
Elektronika za početnike

Analogna elektronika i projekti sa mikrokontrolerima



Burkhard Kainka

Agencija Echo
www.infoelektronika.net

- Sva prava zadržana. Nijedan deo ove knjige ne sme biti reproducovan u bilo kom materijalnom obliku, uključujući fotokopiranje ili slučajno ili nemerno smeštanje na bilo koji elektronski medijum sa ili uz pomoć bilo kog elektronskog sredstva, bez pisnog odobrenja nosioca autorskih prava osim u skladu sa odredbama zakona o autorskim pravima, dizajnu i patentima iz 1988. godine ili pod uslovima izdatim od Copyright Licensing Agency Ltd, 90 Tottenham Court Road, London, England W1P 9HE. Prijave za pismene dozvole radi štampanja bilo kog dela ove publikacije upućuje se izdavaču ove knjige.
- Izjava: Autor i izdavač su uložili najveće napore da bi se obezbedila tačnost informacija sadržanih u ovoj knjizi. Autor i izdavač ne mogu da prepostavaju neprijatnosti i ovom izjavom isključuju bilo kakvu odgovornost za bilo koju stranku koja bi imala gubitke ili štetu uzrokovane greškama ili propustima u ovoj knjizi, bez obzira da li su greške ili propusti nastali usled nemara, nezgode ili bilo kog drugog razloga.

ISBN 978-86-80134-29-1

Elektronika za početnike

Naslov originala: Basic Electronics for Beginners

Autor: Burkhard Kainka

Prevod: Volođa Pezo

Izdaje i štampa: Agencija Eho, Niš

e-mail: redakcija@infoelektronika.net

Tiraž: 300

Godina izdanja: 2020

CIP – Каталогизација у публикацији
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

621.38

КАИНКА, Бурхард

Elektronika za početnike : analogna elektronika i projekti sa mikrokontrolerima / Burkhard Kainka ; [prevod Volođa Pezo]. - Niš : Agencija Eho, 2020
(Niš : Agencija Eho). - 385 str. : ilustr. ; 24 cm

Prevod dela: Basic Electronics for Beginners. - Tiraž 300. - Bibliografija uz svako poglavlje.

ISBN 978-86-80134-29-1

a) Електроника

COBISS.SR-ID 333566471

Sadržaj

Deo 1 • Analogna elektronika.....	15
Poglavlje 1 • Elektronika za početnike (1)	16
Diode i LED	16
LED sa rednim otpornikom.....	17
Dimenzionisanje komponenti	19
Redna (serijska) kola	19
Poluprovodnici i PN spojevi.....	20
Trepćuće LED.....	22
Poglavlje 2 • Elektronika za početnike (2)	23
Rad tranzistora.....	23
Prvi eksperiment.....	23
Dizajn kola	24
Inverter	25
Kolo sa kašnjenjem	26
Prekidač koji se uključuje kad padne mrak	27
Darlington spoj	28
Korišćenje LED kao fotodiode	29
Slavni dani TUP i TUN	29
Mikrokontrolerski vremenski prekidač	30
Poglavlje 3 • Elektronika za početnike (3)	31
Merenja karakteristika tranzistora	31
Praktični saveti.....	31
Negativna povratna sprega.....	34
Merenja sa Ommetrom	34
Ispitivanje tranzistora	36
Tranzistorski tester.....	38
Poglavlje 4 • Elektronika za početnike (4)	40
Izvori konstantne struje	40
Izvor konstantne struje	40
Korišćenje JFET-a BF245	41

Upotreba bipolarnog tranzistora	42
LED koja blago trepće.....	44
Tranzistori sa efektom polja	46
Poglavlje 5 • Elektronika za početnike (5)	49
Stabilizacija napona	49
Diodna stabilizacija	49
Brzo rešenje	50
Efikasnost.....	51
Serijski regulator.....	51
Integrisani naponski regulatori	53
Strujno ogledalo	55
Monitor napona	55
Poglavlje 6 • Elektronika za početnike (6)	57
Flip-flopovi	57
Flip flop.....	57
RS flip flop.....	58
Okidanje i brisanje	59
Monostabilni flip flopovi	60
Šmitov triger	60
Jednostavni Šmitov triger	62
Tiristori.....	62
Prekidač koji se uključuje kad padne mrak	63
Poglavlje 7 • Elektronika za početnike (7)	65
Blinkeri i oscilatori.....	65
Jednostavan multivibrator	66
LED naponski pretvarač.....	66
Audio generator.....	67
Pretvarač učestanosti u napon	68
NPN/PNP flip flop kolo	68
LED bljeskalica male potrošnje	69
Generator testerastog napona	70

Signal generator testeratsog napona sa NPN tranzistorom	71
Pretvarač napona u učestanost sa Tiny13.....	71
Poglavlje 8 • Elektronika za početnike (8)	74
Audio predpojačalo	74
Negativna povratna sprega.....	75
Dva stepena	77
DC spregnuti stepeni	77
Trostepena	78
Emitersko sledilo.....	79
Audio milivoltmetar.....	79
Poglavlje 9 • Elektronika za početnike (9)	82
Sinusni oscilatori.....	82
RC oscilatori	82
Ring oscilator	83
Trofazni LED blinker	85
Milerov efekat.....	86
Trofazni blinker.....	86
Poglavlje 10 • Elektronika za početnike (10).....	88
Radio učestanosti (RF).....	88
Generisanje HF signala.....	90
LC oscilatori.....	90
Kristalni oscilatori	93
Kratkotlasni prijemnik sa regenerativnom spregom	94
Rezonantna kola	95
AM signal generator.....	96
Poglavlje 11 • Operacioni pojačavači u praksi	99
Deo 1: Uvod i osnove	99
Osnovna kola sa operacionim pojačavačima (Opamp)	99
Naponsko sledilo.....	99
Neinvertujuće pojačalo	100
Invertujuće pojačalo.....	100

