
Praktični kurs elektronike

Naučite elektroniku na zabavan način



Dogan Ibrahim, Ahmet Ibrahim

Agencija Eho
www.infoelektronika.net

- Sva prava zadržana. Nijedan deo ove knjige ne sme biti reprodukovan u bilo kom materijalnom obliku, uključujući fotokopiranje ili slučajno ili nenamerno smeštanje na bilo koji elektronski medijum sa ili uz pomoć bilo kog elektronskog sredstva, bez pismenog 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 pretpostave neprijatnosti i ovom izjavom isključuju bilo kakvu odgovornost za bilo koju stranku koja bi imala gubitke ili štetu uzrokovanu greškama ili propustima u ovoj knjizi, bez obzira da li su greške ili propusti nastali usled nemara, nezgode ili bilo kog drugog razloga.

ISBN 978-86-80134-57-4

Praktični kurs elektronike

Naslov originala: Practical Electronics Crash Course

Autor: Dr. Dogan Ibrahim, Ahmet Ibrahim

Prevod: Vladislav Stefanović

Recenzent: Vladimir Savić

Izdaje i štampa: Agencija Eho, Niš

e-mail: redakcija@infoelektronika.net

Tiraž: 200

Godina izdanja: 2024

Uvod:	12
Poglavlje 1 • Elektricitet	13
1.1 Pregled	13
1.2 Šta je elektricitet?.....	13
1.3 Električna kola	14
1.4 DC i AC	14
1.5 Električna snaga	16
1.6 Osnovna kola sa sijalicama i prekidačima	17
1.6.1 Jedan prekidač	17
1.6.2 Više od jednog prekidača	18
1.6.3 Dvopolni prekidač.....	19
Poglavlje 2 • Pasivne komponente	20
2.1 Pregled	20
2.2 Otpornici	20
2.2.1 Tipovi otpornika	21
2.2.2. Materijali otpornika.....	23
2.2.3 Specifikacije otpornika	24
2.2.4 Kod boja otpornika	25
2.2.5 Omov zakon.....	27
2.2.6 Otpornici u seriji i paraleli.....	27
2.2.7 Otpornici u električnim kolima Primeri	28
2.2.8 Razdelnik napona	30
2.2.9 Drugi tipovi otpornika	32
2.2.10 Projekat 1 – Otpornik u kolu.....	33
2.2.11 Korišćenje programa za simulaciju kola	35
2.3 Kondenzatori	37
2.3.1 Tipovi kondenzatora	38
2.3.2 Vrednosti kondenzatora.....	39
2.3.3 Obeležavanje vrednosti kondenzatora	39
2.3.4 Kondenzatori u seriji i paraleli	40
2.4 Kalem	42
2.4.1 Tipovi kalemova	42
2.4.2 Vrednost kalemova	43

2.4.3 Oznake induktivnosti	43
2.4.4 Induktivnosti u seriji i paraleli	45
2.4.5 Uzajamna induktivnost	46
2.5 Jednostavna RC mreža	46
2.5.1 Projekat 2 – Tranzijentni odziv otpornika i kondenzatora	49
2.6 Tranzijentni odziv kola sa otpornikom, kondenzatorom i kalemom	50
2.7 Otpor u odnosu na impedansu	53
Poglavlje 3 Magneti	55
3.1 Pregled	55
3.2 Magneti u elektronici	55
3.3 Elektromagneti	55
3.4 Reed prekidač	56
3.5 Zvučnici	57
3.6 Transformatori	58
3.7 Releji	62
Poglavlje 4 • Aktivne komponente	64
4.1 Pregled	64
4.2 Poluprovodničke diode	64
4.2.1 Tipovi Dioda	65
4.2.2 Kola sa diodama	71
4.2.2.1 Jednostavno LED kolo	71
4.2.2.2 Projekat 1 – LED sa pritiscnim tasterom	72
4.2.2.3 Projekat 2 – RGB LED sa pritiscnim tasterima	73
4.2.2.4 Projekat 3 – Zener diodni regulator	74
4.2.2.5 Ispravljačka kola	78
4.3 Bipolarni tranzistori	83
4.3.1 DC naponi i struje u tranzistoru	84
4.3.2 Zajednički emitterski pojačavač	86
4.3.3 Tranzistor kao prekidač	90
4.3.3.1 Projekat 4 – Tranzistorski prekidač sa LED-om	92
4.3.4 MOSFET kao prekidač	94
4.3.4.1 Projekat 5 – MOSFET Prekidač Sa LED-om	96
4.3.4.2 Projekat 6 – Igra Steady Hand	98

Poglavlje 5: Jednostavna kola zasnovana na prethodnim poglavljima	101
5.1 Pregled	101
5.2 Mehanički prekidači	101
5.2.1 Projekat 1 – Dvosmerni prekidač za spratove	105
5.2.2 Problem sa odskočnim kontaktima (Contact Bounce Problem)	106
5.3 Projekat 2 – Relej sa LED diodom	106
5.4 Elektronska zujalica	107
5.5 Optokapleri	108
5.5.1 Primer kola sa optokaplerom	109
5.6 Tranzistorski oscilatori i druga kola	109
5.6.1 Sinusni tranzistorski oscilatori	109
5.6.2 Multivibrator	114
5.6.2.1 Projekat 3 – Astabilni multivibrator za trepćuće LED diode	116
5.6.2.2 Projekat 4 – Monostabilni multivibrator sa vremenski kontrolisanom LED diodom	118
5.7 Tajmer 555	119
5.7.1 Projekat 5 – Trepćuća LED dioda sa 555 tajmerom	120
5.7.2 Projekat 6 – Naizmenične LED diode	123
5.7.3 Projekat 7 – Zujalica od 1 kHz	124
5.7.4 Projekat 8 – Tester kontinuiteta	126
5.7.5 Projekat 9 – Alarm sa tri zvuka	127
5.7.6 Projekat 10 – Rasterivač komaraca	129
5.7.7 Projekat 11 – Detektor mraka	130
5.7.8 Projekat 12 – Metronom	132
5.7.9 Projekat 13 – LED Tajmer	134
5.7.10 Projekat 14 – Spoljno svetlo sa dugim kašnjenjem	136
5.7.11 Projekat 15 – Pobojšani metronom	137
5.7.12 Bistabilni 555	138
5.8 Projekat 15 – Blinker sa dva tranzistora	139
5.9 IC Regulatori napona sa fiksnim izlazom	140
Problemi sa zagrevanjem 78xx/79xx	141
5.10 Zaštita od obrnute polarizacije	142
Poglavlje 6 • Operacioni pojačavači	143
6.1 Pregled	143

6.2	Struktura operacionog pojačavača.....	143
6.3	Invertujući pojačavač.....	144
6.4	Neinvertujući pojačavač.....	146
6.5	Pratilac napona	147
6.6	Sabirajući pojačavač	147
6.7	Diferencijalni pojačavač.....	148
6.8	Integrator	149
6.9	Diferencijator.....	150
6.10	Komparator	150
6.11	Simulacija sabirnog pojačavača.....	151
6.12	Projekat 1 – Komparator sa LED diodom	152
7	Poglavlje 7 Logička kola	155
7.1	Pregled.....	155
7.2	Najčešće korišćena logička kola	155
7.2.1	AND Kolo	155
7.2.2	OR Kolo.....	155
7.2.3	NOT Kolo.....	156
7.2.4	NAND Kolo.....	156
7.2.5	NOR Kolo	156
7.2.6	XOR Kolo.....	157
7.2.7	XNOR Kolo	157
7.3	IC Porodice logičkih kola	157
7.3.1	Mešanje različitih porodica logičkih kola	159
7.4	Projekat 1 – AND kolo sa LED diodom i tasterima.....	162
7.5	Diodna logika	163
7.5.1	Diodno OR kolo.....	163
7.5.2	Diodno AND kolo	164
7.5.3	Kombinovano diodno AND i OR kolo.....	164
7.5.4	Diodna logika naspram digitalne logike	165
7.5.5	Logički uređaji sa jednim kolom	165
7.6	Flip-flop kola	165
7.7	Brojači	167
7.8	74595 Pomerajući registar (eng. Shift register)	170

