

Radivoje Đurić

Laboratorijske vežbe

iz Elektronike

VEŽBA 1

OSNOVNE POJAČAVAČKE SPREGE SA BIPOLARNIM TRANZISTOROM

Ime i prezime

Broj indeksa

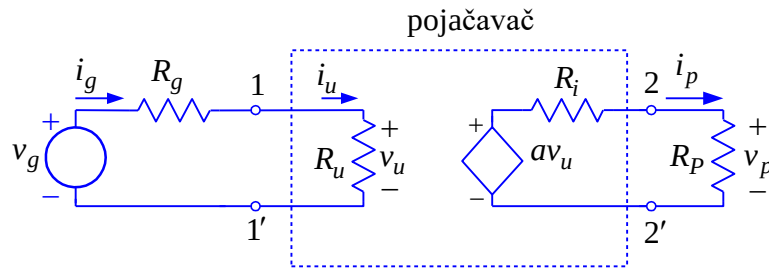
Datum izvođenja	Ocena	Overa

Beograd, ETF, 2021.

1. TEORIJSKA OSNOVA

Opšta šema pojačavača

Opšta šema unilateralnog pojačavača je prikazana na slici 1.1.



Slika 1.1. Opšta šema pojačavača.

Pojačanje se definiše kao odnos amplituda promenljivog signala na izlazu i na ulazu prema zadatom referentnom smeru. Prema slici 1.1, sledi:

- strujno pojačanje $a_i = i_p / i_g$
- naponsko pojačanje $a_v = v_p / v_g$

Pojačanje se određuje merenjem odgovarajućih napona i struja.

Kolo pojačavača između tačaka 1 i 1' može da se ekvivalentno predstavi sa ulaznom otpornošću R_u . Kolo pojačavača između tačaka 2 i 2' može da se ekvivalentno predstavi sa Tevenenovim generatorom napona av_u i izlazne otpornosti R_i .

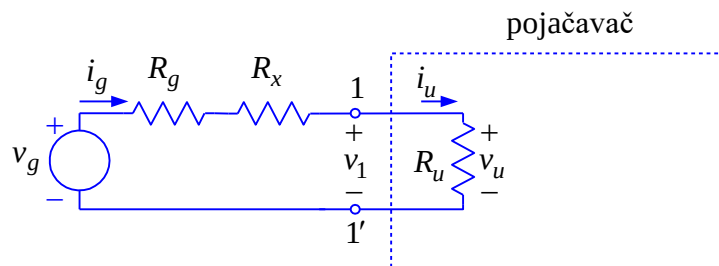
Određivanje ulazne i izlazne otpornosti pojačavača

Otpornost između proizvoljnih tačaka A i B, R_{AB} , se računa tako što se:

- između odabranih tačaka postavi idealni naponski ili strujni nezavisni test generator v_t ili i_t
- ukinu se svi nezavisni generatori tako što se strujni otvore, a naponski kratko spoje
- zadrže se zavisni generatori jer se njihovi signali javljaju kao posledica pojave uzročne struje ili napona koje generiše test generator
- izračuna se struja i_t ili napon v_t između tačaka gde je priključen test generator
- ekvivalentna otpornost je $R_{AB} = v_t / i_t$

Merenje ulazne otpornosti pojačavača

Na slici 1.2. je prikazana ekvivalentna šema pojačavača sa dodatom otpornošću R_x . Ova otpornost služi za određivanje ulazne otpornosti pojačavača.



Slika 1.2. Određivanje ulazne otpornosti pojačavača.

Prema slici 1.2 je

$$i_u = i_g = \frac{v_g - v_1}{R_x + R_g} = \frac{v_u}{R_u} = \frac{v_1}{R_u},$$

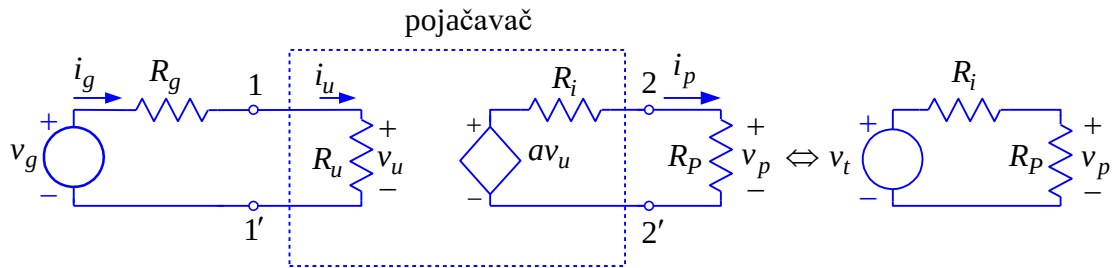
odakle se dobija ulazna otpornost pojačavača

$$R_u = (R_x + R_g) \frac{v_1}{v_g - v_1} = \frac{R_x + R_g}{(v_g / v_1) - 1}.$$

Otpornost R_x se dodaje zbog male izlazne otpornosti pobudnog generatora, a ulazna otpornost se određuje merenjem odnosa amplituda napona pobudnog generatora i napona na ulazu pojačavača.

Merenje izlazne otpornosti pojačavača

Izlaz pojačavača može da se predstavi ekvivalentnim Tevenenovim generatorom, slika 1.3.



