UNIVERZITET U NOVOM SADU PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET -Katedra za fiziku-

Nada Poljanski

MONOSTABILNI MULTIVIBRATOR

- diplomski rad-

N O V I S A D

1974.

Najsrdačnije zahvaljujem Dr. Miroslavu Pavlovu, docentu PMF, na ukazanoj pomoći pri izboru teme i literature, kao i savetima u toku teorijske i eksperimentalne obrade ovog rada.

BPH/

SADRŽAJ

| | 1 |
|--|----|
| GLAVA I | |
| 1. TRANZISTOR KAO PREKIDAČKI ELEMENT | 2 |
| 1.1. Statičke karakteristike tranzistora | 2 |
| 1.2. Karakteristike prelaznog stanja | 4 |
| 1.3. Okidna kola i multivibratori | 5 |
| GLAVA II | |
| 2.1. Monostabilni multivibrator | 7 |
| 2.1.1. Proračun monostabilnog mulrivibratora | 8 |
| 2.2. Uobličivač impulsa | 16 |
| | |
| GLAVA III | |
| 3.1. Konstrukcija monostabilnog multivibratora | 23 |
| 3.2. Merenja i obrada rezultata | 33 |
| Z A K L J U Č A K | 37 |
| | 3. |
| LITERATURA | 38 |



MONOSTABILNI MULTIVIBRATOR

UVOD

Od momenta kada su tranzistori pronadjeni (1948. god.), odnosno kada je njihovo pojačavačko svojstvo ustanovljeno, tranzistorska tehnika se naglo razvija. Poluprovodnički elementi su već u mnogim primenama potpuno potisli elektronske cevi, jer imaju znatne prednosti: malih su dimenzija, manja je potrošnja električne energije, jeftiniji su u procesu proizvodnje uredjaja jer im nije potrebno grejanje, njihovo je funkcionisanje moguće odmah po uključivanju, imaju znatno duži vek trajanja, a razvojem tehnologije postali su i jeftiniji u odnosu na odgovarajuće vakuumske elemente.

U ovom su radu, zbog navedenih prednosti, tranzistori i upotrebljeni kao elementi uredjaja. Tranzistori su NPN silicijumski sa oznakom BC209C proizvodnje "ISKRA" Kranj.

Rad se sastoji iz teorijskog i eksperimentalnog dela. U teorijskom delu, u glavi I, opisan je tranzistor kao prekidački element i date su njegove statičke karakteristike. U istoj glavi dat je i kratak opis okidnih kola, multivibratora i vrsta multivibratora. U glavi II dat je opis i detaljan proračun monostabilnog multivibratora i uobličivača impulsa, čiji su impulsi okidali monostabilni multivibrator.

Treća glava se odnosi na eksperimentalni deo rada, koji se sastoji u projektovanju kola monostabilnog multivibratora i uobličivača impulsa. Na osnovu projektovanih kola proverene su dinamičke karakteristike konstruisanog uredjaja.

HA BENDAND BURNATION STORES

GLAVA I

- 2 -

1. TRANZISTOR KAO PREKIDAČKI ELEMENT

Impulsna kola predstavljaju klasu kola koja imaju široku primenu u digitalnoj tehnici. U takvim se kolima tranzistor kao aktivni element ponaša kao prekidač sa dva karakteristična stanja. Prvi slučaj (karakteristično stanje) odgovara otvorenom prekidaču, tj. kada se podrazumeva da su struje kolektora i emitora zamemarljivo male i kada je spoj baza - emitor inverzno polarizovan. Kaže se da je tada tranzistor zakočen. U drugom slučaju tranzistor je provodan i nalazi se u stanju saturacije (zasićenja), što odgovara zatvorenom prekidaču, pri čemu je spoj baza - emitor direktno (provodno) polarizovan.

1.1. STATIČKE KARAKTERISTIKE TRANZISTORA

Statičke karakteristike tranzistora pokazuju u širem obimu zavisnost izmedju pojedinih struja i napona na ulazu i izlazu tranzistora. One predstavljaju skup familija krivih linija.

Izlazne karakteristike tranzistora $I_C = f(V_{CE})$ za $I_B = const$ u spoju sa zajedničkim emitorom (v. sl. l.l) date su na sl. l.2. Ovde je ucrtana i radna prava kao i radne tačke tra-



nzistora u položaju K i S.

Radna tačka tranzistora odredjena je trenutnim vrednostima struje i napona. U odsustvu ulaznog signala, struje i naponi na tranzistoru imaju nepromenljive vrednosti, a skup ovih veličina predstavlja radnu tačku. Za kolo na sl. l.l napon $\,v_{\rm CE}^{}\,$ može da se izrazi preko sledeće jednačine

$$\mathbf{v}_{\rm CE} = \mathbf{V}_{\rm CC} - \mathbf{R}_{\rm L} \mathbf{i}_{\rm C}$$
 1.1

Jednačina 1.1 u ravni izlaznih karakteristika (sl. 1.2) predstavlja pravu. Ova se prava naziva radna prava tranzistora. Karakteristične tačke (odnosno njihove koordinate), kako je dato

za $i_{C} = 0$ sledi $v_{CE} = V_{CC}$ za $v_{CE} = 0$ sledi $i_{C} = V_{CC}/R_{L}$

zadovoljavaju jednačinu 1.1 radne prave tranzistora.

Primenom signala na sistem položaj radne tačke se menja duž radne prave.

U tački K (sl.1.2) za $i_B = 0$ struja kolektora jednaka je struji zakočenja $i_C = I_{CEO}$, što predstavlja najmanju moguću vrednost struje za $v_{CE} > V_{CES}$. Obično se ona može zanemariti. U tom slučaju tranzistor ne propušta struju. Kaže se da je tada zakočen.

U tački S koja se nalazi na liniji saturacije struja baze je vrlo velika, a tranzistor se nalazi u zasićenju za $i_B \ge I_{BS}$.

U ovim se graničnim slučajevima može predstaviti tranzistor kao kolo šačinjeno od pasivnih elemenata, kao što su otpornici, ili uz bolju aproksimaciju od otponika i baterija.

