
Projekti iz elektronike

Študijsko gradivo za študente UL-PeF študijske smeri Tehnika z vezavami. Skripta obravnava osnove elektronskih vezij, analogne in digitalne signale, regulacijske sisteme, mikrokrmilnike ter druga uporabna elektronska vezja.

dr. David Rihtaršič

2026-oktober

Kazalo

1	UVOD	1
2	PRENOS DIGITALNEGA SIGNALA	3
2.1	Optične komunikacije	3
2.1.1	Kje se uporabljajo optične komunikacije?	4
2.1.2	Prosti prostor in optični vodnik	4
2.1.3	Svetleča dioda	5
2.1.4	Krmiljenje LED z izhodom krmilnika	6
2.1.5	Svetlobni sprejemniki	9
2.1.6	Delilnik z LDR	9
2.1.7	Fotodioda in fototranzistor	10
2.2	Tokovno-napetostni pretvornik	10
2.3	Komparator napetosti	11
2.3.1	Komparator z odprtim kolektorjem	12
2.4	Schmittov sprožilnik in histereza	12
2.5	Svetlobna vrata z zaznavo smeri	13
2.6	Optični spojniki	13
2.7	Predlogi praktičnih nalog	14
2.7.1	Naloga 1: LED-oddajnik	14
2.7.2	Naloga 2: LDR kot svetlobno stikalo	14
2.7.3	Naloga 3: Merjenje fotodiode	14
2.7.4	Naloga 4: Svetlobna vrata	14
2.7.5	Naloga 5: Optični spojnik	15
2.8	Povzetek	15
2.9	Vprašanja za preverjanje	15
2.2	Uporaba operacijskega ojačevalnika kot komparator napetosti	15
2.2.1	Operacijski ojačevalnik z odprtim kolektorjem	15
2.2.2	Schmittov sprožilnik	16
2.3	OPTIČNI PRENOS ANALOGNEGA SIGNALA	16

3	MODULACIJA SIGNALOV	17
3.1	FREKVENČNA MODULACIJA	17
3.2	AMPLITUDNA MODULACIJA	17
3.3	PULZNO ŠIRINSKA MODULACIJA	17
4	ELEKTRONSKI REGULACIJSKI SISTEMI	19
4.1	DVOPOLOŽAJNA (NEZVEZNA) REGULACIJA TEMPERATURE VODE	19
4.1.1	Izvedbe s komparatorjem brez histereze	19
4.1.2	Izvedba z analognim Schmittovim sprožilnikom	20
4.2	ZVEZNA REGULACIJA TEMPERATURE VODE	20
4.3	Z ojačevalnikom moči	20
4.4	Merjenje temperature	20
4.5	SPLOŠNO O REGULACIJSKI TEHNIKI	21
5	NAPETOSTNI OJAČEVALNIKI	23
5.1	Idealne lastnosti operacijskih ojačevalnikov	23
5.2	Tipični predstavniki in njihove lastnosti	23
5.3	KOMPENZACIJA MIROVNEGA TOKA IN NAPETOSTNEGA PREMIKA	24
5.4	DIGITALNO PROGRAMIRLJIVI OJAČEVALNI SISTEMI	24
5.5	DIFERENCIALNI OJAČEVALNIKI	24
5.5.1	Osnovna izvedba diferencialnega ojačevalnika (odštevalni sistem z o.o.)	25
5.5.2	Instrumentacijski ojačevalnik s tremi operacijskimi ojačevalniki	25
5.5	UPORABNA VEZJA Z OPERACIJSKIMI OJAČEVALNIKI	25
5.5.1	Izračun logaritma vhodne napetosti	26
6	DIGITALNA ELEKTRONIKA - SEKVENČNA VEZJA	27
6.1	FLIP-FLOPI	27
6.2	ŠTEVNIKI	28
7	POMNILNI IN POMIKALNI REGISTRI	29
8	UPORABA MIKROKRMILNIKOV	31
8.1	Mikrokrmilnik ATmega238	32
8.2	Krmilnik Arduino UNO	33
8.3	Sestava mikrokrmilnikov	35
8.4	VHODNO-IZHODNE ENOTE	35
8.5	Izhodne enote	36
8.5.1	Uporaba DAC-a	37
8.5.2	PWM	37

8.6	VHODNE ENOTE	37
8.6.1	Branje digitalnega vhoda	37
8.6.2	Uporaba upora proti napajanju	38
8.6.3	Elastične lastnosti preklopnih elementov	38
8.7	KOMUNIKACIJSKI VMESNIKI	38
8.8	Serijski periferni vmesnik	38
8.9	I2C	39
8.10	IoT	39
8.10.1	Internet stvari (IoT)	39
9	DRUGA UPORABNA VEZJA	43
9.1	Napetostni regulatorji	43
9.1.1	TL431	43
9.1.2	Pretvornik za zviševanje napetosti	43
9.2	NE555	44
9.2.1	Generator trikotniške napetosti	46
10	NAČRTOVANJE OHIŠJA ZA ELEKTRONSKO VEZJE	49
10.1	Načrtovanje vezja v programu KiCAD	49
10.1.1	3D podpora v KiCAD-u in izgradnja PCB-ja	50
10.2	Načrtovanje ohišja v programu FreeCAD	51

1 UVOD

Aplikativna elektronika nam omogoča, da uporabimo naprave in sisteme, ki so precej bolj zmogljivi kot druge oblike elektronike. Gre za področje, kjer so se v zadnjem času pojavile pomembne inovacije, ki so pomagale razviti nove izdelke in storitve za boljše življenje ljudi. Aplikativna elektronika pomaga pri razvoju naprednih izdelkov, ki so lahko inteligentni, uporabniku prijazni in okolju prijazni.

Program 1.1: Osnovani main() program.

```
1  int main(){
2      int i = 2;
3      for (i=0;i<5;i++){
4          cout<<"Hello";
5      }
6  }
```

Aplikativna elektronika je obsežno področje, ki se vse bolj uporablja v naši vsakdanji realnosti. Je vrsta elektronike, katere namen je uporabniku ponuditi varen, cenovno ugoden in priročen način uporabe izdelkov, ki temeljijo na elektroniki.

Omogoča nam, da uporabimo naprave in sisteme, ki so precej bolj zmogljivi kot druge oblike elektronike. Gre za področje, kjer so se v zadnjem času pojavile pomembne inovacije, ki so pomagale razviti nove izdelke in storitve za boljše življenje ljudi. Aplikativna elektronika pomaga pri razvoju naprednih izdelkov, ki so lahko inteligentni, uporabniku prijazni in okolju prijazni.

Aplikativna elektronika nam omogoča, da uporabimo naprave in sisteme, ki so precej bolj zmogljivi kot druge oblike elektronike. Gre za področje, kjer so se v zadnjem času pojavile pomembne inovacije, ki so pomagale razviti nove izdelke in storitve za boljše življenje ljudi. Aplikativna elektronika pomaga pri razvoju naprednih izdelkov, ki so lahko inteligentni, uporabniku prijazni in okolju prijazni.

```
1  int main(){
2      int i = 2;
3      for (i=0;i<5;i++){
4          cout<<"Hello";
5      }
6  }
```


2 PRENOS DIGITALNEGA SIGNALA

Prenos digitalnih signalov je ključna komponenta v sodobni aplikativni elektroniki. Takšni prenosi se uporabljajo na različnih področjih, kot so telekomunikacije, računalništvo, avtomatizacija, medicina in še mnoga druga. Pomembnost digitalnih prenosov izhaja iz njihove sposobnosti prenosa velikih količin podatkov na hiter, zanesljiv in učinkovit način.

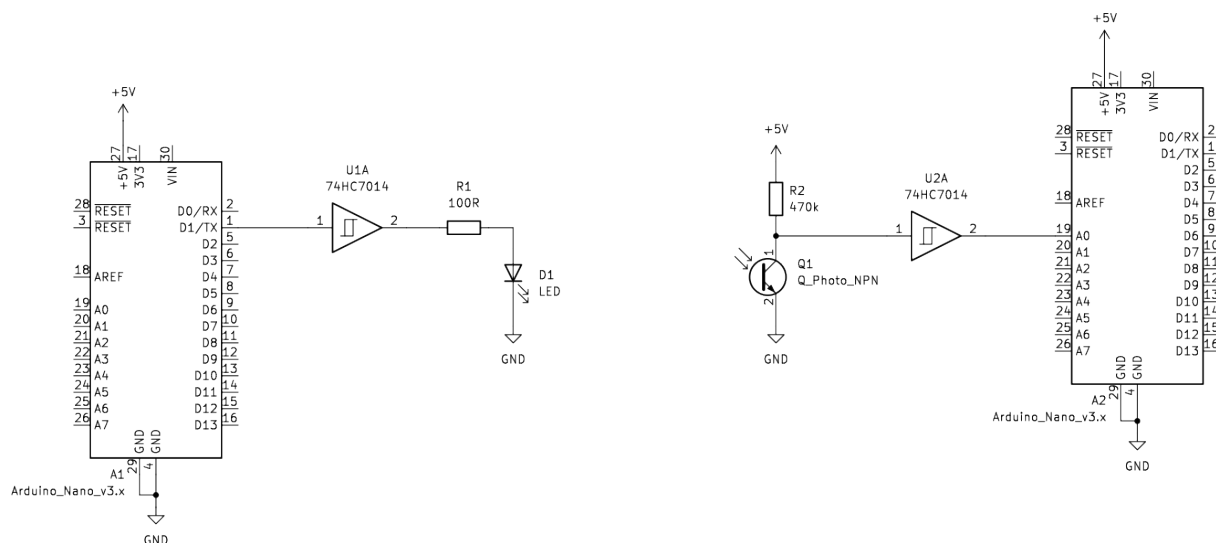
Najpogostejše težave, s katerimi se srečujemo pri prenosih digitalnih signalov, so izguba signala, **motnje**, šum in popačenja. Izguba signala se lahko zgodi zaradi razdalje, zaradi česar je pomembno, da se uporabijo primerni prenosni mediji in ojačevalniki signala. Motnje, kot so elektromagnetno sevanje, lahko povzročijo interferenco in zmanjšanje kakovosti signala. Šum, ki nastane zaradi termičnih učinkov ali električnih naprav, lahko povzroči napake pri dekodiranju signala. Popačenja se lahko pojavijo zaradi nepopolne ali nepravilne obdelave signala.

Te težave rešujemo z uporabo različnih tehnik, kot so uporaba ojačevalnikov, filtriranje šuma, uporaba kode za napako (npr. CRC) in uporaba kakovostnih prenosnih medijev. Prav tako je lahko pomembna uporaba kompresijskih algoritmov za zmanjšanje obsega prenosa podatkov. S pravilno načrtovanimi in implementiranimi rešitvami lahko dosežemo visoko kakovost prenosa digitalnih signalov in zagotovimo zanesljivo delovanje aplikativne elektronike.

2.1 Optične komunikacije

Optična komunikacija je prenos informacije s svetlobo. Informacijo lahko prenašamo po prostem prostoru (na primer z infrardečim daljincem), po optičnem vodniku ali znotraj optičnega tipala. Pri elektronskem projektu je pomembno, da optični sistem obravnavamo kot celoto:

1. električni signal krmili svetlobni izvor,
2. svetloba potuje do sprejemnika po prostem prostoru ali vodniku,
3. svetlobni sprejemnik ustvari električni signal,
4. obdelovalno vezje signal ojači, filtrira, primerja z mejno vrednostjo in ga po potrebi posreduje digitalnemu vhodu.



Slika 2.1: Osnovni bloki optičnega komunikacijskega sistema.

2.1.1 Kje se uporabljajo optične komunikacije?

Primeri so:

- infrardeči daljinski upravljalniki,
- prenos podatkov po optičnih vlaknih,
- svetlobna vrata za zaznavanje prehoda predmeta,
- merjenje razdalje in hitrosti z odbito svetlobo,
- senzor dežja na vetrobranskem steklu,
- bralniki črtnih kod in optični enkoderji,
- merjenje osvetljenosti ter zaznavanje prisotnosti ali položaja predmeta,
- galvansko ločevanje električnih vezij z optičnim spojnikom.

Pri digitalnem prenosu je informacija pogosto predstavljena z dvema stanjema: svetloba je prisotna ali je ni. Pri analognem prenosu pa količina svetlobe nosi zvezno spremenljiv signal, na primer podatek o osvetljenosti.

2.1.2 Prosti prostor in optični vodnik

Pri prenosu po prostem prostoru morata biti oddajnik in sprejemnik pravilno usmerjena. Sprejemnik poleg koristnega signala zazna tudi svetlobo okolice, zato so koristne mehanske zaslonke, modulacija oddajne LED in filtriranje na sprejemni strani. Pri idealiziranem točkastem izvoru se gostota svetlob-

nega toka z razdaljo približno zmanjšuje sorazmerno z $1/r^2$; v resničnem sistemu na doseg vplivajo še sevalni kot, optika, odboji in občutljivost sprejemnika.

Optični vodnik omeji pot svetlobe in zmanjša vpliv okoliške svetlobe. V optičnem vlaknu se svetloba širi zaradi popolnega notranjega odboja. Za kakovosten prenos morajo biti oddajnik, vlakno in sprejemnik med seboj optično usklajeni.

Vodenje svetlobe po optičnem vlaknu s popolnim notranjim odbojem.

Slika 2.2: Vodenje svetlobe po optičnem vlaknu s popolnim notranjim odbojem.

2.1.3 Svetleča dioda

Svetleča dioda (LED) je polprevodniška dioda, ki pri prevajanju oddaja svetlobo. Elektroni in vrzeli se v območju p-n-spoja rekombinirajo; pri tem nastanejo fotoni. LED je treba priključiti v prevodni smeri in tok skozi njo omejiti. Sama LED ni omejevalnik toka: že majhno povečanje napetosti U lahko povzroči veliko povečanje toka in poškoduje diodo.

Za zaporedni upor velja:

$$R_{\text{LED}} = \frac{U_{\text{nap}} - U_F}{I_F},$$

kjer so U_{nap} napajalna napetost, U_F napetost na LED in I_F izbrani tok. Pri izbiri upora preverimo še njegovo moč:

$$P_R = I_F^2 R_{\text{LED}}.$$

Primer: pri napajanju 5 V, rdeči LED z $U_F = 2$ V in toku 10 mA dobimo $R_{\text{LED}} = 300 \Omega$. Izberemo lahko standardno vrednost 330Ω ; tok bo nekoliko manjši, kar je varnejša izbira.

Barva LED je povezana z valovno dolžino λ . Zelo poenostavljen približek za energijo fotona je:

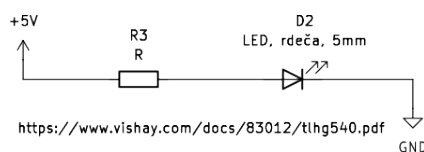
$$e_0 U_F \approx \frac{hc}{\lambda},$$

kjer je $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C osnovni naboj, h Planckova konstanta in c hitrost svetlobe v vakuumu. Enačba je le približek: U_F ni točno določena konstanta, nanjo vplivajo tok, temperatura in tehnologija LED.

