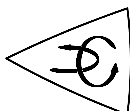




**FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO,
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO**
Inštitut za elektroniko



ELEKTRONIKA
Laboratorijske vaje za program
računalništva in informatike

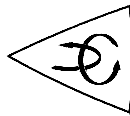
Bojan Jarc, Rudolf Babič

1. izdaja (drugi ponatis)

MARIBOR 2003



**FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO,
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO**
Inštitut za elektroniko



ELEKTRONIKA
Laboratorijske vaje za program
računalništva in informatike

Bojan Jarc, Rudolf Babič

1. izdaja (drugi ponatis)

MARIBOR 2003

Copyright 2003. Prva izdaja, drugi ponatis, oktober 2003.

ELEKTRONIKA: Laboratorijske vaje za program računalništva in informatike

AVTORJA: doc. dr. Bojan Jarc, izr. prof. dr. Rudolf Babič
VRSTA PUBLIKACIJE: navodilo za vaje
STROKOVNI RECENZENT: doc. dr. Mitja Solar
JEZIKOVNI PREGLED: Bojana Samarin, prof.
ZALOŽBA: Založniška dejavnost Fakultete za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko,
TISK: Tiskarna tehniških fakultet Maribor
NAKLADA: 70 izvodov

Vse pravice so pridržane.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

681.38 (075.8) (076.5)

JARC, Bojan

Elektronika : Laboratorijske vaje za program računalništva in
informatike / Bojan Jarc, Rudolf Babič. - 1. izd., 2. ponatis - Maribor :
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2003

ISBN 86-435-0363-0

1. Babič, Rudolf
COBIS-ID 45359873


AVTORJEV NASLOV: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in
informatiko Maribor,
2000 Maribor, Smetanova 17
bojan.jarc@uni-mb.si

POPRAVKI: <http://saturn.uni-mb.si/~bojan/>

Predgovor

Pričujoče gradivo dopolnjuje in zaokrožuje predavanja ter računske vaje pri predmetu Elektronika za študente univerzitetnega programa računalništva in informatike. Navodila za laboratorijske vaje so zasnovane tako, da se vanje vnašajo merilni rezultati, karakteristike in odgovori na vprašanja. Pravilno izpolnjeno gradivo bo predstavljalo osnovni študijski pripomoček. Podane so vaje s področij:

- signalov,
- polprevodniških elementov,
- analognih in digitalnih elektronskih vezij,
- oblikovanja in generiranja signalov, ter
- pretvornikov signalov.

Večino vaj opravljajo študenti samostojno. Izjeme so tiste točke, ki so označene z . Te vaje se izvajajo z demonstracijo.

Ob koncu bi se želela zahvaliti strokovnemu recenzentu doc. dr. Mitji Solarju za vse koristne pripombe in nasvete pri nastajanju navodil za vaje ter prof. Bojani Samarin za jezikovno oblikovanje besedila.

V Mariboru, novembra 2000

Avtorja

Kazalo

1. SIGNALI	1
1.1 Napajalni viri	1
1.2 Prenos signalov	3
2. POLPREVODNIŠKI ELEMENTI	8
2.1 Upor in polprevodniška dioda	8
2.2 Bipolarni spojni tranzistor (BJT)	14
2.3 MOS FET tranzistor	22
3. ANALOGNA ELEKTRONSKA VEZJA	28
3.1 Operacijski ojačevalnik	28
4. DIGITALNA ELEKTRONSKA VEZJA	33
4.1 Osnovni logični elementi	33
5. OBLIKOVANJE IN GENERIRANJE SIGNALOV	41
5.1 Primerjalnik in primerjalno vezje s histerezo (Schmittovo preklopno vezje)	41
5.2 Kvarčni oscilator	44
5.3 Funkcijski generator	47
6. PRETVORNIKI SIGNALOV	53
6.1 Digitalno-analogni in analogno-digitalni pretvorniki	53

Pomen pogosteje uporabljenih simbolov

G - napetostni vir
 V - merilnik napetosti
 A - merilnik toka
 μA - merilnik toka
 f - frekvenca
 ω - krožna frekvenca
 T - perioda
 T_A - temperatura okolice (ambient temperature)
 $Q, 0$ - delovna točka (quiescent)
 I_{BQ}, I_{CQ}, I_{EQ} - bazni, kolektorski, emitorski tok delovne točke
 U_{BEQ} - napetost delovne točke med bazo in emitorjem
 U_{CEQ} - napetost delovne točke med kolektorjem in emitorjem
 U_{CES} - napetost nasičenja med kolektorjem in emitorjem
 U_{BES} - napetost nasičenja med bazo in emitorjem
 U_T - termična napetost
 h_{FE}, B - enosmerni tokovni ojačevalni faktor
 h_{fe}, β, h_{21e} - izmenični tokovni ojačevalni faktor
 r_{BE}, h_{11e} - dinamična upornost spoja baza-emitor
 THD - faktor harmoničnih popačenj (Total Harmonic Distortion)
 U_P - pragovna napetost (v angleški literaturi tudi U_T - threshold voltage)
 μ - gibljivost nosilcev (elektroni $200 \div 1500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ali vrzeli $100 \div 500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$),
 ε - dielektrična konstanta (SiO_2 : $4\varepsilon_0$, $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ As/Vm}$),
 t_{ox} - debelina oksida ($0,2 \mu\text{m}$),
 L - dolžina kanala,
 W - širina kanala,
 f_{ZG}, f_{-3dB} - zgornja frekvenčna meja
 f_{SP} - spodnja frekvenčna meja
 f_T - tranzitna mejna frekvenca
 A_0 - ojačenje odprte zanke
 t_{PLH} - čas zakasnitve vezja ob preklopu izhoda z nizkega na visok logični nivo
 (PLH - Propagation Low to High)
 t_{TLH}, t_R - čas naraščanja ($10 \div 90 \%$), (TLH - Transition Low to High)
 t_{THL}, t_F - čas padanja ($90 \div 10 \%$), (THL - Transition High to Low)
 U_P^+ - preklopna napetost +
 U_H - napetost histereze
 LSB - najnižje utežni bit (Least Significant Bite)
 MSB - najvišje utežni bit (Most Significant Bite)
 f_s - frekvenca vzorčenja

1. SIGNALI

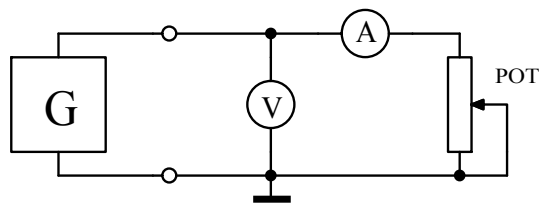
1.1 Napajalni viri

Vaja seznanja z osnovnimi napajalnimi viri, z njihovo uporabo in lastnostmi. Z meritvami U-I karakteristike in notranje upornosti določimo elemente nadomestnega vezja, s katerimi so opisane izbrane vrste napajalnikov.

1. Povežite napajalni vir z bremenom in uporabite instrumenta za meritev napetosti in toka. Vežalno shemo prikazuje slika 1.1. Izmerite in narišite U-I karakteristiko treh napetostnih virov:

- baterije,
- napajalnika (napajalno napetost naj bo enaka kot je bila napetost odprtih sponk baterije, tok kratkega naj bo 0,4 A) in
- signalnega napetostnega vira (izhod iz CMOS logičnega vezja).

Merite le do maksimalnega toka $I_{\max} = 200 \text{ mA}$.



napetostni vir

Slika 1.1: Vežalna shema

Popis instrumentov, naprav in elementov:

G - baterija $U_{\text{BAT}} = 4,5 \text{ V}$, napajalnik HM 7042, model s CMOS vezjem,

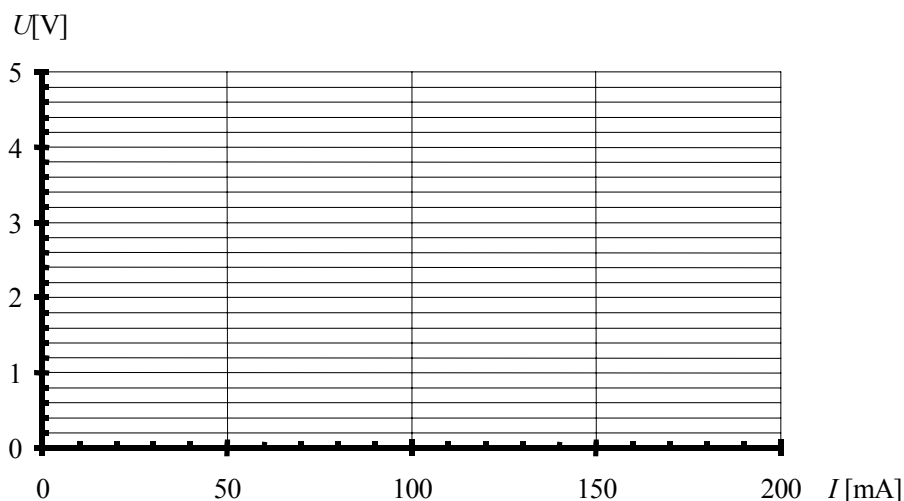
V - digitalni univerzalni instrument HM 8011,

A - univerzalni instrument UNIVO ali UNIMER 1,

POT - drsni upor 330Ω .

	U[V]		
I[mA]	baterija	napajalnik	sig. vir
0			
3			
50			
100			
150			
200			

Tabela 1.1: Izmerjene vrednosti napetosti



Slika 1.2: U-I karakteristike posameznih napetostnih virov

2. Posamezne napajalne vire za kratek čas obremenite z bremenom $R_B = 1 \Omega$. Opišite, kaj se zgodi z napetostjo in tokom?

Odg.:

3. Na osnovi izmerjenih rezultatov izračunajte notranjo upornost napetostnih virov R_g pri delovnih pogojih, ki so določeni z mirovnim tokom:

- baterija

$$I_{BQ} = 50 \text{ mA}, \quad R_{gB} = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_Q = \dots\dots\dots$$

- napajalnik

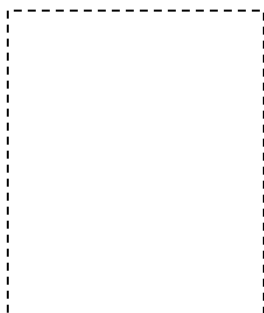
$$I_{NQ} = 50 \text{ mA}, \quad R_{gN} = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_Q = \dots\dots\dots$$

- signalni vir

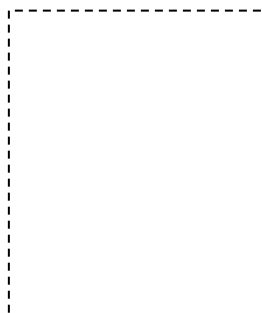
$$I_{SVQ} = 3 \text{ mA}, \quad \dots\dots\dots R_{gSV} = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_Q =$$

4. Narišite nadomestna vezje napetostnih virov in pripišite izmerjene vrednosti napetosti odprtih sponk in notranje upornosti:

baterija



napajalnik



signalni vir

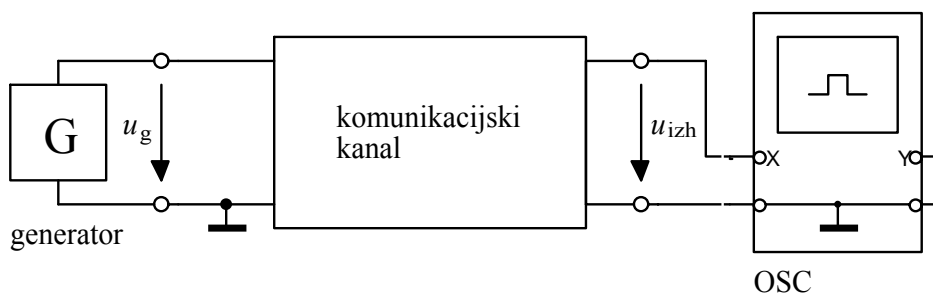


1.2 Prenos signalov

Vaja seznanja študente z laboratorijskim funkcijskim generatorjem, z osnovnim signalnim virom za generiranje sinusnega, trikotnega in pravokotnega signala. Prikazuje prenos različnih oblik signalov preko žičnega komunikacijskega kanala in preko ojačevalnika ter seznanja z meritvami parametrov opazovanega signala v časovnem in frekvenčnem prostoru.

A Prenos signalov preko žičnega kanala

1. S signalnim virom generirajte periodični sinusni in pravokotni signal s frekvenco $f_1 = 1$ kHz in amplitudo $U_a = 0,5$ V. Priključite ga na komunikacijski kanal. Vežalno shemo prikazuje slika 1.3.



Slika 1.3: Meritev frekvence in amplitude signala z osciloskopom

Popis instrumentov, naprav in elementov:

G - funkcijski generator HM 8030,

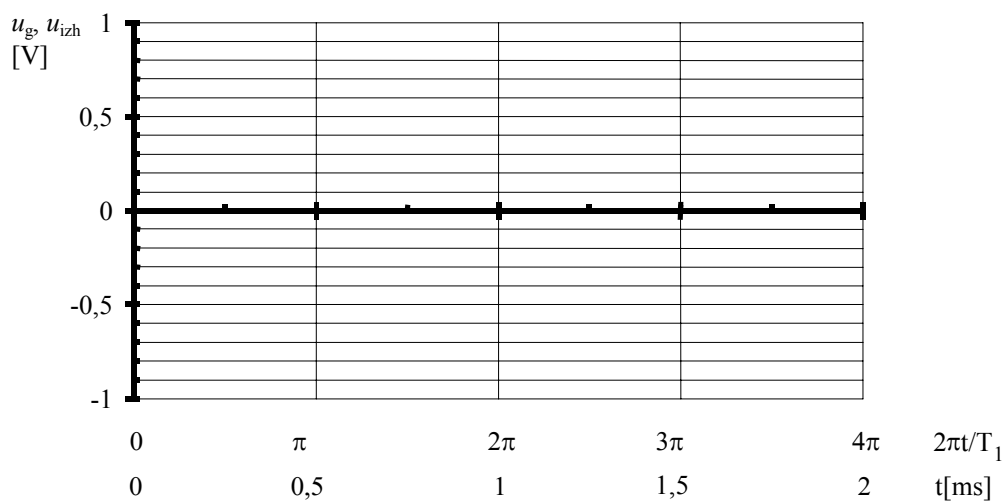
OSC - osciloskop HM 1507,

komunikacijski kanal - modul ali svitek kabla.

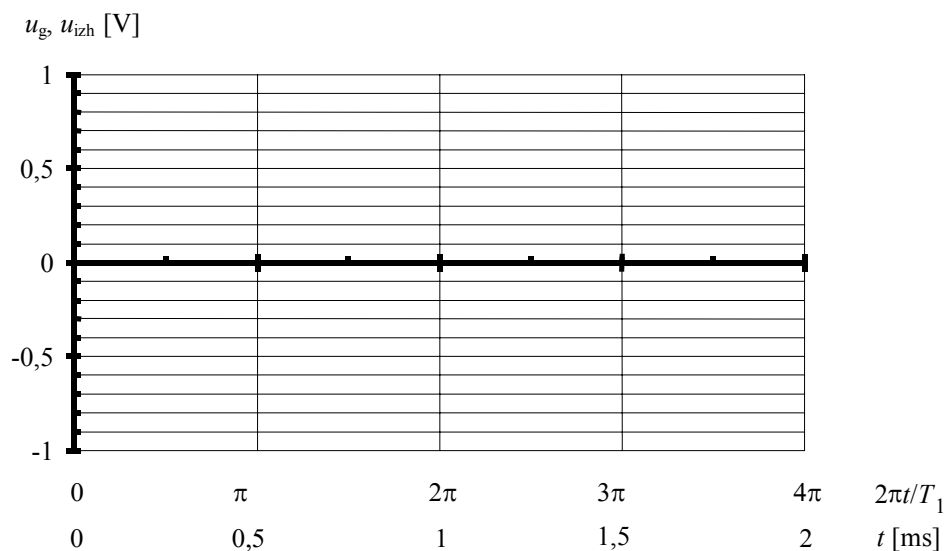
2. Z osciloskopom izmerite in narišite časovne poteke signalov na vhodu in izhodu kanala. Kakšna je oblika, amplituda, frekvenca f_1 in perioda T_1 signala na vhodu in izhodu kanala.

- Meritev:

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = \dots\dots\dots \quad T_1 = \frac{1}{f_1} = \dots\dots\dots$$



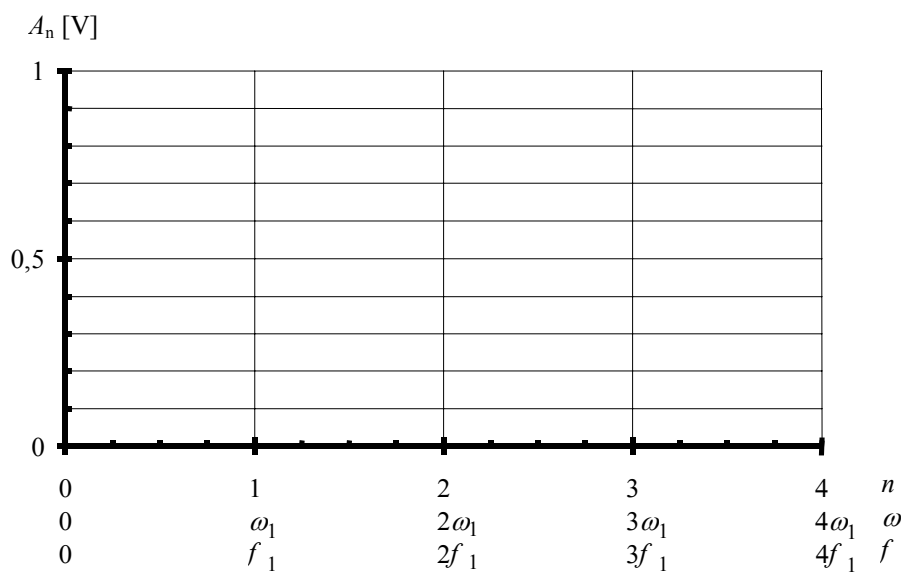
Slika 1.4: Časovna diagrama sinusnega periodičnega signala



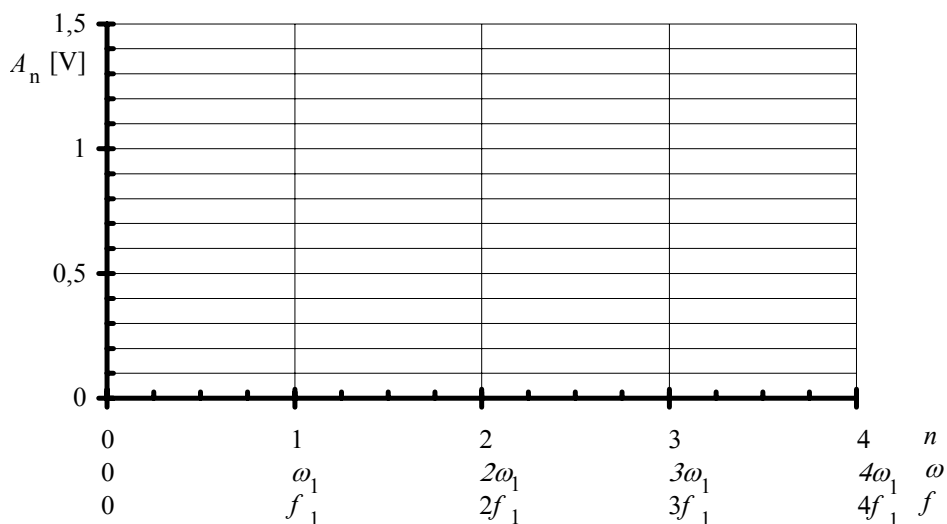
Slika 1.5: Časovna diagrama pravokotnega periodičnega signala



3. Z osciloskopom, ki omogoča izračun FFT signala, izmerite in narišite amplitudna spektra sinusnega in pravokotnega signala na vhodu in izhodu komunikacijskega kanala.



Slika 1.6: Amplitudna spektra sinusnega periodičnega signala



Slika 1.7: Amplitudna spektra pravokotnega periodičnega signala

4. Kaj je vzrok za različne amplitude višjih harmonikov vhodnega in izhodnega signala?

Odg.:

5. Izračunajte in zapišite Fourierjevo vrsto omenjenih periodičnih signalov. Izračunane vrednosti primerjajte z meritvijo.

• sinusni signal $u_s(t) = \dots\dots\dots$

• pravokotni signal $u_p(t) = \dots\dots\dots$

6. Kakšen je spekter omenjenih periodičnih signalov? Obkrožite pravilni odgovor:

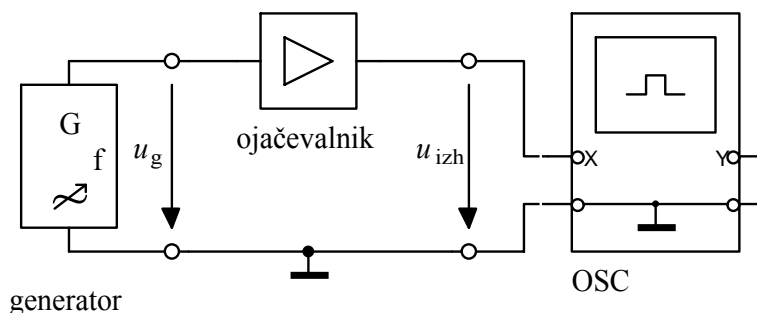
- zvezni, ali
- diskretni.

7. Kakšen je spekter neperiodičnih signalov? Obkrožite.

- zvezni, ali
- diskretni.

B Prenos signala preko ojačevalnega vezja

1. Povežite močnostni ojačevalnik s funkcijskim generatorjem in osciloskopom kot to prikazuje slika 1.8. Amplitudo vhodnega signala izberite tako, da bo izhodni signal v področju srednjih frekvenc nepopačen. Izmerite ojačenje pri srednjih frekvencah A_0 in v ostalih točkah po tabeli 1.2. Narišite frekvenčno karakteristiko ojačevalnika.

