

# Elektronika za mlade

## UVOD

Osnovna je pretpostavka za svakoga radioamatera da zna i razumije barem osnove elektrotehnike i elektronike kao temelj svoga hobija - bilo da je radioamater-konstruktor, bilo radioamater-operator. Ako je taj temelj dobro postavljen, i daljnje napredovanje mladog radioamatera na višu razinu neće biti teško. Nedavno objavljeni "Pravilnik o amaterskim radijskim komunikacijama" ("Narodne novine", broj 198./2003.) znatno je olakšao polaganje ispita za operatorski P-razred - smanjenjem programa i ukidanjem polaganja Morseovih znakova, tako da svaki učenik, ako je navršio dvanaest godina, može polagati taj ispit, a kada navrší četrnaest godina - može dobiti i osobnu pozivnu oznaku i pravo držanja kratkovalne i ultrakratkovalne amaterske radijske postaje snage do 75 W.

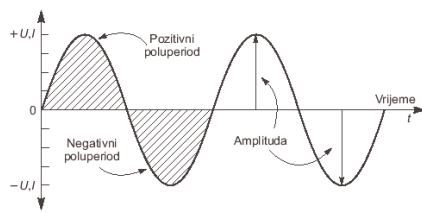
Operatorski ispit sastoji se od tri dijela: tehničkih pitanja, operativnih pitanja i poznavanja zakonskih propisa. Program tehničkih pitanja za P-razred je minimalan i ne traži velike napore pri učenju. Sastoji se od deset kraćih poglavlja na osnovnoj razini radioamaterskog znanja. U ovoj rubrici obradit ćemo tih deset poglavlja tako, da mladi čitatelj, ako bude redovito pratio obrađene teme, ne bi smio imati poteškoća pri polaganju tehničkog dijela ispita za P-razred - što se očekuje od svakog mladog radioamatera. Matematičko znanje koje se za to traži nije veliko: četiri osnovne računске operacije (zbrajanje, odbijanje, množenje i dijeljenje), te kvadriranje i vađenje drugog korijena. Te operacije ima i najjeftiniji džepni kalkulator, tzv. "digitron".

## Poglavlje 1.

# Električna, elektromagnetska i radijska teorija.

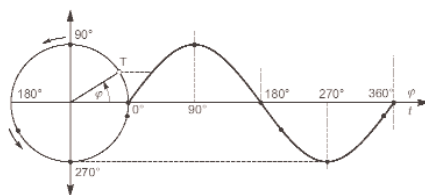
### 1.1. Sinusoidalni signali

Svi znamo za sinusoidu. Ona se smatra savršenom krivuljom zato što se ona ne može dalje rastavljati na neke jednostavnije krivulje, dok se sve druge, manje pravilne krivulje mogu rastaviti na određen broj sinusoida. Sinusoidu vidimo na slici 1.



Slika 1. - Sinusoida (vidi tekst)

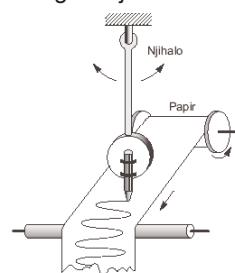
Ona ima dvije polovice, dva poluperioda: nazovimo ih pozitivnim i negativnim. Vodoravna crta (apscisa) "t" predstavlja vrijeme (latinski "tempus"), i nalazi se na nultoj razini napona ili struje. Razmak između apscise i vrha poluperioda na jednu ili na drugu stranu zove se **amplituda** (ili razmah). Ona nam prikazuje najveću trenutachnu vrijednost nekog izmjeničnog napona ili struje - bilo u pozitivnom, bilo u negativnom smjeru. Pravilna sinusoida može se dobiti na tri načina: matematički, fizikalno i putem elektromagnetske indukcije. Matematički način ne traži nikakvih sprava, osim geometrijskog pribora (slika 2.).



Slika 2. - Nastanak sinusoide - matematički način (vidi tekst)

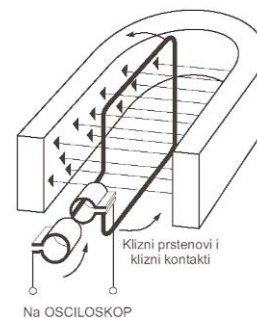
Zamislimo da se točka "T" jednolično kreće po obodu kružnice. Ako sada projiciramo trenutačni položaj te točke iznad ili ispod vremenske osi "t", točku po točku, i te točke međusobno povežemo, dobit ćemo sinusoidu. Danas možemo sinusoidu nacrtati i tako da matematički izraz za sinusoidu upišemo u neki računalni program za crtanje, što je lakše i elegantnije.

Sljedeći način je fizikalni, zapravo mehanički (slika 3.). Ispod njihala, koje se slobodno njiše, nalazi se papir koji se jednolično kreće, dok olovka pričvršćena za njihalo crta krivulju - sinusoidu.



Slika 3. - Nastanak sinusoide - fizikalni način

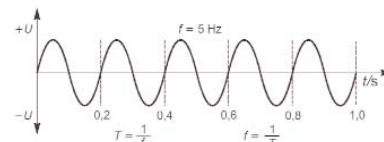
Treći način je putem elektromagnetske indukcije (slika 4.). Ako se zavoj žice jednolično okreće u magnetskom polju između polova magneta, na krajevima



Slika 4. - Nastanak sinusoide - elektromagnetski (induktivni) način

tog zavoja javit će se promjenljivi električni napon koji se mijenja u obliku sinusoida. Tu sinusoidu možemo promatrati na ekranu instrumenta koji se zove **osciloskop**. Sinusoida je vrlo prikladna za prikazivanje i izračunavanje izmjeničnih napona i struja.

Osim amplitude, najvažnija brojka koja opisuje neku sinusoidu jest njena **frekvencija**. To je broj titraja u jednoj sekundi. (Dva poluvala čine cijelu sinusoidu ili jedan titraj, odnosno period.) Frekvencija se mjeri jedinicom koja se zove **herc** u čast fizičara koji je otkrio radiovalove - *Heinricha Hertza*. Kratica za herc je **Hz**. Jedan Hz je jedan tritraj u sekundi. Veća jedinica je kiloherc (kHz), tj. 1000 Hz, a još veća je megaherc (MHz), tj. milijun titraja u sekundi. Slijedi gigaherc (GHz), a to je milijardu herca. Slika 5. grafički prikazuje frekvenciju od 5 Hz, tj. 5 titraja u jednoj sekundi.