Pri optičnem prenosu sta pomembnejša od same barve predvsem spekter oddane svetlobe in uje-manje s sprejemnikom, sevalna moč in sevalni kot, hitrost vklopa in izklopa ter dovoljeno območje toka.

Električna vhodna moč LED je $P_{el} = U_F I_F$, vendar ta ni enaka svetlobni moči. Del energije se pretvori v toploto. Svetlost oziroma zaznana svetilnost je odvisna tudi od valovne dolžine, smeri sevanja in značilnosti človeškega očesa.

V nadaljevanju uporabimo rdečo LED **Vishay TLHR5400**, ki je nameščena v standardnem 5-mm difuznem ohišju. Pri toku približno 10 mA je njena tipična napetost U_F okoli 2 V. Pri napajanju 5 V zato izračunamo $R_{LED} = 300 \Omega$; v praktičnem vezju izberemo standardni upor 330 Ω , s katerim bo tok približno 9 mA. Pred uporabo preverimo še dejanske mejne vrednosti in priključke v [podatkovnem listu LED TLHR5400 proizvajalca Vishay](#).



Slika 2.3: Slika 1.3: Praktična vezava LED z uporom za omejitev toka.

2.1.4 Krmiljenje LED z izhodom krmilnika

Izhod mikrokrmilnika lahko LED krmili neposredno samo takrat, ko tok LED ne presega dovoljenega toka izhoda. Če potrebujemo večji tok ali želimo izhod mikrokrmilnika zaščititi pred obremenitvijo, uporabimo tranzistor kot stikalo.

2.1.4.1 NPN-tranzistor kot stikalo

Pri običajni vezavi "tranzistorja kot stikala" je LED z zaporednim uporom priključena med pozitivno napajanje in kolektor NPN-tranzistorja, emitor pa je priključen na ničelni napetostni potencial $V = 0$. Majhen tok v bazo tako krmili večji tok skozi kolektor. Tranzistor deluje kot stikalo: pri nizki vhodni napetosti je zaprt, pri dovolj visoki pa ga krmilimo v nasičenje.

Za osnovni izračun baznega upora uporabimo:

$$R_B = \frac{U_{izh} - U_{BE}}{I_B}, \quad I_B \geq \frac{I_C}{\beta_{min}}.$$

Pri načrtovanju stikala uporabimo minimalni tokovni ojačevalni faktor, na primer $\beta_{min} = 10$, in ne največjega β iz podatkovnega lista. S tem zagotovimo nasičenje tudi pri različnih pogojih delovanja tranzistorja. Za vhod 5 V, $U_{BE} \approx 0,7$ V in bazni tok 1 mA dobimo približno $R_B = 4,3$ k Ω ; uporabimo lahko standardni upor 4,7 k Ω .

Pri tej rešitvi se pojavijo tri praktične težave:

- izhod krmilnika mora zagotavljati bazni tok,
- pri večjem kolektorskem toku mora biti bazni tok sorazmerno večji,
- napetost U_{CE} in moč tranzistorja lahko postaneta pomembna.

Slika 1.4: Krmiljenje LED in releja z NPN-tranzistorjem kot stikalom.

Slika 2.4: Slika 1.4: Krmiljenje LED in releja z NPN-tranzistorjem kot stikalom.

Predstavljajmo si breme, ki potrebuje $I_C = 200 \text{ mA}$. Če za zanesljivo nasičenje izberemo minimalni tokovni ojačevalni faktor $\beta_{\min} = 10$, bi moral bazni tok znašati najmanj $I_B = 20 \text{ mA}$. Tak tok je za številne izhode mikrokrmilnikov že prevelik oziroma bi močno obremenil izhodni priključek. Če bazni tok zmanjšamo, tranzistor morda ne bo več v nasičenju, napetost U_{CE} na njem se poveča, s tem pa tudi njegova moč in segrevanje. Z izbiro drugega posameznega tranzistorja lahko težavo včasih zmanjšamo, vendar smo še vedno omejeni z razpoložljivim baznim tokom krmilnika. V takem primeru potrebujemo vezje z večjim skupnim tokovnim ojačanjem.

Še bolj nazoren primer je avtomobilska žarnica **Philips 12844CP (C5W)**, ki se uporablja tudi za osvetlitev registrske tablice. Nazivni podatki so 12 V in 5 W, zato je njen nazivni tok približno

$$I_{\text{žarnice}} = \frac{P}{U} = \frac{5 \text{ W}}{12 \text{ V}} \approx 0,42 \text{ A}.$$

Če bi za zanesljivo nasičenje tranzistorja uporabili $\beta_{\min} = 10$, bi potrebovali bazni tok približno 42 mA. To je za izhod mikrokrmilnika prevelika obremenitev. Poleg tega ima žarnica pri vklopu zaradi hladne žarilne nitke večji kratkotrajni zagonski tok od nazivnega. Zato potrebujemo zmogljivejši gonilnik ali več tranzistorjev. Podatki za žarnico so navedeni v [podatkovnem listu Philips 12844CP](#).

2.1.4.2 Darlingtonov spoj kot izboljšava

Če en tranzistor zahteva prevelik bazni tok, uporabimo Darlingtonov spoj. Sestavljata ga dva tranzistorja, pri katerih prvi krmili bazo drugega. Skupni tokovni ojačevalni faktor je približno:

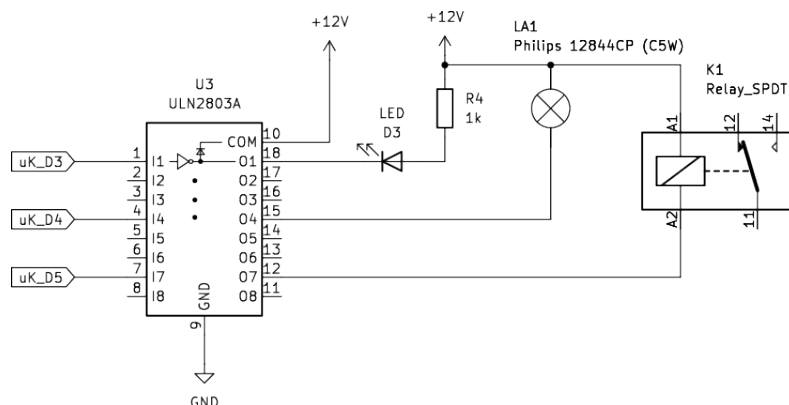
$$\beta_D \approx \beta_1 \beta_2.$$

Zato lahko enak kolektorski tok krmilimo z bistveno manjšim vhodnim tokom. Slabosti Darlingtonovega spoja je večja napetost U_{CE} na vključenem tranzistorju v vključenem stanju, nekoliko počasnejši izklop in večja toplotna izguba kot pri dobro izbranem posameznem tranzistorju.

V praksi pogosto uporabimo integrirano vezje z več Darlingtonovimi izhodi, na primer [ULN2803A](#) ali [ULN2804A](#). Njegov izhod z odprtim kolektorjem deluje kot stikalo proti ničelnemu napetostnemu po-

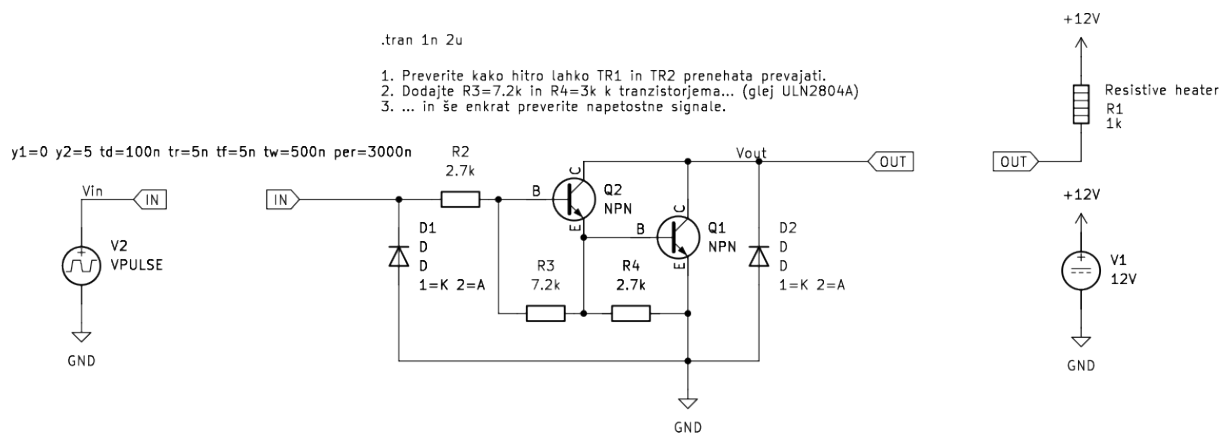
tencialu $V = 0$: ko je vključen, breme poveže z ničelnim napetostnim potencialom $V = 0$; ko je izključen, je kolektorski izhod odprt. Breme mora biti zato priključeno med pozitivno napajanje in izhod gonilnika. Pri LED še vedno uporabimo ustrezen zaporedni upor, razen če ga vsebuje že modul, ki ga uporabljamo.

Pri induktivnem bremenu so zaščitne diode v ULN2803A običajno že vgrajene, vendar mora biti skupni priključek za te diode pravilno povezan na pozitivno napajanje bremena.



Slika 2.5: Krmiljenje svetlobnega vira in induktivnega bremena z Darlingtonovim gonilnikom z odprtim kolektorjem.

V simulacijskem vezju `circ/110_Darlington_open_collector.kicad_sch` sta predvidena tudi upora med bazo in emitorjem tranzistorjev Q1 in Q2, tako kot predvideva podatkovni list [ULN2803A](#).



Slika 2.6: Shema enega priključka darlingtonove izvedbe izhodnega priključka integriranega vezja ULN2803A.

Njuna naloga je odvajanje naboja iz baz, zagotavljanje zanesljivega izklopa in skrajšanje časa prehoda v zaporno stanje. Pri vklopu pa odvzemata del baznega toka, zato morata biti izbrana kot kompromis

med hitrim izklopom in majhno obremenitvijo krmilnega vira. V pripravljeni simulaciji sta R3 in R4 pripravljena za primerjavo, vendar trenutno nista električno povezana; vpliv njune pravilne vezave lahko preskusite v simulaciji vezja. Preučite razliko v časovnem odzivu za vhodno in izhodno napetost ter tok skozi porabnik.

2.1.5 Svetlobni sprejemniki

Za sprejem svetlobe uporabljamo fotoupor (LDR), fototranzistor ali fotodiodo. Izbira je kompromis med občutljivostjo, hitrostjo, linearnostjo, velikostjo toka in ceno.

Tabela 2.1: Element.

Element	Prednost	Omejitev	Primer uporabe
LDR	velika sprememba upornosti, preprosta vezava	počasen odziv, slabša ponovljivost	merjenje osvetljenosti
Fototranzis	večji izhodni tok in dobra občutljivost	počasnejši in manj linearen od fotodiode	svetlobna vrata, daljinski senzor
Fotodioda	hiter odziv, primerna za hitre prenose	majhen tok, potrebuje tokovno-napetostni pretvornik	optične komunikacije, merilni sistemi

Pri izbiri ne zadošča primerjava nazivnega toka. Preverimo spektralno občutljivost, temni tok, dovoljeno zaporno napetost, odzivni čas, kapacitivnost spoja in območje osvetljenosti v podatkovnem listu.

2.1.6 Delilnik z LDR

Najpreprostejši svetlobni senzor je napetostni delilnik. Če je izhodna napetost merjena na referenčnem oporu R_R , velja:

$$U_{iz} = U_C \frac{R_R}{R_R + R_{LDR}}.$$

LDR ima pri večji osvetljenosti manjšo upornost, zato se pri tej vezavi U_{iz} povečuje. Če želimo obratno delovanje, zamenjamo položaj LDR in R_R .

Za največjo spremembo izhodne napetosti med dvema skrajnima stanjema LDR, z upornostma R_1 in R_2 , je dobra začetna izbira:

$$R_R \approx \sqrt{R_1 R_2}.$$

To je geometrična sredina območja upornosti. V praksi vrednost nato prilagodimo glede na zahtevano mejno osvetljenost, vhodno upornost naslednjega vezja in šum. Vhodna upornost merilnika ali krmilnika je vzporedno vezana z R_R in lahko opazno spremeni rezultat.

Pri neposrednem priklopu na digitalni vhod ne smemo računati samo na nazivno preklopno napetost. Napetosti v nedoločenem območju med logično 0 in 1 lahko povzročijo nepredvidljivo stanje ali večkratno preklapljanje. Za zanesljiv sistem uporabimo komparator s histerezo.

Slika 1.6: Delilnik napetosti z LDR za merjenje osvetljenosti.

Slika 2.7: Slika 1.6: Delilnik napetosti z LDR za merjenje osvetljenosti.

2.1.7 Fotodioda in fototranzistor

Fotodiodo pri merjenju svetlobe običajno uporabimo v zaporni smeri. Osvetlitev ustvari tok, ki je približno sorazmeren osvetljenosti v izbranem območju. Fotodiodni tok je majhen, zato je napetost U_R na navadnem uporu pogosto neprimerna za neposreden digitalni vhod.

Fototranzistor deluje podobno kot fotodioda, vendar njegov tok krmili še tranzistorski tok. Zato dobimo večji tok, vendar praviloma počasnejši odziv in večjo odvisnost od temperature ter primerka elementa.

2.2 Tokovno-napetostni pretvornik

Fotodiodo je smiselno priključiti v tokovno-napetostni pretvornik z operacijskim ojačevalnikom. Neinvertirajoči vhod priključimo na referenčno napetost U_{ref} , fotodiodo pa vežemo med ničelni napetostni potencial $V = 0$ in invertirajoči vhod. Povratni upor R_1 priključimo med invertirajoči vhod in izhod operacijskega ojačevalnika. Če je katoda fotodiode priključena na invertirajoči vhod, anoda pa na $V = 0$, je fotodioda zaporno polarizirana z napetostjo približno U_{ref} , saj operacijski ojačevalnik vzdržuje napetost invertirajočega vhoda približno enako U_{ref} .

Fotodioda tako ne deluje pri prevodni napetosti približno 1 V, temveč v zaporni delovni točki. Fototok teče skozi povratni upor R_1 . Za prikazano orientacijo fotodiode je izhodna napetost idealiziranega vezja:

$$U_{iz} = U_{ref} + I_{foto}R_1.$$

Pri nasprotni orientaciji fotodiode se predznak spremeni. Vrednosti U_{ref} zato ne izberemo samodejno kot $U_C/2$, temveč glede na želeno zaporno napetost fotodiode, pričakovani fototok ter dovoljeno vhodno in izhodno območje operacijskega ojačevalnika. Če želimo pri enosmernem napajanju omogočiti spremembe izhoda v obe smeri, lahko kot kompromis uporabimo $U_{ref} \approx U_C/2$.

