

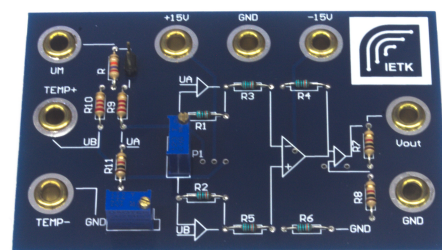
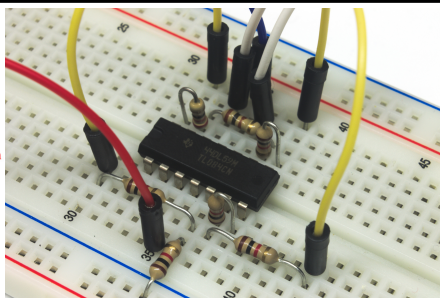
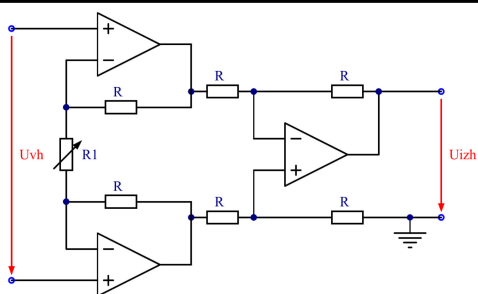


Univerza v Mariboru

Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko

Vmesniki in pretvorniki: laboratorijske vaje

Avtorja:
dr. Iztok Kramberger
dr. Gregor Donaj



Vmesniki in pretvorniki: laboratorijske vaje



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

Vmesniki in pretvorniki:
laboratorijske vaje

Avtorja:
dr. Iztok Kramberger
dr. Gregor Donaj

Maribor, januar 2018

Naslov: Vmesniki in pretvorniki

Podnaslov: laboratorijske vaje

Avtorja: doc. dr. Iztok Kramberger (Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko) in
asist. dr. Gregor Donaj (Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko)

Jazikovna recenzija: Darinka Verdonik

Tehnični urednik: asist. dr. Gregor Donaj (Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko)

Grafične priloge: asist. dr. Gregor Donaj (Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko)

Oblikovanje ovitka: asist. dr. Gregor Donaj (Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko)

Izdajateljica:

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Koroška cesta 46, 2000 Maribor, Slovenija
tel. +386 2 220 70 00, faks +386 2 220 72 72
<http://feri.um.si>, feri@um.si

Založnik:

Univerzitetna založba Univerze v Mariboru
Slomškov trg 15, 2000 Maribor, Slovenija
tel. +386 2 235 52 76, faks +386 2 252 32 45
<http://press.um.si>, zalozba@um.si

Izdaja: Prva izdaja

Vrsta publikacije: Elektronska knjiga

Dostopno na: <http://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/313>

Izid: Maribor, januar 2018



©Avtorja. To delo je dosegljivo pod licenco Creative Commons
Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna

CIP - Kataloški izpis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

621.313/.314(075.8)(076)(0.034.2)

KRAMBERGER, Iztok

Vmesniki in pretvorniki [Elektronski vir] : laboratorijske vaje /
avtorja Iztok Kramberger, Gregor Donaj. - 1. izd. - El. knjiga. - Maribor
: Univerzitetna založba Univerze, 2017

Način dostopa (URL): <http://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/313>

ISBN 978-961-286-137-7 (pdf)

doi: 10.18690/978-961-286-137-7

1. Donaj, Gregor

COBISS.SI-ID 93948929

ISBN: 978-961-286-137-7 (pdf)

DOI: <https://doi.org/10.18690/978-961-286-137-7>

Cena: Brezplačen izvod

Odgovorna oseba založnika: prof. dr. Žan Jan Oplotnik, prorektor univerze v
Mariboru

DOI <https://doi.org/10.18690/978-961-286-137-7> ISBN 978-961-286-137-7 (pdf)

Univerzitetna založba Univerze v Mariboru

Dostopno na: <http://press.um.si>

Vmesniki in pretvorniki: laboratorijske vaje Iztok Kramberger in Gregor Donaj

Poveztek: Gradivo vsebuje navodila za laboratorijske vaje pri predmetu Vmesniki in pretvorniki za študente VS študijskega programa Elektrotehnika, smer elektronika. V navodilih je 12 laboratorijskih vaj, kjer se obravnavajo pretvorniki električnih veličin, merilni mostiči in ojačevalniki ter uporaba členov RC v pretvorbah. Drugi del vaj obravnava še neelektrične veličine in vezja za njihovo merjenje: optični pretvorniki, temperaturni senzor, senzor vlage, kapacitivni pretvornik, Hallova sonda in merilnik pretoka tekočine.

Ključne besede: elektronika, laboratorijske vaje, vmesniki, pretvornik, senzorji

NASLOVA AVTORJEV: dr. Iztok Kramberger, docent, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Koroška cesta 46, 2000 Maribor, Slovenija, e-naslov: iztok.kramberger@um.si. dr. Gregor Donaj, asistent z doktoratom, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Koroška cesta 46, 2000 Maribor, Slovenija, e-naslov: gregor.donaj@um.si.

Kazalo

Uvod	1
Naloga 1: Tokovno-napetostni pretvornik	3
Naloga 2: Napetostno in tokovno napajanje merilni mostič	7
Naloga 3: Detektor vršne napetosti	11
Naloga 4: Napetostno-frekvenčni pretvornik	15
Naloga 5: Frekvenčno-napetostni pretvornik	19
Naloga 6: Enosmerni pretvornik navzgor	23
Naloga 7: Preklopni časi optičnega povezovalnika	27
Naloga 8: Uporaba senzorjev in mikrokrmilnika	31
Naloga 9: Kapacitivni pretvorniki	35
Naloga 10: Pretok tekočine	37
Naloga 11: Gostota magnetnega pretoka	39
Naloga 12: Merjenje vpadne svetlobe	41
Ocena	43

Uvod

V okviru laboratorijskih vaj pri predmetu Vmesniki in pretvorniki boste v praksi spoznali lastnosti in uporabo različnih elementov in vezij, ki se uporabljajo pri zajemanju in pretvorbi neelektričnih veličin v električne ter pretvorbi med električnimi veličinami. Laboratorijske vaje vsebujejo 12 nalog, ki so sicer samostojne, vendar v sklopih pokrivajo različne tematike – pretvorbe električnih veličin, uporabo RC členov, uporabo mikrokrmilnikov in senzorjev ter pretvorbe neelektričnih veličin.

V prvem delu vaj bomo spoznali pretvornike električnih veličin – diferenčni in instrumentacijski ojačevalnik ter tokovno in napetostno napajanje merilni mostič. V prvi nalogi bomo uporabili diferenčni ojačevalnik za pretvorbo toka v napetost, v drugi nalogi pa oba merilna mostiča in instrumentacijski ojačevalnik za merjenje temperature s temperaturno občutljivim elementom.

Za razne pretvorbe v zvezi s periodičnimi signali se uporabljajo kondenzatorji in upori za določanje časovnih konstant. V četrti nalogi boste tako spoznali primer načrtovanja RC člena v sledilniku vršne napetosti. Dve nadaljnji uporabi RC-členov sledita v nalogah 4 in 5, kjer boste izvedli napetostno-frekvenčno in frekvenčno-napetostno pretvorbo.

Sledi naloga z enosmernim pretvornikom, kjer je ponazorjen vpliv bremena na pretvorbo, in naloga z merjenjem preklopnih časov optičnega povezovalnika, kjer so ponazorjene odvisnosti vezja in pretvorbe (v tem primeru prenos signala) glede na druge elemente v vezju.

V osmi nalogi bomo uporabili nekatere tipične senzorje temperature in vlage, ki se uporabljajo v elektroniki, ter ponazorili njihovo uporabo z mikrokrmilnikom. Podobno vezje je tudi uporabljeno v deveti nalogi, kjer pa bomo uporabili razvojno ploščo za preverjanje delovanja kapacitivno-napetostnega pretvornika.

V zadnjih treh nalogah bomo spoznali še nekatere elemente za pretvorbo neelektričnih veličin v električne. Te bodo dajalnik impulzov za merjenje pretoka tekočin, Hallova sonda za merjenje gostote magnetnega polja in fotoupor za merjenje vpadne svetlobe.

Navodila za opravljanje laboratorijskih vaj

Na laboratorijske vaje prihajajte pripravljeni, kar pomeni, da si pred začetkom vaj preberite nalogo. Pri reševanju nalog boste morali vpisovati odgovore na posamezna vprašanja in vpisovati merilne rezultate v tabele ter iz podatkov v tabelah risati grafe. Spodaj imate navedenih nekaj splošnih navodil za pravilno reševanje. Pri večini nalog sledi zadnji del z izračuni in dodatnimi vprašanji. Te izpolnajte po končanem terminu laboratorijskih vaj.

Tabele

- Preden začnete zapisovati vrednosti, se prepričajte, ali vezje pravilno deluje in ali meritev opravljate pravilno.
- Bodite pozorni na enote v tabeli. Te so vpisane v prvi vrstici tabele.
- Podatke vpišite s primernim številom decimalnih mest. Zaokroževanje na premajhno število mest vnese dodatno napako, zaokroževanje na preveliko število mest pa je neprimerno, če je merska napaka bistveno večja od natančnosti vpisa vrednosti.

Grafi

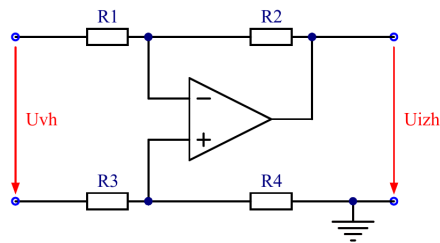
- Na obeh oseh zapišite veličine in merilo. Označite več enakomerno oddaljenih točk na oseh z vrednostmi.
- Uporabite vse izmerjene vrednosti iz ustrezne tabele in za vsako vrednost narišite dobro vidno točko na grafu.
- Graf lahko rišete prostoročno ali pa z ravnilom, kadar podatki nakazujejo dovolj linearen potek. V primeru (deloma) nelinearnega poteka ne rišite lomljenke med merilnimi točkami, ampak primerno narišite potek grafa med merilnimi točkami.
- Kadar imate na eni sliki več grafov, morajo biti vsi grafi nedvoumno označeni.

Naloga 1: Tokovno-napetostni pretvornik

Navodilo naloge: Sestavite tokovno-napetostni pretvornik, ki deluje na osnovi diferenčnega ojačevalnika. S pomočjo meritev preverite njegovo delovanje ter izračunajte faktor pretvorbe.

Uvod

Tokovno-napetostni pretvornik realiziramo s pomočjo merilnega upora, na katerem merimo padec napetosti. Ker morda ne moremo zagotoviti, da bo eden izmed priključkov upora na potencialu 0 V (glede na merilni instrument), merimo napetost z diferenčnim ojačevalnikom, ki ga realiziramo z operacijskim ojačevalnikom in upori. Vezje diferenčnega ojačevalnika je prikazano na sliki 1.