Slika 5. - Frekvencija ove sinusoida je 5 Hz. Njen period traje 1/5 = 0,2 sekunde.

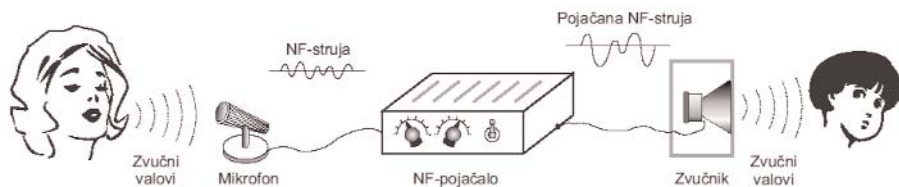
Na primjer, frekvencija izmjenične struje naše gradske mreže iznosi 50 Hz (u Americi 60 Hz). Trajanje jedne sinusoida zove se **period**. Što je frekvencija viša, period je kraći - i obratno. Trajanje perioda "T" (u sekundama) lako ćemo izračunati iz frekvencije jer su oni recipročni:

$$\text{period } T = \frac{1}{f} \text{ (s);}$$

i obratno

$$\text{frekvencija } f = \frac{1}{T} \text{ (Hz).}$$

Naprimjer, frekvencija u slici 5. iznosi 5 Hz. Period jedne sinusoida stoga iznosi 1/5 = 0,2 sekunde.

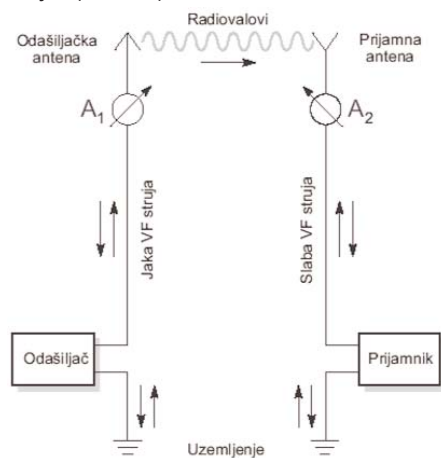


Slika 6. - Prikaz žičanog prijenosa zvuka.

U radiotehnici frekvencije se dijele na **niske (n.f.)** i **visoke (v.f.)**. U međunarodnoj literaturi naći ćemo i kratice a.f. (audiofrekvencija) za niske, i r.f. (radiofrekvencija) za visoke frekvencije. Niske frekvencije su one koje, pretvorene u titranje zraka, možemo čuti (govor i glazba). Fiziološki, to su frekvencije od 16 Hz (vrlo dubok ton), do 16 kHz (vrlo visok piskut). Za razumljiv prijenos govora dovoljan je prijenos niskih frekvencija između 300 Hz i 3 kHz. Naprava koja zvučne titraje pretvara u električne zove se mikrofonski element (slika 6).

Slabi n.f. titraji iz mikrofona vode se u niskofrekvencijsko ili audio pojačalo, a iz njega u zvučnik, koji s pomoću svoje membrane pojačanu n.f. struju pretvara nazad u zvučne titraje.

U praksi frekvencije koje su više od niskih zovemo visokim frekvencijama. One se protežu od 20 kHz, pa sve do 300 GHz. Te frekvencije nama su važne zato što se mogu pretvoriti u radiovalove i bežično prenositi na udaljenost. (Teorijski, to se može učiniti i s niskim frekvencijama, ali bi za to trebale antene dugačke i preko stotinu kilometara.) Visoke frekvencije, odvedene u odgovarajuću **odašiljačku antenu** uzrokovat će to da ona oko sebe širi radiovalove iste frekvencije. Kada oni stignu do **prijamne antene**, u njoj nastaje obratan proces: Radiovalovi se pretvaraju nazad u visokofrekventnu struju iste frekvencije. (slika 7.).



Slika 7. - Shema bežičnog prijenosa v.f. signala.  
A1 - ampermetar za jaku v.f. struju;  
A2 - osjetljiv ampermetar za slabu v.f. struju

Uobičajeno je reći tom prilikom da smo primili v.f. signal.

Ako jednoga dana sami načinite

svoj odašiljač, nazovimo ga QRP (to je kratica za odašiljače male snage - do 10 W), prije dobivanja dozvole za rad on će se morati atestirati (tj. provjeriti) u Hrvatskom radioamaterskom savezu koji vam izdaje potvrdu da je uređaj ispravan. Što će se tamo provjeravati? Prvo, je li frekvencija vašega odašiljača dovoljno stabilna, tj. da ne "šeće" po frekvencijskom području, već da je čvrsto "ukopana". Drugo, još važnije, provjeravat će se jesu li **harmoničke frekvencije** vašega odašiljača (i druge moguće smetnje) dovoljno oslabljene. Što to znači? Već smo rekli da se izobličena sinusoida može rastaviti na veći broj neizobličених sinusoida (slika 8.).

To su tzv. harmoničke frekvencije i one su uvijek **cjelobrojni umnožak** osnovne frekvencije. Prema tome, ako vaš odašiljač radi na frekvenciji od 7 MHz, njegova druga harmonička frekvencija (ili drugi harmonik) javit će se na 14 MHz, treća - na 21 MHz, četvrta na 28 MHz, itd. A to su sasvim druga područja na kratkim valovima gdje vi smetate drugima. Vaš odašiljač smije se čuti samo na jednome mjestu, na jednoj frekvenciji, a ne na više njih. U članku 22. "Pravilnika o amaterskim radijskim komunikacijama" između ostaloga stoji: "**Sporedne emisije moraju se smanjiti na najmanju moguću mjeru. Za srednju snagu do 25 W sporedne emisije ne smiju biti veće od 2,5 mW (milivata)...**", tj. moraju biti barem deset tisuća puta slabije od snage odašiljača na osnovnoj frekvenciji (- 40 dB). Kada tih izobličena izlazne sinusoidalne struje ne bi bilo, ne bi bilo niti neželjenih harmoničkih frekvencija. (Inače, sporedne emisije nisu samo harmonici, već i druga neželjena zračenja koja eventualno zrači naš odašiljač.) One se najčešće uklanjaju tzv. **niskopropusnim filtrom** (engleski "low-pass filter", LPF), u kojemu se nalaze zavojnice i kondenzatori. On propušta samo osnovnu frekvenciju i "guši" više, tj. harmoničke frekvencije. Kontrola harmoničkih i ostalih sporednih emisija obavlja se preko velikog ekrana na instrumentu koji se zove **analizator spektra** (slika 9.).