Pri izbiri R_1 velja približno $R_1 = \Delta U_{iz} / \Delta I_{foto}$. Preverimo še največji izhodni signal, območje izhoda operacijskega ojačevalnika, vhodni tok, šum in kapacitivnost fotodiode. Vzporedni kondenzator C_F priključimo vzporedno z uporom R_1 ; lahko izboljša stabilnost in omeji visokofrekvenčni šum, vendar zmanjša pasovno širino.

Slika 1.7: Tokovno-napetostni pretvornik s fotodiodo.

Slika 2.8: Slika 1.7: Tokovno-napetostni pretvornik s fotodiodo.

2.3 Komparator napetosti

Signal svetlobnega sprejemnika je lahko zvezna napetost U_{mer} , nadaljnja elektronika pa pogosto potrebuje samo informacijo, ali je signal dovolj velik ali ne. Če želimo signal priključiti na digitalni vhod, mora ustrezati napetostnim nivojem uporabljene logične družine. Pri klasični 5-voltni logiki TTL (na primer družina 74xx) veljajo približno naslednje meje:

Vhod ali izhod	Logična 0	Logična 1
vhodni nivo	$U_{IL} \leq 0,8 \text{ V}$	$U_{IH} \geq 2,0 \text{ V}$
zagotovljeni izhodni nivo	$U_{OL} \leq 0,4 \text{ V}$	$U_{OH} \geq 2,4 \text{ V}$

Vhodna napetost med približno 0,8 V in 2,0 V je nedoločena: digitalno vezje v tem območju ne zagotavlja pravilnega logičnega stanja. Zato zvezno spreminjajočega se signala fotodiode ali fototranzistorja praviloma ne priključimo neposredno na digitalni vhod. Najprej ga pretvorimo v jasno določeno nizko ali visoko logično raven.

Za to uporabimo komparator napetosti. Komparator primerja merilno napetost U_{mer} z referenčno napetostjo U_{ref} in na izhodu ustvari signal, ki je odvisen od tega, katera napetost je večja. Tako lahko na primer določimo, ali je osvetljenost preseгла izbrano mejno vrednost. Operacijski ojačevalnik lahko uporabimo kot preprost komparator, vendar je za hitro in zanesljivo preklapljanje pogosto primernejši namenski komparator.

Če je merilna napetost priključena na neinvertirajoči vhod in referenca na invertirajoči vhod, velja idealizirano. Pri tem sta U_{ZH} zgornja in U_{SN} spodnja izhodna nasičitvena napetost:

$$U_{iz} \approx \begin{cases} U_{ZH}, & U_{mer} > U_{ref}, \\ U_{SN}, & U_{mer} < U_{ref}. \end{cases}$$

Izhodna napetost ni nujno enaka napajalni napetosti. Pri izbiri vezja preverimo, ali je vhodno območje ustrezno in kako blizu napajalnim napetostnim potencialom se lahko približa izhod. LM358 je uporaben pri enojnem napajanju, vendar ni namenski hitri komparator in njegov izhod se pri visoki ravni ne obnaša kot idealen izhod logičnega vezja.

Slika 1.8: Komparator za pretvorbo osvetljenosti v digitalni signal.

Slika 2.9: Slika 1.8: Komparator za pretvorbo osvetljenosti v digitalni signal.

2.3.1 Komparator z odprtim kolektorjem

Pri komparatorju z odprtim kolektorjem izhodni tranzistor lahko izhod potegne na nižji napetostni potencial V , ne more pa ga sam postaviti na visoko raven. Zato potrebujemo dvigovalni upor R_P (pull-up):

$$I_P \approx \frac{U_C - U_{iz}}{R_P}.$$

Prednost takega izhoda je možnost prilagoditve na drugo logično napetost in združevanje več izhodov v funkcijo »wired-AND«. Pri izbiri R_P upoštevamo uhajavi tok, vhodni tok naslednjega vezja, zahtevano hitrost in dovoljeni tok izhodnega tranzistorja. Manjši upor omogoči hitrejši prehod navzgor, vendar poveča tokovno obremenitev.

2.4 Schmittov sprožilnik in histereza

Če je vhodni svetlobni signal blizu preklopne meje, lahko šum povzroči več zaporednih prekopov. Schmittov sprožilnik uporablja pozitivno povratno zvezo in ima dve prekopni meji:

- pri naraščanju vhodne napetosti se izhod preklopi pri zgornji meji,
- pri padanju vhodne napetosti se izhod preklopi pri spodnji meji.

Razlika med mejama je širina histereze. Histereza mora biti večja od pričakovane šumne spremembe, vendar ne tako velika, da bi onemogočila zaznavo želenega signala.

Za neinvertirajočo izvedbo z referenčno napetostjo U_{ref} in uporoma R_1 (med izhodom in vhodom) ter R_2 (med vhodom in referenco) velja, če vhodni tok zanemarimo:

$$U_H = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(U_{\text{ZH}} - U_{\text{SN}}),$$

pri čemer je U_H razlika med zgornjo in spodnjo preklopno mejo. Splošni meji lahko izračunamo z uteženim povprečjem izhoda in reference:

$$U_T = \frac{R_2 U_{\text{iz}} + R_1 U_{\text{ref}}}{R_1 + R_2}.$$

Ko je izhod v zgornjem nasičenju, dobimo eno mejo; ko je v spodnjem nasičenju, dobimo drugo. Dejanske vrednosti moramo zaradi izhodnega nasičenja in vhodnih tokov preveriti v podatkovnem listu.

Za digitalne signale lahko uporabimo vrata z vgrajeno histerezo, na primer 74HC14. Pri njih ne izračunavamo zunanega razmerja uporov, temveč preverimo zagotovljeni spodnji in zgornji prag v podatkovnem listu.

Slika 1.9: Schmittov sprožilnik z nastavljivo histerezo in referenco.

Slika 2.10: Slika 1.9: Schmittov sprožilnik z nastavljivo histerezo in referenco.

2.5 Svetlobna vrata z zaznavo smeri

Za zaznavo smeri gibanja uporabimo dva enaka optična kanala, postavljena drugega za drugim. Ko predmet prečka prvi kanal pred drugim, se izhodna zaporedja razlikujejo od zaporedja, ko prečka drugi kanal pred prvim. Mikrokrmilnik lahko izmeri vrstni red sprememb in določi smer.

Pri izvedbi moramo zagotoviti zadostno razliko med osvetljenim in zatemnjenim stanjem, histerezo na vsakem kanalu, enako geometrijo in podobno občutljivost kanalov ter dovolj kratko zakasnitev glede na največjo hitrost predmeta.

Slika 1.10: Svetlobna vrata za zaznavo smeri gibanja.

Slika 2.11: Slika 1.10: Svetlobna vrata za zaznavo smeri gibanja.

2.6 Optični spojniki

Optični spojnik (optoizolator) prenaša signal med dvema električnima vezjema s svetlobo, brez galvanske povezave signalnih mas. Na vhodni strani je LED, na izhodni pa fototranzistor, fotodioda, fo-

totriak ali drug svetlobno občutljiv element. Galvanska ločitev je uporabna pri različnih napajalnih napetostih, motnjah, merilnih sistemih in krmiljenju omrežnih bremen.

Pri načrtovanju preverimo vhodni tok LED in izračun njenega zaporednega upora, izolacijsko napetost in dovoljene razmike na tiskanem vezju, razmerje CTR (current transfer ratio), največji kolektorski tok in hitrost preklapljanja ter morebitno invertiranje izhoda.

Najpreprostejši izhod je fototranzistor z dvigovalnim uporom. Ko vhodna LED sveti, fototranzistor prevaja in izhod se običajno zniža, zato je logika na izhodu invertirana. Če potrebujemo ne-invertiran signal, dodamo še en inverter ali ustrezno spremenimo razporeditev vezja.

Slika 1.11: Galvansko ločevanje digitalnega signala z optičnim spojnikom.

Slika 2.12: Slika 1.11: Galvansko ločevanje digitalnega signala z optičnim spojnikom.

2.7 Predlogi praktičnih nalog

2.7.1 Naloga 1: LED-oddajnik

Za napajanje 5 V izberi upor za rdečo LED pri toku 10 mA. Izmeri napetost na LED, tok in moč upora. Rezultat primerjaj z izračunom in pojasni razlike.

2.7.2 Naloga 2: LDR kot svetlobno stikalo

Sestavi delilnik z LDR in komparatorjem. S potenciometrom nastavi prag tako, da se izhod preklopi pri izbrani osvetljenosti. Nato dodaj Schmittovo histerezo in primerjaj obnašanje pri počasnem spreminjanju svetlobe ter pri osvetlitvi z utripajočim virom.

2.7.3 Naloga 3: Merjenje fotodiode

Sestavi transimpedančni ojačevalnik z dvema vrednostma R_1 . Izmeri izhodno napetost pri več razdaljah od LED in določi območje, v katerem je odziv približno linearen. Preveri vpliv kondenzatorja C_F na šum in hitrost odziva.

2.7.4 Naloga 4: Svetlobna vrata

Z dvema fototranzistorjema zaznaj smer gibanja kartončka. Na osciloskopu prikaži signala A in B, določi fazni vrstni red in napiši algoritem, ki iz njega izračuna smer.

2.7.5 Naloga 5: Optični spojnik

Z optičnim spojnikom prenesi digitalni signal med dvema ločenima napajalnima vezjema. Izmeri zakasnitev, preveri invertirano logiko in preizkusi, kako sprememba pull-up upora vpliva na čas naraščanja izhodnega signala.

2.8 Povzetek

Optični komunikacijski sistem sestavljajo oddajnik, optični kanal in sprejemnik. Pri oddajniku je treba omejiti tok LED; pri sprejemniku izberemo element glede na občutljivost in hitrost. LDR je primeren za počasna merjenja, fototranzistor za preprosto zaznavanje prisotnosti, fotodioda pa za hitrejša in merilno zahtevnejša naloga. Delilnik je preprost, vendar je občutljiv na vhodno obremenitev. Za fotodiodo je primernejši transimpedančni ojačevalnik. Komparator pretvori analogni signal v logično stanje, Schmittov sprožilnik pa prepreči večkratno preklapljanje zaradi šuma. Optični spojnik omogoča prenos signala ob galvanski ločitvi dveh vezij.

2.9 Vprašanja za preverjanje

1. Zakaj mora imeti LED pri napajanju z napetostnim virom zaporedni upor?
2. Zakaj električna moč LED ni enaka svetlobni moči?
3. Kdaj bi izbral LDR, fototranzistor in kdaj fotodiodo?
4. Kaj se zgodi z delilnikom, če ima naslednje vezje majhno vhodno upornost?
5. Zakaj ima komparator z odprtim kolektorjem dvigovalni upor?
6. Kako histereza zmanjša vpliv šuma?
7. Zakaj je izhod optičnega spojnika pogosto invertiran?

2.2 Uporaba operacijskega ojačevalnika kot komparator napetosti

Razlike med zgornjim in spodnjim nasičenjem pri:

- LM741 in
- LM358

2.2.1 Operacijski ojačevalnik z odprtim kolektorjem

- LM311

2.2.2 Schmittov sprožilnik

Osnovna izvedba s simetričnim napajanjem:

Izračuni za:

- U_r : mejna napetosti

Schmittov sprožilnik z nastavljivo sredino histereze:

Izračuni za:

- U_{h1} : zgornja meja histereze
- U_{h2} : spodnja meja histereze
- Izračun za primer
 - $R1 = 1k\Omega$
 - $R2 = 4k\Omega$
 - $U_{sn} = -10\text{ V}$
 - $U_{zn} = +10\text{ V}$
 - $U_{ref} = 3\text{ V}$ - —
 - $U_{h2} = 4.4\text{ V}$
 - $U_{h1} = 0.4\text{ V}$
- U_0 : sredina histereze
 - za primer simetričnega napajanja
 - za primer ko je $U_{SN}=0\text{ V}$
- U_H : širina histereze
 - za primer simetričnega napajanja
 - za primer ko je $U_{SN}=0\text{ V}$
- [Spletni kalkulator za izračun vrednosti uporov in referenčne napetosti](#)

2.3 OPTIČNI PRENOS ANALOGNEGA SIGNALA

3 MODULACIJA SIGNALOV

Modulacija napetostnih signalov je ključni koncept v sodobnih komunikacijskih sistemih. Uporablja se za prenos informacij preko različnih medijev, kot so radijski valovi, optična vlakna in žične povezave. Namen modulacije je prenesti informacijo, ki je običajno v obliki nizke frekvence, na nosilni signal višje frekvence, kar omogoča bolj učinkovit prenos signala na večje razdalje.

Sestavni deli modulacije napetostnih signalov vključujejo nosilni signal, modulirajoči signal in modulator. Nosilni signal je visokofrekvenčni signal, ki nosi informacijo. Modulirajoči signal je nizkofrekvenčni signal, ki vsebuje želeno informacijo, na primer zvok ali podatke. Modulator pa je naprava, ki kombinira nosilni in modulirajoči signal za generiranje moduliranega signala.

Modulacija napetostnih signalov se uporablja v številnih aplikacijah. V radijski komunikaciji se modulacija uporablja za prenos zvočnih signalov iz radijskih postaj v sprejemnike na daljavo. V televiziji se uporablja modulacija za prenos video signala. V mobilni telefoniji se modulacija uporablja za prenos govora in podatkov med mobilnimi napravami. Poleg tega se modulacija uporablja tudi v industriji, medicini in drugih področjih, kjer je pomemben prenos informacij preko različnih komunikacijskih kanalov.

3.1 FREKVENČNA MODULACIJA

Astabiln multivibrator Napetostno frekvenčni pretvornik

3.2 AMPLITUDNA MODULACIJA

Napetostno krmiljeni ojačevalniki

3.3 PULZNO ŠIRINSKA MODULACIJA

4 ELEKTRONSKI REGULACIJSKI SISTEMI

4.1 DVOPOLOŽAJNA (NEZVEZNA) REGULACIJA TEMPERATURE VODE

4.1.1 Izvedbe s komparatorjem brez histereze

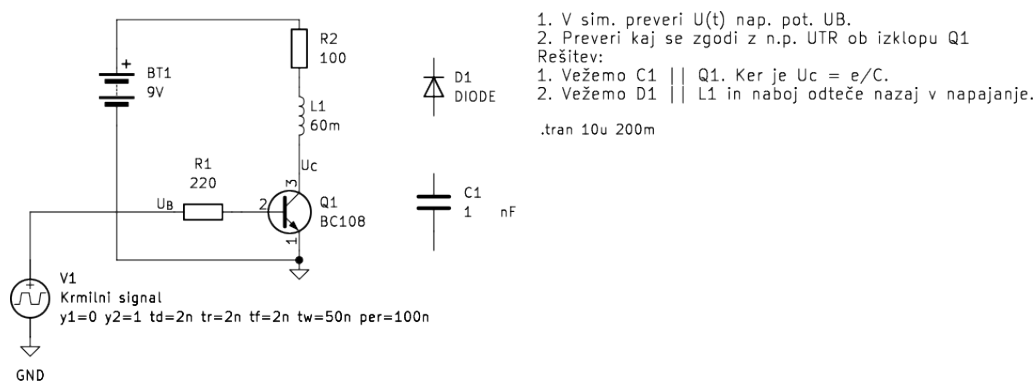
- Temperaturni senzor
- Komparator
- Tranzitor
- Rele
- Grelec v drugem napetostnem omrežju

4.1.1.1 Rele

- Rele **RT424730**
 - 2 polni (dve menjalni stikali)
 - $I_{max} = 8A$
 - $U = 25V$ (AC)
 - CoilCode 005 -> 5V(DC),
 - * On Voltage = 3,5V
 - * Off Voltage = 0,5V
 - * Resistance = 62 Ohms
 - * Power = 400 mW

4.1.1.2 Izklop induktivnega bremena

Rele vsebuje tuljavo, s katero ustvari magnetono polje. To ga uvršča med induktivna bremena in je potrebo biti pazljiv pri izklapljanju induktivnih bremen, saj pri tem prihaja do inducirane napetosti, ki se prišteje napetosti vira.



