

LABORATORIJSKE VEŽBE IZ ANALOGNE ELEKTRONIKE 1-2022

1. OPERACIONI POJAČAVAČ	1
2. PRIMENA OPERACIONIH POJAČAVAČA: INTEGRATOR I PRECIZNI USMERAČ	5
3. FREKVENCIJSKE KARAKTERISTIKE POJAČAVAČA	10
4. ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE KORIŠĆENIH POLUPROVODNIČKIH KOMPONENTI	14
5. LITERATURA	20
6. EVIDENCIJA IZRADE LABORATORIJSKIH VEŽBI	21

VEŽBA 1

OPERACIONI POJAČAVAČ

OPIS VEŽBE

Koriste se šeme pojačavača prikazane na slikama 1.1, 1.2, 1.3 i 1.4, koje treba ostvariti na univerzalnoj radnoj ploči. Kola se napajaju iz dve baterije za napajanje $V_{CC} = 12\text{ V}$ i $V_{EE} = -12\text{ V}$, koje treba priključiti na protobord.

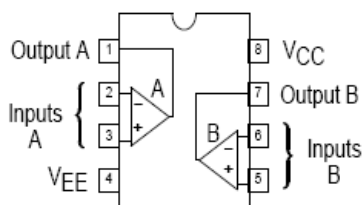
Pri snimanju prenosnih karakteristika, na ulaz pojačavača se dovodi prostoperiodični napon iz signal generatora, koga takođe treba priključiti na protobord.

Merenje jednosmernih i promenljivih napona obavlja se pomoću osciloskopa. Za snimanje prenosnih karakteristika koristi se osciloskop u modu prikazivanja XY.

Pribor, instrumenti i materijal

- dva izvora za napajanje 12V
- osciloskop
- signal generator
- univerzalna radna ploča
- operacioni pojačavač MC 1458
- otpornici tolerancije 1% i snage 0,25 W sledećih vrednosti: 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω , 10 M Ω

PIN CONNECTIONS



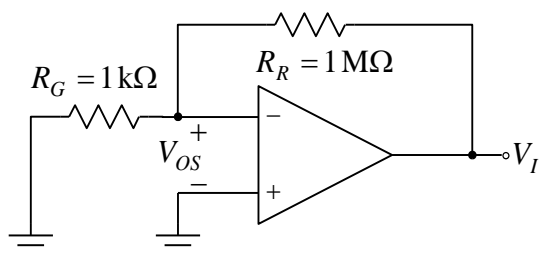
(Top View)

Na slici 1.0 prikazana je šema sa rasporedom priključaka operacionih pojačavača u integrisanom kolu sa oznakom MC 1458. Na kraju priručnika su date karakteristike ovih operacionih pojačavača.

Slika 1.0 Raspored priključaka integrisanog kola MC 1458

ZADATAK

1. MERENJE NAPONSKOG OFSETA V_{OS} OPERACIONOG POJAČAVAČA



Slika 1.1. Kolo za merenje naponskog ofseta operacionog pojačavača.

Merenje se obavlja pomoću kola prikazanog na slici 1.1. Pre merenja je potrebno izvesti vezu, koja definiše zavisnost izlaznog napona od napona ofseta

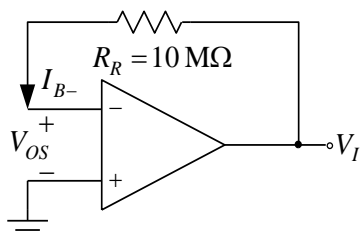
$$V_I \cong V_{OS} \left(1 + \frac{R_R}{R_G}\right).$$

Merenje naponskog ofseta se obavlja merenjem izlaznog napona.

Postupak pri merenju

1. Na protobordu povezati šemu prema slici 1.1.
2. Na izlaz kola vezati osciloskop.
3. Uključiti izvore za napajanje (V_{CC} i V_{EE}).
4. Izmeriti izlazni napon $V_I = \text{_____}$ [V] .
5. Izračunati naponski ofset $V_{OS} = \text{_____}$ [V] .

2. MERENJE ULAZNE STRUJE I_{B-} OPERACIONOG POJAČAVAČA



Merenje se obavlja pomoću kola prikazanog na slici 1.2. Pre merenja je potrebno izvesti vezu, koja definiše zavisnost izlaznog napona od napona ofseta i ulazne struje minus priključka operacionog pojačavača

$$V_I = V_{OS} + R_R I_{B-} .$$

Merenje ulazne struje minus priključka se obavlja merenjem izlaznog napona.

Slika 1.2. Kolo za merenje ulazne struje minus priključka operacionog pojačavača.

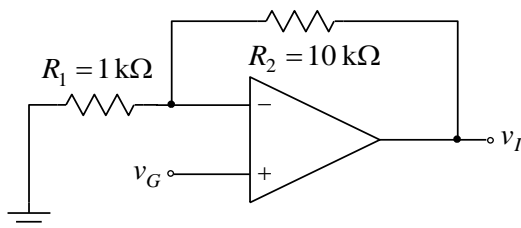
Postupak pri merenju

1. Na protobordu povezati šemu prema slici 1.2.
2. Na izlaz kola vezati osciloskop.
3. Uključiti izvore za napajanje (V_{CC} i V_{EE}).
4. Izmeriti izlazni napon $V_I = \text{_____}$ [V] .
5. Izračunati ulaznu struju minus priključka $I_{B-} = \text{_____}$ [nA] .

3. MERENJE PREOSNE KARAKTERISTIKE NEINVERTUJUĆEG POJAČAVAČA

Merenje se obavlja pomoću kola prikazanog na slici 1.3. Pre merenja je potrebno izvesti vezu, koja definiše zavisnost izlaznog napona od napona na ulazu pojačavača

$$v_I = v_g \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) .$$

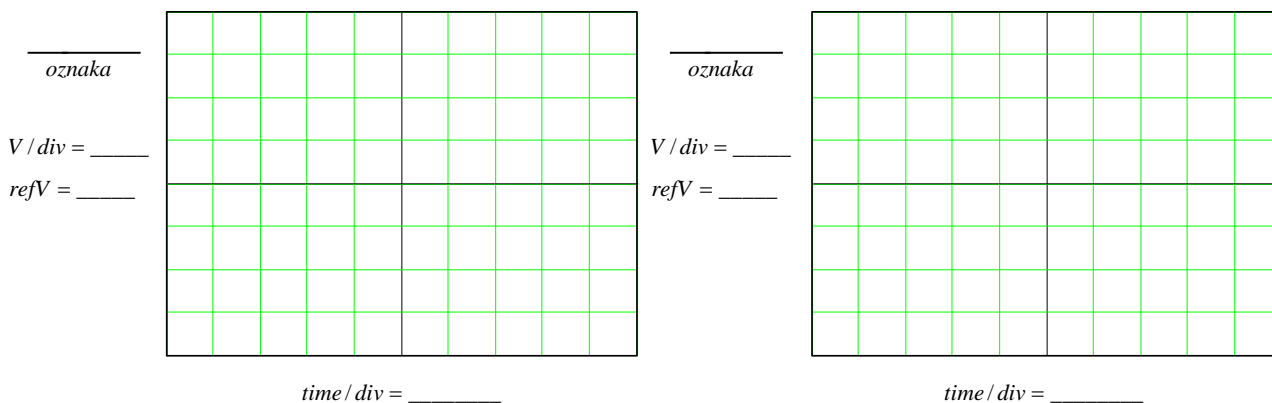


Merenje preosne karakteristike neinvertujućeg pojačavača se obavlja merenjem izlaznog napona.