Slika 1: Diferenčni ojačevalnik

Za pravilno delovanje ojačevalnika, tj. ojačanje razlike napetosti med vhodnima priključkoma, mora veljati: $R_1 = R_3$ in $R_2 = R_4$. Izhodno napetost diferenčnega ojačevalnika potem izrazimo z enačbo:

$$U_{izh} = -U_{vh} \frac{R_2}{R_1}. \quad (1)$$

Napetost U_{vh} predstavlja razliko napetosti med obema vhodnima priključkoma. To napetost dobimo kot padec napetosti na vhodnem upor, ki ga dodamo na vhod vezja. Padec napetosti na tem upor je sorazmeren s tokom skozi njega:

$$U_{vh} = I_{R_{vh}} \cdot R_{vh}. \quad (2)$$

Če obe enačbi združimo, dobimo enačbo za pretvorbo vhodnega toka v izhodno napetost:

$$U_{izh} = -\frac{R_{vh} \cdot R_2}{R_1} \cdot I_{R_{vh}}. \quad (3)$$

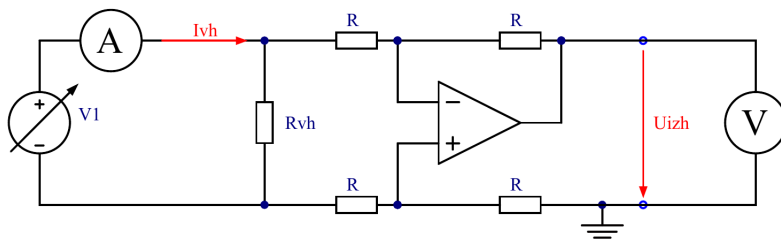
Iz zadnje enačbe vidimo, da je izhodna napetost premo sorazmerna s tokom skozi merilni upor R_{vh} , faktor pretvorbe pa je $-\frac{R_{vh} \cdot R_2}{R_1}$. Če nadalje izberemo $R = R_1 = R_2$, bo faktor pretvorbe enak $-R_{vh}$.

Sama izbira upora R sicer ne vpliva na faktor pretvorbe med padcem napetosti na merilnem uporu in izhodno napetostjo, vendar pa moramo upoštevati, da vhodni tok ne bo enak toku skozi merilni upor. Del toka bo tekkel v diferenčni ojačevalnik, katerega vhodna upornost ni neskončna, ampak je odvisna tudi od R .

Shema

Na sliki 2 je prikazana vezalna shema pretvornika in merilnih instrumentov. Za operacijski ojačevalnik lahko uporabimo splošnonamenski ojačevalnik (npr. LM741, TL081 ali podoben), za upore R vzamemo 4 enake upore. Ojačevalnik napajajmo z napetostjo $\pm 9\text{ V}$ (ni na shemi). Vhodni tok spreminjajmo s spreminjanjem napetosti na viru V_1 .

V vezju naj bi bili vsi štirje upori v diferenčnem ojačevalniku enaki, vendar v praksi ti upori ne bodo nikoli popolnoma enaki. Da kljub temu dosežemo čim bolj natančno obnašanje vezja, izberemo upore z majhno toleranco (npr. 1% ali manj).



Slika 2: Vezalna shema tokovno-napetostnega pretvornika

Potek vaje

- Izberite ustrezen upor R_{vh} , tako da bo faktor pretvorbe -1 V/mA .
- Z instrumentom izmerite točno vrednost upora R_{vh} , ki ga boste uporabili v vezju.
- Izberite $R = 10\text{ k}\Omega$.
- Sestavite vezje po zgornji shemi.
- Izmerite prenosno karakteristiko vezja v območju vhodnih tokov od 0 mA do 10 mA v korakih po 1 mA ter narišite graf prenosne karakteristike.
- Ponovite meritev karakteristike za vrednost $R = 100\text{ k}\Omega$ ter narišite graf prenosne karakteristike na isto sliko.
- Opravite izračune in odgovorite na dodatna vprašanja.

Meritve in rezultati

Koliko je zahtevana vrednost upora R_{vh} ?

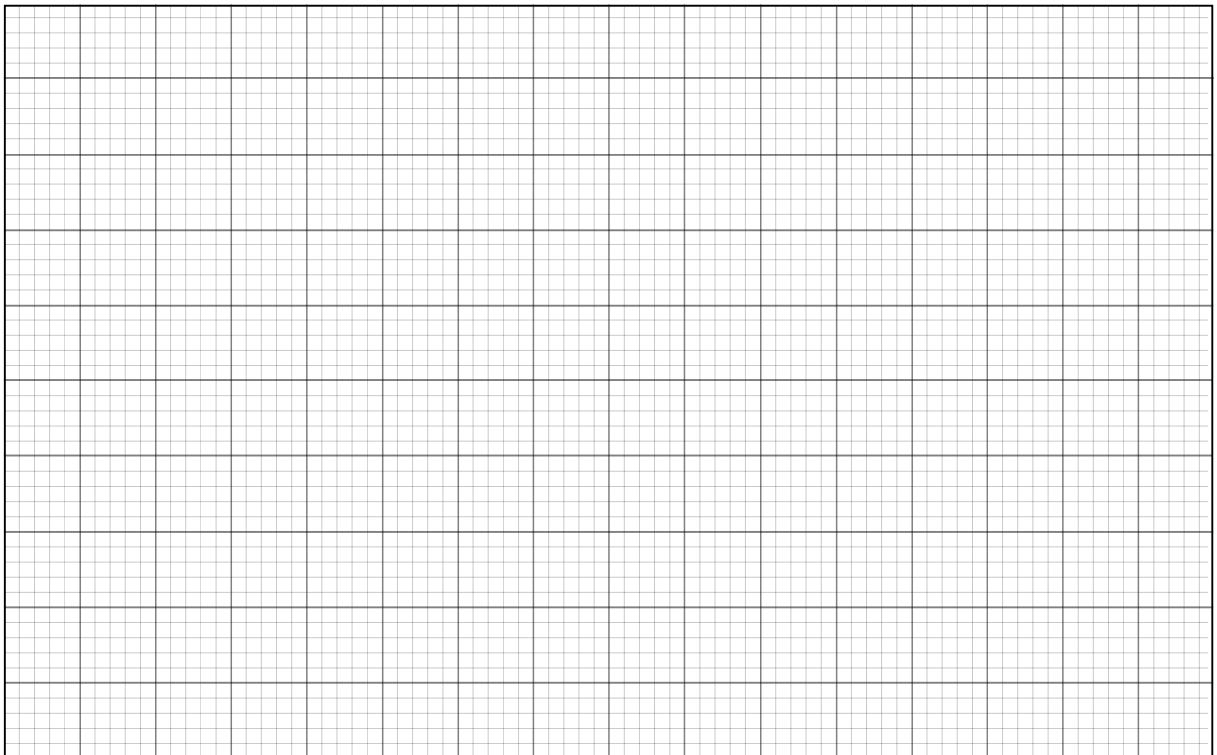
Odgovor: _____

Koliko je izmerjena vrednost izbranega upora R_{vh} ?

Odgovor: _____

Tabela 1: Meritev prenosne karakteristike tokovno-napetostnega pretvornika

I_{vh} [mA]	U_{izh} ($R = 10\text{ k}\Omega$) [V]	U_{izh} ($R = 100\text{ k}\Omega$) [V]



Slika 3: Prenosna karakteristika tokovno-napetostnega pretvornika

Izračuni in dodatna vprašanja

- Izračunajte vhodno upornost vezja za obe izbiri upora R . Predpostavite, da bo nižji od obeh vhodnih potencialov na nivoju 0 V. Kako bi se izračun razlikoval, če bi oba vhodna priključka bila plavajoča (nobeden ne bi bil vezan na potencial 0 V).
- Iz meritev izračunajte faktor pretvorbe za obe izbiri upora R .

Naloga 2: Napetostno in tokovno napajanje merilni mostič

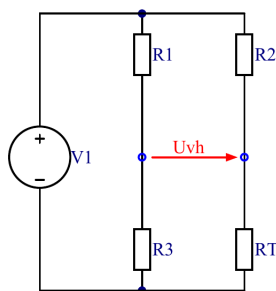
Navodilo naloge: Uporabite temperaturni pretvornik KTY 10-6, merilni mostič in instrumentacijski ojačevalnik za izvedbo vezja za merjenje temperature v območju od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Realizirajte dve vezji, kjer v prvem vezju uporabite napetostno napajanje merilni mostič, v drugem vezju pa tokovno napajanje merilni mostič.

Uvod

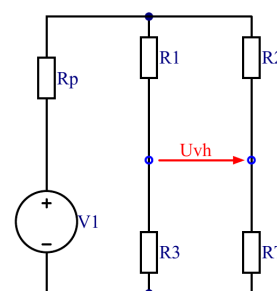
KTY 10-6 je temperaturni pretvornik, ki se mu glede na temperaturo spreminja upornost. V tej vaji imamo pretvornik vezan v merilni mostič. Uporabili bomo dva različna mostiča, ki sta prikazana na sliki 4.

V prvi vezavi – napetostno napajanje mostič – uporabimo konstantno napajalno napetost 1 V neposredno na merilnem mostiču. V drugi vezavi vezemo zaporedno z vezjem predupor R_p , katerega upornost mora biti bistveno večja od upornosti mostiča. Vezava napajalnega vira z višjo napetostjo in predupora se obnaša podobno kot tokovni vir z vzporedno vezanim uporom (Nortonov teorem). Ker je upornost mostiča bistveno manjša, bo njegov vpliv na tok v mostiču ustrezno majhen. Na tak način realiziramo (skoraj) konstanten tok skozi mostič. Doseči želimo tok ca. $0,5\text{ mA}$.

Razliko napetosti v obeh vejah mostiča (na sliki označeno z U_{vh}) nato ojačamo do želene vrednosti z instrumentacijskim ojačevalnikom. Za razliko od diferenčnega ojačevalnika (glej vajo 1) ima instrumentacijski ojačevalnik zelo veliko vhodno upornost in posledično nima vpliva na tokovne in napetostne razmere v mostiču. Shema instrumentacijskega ojačevalnika je prikazana na sliki 5.



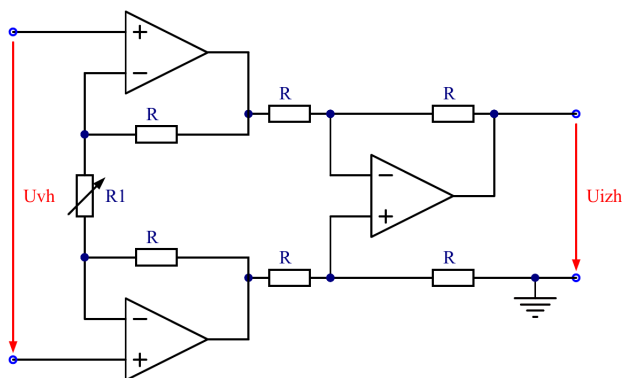
(a) Napetostno napajanje merilni mostič



(b) Tokovno napajanje merilni mostič

Slika 4: Merilna mostiča s fiksnimi upori R_1 , R_2 in R_3 ter temperaturno odvisnim uporom R_T

Meritev temperature je zamudna, saj moramo najprej doseči stabilno zeleno temperaturo pretvornika. Ker nas pri tej vaji zanima predvsem delovanje merilnega mostiča in pa instrumentacijskega ojačevalnika, lahko namesto temperaturnega pretvornika uporabimo uporovno dekadno, s katero emuliramo pretvornik pri različnih temperaturah. Odvisnost njegove upornosti od temperature je podana v tabeli 2.



Slika 5: Instrumentacijski ojačevalnik, ki mu lahko ojačanje nastavljamo z uporabo R_1

Tabela 2: Upornost pretvornika KTY 10-6 pri različnih temperaturah

T [°C]	R_T [Ω]	T [°C]	R_T [Ω]	T [°C]	R_T [Ω]	T [°C]	R_T [Ω]
0	1630	30	2080	60	2599	90	3188
5	1700	35	2161	65	2692	95	3293
10	1772	40	2245	70	2788	100	3400
15	1846	45	2331	75	2885		
20	1922	50	2418	80	2984		
25	2000	55	2508	85	3085		

Shema

Za opravljanje naloge imate pripravljeno tiskano vezje. Na njem je merilni mostič s tremi upori in spremenljivim uporom P_2 , ki ga uporabimo za umerjanje mostiča. Uporovno dekado, s katero emuliramo temperaturni pretvornik, priklopimo med priključka TEMP+ in TEMP-. Razliko napetosti v mostiču ojačamo z instrumentacijskim ojačevalnikom, da dobimo izhodno napetost U_{izh} . Vezje napajamo z napetostjo ± 15 V.