Slika 4.1: Primer vklopa in izklopa induktivnega bremena.

To lahko povzroči prevelike napetosti, ki bi lahko uničile preklopne elemente kot so tranzistorji in mosfeti (glej: ./circ/311_Vklop_induktivnega_bremena.kicad_sch). Take neželjene učinke lahko rešimo z diodo, ki jo vežemo vzporedno s tem induktivnim bremenom proti napajanju. Omenimo naj, da ta učinek s pridom koristimo pri pretvornikih za zviševanje napetosti (glej: [9. Druga uporabna vezja](#)).

4.1.2 Izvedba z analognim Schmittovim sprožilnikom

- glej skripto Projekti iz elektronike (Kocijančič 2020)

4.2 ZVEZNA REGULACIJA TEMPERATURE VODE

Pri počasnih procesih je možno rešiti s PWM. To je zelo enostavno rešiti z uporabo krmilnika Arduino UNO. Lahko pa rešimo z ožičeno elektroniko:

- senzor temperature
- trikotniška napetost (glej ./circ/321_Triangular_voltage_NE555.kicad_sch)
- komparator
- tranzistor

4.3 Z ojačevalnikom moči

4.4 Merjenje temperature

Uporovni: - NTC

Napetostni: - LM335 - ($U_{\text{out}} = 10\text{mV}/^{\circ}\text{K} \cdot T$) - LM35 - ($U_{\text{out}} = 10\text{mV}/^{\circ}\text{C} \cdot T$)

Digitalni (I2C): - DS18B20 - DHT20 - BME280 - MCP9808

4.5 SPLOŠNO O REGULACIJSKI TEHNIKI

- Krmiljenje in regulacija
- Zvezne in nezvezne regulacije
- Regulacije s konstantno in spremenljivo želeno vrednostjo
- Dinamične lastnosti regulacijskih sistemov

5 NAPETOSTNI OJAČEVALNIKI

5.1 Idealne lastnosti operacijskih ojačevalnikov

- ojačanje op. ojačevalnika
 - protfazno
 - sofazno
- vhodni tok
- izhodni tok

5.2 Tipični predstavniki in njihove lastnosti

- LM741CN
 - zastarel, za didaktične primere napak op. amp.
- TL081
 - alternativa 741
- LM358
 - U_{SN} se približa U_{EE} - krmiljenje močnostnih tranzistorjev
- OPA177F
 - ojačevanje počasnih signalov
- OPA604
 - ojačevanje hitrih signalov
- TLC2272
 - rail-to-rail

Tabela 5.1: Nekaj tipičnih karakterističnih vrednosti različnih operacijskih ojačevalnikov.

	LM741C	TL081	LM358	OPA177F	OPA604	TLC2272
U_{CC-EE}	$\pm 15\text{ V}$	$\pm 18\text{ V}$	$\pm 16\text{ V}$	40 V	$\pm 24\text{ V}$	$\pm 8\text{ V}$
$U_{CC} - U_{ZN}$	-1 V	-2 V	-1.4 V	-3 V	-3 V	-0.2 V
$U_{EE} - U_{SN}$	$+1\text{ V}$	$+2\text{ V}$	$+0.3\text{ V}$	$+3\text{ V}$	$+3\text{ V}$	$+0.2\text{ V}$
I_{SRT}	25 mA	40 mA	40 mA	35 mA	40 mA	50 mA
U_{OFF}	2 mV	6 mV	7 mV	$20\text{ }\mu\text{V}$	1 mV	$1\text{ }\mu\text{V}$
I_B	80 nA	20 nA	250 nA	1 nA	50 pA	50 pA
$CMRR$	70 dB	80 dB	65 dB	135 dB	100 dB	75 dB
Hitr. izh. sprem.	$0.5\text{ V}/\mu\text{s}$	$16\text{ V}/\mu\text{s}$	$0.5\text{ V}/\mu\text{s}$	$0.3\text{ V}/\mu\text{s}$	$25\text{ V}/\mu\text{s}$	$3.6\text{ V}/\mu\text{s}$
Pasovna širina	1 MHz	4 MHz	0.7 MHz	0.6 MHz	20 MHz	2.2 MHz
Tech.	BJT	JFET	BJT	BJT	FET	CMOS

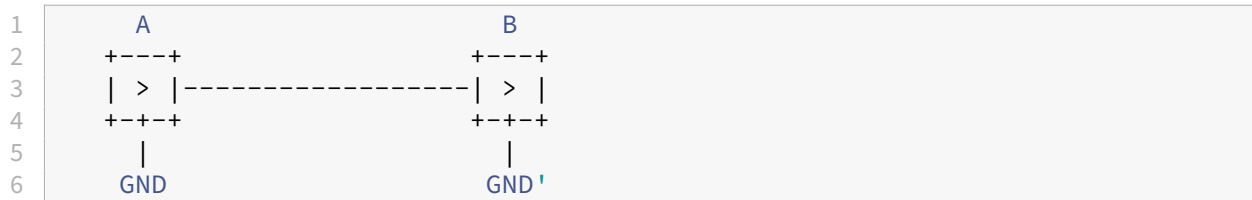
5.3 KOMPENZACIJA MIROVNEGA TOKA IN NAPETOSTNEGA PREMIKA

Kompensacija napetostnega premika *Kompensacija mirovnega toka

5.4 DIGITALNO PROGRAMIRLJIVI OJAČEVALNI SISTEMI

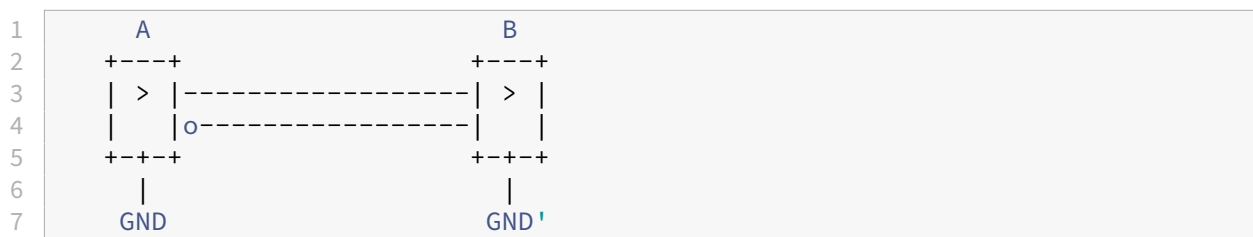
5.5 DIFERENCIALNI OJAČEVALNIKI

Predstavljajte si prenos signala na daljše razdalje:



Če sta potenciala GND in GND_1 različna ($GND \neq GND_1$) zaradi kakršnega koli razloga, tedaj nepravilno odčitamo vrednost napetostnega potenciala v točki B glede na točko A .

To težavo lahko rešimo z diferencialnim signalom:



kjer signal pošiljamo po enem vodniku, po drugem pa njegovo negacijo (ali protifazno vrednost). Tako je razlika obeh signalov neodvisna od potencialov GND in GND_1 . Ta tehnika se uporablja že od leta 1920 in je do danes ena najpogostejših tehnik za zagotavljanje zanesljive podatkovne povezave z visoko odpornostjo na zunanje elektromagnetne motnje (uporablja se v protokolih kot so: [Ethernet](#), [USB](#), [HDMI](#), [CAN](#), [RS485](#), ...)

5.5.1 Osnovna izvedba diferencialnega ojačevalnika (odštevalni sistem z o.o.)

- Elektrometrski diferencialni ojačevalnik

5.5.2 Instrumentacijski ojačevalnik s tremi operacijskimi ojačevalniki

- Instrumentacijski ojačevalniki v integriranih vezjih

5.5 UPORABNA VEZJA Z OPERACIJSKIMI OJAČEVALNIKI

NAredi seznam nekaterih zelo pogostih in uporabnih ojačevalnih sistemov, ki so zgrajeni z operacijskimi ojačevalniki.

2. Ojačevalnik z velikim izhodnim tokom (Power amplifier): Uporablja se za ojačanje signala na visokih izhodnih močeh, kot v avdio ojačevalnikih, profesionalnih zvočnih sistemih, radijskih oddajnikih in celo v avtomobilskih stereo sistemih.
3. Instrumentacijski ojačevalnik (Instrumentation amplifier): Uporablja se za natančno ojačanje šibkih diferencialnih signalov, kot na primer v medicinskih napravah, merilnih instrumentih in industrijskih senzorjih.
4. Pretvornik napetosti-v-tok (Voltage-to-current converter): Uporablja se za pretvorbo vhodne napetosti v izhodni tok, kar je uporabno pri krmiljenju motorjev, ventilov, svetlobnih virov in drugih naprav, ki zahtevajo tokovni vmesnik.

5. Pretvornik toka-v-napetost (Current-to-voltage converter): Uporablja se za pretvorbo vhodnega toka v izhodno napetost, kar je koristno pri merjenju tokov, senzorjih toka in drugih aplikacijah, ki zahtevajo napetostni vmesnik.
6. Diferenčni ojačevalnik (Differential amplifier): Uporablja se za ojačanje diferencialnih signalov, kot so diferencialni vhodi senzorjev, diferencialni signali v avdio in video aplikacijah ter diferencialni signali v komunikacijskih sistemih.
7. Omejevalnik (Limiter): Uporablja se za omejevanje amplitude signala, kar je koristno pri kompresorjih zvoka, avdio procesorjih, radijskih oddajnikih in komunikacijskih sistemih.
8. Integrator: Uporablja se za integracijo vhodnega signala, kar je koristno pri filtriranju, frekvenčni modulaciji, generiranju tonov in drugih aplikacijah, ki zahtevajo matematično integracijo signala.”

5.5.1 Izračun logaritma vhodne napetosti

- [Video gradivo](#)

6 DIGITALNA ELEKTRONIKA - SEKVENČNA VEZJA

Digitalna sekvenčna vezja so ključni gradniki aplikativne elektronike, ki omogočajo izvajanje zaporednih operacij na digitalnih signalih. Ta vezja se uporabljajo za obdelavo informacij, shranjevanje podatkov in nadzor nad različnimi napravami.

Sekvenčna vezja so nepogrešljiva v številnih programirljivih vezjih in so uporabljena kot, pomnilniški bloki, števcji, registri in sezname. Ena izmed uporab je implementacija pomnilniških enot, ki omogočajo shranjevanje in branje podatkov v digitalnih sistemih. Sekvenčna vezja se lahko uporabljajo tudi v števcih, kjer se uporabljajo za štetje signalov ali dogodkov. Poleg tega se uporabljajo tudi v različnih kontrolnih vezjih, kot so avtomatski nadzorni sistemi, kjer sekvenčna vezja omogočajo zaporedno izvajanje operacij za nadzor nad napravami.

Osnovni gradniki sekvenčnih vezij so bistabilni elementi, ki imajo dve stabilni stanji - 1 (ena) ali 0 (ničla). Najbolj pogosto uporabljen bistabilni element je D-flip-flop, ki vsebuje vhod, izhod ter vhod za sinhronizacijo. Drugi pogosto uporabljeni bistabilni elementi so RS-flip-flop, T-flip-flop in JK-flip-flop.

Na primer, sekvenčna vezja se lahko uporabljajo v digitalnih ure, kjer omogočajo merjenje časa in prikaz pravilne ure. Tudi v avtomobilski industriji se uporabljajo za nadzor delovanja motorja in drugih sistemov avtomobila. V industriji se sekvenčna vezja uporabljajo za avtomatizacijo proizvodnih procesov, nadzor in spremljanje kakovosti ter sledenje inventarju.

Osnovni gradniki sekvenčnih vezij so sestavljeni iz logičnih vrat, ki opravljajo osnovne logične operacije, kot so **in**, **ali** in **negacija**. Čeprav so vrata AND, OR in NOT pogosto sestavni elementi sekvenčnih vezij, v sekvenčnih vezjih pogosto najdemo tudi vrata XOR in NAND.

Skratka, digitalna sekvenčna vezja so ključni gradniki aplikativne elektronike, ki omogočajo izvajanje zaporednih operacij na digitalnih signalih. Z različnimi gradniki in elementi omogočajo shranjevanje podatkov, nadzor nad napravami ter izvajanje številnih drugih funkcij. Uporabljajo se v različnih aplikacijah, kot so pomnilniški bloki, števcji in nadzorni sistemi.

6.1 FLIP-FLOPI

- R-S flip-flop

- D flip-flop
- T flip-flop
- JK ff
- Sinhroni flip - flop (oz. flip - flop z vrati)

6.2 ŠTEVNIKI

Asinhronski števniki Sinhronski števniki

7 POMNILNI IN POMIKALNI REGISTRI

- kaskadna vezava flip-flopov
- D-ff kot pomnilni register
- D-ff kot pomikalni register
- zaporedni vhod
- zaporedni izhod
- vzporedni izhod
- vzporedni vhod

8 UPORABA MIKROKRMILNIKOV

Mikrokrmilniki so postali ključni elementi v svetu sodobne elektronike, predvsem zaradi svoje prilagodljivosti in zmogljivosti. Ti majhni, a zmogljivi čipi služijo kot možgani za številne elektronske naprave, od preprostih gospodinjskih pripomočkov do kompleksnih industrijskih sistemov. V osnovi je mikrokrmilnik majhen računalnik na enem čipu, ki vključuje procesor, pomnilnik in vhodno/izhodne komponente.

Prednosti uporabe mikrokrmilnikov:

- *Večnamenskost in Prilagodljivost:* Mikrokrmilniki so izjemno prilagodljivi in jih je mogoče programirati za izvajanje različnih nalog. To pomeni, da lahko en mikrokrmilnik uporabimo v različnih projektih, s čimer zmanjšamo stroške in kompleksnost zasnove.