Sabirač	101
Oscilator	101
Suština opamp-a	102
Poglavlje 12 • Operacioni pojačavači u praksi.....	105
Deo 2: Opamp sa FET ulazima za široke opsege učestanosti	105
Naponske rampe	106
Primena za široke opsege učestanosti	109
Poglavlje 13 • Operacioni pojačavači u praksi.....	112
Deo 3: Opamp sa ulaznim stepenom od NPN tranzistora i tipovi jačine	112
Komparator tipa LM339	114
Prekidač koji se pobuđuje zvukom (pljeskom) (clap switch)	116
Pojačavač snage	117
Poglavlje 14 • Granične vrednosti EMV-EMC i CE deklaracija	121
Pojednostavljena merenja za ličnu upotrebu i male kompanije	121
Zakonski zahtevi	121
Označiti ili ne	122
Kontakt sa vlastima	123
Granične vrednosti EMC	124
Procena EMC sa jednostavnim resursima	125
Rezime	127
Poglavlje 15 • LED-LDR ring oscilator.....	128
Poglavlje 16 • Piko ampermeter	129
Poglavlje 17 • LC oscilator sa podešavanjem uz pomoć potenciometra	131
Poglavlje 18 • Merenje radijacije sa FET-om	133
Poglavlje 19 • "zelena" solarna lampa.....	134
Poglavlje 20 • Održavanje baterije	135
Poglavlje 21 • Naponski pretvarač sa jednim tranzistorom	136
Poglavlje 22 • Analogno trčeće LED svetlo	138
Poglavlje 23 • Eksperimentalni Hall senzor.....	139

Poglavlje 24 • Jednostavni Dip metar	141
Poglavlje 25 • Širokopojasni prijemnik za varničar	142
Poglavlje 26 • Ring oscilator	143
Poglavlje 27 • LED višestruka bljeskalica	145
Poglavlje 28 • Audion sa emiterskim sledilom	147
Poglavlje 29 • Relaksacioni oscilatori sa NPN tranzistorima	148
Poglavlje 30 • Merenje Gama zraka sa foto diodom	150
Detektor radijacije korišćenjem BPW34	150
Radijacija	150
Dioda kao detektor.....	150
Pojačalo	151
Konstrukcija	152
Eksperimenti i rezultati	153
Izgled	156
Osvetljene brojke	156
Od radijacije do zvuka	156
Produkti raspada radona	157
Poglavlje 31 • Kratkotalasni regenerativni prijemnik.....	159
Za AM i DRM.....	159
Poglavlje 32 • DRM superheterodini prijemnik (digitalni radio)	161
Korišćenje EF95/6AK5	161
Poglavlje 33 • Tranzistorski Dip metar.....	163
Poglavlje 34 • DRM sa direktnim mikserom upotrebom cevi EF95/6AKS	165
Poglavlje 35 • Modulator srednjih talasa	166
Poglavlje 36 • EE večni treptač.....	168
Poglavlje 37 • Kratkotalasni super regenerativni prijemnik.....	170
Poglavlje 38 • Kratkotalasni pretvarač	172
Deo 2 • Mikrokontroler	173
Poglavlje 39 • Osnove osnova (1)	174

Arduino i Bascom	174
Radi upoređivanja: Tajmersko integrisano kolo NE555.....	174
Smanjenje vremena razvoja.....	175
Arduino i Bascom	176
Vaš prvi program.....	178
Softver: kompjajler	180
Najjednostavniji način: korišćenje 'boot loader'-a	181
Odličan posao: Radi!.....	183
Poglavlje 40 • Osnove osnova Mikrokontrolera (2)	185
Digitalni ulazi.....	185
Digitalni ulazi.....	185
Zaštitne diode	186
Čitanje ulaznih stanja.....	187
Zašto je 'visoki nivo' visok?.....	188
Preklapanje	190
Grananje	191
Očitavanje stanja prekidača sa 'pull-up' otpornikom.....	193
Bitovi i bajtovi	194
Zadržavanje stanja (latch-up)	196
Poglavlje 41 • Osnove osnova Mikrokontrolera (3)	199
Serijski interfejs i A/D pretvarač	199
Print izlaz (print output)	199
Dodeljivanje (Assignments)	201
A/D pretvarač	202
Malo matematike.....	204
Merenje temperature	207
Merenje ulazne histereze	209
Eksterni programer	212
Poglavlje 42 • Osnove osnova Mikrokontrolera (4)	215
Korisnički interfejs.....	215
LCD konekcija	216

Dvokanalni voltmeter	217
PWM izlazi	221
Prozivanje tastera	223
Displeji sa tečnim kristalima (LCD)	224
MCS 'boot-loader'	226
Poglavlje 43 • Osnove osnova Mikrokontrolera (5)	228
Korišćenje tajmera	228
Merenje tih mikrosekundi	228
Merenje perioda signala.....	230
Generator četvrtastih impulsa, 125 Hz do 4 MHz.....	231
Prekidi tajmera (timer interrupts)	234
Usrednjavanje analognih očitavanja	236
Merenja učestanosti.....	239
Eksterni displej.....	241
Poglavlje 44 • Osnove osnova Mikrokontrolera (6)	244
SPI interfejs.....	244
Povećanje broja portova uz pomoć pomeračkog registra (shift register).....	244
Manuelni prenos podataka	247
Od mikrokontrolera do mikrokontrolera	250
SPI EEPROM 25LC512	254
Zapis podataka (data logger)	257
Pod programi (subroutines)	260
Saveti za korišćenje Arduino programera na Bascom-u.....	261
Poglavlje 45 • Osnove osnova Mikrokontrolera (7)	262
Sabirnica I2C (I2C bus).....	262
Prenos podataka i adresiranje	263
Povećanje broja portova sa PCF8574 (expander).....	266
16 bitni ulazno/izlazni port PCA 9555 (16-bit I/O port)	268
Analogni U/I sa PCF8591 (analog I/O)	271
Dalje perspektive	273
Ostale zanimljive I2C komponente	273

Poglavlje 46 • Senzori imaju smisla (1) 275

Za Arduino i ostale	275
Pregled: senzori i aktuatori	275
Prikazivanje napona na Bascom-u	278
Merenje napona sa Arduino	281
Merenja temperature uz pomoć NTC senzora.....	283
Kontrola RGB LED uz pomoć džojstika	285
Kontrola laserskog svetla	287

Poglavlje 47 • Senzori imaju smisla (2) 290

Za Arduino i još ponešto	290
Senzori sa komparatorima	290
Softverski šmitov triger	292
Prozivanje kontaktnih senzora	294
Obrada prekidačkih signala	296
Šok senzor	297
Zujalice i ostali aktuatori	299
Rasprežni kondenzatori (bypass)	300
Oscilatori	301

Poglavlje 48 • Senzori imaju smisla (3) 303

Za Arduino i još ponešto	303
Arduino softver za 18B20	303
18B20 za Bascom	305
Korišćenje DHT11 za temperaturu i vlažnost	306
DHT11 kod Bascom-a	308
Daljinska infracrvena kontrola	309
Arduino i IR	311
Protokol 1-wire	313
Protokol RC-5	314