U tački K (kada je tranzistor zakočen) sve karakteristične struje kroz tranzistor jednake su nuli. Može se tada predstaviti tranzistor kao element čiji se izvodi završavaju u nekom izolatoru (vise). Ekvivalentna šema zakočenog tranzistora data je na sl. 1.3



В

E



čaju tranzistor može da se prikaže kao da je izmedju kolektora i definisan kao emitora vezan otpornik R_{CE}

$$R_{CE} = \frac{V_{CES}}{I_{CS}}$$
 1.2

Iz izlaznih karakteristika (sl. 1.4) tranzistora, vidi se da je $\mathcal{V}_{BE}(V)$



u ovom slučaju (kada je $i_B \ge I_{BS}$) $v_{BE} \ge v_{BES}$ za $v_{CE} \ge 0$. Tranzistor se ponaša kao da je izmedju baze i emitora vezan otpornik čija je vrednost

 $h_{ie} = \frac{V_{BES}}{I_{BC}}$

1.3

S1. 1.4.

Ekvivalentno kolo tranzistora u saturaciji dato je na sl. 1.5.



Ove su aproksimacije moguće s obzirom da su otpornici h_{ie} i R_{CE} male veličine u poredjenju sa ostalim otporima u kolu. Sem toga, tranzistor iz zakočenog u stanje saturacije prelazi za veoma kratko vreme (ispod 1 µs).

KARAKTERISTIKE PRELAZNOG STANJA 1.2.

Karakteristike prelaznog stanja su bitne za rad tranzistora u prekidačkim kolima, jer iste odredjuju brzinu prebacivanja tranzistora iz neprovodnog stanja u stanje zasićenja i obrnuto. Pri ovom prebacivanju tranzistor ne prati verno ulazni signal, već kasni zbog efekta nagomilavanja sporednih nosilaca naelektrisanja u oblasti baze (carrier storage effect). Ovaj se efekat javlja pri radu tranzistora u oblasti zasićenja, zbog čega impuls kolektorske struje traje duže od pobudnog impulsa na ulazu u kolo. Vreme trajanja efekta nagomilavanja sporednih nosilaca zavisi od trajanja ulaznog impulsa i od amplitude istog. Ukoliko su ove karakteristične veličine veće, veći je i

broj sporednih nosilaca nagomilanih u spoju baze, te je potrebno duže vreme da bi se oni rekombinovali. Širina izlaznog impulsa je zbog toga veća. Na sl.1.6 dati su talasni oblici ulaznog signala i kolektorske struje stepena sa zajedničkim emitorom. Vidi se sa slike da je izlazni impuls vremenski pomeren (kasni).



1.3. OKIDNA KOLA I MULTIVIBRATORI

Okidna kola predstavljaju posebnu klasu generatora talasnih oblika, kao i uredjaja za obradu digitalnih signala. Ona imaju nijedno, jedno ili dva stabilna stanja. Karakteristika stabilnih stanja je nepromenljiva vrednost napona merenih izmedju bilo koje dve tačke u kolu, kao i stalna vrednost struje u bilo kojoj izabranoj grani u kolu. Ako kolo nema nijedno stabilno stanje reč je tada o astabilnom multivibratoru. Ako se okidnom kolu u stabilnom stanju spolja dovede neki impuls dovoljne visine (okidni impuls), kolo se aktivira, odnosno ono je u mogućnosti da izvrši radni ciklus, tj. predje u drugo stabilno stanje (bistabilni multivibrator) ili se vrati u prvobitno stabilno stanje (monostabilni multivibrator). Na izlazu kola pojavljuju se tada odgovarajući impulsi struja i napona. Posredstvom povratne sprege okidni impuls prevodi kolo u stabilno stanje. Kolo ostaje u stabilnom stanju sve do dolaska sledećeg impulsa.

Opisana impulsna kola imaju veoma široku primenu u tehnici digitalnih računara, radarskog sistema, kao i u ostalim složenim elektronskim i mernim uredjajima. Multivibratori takodje spadaju u okidna kola. Oni se formiraju na taj način što se dva pojačavačka kola unakrsno spoje i to tako da izlazni deo prvog pojačavača bude spojen sa ulaznim delom drugog, a izlazni deo drugog pojačavača veže se sa ulaznim delom prvog pojačavača. Na taj način multivibrator predstavlja dvostepeni pojačavač sa pozitivnom povratnom spregom. Usled ovakve konfiguracije, tranzistor je veoma nestabilan u prelaznoj fazi (kao linearni pojačavač). Posledica ovoga je sledeća. Kada god su oba pojačavača jednako provodna, najmanji signal ili šum narušava ovu delikatnu ravnotežu. Ovaj poremećaj dovodi jedan pojačavač u stanje saturacije a drugi u oblast zakočenja.

1.3.1. <u>Tipovi multivibratora</u>

Postoje tri tipa multivibratora

- a. bistabilni (flip-flop)
- b. monstabilni
- c. astabilni

a. <u>Bistabilni multivibrator</u> ima dva stabilna stanja i to kada je jedan isti pojačavač u saturaciji i kada je zakočen. Dovodjenjem odgovarajućeg spoljašnjeg impulsa jedno stabilno stanje se menja. Izlazni impuls se ponavlja na svaka dva ulazna. Prema tome, bistabilni multivibrator broj impulsa deli sa dva.

b. <u>Monostabilni multivibrator</u> ima samo jedno stabilno stanje, a može da se proizvede neznatnom modifikacijom bistabilnog. Uglavnom se upotrebljava kao impulsni uobličivač i kolo za kašnjenje impulsa.

c. <u>Astabilni multivibrator</u> spada u red samooscilujućih impulsnih generatora. Nema nijedno stabilno stanje, oba stanja su kvazistabilna. Ovakav tip kola prelazi iz jednog stanja u drugo bez pomoći spoljašnjeg okidnog impulsa.

GLAVA II

- 7 -

2.1. MONOSTABILNI MULTIVIBRATOR

Kao što je rečeno, monostabilni multivibrator je kolo koje ima samo jedno stabilno stanje, u kojem je jedan tranzistor zakočen, a drugi provodi. Šema ovakvog kola data je na sl. 2.1.



Sl. 2.1.