Slika 1.3. Određivanje izlazne otpornosti pojačavača.

Napon praznog hoda dobija se kada je potrošač isključen iz kola, $R_P \rightarrow \infty$. Tada je napon na potrošaču:

$$v_t = v_p \Big|_{R_P \rightarrow \infty} = av_u$$

Kada se priključi poznati potrošač, pri nepromenjenoj vrednosti ulaznog napona, napon na potrošaču je:

$$v_p \Big|_{R_P} = \frac{R_P}{R_P + R_i} v_t = \frac{R_P}{R_P + R_i} a v_u = \frac{R_P}{R_P + R_i} v_p \Big|_{R_P \rightarrow \infty},$$

odakle se dobija izlazna otpornost pojačavača:

$$R_i = R_P \left(\frac{v_p \Big|_{R_P \rightarrow \infty}}{v_p \Big|_{R_P}} - 1 \right).$$

Na ulaz pojačavača se dovodi prostoperiodični napon $v_g = V_m \sin(2\pi ft)$, $f = 1\text{kHz}$. Na osnovu odnosa amplituda napona v_p pre i posle priključivanja potrošača R_P može se odrediti izlazna otpornost pojačavača.

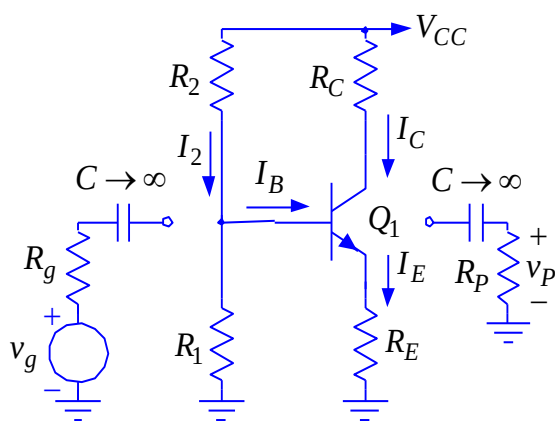
Izlazna otpornost pojačavača može se dobiti i tako što se pri nepromenjenoj amplitudi napona pobudnog generatora otpornost potrošača R_P podešava tako da amplituda napona v_p opadne na polovinu vrednosti koju ima pri $R_P \rightarrow \infty$. Tada je $R_i = R_P$.

Polarizacija bipolarnog tranzistora u jednostepenim pojačavačima

Osnovni jednostepeni pojačavači sa bipolarnim tranzistorom koriste jedan tranzistor polarisan baterijom V_{CC} i otpornicima za rad u direktnom aktivnom režimu, slika 1.4.

Prema ovoj slici je

$$\frac{V_{CC} - V_B}{R_2} = I_B + \frac{V_B}{R_1}, \quad V_B = R_E I_E + V_{BE}, \quad I_C + I_B = (1 + \beta_F) I_B = I_E, \quad I_C = \beta_F I_B.$$



Slika 2.4. Polarizacija bipolarnog tranzistora sa četiri otpornika.

Međutim, sa povećanjem otpornosti u emitoru smanjuje se maksimalna amplituda neizobličenog signala na kolektoru. Prema pravilu “1/3”, kompromisno se uzima da je napon na emitoru jednak $V_{CC}/3$. Da bi napon na kolektoru imao maksimalnu amplitudu potrebno je da u mirnoj radnoj tački bude $V_{CE} = V_{CC}/3$ i $V_{RC} = V_{CC}/3$. Na osnovu ovoga pravila, usvajajući da je $I_2 \geq 10I_B$ ($\beta_{F \min} = 200$) i usvajajući pogodnu vrednost otpornosti u emitoru, odnosno struju kolektora:

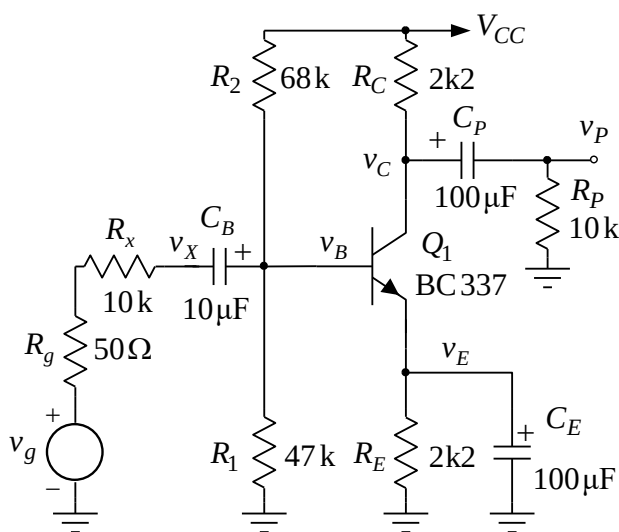
$$I_E \approx I_C = V_{RE} / R_E = 4V / 2,2 k\Omega = 1,82 \text{ mA},$$

određene su otpornosti u kolu za polarizaciju pojačavača:

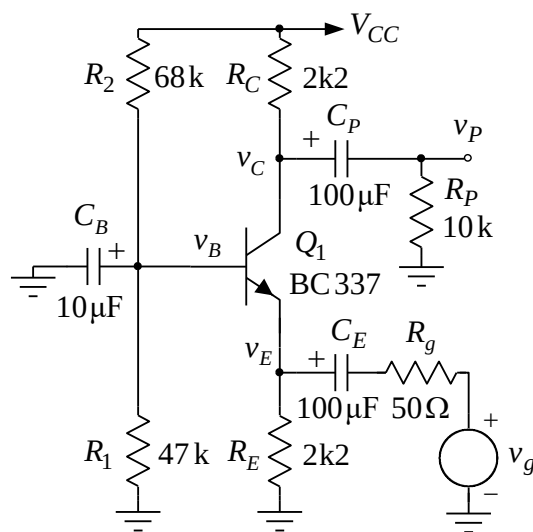
$$R_E = R_C = 2,2 k\Omega, R_1 = 47 k\Omega \text{ i } R_2 = 68 k\Omega.$$

Generator v_g unutrašnje otpornosti R_g i potrošač R_P se kapacitivnom spregom, preko kondenzatora velike kapacitivnosti, povezuju na polarizovan tranzistor. Pri ovome se ne menja raspodela jednosmernih napona i struja u kolu.

Zavisno od toga za koju od elektroda tranzistora (E,B,C), se povežu generator i potrošač, dobijaju se tri pojačavačke sprege tranzistora, slike 1.5, 1.6 i 1.7. Otpornost R_x služi za određivanje ulazne otpornosti pojačavača.



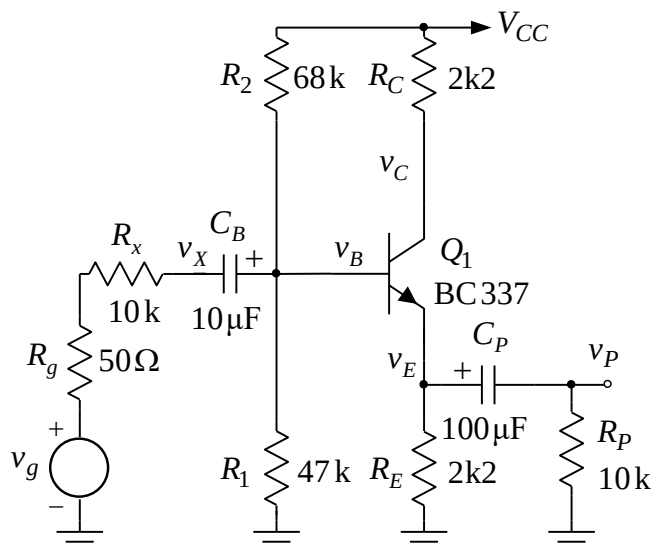
Slika 2.5. Pojačavač u spoju sa zajedničkim emitorom.



Slika 2.6. Pojačavač u spoju sa zajedničkom bazom.

Kod stepena sa zajedničkim kolektorom sa slike 1.7, otpornost u kolektoru ne utiče na rad pojačavača. Pobuda iz kolektora nema smisla jer je fizička konstrukcija tranzistora takva da pobuda

iz kolektora menja veoma malo raspodelu struja i napona u tranzistoru (samo Earlijev efekat), što ne daje pojačanje. Otpornost R_C utiče na maksimalnu amplitudu neizobličenog napona na potrošaču. Ukoliko se želi veća amplituda neizobličenog napona na potrošaču ovaj otpornik se mora kratkospojiti.



Slika 1.7. Pojačavač u spoju sa zajedničkim kolektorom.

2. OPIS VEŽBE

Koriste se šeme pojačavača prikazane na slikama 1.5 i 1.6. Kolo se napaja iz jedne baterije za napajanje $V_{CC} = 12\text{ V}$, koju treba priključiti na maketu. Koristi se isto kolo za polarizaciju tranzistora, samo se menja položaj priključenog generatora i potrošača. Ovo se obavlja pomoću kratkospojnika. Električna šema makete data je na kraju vežbe.

Na ulaz pojačavača se dovodi prostoperiodični napon iz signal generatora koga takođe treba priključiti na maketu.

Merenje jednosmernih i promenljivih napona obavlja se pomoću osciloskopa.

Određivanje amplitude struje obavlja se pomoću poznate otpornosti i amplitude napona na njoj.

Pribor, instrumenti i materijal

- maketa OSNOVNE POJAČAVAČKE SPREGE SA BIPOLARNIM TRANZISTOROM
- izvor za napajanje 12V
- signal generator
- osciloskop

3. ZADATAK

1. Priključiti izvor za napajanje od 12V na maketu.
2. Uključiti izvor za napajanje i pomoću osciloskopa izmeriti jednosmerne napone na bazi, kolektoru i emitoru

$$V_B = \text{_____} [\text{V}], V_E = \text{_____} [\text{V}] \text{ i } V_C = \text{_____} [\text{V}].$$

