

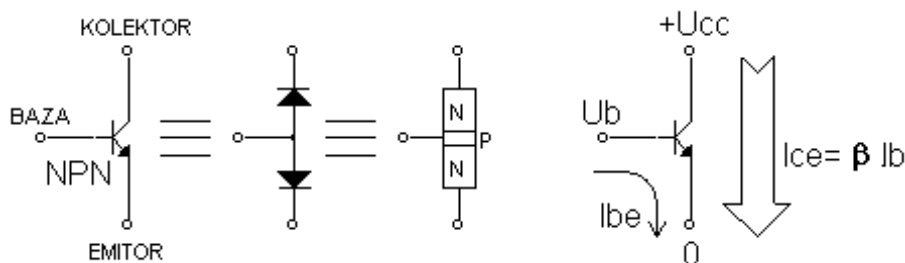
6 Ojačevalnik s tranzistorjem

6.1 Ozadje

Tranzistor je polprevodniški element s tremi priključki: kolektorjem, emitorjem in bazo. Sestavljajo ga tri plasti polprevodniškega materiala po sliki 5.1a. Srednja plast, baza, je zelo tanka. Tako pridemo do strukture NPN. Za tok med bazo in emitorjem I_{BE} velja enaka odvisnost od priključene napetosti U_{BE} kot pri polprevodniški diodi:

$$I_{BE} = I_{0E} \left(e^{\frac{e_0 U_{BE}}{kT}} - 1 \right)$$

V enačbi pomeni I_{0E} zaporni tok, ki je od 10^{-6} do 10^{-10} A, e osnovo naravnih logaritmov 2.71, e_0 osnovni naboj elektrona 1.6×10^{-19} As, k Boltzmannovo konstanto 1.38×10^{-23} J/K ter T absolutno temperaturo.



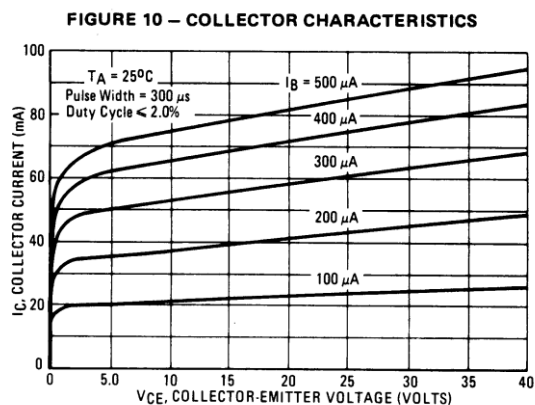
SLIKA 6.1: A) SIMBOL ZA TRANZISTOR, B) OZNAKE NAPETOSTI TER TOKOV

Če priključimo pozitivno napetost na bazo, ozemljena pa sta emitor in kolektor, se tok iz baze razveji. To razvejitev podremo tako, da s pozitivno napetostjo U_{CC} na

kolektorju preprečimo tok skozi diodo med bazo in kolektorjem (slika 6.1b). Pričakujemo le tok iz baze v emitor. To bi tudi veljalo, če bi vezje z diodami s slike 6.1a res ustrezalo tranzistorju. V resnici pa ležita oba PN spoja tako tesno skupaj, da ju ne moremo obravnavati ločeno. Izkaže se, da požene tok I_{BE} na progi baza-emitor β krat večji tok I_{CE} na progi kolektor-baza-emitor (faktor β ima lahko vrednost od nekaj 10 za tranzistorje, ki so namenjeni tokovom nad 1A, do več kot 1000 za posebne izvedbe tranzistorjev za male tokove; tipična vrednost ojačevalnega faktorja β je 100). Zapišemo lahko:

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Slednja ugotovitev ni povsem točna. Kolektorski tok je nekoliko odvisen tudi od napetosti med kolektorjem in emitorjem. Za enega od tipičnih tranzistorjev kaže to odvisnost slika 6.2. Kljub temu pa dovolj dobro shajamo s poenostavljenim zapisom, ki ne upošteva vpliva te napetosti.



SLIKA 6.2: KARAKTERISTIKA TRANZISTORJA

Tokovno ojačenje tranzistorja izkoristimo med drugim za gradnjo ojačevalnikov električnih signalov.

6.2 Naloga

6.2.1 Sestavi vezje po shemi 6.3. in ga preskusi

- V tem vezju teče tok I_B od vhodnega priključka X skozi upornik R_B v bazo tranzistorja. Kadar je vhodna napetost X večja od napetosti U_{BE} , velja pa pozitivne vhodne napetosti zveza $I_B = \frac{X - U_{BE}}{R_B}$. Zato lahko zapišemo tok I_C v kolektor tranzistorja: $I_C = \beta \cdot \frac{(X - U_{BE})}{R_B}$, za padec napetosti na uporniku R_C med kolektorjem tranzistorja in napajalno napetostjo pa:

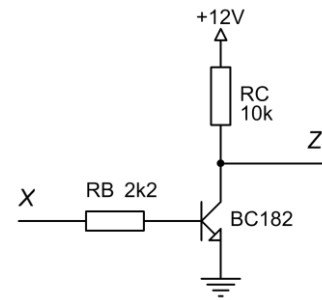
$$U_{RC} = \beta \cdot \frac{R_C}{R_B} \cdot (X - U_{BE})$$

Vezje poveča velikost vhodnega signala.