- *Miniaturizacija:* Zaradi svoje majhnosti mikrokrmilniki omogočajo razvoj kompaktnih in prenosnih elektronskih naprav.
- *Nizka poraba energije:* Mnogi mikrokrmilniki so zasnovani za delovanje z zelo nizko porabo energije, kar je idealno za baterijsko napajane naprave.
- *Vgrajene funkcije:* Mikrokrmilniki pogosto vključujejo vgrajene komunikacijske vmesnike, kot so UART, SPI, I2C, ki omogočajo enostavno povezovanje z drugimi napravami in moduli.
- *Digitalna kontrola:* Omogočajo natančno digitalno kontrolo nad analognimi komponentami, kar je ključnega pomena v mnogih sodobnih aplikacijah.

Slabosti uporabe mikrokrmilnikov:

Zahtevnost programiranja: Za uporabo mikrokrmilnikov je potrebno znanje programiranja, kar lahko predstavlja oviro za nekatere uporabnike.

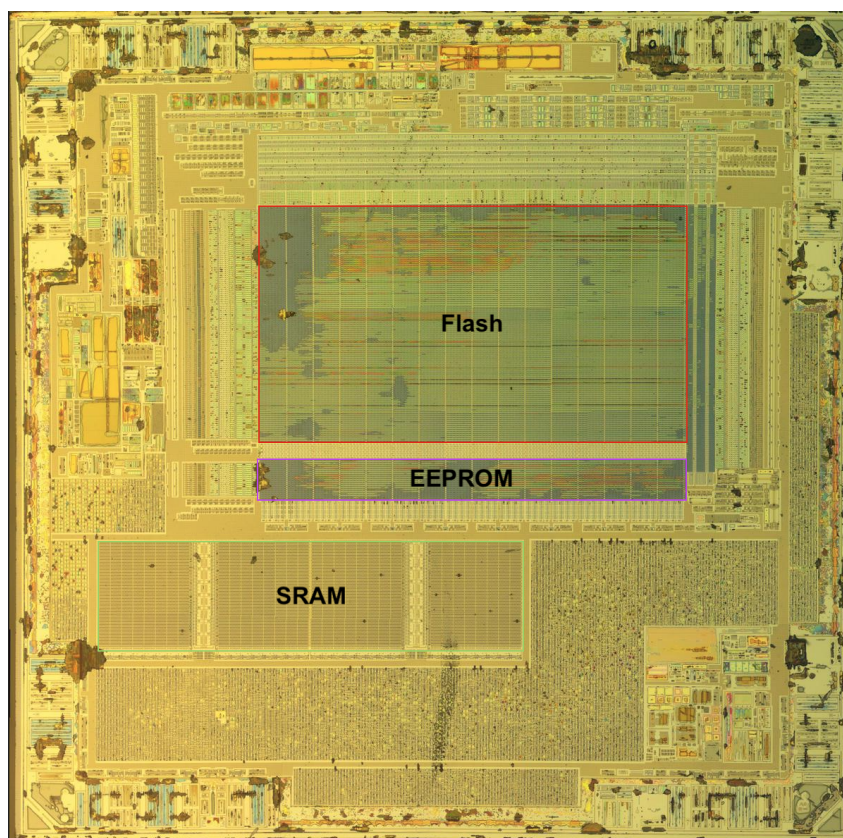
- *Čas razvoja:* Razvoj programske opreme za mikrokrmilnike lahko traja dlje, še posebej pri kompleksnih projektih.
- *Stroški:* Čeprav so cene mikrokrmilnikov na splošno nizke, lahko stroški razvoja programske opreme in potreba po dodatnih komponentah povečajo skupne stroške projekta.
- *Preobremenjenost z možnostmi:* Zaradi velikega števila funkcij in možnosti, ki jih mikrokrmilniki ponujajo, se lahko uporabniki, še posebej začetniki, hitro izgubijo ali preobremenijo.

- *Občutljivost na motnje:* Mikrokrmilniki so lahko občutljivi na elektromagnetne motnje, kar lahko v nekaterih okoljih predstavlja težavo.

V zaključku, mikrokrmilniki nudijo močno platformo za razvoj elektronskih projektov, ki zahtevajo prilagodljivost, inteligenco in kompaktnost. Kljub nekaterim izzivom, kot so programiranje in občutljivost na motnje, njihove prednosti pogosto pretehtajo nad slabostmi, kar jih naredi nepogrešljive v sodobni elektroniki.

8.1 Mikrokrmilnik ATmega238

Mikrokrmilniki so integrirana vezja, z zelo kompleksno notranjo strukturo. Sestavlja jih na milijone tranzistorjev, ki s povezavami in ostalimi osnovnimi elementi sestavljajo smiselne logične sklope. Povečana slika dejanskega integriranega vezja mikrokrmilnika ATmega238 je na sl. 8.1.

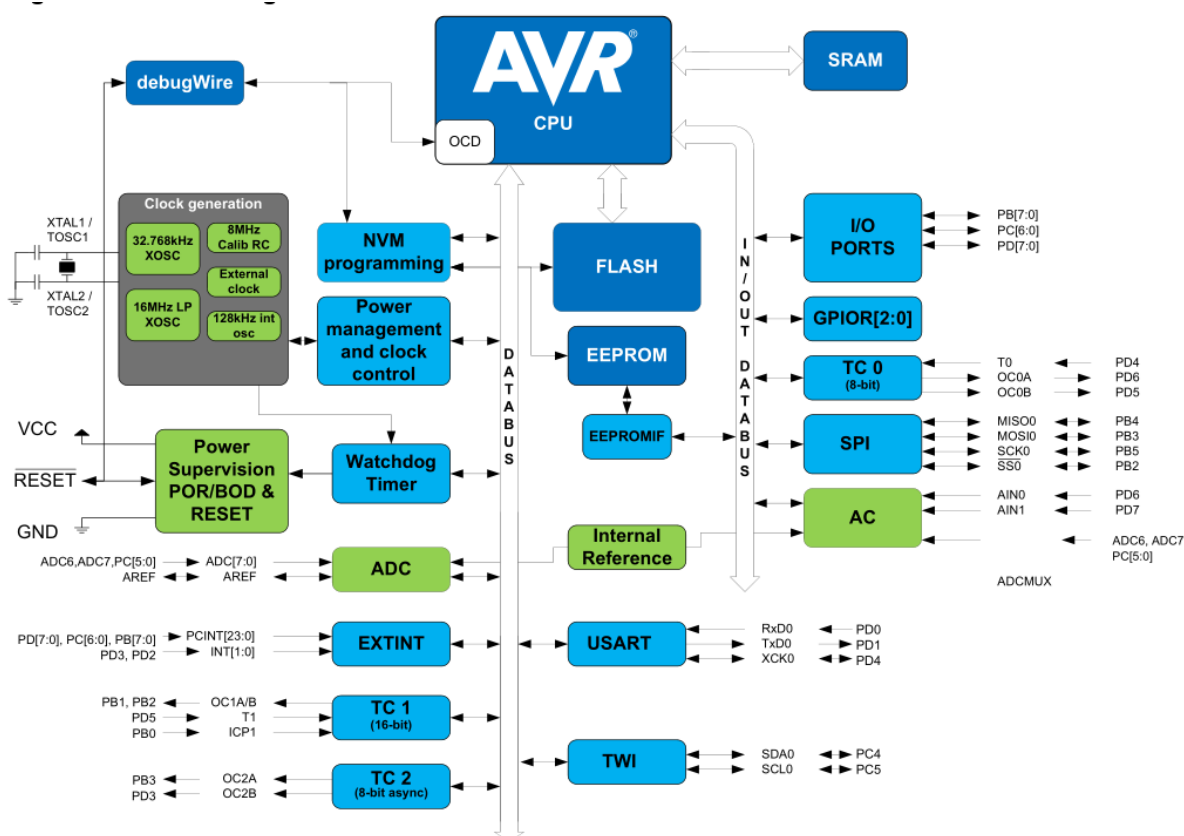


Slika 8.1: Slika vezja mikrokrmilnika ATmega238 na plošči SiO₂

Iz sl. 8.1 je nemogoče razbrati posamezne dele integriranega vezja. Opazimo lahko le večje enake sklope, ki so namenjene spominskim funkcijam. Še bolj podrobno sliko pa si lahko ogledate na povezavi

ATmega238-SiO₂.

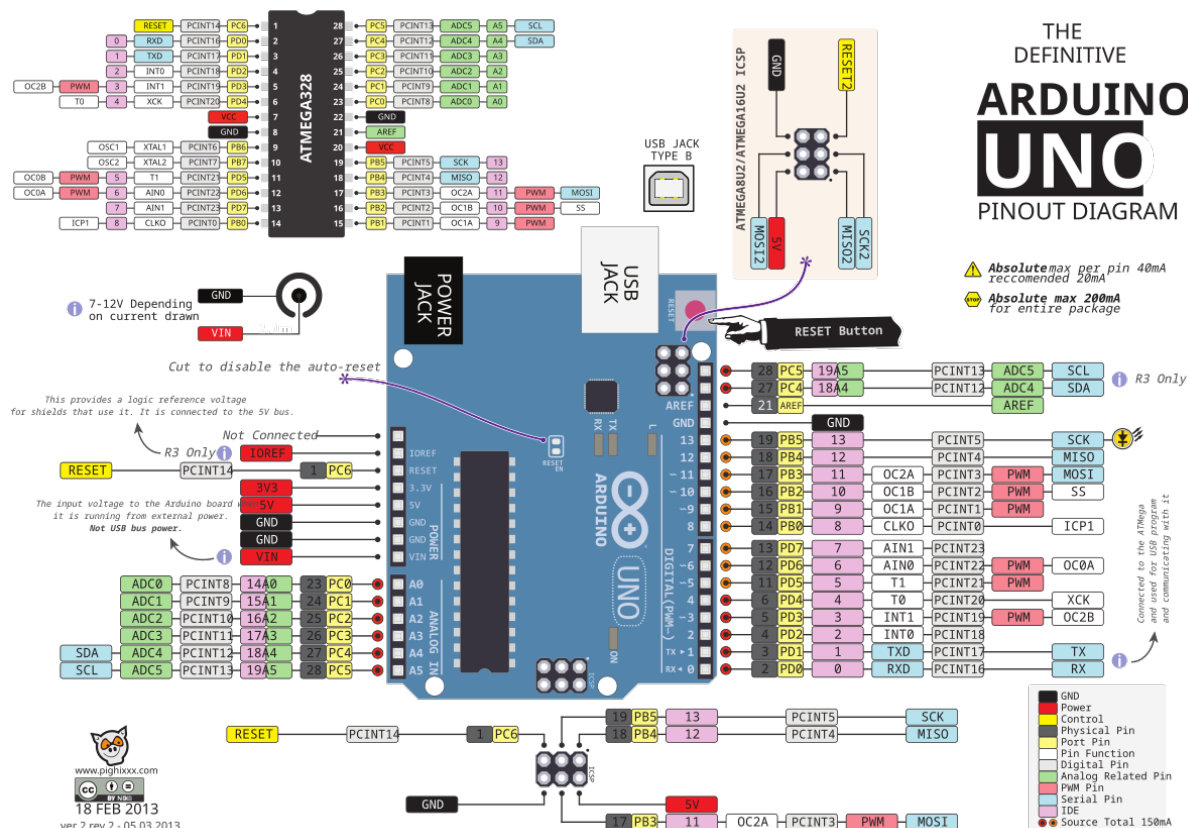
Pri tako kompleksnih vezjih je bolj smiselno, da posamezne logične sklope predstavimo z blokovno shemo. Tako shemo lahko najdemo v navodilih za uporabo mikrokrmilnika **ATmega238**(**ATmega328P_Datasheet:online?**) in je prikazana na sl. 8.2.



Slika 8.2: Blokovna shema mikrokrmilnika ATmega238.

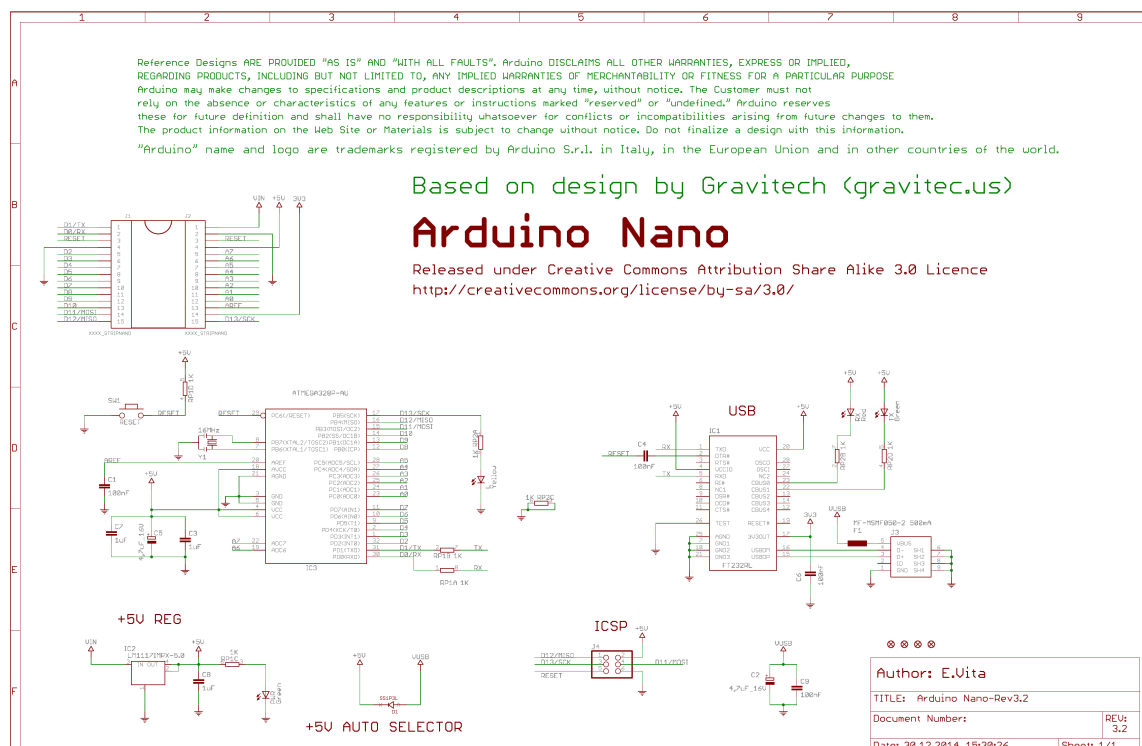
8.2 Krmilnik Arduino UNO

Za projekte, ki vključujejo programabilno elektroniko, pogosto uporabljamo že izdelane krmilnike iz družine Arduino. Na teh vezjih lahko najdemo mikrokrmilnike proizvajalca Atmel. Najbolj pogosto uporabljena krmilnika (Arduino Uno in Arduino NANO) temeljita na mikrikrmilniku Atmega328p. Več o krmilniku Arduino UNO si lahko ogledamo na [spletni strani](#) (Arduino 2025). Shema tega krmilnika je prikazana na sl. 8.3 (2017).