V mostiču imata zgornja upora (na sliki 4 upora R_1 in R_2) upornost $2,2\text{ k}\Omega$, upor R_3 pa je v vezju sestavljen iz fiksnega in spremenljivega upora. Med izvajanjem vaje bomo z R_3 umerili mostič na izhod $U_{izh} = 0$ V pri 0 °C. Velja še: $R_p = 27\text{ k}\Omega$.

Potek vaje

- Pripravite vezje in priključite napajalni vir.
- Pri temperaturi 0 °C nastavite upor P_2 tako, da bo izhodna napetost 0 V. Pri temperaturi 100 °C nastavite upor P_1 tako, da bo izhodna napetost 10 V.
- Izmerite prenosno karakteristiko pretvornika v območju od 0 °C do 100 °C v korakih po 5 °C za oba mostiča ter narišite obe prenosni karakteristiki.
- Opravite izračune in odgovorite na dodatna vprašanja.

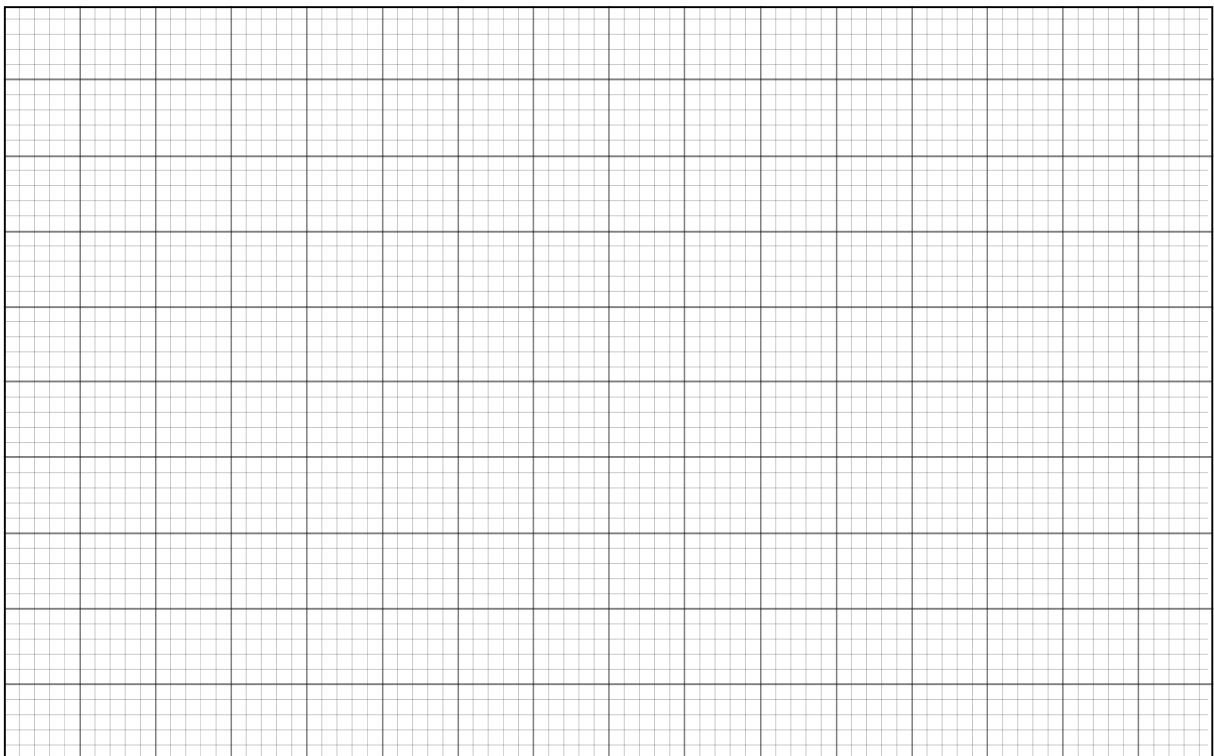
Meritve in rezultati

Za pravilno delovanje bo treba umeriti mostič (spremenljiv upor P_2), da dobimo pravilno točko ravnovesja. S tem dosežemo pri želeni temperaturi $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ izhodno napetost 0 V . Razliko napetosti v obeh vejah mostiča nato ojačamo z instrumentacijskim ojačevalnikom. Temu še moramo nastaviti ojačanje (spremenljiv upor P_1), da dobimo želeni faktor pretvorbe.

V napetostnem merilnem mostiču uporabite napajalno napetost 1 V ter kratko sklenite predupor mostiča. V tokovnem mostiču pa uporabite napajalno napetost $+15\text{ V}$ in upor $R = 27\text{ k}\Omega$.

Tabela 3: Meritev prenosne karakteristike temperaturno-napetostnega pretvornika

Napetostno napajan mostič				Tokovno napajan mostič			
T [$^{\circ}\text{C}$]	U_{out} [V]	T [$^{\circ}\text{C}$]	U_{out} [V]	T [$^{\circ}\text{C}$]	U_{out} [V]	T [$^{\circ}\text{C}$]	U_{out} [V]
0		55		0		55	
5		60		5		60	
10		65		10		65	
15		70		15		70	
20		75		20		75	
25		80		25		80	
30		85		30		85	
35		90		35		90	
40		95		40		95	
45		100		45		100	
50				50			



Slika 6: Prenosna karakteristika temperaturno-napetostnega pretvornika

Izračuni in dodatna vprašanja

- Izračunajte največjo nelinearnost v obeh prenosnih karakteristikah.
- Izračunajte največji in najmanjši tok skozi merilni mostič v obeh različicah mostiča. Upoštevajte napajalno napetost in vrednosti za R_T ter predupor $R_p = 27 \text{ k}\Omega$.

Naloga 3: Detektor vršne napetosti

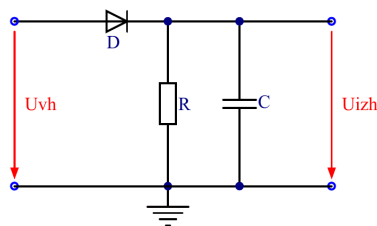
Navodilo naloge: Sestavite vezje za zaznavanje vršne napetosti (angl. peak detector) v sinusnem signalu. Pri tem načrtujte RC-člen znotraj detektorja za primerno delovanje pri frekvenci 1 kHz. Z meritvami določite njegovo delovanje pri sinusnih vhodnih signalih različnih amplitud in frekvenc.

Uvod

Detektor vršne napetosti najenostavneje sestavimo kot polvalni usmernik z vzporedno vezavo kondenzatorja in upora na izhodni strani, kot je prikazano na sliki 7.

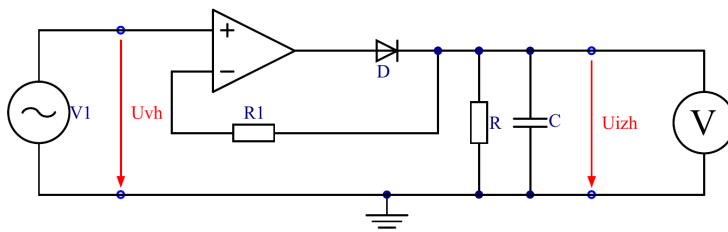
Kadar je napetost na vhodu vezja od napetosti na kondenzatorju višja vsaj za kolensko napetost diode, bo v vezje tekkel tok in napetost na kondenzatorju se bo povečevala. Kadar pa bo napetost na vhodu manjša od napetosti na kondenzatorju, bo napetost na kondenzatorju počasi padala, saj se bo ta praznil čez upor R . Izhodna napetost bo tako sledila vrhom v vhodni napetosti, zmanjšanim za kolensko napetost diode. Takšno vezje pa bo delovalo le, če bo frekvenca vhodnega signala v primernem območju.

Razen zmanjšanja izhodne napetosti ima to vezje še slabost, da ima majhno vhodno upornost. Obe slabosti odpravimo z uporabo vezja na sliki 8, ki ga boste pri tej vaji sestavili. To vezje deluje na podobnem principu kot prvo vezje. Vhodni tok operacijskega ojačevalnika je zanemarljivo majhen. S tem je tudi padec napetosti na upor R_1 zanemarljivo majhen. Kot vemo, operacijski ojačevalnik deluje tako, da bo dvigoval napetost na izhodu, dokler ne bo napetost na invertirajočem vhodu dosegla napetosti na neinvertirajočem. Tako bo napetost na izhodu dosegla napetost na vhodu kljub padcu napetosti na diodi.



Slika 7: Preprosto vezje detektorja vršne napetosti

Shema



Slika 8: Vezalna shema za izvedbo detektorja vršne napetosti

Za operacijski ojačevalnik v shemi lahko uporabimo splošnonamenski ojačevalnik (npr. LM741, TL081 ...). Napajajmo ga z napetostjo $\pm 9\text{ V}$. Izbira upora R_1 ni bistvena za delovanje vezja. Izberimo na primer $10\text{ k}\Omega$. Za diodo izberimo hitro preklopno diodo (npr. 1N4148). Potek izhodne napetosti bo odvisen od izbire upora R in kondenzatorja C ; natančneje, potek bo odvisen od časovne konstante $\tau = R \cdot C$. Načrtujte vezje tako, da bo pri vhodnem signalu frekvence 1 kHz izhodni signal med vrhoma padel za 5% vršne napetosti.

Potek vaje

- Izberite par upora R in kondenzatorja C . Na shemi zabeležite vrednosti. Izberite elementa, tako da bo pri frekvenci 1 kHz napetost med zaporednima vrhoma na kondenzatorju padla za približno 5% .
- Sestavite vezje in priključite napajanje ter voltmeter. Za preverjanje pravilnega delovanja priključite še osciloskop in opazujte tako vhodni kot izhodni signal. Nastavite frekvenco vhodne napetosti 1 kHz in spreminjajte amplitudo od 0 V do 10 V v korakih po 1 V . Na izhodu merite povprečno napetost (uporabimo voltmeter v načinu merjenja enosmerne napetosti).
- Izmerite valovitost od vrha do vrha (peak-to-peak) izhodne napetosti pri vhodnem signalu z amplitudo 5 V pri frekvencah 10 Hz , 20 Hz , 50 Hz , 100 Hz , 200 Hz , 500 Hz , 1 kHz , 2 kHz , 5 kHz , 10 kHz , 20 kHz in 50 kHz .
- Izmerite, koliko časa potrebuje izhodni signal, da ponovno doseže vrednost vhodnega signala, če le-ta spremeni amplitudo s 5 V na $2,5\text{ V}$ – izmerite dolžino prehodnega pojava.
- Narišite graf prenosne karakteristike med vhodno napetostjo in povprečno izhodno napetostjo.
- Opravite izračune in odgovorite na dodatna vprašanja.