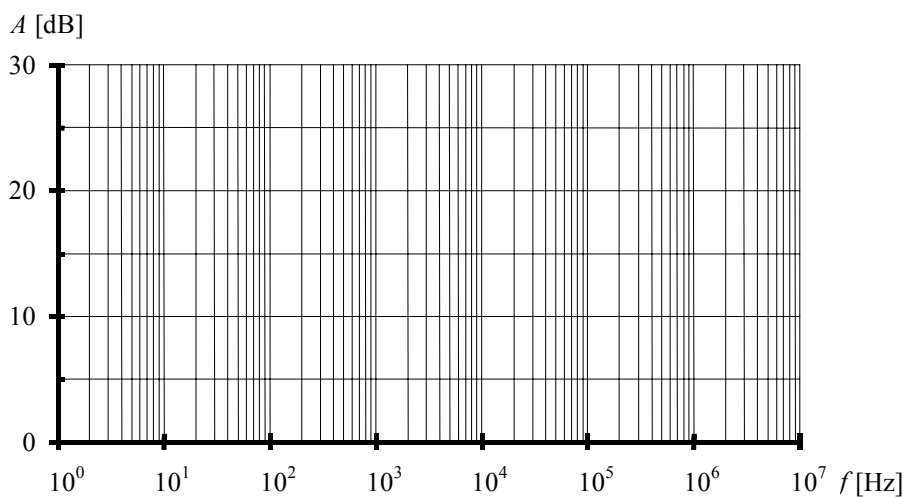


Slika 1.8: Meritev frekvenčne karakteristike ojačevalnika

Popis instrumentov, naprav in elementov:
 G - funkcijski generator HM 8030,
 OSC - osciloskop HM 1507,
 ojačevalnik - model močnostnega ojačevalnika.

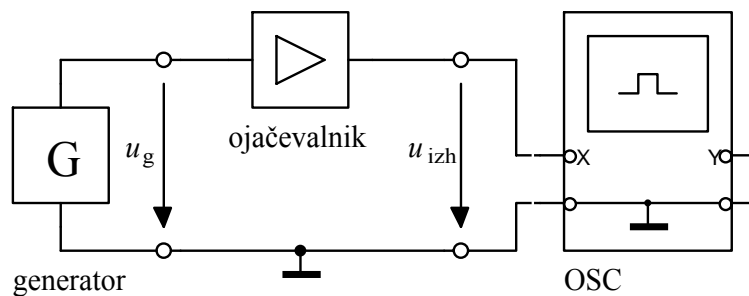
f [Hz]	A [dB] $A_0 = \dots$ dB
	$A_0 - 20$
	$A_0 - 12$
	$A_0 - 6$
	$A_0 - 3$
	A_0
	$A_0 - 3$
	$A_0 - 6$
	$A_0 - 12$
	$A_0 - 20$

Tabela 1.2: Izmerjeno ojačenje



Slika 1.9: Izmerjena frekvenčna karakteristika ojačevalnika

2. Na vhod ojačevalnika priključite generator pravokotnega signala s frekvenco 10 kHz in amplitudo 0,5 V. Izmerite in narišite časovni potek vhodnega in izhodnega signala.



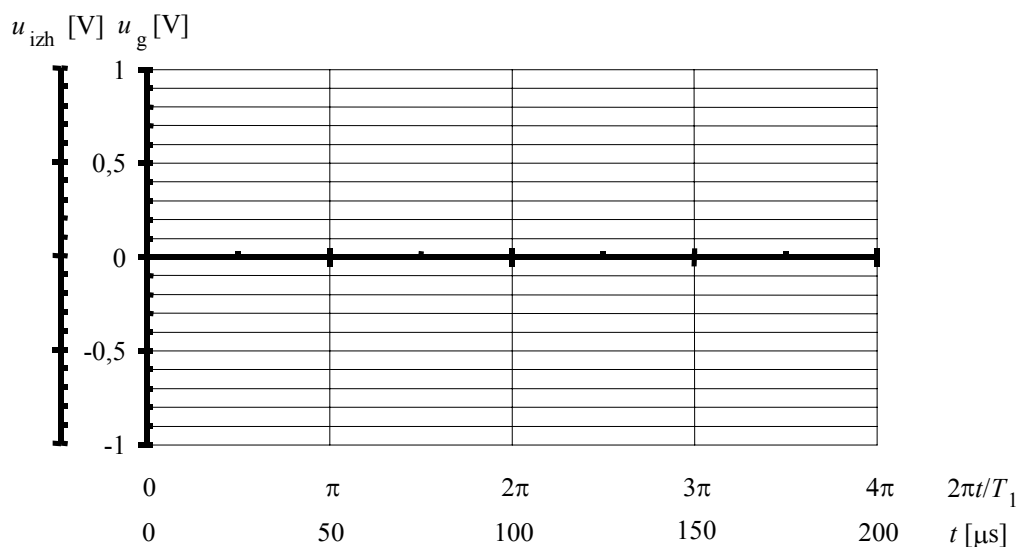
Slika 1.10: Meritev odziva ojačevalnika na pravokotni signal

Popis instrumentov, naprav in elementov:

G - funkcijski generator HM 8030,

OSC - osciloskop LeCroy 9361,

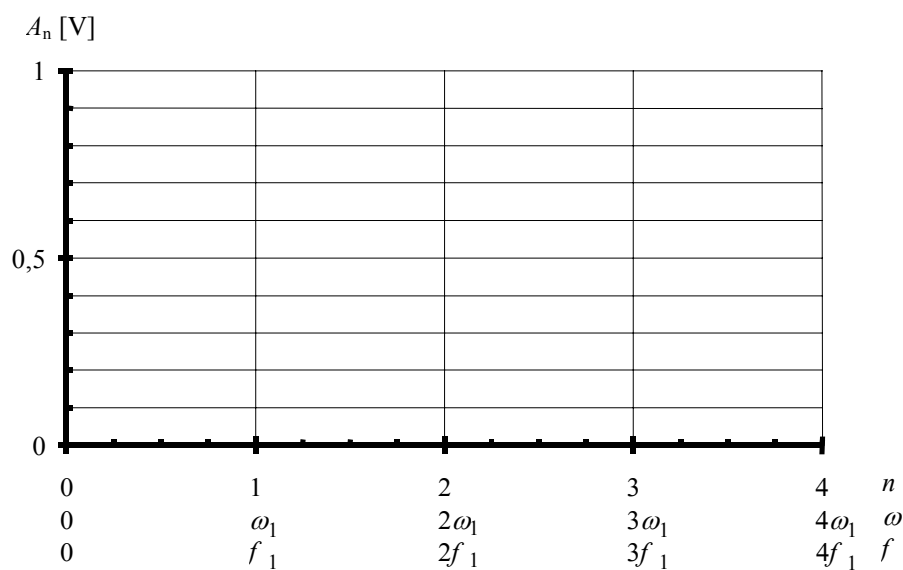
ojačevalnik - model močnostnega ojačevalnika.



Slika 1.11: Časovna diagrama pravokotnega vhodnega in izhodnega signala ojačevalnika



3. Z osciloskopom, ki omogoča izračun FFT signala, izmerite in narišite amplitudni spekter izhodnega signala.



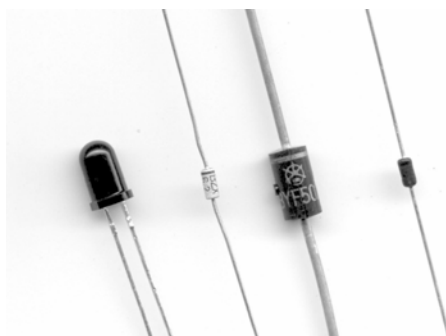
Slika 1.12: Amplitudni spekter odziva ojačevalnika na pravokotni vhodni signal

2. POLPREVODNIŠKI ELEMENTI

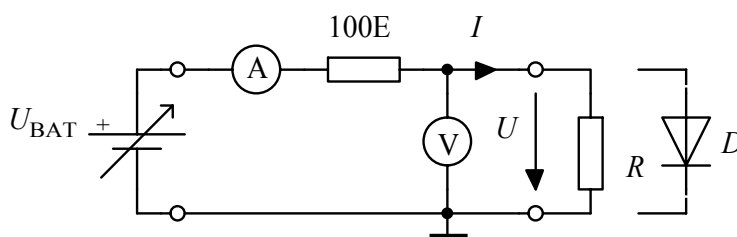
2.1 Upor in polprevodniška dioda

Vaja opisuje primerjavo U-I karakteristik dveh različnih uporov in polprevodniške diode. Prikazuje določitev enosmerne (statične) in izmenične (dinamične) upornosti pri posameznih elementih ter osnovno uporabo diode v polvalnem usmerniku.

1. Sestavite vezje za merjenje U-I karakteristik po sliki 2.2. Izmerite, narišite in primerjate U-I karakteristike uporov $10\ \Omega$, $47\ \Omega$ in diode BA511 (ekvivalent 1N4148). Kataložko podano karakteristiko diode pri temperaturi okolice $T_A = 25^\circ\text{C}$ prikazuje slika 2.3.



Slika 2.1: Oblike diod (od leve proti desni: LED, Zener, usmerniška, signalna)



Slika 2.2: Meritev U-I karakteristike

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT} - napajalnik HM 7042,

V - digitalni univerzalni instrument HM 8011,

A - univerzalni instrument UNIVO ali UNIMER 1,

R - upor,

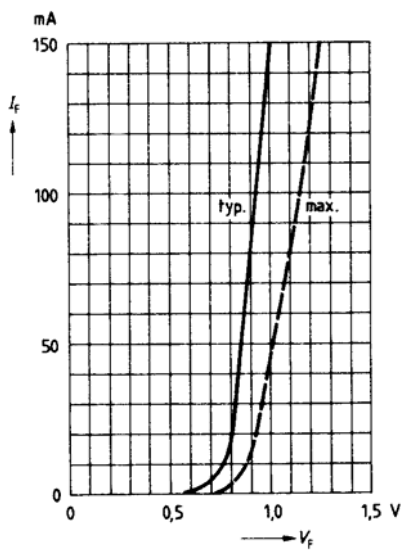
D - dioda BA511.

I [mA]	U [V]	
	R = 10 Ω	R = 47 Ω
0		
30		
100		
-30		
-100		

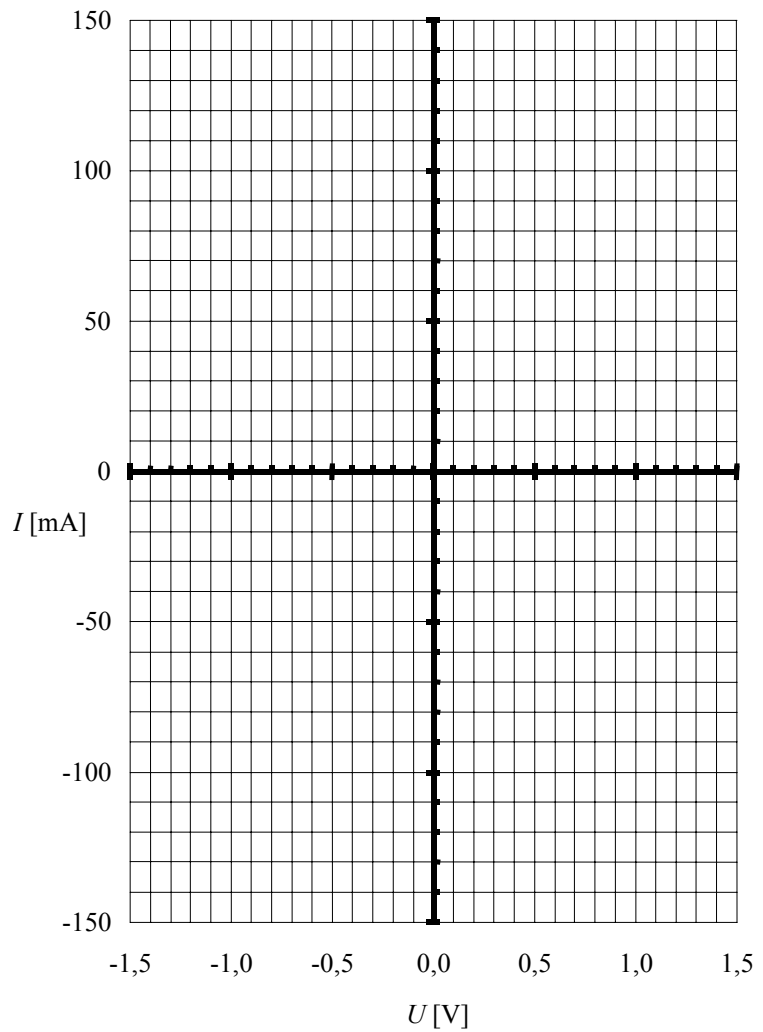
Tabela 2.1: Izmerjene vrednosti pri upor

I [mA]	U [V]
	0
	0,3
	0,5
5	
10	
15	
20	
100	
	-1

Tabela 2.2: Izmerjene vrednosti pri diodi



Slika 2.3: Kataloško podana karakteristika diode



Slika 2.4: Izmerjene karakteristike

2. Iz narisane karakteristike izračunajte upornosti uporov pri toku $I_{RQ} = 20$ mA. Kakšni sta vrednosti U_{RQ} ?

• $R_{\text{izm}} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \dots\dots\dots$ $U_{R1Q} = \dots\dots\dots$

- $R_{2\text{izm}} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \dots\dots\dots U_{R2Q} = \dots\dots\dots$

3. Kako se R spreminja s spremembo delovne točke?

Odg.:

4. Iz označbe upornosti z barvno kodo odčitajte vrednosti uporov. Kolikšne so tolerance upornosti, označene na uporih? Ali se izmerjene vrednosti upornosti nahajajo znotraj tolerančnega območja?

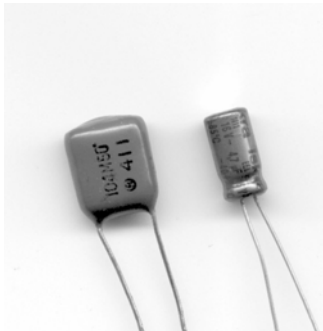
- $R_1 = 10 \Omega$
barvna koda:
barva, ki označuje tolerance:
tolerance: %
izmerjena vrednost v območju toleranc: DA NE

- $R_2 = 47 \Omega$
barvna koda:
barva, ki označuje tolerance:
tolerance: %
izmerjena vrednost v območju toleranc: DA NE

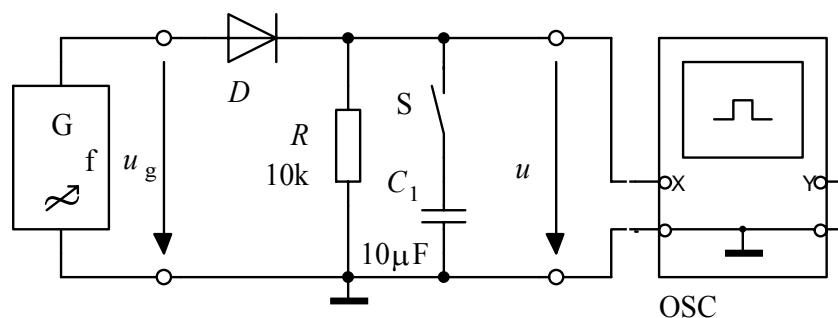
5. Na osnovi izmerjene karakteristike izračunajte enosmerno (statično) in izmenično (dinamično) upornost diode v delovni točki pri $I_Q = 20 \text{ mA}$. Izračunajte relativni pogrešek izračunane dinamične upornosti od izmerjene.

- meritev $R_{\text{Sm}} = \frac{U_Q}{I_Q} = \dots\dots\dots r_{\text{dm}} = \frac{\Delta U}{\Delta I} \Big|_Q = \dots\dots\dots$
- izračun / $r_{\text{di}} = \frac{U_T}{I_Q} = \frac{25\text{mV}}{20\text{mA}} = \dots\dots\dots$
- relativni pogrešek / $\Delta r(\%) = \frac{r_{\text{di}} - r_{\text{dm}}}{r_{\text{dm}}} 100\% = \dots\dots\dots$

6. Sestavite vezje polvalnega usmernika z diodo za merilne namene, kot to prikazuje slika 2.6. Vhodni signal naj bo sinusne oblike s frekvenco $f = 1 \text{ kHz}$ in amplitudo $U_a = 5 \text{ V}$.



Slika 2.5: Kondenzatorja (od leve proti desni: folijski, elektrolitski)



Slika 2.6: Polvalni usmernik - merilnik temenske vrednosti

Popis instrumentov, naprav in elementov:

G - funkcijski generator HM 8030,

OSC - osciloskop HM 1507,

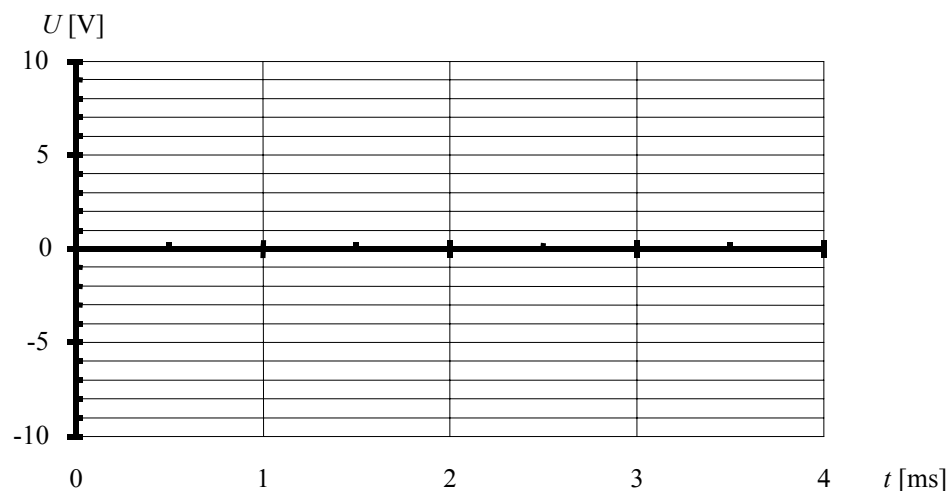
R - upor,

D - dioda,

C₁ - kondenzator,

S - stikalo.

7. Izmerite in narišite časovni potek vhodnega in izhodnega signala u brez priključenega kondenzatorja (stikalo S je razklenjeno).



Slika 2.7: Časovna poteka vhodnega in izhodnega signala polvalnega usmernika

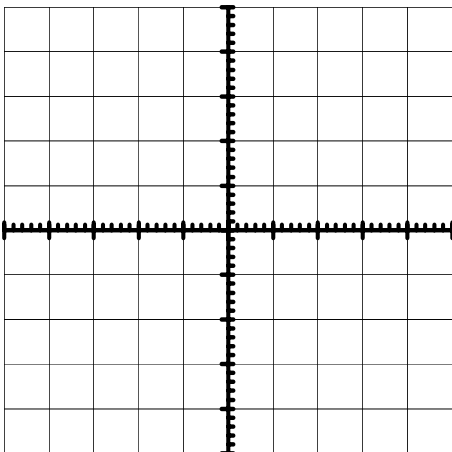
8. Sklenite stikalo S. Časovni potek izhodne napetosti vrišite v sliko 2.7. Katero vrednost vhodne napetosti dobite na izhodu? Kot kaj lahko uporabite narisano vezje?

Odg.:

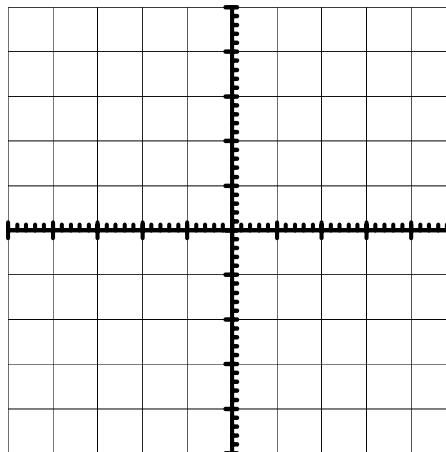
9. Kako bi z univerzalnim instrumentom (Ω -metrom) preverili, ali je dioda brezhibna?

Odg.:

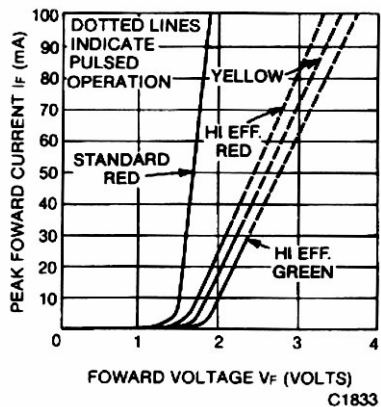
10. Z osciloskopom si poglejte karakteristike uporov 1 k Ω in 100 k Ω ter Zenerjeve in LED diode. Prerišite jih v ustrezen graf 2.8 oz. 2.9.