Slika 8.3: Shema krmilnika Arduino UNO.

Krmilnik Arduino UNO ima javno dostopno tehnično shemo, ki služi kot uporabna referenca za razumevanje povezav V/I enot ter načina komuniciranja z ATmega328P. Shema je dostopna na spodnjem spletnem naslovu in jo je mogoče uporabiti za načrtovanje in učne namene (**ArduinoUNO_Schematic2025?**).



Slika 8.4: Shema krmilnika Arduino UNO.

8.3 Sestava mikrokrmilnik

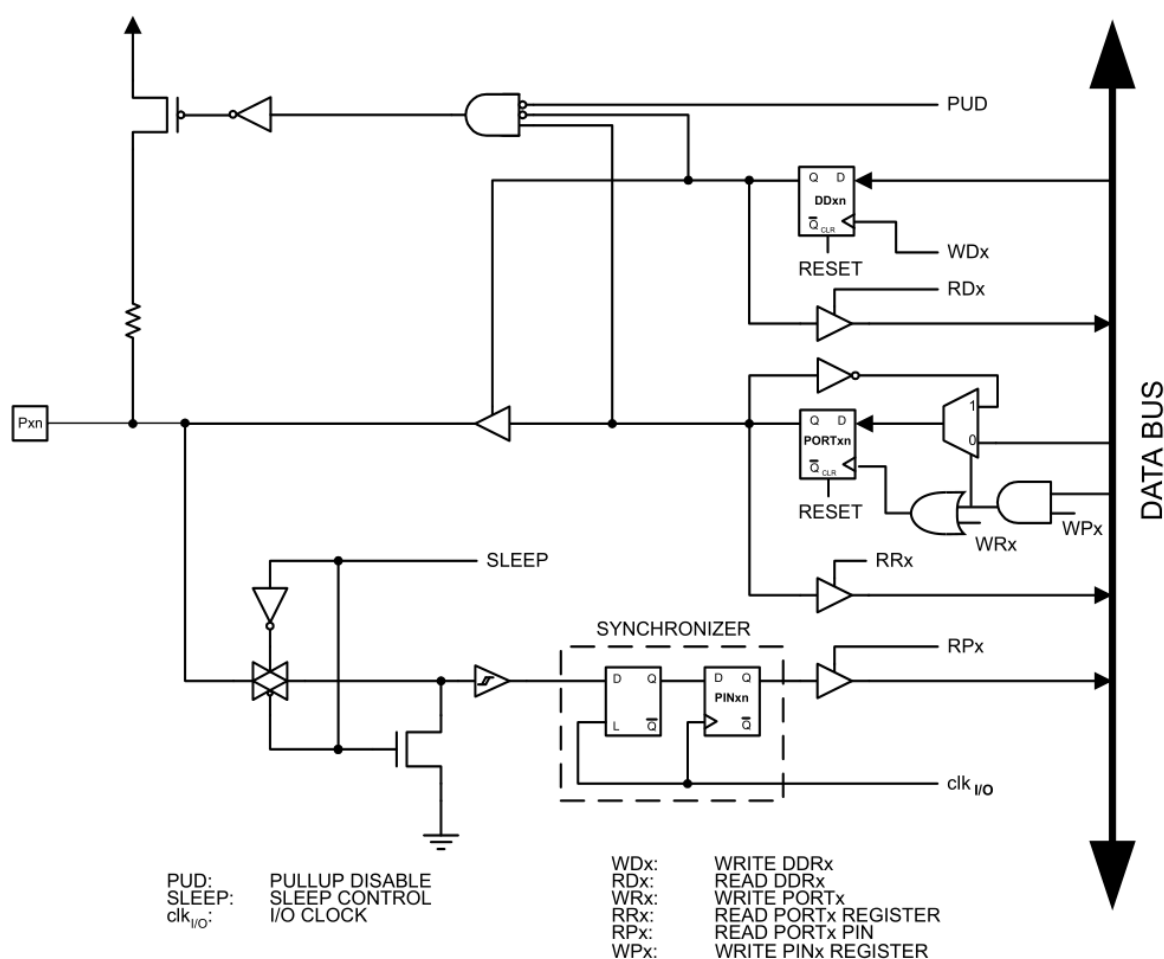
- pregledali smo blokovno shemo mikrokrmilnika (iz datasheeta)
- Primer programske kode - Blink
- pregled registrov, flash, ram, eeprom

Viri in literatura

8.4 VHODNO-IZHODNE ENOTE

Ta poglavje predstavlja osnovne vhodno-izhodne (V/I) enote mikrokrmilnikov, s posebnim poudarkom na mikrokrmilniku ATmega328P, ki je vgrajen v razvojno ploščo Arduino UNO. ATmega328P omogoča tri skupine I/O vrat (angl.: port: PORTB, PORTC in PORTD). Vse te enote in njihove priključke lahko uporabljamo kot vhodne funkcije ali pa kot izhodno. Če priključek uporabljamo kot vhod, to

pomeni, da lahko s tem priključkom odčitamo napetostni potencial, ki je na tem priključku. Lahko si predstavljamo, da v tem primeru tak priključek uporabljamo kot volt-meter. V kolikor želimo napetostni potencial na priključku krmiliti (t.j. programsko nastaviti), moramo priključek nastaviti na izhodno funkcijo. To funkcionalnost lahko nastavimo v registru **DDRx**, v Arduino IDE okolju pa s funkcijo **pinMode(5, OUTPUT)** (če gre za priključek številka 3 in izhodno funkcijo). Za natančne tehnične podrobnosti so zanesljivi viri podatkov ATmega328P in dokumentacija Arduina ((Microchip) 2016). Bolj natančna shem V/I priključka je prikazana na sl. 8.5.



Slika 8.5: Stikalna shema posameznega V/I priključka na mikrokrmilniku ATmega328.

8.5 Izhodne enote

Pregledeali in v SimulIDE smo naredili nekaj primerov - Arduino UNO pinout - ATmega328 - izhodne enote (primer blink) - nastavitvev z registri (PORTB = 0b00100000) , DDRD... PINB - največji tok (source,

sink)

- primer uporabe s 7-segmentnim LED displayem (CA, CC)

8.5.1 Uporaba DAC-a

- primer... ESP32
- `analogWrite(11, 123)` - za Arduino UNO
- ... PWM -> RC člen -> sledilnik napetosti -> tranzistor kot emitorski sledilnik.

8.5.2 PWM

- krmiljenje moči na LED
- za krmiljenje MOTORJA potrebujemo -> TR
 - induktivna bremena potrebujejo diodo proti napajanju,

Viri in literatura

8.6 VHODNE ENOTE

Digitalni vhod sprejema dva osnovna logična nivoja: LOW (nizki napetostni potencial) in HIGH (visoki napetostni potencial). Logični nivo LOW ustreza podatku logične ničke in HIGH predstavlja logično enico. Pri napajalni napetosti $V_{CC} = 5\text{ V}$ sta ta dva nivoja pogosto v območju:

- Napetostni nivo LOW: $V_{IL,max} = 0.3 V_{CC} = 0.3 \cdot 5 = 1.5\text{ V}$,
- Napetostni nivo HIGH: $V_{IH,min} = 0.6 V_{CC} = 0.6 \cdot 5 = 3.0\text{ V}$.

V praksi to pomeni, da so razponi za logične ravni naslednji: $0\text{ V} \leq V \leq 1.5\text{ V}$ interpretirani kot LOW, in $3.0\text{ V} \leq V \leq 5\text{ V}$ interpretirani kot HIGH. Te meje so opredeljene v podatkovnem listu ATmega328P in so temelj za pravilno branje stanja vhodnih pinov ((Microchip) 2016).

8.6.1 Branje digitalnega vhoda

Za branje digitalnega vhoda lahko v razvojnem okolju Arduino IDE uporabimo funkcijo `digitalRead()`. Funkcija vrne vrednost HIGH ali LOW, pri čemer je stanje odvisno od napetosti na vhodnem pinu.

8.6.2 Uporaba upora proti napajanju

Kadar je vhodni pin nastavljen kot vhod, lahko aktiviramo notranji pull-up upor, s čimer preprečimo nestabilnost zaradi "floating" ravni. To izvedemo z zapisom $PORTx = 1$ pri $DDRx = 0$. To omogoča stabilen signal brez dodatnih zunanjih komponent, kar je uporabno pri stikalu ali gumbih, ki so povezani na Vcc ali na tla. (Dodatne podrobnosti so navedene v datasheetu in v Arduino referenci ((Microchip) 2016; Arduino 2014).)

8.6.3 Elastične lastnosti preklopnih elementov

Napredna opomba o stikalu: pri mehanskih stikalih je treba upoštevati pojav odbijanja kontaktov, ki lahko povzroči več ločenih preklapov v kratkem času. Ta pojav je običajno naslovljen s tehnikami "debouncing" (softversko ali strojno), da se pravilno interpretira en sam preklop. Upoštevati ga je pri načrtovanju vhodnih enot in programske logike ((Microchip) 2016).

8.7 KOMUNIKACIJSKI VMESNIKI

8.8 Serijski periferni vmesnik

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) je asinhroni serijski komunikacijski protokol, ki omogoča izmenjavo podatkov med dvema sistemoma brez skupnega urinega takta (clock-a). Uporablja dve vodili: TX (transmitter) in RX (receiver), pri čemer je linija med oddajanjem v stanju pripravljenosti (idle) običajno v višjem napetostnem stanju. Zaporedje bitov v enkratnem prenosu vključuje: startni bit, podatkovne bite, morebitni paritetni bit in končni stop-bit; zaporedje je zapisano kot 8N1 (8 podatkovnih bitov, brez paritete, 1 stop bit) ali po izbiri različice z dodatnimi možnostmi ((Microchip) 2016). Baud predstavlja hitrost zaporedja bitov (hitrost prenosov), tj. število bitov na sekundo, kar določa čas trajanja enega bita.

- Zaporedje bitov v 8N1: Startni bit (0), 8 podatkovnih bitov (D0–D7, pri večini mikrokontrolerov v vrstnem redu z začetnim LSB bitom najprej) in stopni bit (1). Paritetni bit ni prisoten v osnovni 8N1 konfiguraciji. Ti parametri so definirani v podatkovnem listu MCU-ja ((Microchip) 2016).
- Baud: določena je s hitrostjo zaporedja bitov; primeri so 9600, 115200, itd. V času prenosa se bit trajanje izračuna kot $t_{\text{bit}} = 1/\text{baud}$ sekund, kar v praksi pomeni, da en okvir (start + 8 podatkovnih + stop) traja približno $t_{\text{frame}} = 10 \cdot t_{\text{bit}}$ sekund, če uporabljamo 8N1. Ta odnos je odvisen od zasnove UART modula in načina generacije baud-a (normalni način ali z dvokrožnim hitrostnim načinom) ((Microchip) 2016).

- Idle stanje: ko linija ni v prenosu, je največkrat na logični ravni 1 (HIGH), kar omogoča zaznavo začetka prenosa z zaznavanjem prehoda z HIGH na LOW (startni bit). To je standardna posledica načina delovanja USART-razreda v večini mikrokontrolerov, vključno z ATmega328P ((Microchip) 2016).
- Praktična uporaba na Arduino UNO: UART/serijska komunikacija se navadno uporablja preko registrov USART ali preko knjižnice Serial, ki temelji na tem osnovnem frame-u. Za primeren razumevanje se pri Arduino okolju pogosto uporablja 8N1 okvir in standardne hitrosti (npr. 9600 ali 115200 baud) (**ArduinoUnoRev3_Reference?**; (Microchip) 2016).
- Poudariti je potrebno, da lahko pri daljšem prenosu ali hitrosti pride do napačne sinhronizacije, če se baud nastavitev popolnoma ne ujema na obeh straneh komunikacijskih naprav ali če vhodni signal obremenjen s šumom ali odbojnega efekta.
- struktura podatkovnega protokola
- $U_{UART}(t)$
- Serial.print("M") - osciloskop
 - analiza 0b10110010 - 77 - "M"
 - ASCII tabela
 - male črke - spremenjen en bit
- Amplitudna modulacija z logičnimi vrati
 - sprejemnik **TSOP1638**
 - Nosilna frekvenca
 - AND, OR (negacija)
 - LED (priključitev proti napajanju = negacija)

8.9 I2C

- 1 - strojna šreitev, da lahko dve naprav komunikira po isti liniji,
- 2 - protokol...

8.10 IoT

8.10.1 Internet stvari (IoT)

Internet stvari (Internet of Things ali IoT) označuje mrežo fizičnih naprav, vozil, gospodinjstskih aparatov in drugih predmetov, ki so povezani v internet in med seboj izmenjujejo podatke. Vsaka IoT naprava

je opremljena s senzorji, programsko opremo in drugo elektroniko, ki omogoča zbiranje, obdelavo in prenos podatkov preko omrežja brez človeškega posredovanja.

Primeri iz vsakdanjega življenja:

Pametna ura: Beleži naš srčni utrip, število korakov in lokacijo ter podatke pošilja na aplikacijo v telefonu.

Pametni termostat: Prilagaja temperaturo v domu glede na uporabnikove navade, pri čemer prihrani energijo.

Pametne luči: Povezane s pametnim telefonom ali glasovnim pomočnikom omogočajo nadzor nad osvetlitvijo na daljavo ali samodejno ugašanje glede na prisotnost ljudi.

8.10.1.1 Ključne komponente IoT naprave

so povezane z njihovimi osnovnimi funkcijami zajemanja in posredovanja podatko ter krmiljenje aktuatorjev:

- **Senzorji:** Zbirajo podatke iz okolja (npr. temperatura, gibanje, svetloba, vlažnost).
- **Mikrokrmilniki in programska oprema:** Mikrokrmilniki obdelajo podatke iz senzorjev. Programska oprema določa, kako se podatki obdelajo, shranijo ali posredujejo.
- **Komunikacijski modul:** Omogoča, da naprava vzpostavi povezavo z omrežjem in izmenjuje podatke. Tipične tehnologije za IoT so Wi-Fi, Bluetooth, LTE, LoRaWAN in Zigbee.
- **Shranjevanje in obdelava podatkov v oblaku:** Večina IoT naprav uporablja oblačne storitve za shranjevanje in obdelavo podatkov.

Primer:

Pametni hladilnik ima temperaturne senzorje, ki merijo notranjost temperature. , če je notranjost preveč topla. Procesor analizira te podatke in, če je potrebno, preko Wi-Fi povezave pošlje obvestilo uporabniku na telefon, da preveri delovanje hladilnika.

8.10.1.2 Kako IoT naprave komunicirajo?

IoT naprave so pogosto povezane v omrežja z uporabo različnih protokolov. Osnovni tip komunikacije poteka med:

- **Naprava-naprava (D2D):** Na primer, ko pametni termostat pošlje podatke pametnemu zračnemu filtru, da prilagodi stopnjo filtracije zraka glede na kakovost zraka.
- **Naprava-strežnik (D2S):** Ko pametna zapestnica pošlje podatke na strežnik ali oblak, kjer so ti podatki analizirani.

