabimo MOS tranzistor Q_{16} , shema vezja je na sliki 2. MOS tranzistor prevaja, ko je med njegovima elektrodama GATE in SOURCE pozitivna napetost vsaj nekaj voltov.

Če torej želimo spreminjati svetilnost žarnice, potrebujemo usmerjeno izmenično napetost in elektronsko stikalo (na primer MOS tranzistor), s katerim priključujemo žarnico na to izmenično napetost ob primernem trenutku v vsaki polperiodi. Za krmiljenje tega stikala je potrebno sestaviti elektronsko vezje. Na sliki 3 je bločna shema takega vezja, sestavljenega iz v prejšnjih vajah preskušanih modulov: integratorja in komparatorja.

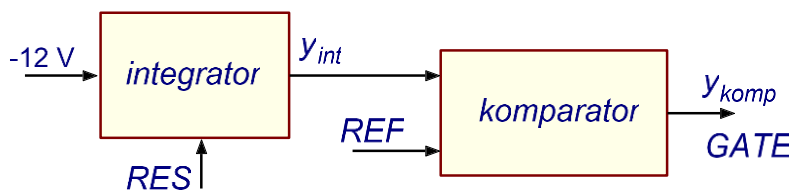
Na vhod integratorja je priključena primerno velika negativna napetost (za začetek lahko poskusiš z negativno napajalno napetostjo). Vzemimo, da je izhodni signal integratorja Y_{int} ob začetku polperiode enak nič, slika 4. Med polperiodo signal Y_{int} enakomerno narašča, ob koncu polperiode ga spravimo nazaj na vrednost nič tako, da resetiramo integrator. Izhodni signal integratorja Y_{int} primerjamo s konstantno referenčno vrednostjo REF v komparatorju. Izhodni signal komparatorja Y_{komp} zato skače med negativno in pozitivno napajalno napetostjo (V_{EE} in V_{CC}); polperiodo začne pri V_{EE} , na V_{CC} preskoči