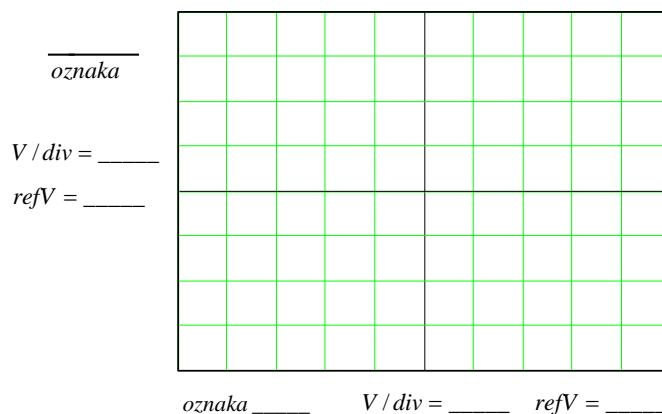
Postupak pri merenju

1. Na protobordu povezati šemu prema slici 1.3.
2. Na izlaz kola vezati drugi kanal osciloskopa.
3. Uključiti izvore za napajanje (V_{CC} i V_{EE}).
4. Na ulaz kola dovesti generator.
5. Uključiti generator.
6. Na ulaz kola vezati prvi kanal osciloskopa.
7. Podesiti generator, tako da na izlazu generise prostoperiodični napon amplitude $V_{gm} = 0.5 \text{ V}$ i učestanosti $f = 1 \text{ kHz}$.
8. Na grafike prikazane na slici 1.3a ucrtati vremenske dijagrame ulaznog i izlaznog napona.
9. Povećati amplitudu napona generatora na $V_{gm} = 2 \text{ V}$.
10. Prebaciti osciloskop u mod prikazivanja XY.

11. Na grafik prikazan na slici 1.3b ucrtati prenosnu karakteristiku neinvertujućeg pojačavača.



Slika 1.3a Eksperimentalno određeni vremenski oblici ulaznog i izlaznog napona neinvertujućeg pojačavača



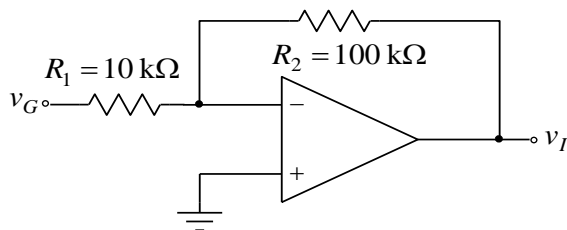
Slika 1.3b Eksperimentalno određena prenosna karakteristika neinvertujućeg pojačavača

4. MERENJE PREOSNE KARAKTERISTIKE INVERTUJUĆEG POJAČAVAČA

Merenje se obavlja pomoću kola prikazanog na slici 1.4. Pre merenja je potrebno izvesti vezu, koja definiše zavisnost izlaznog napona od napona na ulazu pojačavača

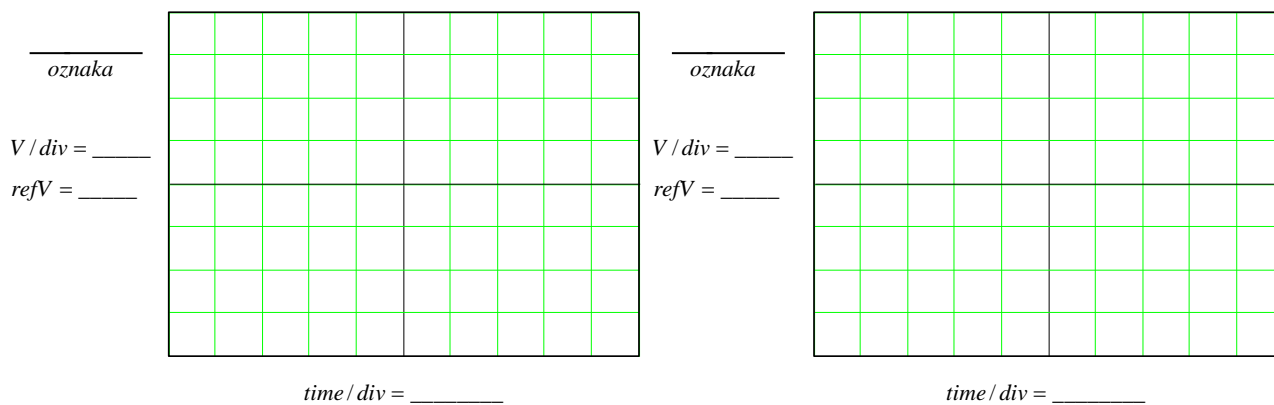
$$v_I = -\frac{R_2}{R_1} v_g .$$

Merenje prenosne karakteristike invertujućeg pojačavača se obavlja merenjem izlaznog napona.

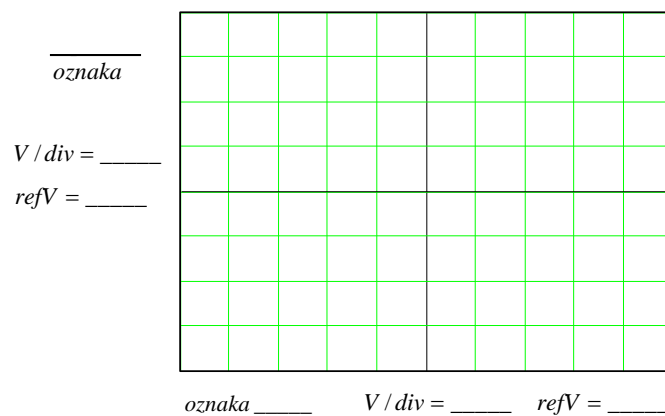


Postupak pri merenju

1. Na protobordu povezati šemu prema slici 1.4.
2. Na izlaz kola vezati drugi kanal osciloskopa.
3. Uključiti izvore za napajanje (V_{CC} i V_{EE}).
4. Na ulaz kola dovesti generator.
5. Uključiti generator.
6. Na ulaz kola vezati prvi kanal osciloskopa.
7. Podesiti generator, tako da na izlazu generise prostoperiodični napon amplitude $V_{gm} = 0.5 \text{ V}$ i učestanosti $f = 1 \text{ kHz}$.
8. Na grafike prikazane na slici 1.4a ucrtati vremenske dijagrame ulaznog i izlaznog napona.
9. Povećati amplitudu napona generatora na $V_{gm} = 2 \text{ V}$.
10. Prebaciti osciloskop u mod prikazivanja XY.
11. Na grafik prikazan na slici 1.4b ucrtati prenosnu karakteristiku invertujućeg pojačavača.



Slika 1.4a Eksperimentalno određeni vremenski oblici ulaznog i izlaznog napona invertujućeg pojačavača



Slika 1.4b Eksperimentalno određena prenosna karakteristika invertujućeg pojačavača

VEŽBA 2

PRIMENA OPERACIONIH POJAČAVAČA: INTEGRATOR I PRECIZNI USMERAČ

OPIS VEŽBE

Koriste se šeme pojačavača prikazane na slikama 2.2, 2.4 i 2.6, koje treba ostvariti na univerzalnoj radnoj ploči (protobord).