Neka je u izvesnom početnom trenutku učinjena pretpostavka da je tranzistor T_1 neprovodan (zakočen), a T_2 provodan (u zasićenju). Za vreme trajanja ovakvog stanja u kolu, kondenzator se napunio, struja kroz isti je nula, pa se može uzeti da on predstavlja prekid u toj grani. Otpornik R_b bira se tako da struja baze T_2 bude dovoljno velika da ovaj tranzistor drži u saturaciji. Ovo stanje je stabilno stanje. Pod navedenim uslovima, ekvivalentna šema kola sa slike 2.1. data je na sl. 2.2.



Sl. 2.2.

Neka je sada na tranzistor T_1 doveden impuls (npr. pozitivan impuls na bazu T_1), on počinje da provodi, a T_2 postaje neprovodan. Ovo stanje je nestabilno. Kolo koje odgovara nestabilnom stanju dato je na sl. 2.3



Sl. 2.3.

U ovom slučaju (sl.2.3) otpornici R i R_L biraju se tako da struja baze bude dovoljna da održi T_1 u saturaciji, a napon v_{BE_1} ima vrednost oko 0.6 V (što se vidi sa ulaznih karakteristika, grafik VIII). Vreme trajanja nestabilnog stanja je kratko i traje dok se kondenzator C puni preko R_b da vrednost v_{BE_2} postane nula, odnosno nešto veća od nule, kada T_2 postaje provodan, a T_1 se zakoči. Proces se dalje nastavlja i za svaki dovedeni okidni impuls multivibrator proizvede jedan izlazni impuls stalnog oblika.

2.1.1. Proračun monostabilnog multivibratora

Analiza procesa u multivibratoru predstavlja dosta složen problem s obzirom da su promene napona i struje vrlo velike. Podesna analiza može se izvršiti ako se izračunaju talasni oblici uz izvesne aproksimacije.

U početku analize posmatrajmo slučaj kada je tranzistor T_1 zakočen, a T_2 u saturaciji. Ako je kolo u ovakvom stabilnom stanju, napon $v_{BE_1} \ge 0$, a ekvivalentna šema ovakvog kola prikazana je već na sl.2.2. Odgovarajući deo kola u stabilnom stanju dat je na sl.2.4, a njegov Teveninov ekvivalent na sl. 2.5.



S1. 2.4.

Sl. 2.5.

gde su

 $R' = \frac{R_L R_{CE}}{R_L + R_{CE}} \qquad i \qquad V' = \frac{R_{CE}}{R_L + R_{CE}} V_{CC}$

Sa sl. 2.5 kao i primenom Kirhofovih pravila mogu se izračunati naponi v_{BE_1} i v_{CE_2} na sledeći način

$$-\mathbf{v}_{BE_{1}} + \frac{\mathbf{R}_{CE}}{\mathbf{R}_{L} + \mathbf{R}_{CE}} \mathbf{V}_{CC} - \left(\mathbf{R} + \frac{\mathbf{R}_{L}\mathbf{R}_{CE}}{\mathbf{R}_{L} + \mathbf{R}_{CE}}\right)\mathbf{i} = 0 \qquad 2.1$$

Kako je i = 0 jer je T_1 zakočen, sledi

$$\mathbf{v}_{\mathrm{BE}_{1}} = \frac{\mathbf{R}_{\mathrm{CE}}}{\mathbf{R}_{\mathrm{L}} + \mathbf{R}_{\mathrm{CE}}} \mathbf{V}_{\mathrm{CC}}$$
2.2

Ova vrednost napona (jedn. 2.2) manja je od V_0 (sl.1.4) i tranzistor se nalazi u zakočenom stanju.

Sa sl. 2.5 vidi se takodje da je napon

$$\mathbf{v}_{CE_2} = \frac{\mathbf{R}_{CE}}{\mathbf{R}_{L} + \mathbf{R}_{CE}} \mathbf{V}_{CC}$$
 2.3

Kako je ovo stanje stabilno i stacionarno, struja kroz kolektor $i_c = 0$, a napon na kondenzatoru može da se izračuna ako se posmatra drugi deo kola sa sl. 2.2 koji je dat na sl. 2.6, a njegov Teveninov ekvivalent na sl. 2.8, odnosno na sl. 2.9.

Sa sl. 2.9 kao i primenom Kirhofovih pravila se do-

2.4

bija

$$V' - V_{c} - (V_{cc} - V_{o}) = 0$$

Kako je

V'

v

sledi

$$= \frac{h_{ie}}{h_{ie} + R_b} (V_{CC} - V_o)$$

$$_{C} = \frac{h_{ie}}{h_{ie} + R_{b}} (V_{CC} - V_{o}) - V_{CC} + V_{o} .$$





Sl. 2.7.





Sl. 2.8.

S1. 2.9.

Iz prethodnog izraza se dobija

$$\mathbf{v}_{\mathrm{C}} = \left(\frac{\mathrm{h}_{\mathrm{i}e}}{\mathrm{h}_{\mathrm{i}e} + \mathrm{R}_{\mathrm{b}}} - 1\right) (\mathrm{V}_{\mathrm{CC}} - \mathrm{V}_{\mathrm{o}}) \quad .$$

Kako je h_{ie} << R_b, može se pisati

$$v_{\rm C} = \left(\frac{\rm hie}{\rm R_b} - 1\right) (V_{\rm CC} - V_{\rm o})$$
 2.5

Kako je veličina h_{ie}/R_b vrlo mala u poredjenju sa 1, relacija (2.5) može se napisati u obliku

 $v_{c} = -(V_{cc} - V_{o})$ 2.6

Vrednost napona na kondenzatoru data sa (2.6) predstavlja početni uslov za nestabilno stanje.

Stabilno stanje traje sve do trenutka dok se na ulazni prekidač ne dovede okidni impuls. Napon na kondenzatoru $v_{\rm C}$ zadržava vrednost datu sa (2.6). Okidni impuls prevodi multivibrator u nestabilno stanje u kojem je tranzistor T_2 zakočen, a T_1 u saturaciji. Pod ovim uslovima šema osnovnog kola data je na sl. 2.10. Odgovarajući deo kola sa sl. 2.10 dat je na sl.2.11 čiji je Teveninov ekvivalent na sl.2.12. odnosno na sl.2.13.



Sl. 2.10.