Izračun R in C :

Meritve in rezultati

Tabela 4: Meritve povprečne vrednosti izhodne napetosti detektorja vršne napetosti ($f = 1 \text{ kHz}$)

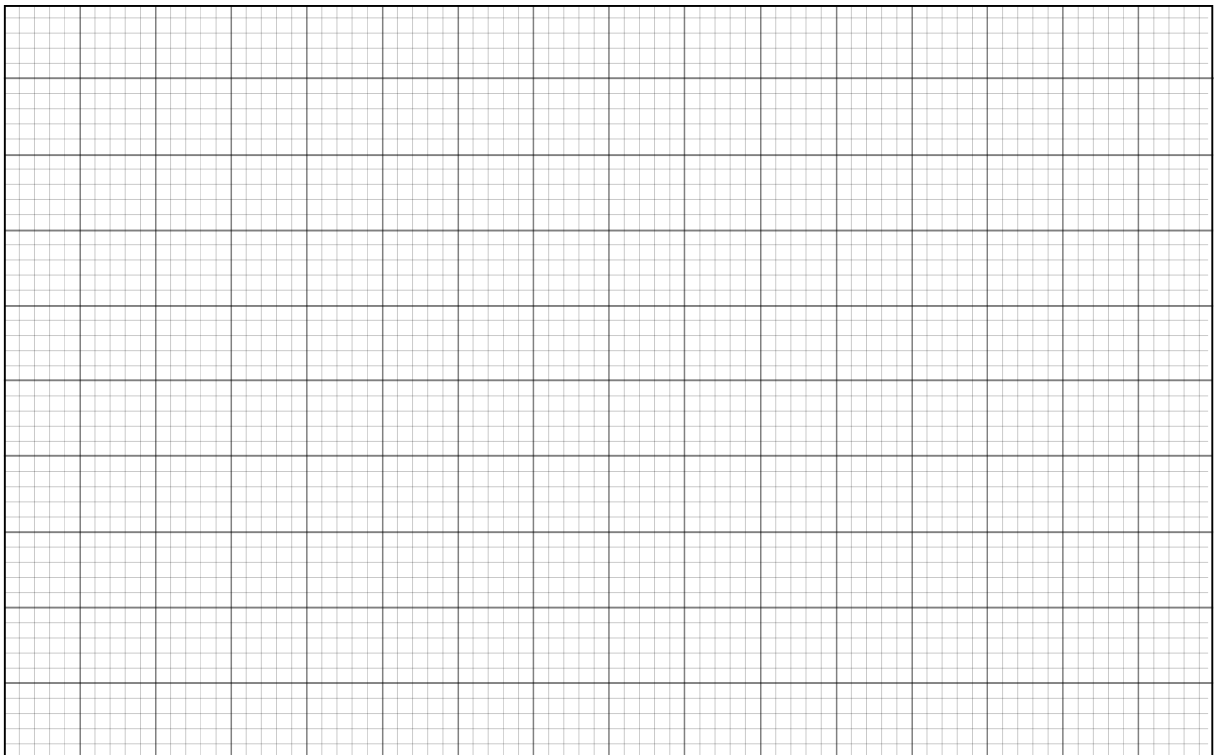
$U_{vh} \text{ [V] (ampl.)}$	$U_{izh} \text{ [V] (povp.)}$	$U_{vh} \text{ [V] (ampl.)}$	$U_{izh} \text{ [V] (povp.)}$

Tabela 5: Meritve valovitosti izhodne napetosti detektorja vršne napetosti ($U_{vh} = 10 \text{ V}_{pp}$)

$f \text{ [Hz]}$	$U_{izh} \text{ [V] (pp)}$	$f \text{ [Hz]}$	$U_{izh} \text{ [V] (pp)}$

Koliko časa traja prehodni pojav pri spremembi amplitude?

Odgovor: _____



Slika 9: Prenosna karakteristika detektorja vršne napetosti

Izračuni in dodatna vprašanja

- Pojasnite obliko izhodnega signala pri najnižji in najvišji frekvenci vhodnega signala v meritvah.
- Pojasnite prednosti in slabosti izbire večje časovne konstante $\tau = RC$ za signal neke frekvence in spremenljive amplitude.

Točke:	/ 10
--------	------

Naloga 4: Napetostno-frekvenčni pretvornik

Navodilo naloge: Sestavite napetostno-frekvenčni pretvornik in pri tem uporabite integrirano vezje LM331. Pretvornik naj na svojem izhodu tvori signal s frekvenco, ki bo linearno odvisna od napetosti vhodnega signala. Vezje načrtujte tako, da bo faktor pretvorbe 1 kHz/V.

Uvod

Integrirano vezje LM331 je natančen napetostno-frekvenčni in frekvenčno-napetostni pretvornik, ki ponuja do 0,01 % nelinearnosti pretvorbe. V tej nalogi ga bomo uporabili kot napetostno frekvenčni pretvornik, tako da bomo sestavili vezje na sliki 10. Doseči hočemo faktor pretvorbe 1 kHz/V. Da bomo to dosegli, moramo naprej določiti vrednosti nekaterih elementov v vezju.

RC vezje R_0C_0 , ki je priključeno na priključek 5 integriranega vezja LM331, določa faktor pretvorbe. Frekvenca signala na izhodnem priključku 3 je sorazmerna z napetostjo na vhodu (priključek 7). Izhod je tipa *Open-Collector*, kar omogoča prilagoditev izhodne napetosti na poljubne nivoje z uporabo dvižnega (*pull-up*) upora.

Odvisnost frekvence izhodnega signala od vhodne napetosti U_{vh} je podana¹ z izrazom:

$$f_0 = k \cdot U_{vh}, \quad (4)$$

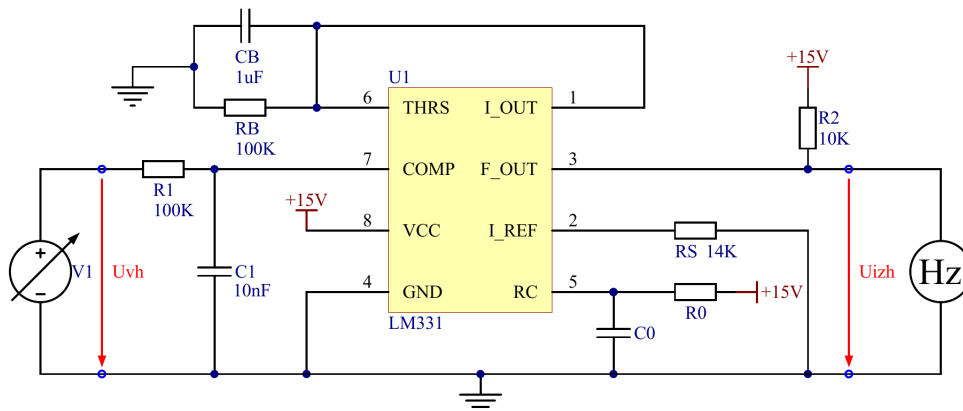
kjer se faktor pretvorbe k izračuna na podlagi parametrov vezja z izrazom:

$$k = 0,48 \cdot \frac{R_S}{R_B \cdot R_0 \cdot C_0}. \quad (5)$$

Notranje delovanje vezja temelji na preciznem tokovnem viru, ki s tokovnimi pulzi iz priključka 1 uravnava napetost na kondenzatorju C_B in s tem na priključku 6. Tokovne impulze proži primerjalnik, ki primerja vhodne napetosti na priključkih 6 in 7. Velikost toka pa nadzorujemo z upornostjo R_S na priključku 2. Ta naj bo 14 k Ω .

¹Enačbe za obnašanje vezja so podane v tehničnem dokumentu vezja

Shema



Slika 10: Vezje za napetostno-frekvenčno pretvorbo

Upor R_0 in kondenzator C_0 je potrebno izračunati. Upor R_2 je dvižni (*pull-up*) upor, ki izhod dvigne na napetost, ki je nanj priključena. Vhodno napetost lahko tvorimo s funkcijskim generatorjem ali napajalnikom, frekvenco izhodnega signala pa lahko merimo z osciloskopom ali pa frekvencometrom.

Potek vaje

- Izračunajte manjkajoče vrednosti elementov (R_0 in C_0).
- Sestavite vezje in priključite napajanje.
- Na vhod priključite enosmerno napetost, izhod pa opazujte z osciloskopom.
- Vhodno napetost spreminjajte od 0 V do 15 V v korakih po 0,5 V in merite frekvenco izhodnega signala.
- Določite tudi največjo vhodno napetost, pri kateri vezje še pravilno deluje.
- Narišite graf prenosne karakteristike.
- Opravite izračune in odgovorite na dodatna vprašanja.

Izračun R_0 in C_0 :

Meritve in rezultati

Tabela 6: Meritve prenosne karakteristike napetostno-frekvenčnega pretvornika

U_{vh} [V]	f_0 [kHz]	U_{vh} [V]	f_0 [kHz]

Koliko je največja vhodna napetost, pri kateri pretvornik še pravilno deluje?

Odgovor: _____



Slika 11: Prenosna karakteristika napetostno-frekvenčnega pretvornika

Izračuni in dodatna vprašanja

- Izračunajte faktor pretvorbe in nelinearnost.
- Koliko je območje delovanja pretvornika?

Točke:	/ 10
--------	------

Naloga 5: Frekvenčno-napetostni pretvornik

Navodilo naloge: Sestavite frekvenčno-napetostni pretvornik in pri tem uporabite integrirano vezje LM331. Pretvornik naj na svojem izhodu tvori napetost, ki bo linearno odvisna od frekvence vhodnega signala. Vezje načrtujte tako, da bo faktor pretvorbe 1 V/kHz.

Integrirano vezje LM331 je natančen napetostno-frekvenčni in frekvenčno-napetostni pretvornik, ki ponuja do 0,01 % nelinearnosti pretvorbe. V tej nalogi ga bomo uporabili kot napetostno frekvenčni pretvornik, tako da bomo sestavili vezje na sliki 12. Doseči hočemo faktor pretvorbe 1 kHz/V. Da bomo to dosegli, moramo naprej določiti vrednosti nekaterih elementov v vezju.

RC vezje R_0C_0 , ki je priključeno na priključek 5 integriranega vezja LM331, določa faktor pretvorbe. Tokovni izhod na priključku 1 je proporcionalen frekvenci signala na priključku 6.

Odvisnost izhodne napetosti U_{izh} od frekvence vhodnega signala f_{vh} je podana z izrazom:

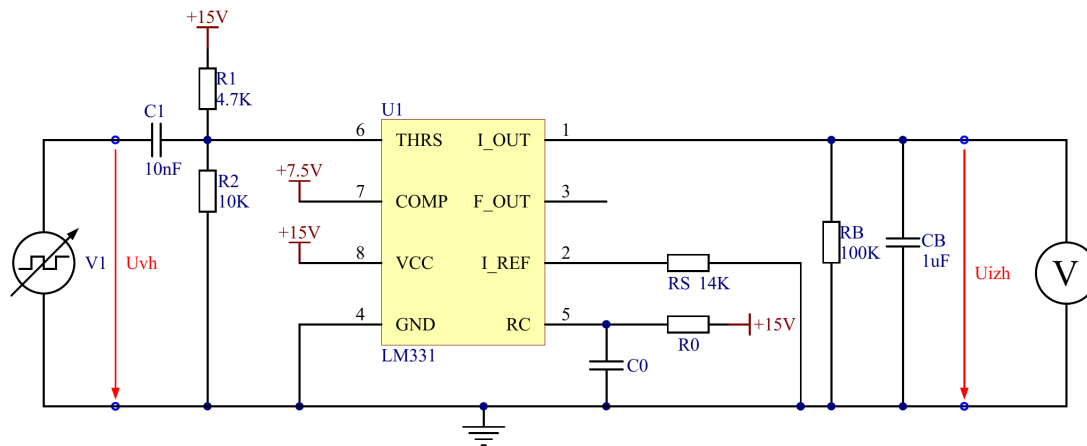
$$U_{izh} = k \cdot f_{vh} \quad (6)$$

kjer se konstanta k izračuna na podlagi parametrov vezja z izrazom:

$$k = 2,08 \cdot \frac{R_B \cdot R_0 \cdot C_0}{R_S}. \quad (7)$$

Notranje delovanje vezja temelji na preciznem tokovnem viru, ki s tokovnimi pulzi iz priključka 1 uravnava napetost na paru C_B, R_B . Tokovne impulze proži primerjalnik, ki primerja vhodni signal na priključku 6 s konstantno napetostjo na priključku 7, velikost toka pa nadzorujemo z upornostjo R_S na priključku 2. Ta naj bo 14 k Ω . Velikost izhodne napetosti določa R_B , na katerem se pojavi padec napetosti, ki je sorazmeren s povprečno vrednostjo toka.