- **Naprava-uporabnik (D2U):** Na primer, ko pametni alarm pošlje obvestilo uporabniku v aplikaciji na telefonu.

Primer:

Pametna varnostna kamera deluje na načelu komunikacije naprava-strežnik. Ko zazna gibanje, posnetke pošlje v oblak, od koder jih uporabnik lahko kadarkoli pregleda preko mobilne aplikacije.

8.10.1.3 Varnost in zasebnost v IoT

Varnost in zaščita podatkov sta ključnega pomena, saj so IoT naprave izpostavljene možnim zlorabam. Številne naprave zbirajo osebne podatke (lokacijo, zdravstvene podatke), kar pomeni, da je njihova zaščita bistvena za varovanje zasebnosti. Težave se pogosto pojavljajo zaradi naslednjih dejavnikov:

- **Nezavarovane naprave:** Šibka zaščita gesel ali pomanjkanje enkripcije omogoča hekerjem, da vdrejo v naprave.
- **Povezave brez enkripcije:** Prenos podatkov brez šifriranja lahko vodi do prestrežanja informacij.
- **Redke posodobitve programske opreme:** IoT naprave pogosto nimajo rednih varnostnih posodobitev, kar jih naredi ranljive za napade.

Primer:

Pametni dom: Pametne ključavnice, kamere, termostati in luči so lahko tarča hekerjev. Če heker dobi dostop do domačega omrežja, lahko nadzoruje te naprave ali celo prestreže komunikacijo. Zato je nujno, da se uporablja šifriranje podatkov in redno posodablja varnostne nastavitve.

8.10.1.4 Primeri uporabe IoT v različnih panogah

- **Zdravstvo:** Pametne naprave, kot so monitorji srčnega utripa in pametne zapestnice, omogočajo zdravnikom, da v realnem času spremljajo stanje pacientov.
- **Industrija:** Pametni senzorji na proizvodnih linijah spremljajo delovanje strojev in napovedujejo napake, kar prepreči drage izpade.
- **Kmetijstvo:** Senzorji za vlago v tleh in pametni sistemi namakanja pomagajo kmetom optimizirati porabo vode in povečati pridelke.

Primer:

Pametna kmetija: Kmet uporablja IoT naprave za spremljanje temperature in vlažnosti tal, s či-

mer zagotovi optimalne pogoje za rast pridelkov. Senzorji samodejno aktivirajo namakanje, ko je raven vlage prenizka, kar prihrani vodo in poveča donos.

8.10.1.5 Prihodnost IoT in trendi

IoT se hitro razvija in se pričakuje, da bo postal ključni del našega vsakdana. Nekaj trenutnih trendov vključuje:

- **Pametna mesta:** Semaforji, ki prilagajajo svetlobne signale glede na prometne razmere, in sistemi za spremljanje kakovosti zraka.
- **5G in IoT:** Povezava IoT naprav s 5G omogoča hitrejšo prenos podatkov in povezavo večjega števila naprav hkrati.
- **Edge computing:** Del obdelave podatkov poteka na samih napravah (»na robu«), kar zmanjša potrebo po prenosu podatkov v oblak in omogoča hitrejšo odzivno čas.

Primer:

Pametno mesto uporablja IoT za nadzor prometa, kjer senzorji spremljajo prometne tokove in obremenitve cest. Glede na podatke o prometu lahko mestna uprava v realnem času prilagodi semaforje ali obvešča voznike o alternativnih poteh preko digitalnih prometnih znakov.

8.10.1.6 Povzetek

Internet stvari (IoT) omogoča povezavo in avtomatizacijo različnih naprav, kar izboljšuje naš vsakdan in optimizira poslovne procese. Zaradi vse večjega števila IoT naprav pa postajata varnost in zaščita zasebnosti ključna dejavnika za prihodnost tega področja.

Vaja za študente: Sestavite preprosto IoT omrežje z dvema ali več napravami (npr. senzor temperature in pametni rele). Povežite naprave kot so ESP32 ali Raspberry Pi in uporabite platformo za upravljanje IoT naprav (npr. [Home Assistant](#)), kjer bodo lahko naprave izmenjavale podatke.

9 DRUGA UPORABNA VEZJA

9.1 Napetostni regulatorji

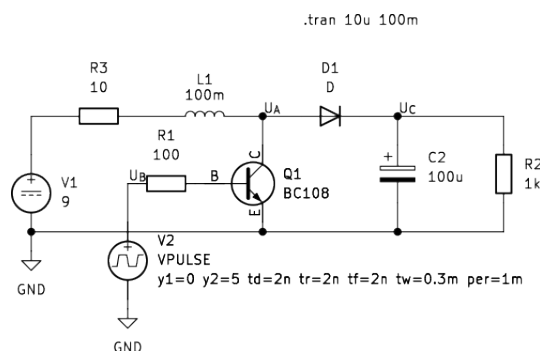
- 7805

9.1.1 TL431

- nastavljiva zener dioda
- IC (opamp, referenca, tr)
- [tutorial](#)

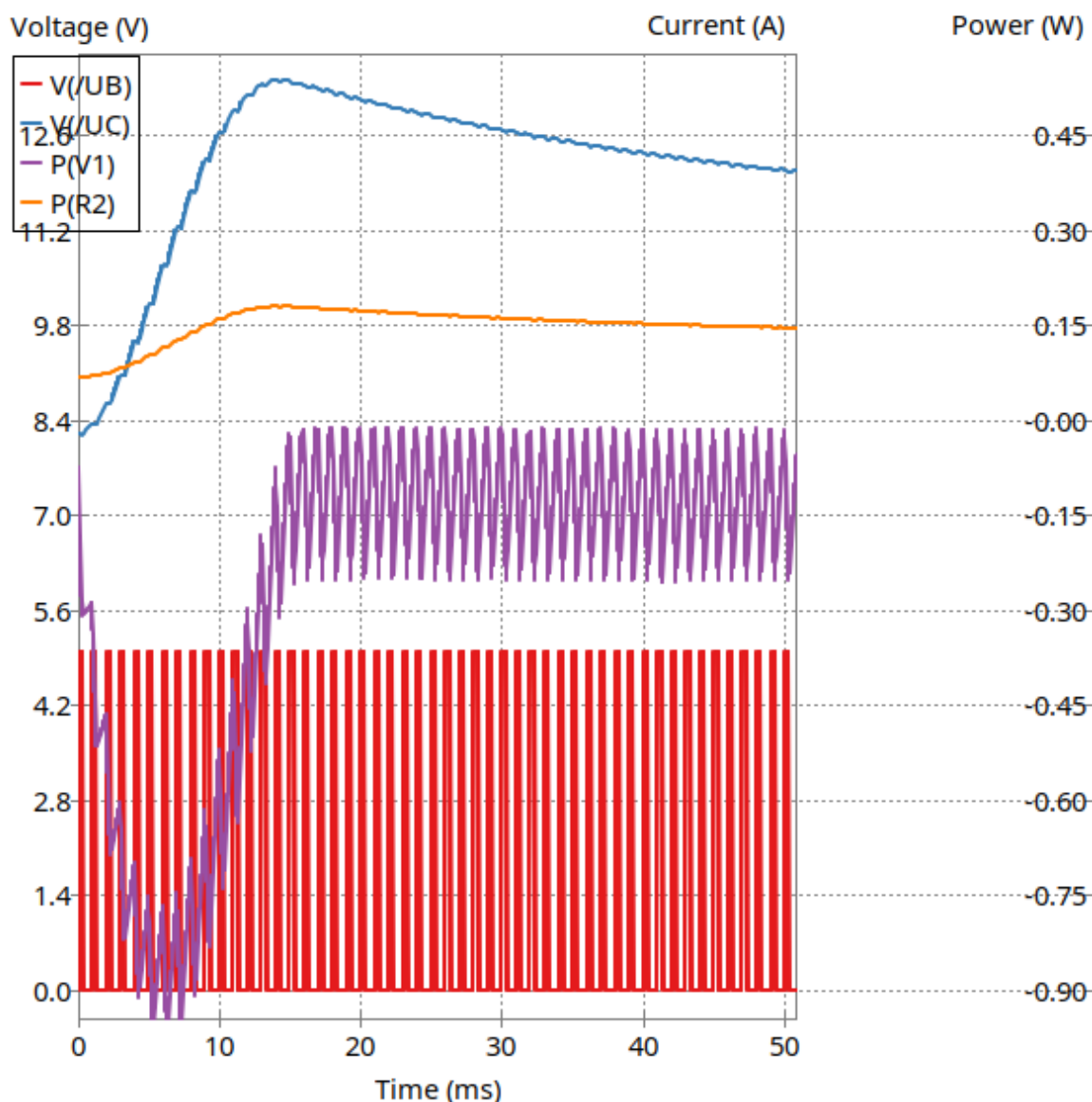
9.1.2 Pretvornik za zviševanje napetosti

Osnovni princip delovanja pretvornika za zvišanje napetosti je, da poveča izhodno napetost z energijo, ki jo predhodno shranimo v tuljavo. Ko tranzistor prevaja, skozi tuljavo teče električni tok, ta povzroči magnetno polje v tuljavi. Ko pa tranzistor ne prevaja več in tok skozi tuljavo ne teče več, začne magnetno polje v tuljavi kolapsirati in se zato inducira napetost na priključkih tuljave. Smer inducirane napetosti je enaka kot polarizacija napetostnega vira na katero je tuljava priključena in zdi, kot da bi bila zaporedno vezana dva napetostna vira. Če ta presežek oddamo preko diode na kondenzator, se napetost na kondenzatorju zviša nad napetost napetostnega vira (Erickson and Maksimovic 1999).



Slika 9.1: Shema preprostega pretvornika za zvišanje napetosti.

... in še sl. 9.2 z nekaj ključnimi napetostmi: krmilnega signala, izhodne napetosti, moč napetostnega vira in moč na bremenskem uporu R_2 .



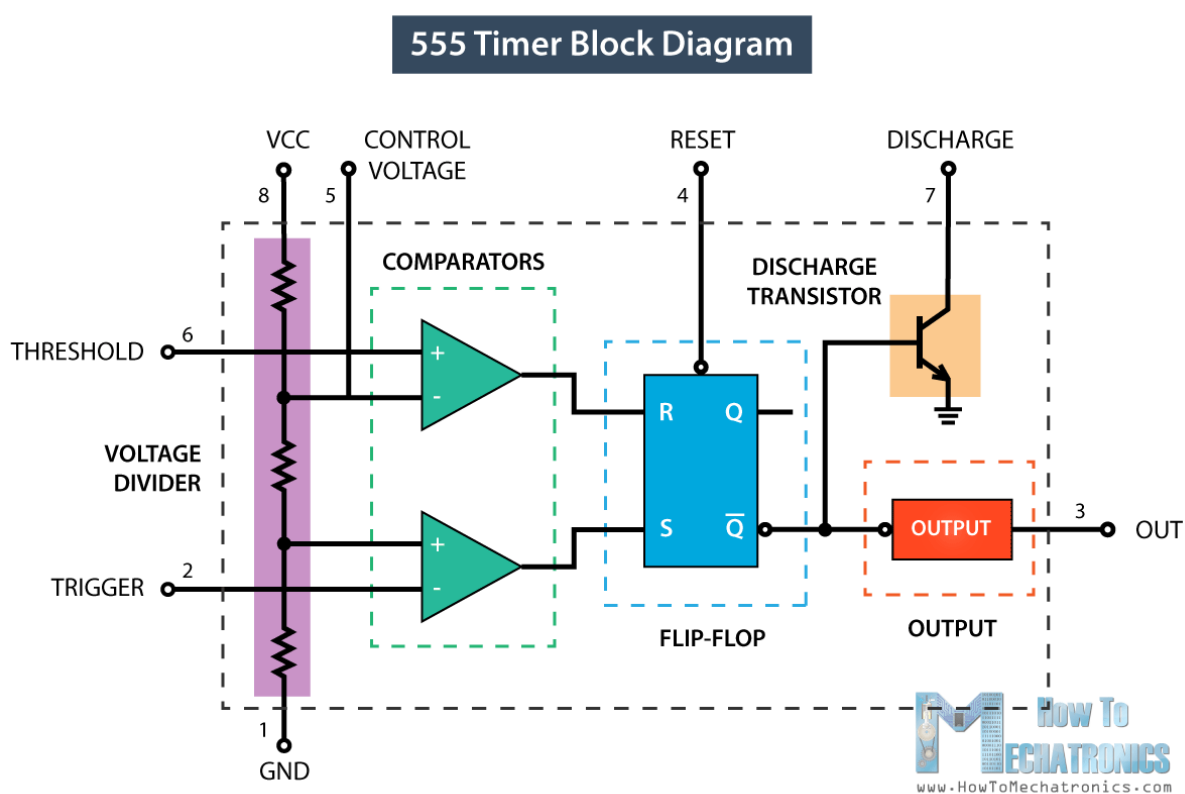
Slika 9.2: Graf izhodne napetosti na bremenskem uporu R_2 .