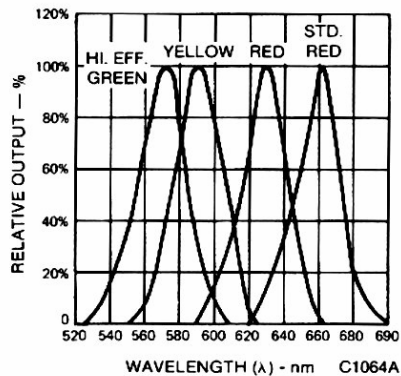
Slika 2.9: Oblika U-I karakteristik uporov $1\text{ k}\Omega$ in $100\text{ k}\Omega$



Slika 2.8: Oblika U-I karakteristik Zenerjeve in LED diode



Slika 2.10: U-I karakteristika prevodnega področja LED diod

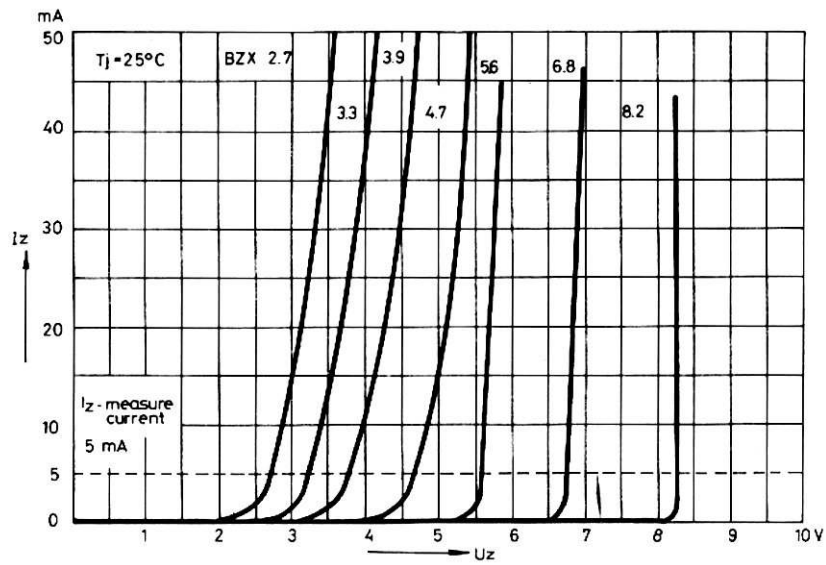


Slika 2.11: Spektralna distribucija LED diod

Silicijeva planarna Z dioda 500 mW

0,7 do 35 V, BZX 5 %

Prebojne napetosti

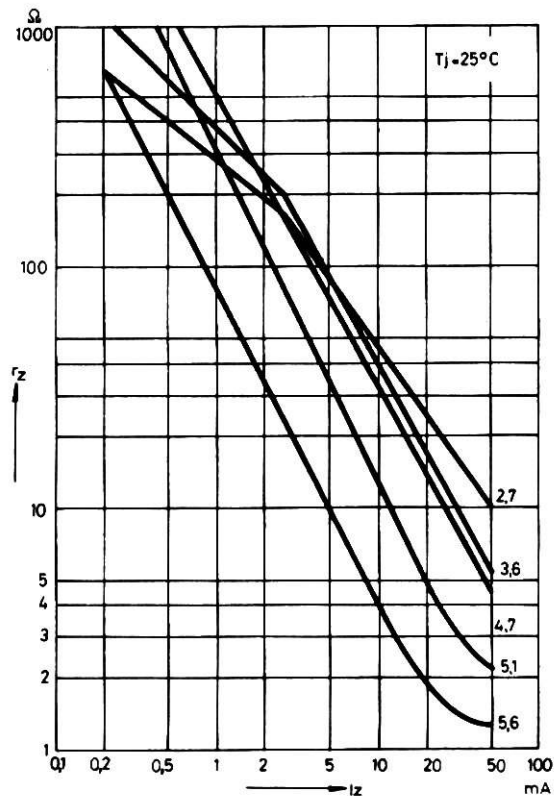


Slika 2.12: U-I karakteristike Zener diod

Silicijeva planarna Z dioda 500 mW

0,7 do 35 V, BZX 5 %

Dinamična upornost v odvisnosti od toka I_z



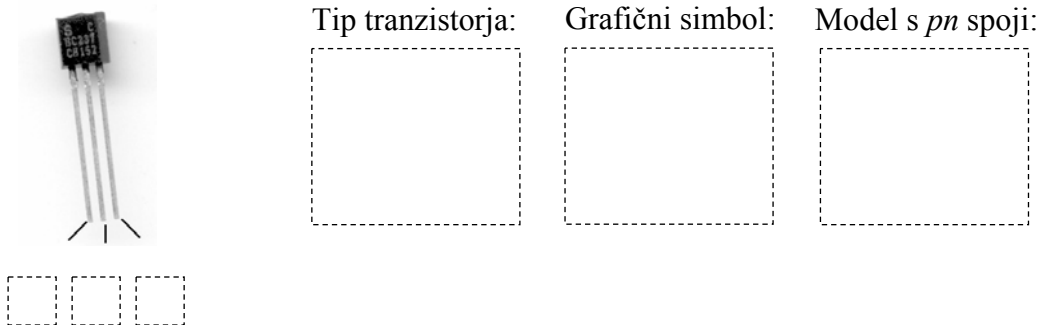
Slika 2.13: Dinamične upornosti Zener diod v odvisnosti od toka

2.2 Bipolarni spojni tranzistor (BJT)

Pri tej vaji se slušatelji seznanijo z bipolarnim tranzistorjem, določevanjem tipa tranzistorja, spoznajo njegovo izmenično nadomestno vezje in parametre. Praktična uporaba tranzistorja je prikazana z ojačevalnim in stikalnim vezjem.

A Tip tranzistorja, model, parametri

1. Za priloženi bipolarni tranzistor (BC237B, BC547B, ...) z Ω -metrom določite bazo, tip tranzistorja in ugotovite, ali je tranzistor brezhiben. Preostali elektrodi, kolektor in emitor, določite s pomočjo kataloga. Narišite grafični simbol in model s pn spoji, s katerima ponazorite vaš tip tranzistorja.

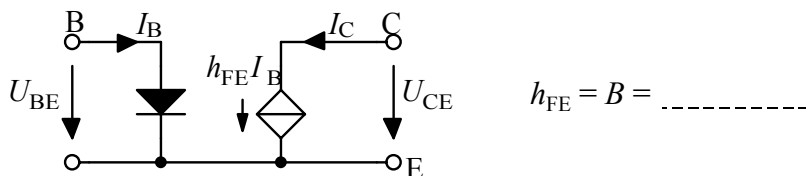


Slika 2.14: Bipolarni tranzistor s priključki

Kako ste preverili, ali je tranzistor brezhiben?

Odg.:

2. Slika 2.15 prikazuje enosmerno nadomestno vezje bipolarnega tranzistorja. Z univerzalnim instrumentom izmerite enosmerni tokovni ojačevalni faktor tranzistorja $h_{FE} = B$ in njegovo vrednost pripišite na sliko.

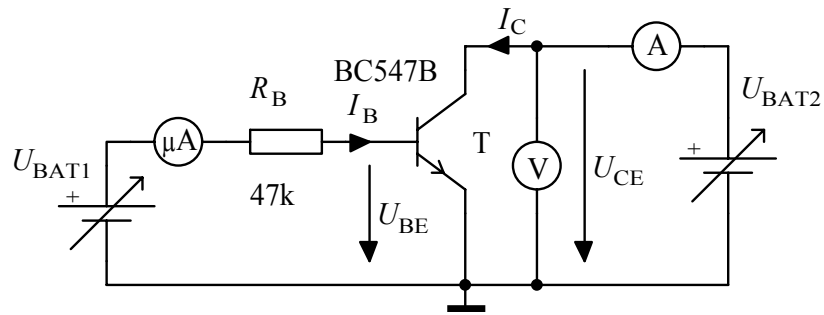


Slika 2.15: Enosmerno nadomestno vezje (model) bipolarnega tranzistorja

B Meritev polja izhodnih karakteristik $I_C = f(U_{CE})$, $I_B = \text{parameter}$

1. Sestavite vezje za merjenje enosmernih izhodnih karakteristik bipolarnega tranzistorja po sliki 2.16. Izmerite in narišite izhodno karakteristiko $I_C = f(U_{CE})$. Bazni tok je parameter, ki ga nastavite z napetostnim virom U_{BAT1} ter uporom R_B na vrednost $20\mu\text{A}$. Izračun vrednosti napetosti U_{BAT1} prikazuje enačba (1).

$$I_B = \frac{U_{BAT1} - U_{BE}}{R_B} \Rightarrow U_{BAT1} = I_B R_B + U_{BE} = \dots \quad (1)$$



Slika 2.16: Vežje za merjenje enosmernih karakteristik bipolarnega tranzistorja

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT1} , U_{BAT2} - napajalnik HM 7042,

V - digitalni univerzalni instrument HM 8011,

A - univerzalni instrument UNIMER 1,

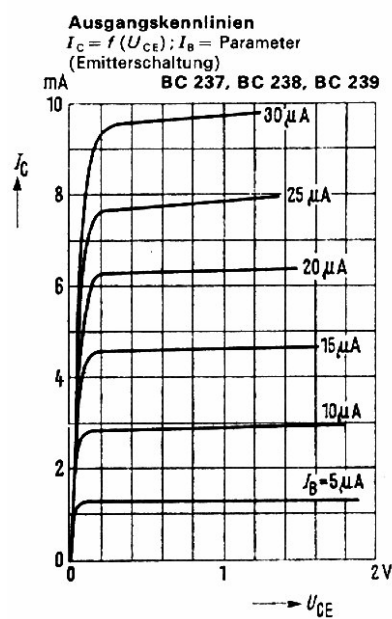
μA - univerzalni instrument UNIVO,

T - bipolarni tranzistor BC237B ali BC547B,

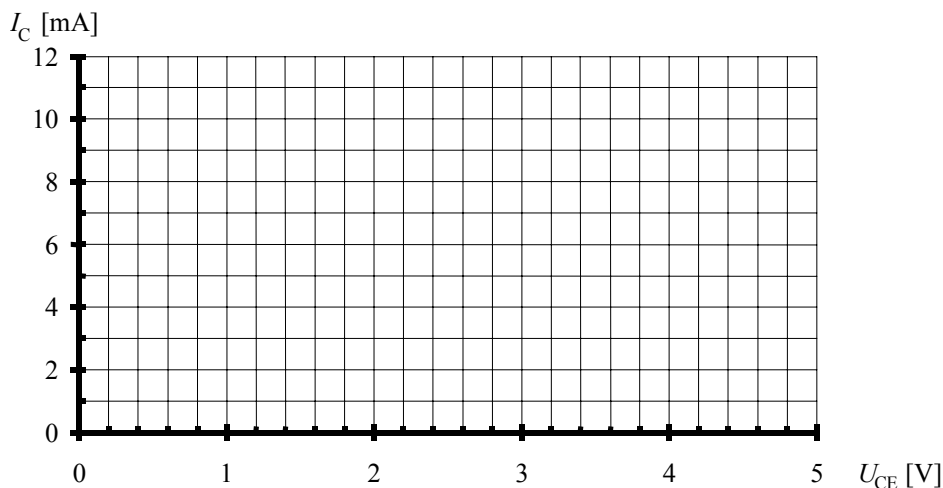
R_B - upor.

$I_B = 20 \mu A$	
I_C [mA]	U_{CE} [V]
2	
5	
	0,1
	0,2
	0,3
	2
	5

Tabela 2.3: $I_C = f(U_{CE})$, $I_B = 20 \mu A$



Slika 2.17: Kataloške izhodne karakteristike $I_C = f(U_{CE})$, $I_B = \text{parameter}$



Slika 2.18: Izmerjena izhodna karakteristika $I_C = f(U_{CE})$, $I_B = 20 \mu\text{A}$

2. Za izbrano delovno točko $Q(U_{CEQ} = 1 \text{ V}, I_{BQ} = 20 \mu\text{A})$ določite iz polja karakteristik $I_C(U_{CE})$ na sliki 2.17 tokovni ojačevalni faktor tranzistorja $h_{21e} = h_{fe}$.

$$h_{21e} = h_{fe} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{\Delta U_{CE}=0} = \text{-----} \quad (2)$$

$$Q(U_{CEQ}, I_{CEQ}) = \text{-----}$$

3. Iz polja karakteristik $I_C(U_{CE})$ določen parameter h_{21e} primerjate h_{FE} , ki ste ga izmerili z merilnikom tokovnega ojačenja tranzistorja. Zakaj se razlikujeta?

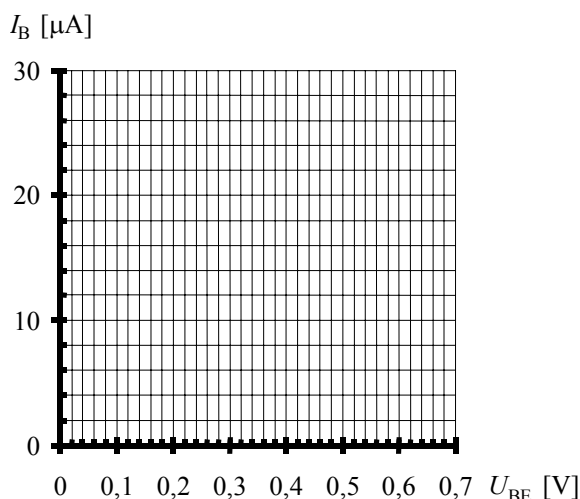
Odg.:

C Meritev polja vhodnih karakteristik $I_B = f(U_{BE})$, $U_{CE} = \text{parameter}$

1. Izmerite vhodno karakteristiko $I_B = f(U_{BE})$ bipolarnega tranzistorja. Uporabite isto vezje kot za meritev izhodne karakteristike (glej sliko 2.16). Napetost $U_{CE} = 3 \text{ V}$ je parameter in jo nastavite z napetostnim virom U_{BAT2} , ko je $U_{BAT1} = 0 \text{ V}$.

$U_{CE} = 3 \text{ V}$	
$I_B [\mu\text{A}]$	$U_{BE} [\text{V}]$
	0,1
	0,5
	0,6
5	
10	
20	
30	

Tabela 2.4: $I_B = f(U_{BE})$, $U_{CE} = 3 \text{ V}$



Slika 2.19: Vhodna karakteristika tranzistorja $I_B = f(U_{BE})$, $U_{CE} = 3 \text{ V}$

2. Za izbrano delovno točko, $Q(U_{CEQ} = 3 \text{ V}, I_{BQ} = 20 \text{ μA})$, določite iz izmerjene karakteristike $I_B(U_{BE})$ parameter h_{11e} .

$$h_{11e} = \left. \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \right|_{\Delta U_{CE}=0} = \text{-----} \quad (3)$$

3. Narišite poenostavljeno izmenično nadomestno vezje (model) bipolarnega tranzistorja predstavljeno s h_e parametri in pripišite vrednosti parametrov.



Slika 2.20: Poenostavljeno izmenično nadomestno vezje bipolarnega tranzistorja s h_e parametri

4. Primerjate vrednosti h_{11e} z r_{BE} pri poenostavljenemu π modelu tranzistorja.

$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \beta \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_C} = \beta r_E = \frac{\beta}{g_m} \cong \frac{\beta U_T}{|I_{CQ}|},$$

$$r_E = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_C} \cong \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_E},$$

$$g_m = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}} \right|_{\Delta U_{CE}=0} \cong \frac{|I_{CQ}|}{U_T}, \beta = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{\Delta U_{CE}=0}, \quad (4)$$

$$\beta = h_{fe} = h_{21e},$$

$$B = h_{FE}$$

5. Narišite poenostavljeno π nadomestno vezje (model) bipolarnega tranzistorja in pripišite vrednosti parametrov.

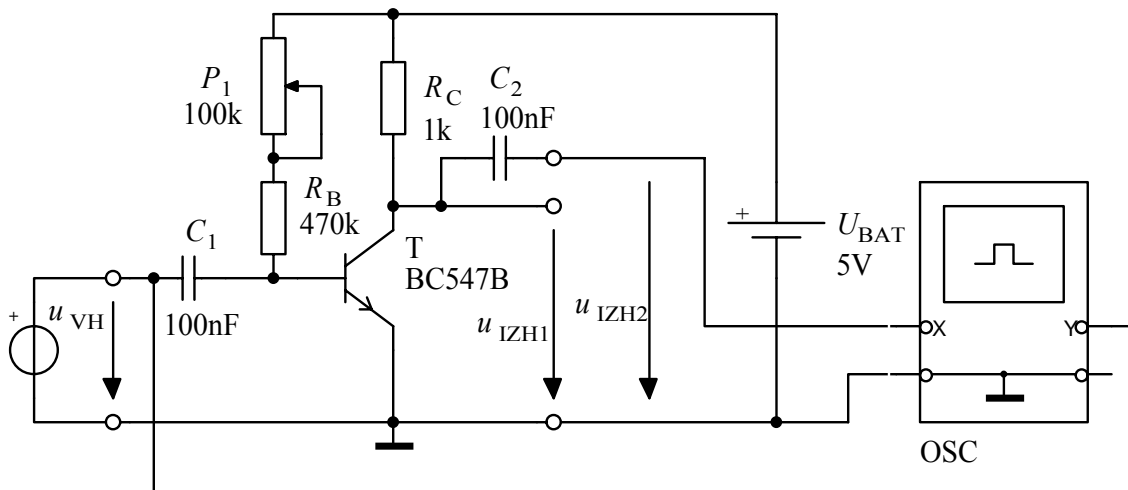
Slika 2.21: Poenostavljeno π nadomestno vezje bipolarnega tranzistorja

6. Kakšna je zveza med h_{11e} in r_{BE} ter h_{21e} in β ?

Odg.:

D Uporaba 1: Ojačevalno vezje z bipolarnim tranzistorjem

1. Sestavite ojačevalno vezje z BJT po sliki 2.22. S potenciometrom P_1 nastavite delovno točko Q ($U_{CEQ} = 2,5 \text{ V} \pm 5 \%$, $I_{CQ} = 2,5 \text{ mA}$). Vhodni signal naj bo sinusne oblike s frekvenco $f = 10 \text{ kHz}$ in s tako amplitudo, da izhodni signal ne bo popačen. Z osciloskopom opazujte in izmerite vhodno in izhodno napetost ter izračunajte napetostno ojačenje A_U ojačevalnika.



Slika 2.22: Enostopenjski ojačevalnik z bipolarnim tranzistorjem

Popis instrumentov, naprav in elementov:

u_{VH} - funkcijski generator HM 8030,

OSC - osciloskop HM 1507,

U_{BAT} - napajalnik HM 7042,

T - bipolarni tranzistor BC237B ali BC547B,

P_1 - potenciometer,

C_1, C_2 - kondenzator,

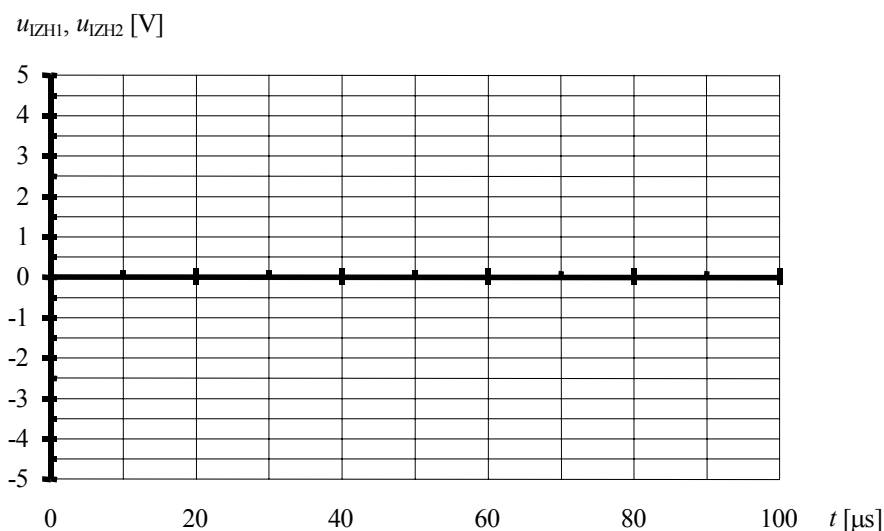
R_C, R_B - upor.

- Meritev:

$$\begin{aligned}
 u_{VH} &= \underline{\hspace{2cm}} \\
 u_{IZH} &= \underline{\hspace{2cm}} \\
 A_U &= \frac{u_{IZH}}{u_{VH}} = \underline{\hspace{2cm}} \\
 A_U [dB] &= 20 \log |A_U| = \underline{\hspace{2cm}}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

2. Narišite časovna diagrama izhodnih napetosti u_{IZH1} in u_{IZH2} . V čem se razlikujeta?

Odg.:



Slika 2.23: Časovni potek izhodne napetosti u_{IZH1} in u_{IZH2} (pred in za C_2)

3. Narišite izmenično nadomestno vezje ojačevalnika, ki ga prikazuje slika 2.22.

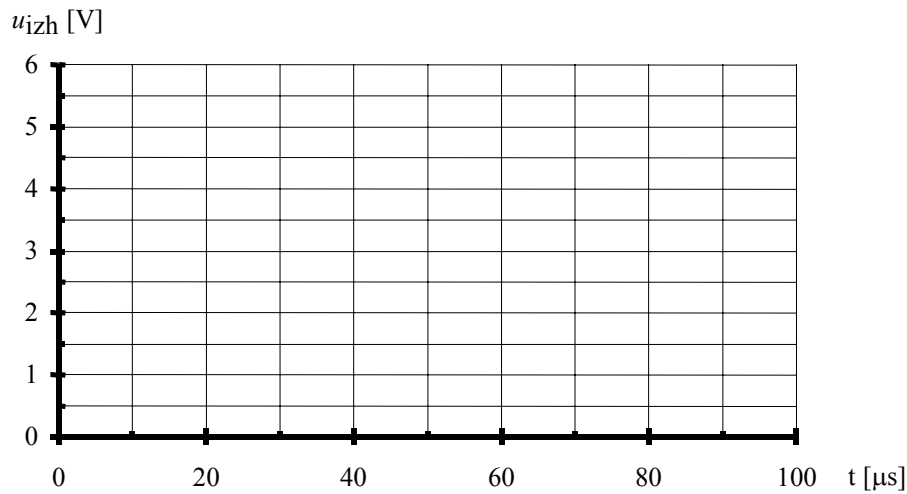


Slika 2.24: Izmenično nadomestno vezje ojačevalnika na sliki 2.22

4. Napetostno ojačenje izračunajte še s pomočjo enostavne enačbe, ki izhaja iz π nadomestnega vezja tranzistorja.

$$\begin{aligned}
 A_U &= -g_m R_C = -\frac{I_{CQ} R_C}{U_T} = \underline{\hspace{2cm}} \\
 I_{CQ} &= \underline{\hspace{2cm}} \\
 U_T &= \underline{\hspace{2cm}}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

5. Amplitudo vhodnega signala povečujte in na kolektorju tranzistorja merite izhodni signal. Kaj se zgodi pri dovolj povečanem vhodnem signalu? Narišite časovni diagram takšne izhodne napetosti.