Slika 1: Tok skozi žarnico lahko prekinjamo



Slika 2: MOS tranzistor Q_{16} kot stikalo, vezan zaporedno z žarnico \check{Z}

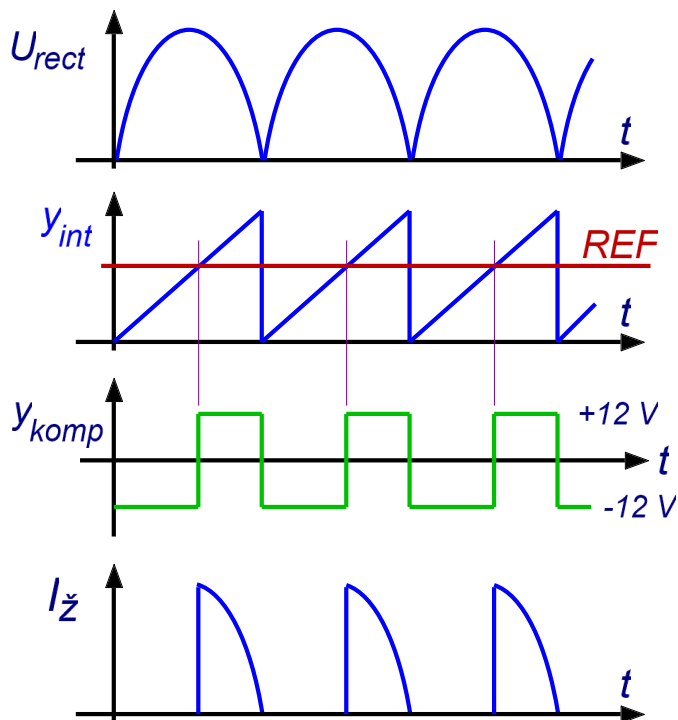


Slika 3: Bločna shema regulacijskega dela

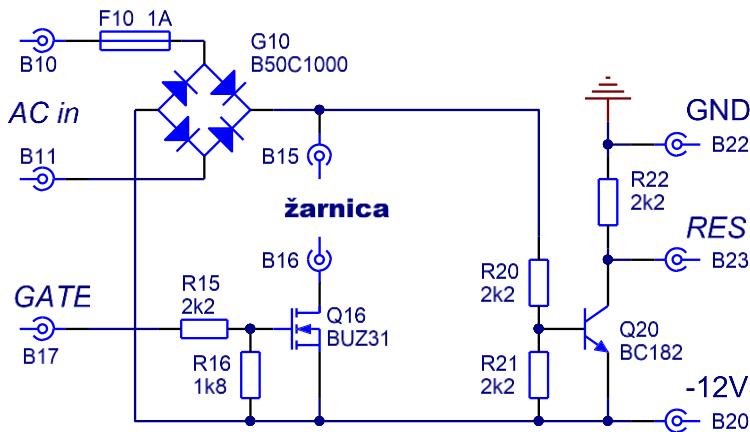
takrat, ko signal integratorja Y_{int} preseže referenčno vrednost REF . Signal na izhodu komparatorja je torej pravokotne oblike in sinhron z omrežno napetostjo. Faktor delavnosti tega signala je odvisen od referenčne vrednosti REF ; večja REF povzroči krajše pozitivne sunke signala Y_{komp} .

Izhodni signal komparatorja Y_{komp} uporabimo za krmiljenje stikala (MOS tranzistorja) $GATE$, ki je vezan zaporedno z žarnico. Večja vrednost REF povzroči, da MOS tranzistor prevaja manjši delež polperiode usmerjene izmenične napetosti, torej šibkejše svetenje žarnice.

Potrebujemo še signal za resetiranje integratorja RES . Tega dobimo tako, da z usmerjeno izmenično napetostjo U_{rect} krmilimo tranzistor Q20. Večino polperiode usmerjena izmenična napetost zadošča, da tranzistor prevaja in na njegovem kolektorju zato namerimo napetost -12 V , kar dopušča integriranje. Le takrat, ko je usmerjena izmenična napetost U_{rect} blizu nič, ta tranzistor ne prevaja in na njegovem kolektorju namerimo nič voltov, kar zadošča za resetiranje integratorja. Shema kompletnega vezja z usmerjanjem, stikalom in tranzistorjem za resetiranje je na sliki 5, tloris tiskanega vezja je na sliki 6.

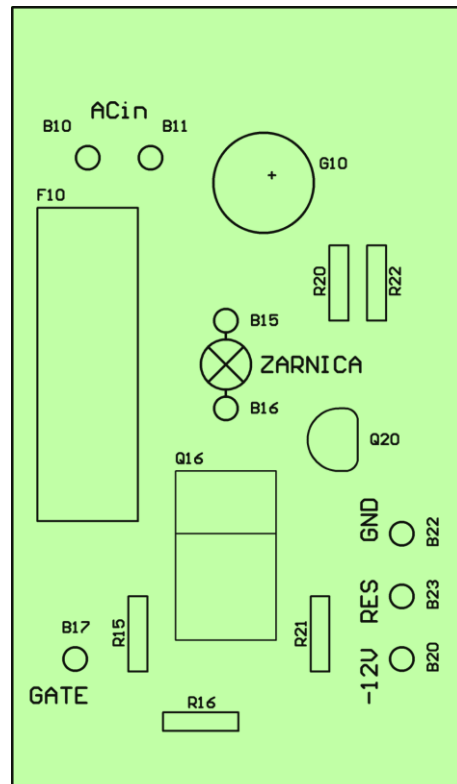


Slika 4: Signali v regulacijskem delu vezja



Slika 3: Vezje na ploščici

- Naloga: Sestavi sistem s slike 3 in ga poveži z vezjem s slike 5. Pokaži, da je mogoče spreminjati svetilnost žarnice ter da so hkrati izgube moči na tranzistorju Q_{16} minimalne. Koliko znašajo? Kako bi naredili vezje, kjer teh izgub sploh ne bi bilo? Je usmerjanje res potrebno?
- Pozor: Integrator potrebuje za integriranje napetost $-12V$ na vhodu RES , resetiramo pa ga z napetostjo $0V$ na istem vhodu. Zato je vezje s slike 5 treba povezati na napajanja tako, da je sponka $B20$ zvezana na $-12V$, sponka $B22$ pa na $0V$. Signal na sponki $B23$ lahko takrat porabimo za reset integratorja.



Slika 4: Razpored elementov na ploščici tiskanega vezja

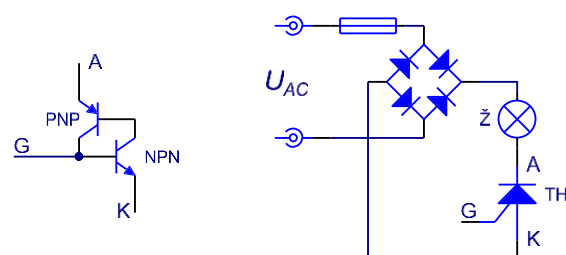
Dodatno za motivacijo

Naša verzija vezja je posebej prirejena tako, da je z njo varno delati in uporablja usmerjeno napetost le $12V$. Običajno uporabljamo omrežno napetost $230 VAC$ brez transformatorja, ki se je seveda ne bi smeli dotakniti. Takrat tudi ne uporabljamo tranzistorja za preklapanje, ampak raje posebne elemente po imenu tiristorje ali triake, ki zmorejo veliko večje tokove in napetosti.