Poglavlje 49 • Senzori imaju smisla (4) 315

Za Arduino i još ponešto	315
Senzor praćenja	315

Senzori sa optičkom spregom (optical fork)	316
Senzori pulsa.....	316
Merenje pulsa sa Bascom-om	321
Obrtni enkoderi.....	321
Enkodiranje u Bascom-u (encoding)	325
Poglavlje 50 • Uputstvo za početnike za rad sa razvojnim okruženjem	327
Prvi korak je najlakši!	327
JOY-iT Nano V3	327
Prvi utisci	327
Pobudite zujalicu sa PWM signalima.....	330
Crtanje analognih signala	331
ISP programiranje	333
NodeMCU (Fabian Kainka)	334
Raspakivanje	335
Preuzmite poslednji 'firmware' (flash the firmware)	335
Hello World – Lua-test.....	337
Poglavlje 51 • BBC micro:bit za električare (1).....	342
Skupa sa 'mbed'	342
Vitalne konekcije.....	342
Prvi programi	344
Merenje napona.....	346
Izobilje senzora	347
Statički brojčani displej	349
Poglavlje 52 • BBC micro:bit za električare (2).....	352
Priključivanje podataka i funkcija osciloskopa	352
USB osciloskop	352
Brže priključivanje uz pomoć 'buffering'-a	354
Bežični prenos priključenih podataka	356
Mini osciloskop sa LED displejom	359
Poglavlje 53 • RF detektor uz pomoć Arduino	361
Programirano u Bascom-u	361

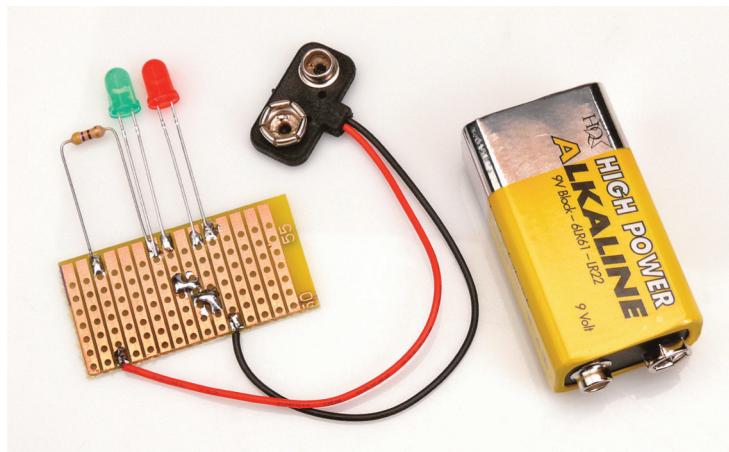
LED kao detektorska dioda ?.....	362
Detektor koji integriše.....	364
Poglavlje 54 • Merenje otpornosti sa Arduino	367
Sjajno za testiranje senzora za vlažnost	367
Merenje otpornosti	368
Optimizacija kola.....	369
Logaritamska merenja	370
Poglavlje 55 • AM predajnik uz pomoć Arduino	373
Induktivni način emitovanja na srednjim talasima.....	373
Mikrokontrolerski RF izvor.....	374
Kolo.....	374
Softver	374
Rad.....	377
Poglavlje 56 • Bezbednosne nalepnice kao ključ	379
Sistem za otključavanje pomoću Bascom-a.....	379
Ponovno aktiviranje	380
Softver	382

Deo 1 • Analogna elektronika

Poglavlje 1 • Elektronika za početnike (1)

Diode i LED

Elektronski uređaji postaju sve više složeni sa jednostavnim kolima a diskretni tranzistori su stvar prošlosti. Ovo otežava početnicima da uhvate korak. U ovom izlagaju zato želimo da se vratimo unazad na osnove a osnove elektronike su analogne. Ipak shvatamo da je dobar deo početnika zainteresovan za digitalnu tehnologiju pa su i mikrokontrolerska kola uključena u materijal knjige.



Dve LED sa rednim otpornikom

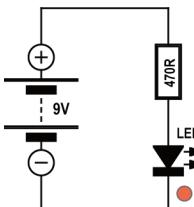
Jedan način prilazu osnova je početi sa osnovnom teorijom i konceptima, uključujući struju, napon i snagu, Omov zakon, paralelnu i rednu vezu itd – drugim rečima što je izloženo u „Electronics 101“ što znate ili stvari koje bi trebalo da znate. No, to je smrtno dosadno pa je bolje početi sa pravim kolima u malim praktičnim primjerima i projektima.

Možda se pitate kakav šta želimo postići ovim kursom. Idealno bi bilo da pomogne novim čitaocima da se usavrše. Neki od naših čitalaca koji prate ovaj kurs su moda sinovi i kćeri starih čitalaca koji prate svoje roditelje. Sigurno će biti od pomoći iskusnim električarima i početnicima. Uspostavili smo forum za ovaj kurs na www.elektor.com/starters-forum. Lepo bi bilo kada bi na ovom forumu stariji doprineli svojim znanjem i iskustvom.

Verovatno postoje čitaoci koji se već napravili mnoštvo projekata ali nikad nisu u potpunosti razumeli kako rade. Naravno, ne očekujte čuda od ovog kursa ali bi moglo pomoći da se pojednostavite putevi na internetu.

Osnove su u svetu „stare“ analogne elektronike, ali činjenica da postoji mnoštvo moderne digitalne ne znači da osnove nisu važne.

Čak i za ljude koje interesuju mikrokontroleri ne postoji zaobilaženje analogne tehnologije. Ovo se može prikazati jednostavnim primerima iz sveta primene. Naprimjer mikrokontrolери se koriste da mere analogne količine, između ostalog. Ovo znači da je kurs bezpogovorno pogodan za ljude koji hoće da stave noge na polje najmanjih računara.

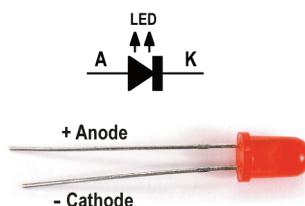


Slika 1. LED kolo

LED sa rednim otpornikom

Da počnemo spajanjem kola datog na slici 1, sa LED, otpornikom (470Ω) i baterijom. Možete vo sklopiti kako očete – jednostavnim lemljenjem komponenti na radnom stolu ili pomoću krokodilki ili na eksperimentalnoj ploči ali bi posebno pravljenje pločice štampanih veza bio preveliki napor koji nije vredan truda. Kako god uradili dobićete da je LED zasvetlja.