7.9 Šta je FPGA?	173
Poglavlje 8 • Napredne teme.....	174
8.1 Pregled	174
8.2 Analiza naizmjenične struje (AC)	174
8.2.1 Efektivna vrednost (RMS)	175
8.2.2 Otpornici i AC	175
8.2.3 Kalemovi i naizmjenično napajanje	175
8.2.4 Kondenzatori i AC	176
8.2.5 RLC Kolo i rezonanca	176
8.2.6 Snaga u AC kolima	180
8.3 Pojačala	181
8.3.1 Pojačanje pojačala	181
8.3.2 Pojačalo LM386	183
8.3.3 Pojačalo TDA2030	185
8.4 Oscilatori	186
8.4.1 Oscilator sa faznim pomakom.....	186
8.4.2 Oscilator sa kvadratnim talasom.....	187
8.5 Filteri	188
8.5.1 Pad filtriranja i red filtriranja	189
8.5.2 Program za projektovanje filtera	190
8.5.3 Niskopropusni aktivni filteri.....	190
8.5.4 Visokopropusni aktivni filteri	192
8.5.5 Aktivni propusni filteri.....	193
8.5.6 Pasivni niskopropusni filter.....	195
8.6 Senzori	196
8.6.1 Senzori temperature.....	198
8.6.2 Senzori sile	203
8.6.3 Senzori svetlosti	204
8.6.4 Senzori zvuka	204
8.6.5 Senzori ubrzanja.....	205
8.6.6 Senzori vlažnosti zemljišta	206
8.6.7 Senzori udaljenosti.....	206
8.7 Prekidačko napajanje (SMPS)	207

8.7.1 LM2576 Buck pretvarač	207
8.7.2 LM2577 Boost pretvarač	208
8.8 Kit kompleti	209
Poglavlje 9: Testiranje i merenje	210
9.1 Pregled	210
9.2 Napajanja	210
9.2.1 Fiksni ili promenljivi napon	210
9.2.2 Broj izlaznih kanala	211
9.2.3 Kapacitet struje	211
9.2.4 Ograničenje struje	211
9.3 Multimetar	211
9.3.1 Delovi multimetra	212
9.3.2 Merenje napona	213
9.3.3 Merenje struje	214
9.3.4 Merenje otpora	215
9.4 Osciloskop	215
9.4.1 Specifikacije	216
9.4.2 Korišćenje osciloskopa	217
9.5 Generator funkcija	218
9.6 Ostali alati	218
9.6.1 Lemilica	219
9.6.2 Pumpica za odlemljivanje	219
9.6.3 Razni alati	220
9.6.4 Test ploča sa ugrađenim napajanjem	220
9.6.5 Povoljni kompleti alata	221
Poglavlje 10 • Razvojne ploče za mikrokontrolere i programiranje MCU-a	222
10.1 Pregled	222
10.2 Razvojne ploče i moduli mikrokontrolera	222
10.3 Arduino UNO R4	223
10.3.1 Projekat 1 – Treptući spoljašnji LED	227
10.4 ESP32-DevKitC	231
10.4.1 Projekat 2 – Treperenje LED diode sa ESP32	234
10.5 Raspberry Pi Pico	237

10.5.1 Izlazi RP2040 i Pico-a	238
10.5.2 Programiranje Pico-a.....	239
10.5.3 Projekat 3 Treperenje LED diode sa MicroPython-om.....	243
10.6 Raspberry Pi	246
10.6.1 Instalacija operativnog sistema Raspberry Pi	247
10.6.2 Projekat 4 – Treperenje LED diode sa Raspberry Pi	253
Poglavlje 11 • Ostale praktične teme	257
11.1 Pregled.....	257
11.2 Izbor komponenti.....	257
11.3 Čitanje tehničkih uputstva (Datasheet-a)	258
11.4 Schematic Capture i PCB dizajn.....	262
11.5 EMC i EMI.....	266
11.6 Norme i regulative.....	267
11.7 Lista komponenti korišćenih u projektima.....	269

Uvod:

Dobrodošli u svet elektronike!

U ovoj knjizi prilagođenoj početnicima, istraživaćete i učiti najvažnije koncepte elektrotehnike i elektronike na zabavan način, kroz razne eksperimente i simulacije kola. Cilj knjige je da vas nauči osnovama elektronike bez ulaska u složen tehnički žargon i proračune.

- Naučićete koncepte napona, struje, kola i snage,
- AC i DC napona, osnovna kola sa sijalicama i prekidačima
- Otpornike, kondenzatore
- Kalemove
- Kola sa tranzistorima
- Elektromagnetizam
- Diode
- BJT i MOSFET tranzistore i sklopke
- Optokaplere
- Multivibratore
- Korišćenje 555 IC-a
- Operacione pojačavače
- Logička kola, pojačala
- Oscilatore, električne filtere
- Senzore
- Alate za testiranje i merenje
- Razvojne ploče mikrokontrolera kao što su Arduino UNO, ESP32
- Raspberry Pi Pico i Raspberry Pi 5
- Izbor komponenti i čitanje tehničkih uputstva (data sheet)
- EMC i EMI norme i regulacije

U knjizi je dato mnogo testiranih i funkcionalnih projekata i simulacija kako biste se upoznali sa izgradnjom i testiranjem osnovnih elektronskih kola. Nadam se da ćete uživati u čitanju knjige.

Dr. Dogan Ibrahim, BSc., MSc., PhD

Ahmet Ibrahim, BSc., MSc

London, 2024.

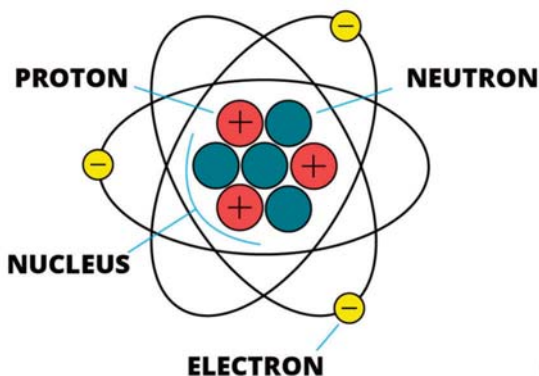
Poglavlje 1 • Elektricitet

1.1 Pregled

Svi mi koristimo električnu energiju u našem svakodnevnom životu i ne možemo bez nje. Možete li zamisliti šta bi se desilo kada ne bismo imali struju nekoliko dana? Zamislite život bez grejanja, bez svetla, bez radija, bez televizije, bez interneta, bez računara, bez mikrotalasne, bez frižidera... Ali, da li ste se ikada zapitali: Šta je to električna energija? Šta je napon? Šta je električno kolo? Kako mogu povezati sijalice na različite načine? Cilj ovog poglavlja je da odgovori na ta pitanja u detalje.