Tiristor lahko poenostavljeno enačimo z dvema tranzistorjema po shemi na sliki 7 levo. Njegovi priključki so katoda (K), anoda (A) in krmilna elektroda (G). Ko pritaknemo med elektrodi A in K tiristorja električno napetost, tranzistorja ne prevajata; če ne prevaja tranzistor PNP, ni toka v priključek baza tranzistorja NPN, zato tudi tranzistor NPN ne prevaja in ne vleče toka iz baze sponke tranzistorja PNP; toka med elektrodama A in K ni. Če od zunaj na sponko G pošljemo tokovni sunek, steče tok v bazo tranzistorja NPN, zato ta začne prevajati. Tok v njegov kolektorski priključek prihaja iz baze tranzistorja PNP, ki zaradi tega tudi začne prevajati in skozi njegov kolektorski priključek zdaj teče tok v bazni priključek tranzistorja NPN. Čeprav zunanji tok v elektrodo G zdaj prekinemo, ostaneta oba tranzistorja v prevodnem stanju; tok skozi njiju se ohranja dokler se zaradi zunanjih vplivov, na primer zmanjšanja napetosti med elektrodama A in K ne zmanjša toliko, da oba tranzistorja nehata prevajati.

Triak je sestavljen iz dveh vzporedno vezanih tiristorjev, pri drugem tiristorju sta NPN in PNP tranzistorja med sabo zamenjana. Vsak od tiristorjev je zadolžen za zgoraj opisano prevajanje med svojo polperiodo izmenične napetosti. Usmerjanje izmenične napajalne napetosti ni več potrebno.

S triaki lahko na v vaji opisan način »razrežemo« vsako od obeh polperiod omrežne napetosti in prepuščamo tok skozi poljubno breme le del vsake polperiode, ter tako krmilimo električno moč na



Slika 7: Poenostavljena ekvivalentna shema za tiristor (levo) in njegova raba v vezju (desno)

\\ bremenu. Ker je padec napetosti na triaku oziroma tiristorju majhen in znaša tipično okoli en volt, je \\
\\ potratena moč na njem majhna v primerjavi s koristno močjo na bremenu. \\

Nekaj računanja...

Povprečno moč P_{eff} na bremenu z upornostjo R_L , ki je priključen na napetost harmonske oblike $U_{AC} = U_0 \sin \varphi$, izračunamo po formuli:

$$P_{eff} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{U_{AC}^2}{R_L} dt = \frac{U_0^2}{2R_L}$$

Če na breme s pomočjo stikala prepustimo le del polperiode napetosti U_{AC} od kota φ_0 do konca polperiode, se izračun spremeni v:

$$P_{eff}(\varphi_0) = \frac{1}{\pi} \int_{\varphi_0}^{\pi} \frac{U_{AC}^2}{R_L} dt = \frac{U_0^2}{2R_L} \left[1 - \frac{\varphi_0}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \sin 2\varphi_0 \right]$$

Moč na bremenu se torej zmanjšuje nelinearno s povečevanjem začetnega kota φ_0 , ki je pri nas sorazmeren signalu REF. To je lahko razumljivo, saj enako velika sprememba kota na začetku ali koncu polperiode odškrta manjši delež energije kot enako velika sprememba kota na sredini polperiode.

Navadno želimo spreminjati moč na bremenu linearno. Za tako spreminjanje je treba kot φ_0 spreminjati malo drugače, ne linearno. Na začetku polperiode ga je treba spreminjati po velikih korakih, na sredini polperiode po majhnih in na koncu polperiode spet po velikih. To lahko dosežemo tako, da referenčno napetost REF primerjamo s primerno skrivljeno verzijo signala na izhodu integratorja y_{int} . Morda bo dovolj prišteti nekaj malega harmonskega signala...

- c. Izračunaj potrebno modifikacijo signala y_{int} , za katero je spreminjanje moči na bremenu linearno odvisno od referenčne napetosti REF.

Za žarnico tak izračun vseeno ne velja popolnoma, saj se upornost žarilne nitke spreminja z njeno temperaturo in torej s svetilnostjo žarnice.