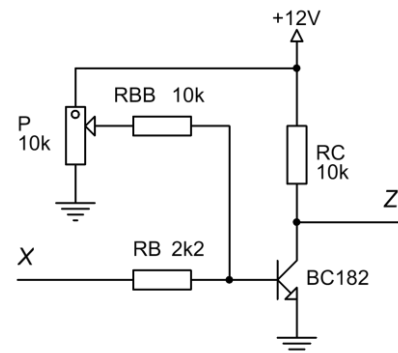
- Na vhodno sponko vezja X priključi trikotni signal s funkcijskega generatorja in preveri, če je izhodni signal na sponki Z po obliki podoben vhodnemu. Za katere vrednosti vhodnega signala lahko trdimo, da sta si oba podobna? Ali se da nastaviti vhodni tako, da bo izhodni signal Z vedno podoben vhodnemu signalu X ? Kako je s predznakom?
- Vezje s prejšnje slike sicer poveča signal, a le za pozitivne vhodne vrednosti. Kadar je vhodni signal prevelik, izhodna napetost pride do vrednosti nič voltov, takrat pravimo, da je tranzistor »v nasičenju«.
- ✓ Ocenjena vrednost izhodne upornosti za vezje s slike 6.3 =>
- ✓ Ocenjena vrednost vhodne upornosti za vezje s slike 6.3 =>
- ✓ Ocenjena vrednost ojačenja za vezje s slike 6.3 =>

- Vezje s slike 6.3 spremenimo tako, da bo izhodni signal po obliki podoben vhodnemu. To storimo tako, da v bazo tranzistorja pošljemo dodaten konstanten tok, ki izhodno napetost Z na kolektorju postavi na približno polovico napetosti U_{CC} takrat, ko je vhodna napetost X enaka nič. Shema vezja je na sliki 6.4. Pravimo, da smo izbrali delovno točko tranzistorja.

- ✓ Nastavi trimmer P tako, da bo izhodna napetost Z enaka 6V takrat, ko je vhodna napetost enaka nič. Priključi trikotni vhodni signal in potrdi, da je izhodni signal po obliki podoben vhodnemu.
- ✓ Oцени vrednost ojačenja za to vezje =>
- ✓ Zamenjaj upornik R_B s kondenzatorjem $C_B = 1\mu F$. Ponovno nastavi izhodno napetost na 6V in oceni vrednost ojačenja =>
- ✓ Preveri, kako vpliva na ojačenje zamenjava tranzistorja =>
- ✓ Postavi vhodno napetost X na vrednost nič in ponovno nastavi izhodno napetost na vrednost 6V. Opazuj izhodno napetost, ki bi morala ostati 6V in se dotakni tranzistorja. Z naraščanjem njegove temperature pada izhodna napetost. Oцени odvisnost izhodne napetosti od temperature =>



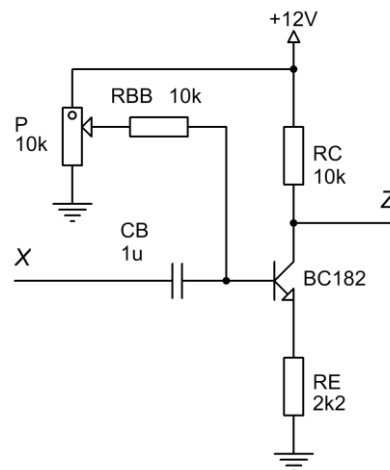
SLIKA 6.3: VEZJE PRVEGA OJAČEVALNIKA



SLIKA 6.4: SHEMA ENOSTAVNEGA OJAČEVALNIKA ZA POZITIVNE IN NEGATIVNE VHODNE NAPETOSTI

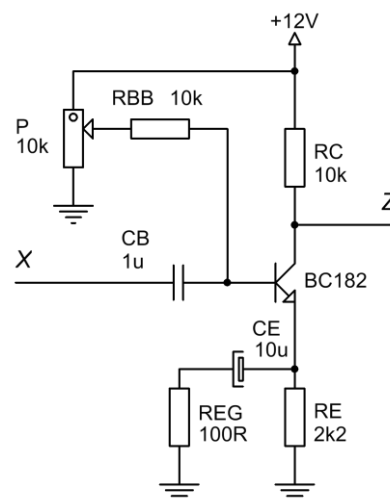
- Izhodna napetost vezja s slike 6.4 je preveč odvisna od temperature. Občutljivost zmanjšamo z upornikom v emitorju, glej sliko 6.5. Tokrat je vhodni signal priključen preko kondenzatorja CB, zato delovno točko nastavljamo neodvisno od vhodne napetosti, ojačevalnik pa je primeren le za izmenične signale.