Shema



Slika 12: Vežje za frekvenčno-napetostno pretvorbo

Upor R_0 in kondenzator C_0 je potrebno izračunati. Upora R_1 in R_2 ter kondenzator C_1 delujejo kot visokoprepustni filter, s katerim odstranimo enosmerno komponento iz vhodnega signala ter dodamo novo enosmerno komponento velikosti ca. 10 V.

Vhodni signal, ki ga tvorite s funkcijskim generatorjem, naj ima amplitudo $5 V_{pp}$. Frekvenco lahko kar odčitate na funkcijskem generatorju, za meritev izhodne napetosti pa uporabite voltmeter.

Potek vaje

- Izračunajte manjkajoče vrednosti elementov (R_0 in C_0).
- Sestavite vezje in priključite napajanje.
- Na vhod priključite pravokotni signal z amplitudo $5 V_{pp}$.
- Frekvenco vhodnega signala spreminjajte od 0 do 15 kHz v korakih po 0,5 kHz in merite napetost izhodnega signala.
- Določite tudi najvišjo frekvenco vhodnega signala, pri kateri vezje še pravilno deluje.
- Narišite graf prenosne karakteristike.
- Opravite izračune in odgovorite na dodatna vprašanja.

Izračun R_0 in C_0 :

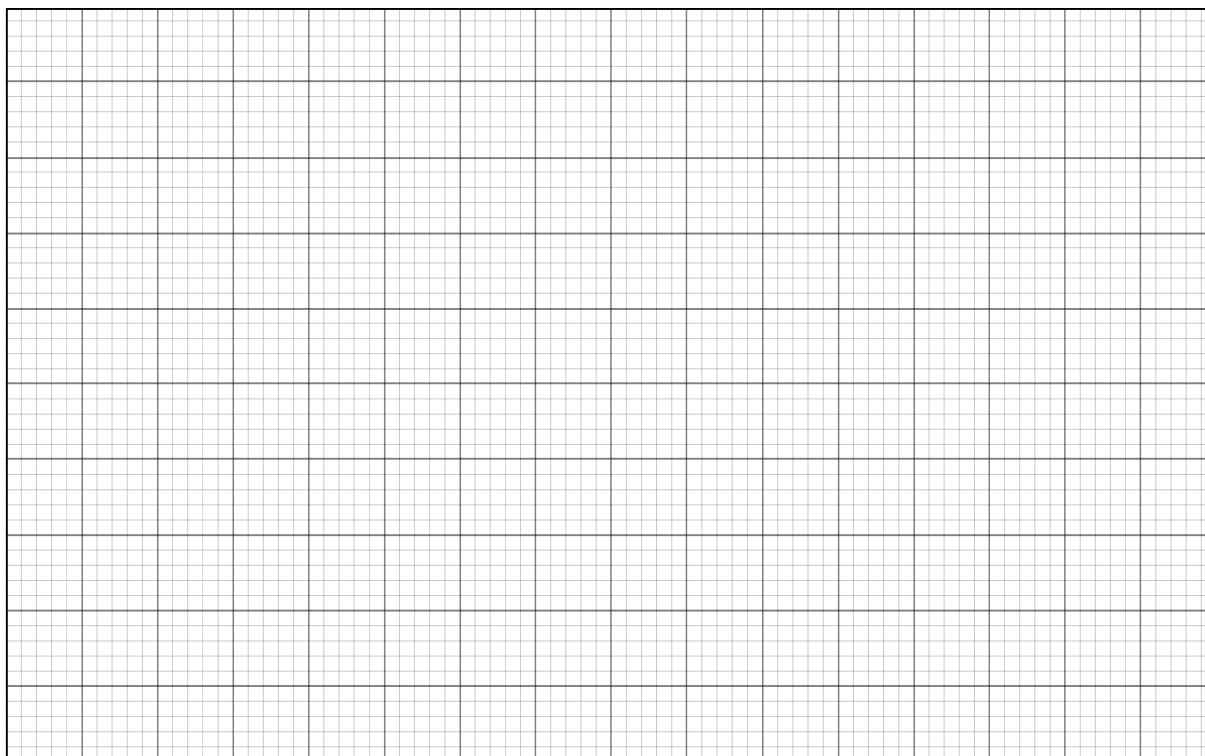
Meritve in rezultati

Tabela 7: Meritve prenosne karakteristike frekvenčno-napetostnega pretvornika

f_0 [kHz]	U_{izh} [V]	f_0 [kHz]	U_{izh} [V]

Koliko je največja frekvenca vhodnega signala, pri kateri vezje še pravilno deluje?

Odgovor: _____



Slika 13: Prenosna karakteristika frekvenčno-napetostnega pretvornika

Izračuni in dodatna vprašanja

- Izračunajte faktor pretvorbe in nelinearnost.
- Koliko je območje delovanja pretvornika?

Točke:	/ 10
--------	------

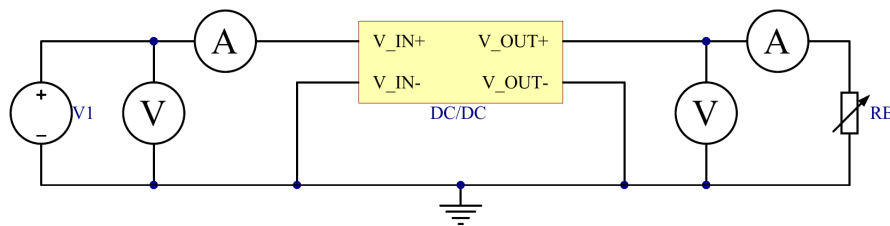
Naloga 6: Enosmerni pretvornik navzgor

Navodilo naloge: Sestavite vezje, ki bo vsebovalo enosmerni pretvornik navzgor (angl. *Boost Converter*), in pomerite njegove karakteristike: faktor pretvorbe in odvisnost izhodnega toka od bremena.

Uvod

Enosmerni pretvornik Murata MEE1S0509 je DC-DC pretvornik, ki omogoča pretvorbo navzgor s 5 V na 9 V ter galvansko ločitev vhodnega in izhodnega dela. Dovoljeno območje vhodne napetosti je od 4,5 V do 5,5 V, dovoljena moč pa je 1 W.

Shema



Slika 14: DC/DC pretvornik navzgor

Za vhodni napetostni vir uporabite laboratorijski napajalnik z dovolj velikim izhodnim tokom. Za breme R_B boste najprej uporabili upor 10 k Ω , nato pa drsni upor, ki bo zmožen prenesti dovolj velike tokove.

Razporeditev priključkov na enosmernem pretvorniku si oglejte v tehnični dokumentaciji vezja.

Potek vaje

- Poiščite tehnični dokument vezja MEE1S0509 in si v njem oglejte razporeditev priključkov.
- Sestavite vezje in na izhod priključite upor 10 k Ω , ki bo predstavljal breme.
- Vhodno napetost spreminjajte od 4,0 do 6,0 V v korakih po 0,1 V. Pri tem merite izhodno napetost.
- Vhodno napetost nastavite na 5 V. Kot breme vzemite drsni upor 330 Ω , ki ga spreminjate, da dobite tokove od 80 do 120 mA v korakih po 5 mA. Pri tem merite izhodno napetost.
- Nastavite vhodno napetost 5 V. Izmerite vse potrebne veličine za izračun izkoristka pri bremenih približno 1 k Ω , 330 Ω in 100 Ω . V vseh primerih izračunajte izkoristek.
- Narišite grafa za obe zgornji meritvi.
- Opravite izračune in odgovorite na dodatna vprašanja.

Meritve in rezultati

Tabela 8: Meritve odvisnosti izhodne napetosti od vhodne napetosti ($R_B = 10\text{ k}\Omega$)

U_{vh} [V]	U_{izh} [V]	U_{vh} [V]	U_{izh} [V]

Tabela 9: Meritve odvisnosti izhodne napetosti od bremenskega toka ($U_{vh} = 5\text{ V}$)

I_{izh} [mA]	U_{izh} [V]	I_{izh} [mA]	U_{izh} [V]

Tabela 10: Podatki za meritev izkoristka

R [Ω]	U_{vh} [V]	I_{vh} [mA]	U_{izh} [V]	I_{izh} [mA]

Koliko je izkoristek pri bremenu $1\text{ k}\Omega$?

Odgovor: _____

Koliko je izkoristek pri bremenu $330\ \Omega$?

Odgovor: _____

Koliko je izkoristek pri bremenu $100\ \Omega$?

Odgovor: _____

Narišite grafa na podlagi meritev v tabelah 8 in 9.



Slika 15: Odvisnost izhodne napetosti od vhodne napetosti



Slika 16: Odvisnost izhodne napetosti od bremenskega toka

Izračuni in dodatna vprašanja

- Izračunajte faktor pretvorbe med vhodno in izhodno napetostjo.
- Za vsako meritev za izračun izkoristka izračunajte še neizkoriščeno moč (tj. moč, ki se troši na pretvorniku) in komentirajte odvisnost izkoristka od bremena.

Točke:	/ 10
--------	------

Naloga 7: Preklopni časi optičnega povezovalnika

Navodilo naloge: Sestavite vezje za merjenje preklopnih časov optičnega povezovalnika in izmerite odvisnost vklopnega časa od diodnega toka ter izklopnega časa od bremena.

Uvod

Optični povezovalnik (angl. *optocoupler*, *opto-isolator*, *photocoupler* ali *optical isolator*) je elektronski element, ki opravlja dve pretvorbi. Prva pretvorba je električno-optična (svetleča dioda – LED), kjer vhodni električni tok (I_F) povzroča oddajanje svetlobe. Druga pretvorba je optično-električna (optično občutljiv element). Optični povezovalniki lahko vsebujejo različne optično občutljive elemente. V primeru povezovalnika 4N35 je to fototranzistor, ki ima bazo ne le občutljivo na svetlobo, ampak jo ima tudi vezano na zunanji priključek vezja. S tem lahko tranzistor odpremo ali preko svetlobe ali preko električnega toka na bazo.

Ker optični povezovalnik prenaša signale s svetlobo, ga uporabljamo za galvansko ločitev elektronskih sklopov in tako zaščitimo posamezne elektronske sklope pred visokimi napetostmi v drugih sklopih. Druga možnost uporabe je prenašanje podatkov med dvema elektronskima vezjema, ki sta na različnih električnih potencialih in zato med njima nočemo galvanske povezave.

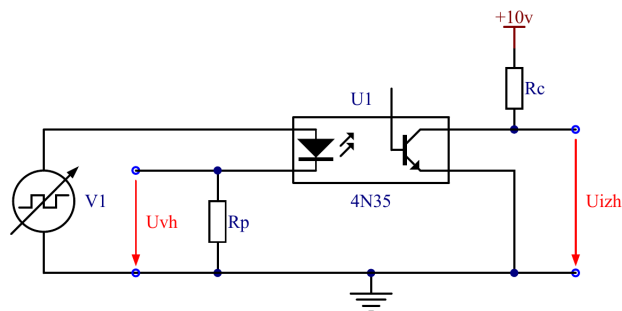
V tej nalogi boste preverili delovanje tako vhodnega dela kot delovanje izhodnega dela optičnega povezovalnika. Izmerili boste vhodno karakteristiko povezovalnika (odvisnost vhodnega toka od vhodne napetosti) in istočasno še vklopne čase povezovalnika (čas, v katerem izhod povezovalnika preide iz zaprtega stanja v odprto stanje) v odvisnosti od vhodnega toka.