S1. 2.11.

S1. 2.12.

gde su

$$I'' = \frac{R_{CE}}{R_{L_1} + R_{CE}} V_{CC} \qquad R'' = \frac{R_{L_1} R_{CE}}{R_{L_1} + R_{CE}}$$

Primenom Kirhofovih pravila na kolo (sl.2.13) dobija se

$$- V_{CC} + \frac{R_{CE}}{R_{L_1} + R_{CE}} V_{CC} + \left(\frac{R_{L_1}R_{CE}}{R_{L_1} + R_{CE}} + R_b \right) i_C + v_C = 0$$

Kako je $i_c = C dv_c/dt$, može se napisati

2.7

$$- v_{CC} + \frac{R_{CE}}{R_{L_1} + R_{CE}} v_{CC} + \tau \frac{dv_C}{dt} + v_C = 0$$
 2.8

- 12 -

gde je

$$\tau = C(R'' + R_b) = \left(\frac{R_{L_1}R_{CE}}{R_{L_1} + R_{CE}} + R_b\right)C$$

Relacija 2.8 predstavlja diferencijalnu jednačinu prvog reda koja se rešava metodom razdvajanja promenljivih. Opšti integral jednačine 2.8 ima oblik

$$v_{\rm C} = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + V_{\rm CC} - \frac{R_{\rm CE}}{R_{\rm L_1} + R_{\rm CE}} V_{\rm CC}$$
 2.9

Integraciona konstanta A odredjuje se iz početnih uslova, prema 2.6, odnosno za t = 0 je $v_c = -(V_{cc} - V_o)$, pa se dobija

$$A = \frac{R_{CE}}{R_{L_1} + R_{CE}} V_{CC} - 2V_{CC} + V_0$$
 2.10

Partikularni integral jednačine 2.8 ima, prema tome, oblik

$$\mathbf{v}_{C} = \left(\frac{\mathbf{R}_{CE}}{\mathbf{R}_{L_{1}} + \mathbf{R}_{CE}} \mathbf{v}_{CC} - 2\mathbf{v}_{CC} + \mathbf{v}_{o}\right) e^{-\frac{C}{\tau}} + \mathbf{v}_{CC} - \frac{\mathbf{R}_{CE}}{\mathbf{R}_{L_{1}} + \mathbf{R}_{CE}} \mathbf{v}_{CC} 2.11$$

Kako je $i_{C} = C \cdot dv_{C}/dt$ iz 2.11 se dobija

$$i_{C} = \left(2V_{CC} - V_{o} - \frac{R_{CE}}{R_{L_{1}} + R_{CE}} V_{CC}\right) \cdot \frac{R_{L_{1}} + R_{CE}}{R_{L_{1}} R_{CE} + (R_{L_{1}} + R_{CE}) R_{b}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} 2.12$$
gde je
$$\frac{C}{\tau} = \frac{1}{R'' + R_{b}}.$$

Primenom Kirhofovih pravila na kolo sa sl. 2.13 takodje se dobija

$$v_{BE_2} = V_{CC} - R_b i_C \qquad 2.13$$

Ako se vrednost i_C iz 2.12 uvrsti u 2.13 dobija se

$$v_{BE_2} = v_{CC} - \left(2v_{CC} - v_o - \frac{R_{CE}}{R_{L_1} + R_{CE}} v_{CC}\right) \frac{R_b}{R'' + R_b} e^{-\frac{t}{\tau}}$$
 2.14

Kako je $R'' << R_b$ može se uvesti da je $R''+R_b \approx R_b$, pa se izraz 2.14 može napisati u obliku

$$v_{BE_2} = V_{CC} - \left(2V_{CC} - V_0 - \frac{R_{CE}}{R_{L_1} + R_{CE}} V_{CC}\right) \cdot e^{-\frac{C}{\tau}}$$
 2.15

Iz sl.2.13 dalje se može napisati

$$\mathbf{v}_{\mathrm{CE}_{1}} = \mathbf{v}_{\mathrm{BE}_{2}} - \mathbf{v}_{\mathrm{C}}$$

Na osnovu jednačina 2.15 i 2.11 može se napisati

$$\mathbf{v}_{CE_1} = \mathbf{V}_{CC} + \mathbf{A} \cdot \mathbf{e}^{-\frac{\mathbf{t}}{\mathbf{T}}} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{e}^{-\frac{\mathbf{t}}{\mathbf{T}}} - \mathbf{V}_{CC} + \frac{\mathbf{R}_{CE}}{\mathbf{R}_{L_1} + \mathbf{R}_{CE}} \mathbf{V}_{CC}$$

gde je A konstanta iz jednačine 2.10, odnosno

$$v_{CE_1} = \frac{R_{CE}}{R_{L_1} + R_{CE}} V_{CC}$$
 2.17

Na sličan način mogu se odrediti i ostale veličine $(v_{BE_1}, v_{CE_2} \ i \ i_{B_1})$ karakteristične za nestabilno stanje u kolu. Ukoliko se posmatra kolo sa sl. 2.10 i to deo dat na sl.2. 14. odnosno sl. 2.15, primenom Kirhofovih pravila se dobija

S1. 2.14.

S1.2.15.

 $V_{CC} - (R + R_L + h_{ie})i_B - V_o = 0$ 2.18

gde je uzeto $i_B \equiv i_B$. Iz 2.18 se dobija da je

$$i_{B_1} = \frac{V_{CC} - V_o}{R + R_L + h_{ie}}$$
 2.19

Može se dalje odrediti i

$$v_{BE_1} = V_0 + \frac{V_{CC} - V_0}{R + R_L + h_{ie}} h_{ie}$$
 2.20

odnosno

$$v_{CE_2} = V_{CC} - \frac{V_{CC} - V_o}{R + R_L + h_{ie}} R_L$$
 2.21

Ovo nestabilno stanje traje sve dok se napon v_{BE_2} po vrednosti ne izjednači sa V_0 (posle čega dolazi do promene stanja). Vremenski interval koji odgovara promeni stanja veoma je kratak, u tom se intervalu jedino napon na kondenzatoru nije promenio. Ovaj napon odredjuje početni uslov nastanka nestacio-