1.2 Šta je elektricitet?

Atomi su osnovni gradivni blokovi materije; oni su najmanje jedinice materije koje poseduju hemijska svojstva određene supstance. Atomi se sastoje od tri osnovne komponente: protona, neutrona i elektrona (Slika 1.1). Proton i neutroni su u centru atoma, poznatom kao jezgro, dok elektroni orbitiraju na znatnoj udaljenosti od jezgra.



Slika 1.1 Atom

Atomski broj atoma odgovara broju protona u jezgru. Na primer, ugljenikov atom ima šest protona u svom jezgru, pa je njegov atomski broj šest. Zbir broja protona i neutrona određuje atomsku masu atoma.

Protoni su pozitivno naelektrisane čestice unutar jezgra. Neutroni unutar jezgra nemaju naelektrisanje. Masa neutrona je veća od mase protona. Elektroni su negativno naelektrisane čestice. Prve teorije atoma su pretpostavljale da se elektroni kao čestice kreću po tačno zadatim putanjama oko jezgra, ali danas je znamo da je atom komplikovaniji sistem, i pozicija elektrona se ne može tačno odrediti.

Oni su mnogo manji od protona i neutrona. Ukupno naelektrisanje atoma određuje se razlikom između broja protona i elektrona. Na primer, ako ima više protona nego elektrona, neto naelektrisanje je pozitivno. Ako je broj protona jednak broju elektrona, neto naelektrisanje je nula.

Elektricitet je skup fizičkih pojava povezanih sa prisustvom i kretanjem električnog naelektrisanja. Elektroni mogu da se kreću samo ako postoje slobodni elektroni u supstanci. U vezi sa kretanjem elektrona, materijali se dele na tri kategorije:

Izolatori: Neki materijali kao što su drvo, papir, plastika, guma itd. ne provode električnu energiju i stoga su dobri izolatori. To je zbog (veoma) malog broja slobodnih elektrona koji su dostupni.

Provodnici: Mnogi metali kao što su bakar, gvožđe, srebro, čelik itd. su odlični provodnici električne energije. To je zato što imaju obilje slobodnih elektrona.

Poluprovodnici: Materijali kao što su germanijum, arsen, bor i silicijum imaju samo nekoliko slobodnih elektrona. Oni provode električnu energiju bolje od izolatora, ali ne tako dobro kao provodnici. Poluprovodnici se koriste za proizvodnju tranzistora i integrisanih kola (IC).

1.3 Električna kola

Da bi se elektroni kretali, potrebno je električno (ili elektronsko) kolo. Kolo je zatvorena petlja provodnog materijala kao što je žica. Naravno, svako elektronsko kolo takođe sadrži komponente, ali možda ne sadrži izolatore u petlji kola. Elektroni u elektronskom kolu ne kreću se osim ako nisu primorani da to učine. Ova sila može biti baterija ili bilo koji drugi tip izvora energije povezan sa kolom. Kretanje elektrona u kolu predstavlja struju u kolu. Dakle, kada se napon primeni na kolo, struja može teći kroz njega. Elektroni teku od negativnog pola prema pozitivnom polu. Ali, pošto elektroni imaju negativno naelektrisanje, uobičajeno je reći da struja teče od plusa ka minusu.

Jedinica za napon je volt, označen sa V (ponekad i sa U). Jedinica za struju je amper, A. U većini elektronskih primena koriste se manje jedinice volta i ampera. Konverzije u manje jedinice su sledeće:

$$1 \text{ V} = 1.000 \text{ milivolta (1000 mV)}$$

$$1 \text{ mV} = 1.000 \text{ mikrovolta (1000 } \mu\text{V)}$$

Slično tome,

$$1 \text{ A} = 1.000 \text{ miliampera (1000 mA)}$$

$$1 \text{ mA} = 1.000 \text{ mikroampera (1000 } \mu\text{A)}$$

1.4 DC i AC

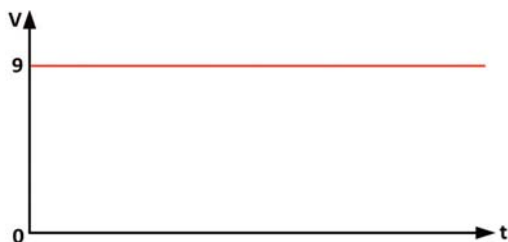
Postoje dva tipa izvora napona: Jednosmerna struja (DC) i Naizmenična struja (AC).

Jednosmerna struja (DC)

U DC kolu, struja uvek teče u istom pravcu. DC izvor napona ne mora nužno imati konstantnu vrednost, ali nikada ne menja znak. Primer DC izvora napona je idealna bate-

rija, koja obezbeđuje konstantan napon tokom vremena. Na primer, idealna PP-3 tip baterija obezbeđuje 9 V kao što je prikazano na Slici 1.2. Ovo se matematički opisuje kao:

$$V(t) = 9 \text{ V}$$



Slika 1.2 Napon baterije od 9 V

Naravno, baterija gubi svoj naboj tokom vremena i njen napon opada kako se koristi, ali za ovu diskusiju pretpostavljamo da je napon konstantan.

Naizmenična struja (AC)

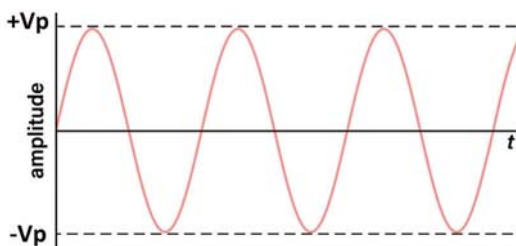
U AC kolu, pravac protoka naboja i nivo napona se periodično menjaju. Distributeri električne energije isporučuju naizmenične napone poznate kao mrežni napon zgradama širom zemlje. Međutim, većina elektronskih uređaja kao što su mobilni telefoni, računari, radio, televizori itd. rade sa DC naponima, pa AC napon mora biti konvertovan u DC. Na primer, vaš mobilni telefon ima bateriju i radi na DC naponu, ali punjač priključujete u AC zidnu utičnicu. Punjač konvertuje AC u DC kako bi napunio bateriju vašeg telefona.

AC naponi mogu imati različite oblike kao što su sinusni, kvadratni, trougaoni, testerasti itd. AC napon koji isporučuju distributeri električne energije ima oblik sinusnog talasa (Slika 1.3), izražen matematički kao:

$$V(t) = V_p \sin(\omega t)$$

gde je:

- $V(t)$ napon kao funkcija vremena.
- V_p amplituda (vršna vrednost) talasa. Talas se prostire od $-V_p$ do $+V_p$.
- ω radijanska frekvencija jednaka $2\pi f$, gde je f frekvencija talasa u hercima.
- t vreme u sekundama.