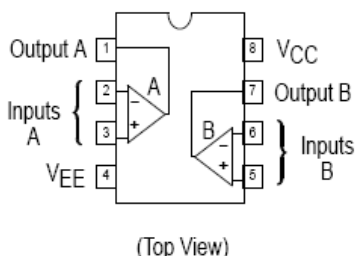
Kola se napajaju iz dve baterije za napajanje $V_{CC} = 12\text{ V}$ i $V_{EE} = -12\text{ V}$, koje treba priključiti na protobord.

Na protobord se dovode i signali iz generatora signala.

Merenje jednosmernih i promenljivih napona obavlja se pomoću osciloskopa. Za snimanje prenosnih karakteristika koristi se osciloskop u modu prikazivanja XY.

Pribor, instrumenti i materijal

- dve baterije za napajanje od 12V
- osciloskop
- signal generator
- univerzalna radna ploča
- operacioni pojačavač MC1458
- diode 1N4148 × 2
- trimer-potencijometar 5kΩ
- otpornici tolerancije 1% i snage 0,25W sledećih vrednosti: 1kΩ, 10kΩ × 2, 1MΩ × 2 i 10MΩ
- keramički kondenzator 10nF



Na slici 2.1 prikazana je šema sa rasporedom priključaka operacionih pojačavača u integrisanom kolu sa oznakom MC1458. Operacioni pojačavač ima ulazni diferencijalni pojačavač sa NPN tranzistorima. Električne karakteristike ovog operacionog pojačavača date su u prilogu na kraju priručnika.

Slika 2.1. Raspored priključaka integrisanog pojačavača MC1458.

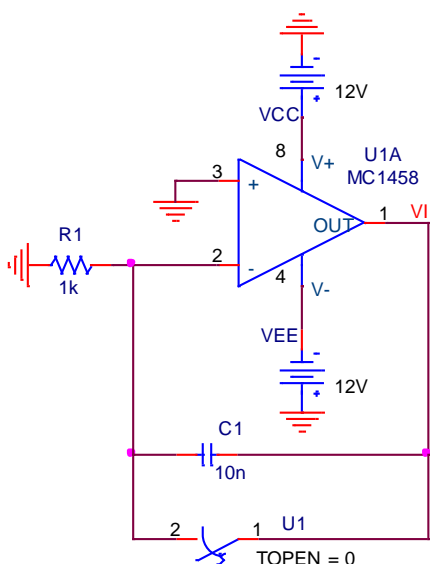
ZADATAK

1. MERENJE NAPONSKOG OFSETA V_{OS} OPERACIONOG POJAČAVAČA POMOĆU INTEGRATORA

Merenje se obavlja pomoću kola prikazanog na slici 2.2.

Pre merenja je potrebno izvesti vezu koja definiše zavisnost izlaznog napona od vremena sve dok operacioni pojačavač ne ode u zasićenje

$$v_I(t) = V_{OS} + \frac{V_{OS}}{R_1 C_1} t + \frac{I_B^-}{C_1} t.$$



Slika 2.2. Kolo za merenje naponskog ofseta pomoću integratora.

Kada je $\frac{V_{OS}}{R_1} \gg I_B^-$, izlazni napon je

$$v_I(t) \approx V_{OS} + \frac{V_{OS}}{R_1 C_1} t.$$

Merenje naponskog ofseta obavlja se merenjem vremena t_x za koje operacioni pojačavač ulazi u zasićenje. Međutim, zbog nepoznatog polariteta naponskog ofseta, izlaz operacionog pojačavača može biti u pozitivnom ili negativnom zasićenju. U prvom slučaju je

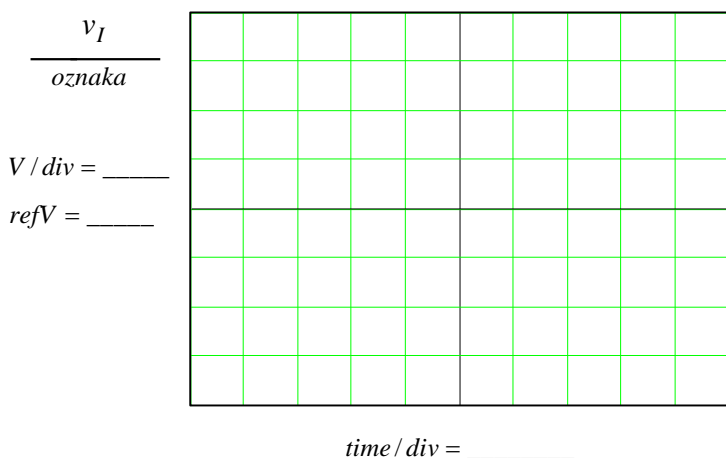
$$V_{OS} \approx v_{I\max} \frac{R_1 C_1}{t_x}, \quad v_{I\max} \gg V_{OS},$$

dok je u drugom slučaju

$$V_{OS} \approx v_{I\min} \frac{R_1 C_1}{t_x}.$$

Postupak pri merenju

1. Na protobordu povezati šemu prema slici 2.2. Prekidač treba da je zatvoren.
2. Na izlaz kola vezati osciloskop, uključiti izvore za napajanje (V_{CC} i V_{EE}), a zatim otvoriti prekidač.
3. Operacioni pojačavač će, zavisno od polariteta naponskog ofseta V_{OS} , otići u pozitivno ili u negativno zasićenje.
4. Potom zatvoriti prekidač, a zatim podesiti **Triger** na osciloskopu u zavisnosti da li je izlaz operacionog pojačavača bio u pozitivnom ili negativnom zasićenju.
5. Pritiskom na taster **TRIG MENU** otvoriti meni za sinhronizaciju (trigerovanje) osciloskopa. U ovom meniju postaviti **Type** na **Edge**, **Slope** na **Rising** (ukoliko je operacioni pojačavač bio u pozitivnom zasićenju) ili **Falling** (ukoliko je operacioni pojačavač bio u negativnom zasićenju).
6. Pritiskom na taster **SINGLE SEQ** osciloskop je spreman da sledeću pojavu napona, čiji nivo će ga trigerovati, prikaže. Potencijetrom **Level** podesiti da referentni napon za sinhronizaciju bude 6V (ukoliko je operacioni pojačavač bio u pozitivnom zasićenju) ili -6V (ukoliko je operacioni pojačavač bio u negativnom zasićenju). Početnu vrednost vremenske baze postaviti na 250 ms.



Slika 2.3. Eksperimentalno određen vremenski oblik izlaznog napona pomoću koga se određuje naponski ofset operacionog pojačavača.

7. Potom otvoriti prekidač i pričekati nekoliko sekundi dok se na osciloskopu ne pojavi dijagram punjenja (pražnjenja) kondenzatora i ulazak operacionog pojačavača u zasićenje. Ukoliko se na osciloskopu ne vidi kompletan dijagram ulaska operacionog pojačavača u zasićenje, povećati vremensku bazu i ponoviti postupak iz tačke 6. Ukoliko je potrebno koristiti i taster **RUN/STOP**.

8. Dobijeni vremenski dijagram izlaznog napona ucrtati u grafik

prikazan na slici 2.3.