V drugem delu naloge preverite delovanje izhodnega dela optičnega povezovalnika. Izmerili boste upornost na izhodnem delu v odprtem stanju ter izklopne čase povezovalnika (čas, v katerem izhod povezovalnika preide iz odprtega stanja v zaprto stanje) v odvisnosti od bremena.

Kadar merimo preklopne čase, merimo čas, ki je potreben, da sprememba na vhodu vezja oz. elementa povzroči spremembo na izhodu. Preklopni čas je sestavljen iz časa zakasnitve in časa naraščanja oz. padanja izhodnega signala. Poznati moramo celotno spremembo na izhodu. Čas zakasnitve je čas od trenutka spremembe na vhodu do trenutka, ko signal na izhodu doseže 10 % celotne spremembe. Čas naraščanja oz. padanja pa je čas od trenutka, ko signal na izhodu doseže 10 % spremembe, do trenutka, ko doseže 90 % spremembe. Preklopni čas je vsota teh dveh časov.

Primer: izhodna napetost se spremeni z 0 V na 5 V. Čas zakasnitve je čas od spremembe na vhodu do trenutka, ko napetost na izhodu naraste na 0,5 V. Čas naraščanja je čas, ko napetost narašča od 0,5 V do 4,5 V. Preklopni čas je vsota teh časov oz. čas od spremembe na vhodu do trenutka, ko napetost doseže 4,5 V.

Shema



Slika 17: Vežje z optičnim povezovalnikom za merjenje preklopnih časov

Vežje za merjenje preklopnih časov je prikazano na sliki 17. Za pravilno priključitev optičnega povezovalnika pogledajte njegovo dokumentacijo. S funkcijskim generatorjem tvorimo vhodni pravokotni signal, katerega frekvenca mora biti dovolj nizka, da v vsaki polperiodi signala optični povezovalnik popolnoma preide iz odprtega stanja v zaprto oz. iz zaprtega v odprto.

Vhodno in izhodno napetost opazujemo z osciloskopom. Na podlagi poteka napetosti na upor R_p zaznamo trenutek spremembe vhodnega signala in velikost vhodnega toka I_F . Upor izberemo primerno, da lahko s funkcijskim generatorjem dosežemo maksimalni vhodni tok, ki ga podaja proizvajalec optičnega povezovalnika. Bremenski upor R_C spreminjamo po navodilih naloge – uporabite uporovno dekado. Na podlagi poteka izhodne napetosti določamo vklopne in izklopne čase.

Upoštevati moramo način vezave izhoda optičnega povezovalnika. Z njim namreč ob vklopu delamo na izhodu stik proti masi. To pomeni, da bomo vklopni čas merili pri padanju napetosti na izhodu, izklopni čas pa pri naraščanju napetosti na izhodu.

Potek vaje

- Sestavite merilno vežje, kjer za upor R_C uporabite uporovno dekado. V prvem delu vaje nastavite $R_C = 5\text{ k}\Omega$.
- Na funkcijskem generatorju nastavite pravokotno obliko izhodnega signala, frekvenco 100 Hz in nizki nivo napetosti 0 V.
- Spreminjajte visoki nivo napetosti tako, da dosežete zaželeno vhodno tokove (glej tabelo).
- Zabeležite napetost na funkcijskem generatorju (U_{FG}), izračunajte vhodno napetost na optičnem povezovalniku (U_F) in izmerite vklopni čas (t_{on}) optičnega povezovalnika za vsako izmed navedenih vrednosti vhodnega toka.
- Narišite karakteristiko odvisnosti vklopnega časa od vhodnega toka.
- Izmerite izklopni čas za vsako navedeno vrednost bremena pri toku $I_F = 20\text{ mA}$.
- Narišite karakteristiko odvisnosti izklopnega časa od bremena.
- Izmerite upornost optičnega povezovalnika v odprtem stanju.

Meritve in rezultati

Tabela 11: Meritve vklopnih časov optičnega povezovalnika

I_F [mA]	U_{FG} [V]	U_F [V]	t_{on} [μ s]
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			

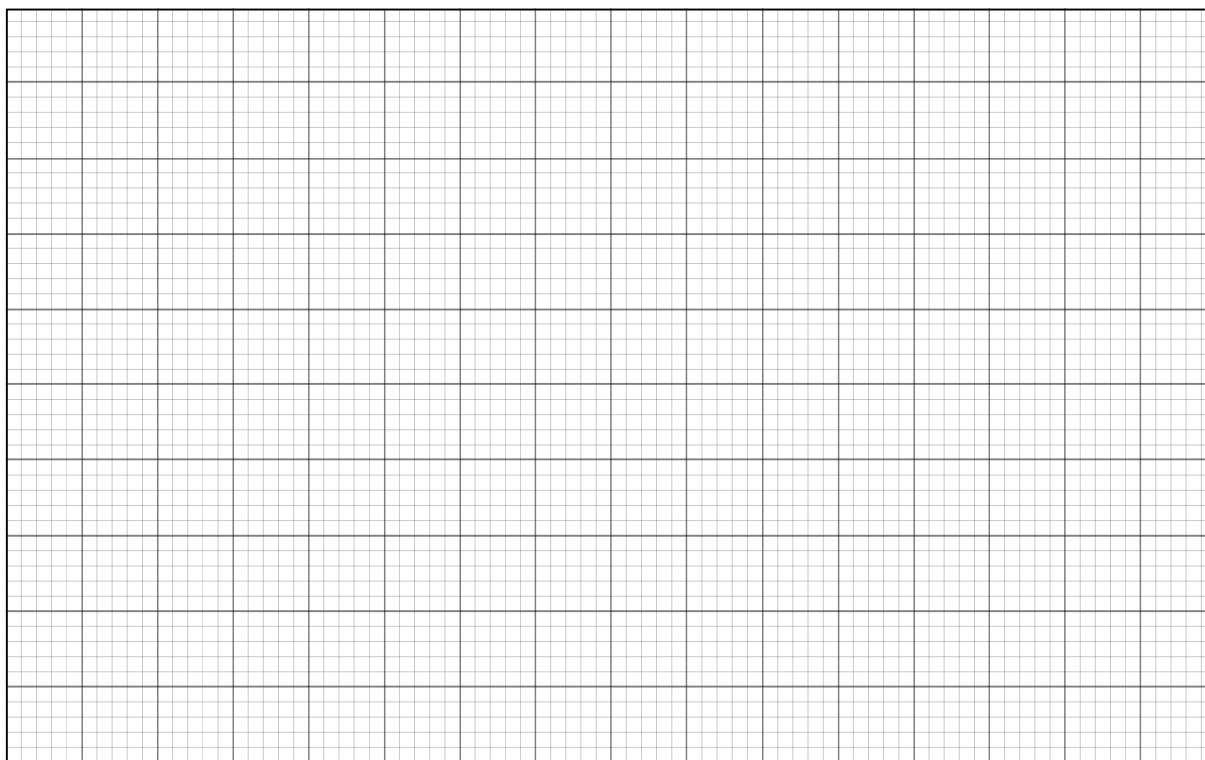
Slika 18: Odvisnost vklopnega časa od diodnega toka I_F

Tabela 12: Meritve izklopnih časov optičnega povezovalnika

R_C [k Ω]	t_{off} [μ s]	R_C [k Ω]	t_{off} [μ s]
1,0		3,5	
1,5		4,0	
2,0		4,5	
2,5		5,0	
3,0			



Slika 19: Odvisnost izklopnega časa od bremena

Izmerite padec napetosti na optičnem povezovalniku v odprtem stanju pri toku $I_F = 20$ mA in upor $R_C = 5$ k Ω . Iz meritve izračunajte upornost v odprtem stanju:

Naloga 8: Uporaba senzorjev in mikrokrmilnika

Navodilo naloge: Uporabite analogne in digitalne senzorje ter mikrokrmilnika, da izmerite temperaturo in vlago v prostoru.

Uvod

V vgrajenih sistemih uporabljamo analogne in digitalne senzorje za merjenje raznih veličin. Te so lahko okoljski podatki, kot so temperatura in vlaga, podatki o gibanju, kjer uporabimo MEMS-elemente, in druge veličine. Z mikrokrmilnikom zajemamo podatke iz senzorjev in jih nato preoblikujemo v razumljivo obliko (npr. napetost na izhodu analognega senzorja temperature pretvorimo v podatek, izražen v stopinjah Celzija).

Za zajemanje in obdelavo podatkov iz analognih senzorjev potrebujemo analogno-digitalni pretvornik (ADC). Za to pretvorbo lahko uporabimo namensko integrirano vezje, vendar pa večina sodobnih mikrokrmilnikov že ima vgrajene ADC-je. Da jih lahko uporabljamo, moramo razumeti njihov izhodni podatek. V tej vaji boste imeli pripravljen program za mikrokrmilnik, kjer bo že implementirana uporaba ADC in bo na voljo njegov izhodni podatek.

Za razumevanje izhodnega podatka ADC-ja moramo poznati referenčno napetost in ločljivost pretvornika. Pogosta izbira za referenčno napetost je napajalna napetost mikrokrmilnika. V našem primeru bo to 3,3 V. Ločljivost pretvornika je odvisna od števila bitov v izhodnem podatku n . Možne izhodne vrednosti ADC-ja so števila od 0 do $2^n - 1$. Izhodna vrednost 0 ustreza napetosti 0 V, vrednost $2^n - 1$ pa referenčni napetosti U_{ref} . Naj bo A izhodni podatek, potem lahko vhodno napetost v ADC izračunamo:

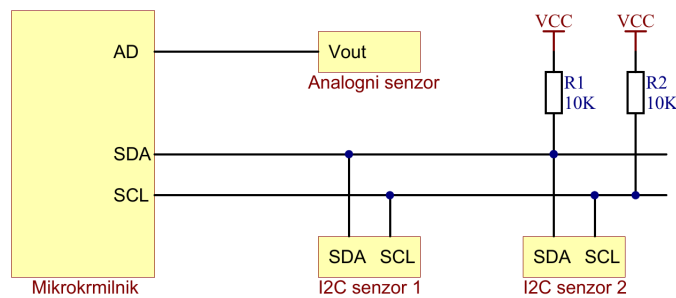
$$U_{vh} = \frac{A}{2^n} U_{ref}. \quad (8)$$

Nadaljnja obdelava je odvisna od samega senzorja, tj. od povezave med izhodno napetostjo senzorja in merjeno veličino. Povezavo najdemo v tehnični dokumentaciji senzorja.

Digitalni senzorji se priključijo na mikrokrmilnik preko različnih vrst digitalnih komunikacijskih vodil, kot so I²C in SPI. Pri teh senzorjih se pretvorba v digitalno vrednost izvede že v samem senzorju, nato pa jo je potrebno še prenesti v mikrokrmilnik. V tej vaji boste imeli pripravljen program za mikrokrmilnik, kjer bo vrednost iz senzorja že prenesena v mikrokrmilnik.

Nadaljnja obdelava podatkov bo ponovno odvisna od samega senzorja, tj. v kakšni obliki je vrednost merjene veličine zakodirana v podatkih, ki jih pošlje senzor na mikrokrmilnik. Ustrezne informacije ponovno najdemo v tehnični dokumentaciji senzorja.