Slika 2.25: Časovni potek izhodne napetosti

Odg.:

- Zapišite izhodna napetostna nivoja:

$$U_{2\text{nizek}} = \text{-----}$$

$$U_{2\text{visok}} = \text{-----}$$

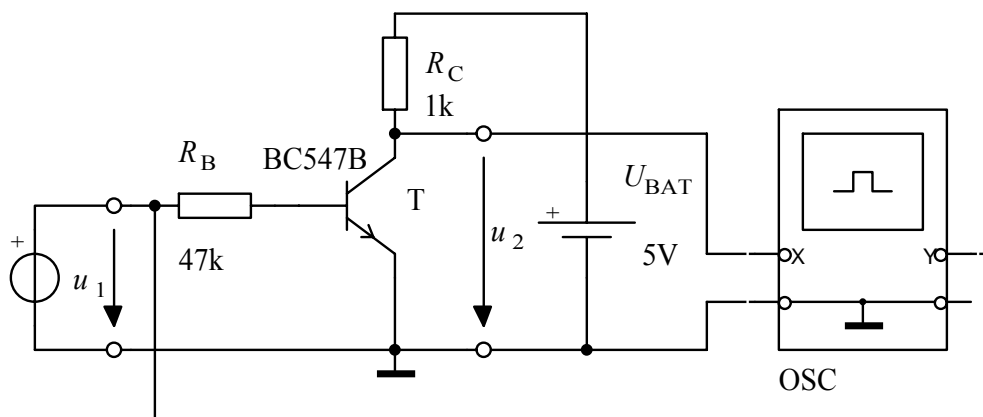
- Izmerite napetost nasičenja tranzistorja.

$$U_{\text{CES}} = U_{2\text{nizek}} = \text{-----}$$

E Uporaba 2: Stikalno vezje z bipolarnim tranzistorjem



1. Za stikalno vezje z BJT na sliki 2.26 si na osciloskopu oglejte prenosno (preklopno) karakteristiko $u_2 = f(u_1)$ in jo v merilu prerišite.



Slika 2.26: Stikalno vezje z bipolarnim tranzistorjem

Popis instrumentov, naprav in elementov:

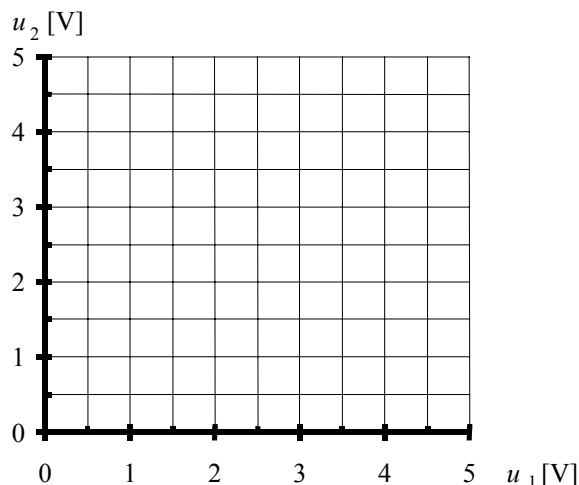
u_1 - funkcijski generator HM 8030,

OSC - osciloskop HM 1507,

U_{BAT} - napajalnik HM 7042,

T - bipolarni tranzistor BC237B ali BC547B,

R_C , R_B - upor.



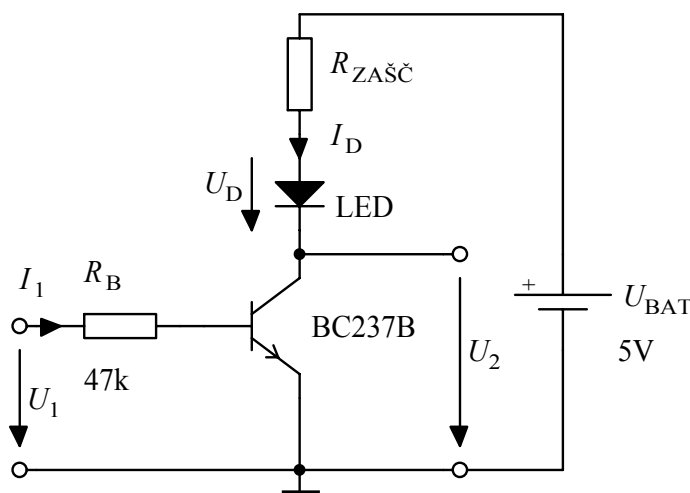
Slika 2.27: Preklopna karakteristika stikala s tranzistorjem

2. Vezje lahko uporabimo za ojačevalnik, seštevalnik, invertor (obkrožite pravi odgovor).

F Uporaba 3: Stikalno vezje s tranzistorjem za krmiljenje LED diode

1. Za stikalno vezje s tranzistorjem in izhodno LED diodo izračunajte $R_{\text{ZAŠČ}}$ tako, da bo dioda svetila, ko bo na vohu vezja napetost, ki ustreza logični enici (5 V). Upoštevajte, da je po U-I karakteristiki iz slike 2.10 pri toku diode $I_D = 10 \text{ mA}$, napetosti na LED diodi $U_D = 1,5 \text{ V}$. Vezalno shemo prikazuje slika 2.28.

$$R_{\text{ZAŠČ}} = \frac{U_{\text{BAT}} - U_D - U_{\text{CES}}}{I_D} = \dots \quad (7)$$



Slika 2.28: Stikalno vezje z LED diodo

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_1 - funkcijski generator HM 8030,

U_{BAT} - napajalnik HM 7042,

T - bipolarni tranzistor BC237B ali BC547B,

$R_{ZAŠČ}$, R_B - upor,

LED - svetleča dioda.

2. Izmerite izhodni napetosti za oba napetostna nivoja.

$$U_{2nizek} = U_{LOW} = \text{-----}$$

$$U_{2visok} = U_{HIGH} = \text{-----}$$

3. Izračunajte in izmerite tok nasičenja I_{CS} .

- Izračun:

- Meritev:

4. Izračunajte velikost toka I_1 , ko je na vhodu vezja logična enica (5 V).

$$I_1 = \frac{U_1 - U_{BE}}{R_B} = \text{-----} \quad (8)$$

5. Ali je glede na zahtevo, da je tranzistor ob logični enici na vhodu zanesljivo v nasičenju, upornost R_B pravilno izbrana? Utemeljite odgovor.

Odg.:

6. Ali lahko prikazano stikalno vezje krmilimo z logičnim vezjem CMOS? Utemeljite odgovor glede na velikost toka, ki teče iz CMOS vezja pri logični 1 na izhodu.

Odg.:

7. Kako bi preoblikovali vezje, da bi LED dioda svetila pri vhodni napetosti, ki ustreza logični ničli ($U_1 = 0,2$ V)? Narišite vezje.

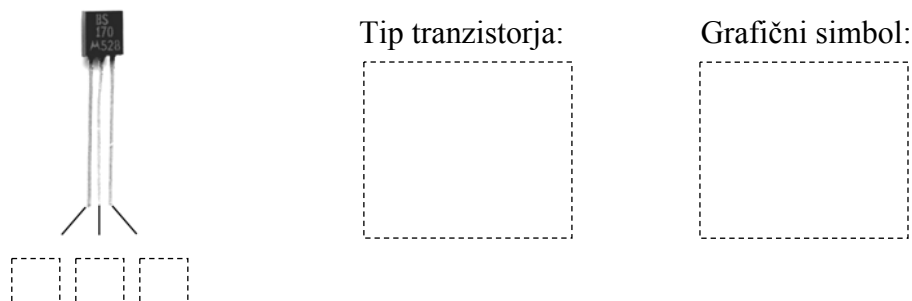


2.3 MOS FET tranzistor

S to vajo se slušatelji seznanijo z MOS FET tranzistorjem, določevanjem tipa tranzistorja, z njegovim izmeničnim nadomestnim vezjem in s parametri, s katerimi je določeno nadomestno vezje. Praktična uporaba prikazuje MOS FET tranzistor v vezju za izvedbo osnovnih logičnih operacij, v vezju invertorja in v NIN vezju.

A Tip MOS tranzistorja, osnovni parametri in model

1. Za priloženi MOS tranzistor (BS170, ...) z Ω -metrom določite vrata (gate) in tip tranzistorja. Preostali elektrodi, izvor (source) in ponor (drain), določite s pomočjo kataloga. Narišite grafični simbol, s katerim ponazorite vaš tip tranzistorja.



Slika 2.29: MOS tranzistor s priključki

2. Kako ste določili tip tranzistorja?

Odg.:

3. Odvisnost toka $i_D = f(U_{GS}, U_P)$ za delovanje MOS tranzistorja v področju nasičenja opisuje približna enačba (9).

- področje nasičenja $0 < U_{GS} - U_P < U_{DS}$ (enačba velja za NMOS tranzistor):

$$i_D = \frac{\beta}{2} (U_{GS} - U_P)^2 = \frac{\beta}{2} U_P^2 \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2 \quad (9)$$

$$\beta = \frac{\mu \epsilon W}{t_{ox} L} \quad (10)$$

μ - gibljivost nosilcev (elektroni $200 \div 1500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ali vrzeli $100 \div 500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$),

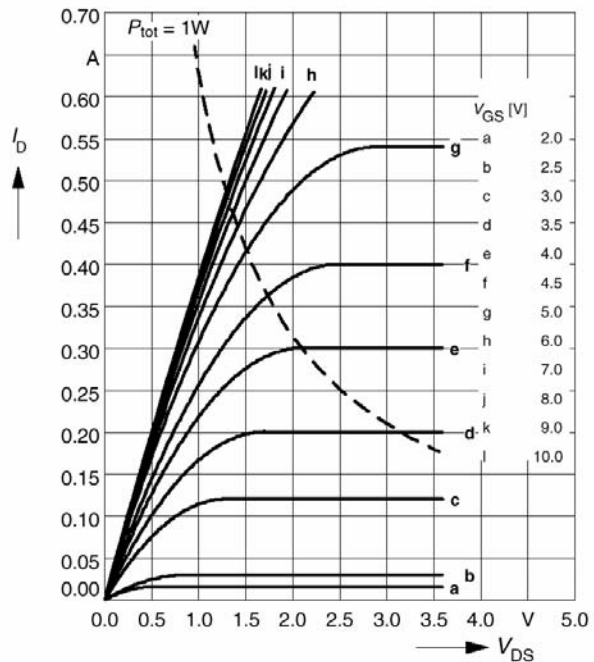
ϵ - dielektrična konstanta (SiO_2 : $4\epsilon_0$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ As/Vm}$),

t_{ox} - debelina oksida ($0,2 \text{ }\mu\text{m}$),

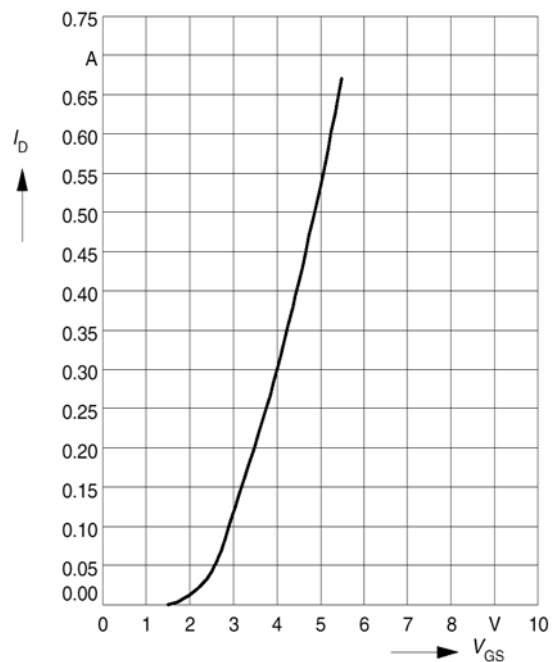
L - dolžina kanala in

W - širina kanala.

4. Iz kataloško podane prenosne karakteristike $I_D = f(U_{GS})$ (glej sliko 2.31) določite napetost praga U_P . V polje izhodnih karakteristik $I_D = f(U_{DS})$ (glej sliko 2.30) vrišite krivuljo $U_{DS} = U_{GS} - U_P$, ki med seboj ločuje linearno področje in področje nasičenja. Označite področje nasičenja.



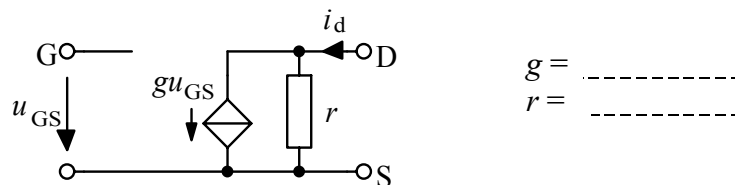
Slika 2.30: Tipične izhodne karakteristike
 $I_D = f(U_{DS})$, $U_{GS} = \text{parameter}$



Slika 2.31: Tipična prenosna karakteristika
 $I_D = f(U_{GS})$, $U_{DS} = \text{parameter}$

5. Slika 2.32 prikazuje izmenično nadomestno vezje MOS tranzistorja, predstavljeno z y parametri. Nadomestno vezje velja za majhne signale in delovne točke v področju nasičenja (aktivno področje delovanja). Kakšna je razlika glede na BJT tranzistor?

Odg.:



Slika 2.32: Izmenično nadomestno vezje (model)
 MOS tranzistorja za področje nasičenja

- Na osnovi kataloško podanih karakteristik $I_D = f(U_{DS})$ (glej sliko 2.30) in $I_D = f(U_{GS})$ (glej sliko 2.31) določite parametra g in r v delovni točki $Q(U_{DSQ} = 2,5 \text{ V}$, $I_{DQ} = 100 \text{ mA})$. Dobljene vrednosti vpišite na sliko 2.32. Strmina MOS tranzistorja je

$$g = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \right|_{\Delta U_{DS}=0} = \dots \quad (11)$$

- Strmino MOS tranzistorja lahko izračunamo tudi iz enačbe (9). Z odvajanjem enačbe (9) po U_{GS} dobimo

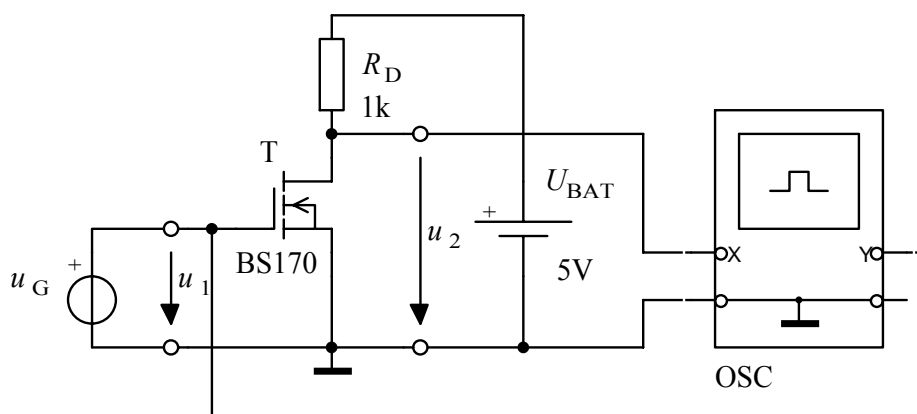
$$g = \frac{di_D}{dU_{GS}} = \beta(U_{GS} - U_P). \quad (12)$$

- Notranja izmenična upornost r je

$$r = \left. \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} \right|_{\Delta U_{GS}=0} \quad (13)$$

B N-MOS inverter

1. Z N-MOS tranzistorjem sestavite osnovni logični element inverter. Z osciloskopom posnemite njegovo prenosno (preklopno) karakteristiko. Vežalno shemo prikazuje slika 2.33. Na vhod vezja priključite sinusni izmenični signal s frekvenco 100 Hz tako, da bo amplituda signala v mejah napajalne napetosti od 0 do 5 V. To nastavite z enosmerno prednapetostjo (OFF SET).



Slika 2.33: N-MOS inverter

Popis instrumentov, naprav in elementov:

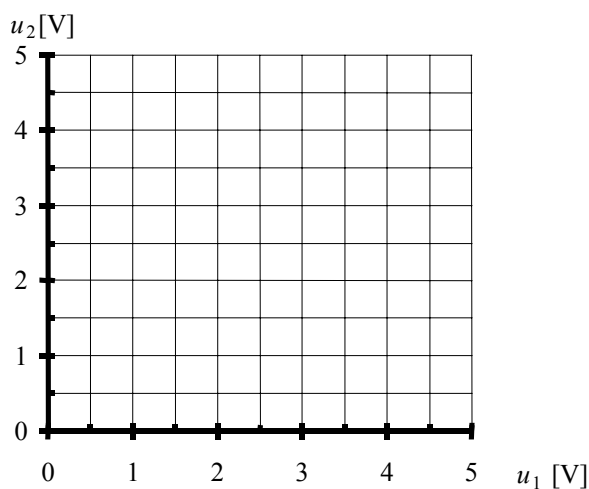
u_G - funkcijski generator HM 8030,

OSC - osciloskop HM 1507,

U_{BAT} - napajalnik HM 7042,

T - N-MOS tranzistor BS170,

R_D - upor.



Slika 2.34: Prenosna (preklopna) karakteristika N-MOS inverterja

2. Izmerite izhodni napetosti za oba napetostna nivoja.

$$U_{2\text{visoka}} = U_{\text{OHIGH}} = \text{.....}$$

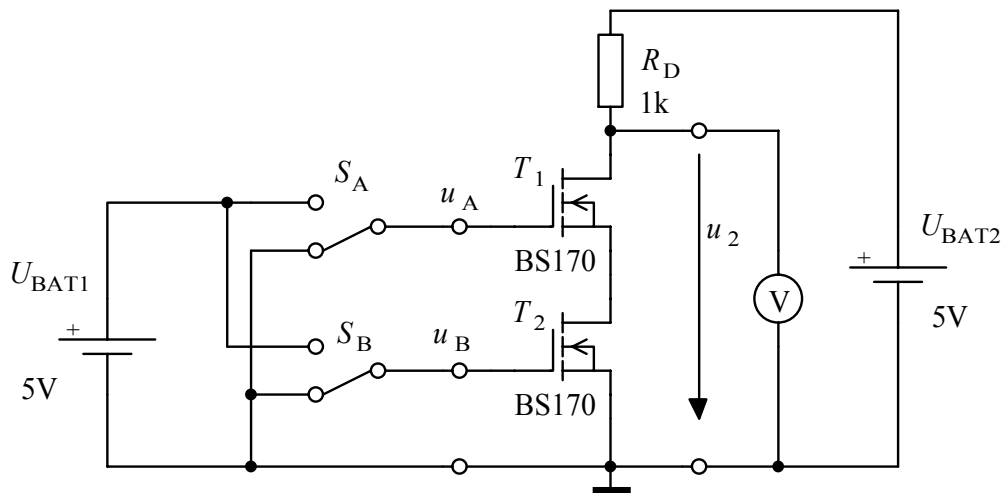
$$U_{2\text{nizka}} = U_{\text{OLOW}} = \text{.....}$$

3. Iz preklopne karakteristike odčitajte pragovno napetost (U_p) MOSFET tranzistorja.

$$U_p \cong \text{.....}$$

C NIN vrata z N-MOS tranzistorjema

1. Sestavite NIN vezje z N-MOS tranzistorjema po sliki 2.35. Izmerite pravilnostno tabelo NIN vezja.



Slika 2.35: NIN vezje

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT1} , U_{BAT2} - napajalnik HM 7042,

V - digitalni univerzalni instrument HM 8011,

T_1 , T_2 - N-MOS tranzistorja,

R_D - upor,

S_A , S_B - stikali.

U_A [V]	U_B [V]	U_2 [V]
0	0	
0	5	
5	0	
5	5	

Tabela 2.1: Izmerjena pravilnostna tabela

2. Kako bi sestavili IN vezje z N-MOS tranzistorjema? Narišite ga.



Slika 2.36: IN vezje

3. Narišite NALI vezje z N-MOS tranzistorjema.



Slika 2.37: NALI vezje

4. Narišite CMOS invertor z N-MOS in P-MOS tranzistorjema.



Slika 2.38: CMOS invertor

3. ANALOGNA ELEKTRONSKA VEZJA

3.1 Operacijski ojačevalnik

Vaja seznanja študente z operacijskim ojačevalnikom, ki je danes temeljni ojačevalni gradnik. Spoznali bodo osnovne parametre izmeničnega nadomestnega vezja, prenosno karakteristiko in frekvenčno odvisnost samega operacijskega ojačevalnika in neinvertirajočega ojačevalnega vezja z operacijskim ojačevalnikom.

A Osnovni parametri, simbol, prenosna karakteristika in izmenično nadomestno vezje

1. Poiščite in zapišite kataloške vrednosti za ojačenje, vhodno in izhodno upornost ter mejne vrednosti napajalne napetosti operacijskega ojačevalnika (OPA) $\mu A741$. Narišite njegovo izmenično nadomestno vezje.

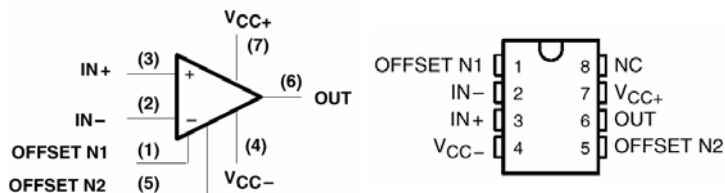
$$A_0 = \text{-----}$$

$$R_{VH} = \text{-----}$$

$$R_{IZH} = \text{-----}$$

$$U_{BAT}^+ = V_{CC+} = \text{---} \div \text{---} \text{ V}$$

$$U_{BAT}^- = V_{CC-} = \text{---} \div \text{---} \text{ V}$$

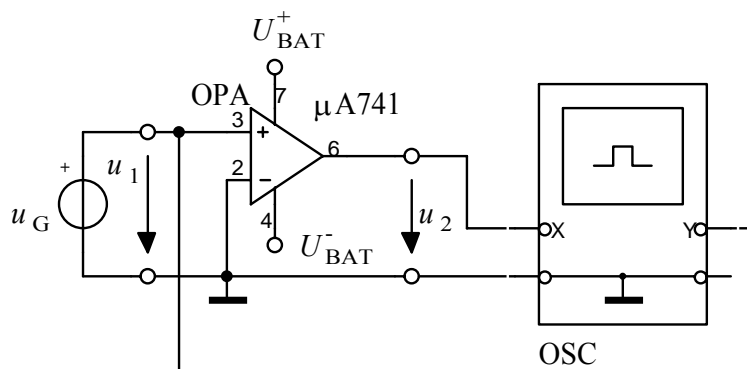


Slika 3.1: Razporeditev priključkov



Slika 3.2: Izmenično nadomestno vezje OPA 741

2. Preverite pravilnost delovanja OPA. Z osciloskopom posnemite in narišite prenosno karakteristiko $u_{IZH} = f(u_{VH})$ ter izmerite obe napetosti nasičenja U_{SAT}^+ , U_{SAT}^- . Vezalno shemo prikazuje slika 3.3. Vezje napajajte simetrično z $U_{BAT}^+ = -U_{BAT}^- = 12 \text{ V}$.