Danas smo naučili ili objasnili 15 temeljnih pojmova iz elektrotehnike, elektronike i radiotehnike. To su:

- sinusoida
- amplituda
- frekvencija (f)

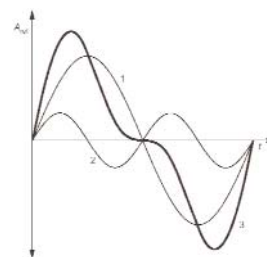
- period (T)
- herc (Hz)
- kiloherc (kHz)
- megaherc (MHz)
- gigaherc (GHz)
- niske frekvencije (n.f. ; a.f.)
- visoke frekvencije (v.f.; r.f.)
- odašiljačka antena
- prijamna antena
- harmoničke frekvencije
- sporedne emisije
- niskopropusni filter (LPF).

Spomenuli smo i dva mjerna instrumenta: osciloskop i analizator spektra.

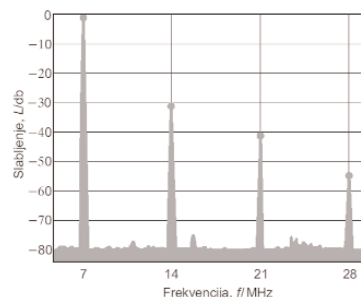
Toliko za prvi put. Sljedeći put govorit ćemo o moduliranim signalima: amplitudnoj i frekvencijskoj modulaciji.

Napomena: Ako se želite bolje upoznati s harmoničkim frekvencijama, pođite na Internet i upišite adresu: <http://www.earlevel.com/Digital%20Audio/harmograf.html>. Dobit ćete poučan i zanimljiv program koji prikazuje sinusoidu koja može imati i harmoničke frekvencije. "Mišem" možete pomicati crvene pločice i na ljestvice unositi po želji osam harmoničkih frekvencija i istodobno promatrati što se događa s osnovnom krivuljom (to su tzv. Fourierove transformacije).

Nastavlja se ...



Slika 8. - Krivulja 1 je sinusoida na osnovnoj frekvenciji; krivulja 2 je njen drugi harmonik. Zbrojene daju krivulju 3 - izobličenu sinusoidu koja u sebi sadrži i osnovnu frekvenciju i drugi harmonik.



Slika 9. - Signal odašiljača na analizatoru spektra: Osnovni signal je na 7 MHz i on je bez slabljenja (0 dB). Drugi harmonik (14 MHz) nije dovoljno oslabljen: trebao bi biti -40 dB, umjesto -30 dB. Treći harmonik (21 MHz) je točno na dozvoljenoj granici, dok je četvrti harmonik (28 MHz) dovoljno oslabljen (-53 dB). Ovome odašiljaču valja ugraditi kvalitetniji niskopropusni filter za rad na 7 MHz.

Piše: Božidar Pasarić, 9A2HL

# Elektronika za mlade - 2. nastavak

Nastavljamo obradu ispitnog gradiva za P-razred objavljenog u Narodnim novinama broj 198/2003. Danas su na redu:

## Amplitudna i frekventijska modulacija

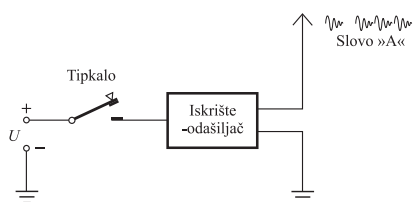
Pronalazač radiovalova Heinrich Hertz nije pridavao veću važnost svome otkriću iz 1886. godine jer je smatrao da ono ne može imati praktičnu primjenu. Prve eksperimente s radiovalovima izveli su pri kraju 19. stoljeća, svaki na svoj način, Nikola Tesla, Gulielmo Marconi i Aleksandar Popov. Tesla je težište svojih istraživanja stavio na bežični prijenos električne energije, Marconi na bežični prijenos informacija, dok je Popov načinio aparat koji zvoni kada u daljini sijevaju munje, koje su prirodni izvor snažnih radiovalova. Postojanje radiovalova, teorijski i matematički, predvidio je već prije toga škotski fizičar i matematičar James Clark Maxwell kroz svoje čuvene četiri jednadžbe, 1873. godine.

Električna iskra je izvor radiovalova - i to **prigušenih radiovalova** (slika 1.).



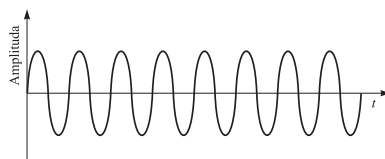
Slika 1.

Oni nas podsjećaju na trzanje tamburice: čim žica proizvede zvuk, on odmah i oslabi pa ga treba ponoviti. Prvi odašiljači bili su snažna električna iskrišta na čije krajeve su se priključivali antena i uzemljenje. (Danas je iskrenje smetnja.) Jedina informacija koja se tako mogla poslati bili su Morseovi znakovi preuzeti od žičanog telegrafa-telegrafsko tipkalo je bilo uključeno u vod električnog napajanja odašiljača i njime su se oblikovali Morseovi znakovi, tzv. "crte" i "točke" (slika 2.). Prijamnik je u sebi imao tzv. *koherer* - staklenu cijev s metalnom strugotinom koja je postaje vodljiva kada u nju stignu v.f. struje iz antene, pa se tada



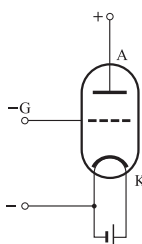
Slika 2.

iz posebne baterije aktiviralo zvonce. *Koherer* nije imao nikakvo pojačanje - služio se isključivo energijom koju je dobio iz antene. Ako su signali bili preslabi, on nije reagirao. Postizanje većeg dometa zato se tražilo u što snažnijim odašiljačima. Tek poslije izuma elektronske cijevi - **diode** (Englez John Fleming, 1905.), i na njoj osnovi konstrukcijom **triode** kao pojačala (Amerikanac Lee de Forest, 1907.), otvoreno je razdoblje elektronike i modernije radiotehnike. Elektronska cijev trioda je također omogućila konstrukciju prijamnika s relativno velikim pojačanjem i dobrom selektivnošću (tzv. **audion**), a ona je postala i **oscilator**, tj. izvor neprigušenih električnih v.f. titraja, pa tako i radiovalova. (Prije toga neprigušeni radiovalovi mogli su se proizvoditi tzv. Poulsenovim odašiljačem s električnim lukom.) Neprigušeni valovi traju jednolično bez prekida i imaju uvijek jednaku amplitudu (slika 3.). (Elektronsku cijev su oko sredine prošlog stoljeća uglavnom zamijenili tranzistori.)