narnog dela stabilnog stanja. Ovaj se početni uslov može odrediti ako se u jedn. 2.15 uvrsti $v_{BE_2} = V_o$ za t = T, pa se dobija

$$V_{o} = V_{CC} - \left(2V_{CC} - V_{o} - \frac{R_{CE}}{R_{L_{1}} + R_{CE}} V_{CC}\right) \cdot e^{-\frac{T}{\tau}}$$
$$V_{o} = V_{CC} + A \cdot e^{-\frac{T}{\tau}}$$
2.22

odnosno

gde je A konstanta data sa 2.10. Iz 2.22 može eksponencijalni član da se izrazi kao m

$$e^{-\frac{1}{\tau}} = \frac{V_{CC} - V_0}{A}$$
 2.23

Kao što je rečeno vreme promene stanja (prelaz nestabilnog u stabilno) traje veoma kartko, a vrednost napona na kondenzatoru za t = T može se izračunati ako se u jednačinu 2.11 uvede da je $v_c = v_c(T) = V_c$, kao i s obzirom na 2.23 dobija se

$$V_{\rm C} = -A \frac{V_{\rm CC} - V_{\rm o}}{A} + V_{\rm CC} - \frac{R_{\rm CE}}{R_{\rm L_1} + R_{\rm CE}} V_{\rm CC}$$

odnosno

$$V_{\rm C} = V_{\rm o} - \frac{R_{\rm CE}}{R_{\rm L_1} + R_{\rm CE}} V_{\rm CC}$$
 2.24

Prema tome, vrednost napona V_C data sa 2.24 predstavlja početni uslov nestacionarnog dela stabilnog stanja.

Pri analizi stabilnog stanja (nestacionarni deo) koristi se kolo sa sl. 2.9. Primenom Kirhofovih pravila može se napisati

$$V' - (V_{CC} - V_0) - V_C - (R' + R_{L_1})i_C = 0$$
 2.25

Kako je $i_C \equiv i_C$, = $C \cdot dv_C/dt$ jednačina 2.25 ima oblik

$$\frac{dv_{C}}{v_{C} + v_{CC} - v_{o} - v'} = -\frac{1}{\tau_{1}} dt \qquad 2.26$$

gde je $\tau_1 = (R'+R_L)C$. Ako se uzme u obzir da je

$$V' = \frac{h_{ie}}{h_{ie} + R_b} (V_{CC} - V_o) \simeq 0 ,$$

relacija 2.26 prelazi u

$$\frac{dv_{C}}{v_{C} + v_{CC} - v_{o}} = -\frac{1}{\tau_{1}} dt$$
 2.27

Relacija 2.27 (modifikovani oblik 2.26) predstavlja diferencijalnu jednačinu, koja se rešava metodom razdvajanja promenljivih i čiji opšti integral ima oblik

$$v_{\rm C} = B \cdot e^{-\frac{U}{\tau_1}} - (V_{\rm CC} - V_{\rm o})$$
 2.28

gde je B integraciona konstanta koja se odredjuje iz početnih uslova. Prema 2.24 može se napisati

$$za t = 0 je$$

$$v_{\rm C} = V_{\rm C} = V_{\rm o} - \frac{R_{\rm CE}}{R_{\rm L_1} + R_{\rm CE}} V_{\rm CC} = V_{\rm o} - V''$$
,

pa integraciona konstanta B ima vrednost

$$B = V_{CC} - V''$$
 2.29

Partikularni integral jednačine 2.28, prema tome, ima oblik

$$v_{\rm C} = (V_{\rm CC} - V'') \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_1}} - (V_{\rm CC} - V_{\rm o})$$
 2.30

Kako je

dobija se s

$$i_{C} = C \cdot \frac{dv_{C}}{dt} \qquad i \quad \frac{C}{\tau_{1}} = \frac{1}{R' + R_{L1}}$$
obzirom na 2.30

$$i_{\rm C} = -\frac{V_{\rm CC} - V''}{{\rm R}' + {\rm R}_{\rm L1}} e^{-\frac{L}{\tau_1}}$$
 2.31

Primenom Kirhofovih pravila za kolo na sl.2.6 mogu se napisati sledeće relacije

$$\mathbf{v}_{\mathrm{BE}_{2}} = \mathbf{v}_{\mathrm{BE}}^{*} + \mathbf{V}_{\mathrm{O}}$$
 2.32

$$\mathbf{v}_{CE_1} = \mathbf{v}_{CE}' + \mathbf{V}_0 \tag{2.33}$$

Takodje za kolo na sl. 2.9 sledi

$$v_{CE}' = V_{CC} - V_0 + R_{L_1} i_C$$
 2.34

pa se s obzirom na 2.31 dobija

$$v'_{CE} = V_{CC} - V_{o} - (V_{CC} - V'') \frac{R_{L_1}}{R' + R_{L_1}} \cdot e^{-\frac{U}{T_1}}$$
 2.35

Ako se vrednost v'_{CE} iz 2.35 uvrsti u 2.33 dobija se

$$v_{CE_1} = v_{CC} - (v_{CC} - v'') \frac{R_{L_1}}{R' + R_{L_1}} e^{-\frac{t}{\tau_1}}$$
 2.36

Posebno se, primenom Kirhofovih pravila na kolo sa sl. 2.9, može odrediti i veličina v'_{BE} , odnosno v_{BE_2} , kako sledi

- 15 -

$$\mathbf{v}'_{\mathrm{BE}} = \mathbf{V}' - \mathbf{R}'\mathbf{i}_{\mathrm{C}}$$

odnosno, prema 2.31

$$v'_{BE} = V' + (V_{CC} - V'') \frac{R'}{R' + R_{L_1}} e^{-\frac{U}{\tau_1}}$$

Veličina V' može se u izrazu 2.37 zanemariti iz istih razloga kao pri prelazu 2.26 u 2.27, pa se 2.37 može napisati u obliku

$$v'_{BE} = (V_{CC} - V'') \frac{R'}{R' + R_{L1}} e^{-\frac{C}{T_1}}$$
 2.38

Ako se konačno vrednost $v'_{\rm RE}$ iz 2.38 uvrsti u 2.32, dobija se

$$v_{BE_2} = (V_{CC} - V'') \frac{R'}{R' + R_{L_1}} e^{-\frac{C}{\tau_1}} + V_0$$
 2.39

2.2. UOBLIČIVAČ IMPULSA

Da bi se monostabilni multivibrator preveo u nestabilno stanje, potreban je pozitivan impuls koji se dovodi na bazu zakočenog tranzistora. Ovaj se impuls generiše pomoću kola za uobličavanje impulsa datog na sl.2.16. Na ulaz uobličivača vezan je generator sinusnog signala, kontinualno promenljive učestanosti i amplitude. Vrednost izabrane učestanosti očitava se na skali generatora, a amplituda se reguliše posebnim atenuatorom (kalibrisani potenciometar).