- Na osnovu vremenskog dijagrama na osciloskopu izmeriti vreme za koje operacioni pojačavač odlazi u zasićenje, a zatim i vrednost naponskog ofseta ovog operacionog pojačavača (voditi računa i o znaku naponskog ofseta)

$$t_x = \text{_____}, V_{OS} = \text{_____}.$$

2. MERENJE ULAZNE STRUJE POLARIZACIJE I_B^- OPERACIONOG POJAČAVAČA POMOĆU INTEGRATORA

Merenje se obavlja pomoću kola prikazanog na slici 2.4. I ovde se koristi relacija

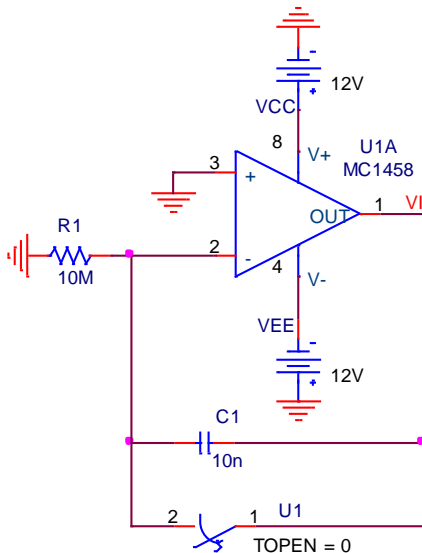
$$v_I(t) = V_{OS} + \frac{V_{OS}}{R_1 C_1} t + \frac{I_B^-}{C_1} t.$$

Međutim, za razliku od prethodnih merenja, ovde je $R_1 = 10 \text{ M}\Omega$, što znači da je

$$\frac{V_{OS}}{R_1} \ll I_B^-.$$

Merenje ulazne struje polarizacije obavlja se merenjem vremena t_y za koje će operacioni pojačavač ući u pozitivno zasićenje

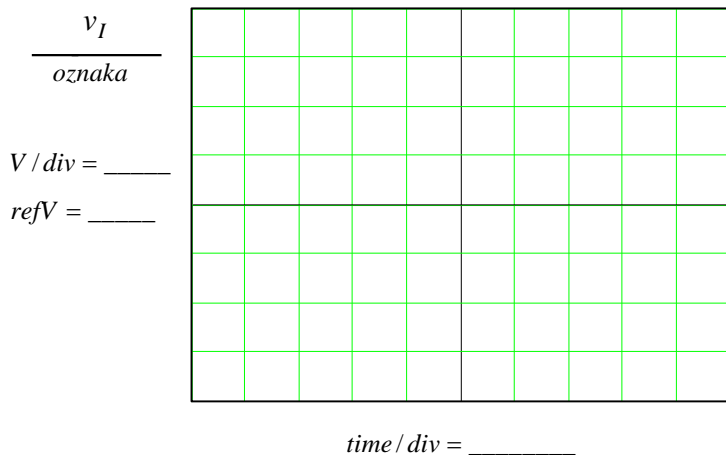
$$I_B^- = v_{I \max} \frac{C_1}{t_y}, \frac{V_{OS}}{R_1} \ll I_B^-, v_{I \max} \gg V_{OS}.$$



Slika 2.4. Kolo za merenje polarizacione struje I_B^- pomoću integratora.

Postupak pri merenju

- Na protobordu povezati šemu prema slici 2.4. Prekidač treba da je zatvoren.
- Na izlaz kola vezati osciloskop, uključiti izvore za napajanje (V_{CC} i V_{EE}), a zatim otvoriti prekidač.
- Po otvaranju prekidača, zbog polarizacione struje koja puni kondenzator, operacioni pojačavač će otići u pozitivno u zasićenje.
- Potom zatvoriti prekidač, a zatim podesiti **Triger** na osciloskopu.



Slika 2.5. Eksperimentalno određen vremenski oblik izlaznog napona pomoću koga se određuje polarizaciona struja I_B^- operacionog pojačavača.

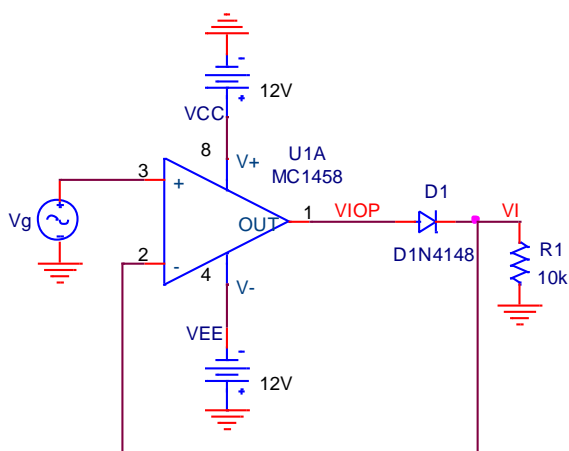
- Pritiskom na taster TRIG MENU otvoriti meni za sinhronizaciju (trigerovanje) osciloskopa. U ovom meniju postaviti **Type** na **Edge**, **Slope** na **Rising**.
- Pritiskom na taster **SINGLE SEQ** osciloskop je spreman da sledeću pojavu napona, čiji nivo će ga trigerovati, prikaže. Potencijetrom **Level** podesiti da referentni napon za sinhronizaciju bude 6V. Početnu vrednost vremenske baze postaviti na 250 ms.
- Potom otvoriti prekidač i pričekati nekoliko sekundi dok

se na osciloskopu ne pojavi dijagram punjenja kondenzatora i ulazak operacionog pojačavača u zasićenje. Ukoliko se na osciloskopu ne vidi kompletan dijagram ulaska operacionog pojačavača u zasićenje, povećati vremensku bazu i ponoviti postupak iz tačke 6. Ukoliko je potrebno koristiti i taster **RUN/STOP**.

8. Dobijeni vremenski dijagram izlaznog napona ucrtati u grafik prikazan na slici 2.5.
9. Na osnovu vremenskog dijagrama na osciloskopu izmeriti vreme za koje operacioni pojačavač odlazi u zasićenje, a zatim i vrednost polarizacione struje ovog operacionog pojačavača

$$t_y = \text{_____}, I_B^- = \text{_____}.$$

3. PRECIZNI USMERAČI PRECIZNI USMERAČ SA JEDNOM DIODOM



Slika 2.6. Precizni usmerač sa jednom diodom.

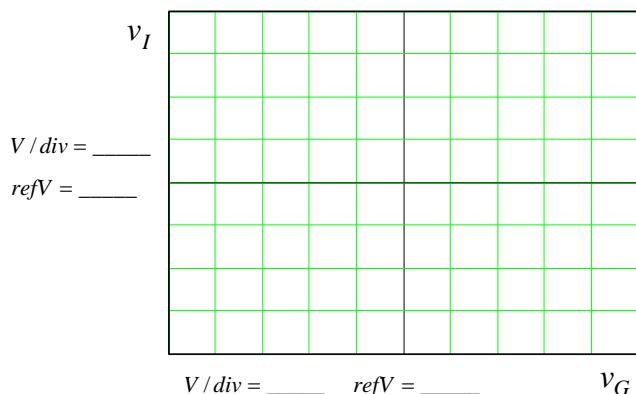
Na slici 2.6 je prikazano kolo preciznog usmerača sa jednom diodom. Izlazni napon je