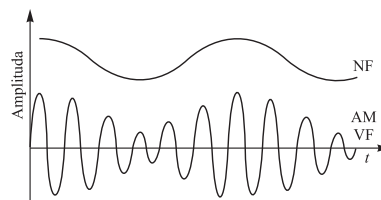
Slika 3.

Zbog sukoba oko patentnih prava (na izum pozitivne povratne sprege) s drugim važnim izumiteljem, Edwinom Armstrongom, umjesto da zarađuje, Lee de Forest veći dio svoga života povlačio se po sudovima i pritom trošio svoju imovinu plaćajući skupe odvjetnike. On je načinio triodu tako što je između katode i anode elektronske cijevi diode ugradio rešetku (ili mrežicu) kojom je mogao utjecati na struju u cijevi (slika 4.). On je 1910. godine po prvi put u povijesti ostvario radioprijenos uživo - bio je to glas Enrica Carusa iz Metropolitan opere u New Yorku. Kako je bio riješen bežični prijenos zvuka?



Slika 4.

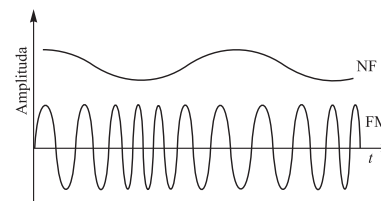
Postupkom koji se zove **amplitudna modulacija** (slika 5.). Na slici vidimo prikazanu nisku frekvenciju, koju treba prenijeti do slušatelja, i visoku frekvenciju koja u obliku radiovalova stiže do njih.



Slika 5.

Modulacija (tj. oblikovanje) se sastoji u tome da se amplituda visoke frekvencije, tzv. **vala nositelja**, mijenja u ritmu niske frekvencije. U prijamniku se primjenjuje suprotan postupak, tj. niska frekvencija se "skida" s vala nositelja i vodi u slušalice ili zvučnik. To je tzv. **demodulacija** ili detekcija (otkrivanje). Amplitudna modulacija održala se cijelo stoljeće, sve do danas. Sve javne radijske postaje na dugom, srednjem i kratkom valu još su i danas amplitudno modulirane, tako da Amerikanci srednjovalno područje umjesto MW (middle waves) označuju "AM".

Druga, nešto suvremenija vrsta modulacije je **frekventijska modulacija** (FM). Izumio ju je Amerikanac Edwin Armstrong 1933. godine. Kod nje amplituda v.f. signala se ne mijenja, ali se mijenja frekvencija vala nositelja oko njene srednje vrijednosti, lijevo i desno, u ritmu niske frekvencije (slika 6.).



Slika 6.

To "šetanje" lijevo i desno zove se **devijacija**. FM se uglavnom primjenjuje na UKV-području jer zauzima nešto veću širinu frekventijskog pojasa. Njena je prednost veća kvaliteta zvuka i manja osjetljivost na smetnje. Dok radioamateri gotovo više i ne rabe amplitudnu modulaciju, frekventijska modulacija je vrlo česta na UKV radioamaterskim područjima (oznaka FM na koncertnom prijamniku označava radiodifuzno područje od 88 do 108 MHz.)

Amplitudnu modulaciju vrlo je lako demodulirati. Dovoljna je jedna poluvođička dioda (ona propušta struju samo u jednom smjeru, električni ventil), pa možemo uz dobru antenu u slušalicama čuti program lokalne radijske postaje (slika 7.). U počecima radija najpopularniji i najjednostavniji prijatelj bio je **detektor\*** (slika 8.). Frekvencijsku modulaciju nešto je teže demodulirati. Ona se mora najprije pretvoriti u amplitudnu modulaciju i tek zatim demodulirati. Najpoznatija su dva spoja koji to čine: diskriminator i ratio-detektor (slika 9.).

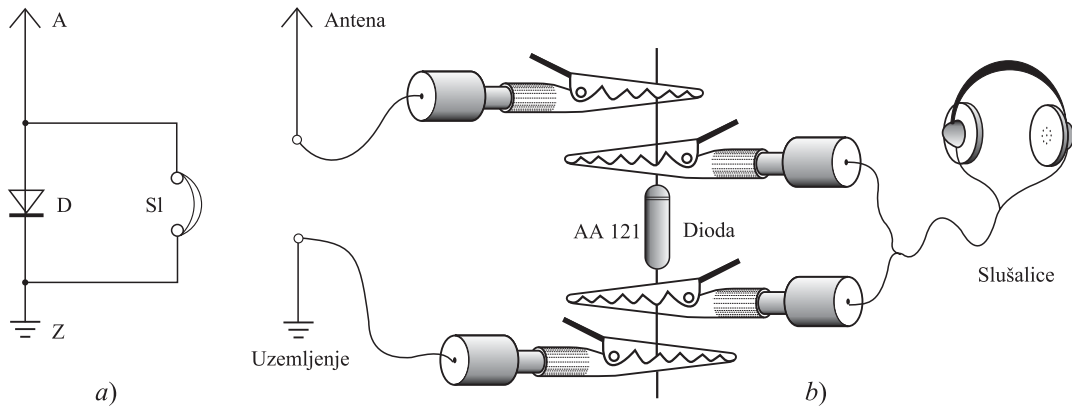
Danas smo upoznali sljedeće pojmove:

- prigušene oscilacije (radiovalove),
- neprigušene oscilacije (radiovalove),
- elektronsku cijev - diodu,
- elektronsku cijev - triodu,
- oscilator,
- amplitudnu modulaciju (AM),
- val nositelj,
- demodulaciju,
- detektor,
- frekvencijsku modulaciju (FM),
- devijaciju,
- diskriminator i
- ratio-detektor.