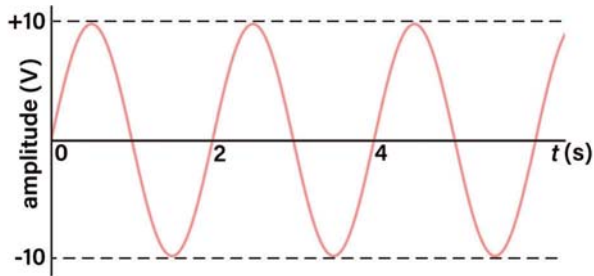
Slika 1.3 Sinusni talas

Period sinusnog talasa je vreme potrebno da se završi jedan ciklus i povezan je sa frekvencijom prema relaciji:

$$T = 1/f$$

Primer:

Pronađite period i frekvenciju sinusnog talasa prikazanog na Slici 1.4. Napišite matematički izraz za ovaj talas



Slika 1.4 Primer sinusnog talasa

Rešenje:

Amplituda je 10 V. Period talasa je $T = 2$ sekunde. Dakle, frekvencija je $f = 1/2 = 0,5$ Hz. Radijanska frekvencija je, $\omega = 2\pi f = 2 \times 3,14 \times 0,5 = 3,14$ rad/s. Matematički izraz za talas je stoga:

$$V(t) = 10 \sin(3,14t)$$

1.5 Električna snaga

Električna snaga je brzina kojom se električna energija prenosi električnim kolom. Drugim rečima, to je stopa rada po jedinici vremena koju vrši električno kolo. Jedinica za električnu snagu (P) je vat (W), data je formulom:

$$P = \text{struja} \times \text{napon}$$

Gde je snaga u vatima, struja u amperima i napon u voltima. Snaga se ponekad izražava u većim ili manjim jedinicama, kao što su:

$$1 \text{ kW} = 1.000 \text{ vata (1000 W)}$$

$$1 \text{ W} = 1.000 \text{ milivata (1000 mW)}$$

$$1 \text{ mW} = 1.000 \text{ mikrovata (1000 } \mu\text{W)}$$

Snaga se takođe može izračunati iz energije u džulima tokom određenog vremena. tj.

$$P \text{ u W} = \text{energija/sekunda} = \text{džul/sekunda}$$

Primer: Električni čajnik koji radi na mrežni napon od 230 V troši 2 A. Pronađite snagu koju troši ovaj čajnik. Ako čajnik radi 10 sekundi, koliko električne energije se koristi?

Rešenje:

Iz gore navedene formule, $P = 230 \times 2 = 460 \text{ W}$.

Korišćena energija je $E = P \times t = 460 \times 10 = 4.600 \text{ džula}$.

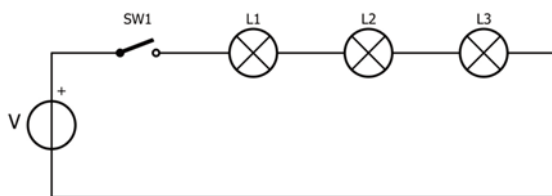
1.6 Osnovna kola sa sijalicama i prekidačima

Pretpostavimo da imate nekoliko sijalica i nekoliko prekidača. Hajde da istražimo na koliko načina možete da ih povežete u kolo. U sledećim kolima, V_{Ln} je napon preko sijalice n , a I_{Ln} je struja kroz lampu n . Takođe, pretpostavlja se da je intezitet svetla sijalica ista dokle god kroz njih teče struja.

1.6.1 Jedan prekidač

Serijska veza sijalica

Slika 1.5 prikazuje serijsku vezu tri sijalice i prekidača. Ovde ista struja prolazi kroz svaku sijalicu. Zbir napona preko svake sijalice jednak je primenjenom naponu. Kada je prekidač zatvoren, sve sijalice se pale.

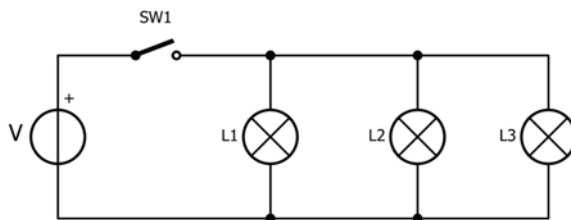


Slika 1.5 Serijska veza

Ista struja teče kroz sve sijalice. Kada je prekidač zatvoren, sve sijalice se uključuju. $V = V_{L1} + V_{L2} + V_{L3}$

Paralelna veza sijalica

Slika 1.6 prikazuje paralelnu vezu tri sijalice i prekidača. Ovde je isti napon preko svake sijalice. Zbir struja kroz sijalice jednak je glavnoj struji. Kada je prekidač zatvoren, sve sijalice se pale.

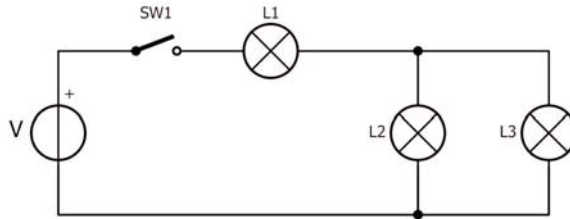


Slika 1.6 Paralelna veza

Svaka sijalica ima isti napon. Kada je prekidač zatvoren, sve sijalice se uključuju. $I = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}$

Serijska i paralelna veza sijalica

Slika 1.7 prikazuje mešovitu serijsku i paralelnu vezu tri sijalice i prekidača. Ovde je isti napon preko L2 i L3. Zbir napona preko L1 i L2 (ili L3) jednak je primenjenom naponu. Struja kroz L1 jednaka je zbiru struja kroz L2 i L3.



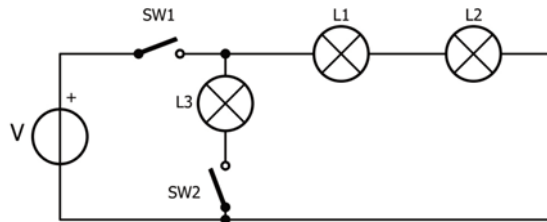
Slika 1.7 Serijska i paralelna veza

Sijalice L2 i L3 imaju isti napon. Kada je prekidač zatvoren, sve sijalice se uključuju.

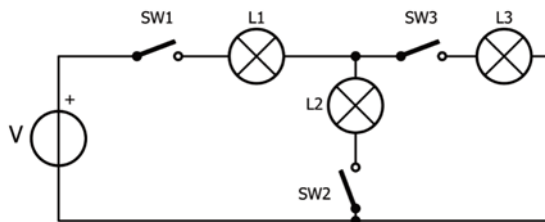
$$V = V_{L1} + V_{L2} \text{ ili } V = V_{L1} + V_{L3}; I_{L1} = I_{L2} + I_{L3}$$

1.6.2 Više od jednog prekidača

Slike 1.8 do 1.10 prikazuju različite konfiguracije sijalica i prekidača. Rad svakog kola je opisan ispod slika.



Slika 1.8. L1 i L2 se uključuju kada je SW1 zatvoren. L3 se uključuje kada je SW2 zatvoren.

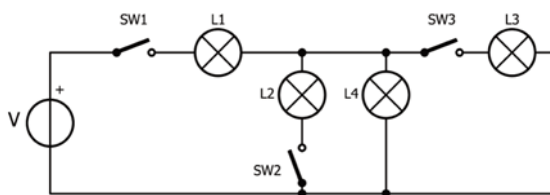


Slika 1.9. L1 se uključuje kada je SW1 zatvoren, i kada su SW2 ili SW3 zatvoreni.

L2 se uključuje kada su SW1 i SW2 zatvoreni (L1 se takođe pali).

L3 se uključuje kada su SW1 i SW3 zatvoreni (L1 se takođe uključuje).

Sve sijalice se uključuju kada su svi prekidači zatvoreni.

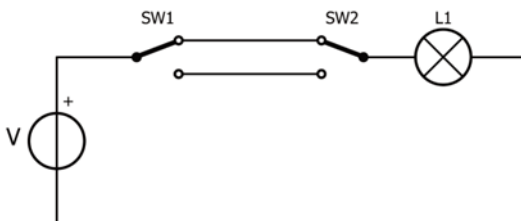


Slika 1.10. L1 i L4 se uključuju kada je SW1 zatvoren.
 L2 se uključuje kada su SW1 i SW2 zatvoreni (L1 i L4 se takođe uključuju).
 L3 se uključuje kada su SW1 i SW3 zatvoreni (L1 i L4 se takođe uključuju).
 Sve sijalice se uključuju kada su svi prekidači zatvoreni.