- ✓ Nastavi delovno točko tranzistorja na polovico napajalne napetosti (6V); z ogrevanjem potrdi, da je zdaj delovna točka manj odvisna od temperature.
- ✓ Priključi na vhod harmonski signal s frekvenco približno 1 kHz on določi ojačenje vezja =>
- ✓ Spreminjaj frekvenco vhodnega signala. Ali je ojačenje enako za vse frekvence? Značilni mejni frekvenci sta tisti, kjer ojačenje pade na 0.707 največje vrednosti.



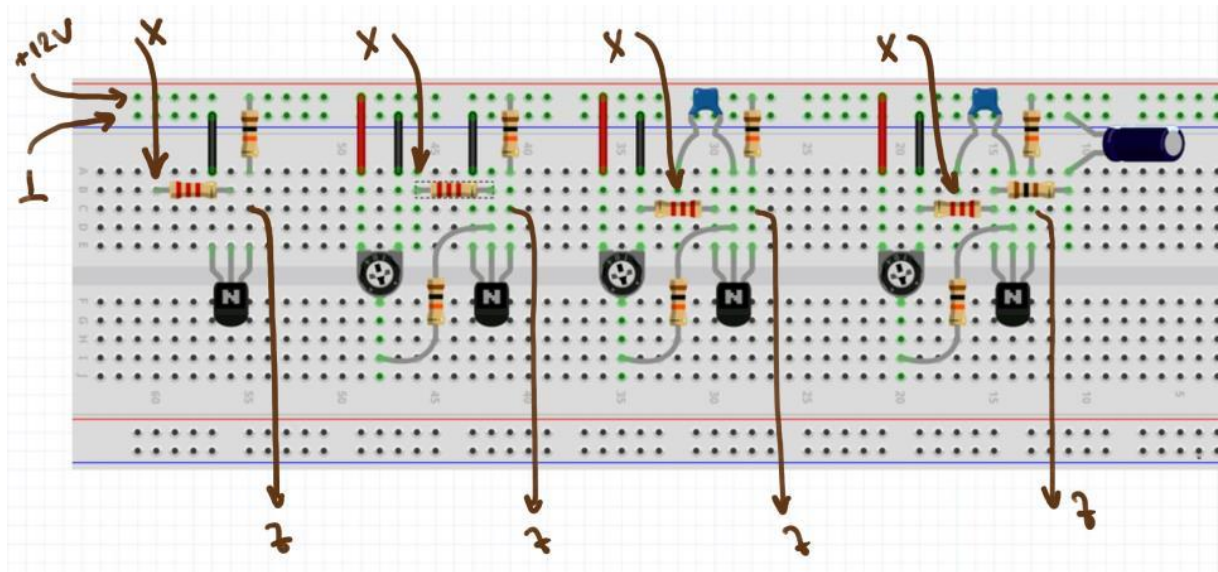
SLIKA 6.5: SCHEMA OJAČEVALNIKA ZA POZITIVNE IN NEGATIVNE VHODNE NAPETOSTI, TOKRAT JE IZHODNA NAPETOST MANJ ODVISNA OD TEMPERATURE

- Pri prejšnjem vezju je približna vrednost ojačenja podana z razmerjem RC/RE in je bistveno manjša od ojačenja vezja s slike 6.4, ki pa je preveč odvisno od temperature. Združimo obe vezji po sliki 6.6. Temperatura se spreminja le počasi, torej potrebujemo majhno ojačenje za počasne signale. Za nas pomemben signal se spreminja bistveno hitreje (ima večjo frekvenco), ojačenje potrebujemo torej le pri večjih frekvencah. Ker je ojačenje odvisno predvsem od vrednosti upornika v emitorju (RE), naredimo tega majhnega za velike frekvence in velikega za majhne frekvence -> preko upornika RE vežimo kondenzator. Kondenzator predstavlja kratek stik za signale velikih frekvenc in odprte sponke za enosmerne signale, prav to potrebujemo. Na shemi s slike 6.6 je uporabljen še upornik REG = 100R, ki po novem določa ojačenje $G \approx RC/REG \parallel RE$. Seveda je ojačenje odvisno od frekvence...



SLIKA 6.6: SCHEMA OJAČEVALNIKA ZA POZITIVNE IN NEGATIVNE VHODNE NAPETOSTI, TOKRAT JE IZHODNA NAPETOST MANJ ODVISNA OD

- ✓ Nastavi delovno točko za vezje s slike 6.6.
- ✓ Spreminjaj frekvenco in amplitudo vhodnega signala ter oceni razpon vrednosti, v katerem je izhodni signal podoben vhodnemu =>
- ✓ Na vhod priključi harmonski signal s frekvenco 1kHz. Ojačenje vezja =>
- ✓ Spreminjaj frekvenco vhodnega signala in določi tisti frekvenci, pri katerih ojačenje pade na 0.707 maksimalne vrednosti =>
- ✓ Kako bi znižal spodnjo mejno frekvenco =>
- ✓ Poskusi z drugačnimi oblikami vhodnega signala =>



SLIKA 6.7: PREDLAGANI RAZPORED ELEMENTOV NA PROTOTIPNI PLOŠČI