Slika 3.3: Meritev prenosne karakteristike

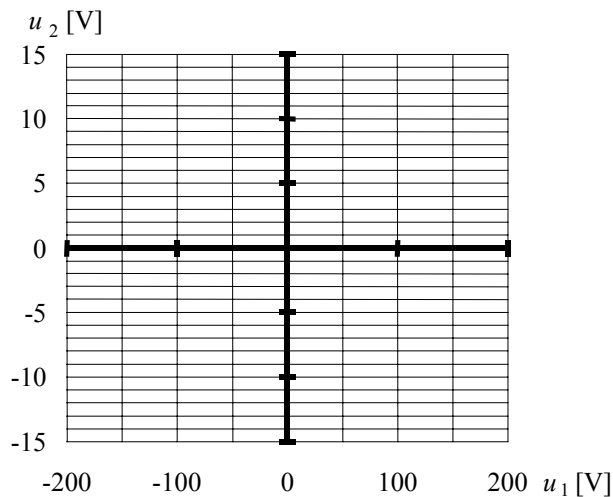
Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT}^+ , U_{BAT}^- - napajalnik HM 7042,

u_{G} - funkcijski generator HM 8030, $f = 100 \text{ Hz}$, $U_{\text{g}} = 100 \text{ mV}$,

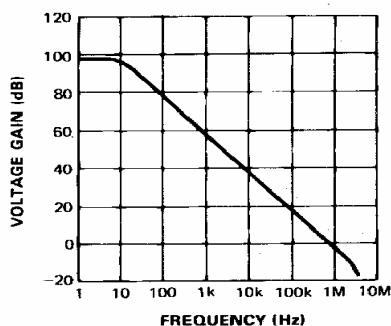
OSC - osciloskop HM 1507,

OPA - operacijski ojačevalnik $\mu\text{A}741$.



Slika 3.4: Izmerjena prenosna karakteristika

- Na sliki 3.4 označite aktivno področje in področji nasičenja.
- Slika 3.5 prikazuje frekvenčni potek ojačenja OPA 741 brez zunanje povratne vezave (to je ojačenje odprte zanke).



Slika 3.5: Frekvenčni potek ojačenja odprte zanke

- Kakšno je ojačenje in frekvenčno območje operacijskega ojačevalnika brez povratne vezave?

$$A = A_0 = \text{-----}$$

$$f_{\text{sp}} = \text{-----}$$

$$f_{\text{zg}} = \text{-----}$$

- Odčitajte tranzitno mejno frekvenco ojačevalnika, to je tisto frekvenco, pri kateri pade ojačenje na 0 dB ($A_U = 1$):

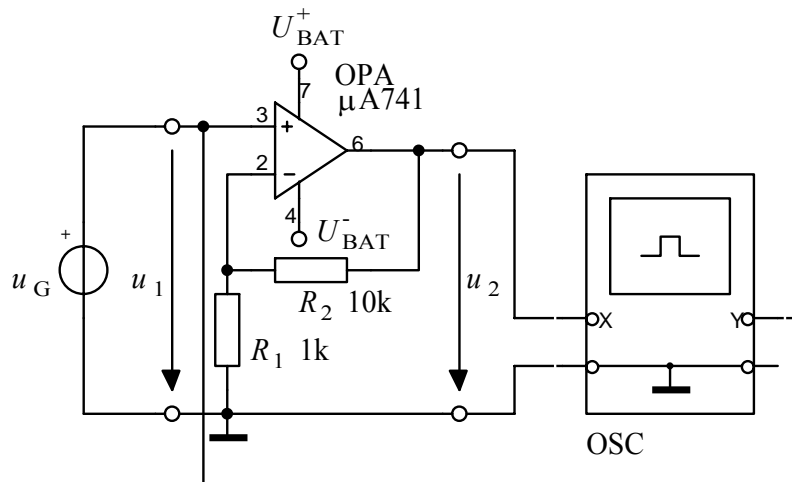
$$f_T = \text{-----} \text{ MHz.}$$

- Zapišite zmnožek

$$A_0 f_{\text{zg}} = f_T = \text{-----}$$

B Napetostni ojačevalnik (napetostno napetostni pretvornik)

1. Sestavite neinverzirajoči napetostni ojačevalnik (napetostno napetostni pretvornik). Vežalno shemo prikazuje slika 3.6. Vežje napajajte simetrično z $U_{\text{BAT}}^+ = -U_{\text{BAT}}^- = 12\text{ V}$. Z osciloskopom posnemite in narišite prenosno karakteristiko ojačevalnega vezja. Izmerite napetostno ojačenje vezja. Primerjajte izmerjeno in izračunano vrednost.



Slika 3.6: Meritev prenosne karakteristike nap. nap. ojačevalnika

Popis instrumentov, naprav in elementov:

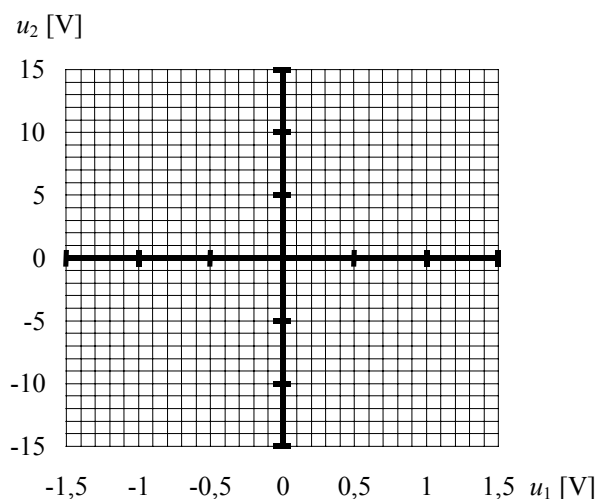
U_{BAT}^+ , U_{BAT}^- - napajalnik HM 7042,

u_G - funkcijski generator HM 8030, $f = 100\text{ Hz}$, $U_g = 1,3\text{ V}$,

OSC - osciloskop HM 1507,

OPA - operacijski ojačevalnik $\mu\text{A}741$,

R_1 , R_2 - upora.



Slika 3.7: Izmerjena prenosna karakteristika nap. nap. ojačevalnika

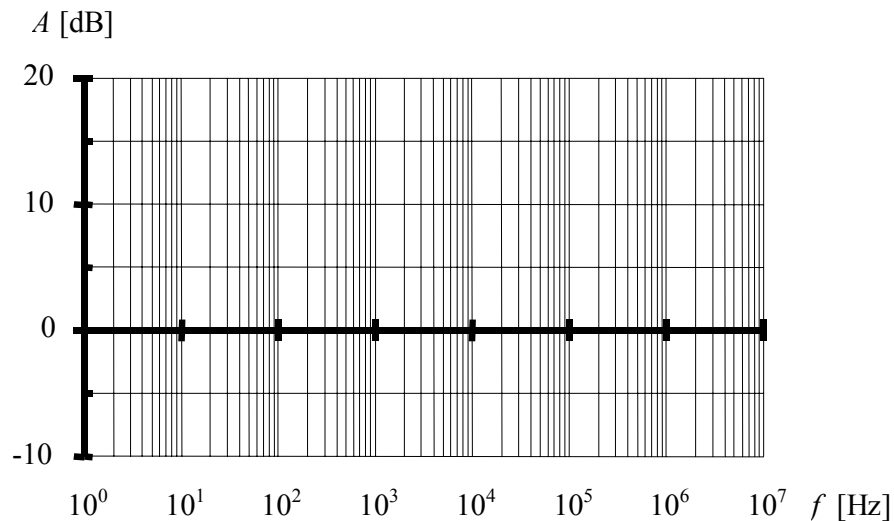
- meritev $A_{\text{Um}} = \frac{\Delta u_2}{\Delta u_1} = \dots\dots\dots$

- izračun $A_{Ui} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = \text{-----}$
- relativni pogrešek $\Delta A_U (\%) = \frac{A_{Ui} - A_{Um}}{A_{Um}} 100\% = \text{-----}$

2. Izmerite in narišite frekvenčni potek ojačenja ojačevalnika s slike 3.6.

f [Hz]	A [dB], $A_U = \text{-----}$ dB
	A_U
	$A_U - 3$
	$A_U - 6$
	$A_U - 12$
	0

Tabela 3.1: Izmerjeno ojačenje



Slika 3.8: Izmerjeni frekvenčni potek ojačenja

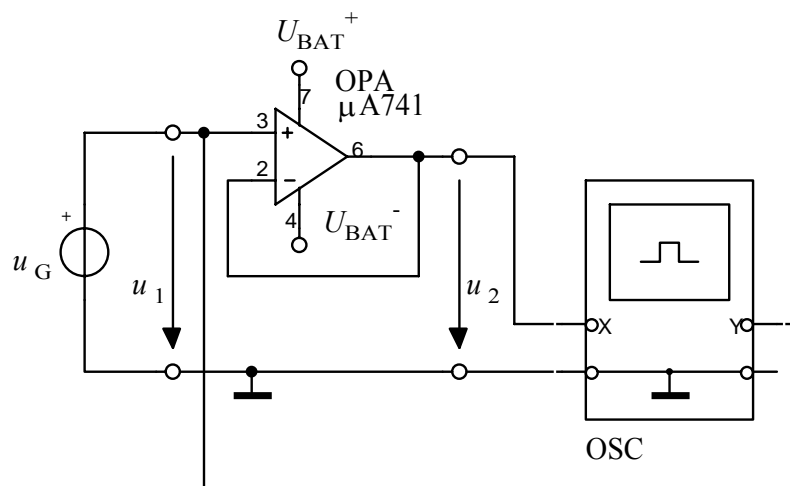
- Za kolikokrat se je povečala zgornja frekvenčna meja ojačevalnika?

Odg.:

- Zapišite zmnožek

$$A_{\omega} f_{zg} = \text{-----}$$

3. Vezje na sliki 3.6 spremenite v napetostni sledilnik (glej sliko 3.9). Z osciloskopom posnemite prenosno karakteristiko in izmerite zgornjo mejno frekvenco $f_{zg} = f_{-3dB}$. Zaradi primerjave prenosno karakteristiko in frekvenčni potek ojačenja vrišite v sliki 3.4 in 3.8.



Slika 3.9: Napetostni sledilnik

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT}^+ , U_{BAT}^- - napajalnik HM 7042,

u_G - funkcijski generator HM 8030, $f = 100$ Hz, $U_g = 1,5$ V,

OSC - osciloskop HM 1507,

OPA - operacijski ojačevalnik $\mu A741$.

f [Hz]	A [dB], $A_U = \text{-----dB}$
	A_U
	$A_U - 3$

Tabela 3.2: Izmerjeno ojačenje

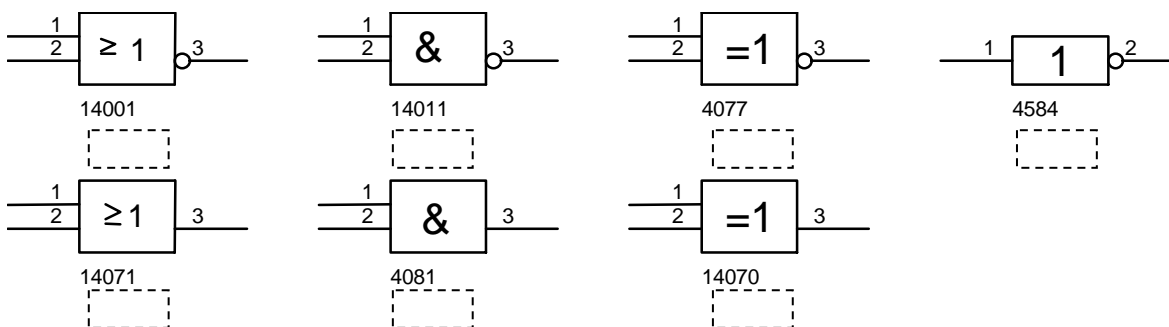
4. DIGITALNA ELEKTRONSKA VEZJA

4.1 Osnovni logični elementi

Vaja seznanja študente z osnovnimi digitalnimi elementi kombinacijske logike in povezuje binarni spremenljivki informacijskega prostora "0" in "1" z napetostnima spremenljivkama fizikalnega prostora U_{LOW} in U_{HIGH} . Sluša telji se seznanijo z napajalnimi napetostmi in preklopnimi logičnimi nivoji pri obstoječih digitalnih vezjih. Iz elementov kombinacijske logike sestavijo sekvenčno logično vezje in ga uporabijo za elektronsko stikalo.

A Kombinacijska vezja

- Na sliki 4.1 so prikazani grafični simboli osnovnih logičnih elementov. Pod simbole pripišite oznake in napišite odgovarjajoče pravilnostne tabele.

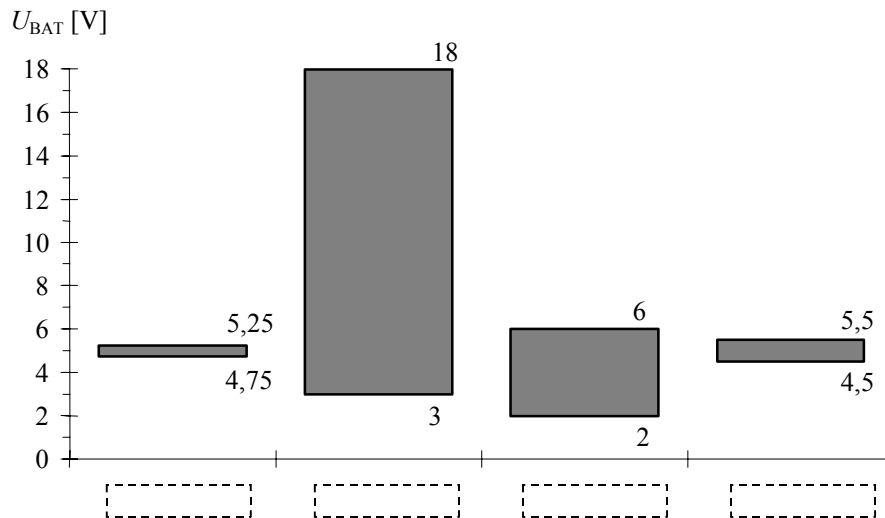


Slika 4.1: Grafični simboli logičnih elementov (po ICE standardih)

X_1	X_2	ALI	NALI	IN	NIN	XALI	NXALI
0	0						
0	1						
1	0						
1	1						

Tabela 4.1: Pravilnostne tabele posameznih logičnih elementov

- Na sliki 4.2 so narisana območja napajalnih napetosti za logična vezja iz vrst bipolarne tehnologije 54/74LS in komplementarne MOS tehnologije 4xxxB, 54/74HC in 54/74HCT. Na sliko 4.2 pripišite ustrezne vrste logičnih vezij glede na dovoljeno območje napajalnih napetosti.

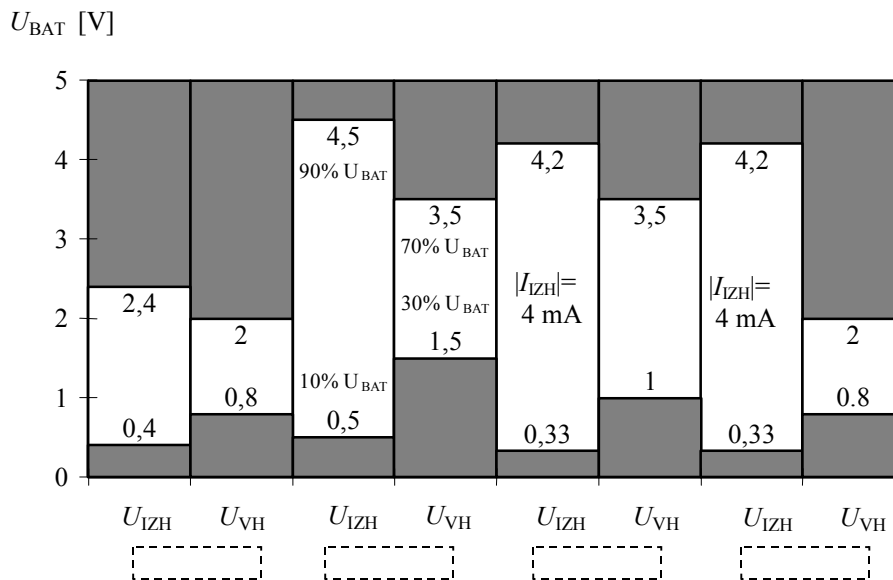


Slika 4.2: Območja napajalnih napetosti različnih vrste logičnih vezij

3. Kolikšna je delovna napajana napetost jedra najnovejših procesorjev?

- Pentium III (Intel): $U_{\text{JEDRA}} = U_{\text{CORE}} = \text{-----} \text{ V}$
- K7 (AMD): $U_{\text{JEDRA}} = U_{\text{CORE}} = \text{-----} \text{ V}$

4. Slika 4.3 prikazuje dovoljena območja vhodnih (U_{VH} , v angleški literaturi U_I) in izhodnih (U_{IZH} , v angleški literaturi U_O) napetostnih nivojev logičnih vezij glede na podatke proizvajalcev. Prikazana so območja napetostnih nivojev vrst bipolarnе tehnologije 54/74LS in komplementarne MOS tehnologije 4xxxB, 54/74HC in 54/74HCT, kadar jih napajamo s petimi volti. Na sliko 4.3 pripišite za posamezen par napetosti U_{VH} , U_{IZH} , pripadajočo vrsto logičnih vezij.

Slika 4.3: Območja vhodnih in izhodnih napetostnih nivojev različnih vrst logičnih vezij pri napajanju $U_{\text{BAT}} = 5 \text{ V}$

- Ali lahko z vidika vhodnih in izhodnih napetostnih nivojev vezje vrste LSTTL zamenjamo s vezjem vrste HC?
DA NE

- Ali lahko z vidika vhodnih in izhodnih napetostnih nivojev vezje vrste LSTTL zamenjamo s vezjem vrste HCT?

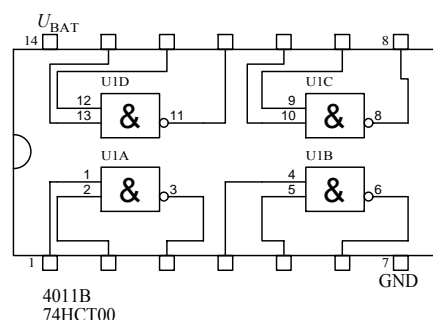
DA NE

- Kolikšna je šumna razdalja logičnih vezij vrste HCT?

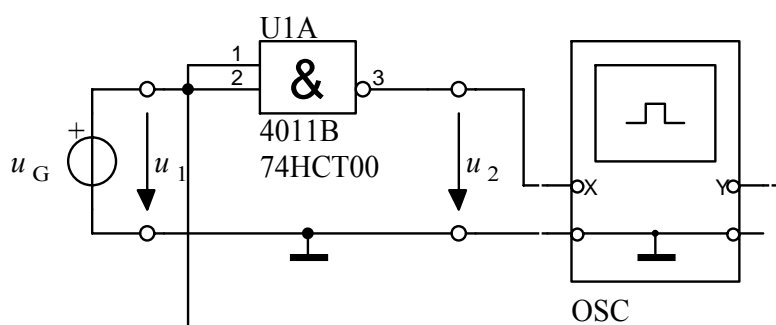
$$U_{\text{SRN}} = U_{\text{NML}} = \text{-----}$$

$$U_{\text{SRV}} = U_{\text{NMH}} = \text{-----}$$

5. Sestavite vezje po sliki 4.5 in z osciloskopom posnemite prenosno karakteristiko NIN logičnih vrat vrste CMOS 4xxxB in HCT (4011B in 74HCT00). Vezji napajajte s petimi volti, $U_{\text{BAT}} = 5 \text{ V}$. Za vhodni funkcijski generator nastavite trikotni signal z enosmerno prednapetostjo (OFF DET) tako, da bo napetost vhodnega signala vselej znotraj območja napajalne napetosti $0 \div 5 \text{ V}$.



Slika 4.4: Funkcionalni diagram z razporeditvijo priključkov



Slika 4.5: Meritev prenosne karakteristike

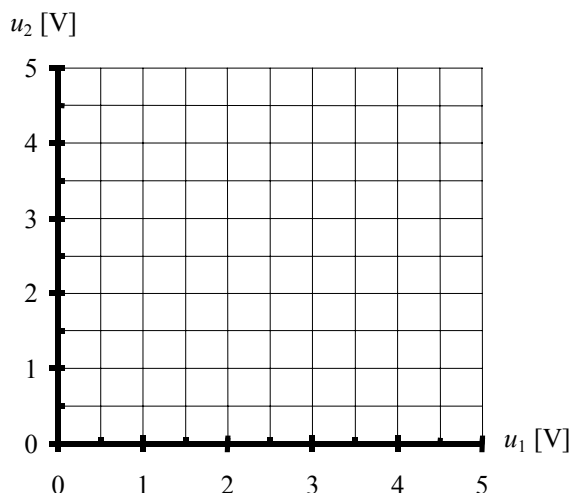
Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT} - napajalnik HM 7042, $U_{\text{BAT}} = 5 \text{ V}$

u_G - funkcijski generator HM 8030, $f = 100 \text{ Hz}$, $u_G = 2,5(1 + \sin \omega t) [\text{V}]$,

OSC - osciloskop HM 1507,

U1A - integrirano vezje 4011B ali 74HCT00.



Slika 4.6: Izmerjena prenosna karakteristika NIN vrat 4xxxB in 74HCTxx

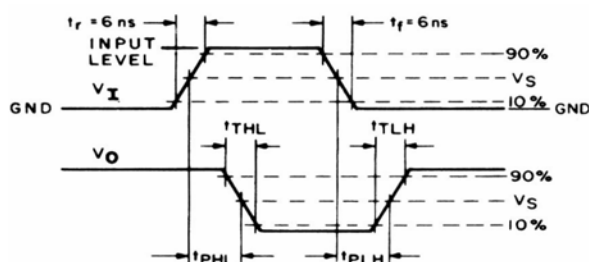
7. Iz izmerjene prenosne karakteristike določite oba izhodna napetostna nivoja!

- 4xxxB: $U_{IZHV} = U_{OH} = \text{-----} \text{ V,}$
 $U_{IZHN} = U_{OL} = \text{-----} \text{ V}$

- 74HCTxx: $U_{IZHV} = U_{OH} = \text{-----} \text{ V,}$
 $U_{IZHN} = U_{OL} = \text{-----} \text{ V}$

- Ali se nahajata znotraj dovoljenega območja izhodnih napetosti glede na podatke proizvajalcev?
 DA NE

8. S pomočjo vezja na sliki 4.5 izmerite preklopne čase logičnih vrat 4011B in 74HCT00. Poiščite njihove katalogske vrednosti in jih primerjate z izmerjenimi. Slika 4.7 prikazuje primer določitve preklopnih časov.