1.6.3 Dvopolni prekidač

Verovatno ste upoznati sa dvopolnim prekidačima ako vaša kuća ima stepenice ili dugi hodnik. Oni se takođe često koriste u spavaćim sobama. Ovakvi prekidači omogućavaju kontrolu jedne sijalice sa dva različita mesta. Na primer, možete uključiti svetlo na dnu stepenica, a isključiti ga na vrhu.

Slika 1.11 prikazuje osnovnu vezu dvosmernog prekidača. Ovde su dva prekidača (SW1 i SW2) povezana tako da omogućavaju kontrolu sijalice sa dva različita mesta. Kada je jedan prekidač u uključenom položaju, a drugi u isključenom, struja teče kroz sijalicu i ona se uključuje. Kada se bilo koji prekidač prebaci, struja se prekida i sijalica se isključuje.



Slika 1.11 Dvopolni prekidač.
 Kada je sijalica uključena, možete je isključiti prekidačem SW1 ili prekidačem SW2.
 Kada je sijalica isključena, možete je uključiti prekidačem SW1 ili prekidačem SW2.

Poglavlje 2 • Pasivne komponente

2.1 Pregled

Pasivne komponente su delovi kao što su otpornici, kondenzatori, induktori, kablovi, prekidači, ventilatori, lampe, antene, terminali i konektori, zavojnice, transformatori, štampane ploče (PCB) i tako dalje. Ove komponente ne mogu generisati energiju, ali primaju električnu energiju, koju mogu ili apsorbovati, emitovati ili uskladištiti. Pasivne komponente ne pružaju pojačanje ili amplifikaciju električnih signala. Mogu se koristiti same ili povezane u seriji ili paraleli sa drugim komponentama u električnim kolima za kontrolu protoka struje, primenu faznog pomeranja na signale, promenu napona preko komponente i tako dalje. Pasivne komponente su dvosmerne (nemaju polaritet) jer se mogu povezati u bilo kom smeru unutar kola (osim elektrolitskih kondenzatora koji imaju polaritet).

U ovom poglavlju ćemo razmatrati najčešće korišćene pasivne komponente: otpornike, kondenzatore i induktore, kao i njihove kombinacije u električnim kolima.

2.2 Otpornici

Otpornici igraju ključnu ulogu u električnim kolima ograničavajući protok električne struje. Da bismo lakše razumeli funkciju otpornika, možemo napraviti analogiju između električne struje i vode koja teče u cevi. U ovoj analogiji, otpornik je sličan suženju u cevi, koje ograničava protok vode kroz nju. Step en ograničenja u cevi odgovara otporu u električnom kolu. Jednostavno rečeno, što je veći otpor, to je protok električne struje više ograničen. Slično, u analogiji sa vodom, povećano suženje u cevi rezultira smanjenjem zapremine vode koja može proći.

Otpornici imaju mnoge funkcije u električnim kolima. Neke od uobičajenih upotreba otpornika su:

- **Potencijalni delitelji:** dva ili više otpornika u seriji koriste se za smanjenje ulaznog napona na potrebni nivo.
- **Ograničavanje struje:** otpornik se koristi za ograničavanje protoka struje u električnom kolu, obično radi zaštite uređaja. Na primer, otpornik za ograničavanje struje koristi se u kolima sa LED diodama kako bi se ograničila struja i zaštitili i izvor struje i LED dioda.
- **Operacioni pojačavači:** ovde se otpornici koriste za postavljanje pojačanja pojačala.
- **Aktivni filteri:** otpornici se koriste u aktivnim filterima za podešavanje pojačanja filtera, frekvencije i faznih odziva.
- **Merenje struje:** otpornici se koriste za merenje struja kroz kola.

- **U aktivnim kolima:** otpornici se koriste u raznim aktivnim kolima, kao što su pojačala, mikseri, oscilatori, komparatori, baferi, predajnici, prijemnici itd., radi podešavanja karakteristika kola.

Vrednosti otpornika

Vrednosti otpornika izražavaju se u omima, označenim grčkim velikim slovom omega (Ω). Na primer, 100 oma ili 100 Ω . Veće vrednosti dostupne su kao kilo-omi, označene kao k Ω , ili mega-omi, označene kao M Ω . 1 k Ω je jednak 1.000 Ω , a 1 M Ω je jednak 1.000.000 Ω . Dakle, 1 M Ω je jednak 1.000 k Ω .

Otpornici imaju toleranciju, definisanu kao procenat. Na primer, vrednost otpornika od 100 Ω sa tolerancijom od 10% može biti u rasponu od 90 Ω do 110 Ω . Uobičajene tolerancije su 10%, 5% i 1%.

Zbog složenosti proizvodnje i skladištenja otpornika svake moguće vrednosti, oni su organizovani u serije preferiranih vrednosti poznate kao E-serije. E-serije su zasnovane na tolerancijama. Broj koji sledi iza 'E' označava broj različitih vrednosti u seriji. E12 serija, najčešće korišćena, zasnovana je na toleranciji od 10% i ima 12 vrednosti po dekadi:

1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8 i 8.2.

Na primer, unutar E12 serije možemo naći otpornike sa sledećim vrednostima u opsegu 1.8:

1.8 Ω , 18 Ω , 180 Ω , 1.8 k Ω , 18 k Ω , 180 k Ω , 1.8 M Ω i tako dalje.

E24 serija je zasnovana na toleranciji od 5% i ima 24 vrednosti po dekadi:

1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2 i 9.1.

Otpornici sa tolerancijom od 1% dostupni su u E96 seriji. Otpornici iz E192 serije imaju toleranciju od 0.5%, ali su skuplji. Za kompleksna kola, postoje i E3, E6 i E48 serije.

Ako, na primer, trebamo otpornik od 185 Ω , najbliža vrednost iz E12 i E24 serije bila bi 180 Ω . Napominjemo da se, iz istorijskih razloga, u električnim kolima često koriste otpornici sa vrednostima iz E12 serije, ali sa tolerancijom od 5%.

2.2.1 Tipovi otpornika

Otpornici su dostupni u različitim oblicima i konfiguracijama.

Otpornici fiksne vrednosti

Kao što ime sugeriše, ovi otpornici imaju fiksne vrednosti otpora (slika 2.1 levo). Otpornik fiksne vrednosti je uređaj sa dva terminala. Mogu imati različite oblike kao što su pravougaoni, cilindrični, montažni na šasiju, nizovi otpornika, površinski monti-

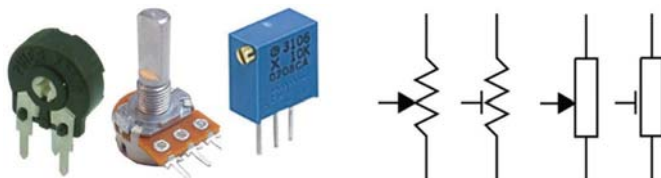
rani itd. Otpornici fiksne vrednosti prikazani su na dva različita načina u električnim kolima: ili kao cik-cak linija (američki stil, slika 2.1 sredina) ili kao pravougaonik (evropski stil, slika 2.1 desno). U šematskom prikazu, vrednost otpornika je napisana blizu ili unutar simbola u skraćenom obliku koristeći množitelje poput 'k' i 'M'. Simbol Ω se obično izostavlja. Vrednosti ispod 1 k Ω obično se pišu sa simbolom Ω zamenjenim sa 'R' (npr. 470R). Vrednosti sa decimalom kao što su 2.2 k Ω ili 5.6 M Ω mogu se pisati kao 2k2 ili 5M6. Vrednost od 3.9 Ω može se pisati kao 3R9. Kada su prikazani samo referentni brojevi kao što su R1, R2, R3 itd., vrednosti su navedene u tabeli (lista komponenti) ili u tekstu, na primer R1 = 10 k Ω .