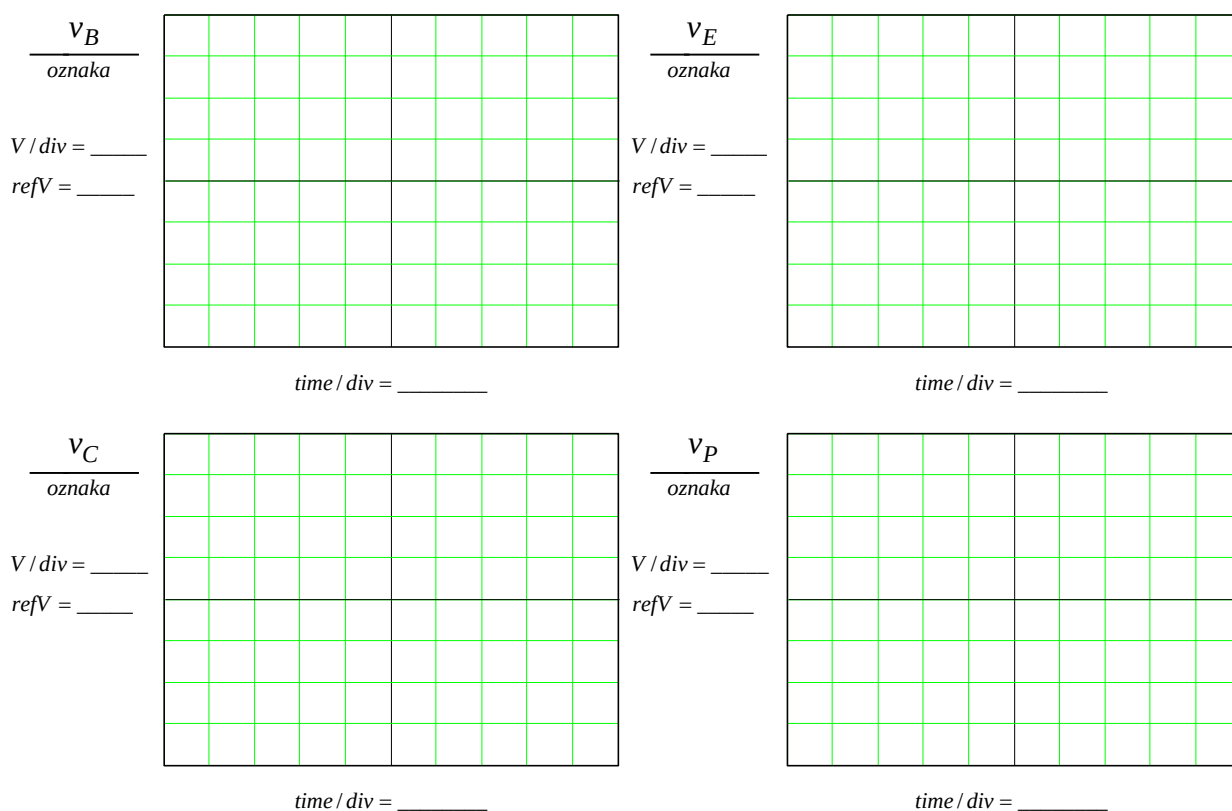
Napomena: raspodela jednosmernih vrednosti napona i struja ne zavisi od položaja kratkospojnika, a merenje jednosmernih napona pomoću osciloskopa obavlja se pokretanjem opcija **Measure, CH1** i/ili **CH2** i **Type Mean**.

3. Isključiti izvor za napajanje, a zatim na osnovu izmerenih napona odrediti jednosmerne

vrednosti struja kolektora, emitora i baze

$$I_C = \text{_____} [\text{mA}], I_E = \text{_____} [\text{mA}] \text{ i } I_B = \text{_____} [\mu\text{A}].$$

4. Kratkospojnicima podesiti da pojačavač bude u spoju sa zajedničkim emitorom. Ovo se postiže tako što se ostvare sledeći kratki spojevi: SW1 (1-2), SW2 (2-3) i SW3 (1-2)
5. Uključiti izvor za napajanje. Na ulaz pojačavača iz pobudnog generatora dovesti prostoperiodični napon amplitude $V_{gm} = 50 \text{ mV}$ i učestanosti $f = 1 \text{ kHz}$.
6. Prvi kanal osciloskopa postaviti između baze i mase, a drugim kanalom meriti napone na emitoru, kolektoru i potrošaču. Uočiti da su jednosmerne vrednosti napona na elektrodama ostale nepromenjene u odnosu na tačku 2, a zatim osciloskop podesiti za AC merenja.
7. Na grafike prikazane na slici 1.8 ucrtati vremenske oblike napona na bazi, emitoru, kolektoru i potrošaču. U polje *refV* upisati srednje vrednosti ovih napona, a u polja *V/div* i *time/div* upisati naponsku i vremensku podelu pri AC merenju. Na grafike ucrtati dijagrame u toku jedne periode napona i voditi računa o faznim stavovima.



Slika 1.8. Eksperimentalno određeni vremenski oblici napona na bazi, emitoru, kolektoru i potrošaču pojačavača u spoju sa zajedničkim emitorom.

8. Odrediti amplitude napona na bazi, kolektoru i potrošaču

$$V_{bm} = \text{_____} [\text{mV}], V_{cm} = \text{_____} [\text{V}] \text{ i } V_{pm} = \text{_____} [\text{V}].$$

Napomena: Na osciloskopu koristiti opciju **MEASURE** i **TYPE Pk-Pk** koja omogućuje merenje razlike maksimalne i minimalne vrednosti napona, odakle se određuje amplituda.