Slika 4.7: Določitev preklopnih časov

4011B	katalog	meritev
t_{PLH} [ns]		
t_{PHL} [ns]		
t_{TLH} [ns]		
t_{THL} [ns]		

Tabela 4.2: Preklopni časi vrat 4011B

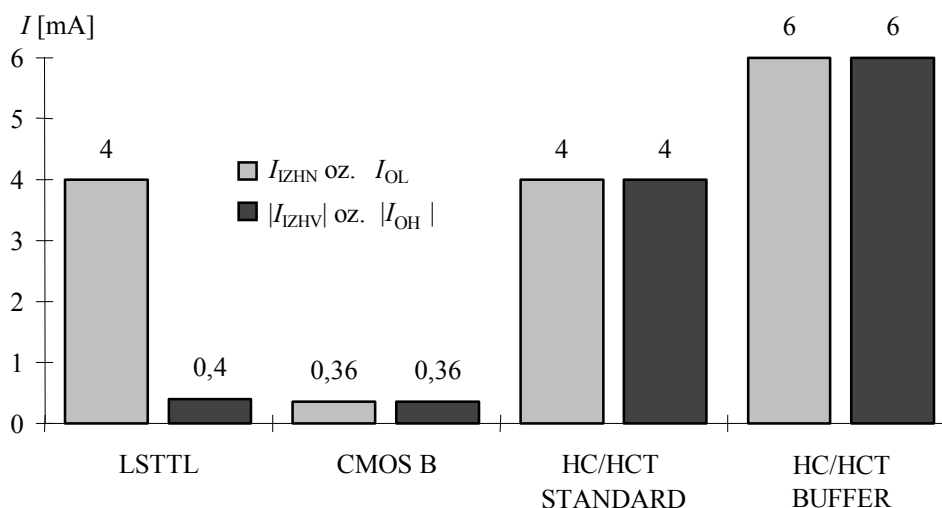
74HCT00	katalog	meritev
t_{PLH} [ns]		
t_{PHL} [ns]		
t_{TLH} [ns]		
t_{THL} [ns]		

Tabela 4.3: Preklopni časi vrat 74HCT00

- Na osnovi kataloških podatkov zaključite, kako povečanje napajalne napetosti vpliva na preklopne čase. Preklopni časi se:
POVEČAJO ZMANJŠAJO

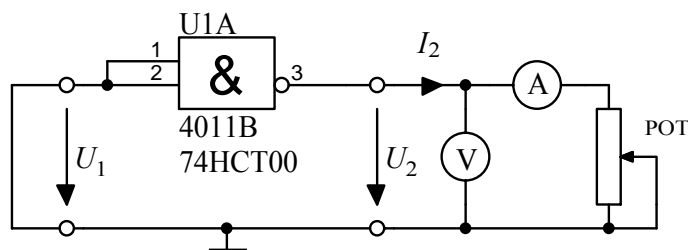
B Obremenljivost

1. Slika 4.8 prikazuje maksimalne vrednosti izhodnih tokov (I_{IZHV} , I_{IZHN}) logičnih vezij vrst 54/74 LSTTL, CMOS 4xxxB, CMOS 54/74HC-HCT in za vezja 54/74HC-HCT z gonilnikom (BUFFER).



Slika 4.8: Tokovna zmogljivost izhodov logičnih vezij različnih vrst

2. Sestavite vezje po sliki 4.9. Napajalna napetost naj bo 5 V ($U_{BAT} = 5$ V). Izmerite izhodno U-I karakteristiko vrat 4011B in 74HCT00.



Slika 4.9: Meritev obremenljivosti logičnih vrat

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT} - napajalnik HM 7042, $U_{BAT} = 5$ V

V - digitalni univerzalni instrument HM 8011,

A - univerzalni instrument UNIVO ali UNIMER 1,

U1A - integrirano vezje 4011B ali 74HCT00,

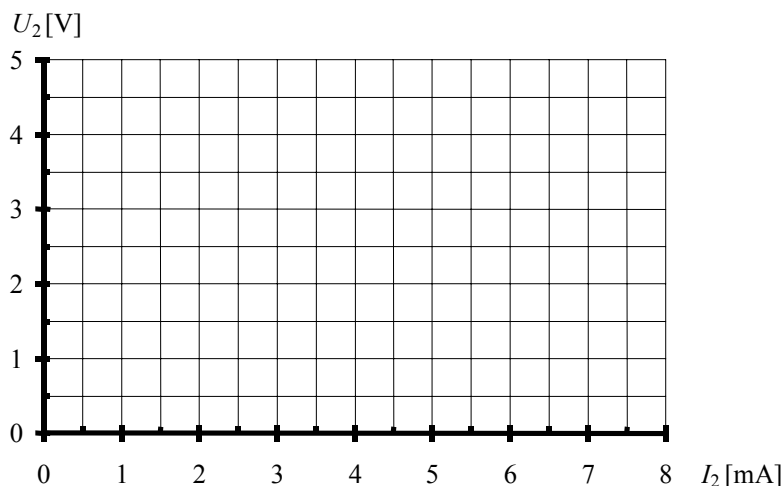
POT - drsni upor 330 Ω .

4011B	
I_2 [mA]	U_2 [V]
0	
0,5	
1	
	4,5

Tabela 4.4: Izhodna karakteristika vrat 4011B

74HCT00	
I_2 [mA]	U_2 [V]
0	
1	
2	
	4,2

Tabela 4.5: Izhodna karakteristika vrat 74HCT00



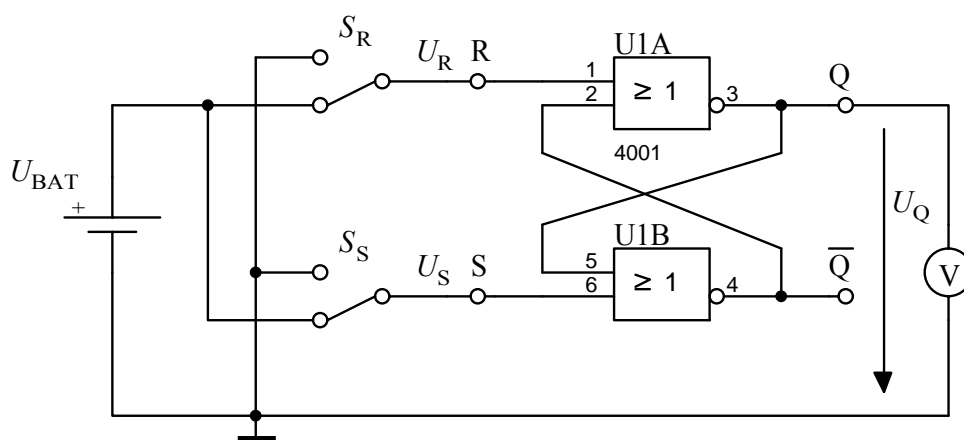
Slika 4.10: Izhodni U-I karakteristiki

3. Iz kataloških podatkov zaključite, kako povečanje napajalne napetosti vpliva na obremenljivost izhoda.

- Obremenljivost se: POVEČA ZMANJŠA

C Sekvenčno vezje (pomnilniška celica)

1. Sestavite sekvenčno vezje - RS vezje, kot to prikazuje slika 4.11. Izmerite pravilnostno tabelo RS vezja. Napajalna napetost naj bo 5 V ($U_{BAT} = 5$ V).



Slika 4.11: RS vezje

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT} - napajalnik HM 7042, $U_{BAT} = 5\text{ V}$

V - digitalni univerzalni instrument HM 8011,

U1 - integrirano vezje 4011B ali 74HCT00,

S_R, S_S - stikali.

$U_R[V]$	$U_S[V]$	$U_Q[V]$
0	0	
0	5	
5	0	
5	5	

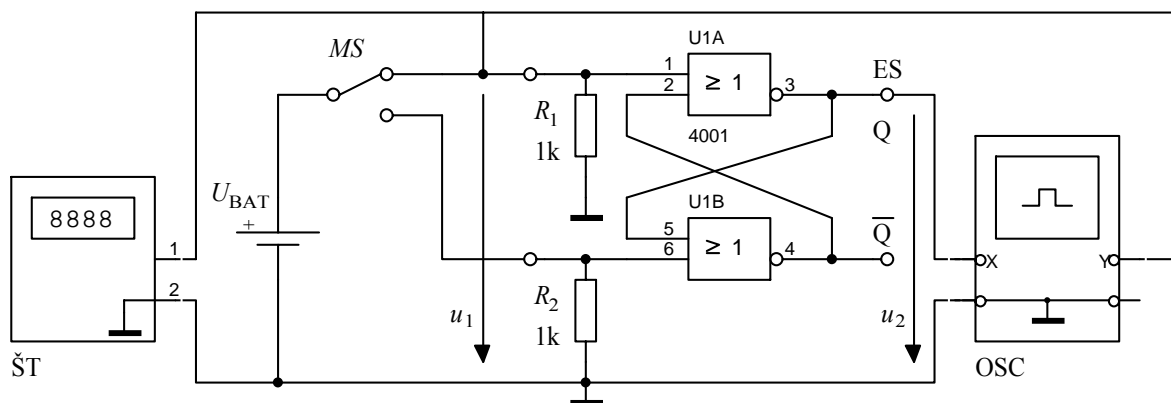
Tabela 4.6: Izmerjena pravilnostna tabela

- Katera vhodna kombinacija je nedovoljena za normalno delovanje RS vezja in zakaj?

Odg.:



2. Slika 4.12 prikazuje uporabo RS vezja kot elektronsko stikalo. Opazujte in primerjate dogajanje na izhodu običajnega (mehanskega) stikala MS (u_1) in na izhodu elektronskega stikala ES (u_2). Napajalna napetost naj bo 5 V ($U_{BAT} = 5\text{ V}$). S spominskim osciloskopom posnemite časovna odziva napetosti u_1 in u_2 . S števcem preštejte število vklopov mehanskega stikala MS in pripadajoče število vklopov na izhodu elektronskega stikala ES.



Slika 4.12: Elektronsko stikalo

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT} - napajalnik HM 7042, $U_{BAT} = 5\text{ V}$

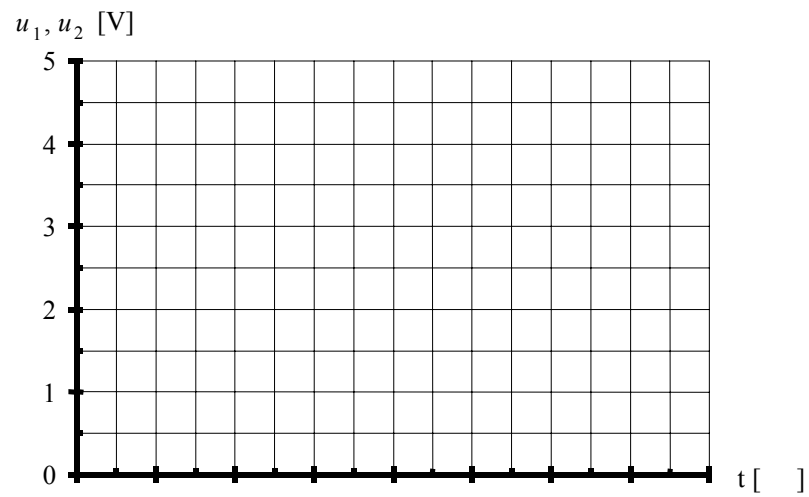
OSC - osciloskop LeCroy 9361,

ŠT - števec HM 8021,

U1 - integrirano vezje 4011B ali 74HCT00,

R_1, R_2 - upora,

MS - mehansko stikalo.

Slika 4.13: Časovni odziv u_1, u_2

n_{u1}	n_{u2}

Tabela 4.7: Število vklopov

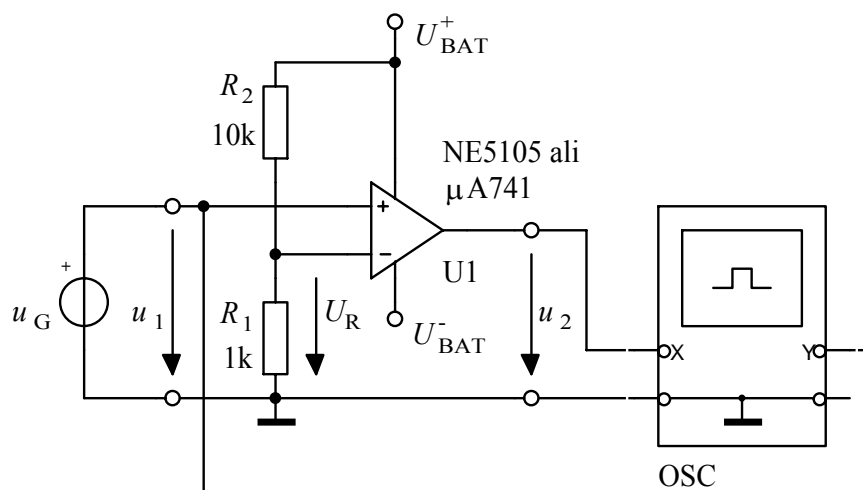
5. OBLIKOVANJE IN GENERIRANJE SIGNALOV

5.1 Primerjalnik in primerjalno vezje s histerezo (Schmittovo preklopno vezje)

Vaja prikazuje načrtovanje in primerjavo dveh vezij za oblikovanje pravokotnih signalov, navadnega primerjalnika in Schmittovega preklopnega vezja, ki imata različni preklopni karakteristiki. Schmittovo preklopno vezje omogoča v določenih pogojih popolno izločitev šuma iz koristnega signala.

A Primerjalnik

1. Sestavite primerjalno vezje s komparatorjem NE5105 ali z operacijskim ojačevalnikom $\mu A741$ po vezalnem načrtu na sliki 5.1. Vezje napajajte simetrično z $U_{BAT}^+ = -U_{BAT}^- = 10$ V. Izračunajte U_R . Z osciloskopom posnemite in narišite prenosno (preklopno) karakteristiko primerjalnika.



Slika 5.1: Primerjalnik

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT}^+ , U_{BAT}^- - napajalnik HM 7042, $U_{BAT} = 10$ V,

u_G - funkcijski generator HM 8030, $f = 100$ Hz, $U_g = 1,5$ V,

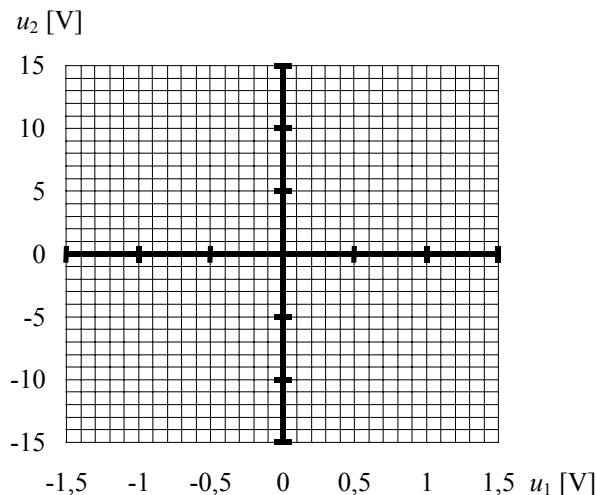
OSC - osciloskop HM 1507,

U1 - komparator NE5105 ali operacijski ojačevalnik $\mu A741$.

- Izračun in meritev referenčne napetosti

Izračun: $U_R = \text{-----}$

Meritev: $U_R = \text{-----}$



Slika 5.2: Preklopna karakteristika primerjalnika

2. Narišite vezje za prilagoditev izhodnega nivoja z Zener diodo ($U_Z = 4,7 \text{ V}$). Z vezjem za prilagoditev nivoja želimo nivo napetosti izhodnega signala primerjalnika u_2 prilagoditi vходу logičnega CMOS vezja, napajanega s 5 V.



Slika 5.3: Vezje za prilagoditev nivoja napetosti

B Schmittovo preklopno vezje

1. Sestavite Schmittovo preklopno vezje s komparatorjem NE5105 ali z operacijskim ojačevalnikom $\mu\text{A}741$ po sliki 5.4. Določite vrednost upora R_2 tako, da bosta preklopni napetosti $U_p^+ = -U_p^- = 0,9 \text{ V}$. Napajalna napetost vezja naj bo $U_{\text{BAT}}^+ = -U_{\text{BAT}}^- = 10 \text{ V}$. Z osciloskopom posnemite in narišite preklopno karakteristiko. Vhodni signal u_G naj bo sinusne oblike frekvence 100 Hz in amplitude $U_a = 2 \text{ V}$.

Popis instrumentov, naprav in elementov:

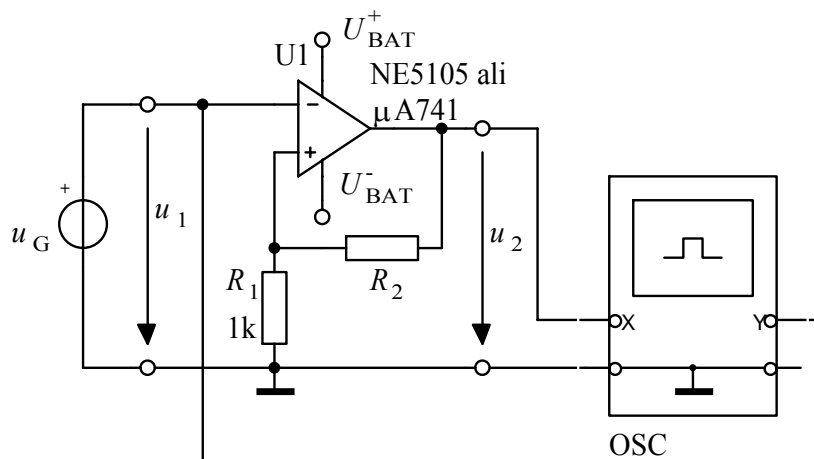
U_{BAT}^+ , U_{BAT}^- - napajalnik HM 7042,

u_G - funkcijski generator HM 8030, $f = 100 \text{ Hz}$, $U_g = 1,5 \text{ V}$,

OSC - osciloskop HM 1507,

U1 - komparator NE5105 ali operacijski ojačevalnik $\mu\text{A}741$,

R_1 , R_2 - upora.



Slika 5.4: Schmittovo preklopno vezje

- Določitev preklopnih nivojev

$$U_p^+ = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) U_{BAT}^+ \cong \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) U_{BAT}^+ = 0,9V$$

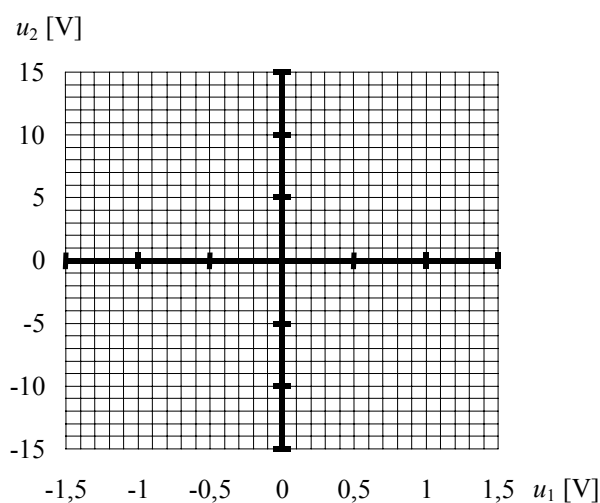
$$U_p^- = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) U_{SAT}^- \cong \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) U_{BAT}^- = -0,9V$$
(14)

- Napetost histereze

$$U_H = U_p^+ - U_p^- = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) (U_{SAT}^+ - U_{SAT}^-)$$

$$U_H \cong \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) (U_{BAT}^+ - U_{BAT}^-) = 1,8V$$

$$R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$
(15)

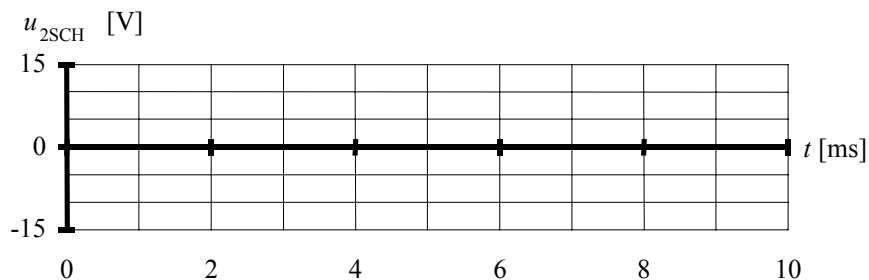
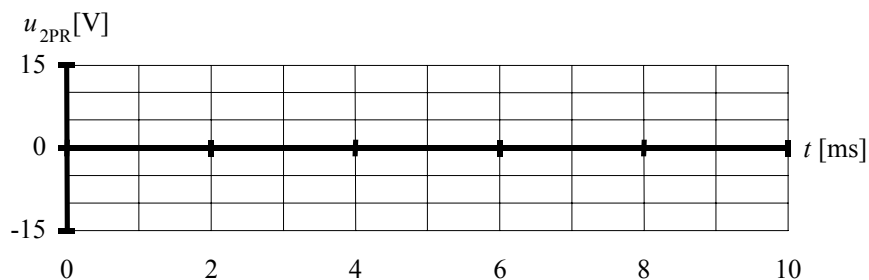
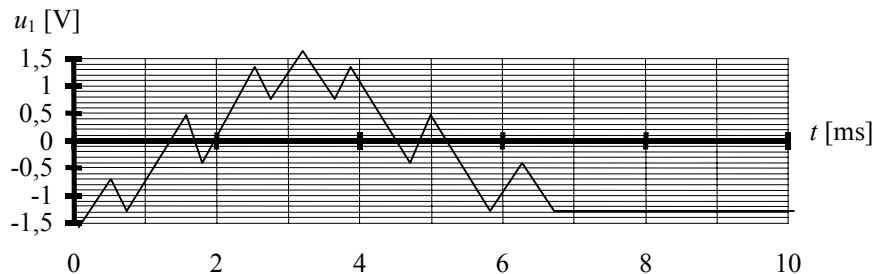


Slika 5.5: Izmerjena preklopna karakteristika

2. Zakaj se izmerjeni preklopni napetosti razlikujeta od izračunanih?

Odg.:

3. Narišite časovni odziv primerjalnika in Schmittovega preklopnega vezja na vhodni signal, pomešan s šumom, kot ga prikazuje slika 5.6. Za boljšo primerjavo upoštevajte, da je preklopna napetost primerjalnika pri $U_R = 0$ V.