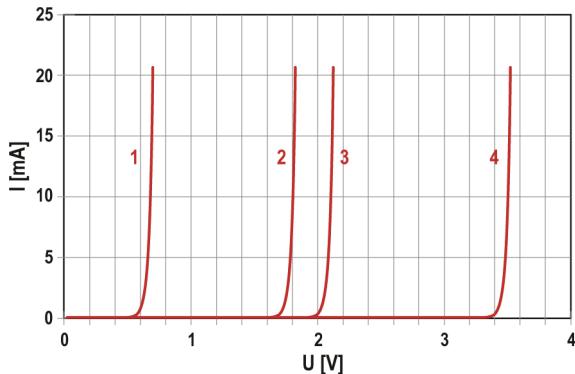
Kod LED morate paziti na polaritet. Plus izvod je anoda. Izvod minus je normalno kraći i predstavlja katodu. Kućište je ravno na strani katode. Unutar kućišta LED možete videti oblik na kome je LED čip koji je obično ali ne uvek na strani katode. Anodni spoj je obezbeđen preko krajnje tankog provodnika koji je vezan na površinu čipa. Ukoliko obratno vežete LED neće zasvetleti. To važi za sve tipove dioda: struja kroz diodu teče samo u jednom smeru.



Slika 2. LED

Led nikad ne bi trebalo vezivati direktno na izvor struje. Ukoliko pogledate dijagram toka struje kroz LED u odnosu na napon, videćete zašto. Slika 3 prikazuje karakteristične krive različitih tipova dioda. Svi dijagrami imaju jednu zajedničku stvar: struja eksponencijalno raste sa porastom napona. Ukoliko je napon ispod graničnog skoro nema struje kroz LED. Ipak, ukoliko je napon samo malo veći od probognog struja brzo poraste do vrlo visokog nivoa i LED može biti prekomerno opterećena. Prakti-

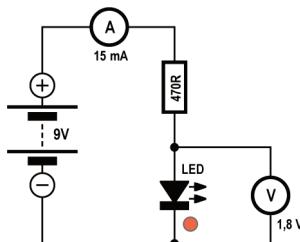
čno je nemoguće postaviti napon na pravu vrednost, delimično jer se dijagram pomeri u desno sa porastom temperature od otprilike 2mV/K . S druge strane lako je posetiti struju na odgovarajući nivo a za to je potreban samo jedan otpornik. Samo je potrebno izabrati pravu vrednost i u ovakovom spoju se ispravan napon na LED dobija automatski.



Slika 3. Karakteristike silicijumskih dioda (1), crvene LED (2), zelene LED(3) i bele LED (4)

Probojni napon nekoliko tipova dioda je da za tipičnu vrednost struje od 20 mA :

Silicijumska dioda (npr. 1N4148):	0.7 V
Crvena LED:	1.8 V
Zelena LED:	2.1 V
Plava ili bela LED:	3.5 V



Slika 4. Merenja u kolu

Možete sami izmeriti napone (vidi sliku 4). Tačni naponi mogu varirati. Naprimjer, moderna crvena LED visokog sjaja ima nešto veći probojni napon nego stariji tipovi crvenih LED.

Dimenzionisanje komponenti

Ukoliko ste izmerili napon na diodi i znate napon baterije ne morate meriti struju. Možete je lako izračunati. Napon na otporniku je razlika napona izvora i napona LED (npr. 9 V – 1.8 V = 7.2 V.) Sa ovom informacijom možete upotrebiti Omov zakon da odredite struju: $I=U/R$

$$I=7.2 \text{ V} / 470 \Omega$$

$$I=0.0153 \text{ A} = 15.3 \text{ mA}$$

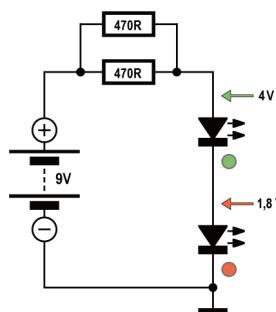
Ukoliko umesto toga želite da izračunate vrednost rednog otpornika morate izabrati željenu struju i znati vrednost napona napajanja i napon za LED. Naprimer, pretpostavimo da želite da imate struju od 20 mA na zelenoj LED diodi. Radi praktičnih razloga uzimamo da je napon na LED 2.1 V. Napon baterije je 9 V pa otpornik bi trebalo da obezbedi pad napona od 6.9 V (9 V – 2.1 V) Proračun daje vrednost od 345 Ω ali ovo nije standardna vrednost otpornika. Ipak možda možete naći otpornike od 330 Ω ili 390 Ω u vašim fijokama. Dobra je ideja izabrati veću vrednost da bi bili sigurniji što se tiče količine struje.

$$R=U/I$$

$$R=6.9 \text{ V} / 0.02 \text{ A}$$

$$R=345 \Omega$$

Sa ovim kolom možete eksperimentisati sa strujom i raznim otpornicima koje imaju mnogo veće vrednosti. U svakom slučaju merite napon na LED i određujete struju. Uopšteno govoreći bez obzira da li radite sa strujom od 1, mA , 5mA ili 10 mA napon na Led ostaje približno isti. To je usled eksponencijalne karakteristike krive.



Slika 5. LED vezane redno (serijski)

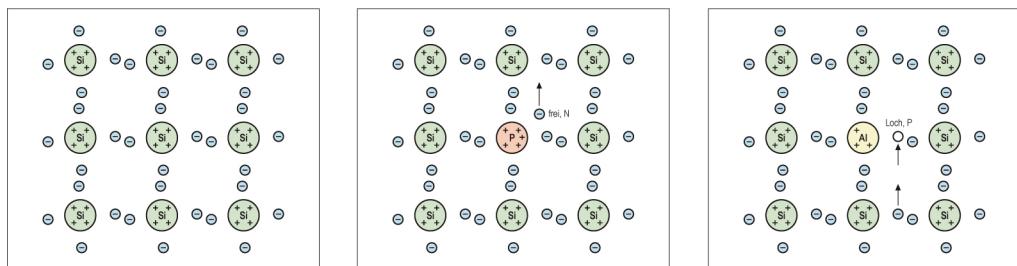
Redna (serijska) kola

Često je korisno spojiti dve ili više LED redno sa zajedničkim rednim otpornikom kao što je dato na slici 5. U toj situaciji napon na rednom otporniku je niži jer se naponi na LED sabiraju. Ovo znači da redni otpornik mora biti smanjen u cilju da obezbedi nominalnu struju od 20 mA kroz LED. Prepostavimo da koristite Crvene LED sa probojnim naponom od 1.8 V i zelenu LED sa naponom od 2.2 V. Ovo čini pad napona

od tačno 4 V na dve serijski vezane LED pa je napon na rednom otporniku samo 5 V. Tako sa otpornikom od 470Ω imaćete struju od približno 10 mA. Ukoliko paralelno vežete otpornike struja će se udvostručiti. Ukoliko proverite proračun trebalo bi da nađete da je struja 21 mA.