9. Na osnovu podataka iz prethodne tačke odrediti naponsko i strujno pojačanje pojačavača

$$a_v = V_{pm} / V_{gm} = \text{_____} .$$

10. Izmeriti amplitudu napona v_x i na osnovu nje odrediti ulaznu otpornost pojačavača u spoju sa zajedničkim emitorom

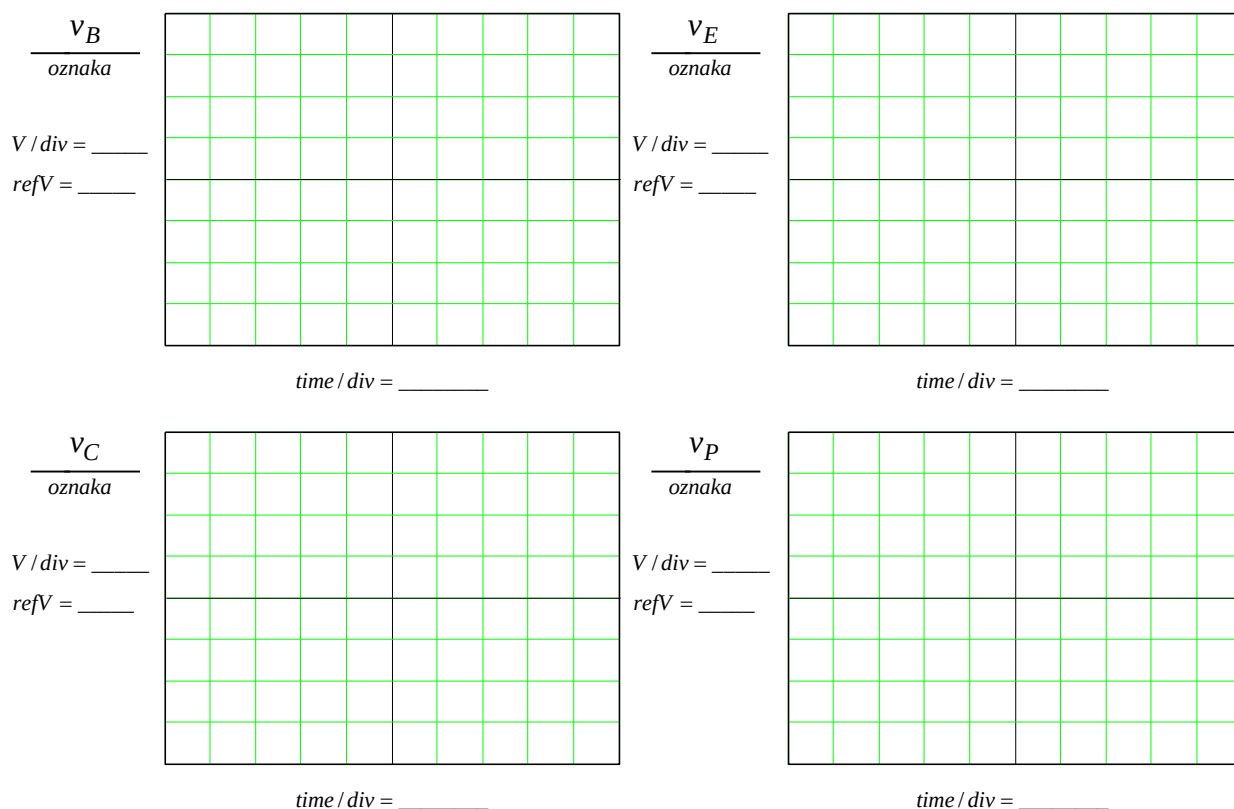
$$R_u = \text{_____} [\text{k}\Omega].$$

11. Na osnovu promene amplitude napona na kolektoru kada je $R_P = 10\text{k}\Omega$ i kada $R_P \rightarrow \infty$ (izvađen kratkospojnik iz prekidača SW3), odrediti izlaznu otpornost pojačavača u spoju sa zajedničkim emitorom

$$R_i = \text{_____} [\text{k}\Omega].$$

Napomena: Impedansa kondenzatora C_P je mnogo manja od otpornosti potrošača R_P .

12. Pritiskom na taster Output odvojiti generator od pojačavača i isključiti izvor za napajanje. Potom ukloniti kondenzator C_E iz kola, $C_E = 0$ (izvaditi kratkospojnik iz prekidača SW2).
13. Ponovo uključiti izvor za napajanje i na ulaz pojačavača iz pobudnog generatora dovesti prostoperiodični napon amplitude $V_{gm} = 500\text{mV}$ i učestanosti $f = 1\text{kHz}$.
14. Na grafike prikazane na slici 1.9 ucrtati vremenske oblike napona na bazi, emitoru, kolektoru i potrošaču. Koristiti isti postupak kao u tački 7.



Slika 1.9. Eksperimentalno određeni vremenski oblici napona na na bazi, emitoru, kolektoru i potrošaču pojačavača u spoju sa zajedničkim emitorom pri $C_E = 0$.