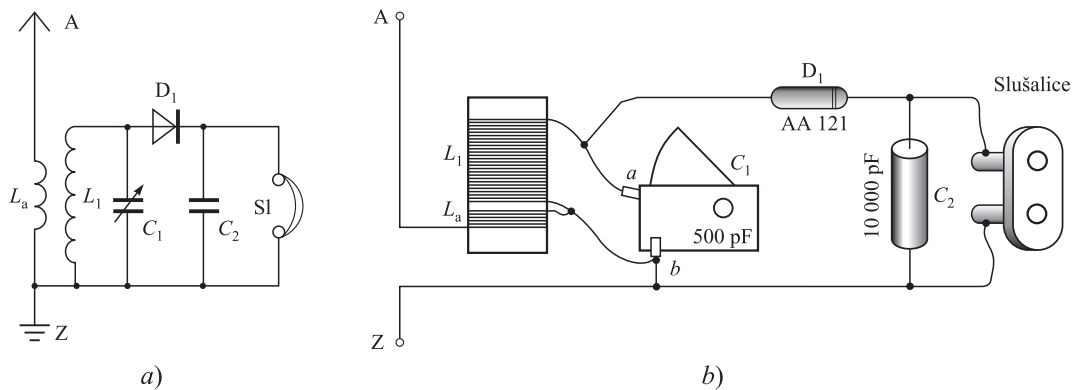
U sljedećem broju govorit ćemo o Ohmovu zakonu, električnoj snazi i energiji.

Nastavlja se ...

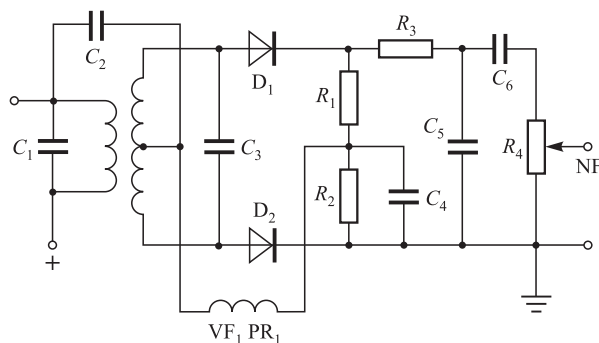
\*) Još i danas u SAD postoji "Udruženje ljubitelja detektora" - "Crystal Set Society", koje objavljuje bilten i knjige o detektorima, te pomaže svojim članovima pri nabavi kritičnog materijala. Posjetite stranicu na Internetu: <http://www.midnightscience.com>.



Slika 7.



Slika 8.



Slika 9.

# Elektronika za mlade - 3. nastavak

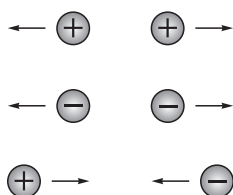
## 1.3. Električna snaga i energija

Danas nastavljamo s trećom točkom programa ispita za P-razred. (Jedna napomena: Shema na slici 9. u prošleme broju prikazuje diskriminator. Ratio detektor nije prikazan.)

“Nitko ne može biti prorok u svome selu”, kaže narodna poslovice. Kada je njemački matematičar i fizičar Georg Ohm (1789 - 1854.) objavio svoj čuveni zakon 1826. godine, bio je u tadašnjim njemačkim znanstvenim krugovima dočekan s omalovažavanjem i gotovo s porugom. Radeći u drugorazrednim srednjim školama, njegova je životna ambicija bila postati sveučilišnim profesorom, zbog čega se nikada nije ni oženio. Naime, on je svoju teoriju električnosti temeljito matematizirao, što u ono vrijeme nije bio običaj. Tek poslije sedamnaest godina, 1842. godine, kada je Englesko kraljevsko društvo (*The British Royal Society*) prihvatilo njegovu teoriju i uzelo ga za svog člana, bio je priznat i u Njemačkoj. I tako konačno postaje profesorom fizike na sveučilištu u Münchenu 1852. godine - samo dvije godine prije svoje smrti u 65. godini života. Puni sedamnaest godina njegovo se epohalno otkriće ignoriralo i čekalo je bolje dane. Kako je Ohmov zakon temeljni zakon elektrotehnike, Ohm je zaista zaslužio da taj zakon nosi njegovo ime za sva vremena.

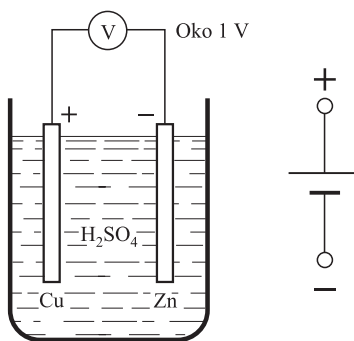
Danas znamo da je električna struja protok električnih čestica kroz neki vodič. Najčešće su to slobodni elektroni, ali kada se radi o tekućinama ili plinovima, to mogu biti i pozitivni ili negativni ioni. **Vodiči** su svi metali (srebro, bakar, aluminij, željezo, itd.), dok su **nevodiči** (tj. **izolatori**) nemetali (papir, plastika, staklo, keramika, bakelit, itd.). Danas imamo i poluvodiče: to su proizvodi od germanija ili silicija koji pod određenim uvjetima provode struju u jednom smjeru.

Elektroni imaju negativan električni naboj. U elektrotehnici vlada sljedeće pravilo: istoimene električne čestice međusobno se odbijaju, a raznoimene se privlače (slika 1.).



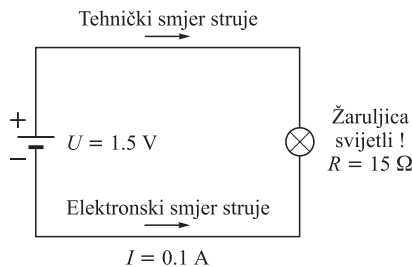
Slika 1.

Kemijski izvor električne struje zove se električni ili galvanski članak (prema Luigiju Galvaniju, 1737-1798.). U načelu, on se sastoji od posude u kojoj se nalazi razblažena kiselina ili lužina koju nazivamo **elektrolit**. U posudu su uronjena dva različita metala koje zovemo **elektrodama**: bakar, cink, nikal, olovo, itd. (slika 2.). Voltmetrom možemo utvrditi da između njih postoji određeni električni napon od oko 1 V.



Slika 2.