$$v_I = \begin{cases} v_G, & v_G \geq 0 \\ 0, & v_G \leq 0 \end{cases}$$

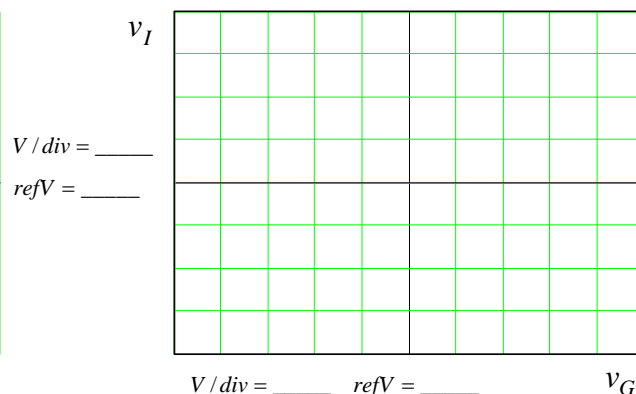
Postupak pri merenju

1. Na protobordu povezati šemu prema slici 2.6.
2. Na izlaz kola vezati drugi kanal osciloskopa, a na ulaz prvi.
3. Osciloskop podesiti za XY merenja. Pritiskom na taster **DISPLAY** otvoriće se meni u kome sa **FORMAT** treba podesiti XY merenja.
4. Na ulaz kola dovesti prostoperiodični napon $v_G = V_m \sin(2\pi ft)$, $V_m = 10\text{ V}$, $f = 100\text{ Hz}$,

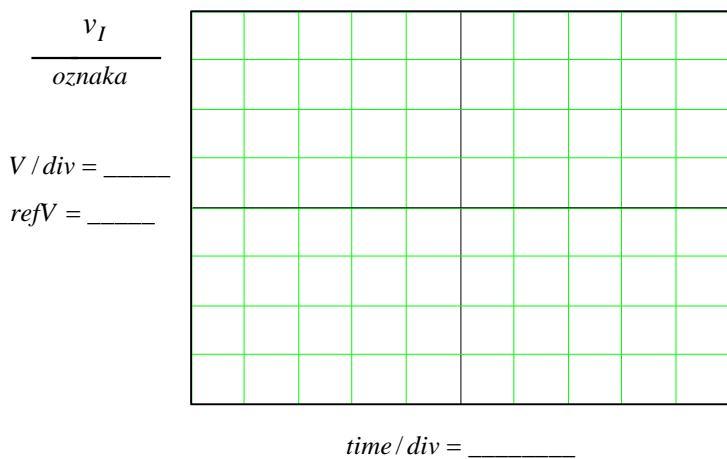
a zatim na grafik sa slike 2.7 ucrtati zavisnost $v_I = f(v_G)$.



Slika 2.7. Eksperimentalno određena zavisnost $v_I = f(v_G)$ preciznog usmerača sa jednom diodom.



Slika 2.8. Eksperimentalno određena zavisnost $v_{IOP} = g(v_G)$ preciznog usmerača sa jednom diodom.



Slika 2.9. Eksperimentalno određen izlazni napon $v_I(t)$ preciznog usmerača sa jednom diodom.

5. Drugi kanal osciloskopa postaviti na izlaz operacionog pojačavača i snimiti zavisnost $v_{IOP} = g(v_G)$. Dobijeni dijagram ucrtati na sliku 2.8.
6. Na ulaz kola dovesti prostoperiodični napon

$$v_G = V_m \sin(2\pi ft), V_m = 1\text{ V},$$

$$f = 5\text{ kHz},$$
 a zatim na grafik sa slike 2.9 ucrtati vremenski oblik izlaznog napona $v_I(t)$.

VEŽBA 3

FREKVENCIJSKE KARAKTERISTIKE POJAČAVAČA

OPIS VEŽBE

Koriste se šeme pojačavača prikazane na slikama 3.2, 3.3 i 3.4, koje treba ostvariti na protobordu.

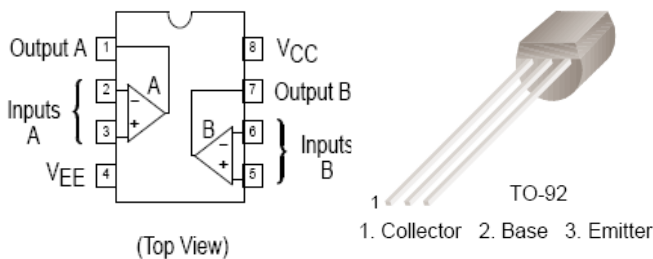
Kola se napajaju iz dve baterije za napajanje $V_{CC} = 12\text{ V}$ i $V_{EE} = -12\text{ V}$, koje treba priključiti na protobord.

Na protobord se dovode i signali iz generatora signala.

Merenje jednosmernih i promenljivih napona obavlja se pomoću osciloskopa.

Pribor, instrumenti i materijal

- dve baterije za napajanje od 12V
- osciloskop
- signal generator
- univerzalna radna ploča
- operacioni pojačavač MC1458
- Bipolarni tranzistor BC337 × 2
- otpornici tolerancije 1% i snage 0,25 W sledećih vrednosti: 51Ω , 100Ω , $1\text{k}\Omega \times 2$, $5,6\text{k}\Omega \times 2$, $10\text{k}\Omega \times 2$, $8,2\text{k}\Omega$ i $33\text{k}\Omega$
- elektrolitski kondenzatori $10\mu\text{F}/16\text{V}$ i $100\mu\text{F}/16\text{V}$



Slika 3.1. Raspored priključaka integrisanog pojačavača MC1458 i bipolarnog tranzistora BC337.

Na slici 3.1 je prikazana šema sa rasporedom priključaka operacionih pojačavača u integrisanom kolu sa oznakom MC1458. Operacioni pojačavač ima ulazni diferencijalni pojačavač sa NPN tranzistorima. Na istoj slici prikazan je i raspored priključaka bipolarnog tranzistora BC337. Električne karakteristike ovih komponenti date su u prilogu na kraju priručnika.

ZADATAK

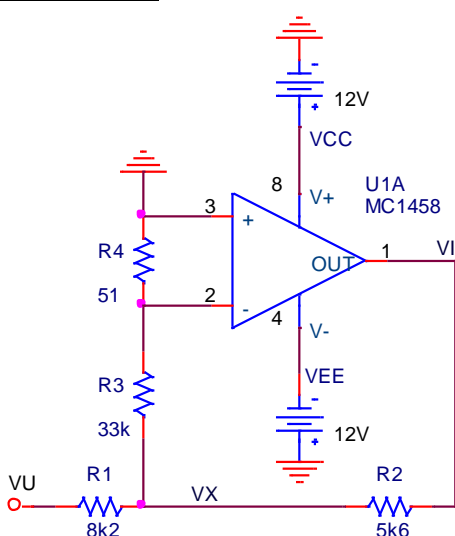
1. MERENJE DC NAPONSKOG POJAČANJA OPERACIONOG POJAČAVAČA

Merenje se obavlja pomoću kola prikazanog na slici 3.2. Merenjem napona V_I i V_X na niskim učestanostima za dve različite pobude (radi eliminisanja uticaja razdešenosti pojačavača) dobija se da je naponsko pojačanje operacionog pojačavača na niskim učestanostima ($\omega \rightarrow 0$)

$$A_0 = \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right) \left| \frac{\Delta V_I}{\Delta V_X} \right| = 648,06 \left| \frac{\Delta V_I}{\Delta V_X} \right|.$$

Postupak pri merenju

1. Na protobordu povezati šemu prema slici 3.2.
2. Ulaz kola kratko spojiti sa pozitivnom baterijom za napajanje $V_U = V_{CC} = 12\text{ V}$.