9.2 NE555

NE555 je vsestransko integrirano vezje, ki omogoča generiranje impulzov in oscilacij v različnih konfiguracijah (monostable, astable, bistable). Notranja arhitektura vključuje dva operacijska oječevalnika v konfiguraciji komparatorja napetosti (s primerjalnim potencialom $2/3 V_{cc}$ in pri $1/3 V_{cc}$), SR-flip-flop,

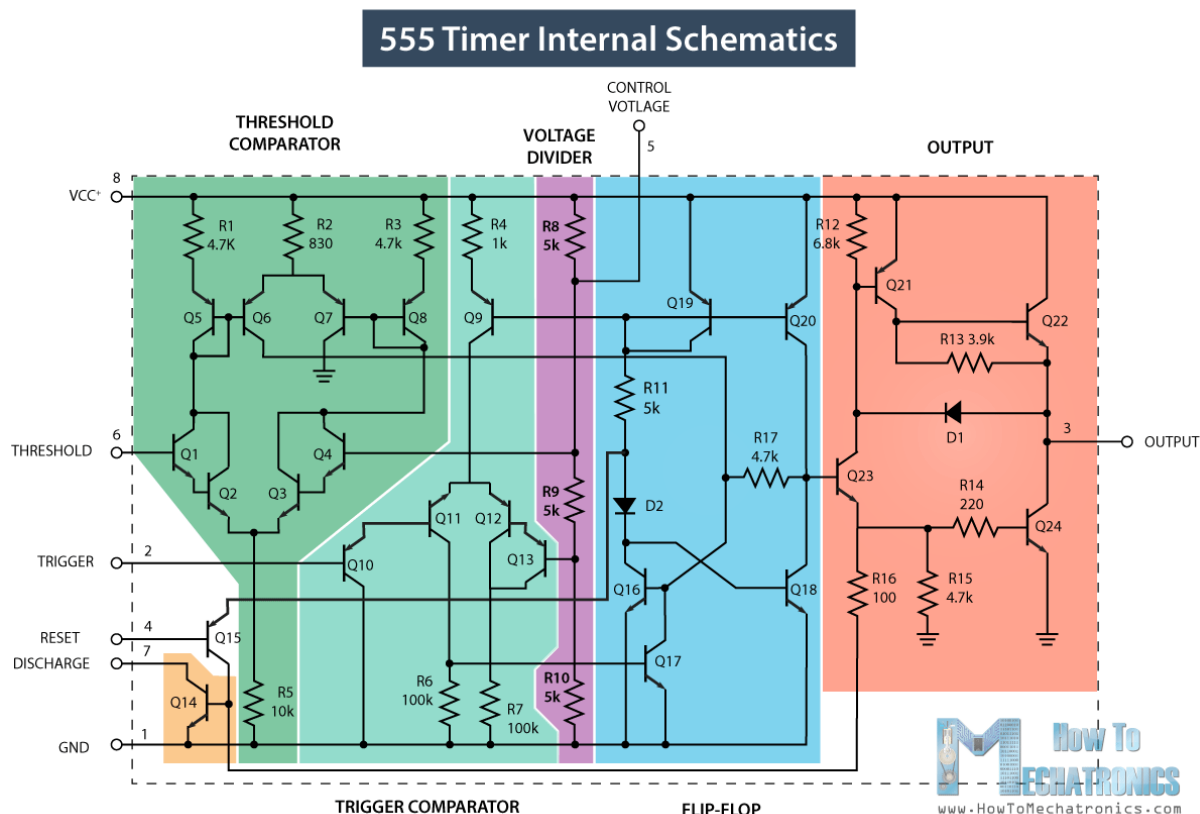
tranzistor z odprtim kolektorjem in izhodno enoto s komplementarnima tranzistorjema (Instruments 1972).

Blokovna shema je prikazana na sl. 9.3.



Slika 9.3: Blokovna shema NE555.

Bolj pododobna shema tega vezja pa na sl. 9.4.

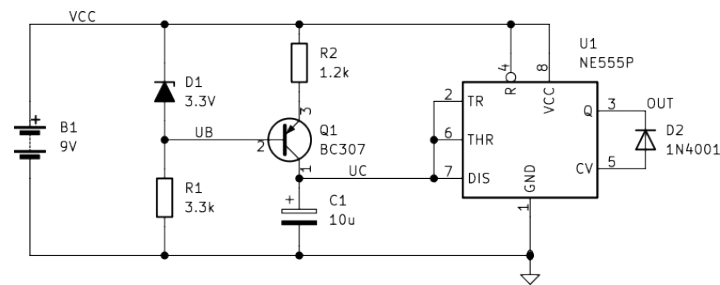


Slika 9.4: Shema vezja NE555.

Več in bolj podrobne informacije o delovanju tega vezja lahko najdete na [HowToMechatronics](http://HowToMechatronics.com) (Dejan 2018).

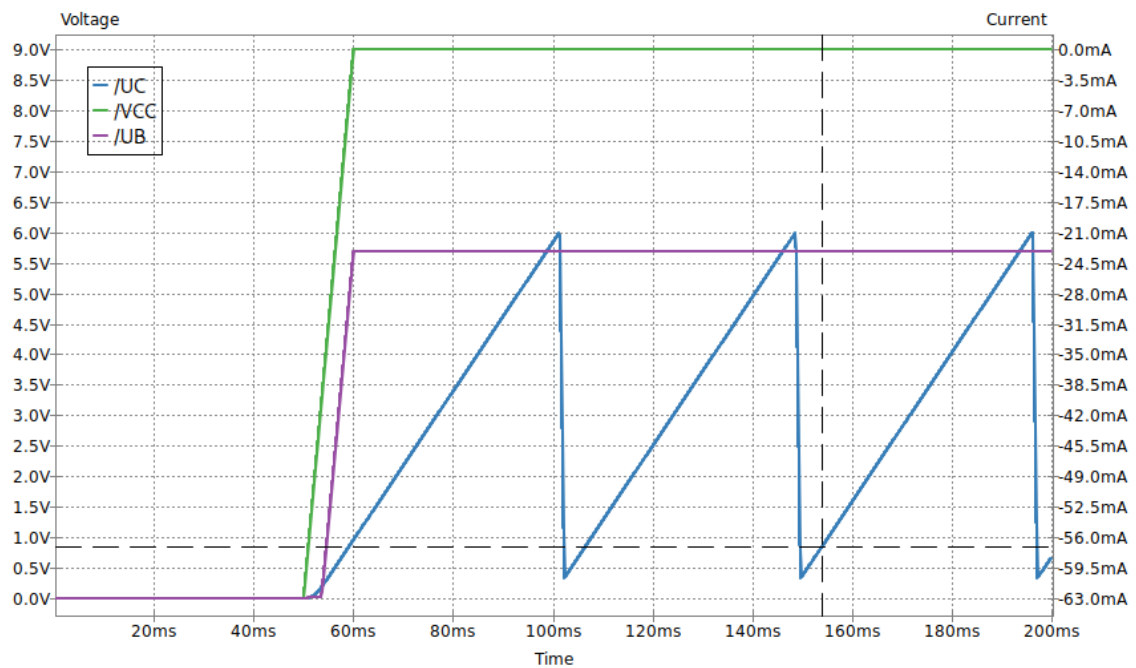
9.2.1 Generator trikotniške napetosti

Za generiranje trikotniške napetosti lahko izkoristimo lastnost kondenzatorja, da je napetost na kondenzatorju odvisna od: $U_C(t) = \frac{q(t)}{C}$. Torej, če se naboj na kondenzatorju spremeni, se bo tudi napetost na kondenzatorju spremenila. Če lahko naboj enakomerno povečujemo: $\frac{\Delta q}{t} = k$, po tem se bo tudi napetost U_C enakomerno povečevala. Ker je $I = \frac{\Delta q}{t}$, to pomeni, če kondenzator polnimo s konstantnim tokom, bomo na kondenzatorju dobili enakomerno povečevanje napetosti. Torej kondenzator moramo priključiti na tokovni vir.



Slika 9.5: Shema tokovnega vira s PNP tranzistorjem in praznjenje kondenzatorja z NE555.

Na zadnje nam ostane še problem, da moramo naboj kondenzatorja odvesti (izprazniti) in cikel se lahko ponovi. Tako U_C ustreza trikotniški napetosti.



Slika 9.6: Trikotniška napetost na kondenzatorju.

10 NAČRTOVANJE OHIŠJA ZA ELEKTRONSKO VEZJE

To poglavje je namenjeno praktičnemu vodenju skozi celoten postopek načrtovanja elektronskega vezja in pripadajočega ohišja. Bralca vodi od začetnega načrtovanja v programu KiCAD, kjer že v fazi električne sheme in postavitve tiskanega vezja upoštevamo mehanske zahteve, do prenosa podatkov v FreeCAD in načrtovanja ohišja, primerne za izdelavo. Poglavje je zasnovano kot priročnik: poudarek je na zaporedju korakov, praktičnih odločitvah in tipičnih pasteh, s katerimi se srečamo pri realnih projektih iz elektronike.

10.1 Načrtovanje vezja v programu KiCAD

Načrtovanje ohišja se v praksi ne začne v mehanskem CAD-orodju, temveč že pri načrtovanju elektronskega vezja. Zato je smiselno, da že v programu KiCAD postavimo osnovne smernice, ki bodo kasneje omogočile enostavno in smiselno izdelavo ohišja.

Postopek se začne z izdelavo električne sheme. Pri tem je priporočljivo uporabljati realne gradnike, ki imajo definirana ustrezna podnožja (angl. footprint) in, kadar je mogoče, tudi pripadajoče 3D modele. Vgrajena knjižnica KiCAD ponuja osnovni nabor elementov, za zahtevnejše projekte pa pogosto posežemo po zunanjih virih. Zelo razširjeni so odprtokodni repozitoriji (npr. SnapEDA, Ultra Librarian, GrabCAD), kjer lahko najdemo tako podnožje-e kot 3D modele (STEP ali VRML) za številne komercialne komponente. Pri uporabi zunanjih gradnikov je nujno preveriti skladnost dimenzij z dejanskimi komponentami.

Praktična opomba:

podnožje, ki je električno pravilen, je lahko mehansko popolnoma neustrezen. Preden element uporabimo v projektu, je priporočljivo preveriti mehanske mere v podatkovnem listu proizvajalca.

Slika: Primer izbire elektronskega gradnika z ustreznim podnožje-om in 3D modelom v KiCAD-u.

Posebno pozornost je treba nameniti komponentam, ki bodo v neposrednem stiku z ohišjem: konektorjem, gumbom, stikalom, LED diodam in prikazovalnikom. Njihov položaj v shemi sicer ni kritičen, je pa odločilen pri kasnejši postavitvi na tiskanem vezju.

Praktična opomba:

Konektor, ki je v shemi postavljen pravilno, je lahko na PCB-ju neuporaben, če ni poravnan z robom vezja ali če njegova višina presega razpoložljiv prostor v ohišju.

Ko je shema zaključena, sledi prehod na načrtovanje PCB-ja. V tej fazi že zavestno razmišljamo o pritrditvi vezja v ohišje. Na tiskanem vezju je treba predvideti montažne luknje, ki omogočajo mehansko pritrditev PCB-ja na distančnike ali nosilce v ohišju. Montažne luknje običajno niso električno povezane z vezjem, vendar morajo biti pravilno dimenzionirane glede na izbrane vijake in toleranco izdelave. Položaj teh lukenj določa osnovne referenčne točke za kasnejše mehansko načrtovanje.

Praktična opomba:

Če montažnih lukenj ne predvidimo že v KiCAD-u, jih kasneje v mehanskem modelu ne moremo natančno referencirati, kar pogosto vodi v slabo prileganje PCB-ja v ohišje.

Slika: PCB vezje z označenimi montažnimi luknjami in robom vezja (Edge.Cuts).

Obliko tiskanega vezja definiramo s plastjo Edge.Cuts. Pri tem ni nujno, da je vezje pravokotne oblike; pogosto se prilagodi razpoložljivemu prostoru v ohišju ali ergonomskim zahtevam. V tej fazi je priporočljivo razmišljati tudi o višini komponent, saj bodo te kasneje vplivale na višino ohišja in notranji razpored.

Tipična napaka:

Načrtovalec upošteva tloris PCB-ja, zanemari pa višino najvišje komponente, kar vodi v ohišje, ki ga po izdelavi ni mogoče zapreti.

10.1.1 3D podpora v KiCAD-u in izgradnja PCB-ja

Ko je postavitev komponent zaključena, lahko uporabimo 3D-pogled v KiCAD-u za osnovno prostorsko preverjanje. 3D-pogled omogoča hiter vizualni pregled razporeditve komponent, njihovo višino in medsebojne razdalje. Če so k podnožje-om pravilno povezani 3D modeli, lahko že na tej stopnji zaznamo morebitne težave, kot so previsoki elementi ali neustrezno orientirani konektorji.

Slika: 3D-pogled tiskanega vezja v KiCAD-u z vsemi nameščenimi komponentami.

V primeru, da izbrani podnožje nima pripadajočega 3D modela, ga lahko dodamo ročno. KiCAD omogoča povezavo podnožje-a z zunanjim 3D modelom v formatu STEP ali VRML. S tem zagotovimo, da

bo tudi končni 3D-model PCB-ja čim bolj skladen z realnim stanjem. 3D-model elementa lahko načrtujemo sami v programu, kot je FreeCAD, pogosteje pa ga poiščemo na spletnih portalih, kot je [SnappEDA](#).

Praktična opomba:

Manjkajoč ali napačen 3D model ne vpliva na delovanje vezja, lahko pa povzroči resne težave pri načrtovanju ohišja.

Ko smo zadovoljni z zasnovo PCB-ja, lahko celotno tiskanino izvozimo v STEP format. Izvoz STEP datoteke predstavlja ključno vez med elektronskim in mehanskim delom projekta. V STEP datoteki so zajeti oblika tiskanega vezja in vsi 3D modeli komponent, kar omogoča natančen uvoz v mehanski CAD-program.

Slika: Izvoz PCB vezja v STEP format iz programa KiCAD.

10.2 Načrtovanje ohišja v programu FreeCAD

Izvoženo STEP datoteko tiskanega vezja uvozimo v program FreeCAD. Uvoženi model obravnavamo kot referenčno geometrijo, ki določa zunanje meje in ključne položaje komponent. Priporočljivo je, da referenčni model zaklenemo ali jasno ločimo od lastnih konstrukcijskih elementov, da se izognemo nenamernim spremembam.

Slika: Uvoz STEP modela PCB-ja v delovni prostor FreeCAD-a.

Načrtovanje ohišja se začne z osnovno prostorsko razporeditvijo. Najprej določimo minimalne notranje dimenzije ohišja, ki morajo omogočati nemoteno namestitev PCB-ja, komponent in pritrdilnih elementov. Nato postopoma dodajamo konstrukcijske elemente, kot so nosilci za montažne luknje, stene ohišja in odprtine za konektorje, gumbe ali prikazovalnike.

Praktična opomba:

Pri načrtovanju nosilcev za montažne luknje je smiselno uporabiti iste referenčne točke kot v KiCAD-u, saj to omogoča natančno poravnavo PCB-ja v ohišju.

FreeCAD omogoča parametrično modeliranje, kar je posebej uporabno pri projektih, kjer se lahko PCB še spreminja. Dimenzije ohišja, položaji odprtin in višine nosilcev lahko povežemo z osnovnimi parametri, kar omogoča hitro prilagoditev ohišja ob spremembi vezja.

Tipična napaka:

Ohišje je modelirano brez parametrov, zato že manjša sprememba PCB-ja zahteva popolno preoblikovanje mehanskega modela.

Zaključen mehanski model ohišja skupaj z uvoženim PCB-jem omogoča celovit pregled sistema. Na tej stopnji lahko preverimo prileganje, dostopnost komponent in splošno funkcionalnost zasnove, še preden se lotimo fizične izdelave.

Literatura

- [] 2017. In *Wikimedia.org*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pinout_of_ARDUINO_Board_and_ATMega328PU.svg.
- [] Arduino. 2014. *Arduino Uno Rev3 Reference*. Online. <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/digital-io/digitalWrite/>.
- [] Arduino. 2025. *UNO R3*. <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>.
- [] Dejan. 2018. "555 Timer IC - Working Principle, Block Diagram, Circuit Schematics." In *How To Mechatronics*. <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electronics/555-timer-ic-working-principle-block-diagram-circuit-schematics/>.
- [] Erickson, Robert W., and Dragan Maksimovic. 1999. *Fundamentals of Power Electronics*. Kluwer Academic Publishers.
- [] Instruments, Texas. 1972. *NE555 Timer*. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>.
- [] (Microchip), Atmel. 2016. *ATmega328P Datasheet*. https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf.