Npr. kombinacija bakra i cinka u razblaženoj sumpornoj kiselini dat će napon od 1.1 V (Voltin članak, prema Alessandru Volti, 1745-1827.). Takav izvor električne struje često nazivamo “baterija”, iako takav naziv nije uvijek točan, jer baterija nastaje kada se nekoliko članaka poveže zajedno. Na slici 2. vidimo i simbol za električni članak: dulja crta predstavlja plus-pol, a kraća minus-pol. Ako na njega spojimo spojimo žaruljicu, ona će svijetliti zbog prolaza električne struje kroz njenu žarnu nit (slika 3.).



Slika 3.

Sila koja tjera električnu struju kroz taj strujni krug naziva se **elektromotorna sila** (EMS). Ona je rezultat međusobnog odbijanja elektrona u negativnom polu električnog članka. Ta gustoća električnog naboja naziva se električni potencijal. **Električni napon** definira se kao

razlika potencijala između dvije točke, tj. minus i plus pola. Za mjerenje i elektromotorne sile i napona služi ista jedinica - volt, jer se suštinski radi o istoj pojavi. Danas znamo da se struja elektrona kreće od minus-pola (gdje je “višak” elektrona) prema plus-polu (gdje je “manjak” elektrona). To je tzv. **elektronski smjer** struje. U 19. stoljeću smatralo se da se električna struja kreće od plus-pola prema minus-polu. Takav običaj ostao je do danas. Prema tome, kada crtamo električne krugove, kao smjer struje označit ćemo onaj od plusa prema minusu. To u praksi ne smeta i više je stvar tradicije u elektrotehnici.

Svaki vodič pruža određen **otpor** prolazu električne struje. Taj otpor mjeri se jedinicom koja je nazvana **ohm** (čitaj “om”) i označava se grčkim slovom “omega”:  $\Omega$ . (Ako nemamo tog znaka, napisat ćemo “ohm”). (Npr. žaruljica na slici 3. ima otpor od 15 ohma.) Georg Ohm logično je shvatio i pokusima dokazao sljedeće: što je napon veći, bit će veća i struja, a što je otpor u strujnome krugu veći, struja će biti manja. Prema tome, rezultirajuća struja bit će “kompromis” (ravnoteža) između napona i otpora u strujnome krugu. Matematički to se izražava ovako:

$$\text{struja} = \frac{\text{napon (V)}}{\text{otpor } (\Omega)}$$

To je osnovni oblik Ohmova zakona. Kako se napon označava slovom **U**, otpor slovom **R**, a struja slovom **I**, ta formula zapravo izgleda ovako:

$$I_{(a)} = \frac{U_{(V)}}{R_{(\Omega)}}$$

Prema tome, svaki strujni krug obilježen je trima veličinama: naponom, strujom i otporom. Ako znamo dvije veličine, lako ćemo izračunati treću; treba samo preurediti gornju formulu. U tu svrhu radioamateri se često služe tzv. “trokutom za lakše pamćenje”:



Ono što tražimo pokrit ćemo prstom. Ostatak nam kazuje kako računati.

Prema tome:

$$I = \frac{U}{R}; \quad R = \frac{U}{I}; \quad U = I \times R.$$

Ova tri oblika Ohmova zakona moramo znati "ako nas probude i u pola noći".

Primjeri:

1)  $U = 10 \text{ V}$   
 $R = 5 \ \Omega$   
 $I = ?$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{5} = 2 \text{ A}$$

2)  $U = 24 \text{ V}$   
 $I = 9 \text{ A}$   
 $R = ?$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{24}{9} = 3 \ \Omega$$

3)  $I = 3 \text{ A}$   
 $R = 7 \ \Omega$   
 $U = ?$

$$U = I \times R \quad U = 3 \times 7 \quad U = 21 \text{ V}$$

U praksi se rabe i veće jedinice od ohma. To su  $k\Omega$  i  $M\Omega$ . Prema izvedenicama iz grčkog jezika 1 kiloohm je 1000 ohma, a 1 megaohm je 1 000 000 ohma. Kada računamo, najsigurniji ćemo biti ako uvijek računamo u osnovnoj jedinici - ohmu. Zato prije računanja treba kiloohme ili megaohme pomnožiti s tisuću, odnosno milijun; npr.  $2.2 \text{ k}\Omega = 2.200 \ \Omega$ , a  $1.5 \text{ M}\Omega = 1.500.000 \ \Omega$ . To isto važi i za kilovolte (kV) i megavolte (MV), kao i za miliampere (mA) i mikroampere ( $\mu\text{A}$ ) - vidi tablicu 1.

Tablica 1. - Osnovne jedinice u elektrotehnici

Pojam	Osnovna jedinica i njen simbol	Izvedene jedinice
NAPON	VOLT (V)	kV = 1.000 V = $10^3$ V
		MV = 1.000.000 V = $10^6$ V
STRUJA	AMPER (A)	mA = 1/1.000 A = $10^{-3}$ A
		$\mu\text{A}$ = 1/1.000.000 A = $10^{-6}$ A
OTPOR	OHM ( $\Omega$ )	k $\Omega$ = 1.000 $\Omega$ = $10^3$ $\Omega$
		M $\Omega$ = 1.000.000 $\Omega$ = $10^6$ $\Omega$

Danas smo upoznali sljedeće pojmove:

- elektromotorna sila (EMS)
- negativni naboj
- pozitivni naboj
- vodiči
- izolatori
- električna struja (amper)
- električni napon (volt)
- električni otpor (ohm)
- tehnički smjer struje
- elektronski smjer struje
- kilo (k) = tisuću
- mega (M) = milijun
- mili (m) = jedna tisućina
- mikro ( $\mu$ ) = jedna milijuntina
- električni ili galvanski članak
- elektrolit.

Sljedeći put nastaviti ćemo ovaj razgovor o električnoj snazi i energiji.

# Elektronika za mlade - 4. nastavak

Iako u točki 1.3. Programa (Snaga i energija) u zagradi piše "matematički odnosi napona, struje i otpora", što je sve obuhvaćeno Ohmovim zakonom, ovdje ne možemo ne spomenuti električnu snagu i energiju jer se s njima svakodnevno susrećemo.