Slika 3.2. kolo za merenje DC pojačanja operacionog pojačavača.

3. Osciloskopom podešenim za DC merenja izmeriti napone V_X i V_I (Pritiskom na tastet **MEASURE** dobija se meni u kome treba podesiti **SOURCE** na merni kanal osciloskopa **CH1** ili **CH2** i **TYPE** na **MEAN**)

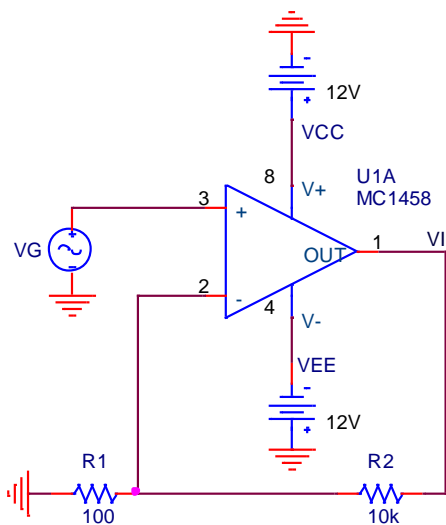
$$V_{X1} = \text{_____}, V_{I1} = \text{_____}.$$

4. Ulaz kola kratko spojiti sa negativnom baterijom za napajanje $V_U = V_{EE} = -12V$ i ponoviti tačku 3

$$V_{X2} = \text{_____}, V_{I2} = \text{_____} \Rightarrow \Delta V_X = V_{X2} - V_{X1} = \text{_____},$$

$$\Delta V_I = V_{I2} - V_{I1} = \text{_____} \Rightarrow A_0 = 648,06 \left| \frac{\Delta V_I}{\Delta V_X} \right| = \text{_____}.$$

2. MERENJE PROPUSNOG OPSEGA OPERACIONOG POJAČAVAČA B I UČESTANOSTI JEDINIČNOG POJAČANJA f_T



Slika 3.3. Kolo za merenje propusnog opsega i učestanosti jediničnog pojačanja.

Na slici 3.3 je prikazana šema kola koje se koristi pri ovom merenju. Funkcija prenosa operacionog pojačavača sve do učestanosti jediničnog pojačanja može se dobro aproksimirati jednopolnom funkcijom prenosa

$$A_{op}(s) = \frac{A_0}{1 + s/\omega_p}.$$

Funkcija prenosa pojačavača sa slike 3.3 je

$$A(s) = \frac{V_i(s)}{V_g(s)} = \frac{A_{op}(s)}{1 + \beta A_{op}(s)}, \quad \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{101} \Rightarrow$$

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \beta A_0} \frac{1}{1 + s/\omega_{p1}}, \quad \omega_{p1} = \omega_p (1 + \beta A_0).$$

Pošto je funkcija prenosa jednopolna, gornja granična učestanost jednaka je učestanosti pola

$$f_H = B = f_{p1} = f_p (1 + \beta A_0), \quad f = \omega/2\pi.$$

Proizvod pojačanja u propusnom opsegu i propusnog opsega predstavlja učestanost jediničnog pojačanja

$$f_T = A_{v0} B = \frac{A_0}{1 + \beta A_0} f_p (1 + \beta A_0) = A_0 f_p.$$

Postupak pri merenju

10. Na protobordu povezati šemu prema slici 3.3.
11. Na ulaz kola dovesti prostoperiodični napon $v_g = V_m \sin(2\pi ft)$, $V_m = 10\text{mV}$, $f = 1\text{kHz}$.
12. Na osciloskopu postaviti merenje amplitude izlaznog napona V_{imp-p} . Pritiskom na taster **MEASURE** dobija se meni u kome treba podesiti **SOURCE** na merni kanal osciloskopa **CH1** ili **CH2** i **TYPE** na **PK-PK**.
13. Osciloskopom podešenim za AC merenja izmeriti amplitudu izlaznog napona

$$V_{im} = \text{_____} \Rightarrow A_{v0} = \frac{V_{im}}{V_m} = \text{_____}.$$

14. Ne menjajući amplitudu ulaznog napona povećavati učestanost pobudnog generatora u koracima od po 100Hz i posmatrati amplitudu izlaznog napona. Učestanost pobudnog napona povećavati sve dok se na osciloskopu ne pojavi vrednost amplitude izlaznog

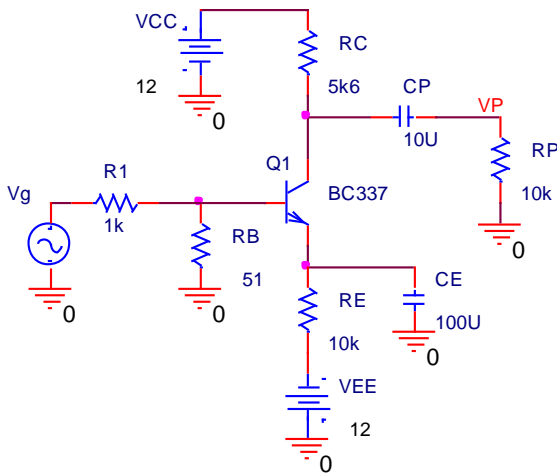
napona $\frac{V_{imp-p}(1\text{kHz})}{\sqrt{2}} \approx \frac{2\text{V}}{\sqrt{2}} = 1,41\text{V}$. Zabeležiti vrednost ove učestanosti

$$f_H = B = \underline{\hspace{2cm}} \Rightarrow f_T = A_{v0}B = \underline{\hspace{2cm}}.$$

15. Na osnovu izmerenih vrednosti DC pojačanja operacionog pojačavača A_0 i učestanosti f_T izračunati učestanost pola

$$f_P = f_T / A_0 = \underline{\hspace{2cm}}.$$

3. MERENJE PROPUSNOG OPSEGA POJAČAVAČA SA ZAJEDNIČKIM EMITOROM



Slika 3.4. Pojačavač sa zajedničkim emitorom.

Na slici 3.4 je prikazana šema kola koje se koristi pri ovom merenju. Na niskim učestanostima funkcija prenosa ovog pojačavača je

$$A_L(s) = \frac{V_p(s)}{V_g(s)} = A_{po} \frac{s(s + \omega_{ZE})}{(s + \omega_{PE})(s + \omega_{PP})},$$

$$A_{po} \approx -\frac{R_B}{R_B + R_1} g_m (R_C \parallel R_P), \quad \omega_{PP} = \frac{1}{C_P (R_C + R_P)},$$

$$\omega_{ZE} = \frac{1}{C_E R_E}, \quad \omega_{PE} = \frac{1}{C_E \left(R_E \parallel \frac{1}{g_m} \right)}, \quad r_\pi \gg R_B.$$