Slika 5.6: Odziva primerjalnika in Schmittovega preklopnega vezja na vhodni signal u_1 .

4. Kaj dosežemo s histerezo preklopnih napetosti? Kolika naj bo v primerjavi z nivojem šumnega signala? Odgovorite na osnovi odziva na sliki 5.6.

Odg.:

5.2 Kvarčni oscilator

Vaja prikazuje možnost generiranja visokofrekvenčnega pravokotnega signala s točno določeno frekvenco. Predstavljena je primerjava med načrtovanjem kvarčnega oscilatorja z logičnimi elementi in kvarcem ter s komercialno dosegljivim kvarčnim oscilatorjem.

A Splošno o kvarcu

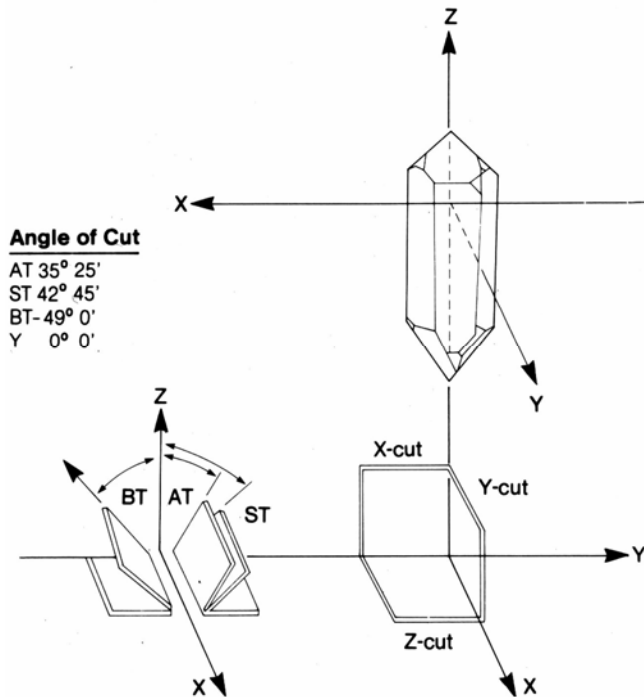
1. Kaj je kvarc?

Odg.:

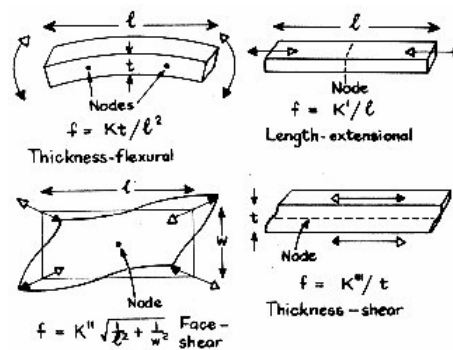
2. Kaj je piezoelektrični pojav?

Odg.:

3. Slika 5.7 prikazuje teoretično idealno obliko kristala kvarca, kot ga najdemo v naravi, in posamezne kote za običajne tipe rezanja (AT, BT, ST in Y).



Slika 5.7: Tipi rezanja kristala

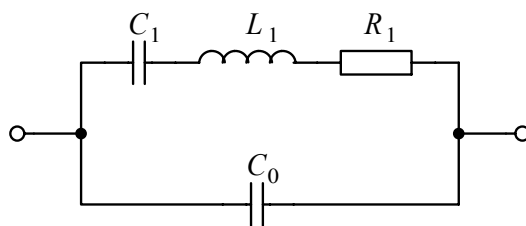


Slika 5.8: Oblike deformacij kvarca ob priključenih napetosti



Slika 5.9: Pritrditev elektrod na ploščico kvarca in vgradnja v ohišje

4. Slika 5.10 prikazuje električno nadomestno vezje kvarca. Pod sliko vpišite simbole električnih elementov, ki ustrezajo posameznim mehanskim ekvivalentom.

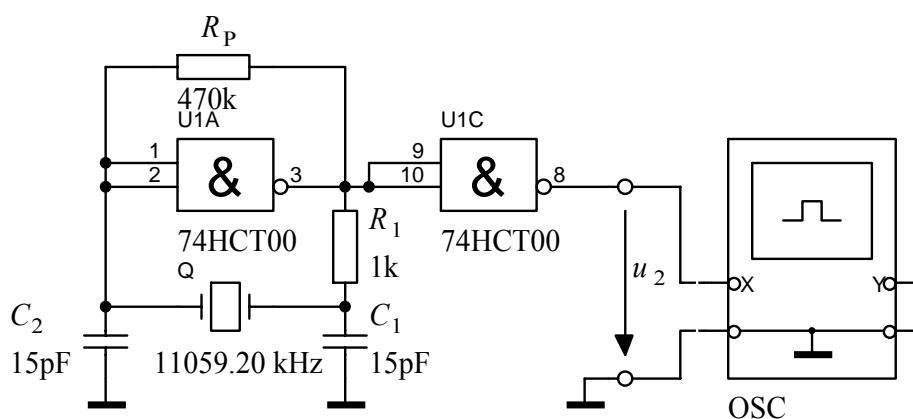


Slika 5.10: Električno nadomestno vezje kvarca

- - zaporedna induktivnost ekvivalentna nihajoči masi,
- - zaporedna upornost ekvivalentna izgubam v kristalu,
- - zaporedna kapacitivnost ekvivalentna mehnični elastičnosti kristala, in
- - vzporedna statična kapacitivnost, kapacitivnost med priključnima elektrodama na kristalu, povezovalnima žicama in zunanjsima priključkoma.

B Kvarčni oscilator

1. Sestavite oscilator s kvarcem z nazivno frekvenco $f_{NAZ} = 11,05920$ MHz po vezalni shemi na sliki 5.11. Ker potrebujemo izhodni signal s pravokotno obliko, lahko namesto ojačevalnih elementov uporabimo logične elemente. Napajalna napetost je $U_{BAT} = 5$ V. Z osciloskopom posnemite in narišite obliko časovnega poteka izhodne napetosti oscilatorja, če uporabimo logične elemente iz družine CMOS HCT in iz družine CMOS 4xxxxB.



Slika 5.11: Kvarčni oscilator

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT} - napajalnik HM 7042, $U_{BAT} = 5$ V,

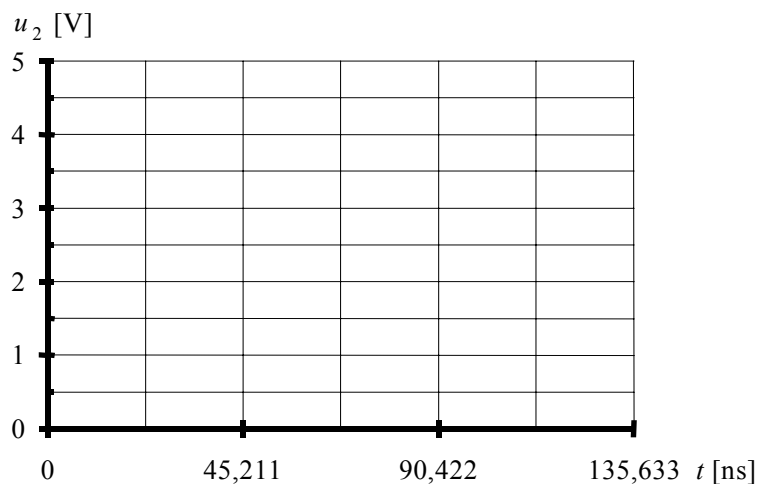
OSC - osciloskop HM 1507,

U1 - integrirano vezje 4011B ali 74HCT00,

R_p , R_1 - upora,

C_1 , C_2 - kondenzatorja,

Q - kvarc, $f_{NAZ} = 11,05920$ MHz.



Slika 5.12: Oblika izhodnega signala kvarčnega oscilatorja

2. Z merilnikom frekvence izmerite frekvenco izhodnega signala. Frekvenco merite na osem mest natančno. Izračunajte relativno odstopanje med izmerjeno in podano vrednostjo.

- meritev

$$f_{IZM} = \text{-----}$$

- relativni pogrešek

$$\Delta f(\%) = \frac{f_{IZM} - f_{NAZ}}{f_{NAZ}} 100\% = \text{-----}$$

3. Komentirajte razliko med izhodnima signaloma oscilatorja z vrati vrst HCT in 4xxxB glede oblike izhodnega signala.

Odg.:

4. Kolikšna je nazivna vrednost frekvence kristalov kvarca, ki se običajno uporabljajo v urah?

- $f_{NAZ} = \text{-----}$

5. Podatek o frekvenčni stabilnosti lahko uporabimo za določitev relativne časovne spremembe. Izračunajte, za koliko sekund na leto bo prehitevala (zaostajala) ura izdelana s kristalom kvarca s frekvenčno stabilnostjo $\Delta f/f = \pm 20 \times 10^{-6}$?

$$\Delta t = \frac{\Delta f}{f} t = \pm \text{-----} \quad (16)$$

5.3 Funkcijski generator

Vaja prikazuje izvedbo funkcijskega generatorja z uporabo standardnega integriranega vezja. Vezje je hkrati napetostno krmiljeni oscilator (VCO), saj omogoča spreminjanje frekvence z zunanjo modulacijsko napetostjo.

A Komercialni kvarčni oscilatorji

1. Tabela 5.1 prikazuje pomembnejše podatke nekaterih komercialnih kvarčnih oscilatorjev.

Model	Spec. Code	Freq. Range	Freq. Stability vs. Oper. Temp.	Power Supply	Output (Load)	Dimension	Application
TA302A	NSA0061A	6~170MHz	$\pm 10 \times 10^{-6} / -10 \sim 50^{\circ}\text{C}$	+9VDC 8mA	0.3Vr.m.s. (500 Ω : less than 20MHz) (100 Ω : not less than 20MHz)	Fig. 36	Mobile radio
	NSA0061B	6~150MHz	$\pm 5 \times 10^{-6} / -10 \sim 50^{\circ}\text{C}$				
	NSA0061C	6~170MHz	$\pm 15 \times 10^{-6} / -10 \sim 50^{\circ}\text{C}$				
TA403B	NSA0161A	100~220MHz	$\pm 10 \times 10^{-6} / -10 \sim 50^{\circ}\text{C}$	-18VDC 40mA	+7dBm \pm 1dB (50 Ω)	Fig. 38	Micro wave satellite
	NSA0064A	55~260MHz	$\pm 20 \times 10^{-6} / -10 \sim 50^{\circ}\text{C}$				
TA606C	NSA0064B	55~170MHz	$\pm 10 \times 10^{-6} / -10 \sim 50^{\circ}\text{C}$	+5VDC 60mA	STD. TTL, Fan Out 10	Fig. 39	Standard oscillator in measuring equipment
	NSA0064C	55~150MHz	$\pm 5 \times 10^{-6} / 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$				
	NSA0091A	1Hz~1MHz	$\pm 5 \times 10^{-6} / 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$				
TA503A	NSA0091B	1Hz~1MHz	$\pm 10 \times 10^{-6} / 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$	+5VDC 45mA	STD. TTL, Fan Out 2	Fig. 40	Standard oscillator in measuring equipment
	NSA0089F	1MHz or 10MHz	$\pm 0.5 \times 10^{-6} / 10 \sim 40^{\circ}\text{C}$				
TA402A	NSA0089G	1MHz or 10MHz	$\pm 1 \times 10^{-6} / 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$	+5VDC 20mA	STD. TTL, Fan Out 2	Fig. 41	Standard oscillator in measuring equipment
	NSA0158A	4~20MHz	$\pm 5 \times 10^{-6} / 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$				
	NSA0158B		$\pm 10 \times 10^{-6} / 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$				
NSA0158C	$\pm 20 \times 10^{-6} / 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$						
TD307B	NSA0158A	4~20MHz	$\pm 5 \times 10^{-6} / 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$	+5VDC 15mA	2V _{p-p} (10k Ω)	Fig. 42	Personal radio
TA314A	NSA0158B		$\pm 10 \times 10^{-6} / 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$				
	NSA0158C		$\pm 20 \times 10^{-6} / 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$				
TA314A	NSA0171B	12.8MHz or 14.5MHz	$\pm 3 \times 10^{-6} / -10 \sim 60^{\circ}\text{C}$				

Tabela 5.1: Pomembnejši podatki nekaterih kvarčnih oscilatorjev

2. Za model TA402A zapišite napajalno napetost in tok.

- $U_{\text{BAT}} = \dots\dots\dots \text{V}$,

- $I_{\text{BAT}} = \dots\dots\dots \text{mA}$

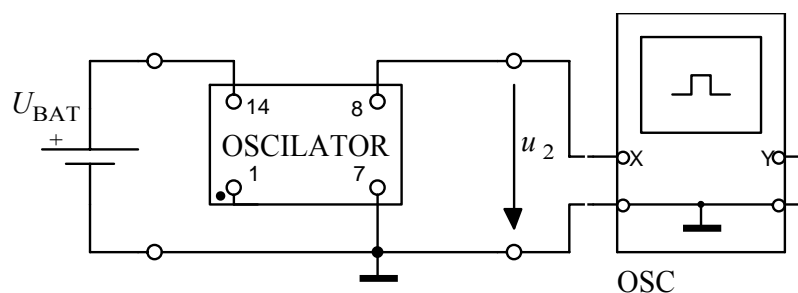
3. Ali lahko na izhod izbranega oscilatorja priključimo 5 TTL vhodov?

Odg.:

4. V kakšnem temperaturnem območju je zagotovljena podana frekvenčna stabilnost?

Odg.:

5. Priključite kvarčni oscilator, kot to prikazuje slika 5.13. Razporeditev priključkov kvarčnega oscilatorja prikazuje slika 5.14. Napajalna napetost je $U_{\text{BAT}} = 5 \text{ V}$. Izmerite frekvenco in posnemite časovni potek izhodne napetosti u_2 . Izmerite čas naraščanja t_R in čas upadanja t_F izhodne napetosti u_2 .



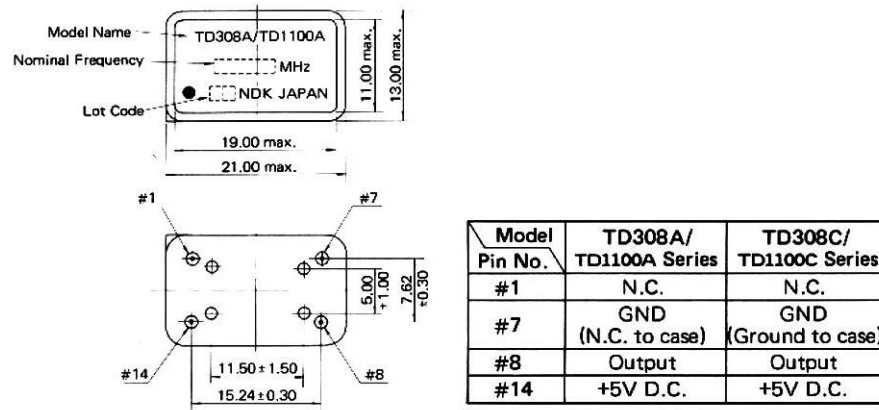
Slika 5.13: Meritev izhodnega signala kvarčnega oscilatorja

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT} - napajalnik HM 7042, $U_{\text{BAT}} = 5 \text{ V}$,

OSC - osciloskop HM 1507,

OSCILATOR - kvarčni oscilator.



Slika 5.14: Razporeditev priključkov kvarčnega oscilatorja

- podana vrednost

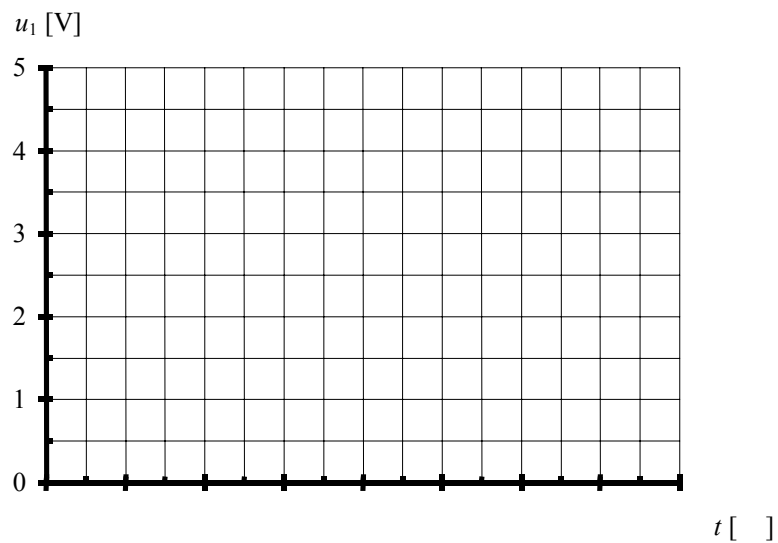
$$f_{\text{POD}} = \text{-----}$$

- meritev

$$f_{\text{IZM}} = \text{-----}$$

$$t_{\text{R}} = \text{-----}$$

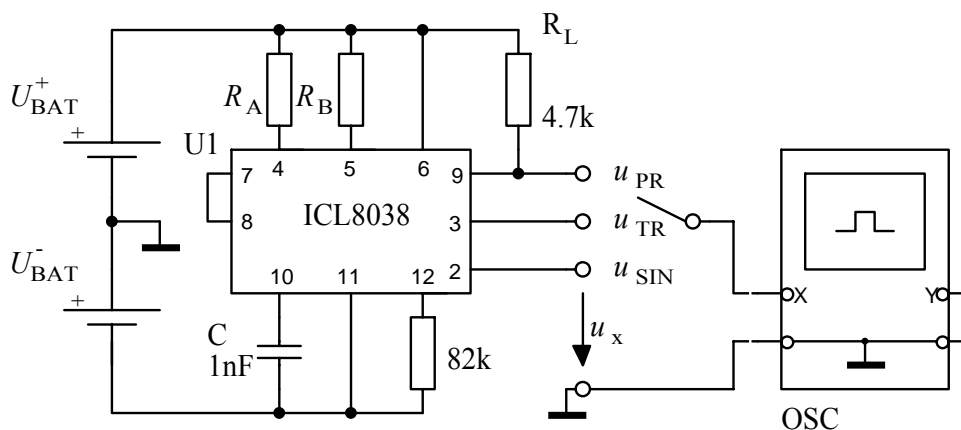
$$t_{\text{f}} = \text{-----}$$



Slika 5.15: Časovni potek izhodnega signala

B Funkcijski generator

1. Načrtajte in izdelajte generator signalov pravokotne, trikotne in sinusne oblike, izveden z integriranim vezjem ICL8038. Uporabite vezje s slike 5.16. Napajanje vezja naj bo simetrično z $U_{\text{BAT}}^+ = -U_{\text{BAT}}^- = 15 \text{ V}$. Določite vrednosti uporov R_A in R_B tako, da bosta frekvenca izhodnih signalov $f = 10 \text{ kHz}$ in prevajalno razmerje pravokotnega signala enaka $t_1/T = 50 \%$. Pri izračunu vrednosti si pomagajte z enačbami (17), (18) in (19).



Slika 5.16: Funkcijski generator

Popis instrumentov, naprav in elementov:

U_{BAT}^+ , U_{BAT}^- - napajalnik HM 7042,

OSC - osciloskop HM 1507,

U1 - integrirano vezje ICL8038,

R_A , R_B , R_L - upori,

C - kondenzator.

$$\frac{1}{f} = T = t_1 + t_2 \quad (17)$$

$$t_1 = \frac{R_A C}{0,66}, \quad R_A = \dots \quad (18)$$

$$t_2 = \frac{R_A R_B C}{0,66(2R_A - R_B)}, \quad R_B = \dots \quad (19)$$

2. Iz kataloga prepisite pomembnejše podatke funkcijskega generatorja ICL8038 ali MAX038.

- napajalna napetost

enojno napajanje

$$U_{BAT} = \dots \div \dots \text{ V}$$

dvojno napajanje

$$U_{BAT} = \pm \dots \div \pm \dots \text{ V}$$

- frekvenčno območje

$$f = \dots \text{ Hz} \div \dots \text{ kHz}$$

- območje spremenljivega prevajalnega razmerja (razmerje impulz-perioda).

$$t_1/T = d [\%] = \dots \div \dots \%$$

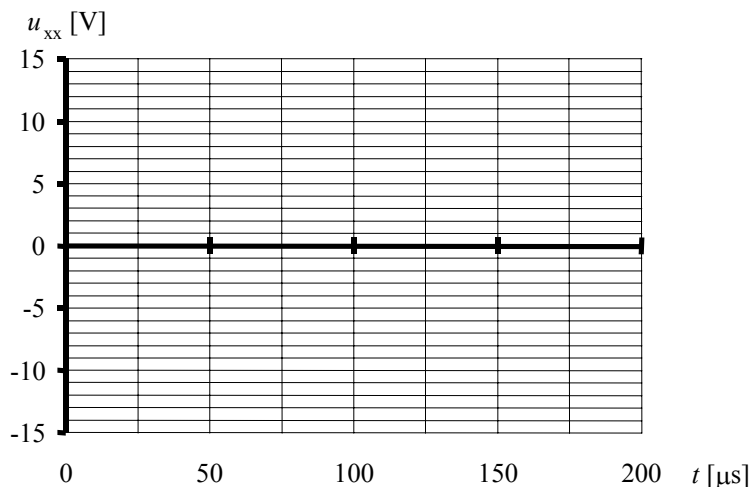
- oblike izhodnih signalov

- območje spreminjanje frekvence z modulatorsko napetostjo

- harmonična popačenja sinusnega signala (Total Harmonic Distortion)

$$\text{THD} = \text{-----}\%$$

3. Meritve opravite z osciloskopom. Izhodne signale vrišite v sliko 5.17.



Slika 5.17: Izmerjeni poteki izhodnih napetosti

4. Izmerite frekvenco in prevajalno razmerje izhodnih signalov. Meritev opravite na pravokotnem signalu.

- meritev

frekvenca $f_{\text{IZM}} = \text{-----}$ kHz

prevajalno razmerje $t_1/T = \text{-----}$ %



5. Z merilnikom popačenj izmerite harmonična popačenja izhodnega sinusnega signala. Enačba (20) prikazuje izračun harmoničnih popačenj signala, če bi poznali amplitudne komponente v frekvenčnem spektru izhodnega signala. Z u_1 je označena efektivna vrednost napetosti signala osnovne frekvence (10 kHz) in z u_n efektivne vrednosti napetosti višjih harmonikov ($n \times 10$ kHz).