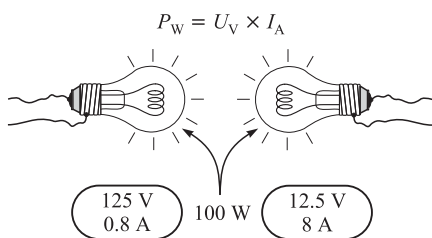
**Snaga** je općenito sposobnost obavljanja neke radnje; u elektrotehnici to je umnožak napona i struje, a izražava se u **vatima (W)**:

$$P = U \times I \text{ (W)}$$

Vat je jedinica za električnu snagu, prema engleskom izumitelju Jamesu Wattu (1736-1819.). Električna snaga označava se velikim slovom **P** (prema engleskom *power*, snaga). Analogno drugim izvedenim jedinicama u uporabi je i kilovat (kW) i megavat (MW). Simboli elektrotehničkih jedinica pišu se *kurzivom*, dok se same jedinice pišu uspravnim slovima. Prema tome, uobičajeni "trokut za lakše pamćenje" za snagu izgleda ovako:



Na slici 1. vidimo dvije žarulje. Lijeva od njih izrađena je za napon od 125 V i troši struju od 0.8 A. Desna od njih predviđena je za napon od 12.5 V i struju od 8 A. I jedna i druga imaju snagu od 100 W jer  $125 \times 0.8 = 12.5 \times 8 = 100$ .



Slika 1. - Snaga je umnožak napona i struje.

**Rad** je utrošena **energija**. Energija je primjena snage u nekom vremenu, dakle umnožak snage i vremena:

$W = P \times t$ . (*W* je skraćeno od engleske riječi *work*, ali u uporabi je također i *A* prema njemačkome *Arbeit*). Osnovna jedinica za električnu energiju jest vatsekunda (Ws). Kako jedan sat ima 3600 sekunda, a kilovat 1000 vata, najčešća izvedena jedinica za energiju - kilovatsat (kWh) ima 3 600 000 Ws (vatsekunda).

"Trokut za pamćenje" izgleda ovako:



Energija (*W*): Ws ili kWh  
 Snaga (*P*): W ili kW  
 Vrijeme (*t*): s (sekunde) ili h (sati)

Svaka vrsta energije se prije ili kasnije pretvara u toplinu. U novom sustavu jedinica (SI), umjesto nekadašnje kalorije, danas imamo jedinicu **joule (J)** - čitaj džul. Jedan džul je točno jedna vatsekunda, tako da su preračunavanja vrlo jednostavna: 1 Ws = 1 J.

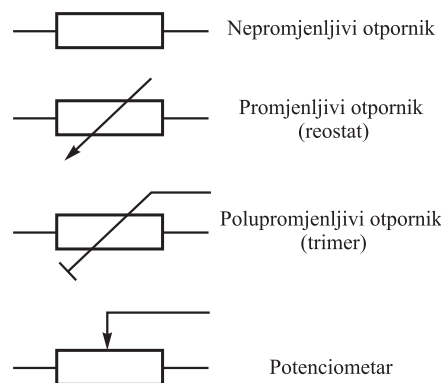
## Poglavlje 2.

# Komponente

### 2.1. Otpornik

(fizikalne osobine, serijski i paralelni spoj otpornika)

Otpornik je najčešća komponenta u elektroničkim spojevima. Kao što sama riječ kaže, on pruža otpor prolazu električne struje. Njegova opća oznaka je **R** koja je sastavni dio Ohmova zakona. Prvi otpornici izrađivali su se od otporne žice (kromnikla, kantala) namotane na keramičku cijev. Danas se češće rade od ugljene mase, pa čak i od tankih metalnih slojeva. Simbol za otpornik u Europi je pravokutnik, a u američkim shemama cik-cak linija (slika 2.).



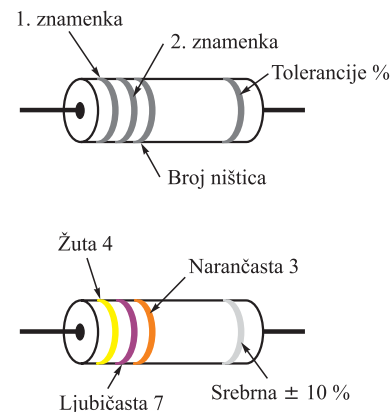
Slika 2. - Simboli za razne vrste otpornika

Danas se vrijednosti otpornika najčešće označuju krugovima u boji na njegovu tijelu. Tablica 1. prikazuje taj sustav. Radioamateri ga znaju napamet.

Prva dva kruga označuju prvu i drugu znamenku, dok treći krug označuje broj ništica (slika 3.). Na desnom kraju otpornika nalazi se i nešto udaljeniji, četvrti krug. On označuje **toleranciju**, tj. točnost napisane vrijednosti. Tu su najčešće srebrna i zlatna boja. Srebrna boja znači moguće odstupanje od  $\pm 10\%$ , a zlatna  $\pm 5\%$  od označene vrijednosti. Prema tome, ako na otporniku piše  $100 \Omega \pm 10\%$ , on može imati između 90 i 110  $\Omega$ . Naime, smatra se da moguće odstupanje od  $\pm 10\%$  u većini slučajeva neće ugroziti ispravnost rada uređaja u koji je otpornik ugrađen. Stvarne vrijednosti otpornika u okviru njihove tolerancije se "dodiruju". To je tzv. Renardov niz. Npr. 10%-tni niz ima 12 vrijednosti (tzv. niz E-12). Njihove srednje vrijednosti jesu: 1 - 1.2 - 1.5 - 1.8 - 2.2 - 2.7 - 3.3 - 3.9 - 4.7 - 5.6 - 6.8 - 8.2  $\Omega$ . Ove vrijednosti sada možete množiti s 10, 100, 1000, itd. Npr. ako trebate otpornik od 2000  $\Omega$ , uzet ćete najbližu vrijednost, dakle onaj od 1800 ili 2200  $\Omega$ .