Na slici 3.5 je prikazan model bipolarnog tranzistora na visokim učestanostima. Učestanost na kojoj koeficijent strujnog pojačanja $\beta(jf)$ postaje jedan je

$$f_T = \frac{1}{2\pi} \frac{g_m}{C_\pi + C_\mu}.$$

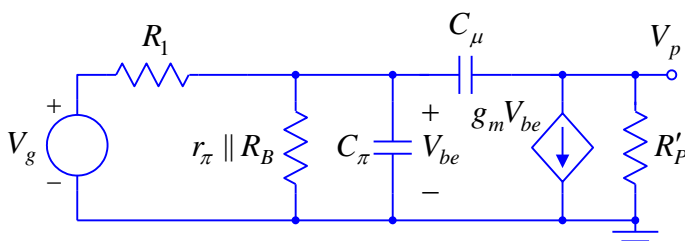
Na visokim učestanostima dominantan uticaj na funkciju prenosa imaju kondenzatori C_π i C_μ . Zanemarujući uticaj otpornosti tela baze r_b , slika 3.6, naponsko pojačanje ovog pojačavača je

$$A_H(s) = \frac{V_p(s)}{V_g(s)} = A_{po} \frac{1 - sC_\mu / g_m}{D(s)},$$

$$D(s) = \left(1 + \frac{s}{\omega_{p1}} \right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{p2}} \right) = 1 + s \left(\frac{1}{\omega_{p1}} + \frac{1}{\omega_{p2}} \right) + \frac{s^2}{\omega_{p1}\omega_{p2}}.$$

Obično su učestanosti polova dosta razmaknute, npr. $\omega_{p2} \gg \omega_{p1}$, tako da je

$$D(s) \approx 1 + \frac{s}{\omega_{p1}} + \frac{s^2}{\omega_{p1}\omega_{p2}}.$$



Slika 3.6. Šema za male signale pojačavača sa zajedničkim emitorom na visokim učestanostima.

Funkcija prenosa u ovom slučaju je

$$A_H(s) \approx A_{po} \frac{1 - sC_\mu / g_m}{(1 + s/\omega_{p1})(1 + s/\omega_{p2})},$$

$$\omega_{p1} \approx \frac{1}{R'_B (C_\pi + C_\mu (1 + g_m R'_P))},$$

$$R'_B = R_B \parallel r_\pi \parallel R_1, \quad R'_P = R_C \parallel r_{ce} \parallel R_P,$$

$$\omega_{P2} \approx \frac{1}{\omega_{P1}} \frac{1}{C_{\mu} C_{\pi} R'_B R'_P} \gg \omega_{P1} .$$

Postupak pri merenju

1. Na protobordu povezati šemu prema slici 3.4.
2. Na ulaz kola dovesti prostoperiodični napon $v_g = V_m \sin(2\pi ft)$, $f = 1 \text{ kHz}$.
3. Na osciloskopu postaviti merenje amplitude izlaznog napona V_{pmp-p} . Pritiskom na taster **MEASURE** dobija se meni u kome treba podesiti **SOURCE** na merni kanal osciloskopa **CH1** ili **CH2** i **TYPE** na **PK-PK**.
4. Osciloskop podesiti za AC merenja, a zatim podešavati vrednost amplitude ulaznog napona dok se na potrošaču R_p ne dobije amplituda $V_{pmp-p} = 2 \text{ V}$.
5. Na osnovu odnosa amplituda napona na potrošaču i ulaznog napona odrediti pojačanje u propusnom opsegu

$$A_{po} = \frac{V_{pmp-p}}{V_{mp-p}} = \underline{\hspace{2cm}} .$$

6. Potom ne menjajući amplitudu ulaznog napona smanjivati frekvenciju pobudnog generatora sve dok amplituda napona na potrošaču ne opadne na vrednost $\frac{V_{pmp-p}(1\text{kHz})}{\sqrt{2}} \approx \frac{2 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 1,41 \text{ V}$. Učestanosti pri kojoj se ovo dešava je donja granična učestanost pojačavača

$$f_L = \underline{\hspace{2cm}} .$$

7. Ne menjajući amplitudu ulaznog napona povećavati učestanost pobudnog generatora i posmatrati amplitudu izlaznog napona. Kako se približavamo gornjoj graničnoj učestanosti, učestanost pobudnog generatora treba povećavati u sve manjim koracima. Učestanost pobudnog napona povećavati sve dok se na osciloskopu ne pojavi vrednost amplitude izlaznog napona $\frac{V_{pmp-p}(1\text{kHz})}{\sqrt{2}} \approx \frac{2 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 1,41 \text{ V}$. Gornja granična učestanost i propusni opseg pojačavača su

$$f_H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ i } B = f_H - f_L = \underline{\hspace{2cm}} .$$

ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE KORIŠĆENIH POLUPROVODNIČKIH KOMPONENTI

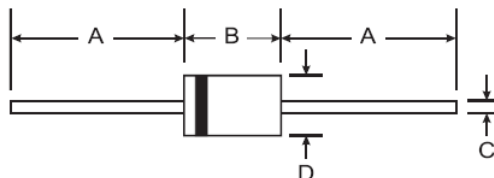


1N4148 / 1N4448

FAST SWITCHING DIODE

Features

- Fast Switching Speed
- General Purpose Rectification
- Silicon Epitaxial Planar Construction
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 2)



Mechanical Data

- Case: DO-35
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020C
- Leads: Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Terminals: Finish — Matte Tin. Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Marking: Type Number
- Weight: 0.13 grams (approximate)

DO-35		
Dim	Min	Max
A	25.40	—
B	—	4.00
C	—	0.60
D	—	2.00
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings @ T_A = 25°C unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	1N4148	1N4448	Unit
Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	V _{RM}	100		V
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V _{RRM} V _{RWM} V _R	75		V
RMS Reverse Voltage	V _{R(RMS)}	53		V
Forward Continuous Current (Note 1)	I _{FM}	300	500	mA
Average Rectified Output Current (Note 1)	I _O	150		mA
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current @ t = 1.0s @ t = 1.0μs	I _{FSM}	1.0 2.0		A
Power Dissipation (Note 1) Derate Above 25°C	P _d	500 1.68		mW mW/°C
Thermal Resistance, Junction to Ambient Air (Note 1)	R _{θJA}	300		K/W
Operating and Storage Temperature Range	T _J , T _{STG}	-65 to +175		°C

Electrical Characteristics @ T_A = 25°C unless otherwise specified

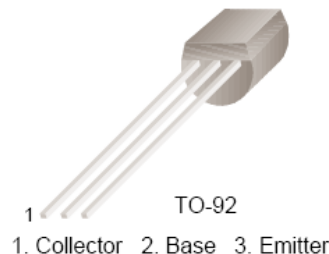
Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
Maximum Forward Voltage	V _{FM}	—	1.0 0.72 1.0	V	I _F = 10mA I _F = 5.0mA I _F = 100mA
Maximum Peak Reverse Current	I _{RM}	—	5.0 50 30 25	μA μA μA nA	V _R = 75V V _R = 70V, T _J = 150°C V _R = 20V, T _J = 150°C V _R = 20V
Capacitance	C _J	—	4.0	pF	V _R = 0, f = 1.0MHz
Reverse Recovery Time	t _{rr}	—	4.0	ns	I _F = 10mA to I _R = 1.0mA V _R = 6.0V, R _L = 100Ω

- Notes: 1. Valid provided that device terminals are kept at ambient temperature.
2. RoHS revision 13.2.2003. Glass and High Temperature Solder Exemptions Applied, see *EU Directive Annex Notes 5 and 7*.