Poluprovodnici i PN spojevi

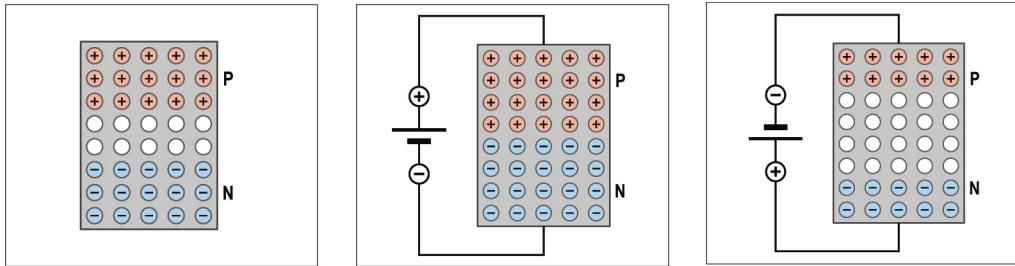
Električna provodnost tipičnog poluprovodničkog materijala, kao što je silicijum raste sa porastom temperature ali je veoma mala ali je mala na sobnoj temperaturi. Ovo je usled toga što četiri spoljna elektrona pojedinih atoma su vezani u kristalnu rešetku (slika 6). Ipak mogu biti oslobođeni dodavanjem male količine energije.



Slika 6. Kristalna rešetka silicijuma; Slika 7. Silicijum dopiran sa fosforom (n-tip); Slika 8. Silicijum dopiran aluminijumom (p-tip)

Uređaji napravljeni od poluprovodničkih materijala kao što su tranzistori i diode se najčešće nazivaju poluprovodnici. Oni su napravljeni namernim dodavanjem stranih atoma u materijal kao što je silicijum (koji se naziva dopirajući materijal) da bi se dobila definisana provodnost. Dopriranje sa elementima grupe V, kao što je fosfor oslobađa elektrone i zato predstavlja N-tip provodnosti (slika 7). Dopriranje sa elementima iz grupe III pravi šupljine čineći P-tip provodnosti. Elektroni se kreću po rešetki kao da su nosioci pozitivnog naboja dok se šupljine popunjavaju susednim elektronima ostavljajući iza sebe nove šupljine (slika 8).

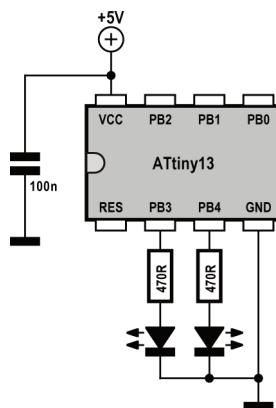
Diode su poluprovodnici koje provode struju u jednom smeru. Obično su napravljene od sloja N i P tipa silicijuma. Tanki neprovodni osiromašeni sloj formira spoj ova dva sloja. U PN spoju slobodni elektroni ispunjavaju šupljine u procesu zvanom re-kombinacija sa rezultatom da praktično nema slobodnih nosilaca elektriciteta kao u čistom silicijumu. U ovom stanju dioda ne provodi struju (slika 9).



Slika 9. Struktura slojeva diode; Slika 10. Slika diode u stanju provođenja; Slika 11. PN spoj se širi kad je dioda obratno polarisana

Ukoliko se dovede nizak napon na izvode diode PN spoj postaje tanji ili deblji. Ukoliko se N izvod spoji sa minus krajem baterije a P izvod sa plus krajem baterije naboji na izvodima odbijaju odgovarajuće nosioce prema PN spoju. Gornji napon je približno 0.5 V kad N i P slojevi počinju da se dodiruju i struja počinje da teče (slika 10). Dobra provodnost se dobija sa naponom od oko 0.7 V. U tom stanju dioda radi u propusnom smeru.

Ukoliko se obrne polaritet nastaje suprotan efekat. Nosioci naboja su privučeni na spoljne izvode pa se PN spoj širi. Ovim PN spoj postaje još bolji izolator (slika 11). Tipična dioda kao što je 1N4148 može izdržati obratno polarisan napon do 75 V. Dioda efektivno dozvoljava da struja prolazi samo u jednom smeru pa se može koristiti kao ispravljач.



Slika 12. Mikrokontroler sa dve LED

U većini slučajeva obratni napon ne sme preći preporučenu vrednost proizvođača. Inverzna struja teče ako je dovedeni napon suviše visok. Ovo dovodi do probroja (izolujućeg sloja). Kod nekih specijalnih tipova dioda kao što su zener diode ovaj efekat se namerno koristi. Zener diode imaju dobro definisan probrojni napon pa se koriste kao naponski regulatori. Ukoliko zloupotrebite silicijumsku diodu kao 1N4148 dovedeći preveliki inverzni napon uzrokovaćete ono što se naziva sekundarni probor koji

je fatalan. Do ovog dolazi usled toga što inverzna struja greje Pn spoj. Ovo uzrokuje formiranje stalnog nepopravljivog kratkog spoja. LED (light emitting diode) kako engleski naziv implicira su diode koje takođe imaju PN spoj. Napravljene su od poluprovodnih materijala kao što je galijum arsenid. LED imaju više probojne napone nego silicijumske diode a rekombinacija elektrona i šupljina u LE proizvodi vidljivu svetlost. Ovaj efekat nastaje i kod silicijumskih dioda ali one proizvode minimalne količine svetlosti u infracrvenoj oblasti.

Trepćuće LED

Led se često pobuđuju iz mikrokontrolera. I ovde su potrebni redni otpornici. Kolo prikazano na slici 2 ima dve LED spojene na jedan I/O port mikrokontrolera Atiny13 preko redno vezanog otpornika od $470\ \Omega$. Pridruženi jednostavni Bascom program postavlja PB3 na stalno visok nivo a PB4 naizmenično na visok i nizak uzrokujući da spojene LED trepču. Pokušajte da izmerite napon na izvodu PB3. Biće nešto manji od 5 V (na primer 4.0 V) jer prekidački tranzistor u mikrokontroleru ima takođe malu otpornost. Možete odrediti unutrašnju otpornost porta na osnovu pada naponu. Sledeće pitanje je koliko struje prolazi kroz LED. Ovo možete lako da izračunate. Pogledajte u tehničke podatke Atiny13:

www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/docpdf2535.pdf da bi videli koliko struje je dozvoljeno izvući iz jednog I/O porta.

```
,ATTiny13 driving LEDs
$regfile = "attiny13.dat"
$crystal = 1200000
Config Portb = Output

Do
    Portb.3 = 1
    Toggle Portb.4
    Waitms 500
Loop

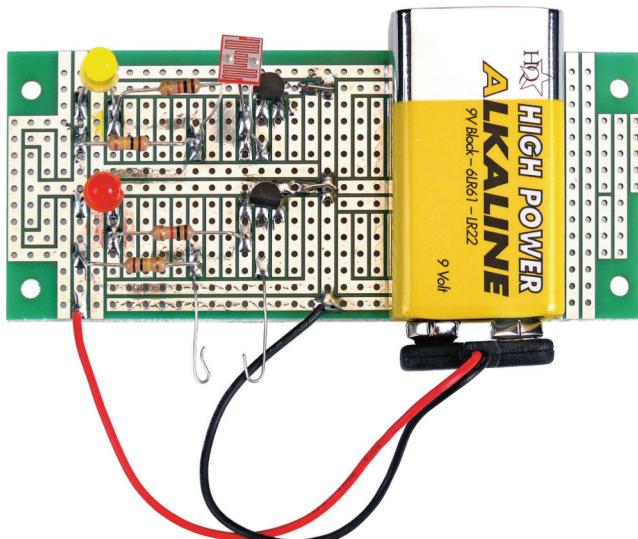
End
```

Listing 1

Poglavlje 2 • Elektronika za početnike (2)

Rad tranzistora

Elektronski uređaji postaju sve više složeni što početnicima otežava razumevanje. Ovde nam je cilj da se vratimo osnovama. U ovoj postavci predstavljamo neke zanimljive eksperimente sa tranzistorima. Imamo i kviz sa šansom da osvojite nagradu.

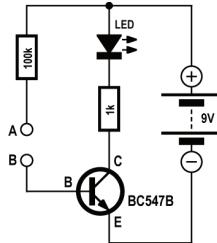


Dva eksperimenta na Elektorovoј Elex pločici.

Tranzistori se mogu smatrati kao jedan od najznačajnijih tehnoloških pronašlazaka. Većina aspekata modernog života, uključujući računare, mobilne telefone i internet, bili bi nemogući bez njih. Pedesetih godina prošlog veka ove male poluprovodničke komponente su počele da zamenjuju elektronske cevi koje su do tada igrale dominantnu ulogu. Prvo su postali popularni germanijumski tranzistori a kasnije bipolarni silicijumski tranzistori a još kasnije tranzistori sa efektom polja. Napredak tehnologije u ovoj oblasti je ubrzan pronašlaskom integrisanih kola (IC) koja sadrže veliki broj tranzistora u jednom kućištu. Ipak možete ostvariti mnoštvo funkcija sa jednim jedinim diskretnim tranzistorom kao što ćemo demonstrirati na ovoj postavci.

Prvi eksperiment

Počnite pravljenjem kola prikazanog na slici 1, na primer na Elektorovoј Elex pločici (vidite elektor.com/120002). Ona vam omogućava da koristite istu pločicu za nekoliko eksperimenata koristeći veze za napajanje i masu. Baterija od 9 V predstavlja pogodan izvor napajanja. Ne mora biti puna, na primer, iskorišćena baterija iz detektora dima će lepo raditi. Slaba baterija ima prednost jer ako nešto krene loše neće moći da dovoljno struje da bi uzrokovalo da nešto pregori.

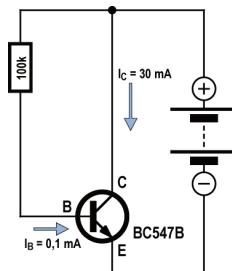


Slika 1. Naša prva eksperimentalna postavka

Pokušajmo prvi skup jednostavnih eksperimenata:

- Kada kontakti A i B nisu spojeni LED ne svetli
- Spojte A i B. LED će jako svetleti
- Prstom premostite A I B. LED će manje više svetleti slabije.
- Ostavite otvorene A I B I vidite šta biva kada spojite kratko izvode emitera (E) i kolektora (C). LED će jako svetleti.
- Opet spojte A i B (LED e svetleti) a zatim kratko spojite izvod baze (B) na masu. LED će se ugasiti.

Ovaj niz eksperimenata ilustruje osnovne principe rada tranzistora: mala struja baze (između baze i emitera) kontrolira veću kolektorskiju struju (između kolektora i emitera). Kažemo da je struja baze pojačana a grubo govoreći možemo smatrati stepen pojačanja konstantnim. Široko korišćeni tranzistor BC547B ima pojačanje od otpri-like 300 što znači da je faktor pojačanja 300 puta veći od struje baze (slika 2). Ipak, ovo je tačno samo ako nije ograničeno kolektorskim otpornikom (kao što je prikazano na slici 1).



Slika 2. Osnovno kolo pojačanja

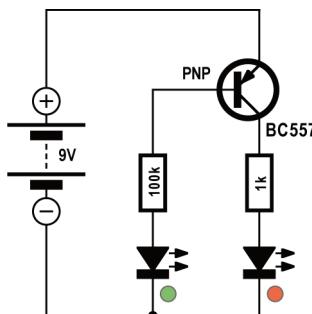
Dizajn kola

Da bi dizajnirali tranzistorsko kolo prvo je potrebno da tačno znate šta želite da postignete.

- Da li bi trebalo da tranzistor radi kao prekidač potpuno zatvoren(off) ili potpuno otvoren (provodan)?
- Ili bi tranzistor trebalo da radi kao analogno kolo pojačanja i dozvoljava veći ili manji protok struje?

Već ste isprobali obe opcije u početnom eksperimentu. Kada su kontakti A i B spojeni tranzistor radi potpuno provodeći (ON) ali ima nešto više unutrašnje otpornosti nego obični metalni kontakti. Kao rezultat uvek imamo mali pad napona između emitera i kolektora. Prilikom eksperimenta sa morim prstom upali ste u analogni kamp i mogli ste zapaziti da osvetljaj LED zavisi od toga koliko jako ste pritisnuli prst preko kontakata. Izbor čime ste navlažili prst takođe ovde igra ulogu, na primer koka kola daje veće pojačanje od čaja usled kiseline u gaziranom napitku.

Jedna od teškoća kod dizajna tranzistorskih kola je da ne znate tačno pojačanje tranzistora. Za razliku od otpornika koji su na raspolaganju sa tolerancijom od 1 %, za proizvođače tranzistora je veoma teško da postignu usku toleranciju. Pojačanje narocito varira. U slučaju tranzistora BC547 pojačanje pojedinih komada u jednoj seriji proizvoda može ležati između 110 i 800. Ove nove komponente se mere automatskom opremom i sortiraju u tri grupe pojačanja A, B i C (vidi umetak TUN/TUP) Opseg pojačanja u ove tri grupe je još uvek širok što je jednostavno činjenica u životu dizajnera kola. Moraju projektovati svoja kola da rade ispravno sa bilo kojim tranzistorom iz izabrane grupe. Ovo ponekad zahteva malo proračuna: u većini slučajeva nije dovoljno samo pokušati.