Ulazni signal v_i dovodi se preko serijski vezanog otpora R_G i kondenzatora za spregu C₁ na bazu prvog tranzistora (T₁), koji predstavlja pojačavač napona klase A. Tako dovoljno pojačan signal sa kolektora prvog tranzistora preko kondenzatora za spregu (C₂) dolazi na bazu drugog tranzistora. Radna tačka drugog tranzistora izabrana je tako da se nalazi blizu linije saturacije, a odredjena je sa V_{CE} = 0.4 V, I_C = 9.5 mA, I_B = 20 μ A (grafik II). Taj pojačan impuls preko kola za diferenciranje (C₀ - R₀) i diode D₁, koja je orijentisana tako da propušta pozitivne impulse, vodi se sa izlaza uobličivača na ulaz monostabilnog multivibratora i pobudjuje ga. Ako se na izlazu uobličivača, tj. posle diode D₁ i pojavi neki negativni impuls, dioda D₂ spaja ga kratko na masu.

Sl. 2.16. Šema uobličivača impulsa u spoju sa zajedničkim. emitorom Numeričke vrednosti elemenata uobličivača mogu se proračunom odrediti, ako se posmatra kolo (deo kola) sa sl. 2. 16 na sl. 2.17.

Sl. 2.17.

a) Prvi stepen kola za uobličavanje: Iz karakteristika tranzistora T_1 (grafik I) dobijene su sledeće vrednosti: $V_{CE} = 6 V I_C = 2.3 \text{ mA} I_B = 4 \mu A$; a veličina

 $V_{CC} = 12 V zadata je unapred.$

Primenom Kirhofovih pravila za kolo na sl. 2.17. može se radni otpor R_{I} odrediti na sledeći način:

$$\mathbf{v}_{\rm CE} = \mathbf{V}_{\rm CC} - \mathbf{R}_{\rm L} \mathbf{i}_{\rm C} \qquad 2.40$$

Sa grafika I (izlazne karakteristike) vidi se da je za $v_{CE} = 0$, $i_C = I_C = 4.6$ mA, pa je

$$R_{\rm L} = \frac{V_{\rm CC}}{I_{\rm C}} = \frac{12V}{4.6mA} = 2.60 \ k\Omega$$

Usvojena je prva bliža standardna vrednost od $R_{\rm L}$ = 2.7 k Ω .

Primenom Kirhofovih pravila za kolo na sl. 2.17 mogu se takodje odrediti i veličine R_E i R_2 . Polazeći od sledećih jednačina:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_B - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} i_B + R_E i_E = 0$$
 2.41

$$V_{\rm B} - R_{\rm L} i_{\rm C} - v_{\rm CE} + R_{\rm E} i_{\rm E} = 0$$
 2.42

$$i_{C} + i_{B} + i_{F} = 0$$
 2.43

Pored vrednosti koje su već date, poznati su i sledeći podaci: $V_B = 15 V$; $R_E I_E = 3 V$; $R_1 = 220 k\Omega$, pa se dobija

$$I_E = -(I_B + I_C) = -(0.004 + 2.3) \text{mA} = -2.304 \text{ mA}$$

Na osnovu jednačina 2.40 i 2.42 može se napisati

$$V_{\rm B} - V_{\rm CC} + R_{\rm E}I_{\rm E} = 0$$
 2.44

odakle je

 $V_{\rm B} = 2.304 \cdot R_{\rm E} + 12$

odnosno

$$R_{\rm E} = 1.3 \ k\Omega$$
.

Na osnovu jednačine 2.41 i poznatih podataka dobija se

$$R_{2} = \frac{-R_{E}I_{E}R_{1}}{V_{B} - R_{1}I_{B} + R_{E}I_{E}} = \frac{3V \cdot 220k\Omega}{15V - 3V - (220k\Omega \cdot 4\mu A)}$$

odakle je

$$R_2 = 59.3 k\Omega$$

a usvojena standardna vrednost

$$R_2 = 62 \ k\Omega \ .$$

 b) Drugi stepen kola za uobličavanje impulsa: Iz izlaznih karakteristika (grafik II) drugog tranzistora i izabrane radne tačke, a prema 2.43, dobija se

 $I_{E} = -(0.020 + 9.5) \text{ mA} = -9.52 \text{ mA}$.

Kako je $R_E I_E = 3V$, dobija se

$$R_{\rm E} = \frac{3V}{9.52 \text{mA}} = 0.315 \text{ k}\Omega = 315 \Omega$$

Ova vrednost (315 Ω) otpornika dobijena je selekcijom u najbližim grupama standardnih vrednosti, te je i usvojena.

Na osnovu datih podataka $R_4 = 100 \ k\Omega$ i vrednosti $I_B = 0.025 \ mA$, posebno se još može izračunati vrednost otpornika R_3 . Ovo se postiže analizom dela kola na sl.2.16 koji se nalazi na sl.2.18 a čiji je Teveninov ekvivalent dat na sl.2.19.

Sl. 2.18.

Sl. 2.19.

Primenom Kirhofovih pravila za kolo na sl.2.19.

$$3.4 + \frac{R_{3}R_{4}}{R_{3} + R_{4}} I_{B} - \frac{R_{4}}{R_{3} + R_{4}} 15 = 0 \qquad 2.45$$

$$3.4 + \frac{100R_3}{R_3 + 100} \cdot 0.025 - \frac{100}{R_3 + 100} 15 = 0$$

odakle se dobija brojna vrednost

$$R_3 = 196.6 \ k\Omega$$

a usvojena je vrednost

 $R_3 = 180 \ k\Omega$.