Slika 2.1 Otpornik fiksne vrednosti (levo), njegov simbol u američkom stilu (u sredini) i simbol evropskog stila sa desne strane.

Promenljivi otpornici

Takođe poznati kao potenciometri i trimeri, vrednost promenljivog ili podesivog otpornika se podešava okretanjem osovine ili šrafa (slika 2.2 levo) ili pomeranjem dugmeta. Promenljivi otpornik je uređaj sa tri terminala. Centralni pin, prikazan sa strelicom u električnim kolima (slika 2.2 desno), poznat je kao klizač i predstavlja mesto gde je promenljivi otpor dostupan.



Slika 2.2 Slika 2.2 Promenljivi otpornici i njihovi simboli. Kada je klizač nacrtan kao strelica, to je potenciometar. Inače, to je podesivi otpornik ili trimer.

Mreže otpornika

Mreže otpornika mogu se koristiti za uštedu prostora kada je potrebno više otpornika iste vrednosti. Za takve primene, moguće je nabaviti mreže otpornika ili kao jednostruke inline (SIL, slika 2.3 levo) ili dvostruke inline (DIL, slika 2.3 desno) pakete. Mogu dolaziti kao više pojedinačnih otpornika, ili sa jednim pinom svakog otpornika povezanim na zajednički kontakt.



Slika 2.3 Mreže otpornika dolaze u SIL (levo) i DIL (desno) pakovanju

2.2.2. Materijali otpornika

Različiti materijali se koriste u proizvodnji otpornika. Neki od najčešće korišćenih materijala, njihove prednosti i nedostaci, sažeti su u ovom odeljku.

Otpornici od ugljeničnog kompozita

Otpornici od ugljeničnog kompozita formirani su mešanjem granula ugljenika sa nekom vrstom vezivnog materijala, oblikovani kao mali cilindrični štap. Ova vrsta otpornika pati od promena temperature, promene otpora zbog starenja i visokog šuma. Otpornici od ugljeničnog kompozita, iako dostupni u starijoj opremi, više se ne koriste.

Otpornici od ugljeničnog filma

Ovi otpornici (slika 2.4a) koriste se za opšte namene. Konstruisani su taloženjem ugljeničnog filma na cilindričnu keramičku podlogu. Više ugljenika rezultira manjim otporom. Prednost ove konstrukcije je niska induktivnost, što čini ugljenični film pogodnim za visokofrekventne primene. Takođe, keramika je odličan izolator toplote.

Otpornici od metalnog filma

Otpornici od metalnog filma (slika 2.4b) izrađeni su u slojevima određenih metala na izolacionu podlogu. Njihova izrada je jednostavnija od otpornika od ugljeničnog filma i mogu se proizvoditi u velikim količinama uz manje napora. Prednosti otpornika od metalnog filma su niži šum, mnogo uža tolerancija i bolji temperaturni koeficijenti, što znači da se njihova vrednost ne menja mnogo kada se temperatura promeni. Polako zamenjuju otpornike od ugljeničnog filma.

Žičani otpornici

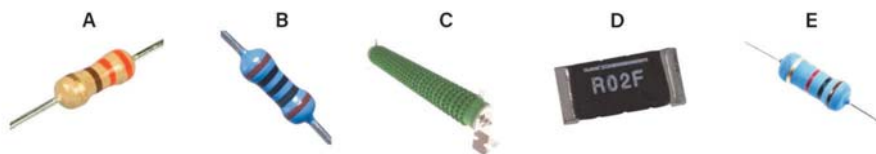
Žičani otpornici (slika 2.4c) izrađeni su namotavanjem žice na podlogu. Koriste se u primenama koje zahtevaju vrlo uske tolerancije (manje od 0.01%) i niske temperaturne koeficijente. Žičani otpornici takođe se koriste u kolima velike snage. Međutim, zbog namotane žice, ova vrsta otpornika ima visoku induktivnost i stoga je nepogodna za visokofrekventne primene.

Otpornici od metalne trake

Ovi otpornici (slika 2.4d) koriste se uglavnom u napajanjima za merenje struje. Imaju vrlo niske ohmske vrednosti i vrlo niske temperaturne koeficijente. Otpornici od metalne trake izrađeni su laserskim sečenjem trake metala.

Otpornici od metalnog oksida

Otpornici od metalnog oksida (slika 2.4e) slični su otpornicima od metalnog filma sa oksidom kalaja kao otpornim materijalom. Generalno su pogodniji za visokonaponske i visokosnažne primene od otpornika od metalnog filma. Otpornici od metalnog oksida takođe su pouzdaniji od tipova otpornika metalnog filma.



Slika 2.4 Različite vrste otpornika. S leva na desno: ugljenični film, metalni film, žičani namotaj, metalna traka i metalni oksid.

2.2.3 Specifikacije otpornika

Važno je poznavati ključne karakteristike i specifikacije otpornika pre nego što se koriste u električnim kolima. Neke uobičajene specifikacije navedene su u ovom odeljku.

Temperaturni koeficijent

Ovo je mera promene vrednosti otpora usled promena temperature. Temperatura može biti pozitivna ili negativna. U primenama gde je okolina podložna velikim temperaturnim promenama, otpornici sa niskim temperaturnim koeficijentima mogu biti poželjni.

Starenje

Starenje je promena vrednosti otpora tokom vremena zbog stresova iz okruženja kao što su vlaga, ambijentalna temperatura i tako dalje. Tipično, vrednost otpora raste tokom vremena.

Toplotni otpor

Toplotni otpor je mera koliko dobro otpornik može disipirati toplotu. Ovaj parametar je važan, na primer, u aplikacijama velike snage gde je otpornik zatvoren i nije u direktnom kontaktu sa slobodnim vazduhom.

Šum

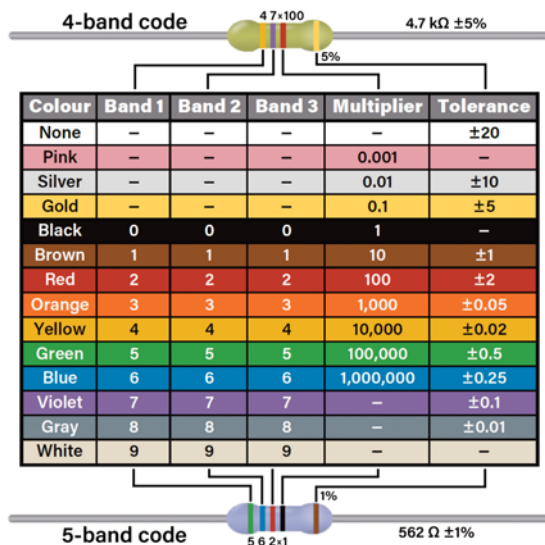
Kao i sve druge elektronske komponente, otpornici generišu šum, što može biti važno u niskonaponskim i preciznim primenama. Većina šuma u otpornicima uzrokovana je visokom temperaturom. Nivo šuma može se smanjiti snižavanjem vrednosti otpora, snižavanjem radne temperature i smanjenjem snage koja se primenjuje na otpornik.

