1.2 Svetlobni oddajnik

1.2.1 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:

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

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

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

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

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

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

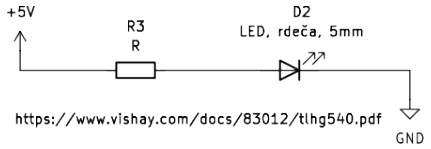
kjer je $e_0 = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$ osnovni naboj, h Planckova konstanta in c hitrost svetlobe v vakuumu. Enačba je le približek: U_F ni točno določena konstanta, nanjo vplivajo tok, temperatura in tehnologija LED.

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

Električna vhodna moč LED je $P_{\mathrm{el}} = U_F I_F$, 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 $10\,\mathrm{mA}$ je njena tipična napetost U_F okoli $2\,\mathrm{V}$. Pri napajanju $5\,\mathrm{V}$ zato izračunamo $R_{\mathrm{LED}} = 300\,\Omega$; v praktičnem vezju izberemo standardni upor $330\,\Omega$, s katerim bo tok

približno $9\,\mathrm{mA}$. Pred uporabo preverimo še dejanske mejne vrednosti in priključke v podatkovnem listu LED TLHR5400 proizvajalca Vishay.



Slika 1: Slika 1.3: Praktična vezava LED z uporom za omejitev toka.

1.2.2 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.

1.2.2.1 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:

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

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 $5\,\mathrm{V}$, $U_{BE} \approx 0{,}7\,\mathrm{V}$ in bazni tok $1\,\mathrm{mA}$ dobimo približno $R_B = 4{,}3\,\mathrm{k\Omega}$; uporabimo lahko standardni upor $4{,}7\,\mathrm{k\Omega}$.

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

Predstavljajmo si breme, ki potrebuje $I_C = 200\,\mathrm{mA}$. Če za zanesljivo nasičenje izberemo minimalni tokovni ojačevalni faktor $\beta_{\min} = 10$, bi moral bazni tok znašati najmanj $I_B = 20\,\mathrm{mA}$. 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 $12\,\mathrm{V}$ in $5\,\mathrm{W}$, zato je njen nazivni tok približno

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

Če bi za zanesljivo nasičenje tranzistorja uporabili $\beta_{\min} = 10$, bi potrebovali bazni tok približno $42\,\mathrm{mA}$. 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.

1.2.2.2 Darlingtonov spoj kot izboljšava

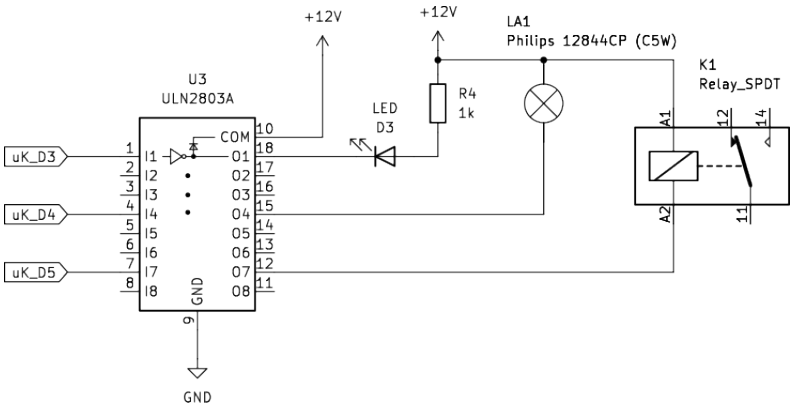
Če en tranzistor zahteva prevelik bazni tok, uporabimo Darlingtonov spoj. Sestavljata ga dva tranzistorja, pri katerih prvi krmili bazo drugega. Skupni tokovni ojačevalni faktor je približno:

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

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

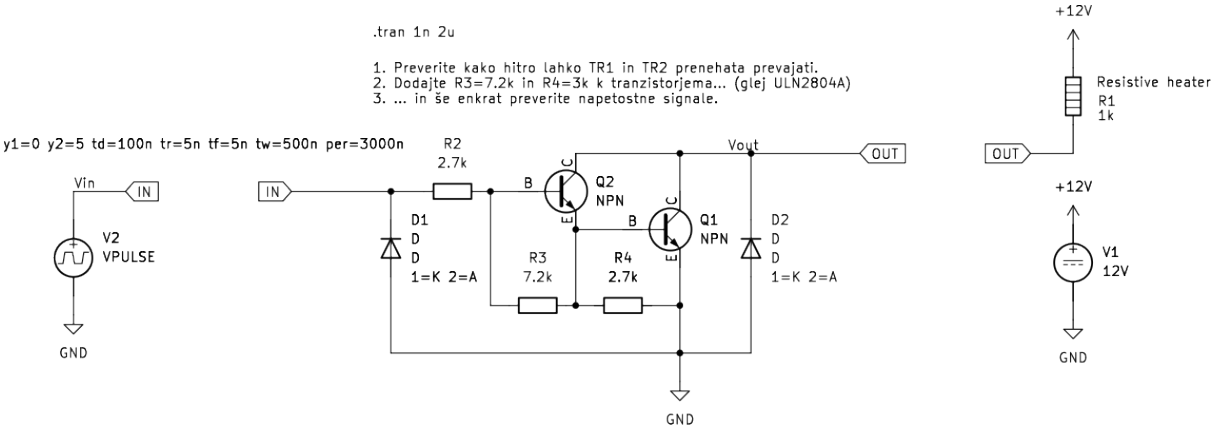
V praksi pogosto uporabimo integrirano vezje z več Darlingtonovimi izhodi, na primer ULN2803A ali ULN2804A. Njegov izhod z odprtim kolektorjem deluje kot stikalo proti ničelnemu napetostnemu potencialu $V = 0$: ko je vključen, breme poveže z ničelnim napetostnim potencialom $V = 0$; ko je izključen, 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 3: Krmiljenje svetlobnega vira in induktivnega bremena z Darlingtonovim gonilnikom z odprtim kolektorjem.

V KiCadovem simulacijskem projektu Darlingtonovega gonilnika sta predvidena tudi upora med bazo in emitorjem tranzistorjev Q1 in Q2, tako kot predvideva podatkovni list ULN2803A. Glavna shema je v datoteki 110_Darlingtom_open_collector.kicad_sch.



Slika 4: 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.