Izlazne karakteristike tranzistora BC 209 C (T_1)

- 21 -

Grafik II

Izlazne karakteristike tranzistora BC 209 C (T_2)

- 22 -

GLAVA III

3.1. KONSTRUKCIJA MONOSTABILNOG MULTIVIBRATORA

Monostabilni multivibrator je radjen prema šemi na sl. 3.1.

Sl. 3.1.

Otpornici R_L i R_b odredjuju radnu tačku tranzistora T_2 u stabilnom režimu rada, dok je radna račka tranzistora T_1 odredjena pomoću otpornika R_{L_1} i serijske veze otpora R_L i R. Dioda D predstavlja ograničivač napona izmedju tačke A i mase.

Kako je bilo potrebno da se odrede numeričke vrednosti elemenata ovog kola, kao i da se odaberu tranzistori koji će se u kolo ugraditi, snimljene su statičke karakteristike više tranzistora. Od svih tranzistora čije su karakteristike snimljene odabrana su dva izmedju kojih su razlike u karakterističnim vrednostima minimalne. Upotrebljeni su tranzistori tipa BC 209 C (NPN - silicijumski).

Kolo za snimanje karakteristika dato je na sl.3.2. Napon baterije V_{BB} održava spoj baza-emitor u direktnoj polarizaciji (normalan režim rada). Potenciometar R reguliše napon izmedju klizača i mase, a time posredno i struju baze i_B koja je ograničena otpornikom R_b, a meri se mikroampermetrom. Naponi izmedju baze i emitora, kao i izmedju kolektora i emitora mere se voltmetrima. Baterija V_{CC} održava napon inverzne polarizacije spoja baza-kolektor. Napon v_{CE} reguliše se poten-

- 24 -

Vrednosti dobijene merenjem unete su u tabele, a na milimetarskoj harti i nacrtani su i grafici (III - IX). Radi ilustracije data je skica dela tabele koje su korišćene

| $I_{b}[\mu A]$ | 2 | 14 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 20 |
|---------------------|------|---------------|---------|----------------|------|------|------|------|
| V _{CE} [V] | | distantion of | W.C. 25 | I _C | [mA] | | | |
| 1 | 0.95 | 2.15 | 3.25 | 4.65 | 5.75 | 7.00 | 8.90 | 11.6 |
| 2 | | | | | | | | |

TABELA I

Pri snimanju karakteristika vodilo se računa o ograničenjima propisanim od strane proizvodjača, kako ne bi došlo do preopterećenja pojedinih elemenata. Ova se ograničenja odnose na: 1. Maksimalnu kolektorsku struju I_{Cmax} koja predstavlja najveću dozvoljenu struju kolektorskog spoja, a ograničena je dozvoljenom temperaturom spoja, kao i veoma tankim žicama koje vezuju poluprovodnik sa spoljašnjim priključcima

2. Maksimalni kolektorski napon $V_{{\rm CE}max}.$ Premašenje ove vrednosti napona dovodi do proboja i uništenja tranzistora.

3. Maksimalna kolektorska disipacija $P_{C_{max}}$ koja je propisana od strane proizvodjača, a uvedena je u prvom redu zbog zagrevanja poluprovodnika (kolektorskog spoja). Ova je vrednost u konkretnom primeru bila $P_{C_{max}} = 100$ mW.

U cilju da se bolje definiše grafik u oblasti saturacije (linija saturacije) kao i da se omogući bolje očitavanje vrednosti kolektorske struje i_{C} i napona v_{CE} u oblasti malih vrednosti ovog napona, posebno su snimljene karakteristike u intervalu promene napona $0 \leq v_{CE} \leq 1$ V sa korakom od 0.1 V,

S1. 3.2.

pa i manjim (grafici V i VI).

Takodje su snimljene ulazne karakteristike za vrednosti napona (parametar) $v_{CE} = 0$, 1, 5 V pri čemu se struja baze menjala u intervalu $0.2 \ \mu A < i_B < 30 \ \mu A$ (grafici VII i VIII).

Vidi se sa sl. 3.1 da je u kolu baze tranzistora T_2 vezana i dioda D, pa su, zbog toga, snimljene i karakteristike sa diodom u datoj vezi (grafik IX).

Korišćenjem ovih karakteristika, kao i kola na sl. 3.1, proračunate su i vrednosti elemenata u kolu i to:

$$R_{b} = \frac{V_{CC}}{I_{B}} = \frac{12V}{50\mu A} = 0.24 \text{ M}\Omega .$$

$$R_{L} = \frac{V_{CC}}{I_{C}} = \frac{12V}{9.9\text{m}A} = 1.20 \text{ k}\Omega .$$

$$h_{ie} = \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta i_{B}} = \frac{(0.633 - 0.6)V}{0.025 \text{ m}A} = 1.32 \text{ k}\Omega$$

$$R_{CE} = \frac{V_{CE}}{I_{C}} = \frac{0.3V}{14.5\text{m}A} = 0.02 \text{ k}\Omega .$$

Usvojena je vrednost $R = 0.24 M\Omega$, a sa grafika VIII pročitana je vrednost $V_0 = 0.6 V$.

Vremenska konstanta multivibratora izračunata je prema obrascu

$$\tau = R_b C \ln 2$$

Vrednost ove konstante je odredjena gornjom graničnom učestanoću u opsegu rada uredjaja. S obzirom na zahtev da bude 10 kHz mora biti i $\tau = 10^{-4}$ s. Iz ovih se uslova može odrediti C prema obrascu

 $C = \frac{10^{-4}}{R_b \ell n 2} = \frac{10^{-4}}{240k\Omega \times 0.693} = 690 \text{ pF}$.

Pokazalo se da je, zbog parazitnih kapaciteta, prva niža standardna vrednost kondenzatora podesna s obzirom na gornju graničnu frekvenciju. Usvojena je, prema tome, vrednost C = 500 pF.

Oba proračunata kola (monostabilni multivibrator i uobličivač impulsa) konstrukciono su izvedeni u bliku makete, čime je postignuta standardna konfiguracija laboratorijske vežbe i moći će da se koristi kao posebna vežba u ciklusu elektronskih kola uz odgovarajući eksperimentalni zadatak.