Shema



Slika 20: Princip povezovanja analognih senzorjev in digitalnih senzorjev z vodilom I²C na tipičen mikrokrmilnik z vgrajenimi ADC-ji

Slika 20 prikazuje tipični način povezovanja analognih senzorjev in digitalnih senzorjev z vodilom I²C na mikrokrmilnik. V primeru naše vaje bomo uporabili mikrokrmilnik Microchip Technology SAM4SD32C, ki vsebuje analogen-digitalni pretvornik z ločljivostjo 12 bitov.

Uporabili bomo analogni senzor MCP9701 za merjenje temperature in digitalni senzor SHT21, ki meri temperaturo in vlago ter se poveže z mikrokrmilnikom preko vodila I²C. Ker vse naprave na tem vodilu uporabljajo izhode tipa odprti kolektor (*open collector*) oz. odprti ponor (*open drain*), v vezje vključimo tudi dvižne (*pull-up*) upore, s katerimi zagotovimo pravilno delovanje komunikacije.

Potek vaje

- Preučite tehnično dokumentacijo senzorjev MCP9701 in SHT21 – predvsem odvisnost izhodne napetosti oz. način kodiranja merjenih veličin.
- Izpeljite izraz za pretvorbo izhodnega podatka ADC-ja v napetost.
- Odprite pripravljen projekt za programiranje mikrokrmilnika ter vanj zapišite manjkajočo kodo za:
 - pretvorbo merjene napetosti v temperaturo,
 - pretvorbo digitalnega podatka v temperaturo in vlago.
- Preverite delovanje in prepisite kodo v poročilo.
- Z analognimi in digitalnim senzorjem izmerite temperaturo in vlago.
- Opravite izračune in odgovorite na dodatna vprašanja.

Meritve in rezultati

Programska koda za pretvorbo podatka ADC v temperaturo:

Programska koda za pretvorbo podatkov iz digitalnega senzorja:

Koliko znaša temperatura, izmerjena z analognim senzorjem?

Odgovor: _____

Koliko znaša temperatura, izmerjena z digitalnim senzorjem?

Odgovor: _____

Koliko znaša vlaga, izmerjena z digitalnim senzorjem?

Odgovor: _____

Izračuni in dodatna vprašanja

- Koliko je kvantizacijska napaka pri merjenju temperature z analognim senzorjem (rezultat izrazi v °C)?
- Koliko je ločljivost merjenja temperature in vlage pri digitalnem senzorju?

Točke:	/ 10
--------	------

Naloga 9: Kapacitivni pretvorniki

Navodilo naloge: Z razvojno ploščico, ki vsebuje kapacitivni pretvornik FDC1004, izmerite odvisnost kapacitivnosti od razdalje prsta do merilne elektrode in od nivoja tekočine nad merilno elektrodo.

Razvojna ploščica

Razvojna ploščica je sestavljena iz treh sklopov. Prvi sklop je komunikacijski pretvornik med komunikacijo USB in I²C. Ta je potreben, da lahko ploščico priključimo neposredno na USB-priključek osebnega računalnika. Drugi sklop vsebuje integrirano vezje TI FDC1004, ki opravlja meritve kapacitivnosti in ustrezne podatke posreduje na PC. V tretjem sklopu sta dve elektrodi, na katerih merimo kapacitivnost.

Potek vaje

1. Priključite ploščico na PC. Zaženite programsko opremo za zajemanje podatkov in izberite neprekinjeno zajemanje podatkov. Preverite delovanje z dotiki levega in desnega polja na ploščici.
2. Izmerite kapacitivnosti glede na nadaljnja navodila in narišite graf.

Meritve in rezultati

Testna ploščica ima dve polji za dotik (LEFT in RIGHT). Katerima od štirih kanalov ustrezata ti dve polji?

Odgovor: _____

Koliko je izmerjena kapacitivnost na levem polju, kadar se ga ne dotikamo?

Odgovor: _____

Koliko je izmerjena kapacitivnost na desnem polju, kadar se ga ne dotikamo?

Odgovor: _____

Koliko je izmerjena kapacitivnost na levem polju, kadar se ga dotikamo?

Odgovor: _____

Koliko je izmerjena kapacitivnost na desnem polju, kadar se ga dotikamo?

Odgovor: _____

V programu preberite izmerjeno kapacitivnost, kadar prst približate obema poljema do določene razdalje. Rezultate zapišite v tabelo.

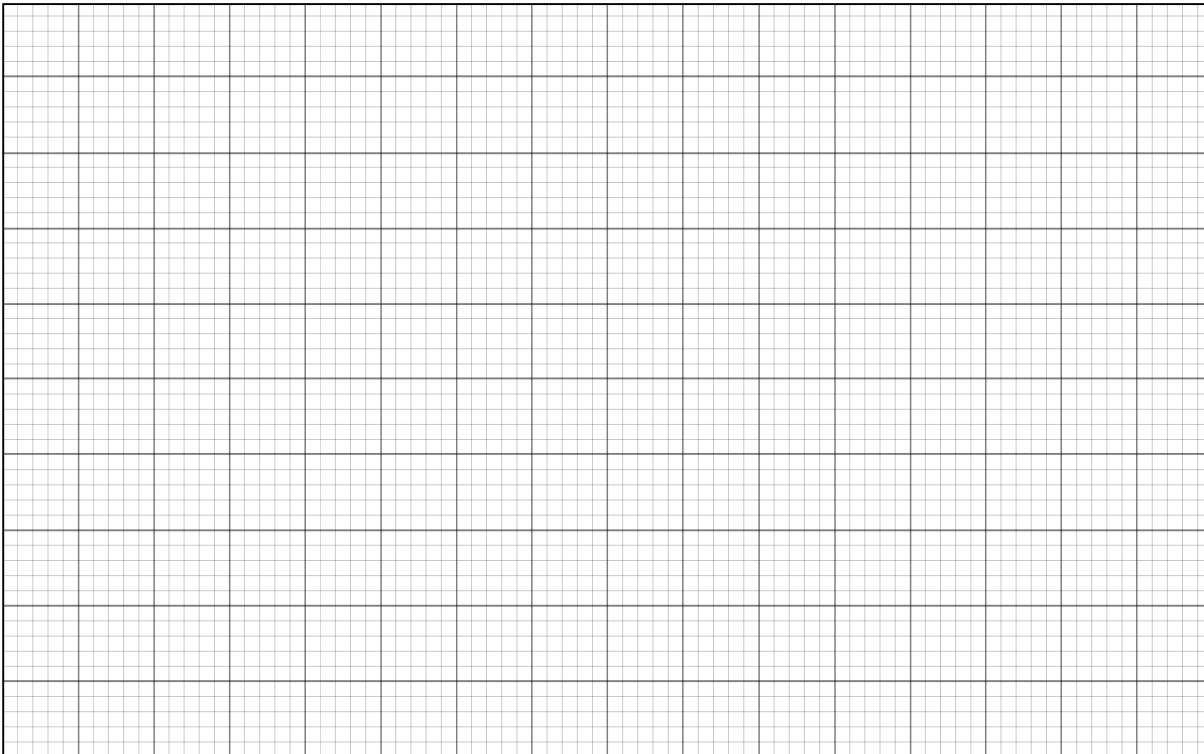
Tabela 13: Meritev kapacitivnosti glede na oddaljenost prsta

Oddaljenost [mm]	Kapacitivnost LEFT [pF]	Kapacitivnost RIGHT [pF]
2		
4		
6		

Na polje dajte prazen plastičen kozarec. Izmerite kapacitivnost pri kozarcu, ki je prazen, poln eno četrtino, poln polovico, poln tri četrtine in poln do vrha. Vrednosti zapišite v tabelo. Narišite graf odvisnosti kapacitivnosti od deleža vode.

Tabela 14: Meritev kapacitivnosti glede na količino vode

Delež vode v kozarcu	Izmerjena kapacitivnost [pF]
0	
1/4	
2/4	
3/4	
1	



Slika 21: Odvisnost kapacitivnosti od količine vode

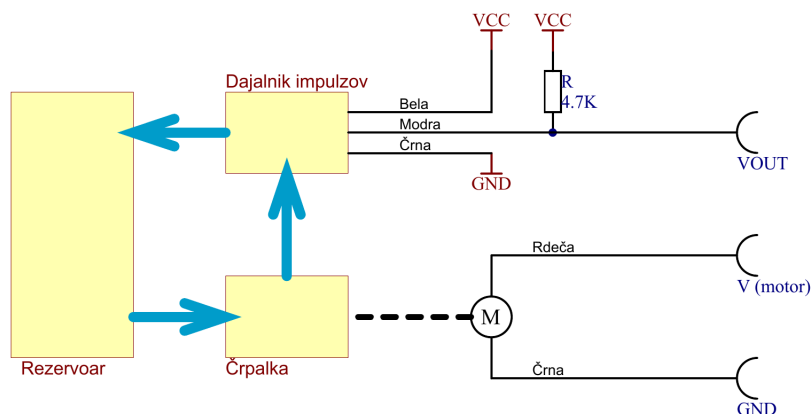
Naloga 10: Pretok tekočine

Navodilo naloge: Izmerite pretok tekočine skozi cev v odvisnosti od napajalne napetosti pretočne črpalke, ki poganja tekočino. Pretok tekočine merite posredno z meritvijo periode impulzov iz senzorja pretoka. Za meritve časa trajanja impulza uporabite osciloskop.

Uvod

Senzor pretoka tekočin je s cevjo povezan s pretočno črpalko in rezervoarjem tekočine. Črpalka vleče tekočino iz rezervoarja in jo potiska skozi senzor pretoka nazaj v rezervoar. Senzor pretoka tekočin je dajalnik impulzov s konstantnim številom impulzov na volumen tekočine. To razmerje znaša 1,8 impulza na 1 ml tekočine. Njegov izhod je izveden tako, da omogoča prilagoditev visokega nivoja izhodne napetosti. To pa tudi pomeni, da na njegovem izhodu potrebujemo še dvižni (*pull-up*) upor, vezan proti napajalni napetosti.

Shema



Slika 22: Vežalna shema za pretvornik pretoka tekočine

Potek vaje

- Sestavite vezje in priključite napajanje $V_{cc} = 5\text{ V}$.
- Izmerite odvisnost dolžine periode impulza t_s na izhodu od napetosti U na pretočni črpalki. Napajanje črpalke U spreminjajte od 2 V do 7 V v korakih po 0,5 V.
- Izmerjene vrednosti preračunajte v frekvenco in nato v pretok tekočine.
- Narišite graf odvisnosti pretoka Q_P od napetosti U na pretočni črpalki.

Meritve in rezultati

Tabela 15: Meritve in izračuni za merilnik pretoka tekočin

U [V]	t_s [s]	f_s [Hz]	Q_p [ml/s]



Slika 23: Odvisnost pretoka tekočine od napajalne napetosti črpalke

Točke: / 5

Naloga 11: Gostota magnetnega pretoka

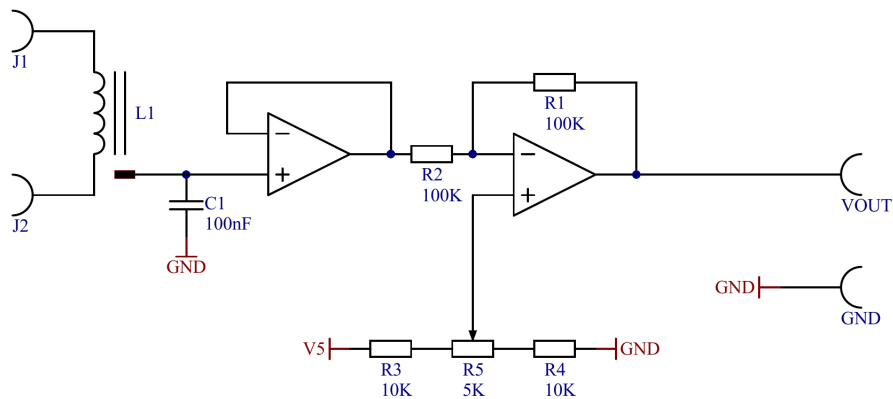
Navodilo naloge: S Hallovo sondo izmerite gostoto magnetnega pretoka B v feritnem jedru v odvisnosti od enosmernega toka v navitju tuljave. Gostoto magnetnega pretoka B določite z merjenjem izhodne napetosti sonde U_{izh} .