BC337/338

Switching and Amplifier Applications

- Suitable for AF-Driver stages and low power output stages
- Complement to BC327/BC328



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CES}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC337	50	V
	: BC338	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC337	45	V
	: BC338	25	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	800	mA
P_C	Collector Power Dissipation	625	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C=10\text{mA}, I_B=0$				
	: BC337		45			V
	: BC338		25			V
BV_{CES}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C=0.1\text{mA}, V_{BE}=0$				
	: BC337		50			V
	: BC338		30			V
BV_{EBO}	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E=0.1\text{mA}, I_C=0$	5			V
I_{CES}	Collector Cut-off Current					
	: BC337	$V_{CE}=45\text{V}, I_B=0$		2	100	nA
	: BC338	$V_{CE}=25\text{V}, I_B=0$		2	100	nA
h_{FE1}	DC Current Gain	$V_{CE}=1\text{V}, I_C=100\text{mA}$	100		630	
h_{FE2}		$V_{CE}=1\text{V}, I_C=300\text{mA}$	60			
$V_{CE}(\text{sat})$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=500\text{mA}, I_B=50\text{mA}$			0.7	V
$V_{BE}(\text{on})$	Base Emitter On Voltage	$V_{CE}=1\text{V}, I_C=300\text{mA}$			1.2	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=10\text{mA}, f=50\text{MHz}$		100		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10\text{V}, I_E=0, f=1\text{MHz}$		12		pF

h_{FE} Classification

Classification	16	25	40
h_{FE1}	100 ~ 250	160 ~ 400	250 ~ 630
h_{FE2}	60-	100-	170-

NPN general purpose transistors

BC107; BC108; BC109

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	BC107		–	50	V
	BC108; BC109		–	30	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	BC107		–	45	V
	BC108; BC109		–	20	V
I_{CM}	peak collector current		–	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ °C}$	–	300	mW
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}$			
	BC107		110	450	
	BC108		110	800	
	BC109		200	800	
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	–	MHz

CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ °C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
I_{CBO}	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 20\text{ V}$	–	–	15	nA	
		$I_E = 0; V_{CB} = 20\text{ V}; T_j = 150\text{ °C}$	–	–	15	μA	
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$	–	–	50	nA	
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V}$					
			BC107A; BC108A	–	90	–	
			BC107B; BC108B; BC109B	40	150	–	
	BC108C; BC109C		100	270	–		
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}$					
			BC107A; BC108A	110	180	220	
			BC107B; BC108B; BC109B	200	290	450	
	BC108C; BC109C		420	520	800		
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 10\text{ mA}; I_B = 0.5\text{ mA}$	–	90	250	mV	
		$I_C = 100\text{ mA}; I_B = 5\text{ mA}$	–	200	600	mV	
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage	$I_C = 10\text{ mA}; I_B = 0.5\text{ mA}; \text{note 1}$	–	700	–	mV	
		$I_C = 100\text{ mA}; I_B = 5\text{ mA}; \text{note 1}$	–	900	–	mV	
V_{BE}	base-emitter voltage	$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; \text{note 2}$	550	620	700	mV	
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; \text{note 2}$	–	–	770	mV	
C_o	collector capacitance	$I_E = I_e = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	2.5	6	pF	
C_e	emitter capacitance	$I_C = I_c = 0; V_{EB} = 0.5\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	9	–	pF	
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CB} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	–	–	MHz	
F	noise figure	$I_C = 200\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V}; R_S = 2\text{ k}\Omega;$ $f = 30\text{ Hz to }15.7\text{ kHz}$					
			BC109B; BC109C	–	–	4	dB
F	noise figure	$I_C = 200\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V}; R_S = 2\text{ k}\Omega;$ $f = 1\text{ kHz}; B = 200\text{ Hz}$					
			BC107A; BC108A	–	–	10	dB
	BC107B; BC108B; BC108C		–	–	4	dB	
	BC109B; BC109C		–	–	4	dB	

Notes

- V_{BEsat} decreases by about 1.7 mV/K with increasing temperature.
- V_{BE} decreases by about 2 mV/K with increasing temperature.

Električne karakteristike bipolarnog tranzistora BC 107 (preuzeto sa site-a firme Philips Semiconductors).

MC1458, C

Internally Compensated, High Performance Dual Operational Amplifiers

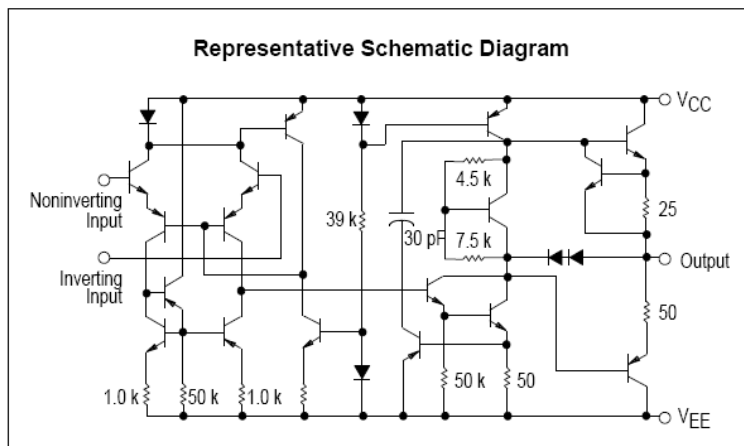
The MC1458, C was designed for use as a summing amplifier, integrator, or amplifier with operating characteristics as a function of the external feedback components.

- No Frequency Compensation Required
- Short Circuit Protection
- Wide Common Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Power Consumption
- No Latch-Up

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

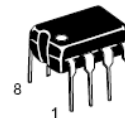
Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC} V_{EE}	+18 -18	Vdc
Input Differential Voltage	V_{ID}	± 30	V
Input Common Mode Voltage (Note 1)	V_{ICM}	± 15	V
Output Short Circuit Duration (Note 2)	t_{SC}	Continuous	
Operating Ambient Temperature Range	T_A	0 to +70	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature	T_J	150	$^\circ\text{C}$

NOTES: 1. For supply voltages less than ± 15 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
2. Supply voltage equal to or less than 15 V.



DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS (DUAL MC1741)

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

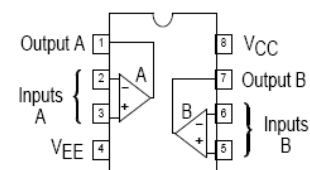


P1 SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO-8)

PIN CONNECTIONS



(Top View)

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
MC1458CD, D	$T_A = 0^\circ$ to $+70^\circ\text{C}$	SO-8
MC1458CP1, P1		Plastic DIP

LITERATURA

A. S. Sedra and K. C. Smith, *Microelectronics Circuits*, Fifth Edition, Chapters 2 and 6-9, Oxford University Press, 2004.

S. Marjanović, *Elektronika linearnih kola i sistema*, Glave 1-4 i 11, Akademska misao, Beograd, 2002.

S. LJ. Tešić, D. M. Vasiljević, *Osnovi elektronike*, Glave 10-12 i 15, Građevinska knjiga, Beograd, 2000.

R. Đurić, *Zbirka zadataka iz analogne elektronike*, Glava 1, Grafos internacional, Pančevo, 2004.

Pravila za rad u laboratoriji i Uputstva za instrumente i opremu, <http://tnt.etf.bg.ac.yu> .

<http://www.tek.com/measurement/scopes/home.html> .

www.agilent.com/find/33220A .

EVIDENCIJA IZRADE LABORATORIJSKIH VEŽBI

Naziv vežbe	Ime, prezime i broj indeksa	Datum	Ocena	Overa
1. Operacioni pojačavač	1.			
	2.			
2. Primena operacionih pojačavača: integrator i precizni usmerač	1.			
	2.			
3. Frekvencijske karakteristike pojačavača	1.			
	2.			