- 25 -

- 26 -

\$

- 27 -GRAFIK IV

Izlazne karakteristike tranzistora T₂ (multivibrator) BC 209 C

Izlazne karakteristike tranzistora T_1 (detalj)

- 28 -

11.11

29 -

Izlazne karakteristike tranzistora T₂ (detalj)

- 30 -

Ulazne karakteristike tranzistora T₁

- 31 -

Ulazne karakteristike tranzistora T2

Ulazne karakteristike tranzistora T_2 u seriji sa diodom

- 32 -

3.2. MERENJA I OBRADA REZULTATA

Opšti izgled sagradjenih uredjaja dat je na sl. 3. 3. uz prateće instrumente za ispitivanje dinamičkih karakteristika.

Sl. 3.3.

Merni komplet sa sl. 3.3. sadrži:

- 1. Kolo uobličivača impulsa (maketa)
- 2. Kolo monostabilnog multivibratora (maketa)
- 3. Multimeter UNIGOR 6e GOERZ ELEKTRO
- 4. Osciloskop 454 TEKTRONIX (Kamera C 30)
- 5. Ton generator GM 2308 PHILIPS
- 6. Ispravljač IP 18 HEATHKIT (15 V, 500 mA)

Nakon povezivanja i uključivanja uredjaja pristupilo se snimanju karakterističnih talasnih oblika impulsa. Pri nekoj izabranoj frekvenciji ulaznog signala, posmatrani su impulsi na izlazu uobličivača, kao i u nekim tačkama multivibratora, pomoću osciloskopa, a zatim uz pomoć kamere snimljeni. Snimci su realizovani na polaroid filmu, tj. dobijeni su neposredno po ekspoziciji (razvijanje traje 15 s). Polaroid snimci su posle snimljeni u klasičnoj tehnici i umnoženi, zato njihov kvalitet nešto opada u odnosu na original. Detalji ovih snimanja dati su na sl. 3.4 - sl. 3.10. Korišćenje polaroid-filma podesno je i za impulse malih intenziteta, odnosno snimanje talasnih oblika čiji su impulsi kratkog vremena trajanja. Ovo se postiže zahvaljujući dovoljnoj osetlivosti filma.

Kanal I. Izlaz uobličivača Kanal II. Emitor (2) " Vremenska baza: 0.1 ms/cm Osetljivost: 0.5 V/cm Frekvencija: 2 kHz

S1. 3.4.

| Kanal | I. | \mathbf{v}_{B} | Ε, | (m | ul | tiv | ibr | ato | r) |
|--------|------|---------------------------|----------------|------------|----|-----|------|-----|----|
| Kanal | II. | vc | E ₂ | (m | ul | tiv | ibra | ato | r) |
| Vremen | iska | baz | a: | 0. | 1 | ms/ | cm | | |
| Osetlj | ivos | st: | 0. | 5 | v/ | ′cm | | | |
| Frekve | ncij | a: | 2 | kН | z | | | | |

Sl. 3.5.

Kanal I. v_{BE_1} (multivibrator) Kanal II. v_{CE_2} (multivibrator) Vremenska baza: 0.2 ms/cm Osetljivost: 0.5 V/cm Frekvencija: 1 kHz

Sl. 3.6.

S1. 3.7. Kanal I. v_o (uobličivač)
Kanal II. v_{BE2} (multivibrator)
Vremenska baza: 0.1 ms/cm
Osetljivost: 5 V/cm
Frekvencija: 2 kHz

S1. 3.8.

Kanal I. v_o (uobličivač) Kanal II. v_{BE2} (multivibrator) Vremenska baza: 0.1 ms/cm Osetl**jiv**ost: 0.5 V/cm Frekvencija: 2 kHz

Sl. 3.9.

Kanal I. v_0 (uobličivač) Kanal II. v_{BE_2} (multivibrator) Vremenska baza: 50 µs/cm Osetljivost: 5 V/cm Frekvencija: 4 kHz

Sl. 3.10. Kanal

KanalI. v_{BE_1} (multivibrator)KanalII. v_{CE_2} (multivibrator)Vremenska baza:50 µs/cmOsetljivost::5 V/cmFrekvencija:4 kHz

ZAKLJUČAK

Ispitivanje dinamičkih karakteristika sagradjenih uredjaja, uobličivača impulsa i monostabilnog multivibratora, pokazalo je da postoji slaganje izmedju snimljenih impulsa tipa v_{BE_2} (sl. 3.7) i računski odredjene krive prema jednačini 2.15. Ova jednačina je po formi matematička funkcija tipa

$$y = A \cdot e^{-x} + B$$

gde su A i B konstante. Ova je funkcija izračunata i grafički prikazana na sl. 3.11. Za brže odredjivanje diskretnih vre-

Sl. 3.11.

dnosti pojedinih tačaka ove funkcije korišćene su numeričke tablice eksponencijalnih funkcija e^{-x} .

Može se posebno konstatovati da postoji linearna korespondencija izmedju vrednosti frekvencije ulaznog signala i broja impulsa (v_{CE2}) odnosno kolektorske struje tranzistora T₁ multivibratora. Ovo slaganje važi od donje granične učestanosti uobličivača (900 Hz) do gornje granične učestanosti multivibratora (≃ 10 kHz). Ova su merenja, medjutim, predmet daljih radova.

- 37 -

LITERATURA

| 1. | Alley L. C., Atwood W. K., Electronic Engineering, |
|----|--|
| | John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962. |
| 2. | Mattson H. R., Electronics, John Wiley & Sons, Inc., |
| | New York, 1966. |
| 3. | Milivojević B., Pantić D., Tranzistorska elektronika, |
| | Zavod za izdavanje udžbenika SRS, Beograd, 1964. |
| 4. | Pavlov M., ELEKTRONIKA (drugi deo), skripta, Novi Sad, 1973. |
| 5. | Raković D. B., Elektronika II, Naučna knjiga, Beograd, 1962. |
| 6. | Степаненко И. П., Основы теории транзисторов и транзистор- |
| | ных схем, Москва, 1967. |
| 7. | Vrbavac P., Cvekić M., Osnovi tranzistorske tehnike, |
| | Tehnička knjiga, Beograd, 1968. |