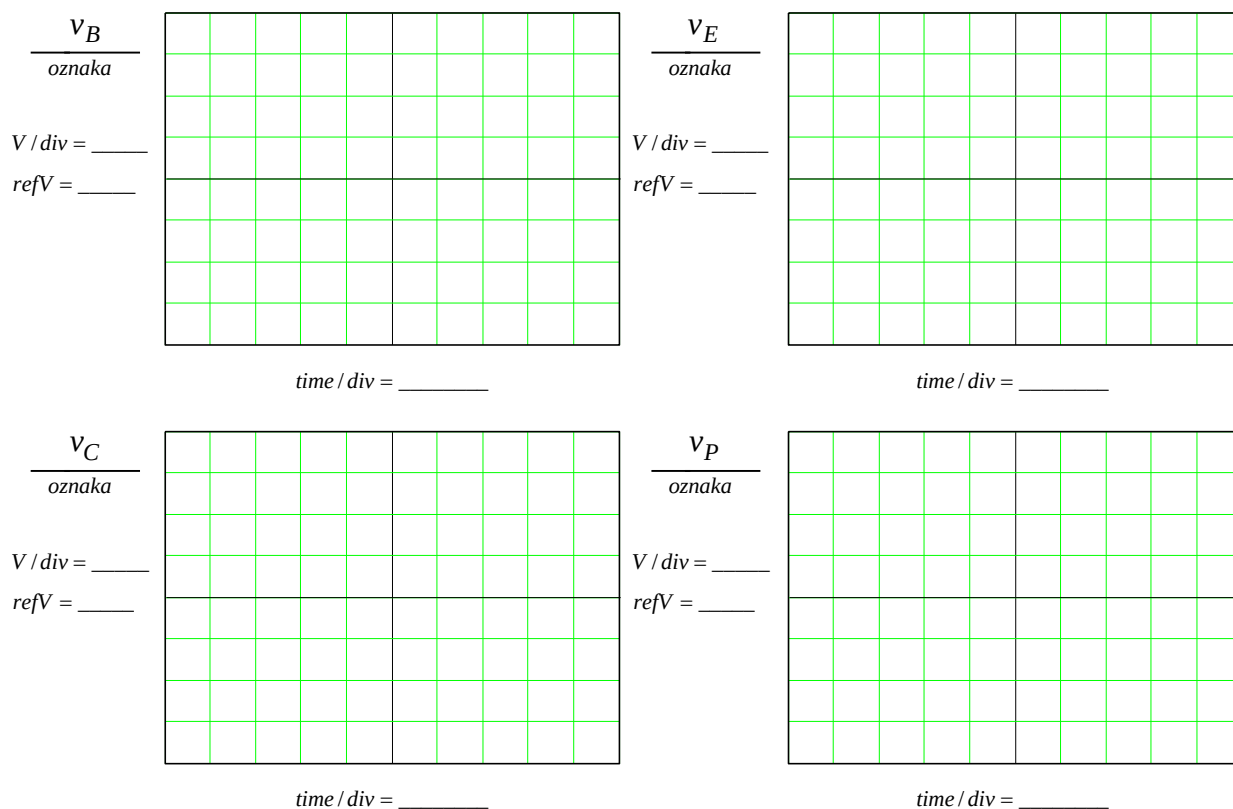
15. Odrediti amplitude napona na bazi, emitoru, kolektoru i potrošaču
 $V_{bm} = \text{_____} [\text{mV}]$, $V_{em} = \text{_____} [\text{mV}]$, $V_{cm} = \text{_____} [\text{mV}]$ i $V_{pm} = \text{_____} [\text{mV}]$.
16. Na osnovu podataka iz prethodne tačke odrediti naponsko i strujno pojačanje
 $a_v = V_{pm} / V_{gm} = \text{_____}$.
17. Na osnovu amplitude napona v_x odrediti ulaznu otpornost pojačavača u spoju sa zajedničkim emitorom

$$R_u = \text{_____} [\text{k}\Omega].$$

18. Pritiskom na taster Output odvojiti generator i isključiti izvor za napajanje. Uporediti pojačanja i ulazne otpornosti pri $C_E = 100\mu\text{F}$ i $C_E = 0$, a zatim objasniti ulogu kondenzatora C_E

19. Spojiti elemente na maketi prema šemi pojačavača u spoju sa zajedničkom bazom, slika 1.6. U ovom slučaju kratkospojnici na maketi treba da budu u sledećim položajima: SW1 (2-3), SW2 (1-2) i SW3 (1-2).
20. Potom priključiti izvor za napajanje i na ulaz pojačavača dovesti prostoperiodični napon amplitude $V_{gm} = 50\text{mV}$ i učestanosti $f = 1\text{kHz}$.
21. Na grafike prikazane na slici 1.10. ucrtati vremenske oblike napona na bazi, emitoru, kolektoru i potrošaču. Koristiti istu proceduru kao kod stepena sa zajedničkim emitorom.
22. Odrediti amplitude napona na emitoru, kolektoru i potrošaču

$$V_{em} = \text{_____} [\text{mV}], V_{cm} = \text{_____} [\text{V}] \text{ i } V_{pm} = \text{_____} [\text{V}].$$



Slika 1.10. Eksperimentalno određeni vremenski oblici napona na na bazi, emitoru, kolektoru i potrošaču pojačavača u spoju sa zajedničkom bazom.