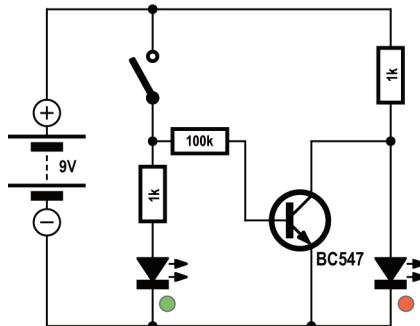
Slika 3. PNP tranzistor u kolu sa zajedničkim emiterom.

Da pogledamo kolo sa slike 3. PNP tranzistor radi na isti način kao NPN ali je suprotno polarisan. Ovo znači da je emiter vezan na pozitivan pol baterije. Kolo ima još jednu LED u kolu baze. Namena je da prikaže da je struja baze mnogo manja od kolektorske struje zbog čega je osvetljaj zelene LED veoma slab.

Inverter

Sa visokog nivoa na niski od uključeno na isključeno: inverteri izvode veoma jednostavan zadatak u svetu računara i mikrokontrolera. Ipak i tranzistor dobro obavlja takav zadatak. Do sada smo koristili naš tranzistor kao vrstu kontrolisanog prekidača: ukoliko preklopite baznu struju tranzistor prekida struju opterećenja. Ali možete i obratno (invertovano) dobiti funkciju preklapanja tranzistora. Slika 4 pokazuje jednostavno invertorsko kolo. Ovde se LED pali kada je prekidač zatvoren i gasi kada

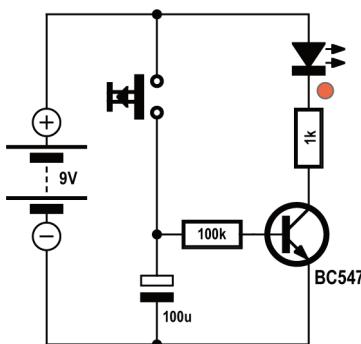
je prekidač otvoren. Razlog ovoga je da kad je prekidač zatvoren bazna struja je zatvorena preko LED i struja ide kroz bazu. Ovim postupkom tranzistor provodi i kratko spaja napon na crvenoj LED. Ukoliko merite napon između kolektora i emitera naći ćete da je oko 100 mV, Na tako niskom naponu struja kroz LED je skoro nula pa ona ostaje ugašena.



Slika 4. Tranzistor konfigurisan kao inverter

Kolo sa kašnjenjem

Strujno pojačanje tranzistora se može iskoristiti da se produži vreme pražnjenja kondenzatora. Kolo dato na slici 5 poseduje elektrolitski kondenzator od 100mF koji služi kao skladište kapaciteta. Brzo se puni kada pritisnete taster a kad se taster otpusti kondenzator dovodi struju na bazu tranzistora. Visoka otpornost baznog otpornika daje vremensku konstantu od oko 10 sekundi. Posle tog intervala struja baze nije dovoljno jaka da pobuđuje tranzistor za potpunu provodnost.



Slika 5. Isključenje sa kašnjenjem

Vremenska konstanta RC mreže je vreme koje je potrebno da se kondenzator isprazni do tačke čiji je naponski faktor $1/e$ ($1/2,718$) u odnosu na početni napon (36.8 %).

Vremenska konstanta se može izračunati koristeći jednostavnu formulu:

$$\text{Vremenska konstanta} = \text{otpornost} \times \text{kapacitivnost}$$

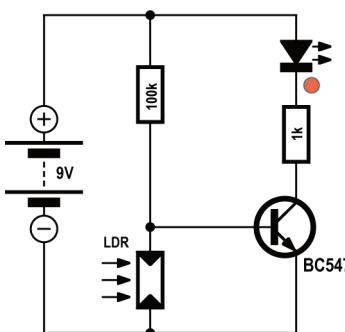
$$t = Rx C$$

$$t = 100k\Omega \times 100 \text{ mF}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

Dok se to događa možete videti bledu svetlost posle jednog minuta. LED u stvari nastavlja da emituje svetlost relativno dugo vremena ali struja opadne na tako nizak nivo da svetlost nije vidljiva.

Ukoliko želite da napravite vremenski prekidač sa mikrokontrolerom vidite umetak 'Mikrokontrolerski vremenski prekidač'.



Slika 6. Prekidač koji se uključuje kad padne mrak

Prekidač koji se uključuje kad padne mrak

U kolu prikazanom na slici 6 koristimo otpornik koji je osetljiv na osvetljaj (LDR) kao svetlosni senzor. Komponenta ima sloj osetljiv na svetlost napravljen od kadmijum sulfida (CdS). Njegova otpornost zavisi od intenziteta svetlosti i ide od približno 100Ω pri punom sunčevom svetlu do preko $1 \text{ M}\omega$ u mraku. Otpornost na nivou osvetljaja od oko 1000 lux (jednaka dobro osvetljenom radnom mestu) je oko 1 k .

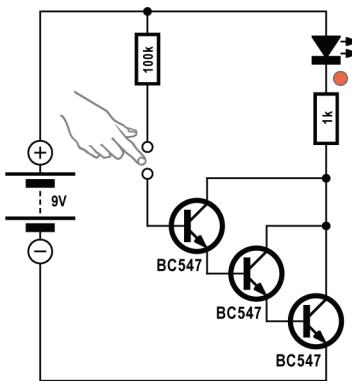
Kombinacija promenljivog otpora LDR i fiksne otpornosti od 100 k čine naponski delitelj. Tranzistor se isključuje kada je napon između baze i emitera (UBE) koji je određen naponom na spoju naponskog delitelja je suviše nizak. Jednostavno rečeno možemo kazati da ovo kolo ima prag prekidanja od oko 0.6 V . Ova vrednost se dovodi na silicijumski tranzistor i daje dobro poznatu karakterističnu krivu diode.

Isprobajte ovo kolo na različitim nivoima svetla da bi videli kako se ponaša. LED se isključuje kad je svetlosti nivo na senzoru visok i uključuje kad je svetlosti nivo nizak. Trebalo bi da vidite naglo preklapanje na određenom pragu nivoa svetlosti. Opseg svetlosnog nivoa kod koga tranzistor je delimično u provodnom stanju je mali.