Snaga

Ovo je ključni parametar za svaki otpornik korišćen u kolu. Svi otpornici imaju snage. Generalno, što je veća veličina otpornika, to više snage može podneti. Važno je odabrati otpornik koji može podneti maksimalnu snagu koja se primenjuje na njega. Snaga koja se emituje (disipira) u otporniku određuje se prema struji kroz njega i njegovom otporu (vidi ispod). Mali otpornici korišćeni u većini električnih kolima projektovani su da ne emituju (dispiraju) više od oko 0.25 W ili 0.125 W.

2.2.4 Kod boja otpornika

Vrednost cilindričnog otpornika je označena trakama u boji, videti sliku 2.5. Svaki otpornik ima tri ili četiri opsega koji određuju vrednost, plus opseg tolerancije. Za 4-pojasni otpornik, prva dva opsega odgovaraju numeričkim vrednostima, treći opseg je množilac, a poslednji opseg je tolerancija. Za 5-pojasni otpornik, prva tri opsega su numeričke vrednosti, četvrti opseg je množilac, a poslednji opseg je tolerancija. Imajte na umu da postoji mali jaz između opsega tolerancije i drugih traka.



Primer 1

Otpornik sa 4 trake ima boje crvena, crvena, narandžasta, braon. Izračunajte njegovu vrednost i toleranciju. Sa slike 2.5 imamo:

- Crvena: 2
- Crvena: 2
- Narandžasta: 1,000
- Braon: 1%

Vrednost je: $22 \times 1,000 = 22,000 \Omega$ ili $22 \text{ k}\Omega$ sa $\pm 1\%$ tolerancijom

Ova vrednost se takođe može čitati s desna na levo, tj. braon, narandžasta, crvena, crvena, što odgovara $1,300 \Omega$ sa $\pm 2\%$ tolerancijom. Smer čitanja je naznačen trakom tolerancije, koja je ili šira ili postavljena odvojeno od ostalih traka. U slučaju sumnje, koristite ommetar.

Primer 2

Otpornik sa 4 trake ima boje žuta, ljubičasta, žuta, zlatna. Izračunajte njegovu vrednost i toleranciju.

Sa slike 2.5 imamo:

Žuta: 4
Ljubičasta: 7
Žuta: 10,000
Zlatna: 5%

Vrednost je: $47 \times 10,000 = 470,000 \Omega$ ili $470 \text{ k}\Omega$ sa $\pm 5\%$ tolerancijom

Primer 3

Otpornik sa 5 traka ima boje: braon, crna, crna, braon, braon. Izračunajte njegovu vrednost i toleranciju.

Sa slike 2.5 imamo:

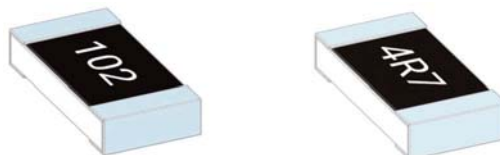
Braon: 1
Crna: 0
Crna: 0
Braon: 10
Braon: 1%

Vrednost je: $100 \times 10 = 1,000 \Omega$ ili $1 \text{ k}\Omega$ sa $\pm 1\%$ tolerancijom

Ova vrednost se takođe može čitati s desna na levo, tj. braon, braon, crna, crna, braon, što odgovara 110Ω sa $\pm 1\%$ tolerancijom. Smer čitanja je naznačen trakom tolerancije, koja je ili šira ili postavljena odvojeno od ostalih traka. Ako niste sigurni, koristite ommetar.

Zbog svojih malih dimenzija, na otpornicima sa površinskom montažom (SMT) vrednost u omima je ispisana kao trocifren ili četvorocifren broj. U trocifrenom prikazu, prve dve cifre su numeričke vrednosti, a poslednja cifra je broj nula. Na primer, 102 (slika 2.6, levo) predstavlja '10 00' što je $1,000 \Omega$ ili $1 \text{ k}\Omega$. Slično, 103 predstavlja '10 000' što je $10,000 \Omega$ ili $10 \text{ k}\Omega$.

Za niske vrednosti koristi se slovo 'R' kao decimalna tačka. Na primer, 4R7 znači 4.7Ω (slika 2.6, desno).



Slika 2.6 Otpornici $1 \text{ k}\Omega$ i 4.7Ω za površinsku montažu.

Za vrlo male otpornike koristi se EIA96 sistem, koji uključuje tabelu pretrage gde se koristi trocifrena vrednost.

2.2.5 Omov zakon

Omov zakon je jedan od fundamentalnih zakona u elektronici. Ovaj zakon kaže da je pad napona (V , u voltima) preko otpornika jednak proizvodu struje (I , u amperima) kroz otpornik i njegove vrednosti (R , u omima). Izraženo kao jednačina:

$$V = I \times R \quad \text{ili} \quad I = V/R \quad \text{ili} \quad R = V/I$$

U mnogim elektronskim kolima struje se mere u miliamperima (mA), što je hiljaditi deo ampera. Na primer, razmotrimo kolo gde je napon preko otpornika 5 V, a struja kroz ovaj otpornik je izmerena na 100 mA. Vrednost otpornika može se izračunati kao:

$$R = V/I = 5/0.010 = 50 \Omega$$

2.2.6 Otpornici u seriji i paraleli

Otpornici se mogu povezivati u seriji, paraleli ili u kombinaciji serije i paralela. Povezivanjem otpornika zajedno možemo dobiti veće ili manje vrednosti. Takođe, razna pasivna električna kola mogu se dizajnirati kombinacijom otpornika.

Serijska veza

Slika 2.7 gore prikazuje četiri otpornika povezana u seriji. U serijskoj vezi, ukupni otpor je jednak zbiru pojedinačnih vrednosti. Dakle, u ovom kolu ukupni otpor R_T dat je kao:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

U serijskom otpornom kolu, ista struja prolazi kroz sve otpornike i zbir naponskih padova preko svakog otpornika jednak je primenjenom naponu na kolo.

Primer

Tri otpornika sa vrednostima 100 Ω , 150 Ω i 200 Ω povezani su u seriji. Izračunajte ukupni otpor.

Rešenje: Ukupni otpor dat je kao: $R_T = 100 + 150 + 200 = 450 \Omega$

Paralelna veza: Slika 2.7 dole prikazuje četiri otpornika povezana paralelno. Kada su otpornici povezani paralelno, inverzna vrednost ukupnog otpora jednaka je zbiru inverznih vrednosti pojedinačnih otpora. Dakle, u ovom kolu ukupni otpor R_T dat je kao:

$$1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4$$

U paralelnom otpornom kolu, isti napon je preko svakog otpornika i zbir struja u svakoj grani jednak je ukupnoj struji u kolu.

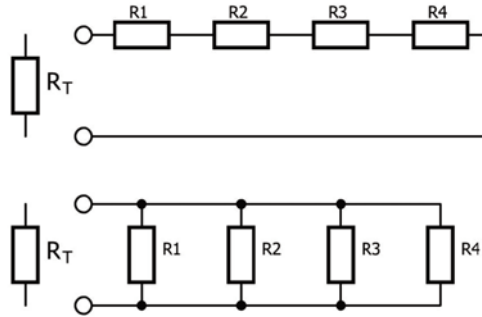
Primer

Dva otpornika sa vrednostima 100Ω i 200Ω povezana su paralelno. Izračunajte ukupni otpor.