23. Na osnovu podataka iz prethodne tačke odrediti naponsko i strujno pojačanje pojačavača
- $$a_v = V_{pm} / V_{gm} = \text{_____} .$$
24. Na osnovu amplitude napona na emitoru, odrediti ulaznu otpornost pojačavača u spoju sa zajedničkom bazom
- $$R_u = \text{_____} [\Omega].$$
- Napomena: Unutrašnja otpornost pobudnog generatora je $R_g = 50\Omega$.
25. Pritiskom na taster Output odvojiti generator od kola i isključiti izvor za napajanje.

26. Da li se razlikuju izlazne otpornosti stepena sa zajedničkim emitorom, slika 1.5 i stepena sa zajedničkom bazom, slika 1.6? Obrazložiti.

27. Spojiti elemente na maketi prema šemi pojačavača sa zajedničkim kolektorom, slika 1.7. Kratkospojnici treba da su u sledećim položajima: SW1 (1-2), SW2 (izvađen iz prekidača) i SW3 (2-3)

28. Uključiti izvor za napajanje, a zatim na ulaz pojačavača dovesti prostoperiodični napon amplitude $V_{gm} = 1V$ i učestanosti $f = 1kHz$.

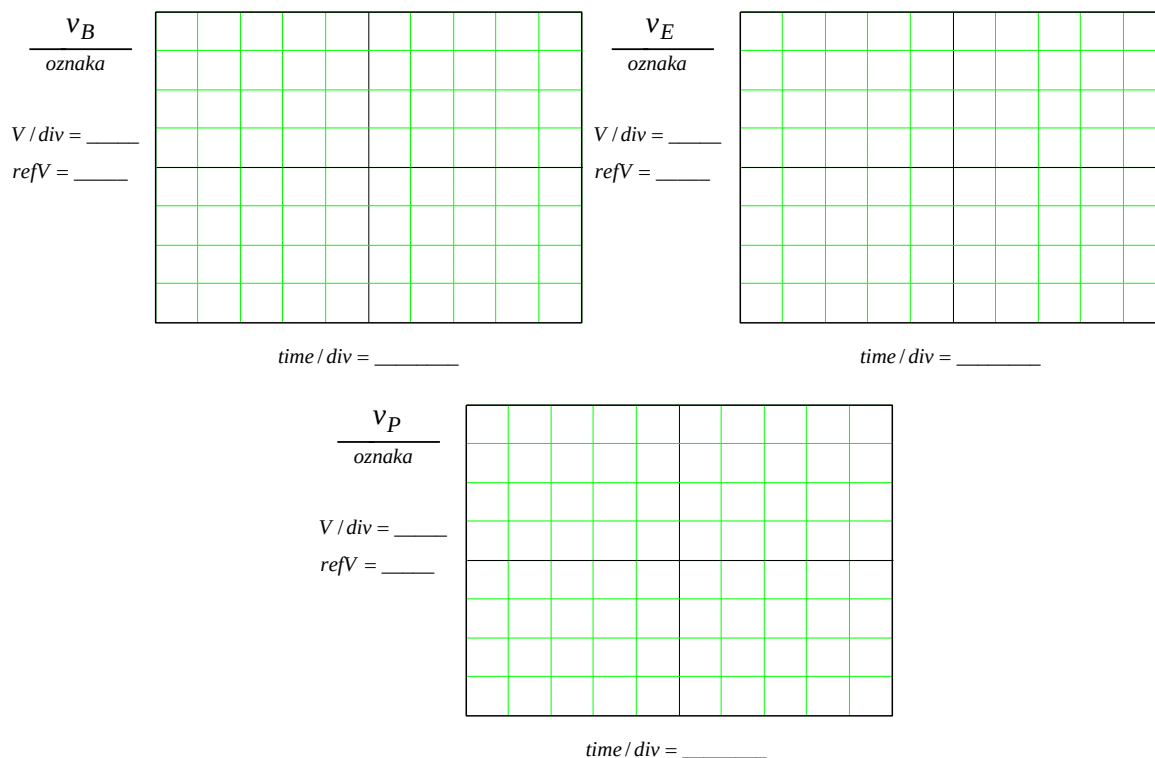
29. Na grafike prikazane na slici 1.11 ucrtati vremenske oblike napona na bazi, emitoru i potrošaču. Koristiti istu proceduru kao kod stepena sa zajedničkim emitorom.

30. Na osnovu dijagrama sa slike 1.11 odrediti amplitude napona na bazi, emitoru i potrošaču

$$V_{bm} = \text{_____} [mV], V_{em} = \text{_____} [mV] \text{ i } V_{pm} = \text{_____} [mV].$$

31. Na osnovu podataka iz prethodne tačke odrediti naponsko i strujno pojačanje

$$a_v = V_{pm} / V_{gm} = \text{_____} \text{ i } a_i = I_{pm} / I_{gm} = \text{_____}.$$