- izračun

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} u_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} u_n^2}} \cong \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} u_n^2}}{u_1} \quad (20)$$

- meritev

$$\text{THD} = \text{-----}\%$$



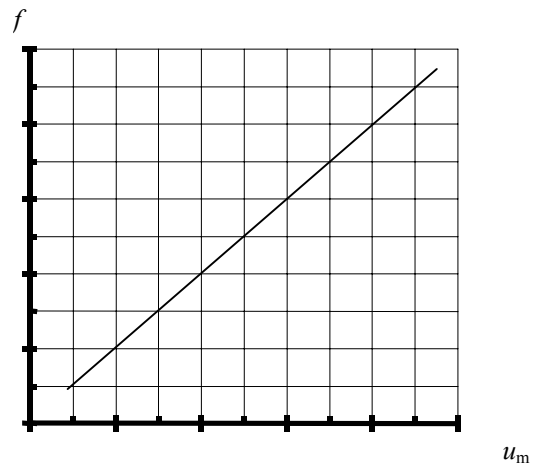
6. Frekvenco izhodnih signalov povečajte na 20 kHz (zmanjšajte R_A in R_B) in ponovno izmerite harmonična popačenja. Komentirate rezultat.

- $R_A = R_B = \text{-----}$

- $\text{THD} = \text{-----}\%$

Odg.:

7. Integrirano vezje ICL8038 ali MAX038 je tudi napetostno krmiljeni oscilator (VCO). S priključitvijo napetosti na priključno sponko 8 (ICL8038) lahko v zelo širokem območju spreminjamo frekvenco.



Slika 5.18: Primer prenosne funkcije napetostno krmiljenega oscilatorja

6. PRETVORNIKI SIGNALOV

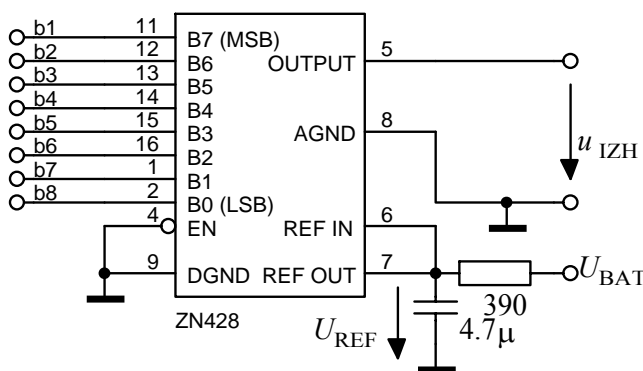
6.1 Digitalno-analogni in analogno-digitalni pretvorniki

Vaja omogoča spoznavanje pretvorbe analognega signala v digitalno obliko in nazaj, seznanja s prenosno karakteristiko A/D in D/A pretvornika ter s pomembnejšimi parametri pretvornikov.

A D/A pretvornik

1. Sestavite 8-bitni D/A pretvornik za pretvorbo digitalnega signala v analogno obliko. Uporabite komercialni pretvornik ZN428. Vežje prikazuje slika 6.1. Napajalna napetost je $U_{BAT} = 5\text{ V}$.

- Izmerite notranjo referenčno napetost $U_{REF} = \dots\dots\dots$.
- Izmerite in narišite prenosno karakteristiko za tri najbolj utežne bite.
- Za primerjavo vrišite še prenosno karakteristiko idealnega tribitnega D/A pretvornika.



Slika 6.1: Osem bitni D/A pretvornik

Popis instrumentov, naprav in elementov:

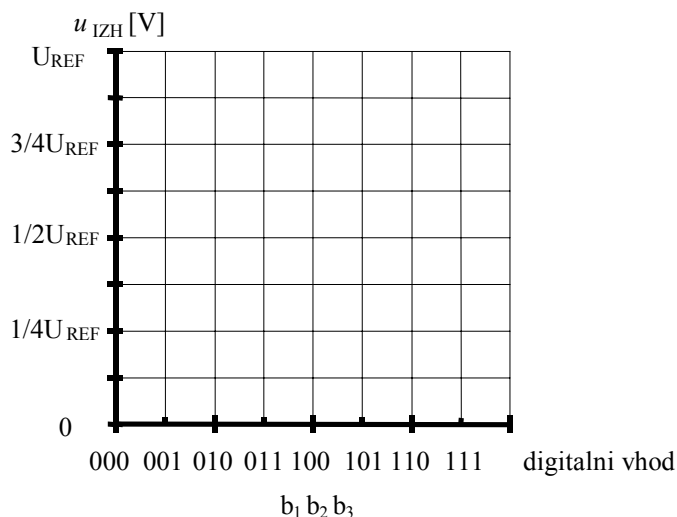
U_{BAT} - napajalnik HM 7042, $U_{BAT} = 5\text{ V}$,

V - digitalni univerzalni instrument HM 8011,

model D/A pretvornika.

b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	u_{IZH} [V]
0	0	0	x	x	x	x	x	
0	0	1	x	x	x	x	x	
0	1	0	x	x	x	x	x	
0	1	1	x	x	x	x	x	
1	0	0	x	x	x	x	x	
1	0	1	x	x	x	x	x	
1	1	0	x	x	x	x	x	
1	1	1	x	x	x	x	x	

Tabela 6.1: Izmerjena karakteristika



Slika 6.2: Idealna in izmerjena karakteristika 3-bitnega D/A pretvornika

2. Komentirajte odstopanja med idealno in izmerjeno karakteristiko glede na obliko.

Odg.:

3. Izračunajte ločljivost osembitnega D/A pretvornika pri $U_{REF} = 2,5 \text{ V}$?

$U_{LSB} =$

4. Kolikšna izhodna napetost D/A pretvornika ustreza najbolj utežnemu bitu?

$U_{MSB} =$

5. Kaj pomenita kratici LSB in MSB?

Odg.:

6. Izračunajte vrednost izhodne napetosti osembitnega D/A pretvornika pri vhodni binarni besedi $(10010111)_2$ in referenčni napetosti $U_{REF} = 2,5 \text{ V}$.

$$u_{IZH} = U_{REF} (b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + \dots + b_n 2^{-n}) = \dots \quad (21)$$

7. Kaj pove podatek "čas pretvorbe" D/A pretvornika? Kolikšen je čas pretvorbe D/A pretvornika ZN428? Kakšni so časi hitrejših in počasnejših D/A pretvornikov?

Odg.:

B A/D pretvornik

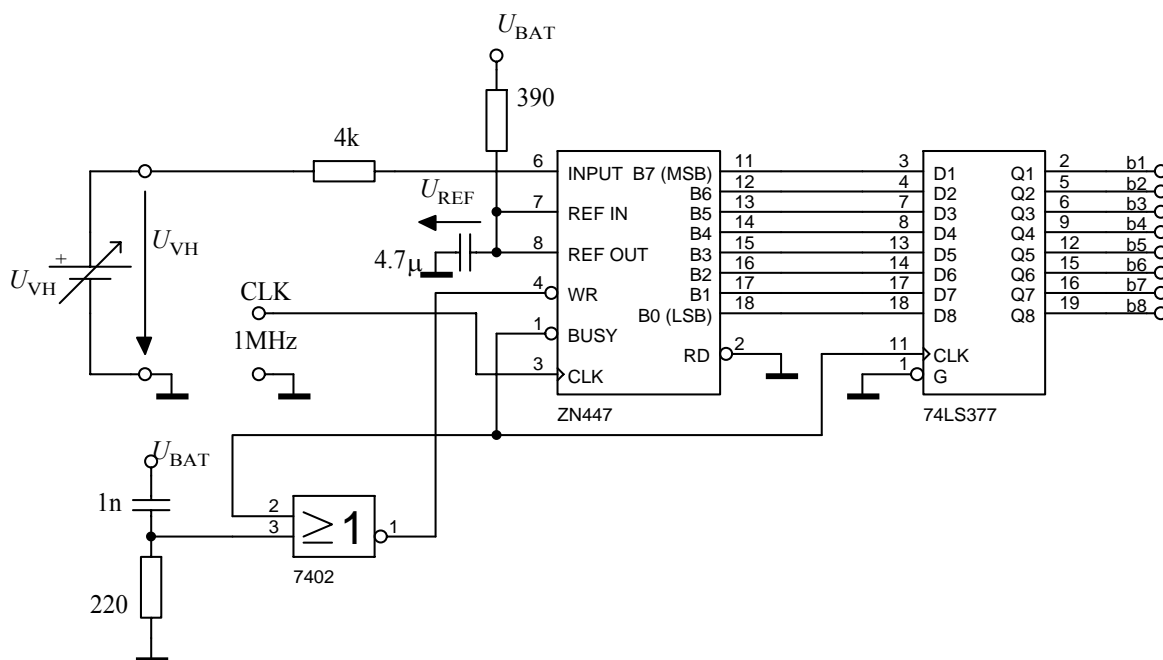
1. Izdelajte 8-bitni A/D pretvornik za pretvorbo analognega signala v digitalno obliko z zadrževalnim vezjem za digitalni izhodni signal. Uporabite komercialni pretvornik ZN447. Vezje prikazuje slika 6.3. Napajalna napetost je $U_{BAT} = 5 \text{ V}$.

- Izmerite U_{REF} . U_{REF} določa vhodno napetostno območje.

$U_{REF} =$

- Izmerite in narišite prenosno karakteristiko A/D pretvornika za tri najbolj utežne bite. Vhodni signal U_{VH} spreminjajte v mejah od 0 V do U_{REF} .

- Za primerjavo vršite še prenosno karakteristiko idealnega tribitnega A/D pretvornika.



Slika 6.3: Osembitni A/D pretvornik z izhodnim zadrževalnim vezjem 74LS377

Popis instrumentov, naprav in elementov:

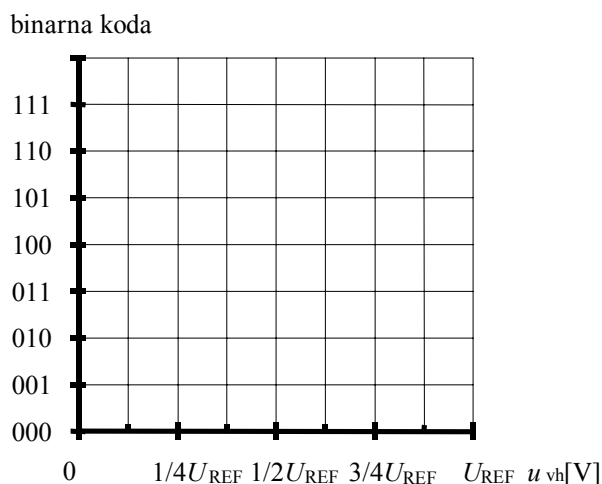
U_{BAT} - napajalnik HM 7042, $U_{BAT} = 5\text{ V}$,

U_{VH} - napajalnik HM 7042, $U_{VH} = 0 \div 5\text{ V}$,

model z A/D pretvornikom.

u_{VH} [V]	b_1 b_2 b_3	b_4 b_5 b_6 b_7 b_8
	000	00000
	001	00000
	010	00000
	011	00000
	100	00000
	101	00000
	110	00000
	111	00000

Tabela 6.1: Izmerjena karakteristika



Slika 6.4: Idealna in izmerjena karakteristika 3-bitnega A/D pretvornika

2. Komentirajte odstopanja med idealno in izmerjeno karakteristiko.

Odg.:

3. Kolikšna je maksimalna frekvenca vzorčenja A/D pretvornika ZN448? Kaj pove podatek o “frekvenci vzorčenja” A/D pretvornika? Kolikšna je najvišja možna frekvenčna komponenta v vhodnem signalu, da ne pride do prekrivanja spektrov?

Odg.:

4. Izračunajte potrebno spremembo vhodne napetost za 8- in 3-bitni A/D pretvornik, da se izhodna binarna kombinacija spremeni za 1 LSB. Referenčna napetost je 2,5V.

- 8-bitni A/D pretvornik

$$u_{vH} = \text{-----}$$

- 3-bitni A/D pretvornik

$$u_{vH} = \text{-----}$$

5. Kolikšna je ločljivost pri zapisu tonskega signala na zgoščenci (CD-plošča) in pri prenosu digitalnega telefonskega signala? Kolikšni sta ustrezni frekvenci vzorčenja?

Odg.:

C Kvantizacijski pogrešek

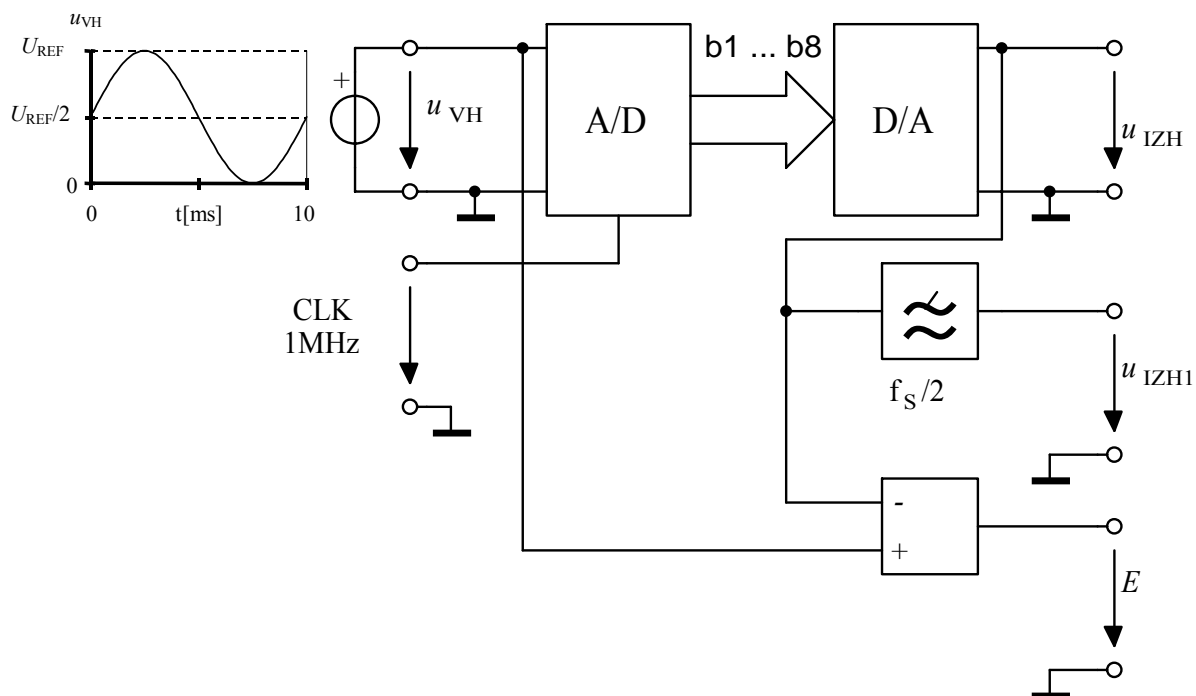
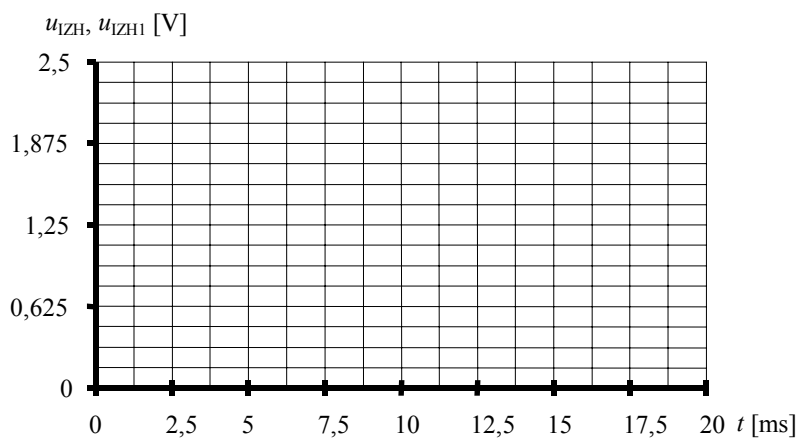
1. Prikažite in določite kvantizacijski pogrešek A/D pretvornika. Na izhod A/D pretvornika priključite še D/A pretvornik po sliki 6.5. Z dodanim nizkofrekvenčnim sitom zgladimo izhodni signal, z odštevalnim vezjem pa bomo dobili razliko med osnovnim vhodnim analognim in dvakrat pretvorjenim signalom.

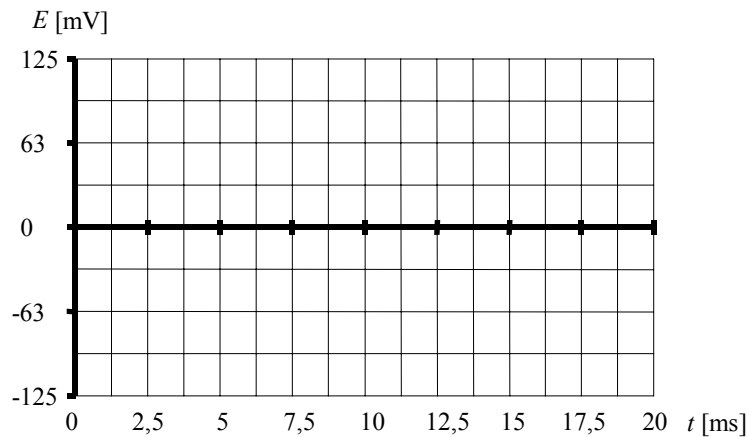
- Uporabljeni A/D pretvornik potrebuje za pretvorbo signala toliko urinih impulzov, kot je podatek o njegovi ločljivosti. Iz tega podatka izračunajte frekvenco vzorčenja

$$f_s \cdot$$

$$f_s = \text{-----}$$

- Na vhod priključite sinusni signal frekvence 100 Hz in amplitude $u_{\text{VH}} = U_{\text{REF}}/2$, premaknjen za enosmerno prednapetost $U_{\text{OFF-SET}} = U_{\text{REF}}/2$. Izmerite in narišite izhodne napetosti u_{IZH} , u_{IZH1} in E za tritbitno A/D \rightarrow D/A pretvorbo (upoštevajte le 3 najbolj utežne bite).

Slika 6.5: Prikaz določitve kvantizacijskega pogoška E Slika 6.6: Izmerjena poteka izhodnih napetosti u_{IZH} in u_{IZH1} za $n = 3$ bite

Slika 6.7: Potek absolutnega pogrška E za $n = 3$ bite

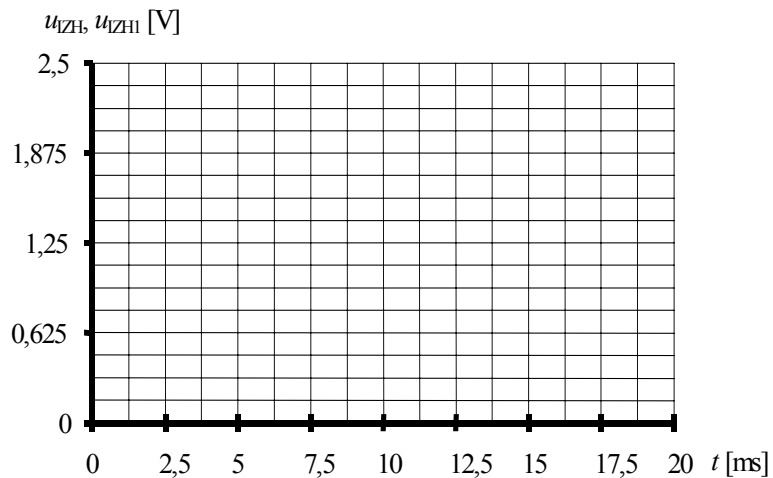
2. Komentirajte razliko med izhodnima signaloma u_{IZH} in u_{IZHI} .

Odg.:

3. Kaj predstavlja izhodni signal E , napišite njegov izraz.

Odg.:

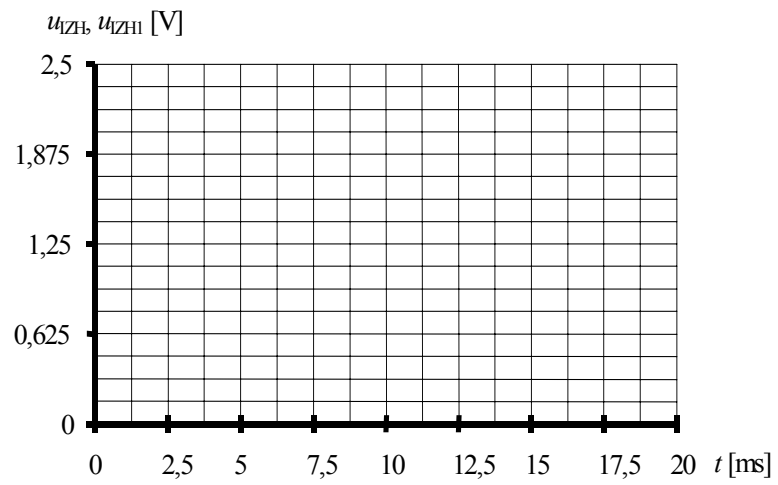
4. Izmerite in narišite izhodna signala u_{IZH} in u_{IZHI} za popolno 8-bitno A/D→D/A pretvorbo.

Slika 6.8: Poteka izhodnih napetosti u_{IZH} in u_{IZHI} za $n = 8$ bitov

D Podvzorčenje

1. Frekvenco vhodnega signala povečajte na 11,5 kHz. Narišite izhodna signala u_{IZH} in u_{IZHI} . Zakaj sta frekvenca in amplituda izhodnega signala nižji od frekvence in amplitude vhodnega signala? Kako bi to odpravili?

Odg.:

Slika 6.9: Poteka izhodnih napetosti u_{IZH} in u_{IZH1}

Bojan Jarc, Rudolf Babič

**ELEKTRONIKA: Laboratorijske vaje za program
računalništva in informatike**