Rešenje:

Ukupni otpor dat je kao: $1/R_T = 1/100 + 1/200 = 3/200$

ili, $R_T = 200/3 = 66.6 \Omega$



Slika 2.7 Otpornici u seriji (gore) i paralelno (dole).

Napomena: Ako su dva otpornika R_1 i R_2 povezana paralelno, njihov ukupni otpor može se izračunati množenjem dve vrednosti, a zatim deljenjem sa njihovim zbirom:

$$R_T = R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2)$$

Dakle, za gornji primer:

$$R_T = 100 \times 200 / (100 + 200) = 66.6 \Omega$$

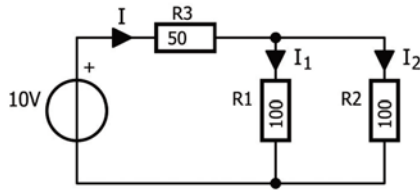
Napomena: Ako su dva identična otpornika povezana paralelno, tj. $R_1 = R_2$, njihov ukupni otpor jednak je polovini vrednosti pojedinačnog otpornika, tj. $R_T = 0.5 R_1$ ili $R_T = 0.5 R_2$.

2.2.7 Otpornici u električnim kolima Primeri

Neki jednostavni primeri kola dati su u ovom odeljku kako bi se pokazalo kako se ukupni otpor, struja, napon i rasipanje snage mogu izračunati u otpornim kolima.

Primer

Slika 2.8 prikazuje električno kolo sa napajanjem od 10 V i tri otpornika R_1 , R_2 i R_3 sa vrednostima 100Ω , 100Ω i 50Ω . Izračunajte struju i napon preko svakog otpornika. Takođe, izračunajte disipaciju snage na otporniku R_3 .



Rešenje

Zbir struja I_1 i I_2 jednak je struji I . Da bismo našli ukupnu struju I , moramo naći ukupni otpor kola. R_1 i R_2 su u paraleli i imaju istu vrednost. Dakle, njihov ukupni otpor je 50Ω . Ovo je u seriji sa R_3 , koji takođe ima 50Ω . Ukupni otpor kola je stoga 100Ω . Sada se struja I može izračunati kao:

$$I = V/R_T = 10/100 = 0.1 \text{ A ili } 100 \text{ mA}$$

Napon preko R_3 : $V_{R3} = I \times R_3 = 0.1 \times 50 = 5 \text{ V}$

Napon preko R_1 i R_2 : $V_{R1} = V_{R2} = 10 - V_{R3} = 10 - 5 = 5 \text{ V}$

Struja kroz R_1 : $I_1 = V_{R1}/R_1 = 5/100 = 0.05 \text{ A ili } 50 \text{ mA}$

Struja kroz R_2 : $I_2 = V_{R2}/R_2 = 5/100 = 0.05 \text{ A ili } 50 \text{ mA}$

Kao što vidite, zbir struja I_1 i I_2 jednak je glavnoj struji I .

Disipacija snage u otporniku R_3 izračunava se pomoću sledeće formule, gde je P snaga u vatima, V je napon preko otpornika u voltima, I je struja kroz otpornik u amperima, i R je otpor u omima:

$$P = V \times I \quad \text{ili} \quad P = V^2/R \quad \text{ili} \quad P = I^2 \times R$$

Snaga emitovana u otporniku R_3 izračunava se kao:

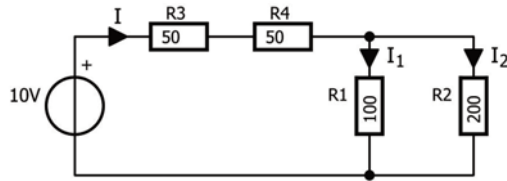
$$P = V_{R3} \times I = 5 \times 0.1 = 0.5 \text{ W}$$

ili $P = V^2/R_3 = 5^2/50 = 0.5 \text{ W}$

ili $P = I^2 \times R_3 = 0.1^2 \times 50 = 0.5 \text{ W}$

Primer

Slika 2.9 prikazuje električno kolo sa napajanjem od 10 V i četiri otpornika R_1 , R_2 , R_3 i R_4 . R_1 i R_2 su u seriji, a R_3 i R_4 su paralelni. Dva otpornika u seriji su u seriji sa dva otpornika u paraleli. Izračunajte struju kroz svaki otpornik, napon preko svakog otpornika, snagu rasipanu (emitovanu/disipiranu) u svakom otporniku i ukupnu rasipanu snagu u kolu.



Rešenje

Zbir struja I_1 i I_2 jednak je struji I . Da bismo našli ukupnu struju I , moramo naći ukupni otpor kola.

Ukupni otpor R_1 i R_2 :	$1/R_{T12} = 1/R_1 + 1/R_2 = 1/100 + 1/200 = 3/200 = 66.6 \Omega$
Ukupni otpor kola:	$R_T = 50 + 50 + 66.6 = 166.6 \Omega$
Struja I :	$I = V/R_T = 10/166.6 = 0.060 \text{ A}$
Napon preko R_3 :	$V_{R3} = I \times R_3 = 0.060 \times 50 = 3 \text{ V}$
Napon preko R_4 :	$V_{R4} = I \times R_4 = 0.060 \times 50 = 3 \text{ V}$
Ukupni napon preko R_1 i R_2 :	$3 + 3 = 6 \text{ V}$
Napon preko R_1 i R_2 :	$V_{R1} = V_{R2} = 10 - 6 = 4 \text{ V}$
Struja kroz R_1 :	$I_1 = V_{R1}/R_1 = 4/100 = 0.04 \text{ A}$
Struja kroz R_2 :	$I_2 = V_{R2}/R_2 = 4/200 = 0.02 \text{ A}$
Snaga disipirana u R_1 :	$P_{R1} = V_{R1} \times I_{R1} = 4 \times 0.04 = 0.16 \text{ W}$
Snaga disipirana u R_2 :	$P_{R2} = V_{R2} \times I_{R2} = 4 \times 0.02 = 0.08 \text{ W}$
Snaga disipirana u R_3 :	$P_{R3} = V_{R3} \times I = 3 \times 0.06 = 0.18 \text{ W}$
Snaga disipirana u R_4 :	$P_{R4} = V_{R4} \times I = 3 \times 0.06 = 0.18 \text{ W}$
Ukupna disipirana snaga:	$P_T = 0.18 + 0.18 + 0.16 + 0.08 = 0.6 \text{ W}$
Što je:	$P_T = V \times I = 10 \times 0.06 = 0.6 \text{ W}$

2.2.8 Razdelnik napona

Razdelnik napona koristi se za smanjenje napona. Na primer, pretpostavimo da želimo da povežemo signal od 5 V na ulaz koji ne može prihvatiti napone iznad 3.3 V. To možemo postići smanjenjem nivoa od 5 V na 3.3 V pomoću razdelnika napona.

Kao što je prikazano na slici 2.10, razdelnik napona se sastoji od dva otpornika, nazvana R_1 i R_2 na slici. Ako je V_I ulazni napon, a V_O je željeni niži izlazni napon, možemo napisati sledeće jednačine o ovom kolu.

Pretpostavljajući da izlaz ne povlači ili povlači zanemarljivu struju (što je slučaj u većini primena):

$$I = (V_I - V_O)/R_1$$

Takođe, $I = V_O/R_2$