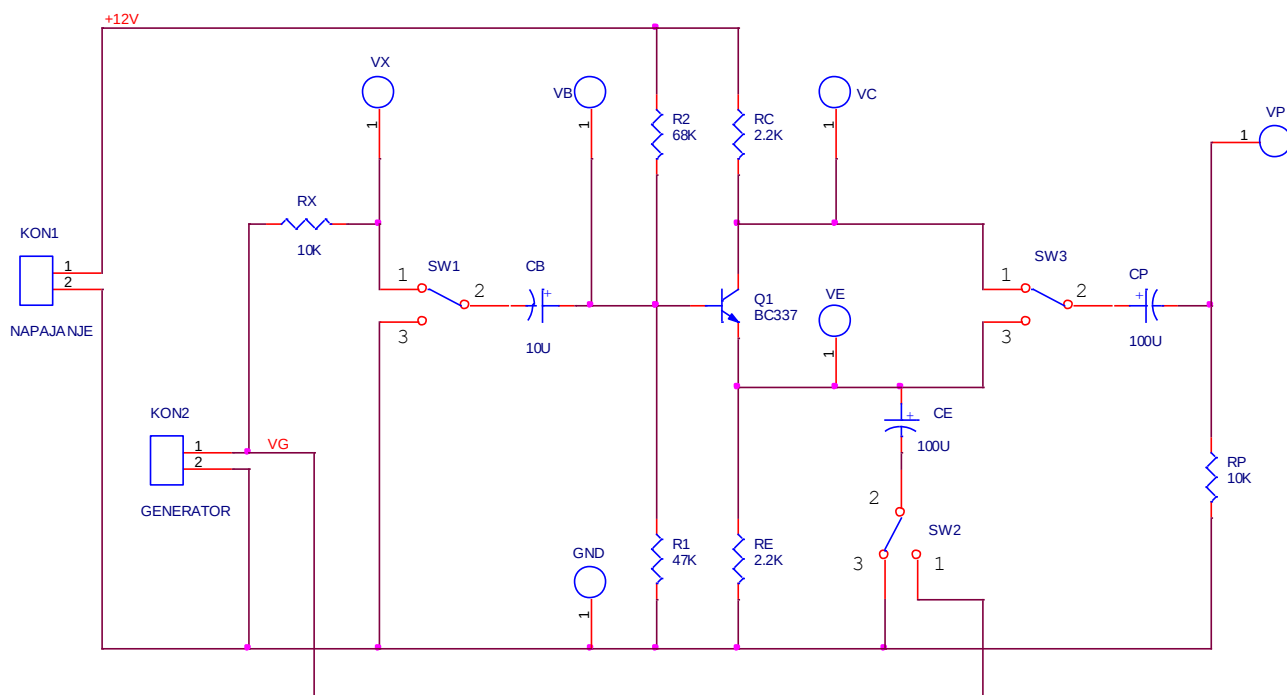
Slika 1.11. Eksperimentalno određeni vremenski oblici napona na na bazi, emitoru i potrošaču pojačavača u spoju sa zajedničkim kolektorom.

32. Na osnovu amplitude napona v_x , odrediti ulaznu otpornost pojačavača u spoju sa zajedničkim kolektorom

$$R_u = \text{_____} [k\Omega].$$

33. Isključiti pobudni generator i izvor za napajanje, a kratkospojnike postaviti tako da su spojeni sledeći priključci: SW1 (1-2), SW2 (2-3) i SW3 (1-2).

DODATAK



Slika 1.12. Električna šema makete OSNOVNE POJAČAVAČKE SPREGE SA BIPOLARNIM TRANZISTOROM.

ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE KORIŠĆENIH POLUPROVODNIČKIH
KOMPONENTI

Philips Semiconductors

Product specification

NPN general purpose transistor

BC337

FEATURES

- High current (max. 500 mA)
- Low voltage (max. 45 V).

APPLICATIONS

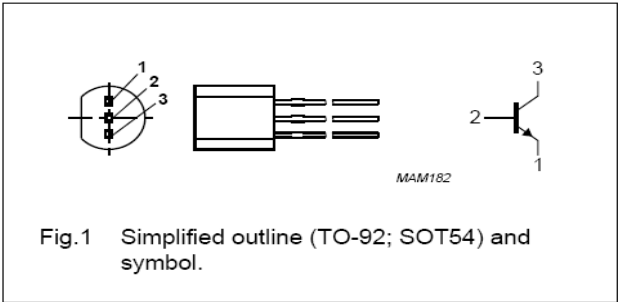
- General purpose switching and amplification, e.g. driver and output stages of audio amplifiers.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92; SOT54 plastic package.
PNP complement: BC327.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector



LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter	—	50	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base	—	45	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	—	5	V
I_C	collector current (DC)		—	500	mA
I_{CM}	peak collector current		—	1	A
I_{BM}	peak base current		—	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; note 1	—	625	mW
T_{stg}	storage temperature		—65	+150	$^{\circ}\text{C}$
T_j	junction temperature			150	$^{\circ}\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		—65	+150	$^{\circ}\text{C}$

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

CHARACTERISTICS

$T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 20\text{ V}$	–	–	100	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 20\text{ V}; T_J = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	–	5	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$	–	–	100	nA
h_{FE}	DC current gain BC337 BC337-16 BC337-25 BC337-40	$I_C = 100\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	100	–	600	
			100	–	250	
			160	–	400	
			250	–	600	
	DC current gain	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	40	–	–	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}$	–	–	700	mV
V_{BE}	base-emitter voltage	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V};$ note 1	–	–	1.2	V
C_c	collector capacitance	$I_E = i_e = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	5	–	pF
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	–	–	MHz

Note

1. V_{BE} decreases by about 2 mV/K with increasing temperature.

Električne karakteristike bipolarnog tranzistora BC337 (uzeto sa site-a firme Philips Semiconductors)