Uvod

Hallova sonda je nameščena v zračno režo feritnega jedra, okoli katerega je navita tuljava s 1000 ovoji. Enosmerni tok skozi navitje tuljave povzroči gostoto magnetnega pretoka B v zračni reži feritnega jedra, ki jo tipamo s Hallovo sondo. Napetost Hallove sonde se ojača z operacijskim ojačevalnikom, tako da je razmerje med magnetno gostoto B in izhodno napetostjo 80 mT/V.

Zaradi enosmernega toka prihaja do magnetenja feritnega jedra in ga je tako potrebno predhodno razmagnetiti. Razmagnetenje feritnega jedra je potrebno izvesti pred začetkom meritev. To storimo z izmeničnim signalom na navitju tuljave, katerega amplitudo je potrebno najprej nastaviti na maksimalno vrednost, ki jo zmore funkcijski generator, in nato zmanjševati proti nič v času nekaj sekund. Frekvenca signala naj bo 50 Hz.

Shema



Slika 24: Vežalna shema za magnetni pretvornik

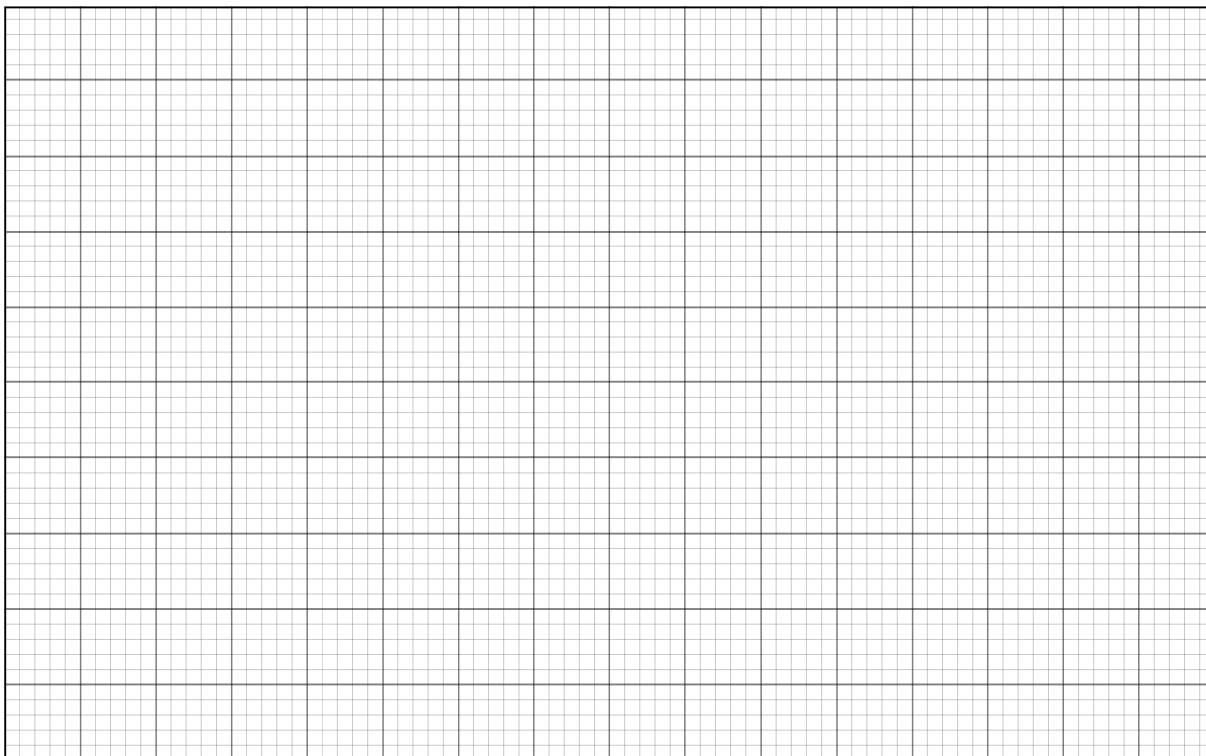
Potek vaje

- Sestavite vezje in izvedite razmagnetenje.
- Izmerite odvisnost izhodne napetosti U_{izh} od enosmernega toka I skozi tuljavo ter izračunajte gostoto magnetnega pretoka B .
- Narišite graf odvisnosti gostote magnetnega pretoka B od toka I .

Meritve in rezultati

Tabela 16: Meritve in izračuni gostote magnetnega pretoka

I [mA]	U_{izh} [V]	B [mT]
0		
100		
200		
300		
400		
500		
600		
-100		
-200		
-300		
-400		
-500		
-600		



Slika 25: Odvisnost magnetnega pretoka od vhodnega toka

Točke:	/ 5
--------	-----

Naloga 12: Merjenje vpadne svetlobe

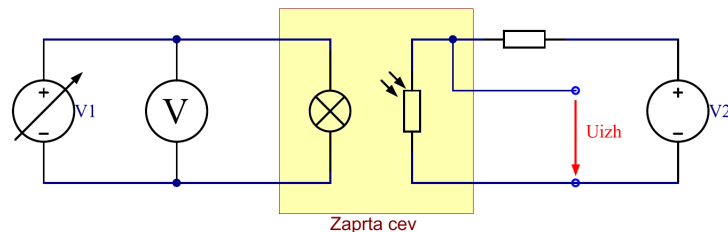
Navodilo naloge: Na osnovi napetostnega delilnika, ki vsebuje fotoupor, sestavite preprosto vezje za zaznavanje količine vpadne svetlobe. Preverite njegovo delovanje in izmerite njegovo karakteristiko.

Uvod

Fotoupor (LDR, angl. Light Dependent Resistor) je polprevodniški element, ki je v temi neprevoden. S povečanjem vpadne svetlobe nanj se v njem poveča število prostih nosilcev naboja in njegova prevodnost se poveča. Fotoupor lahko uporabljamo za zaznavanje osvetljenosti, če na posreden ali neposreden način merimo njegovo upornost oz. prevodnost. V tej nalogi bomo sestavili napetostni delilnik, ki vsebuje en fiksni upor z vrednostjo 1 k Ω in fotoupor EXCELITAS TECH VT90N1. V vezje vežite voltmeter in izmerite padec napetosti na fotouporu. Glede na ta padec in napajalno napetost na napetostnem delilniku lahko določimo padec napetosti na drugem uporu, tok skozi oba upora in upornost oz. prevodnost fotoupora.

Delovanje vezja boste preverili tako, da boste fotoupor, ki se nahaja v zaprti cevi, osvetljevali z žarnico, ki se tudi nahaja v cevi. Spreminjali boste napajalno napetost žarnice in merili napetost na napetostnem delilniku.

Shema



Slika 26: Vezalna shema za svetlobni pretvornik

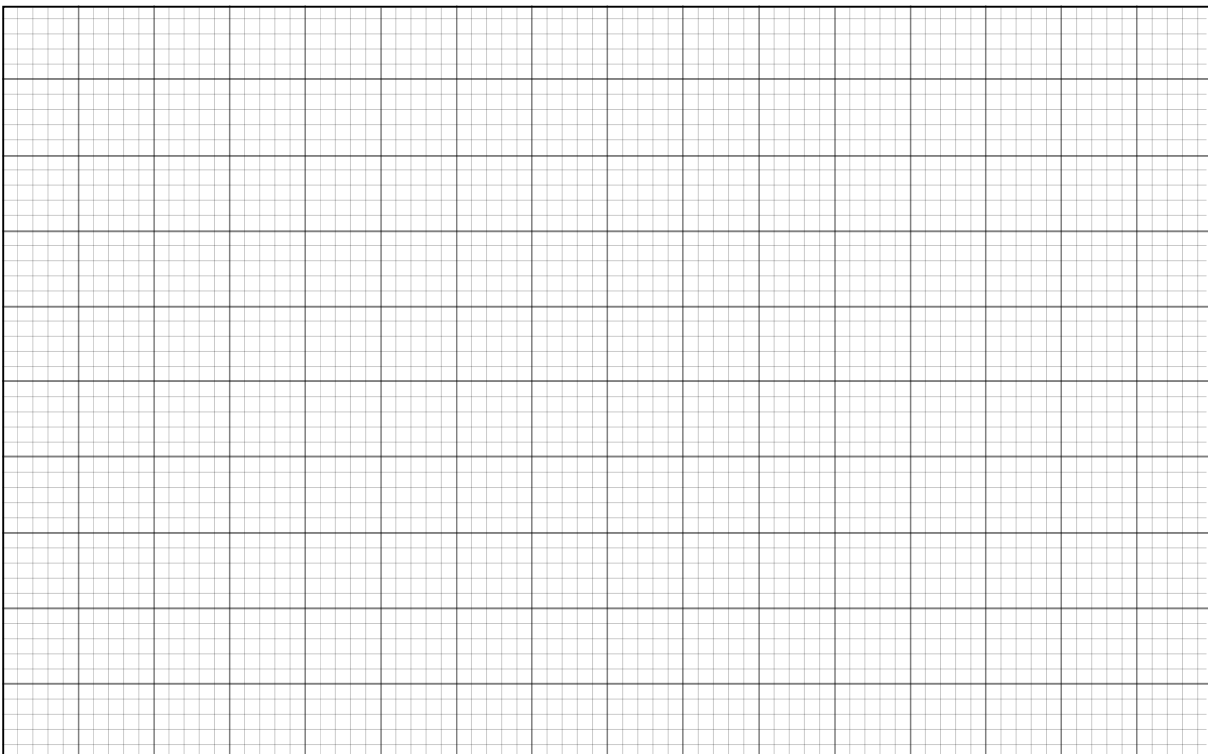
Potek vaje

1. Sestavite vezje in priključite napajanje.
2. Spreminjajte napajalno napetost žarnice od 0 V do 8 V v korakih po 0,5 V in merite napetost na napetostnem delilniku.
3. Izračunajte tok skozi delilnik in prevodnost fotoupora.
4. Narišite graf odvisnosti prevodnosti fotoupora od napajalne napetosti žarnice.

Meritve in rezultati

Tabela 17: Meritve in izračuni prevodnosti fotoupora

U_P [V]	U_{izh} [V]	I [mA]	G [mS]



Slika 27: Odvisnost prevodnosti fotoupora od napetosti na žarnici

Ocena

Dosežene točke pri nalogah:

Naloga 1: _____ / (10)	Naloga 7: _____ / (10)
Naloga 2: _____ / (10)	Naloga 8: _____ / (10)
Naloga 3: _____ / (10)	Naloga 9: _____ / (5)
Naloga 4: _____ / (10)	Naloga 10: _____ / (5)
Naloga 5: _____ / (10)	Naloga 11: _____ / (5)
Naloga 6: _____ / (10)	Naloga 12: _____ / (5)

Študent: Ime in priimek: _____
Vpisna številka: _____
Študijsko leto: _____

Ocenjevalec: Datum: _____
Končna ocena (%): _____
Podpis: _____