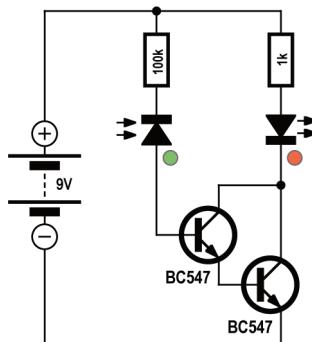
Darlington spoj

Pojačanje para tranzistora se može umnožiti upotreboom pojačane struje sa prvog tranzistora na struju baze drugog tranzistora gde se dalje pojačava (vidi sliku 7). Ukoliko svaki od ovih tranzistora ima pojačanje od 300 Darlington par će imati pojačanje od 90000. Ova struja se može potpuno iskoristiti sa otpornikom od $10\text{ m}\Omega$ u bazi pa se može efikasno upotrebiti kao ‘tač’ prekidač koristivši dva obična gola provodnika koje dodirujemo sa dva prsta. Nije neophodno ovlažiti prste; čak i suva koža daje dovoljno struje da potpuno pobudi kolo. Dodatni otpornik od $100\text{k}\Omega$ štiti tranzistor od velikih struja baze koja bi inače tekla kroz dve žice koje su kratko spojene.

Proširenje Darlington spoja ima tri tranzistora (slika 8) i može se upotrebiti za interesantne eksperimente za detekciju statičkog naboja. Da bi ovo videli pokušajte da trljate nogom patos dok dirate izvod baze Darlington spoja jednim prstom. U zavisnosti od prirode poda i materijala donova proizvešće se jako električno pražnjenje koje se može videti kao treperenje LED. U većini slučajeva jednostavnim diranjem kraja nije dovoljno da upali LED.



Slika 8. Trostruki Darlington



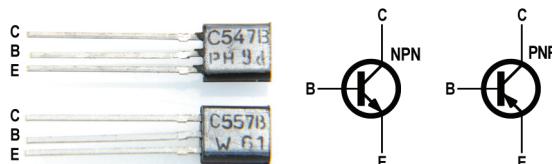
Slika 9. Pojačanje reverzne struje LED

Korišćenje LED kao fotodiode

Pored emitovanja svetlosti LED se može upotrebiti kao senzor svetla okoline. U principu kroz diodu ne teče struje kad je inverzno polarisana. Ali u stvari možete meriti vrlo malu struju jačine nano ampera koja je dovoljno niska da se može zanemariti u većini slučajeva. Ipak visoko pojačanje Darlington spoja vam omogućava da izvedete eksperimente sa ekstremno malim strujama kao što je ova. Naprimer, inverzna struja jedna LED zavisi od nivoa svetlosti što znači da LED radi kao vrsta foto diode. Možemo iskoristiti Darlington spoj da pojačamo ekstremno malu inverznu struju do nivoa koji će upaliti drugu LED. Kod takvih eksperimenata morate imati na umu da je nominalna vrednost inverzne struje LED obično data u tehničkim podacima za napon od 5 V ali napon na našem LED je 8 V. U stvari većina crvenih, žutih i zelenih LED može izdržati znatno više invertne napone pre ulaska u domen probaja dok je inverzni probojni napon bele i plave LED veoma nizak. U bilo kom slučaju otpornik od 100 k Ω štiti LED od ozbiljne štete.

Slavni dani TUP i TUN

Postoji toliko mnogo različitih tipova tranzistora da bi bilo teško odlučiti koji upotrebiti. U dalekoj prošlosti je časopis Elektor koristio oznake 'TUP' (univerzalni tranzistor PNP tipa) i 'TUN' (univerzalni tranzistor NPN tipa) ali sada je moguće kupiti jeftino neoznačene tranzistore pa TUN jednostavno znači bilo koji tip NPN tranzistora za male signale opštег tipa. Sada ste dobro posavetovani ako koristite tranzistor BC547B; jer odgovara skoro svakom modernom TUN tranzistoru. Trebalо bi da imate ranac ovih tranzistora pri ruci a neće vam napraviti rupu u budžetu.



NPN i PNP tranzistor

Za TUP je prirodan izbor BC557B.

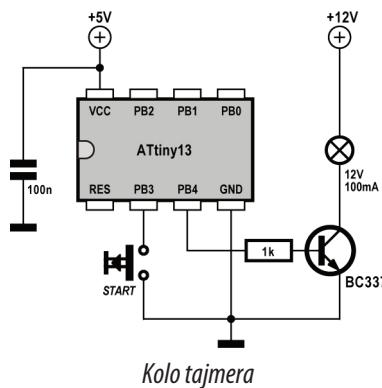
- NPN i PNP tranzistor
- Glavne karakteristike BC547B su:
- Maksimalni napon na kolektoru 45 V
- Maksimalna struja kolektora 100 mA
- Strujno pojačanje 200 do 450 (tipično 290)

BC547A ima strujno pojačanje od 110 do 220 (tipično 180) a BC547C ima strujno pojačanje od 420 do 800 (tipično 520). Ukoliko ispitujete krive pojačanja detaljnije, videćete da je strujno pojačanje tranzistora dosta konstantno za umerene struje kolektora; značajno opada sa relativno višim i nižim nivoima struje.

Mikrokontrolerski vremenski prekidač

Savremeni vremenski prekidači se prave sa mikrokontrolerima. Ovim se omogućava visoka preciznost bez kalibriranja. RC vremenska kola su imala svoje vreme ali postoji stvar koju mikrokontroler ne može: preklapati velike struje. Za to vam je potreban tranzistor. Jednostavan NPN tranzistor je odgovarajuća snažna pobuda za preklapanje eksternih opterećenja. To portu mikrokontrolera lake kategorije dodaje mišice. Popularan izbor za ovaj zadatak je BC337 koji može prekidati do 800 mA. Slika prikazuje vremensko kolo gde se preklapa struja na portu mikrokontrolera koja je manja od 5 mA. Tranzistor pojačava struju porta dovoljno da prekine sijalicu na 12 V. Takođe obezbeđuje nivo napona jer mikrokontroler radi na 5 V.

Mali Bascom program je primjenjen na vremenski prekidač. Vreme (1 minut) počinje da se odbrojava kad se pritisne dugme. Za razliku od analognog kola sa slike 5, pritiskanje tastera za vreme trajanja rada tajmera ne produžava vreme izabranog vremena. Kako bi trebalo izmeniti kod da bi se obezbedilo ponovno okidanje?



Kolo tajmera

```
,Timer 60 s
$regfile = „attiny13.dat“
$crystal = 1200000
Config Portb.4 = Output
Portb.3 = 1           ,Pullup

Do
  Do
    Loop Until Pinb.3 = 0
    Portb.4 = 1
    Waitms 60000
    Portb.4 = 0
  Loop

End
```

Listing 1