Boja	Vrijednost
Smeđa	1
Crvena	2
Narančasta	3
Žuta	4
Zelena	5
Modra	6
Ljubičasta	7
Siva	8
Bijela	9
Crna	0
Srebrna	toler. $\pm 10\%$
Zlatna	toler. $\pm 5\%$

Tablica 1. Označavanje otpornika bojama



$$R = 47\,000 \Omega = 47 \text{ k}\Omega \pm 10\%$$

Slika 3. - Označavanje otpornika bojama

Kod izbora otpornika valja pripaziti i na njegovu **snagu**. Kako smo već rekli, to je umnožak napona i struje s kojima će biti opterećen. Sva električna energija u otporniku pretvara se u toplinu. Zato takve, "čiste" otpornike nazivamo omskima ili termogenima. Danas se u elektroničkim uređajima najčešće rabe otpornici snage od 1/4 ili 1/8 W. Preopterećeni otpornik najprije će se pregrijati, a zatim izgorjeti. Da se to ne dogodi, uzet ćemo jači otpornik prema prethodnom proračunu, npr. od 1 W.

**Serijski i paralelni spoj otpornika.**

Otpornike u strujnome krugu možemo spojiti serijski ili paralelno (slika 4.). Serijski vezani otpornici imaju po jednu zajedničku točku, dok ih paralelno vezani imaju po dvije.

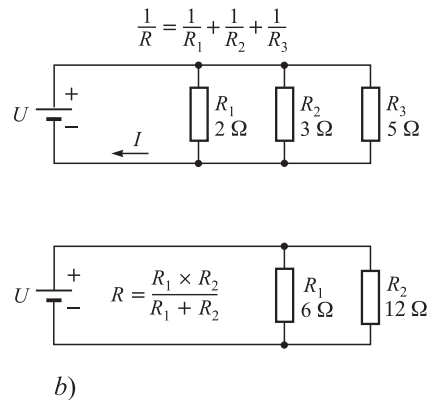
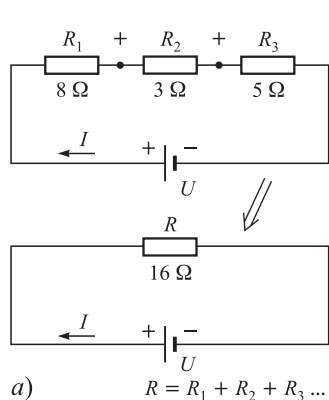
Kod serijski spojenih otpornika njihov otpor se zbraja:  $R_{uk} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$  itd. Prema tome, ukupan otpor triju serijski vezanih otpornika u slici 4a iznosi:  $8 + 3 + 5 = 16 \Omega$ . Njih možemo i zamijeniti jednim otpornikom od  $16 \Omega$ .

Međutim, kod paralelno spojenih otpornika (slika 4b) njihov ukupni otpor se smanjuje, jer sada više ne zbrajamo njihove otpore, već **vodljivosti**. Vodljivost je pojam recipročan otporu: što je otpor manji, vodljivost je veća. Vodljivost se označava slovom **G** i mjeri se u **simensima (S)**. Dakle:

$$G = \frac{1}{R} \text{ S}; \quad R = \frac{1}{G} \Omega$$

Otpornik od  $2 \Omega$  ima vodljivost od  $0.5 \text{ S}$ . Otpornik vodljivosti  $0.2 \text{ S}$  ima otpor od  $1/0.2 = 5 \Omega$ . (Praktični Amerikanci umjesto simensa upotrebljavaju izraz *mho*, što je *ohm* čitano unazad.) Kako se kod paralelno spojenih otpornika prolaz električnoj struji "širi" i ukupna vodljivost povećava, možemo napisati:

$$G_{uk} = G_1 + G_2 + G_3 \dots$$



Slika 4. - Serijski i paralelni spoj otpornika

Kako je  $G = 1/R$ , možemo također napisati:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \text{ itd.}$$

To je opći izraz za sve paralelno vezane otpornike. Npr. koliki je zajednički otpor triju paralelno vezanih otpornika:  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 3 \Omega$ ,  $R_3 = 5 \Omega$ ?

Rješenje:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5};$$

$$\frac{1}{R} = 0.5 + 0.33 + 0.2 = 1.03$$

$$R = \frac{1}{1.03} = 0.968 \Omega$$

Vidimo da je kod paralelnog spajanja otpornika ukupni otpor manji i od najmanjeg otpornika u toj skupini. Kada se radi o paralelnom spoju **dvaju otpornika**, možemo primijeniti i lakši, izvedeni obrazac:

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Npr.  $R_1 = 6 \Omega$ ,  $R_2 = 12 \Omega$ .

Rješenje:

$$R = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = \frac{72}{18} = 4 \Omega.$$

Možemo lako izračunati da dva jednaka, paralelno spojena otpornika daju polovicu svoje naznačene vrijednosti. Npr. ako nemamo otpornik od  $50 \Omega$ , možemo uzeti dva komada od po  $100 \Omega$  i spojiti ih paralelno. Provjerite!

Ovaj put obrađeni su sljedeći pojmovi:

- snaga, *P*;
- jedinica za snagu, *W*;
- energija i rad, *W*;
- jedinica za energiju, *Ws*;
- otpornici;
- označavanje bojama;
- tolerancija;
- vodljivost, *G*;
- serijski i paralelni spoj otpornika.

Sljedeći put na redu su kondenzatori i zavojnice. ■

4-Band Color Code			25kΩ ±5%
5-Band Color Code			460kΩ ±1%
6-Band Color Code			276Ω ±5%
1st Digit	2nd Digit	3rd Digit	Multiplier
0	0	0	0.01 Sbr
1	1	1	0.1 Sbr
2	2	2	1
3	3	3	10
4	4	4	100
5	5	5	1k
6	6	6	10k
7	7	7	100k
8	8	8	1M
9	9	9	10M

Tolerance	Temperature Coefficient
±10% Sbr	100ppm
±5% Sbr	50ppm
±1%	15ppm
±0.5%	25ppm
±0.25%	
±0.1%	





# Elektronika za mlade - 5. nastavak

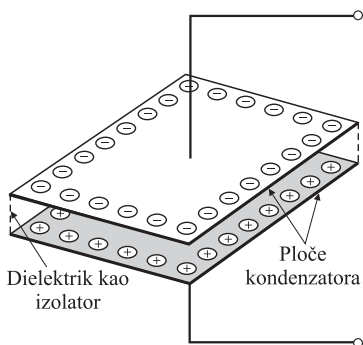
U prošlom nastavku u sažetku na kraju teksta potkrala se jedva uočljiva tehnička pogreška. Naime, jedinica za snagu (vat) označena je kosim slovom *W*, dok je tu trebalo biti uspravno slovo *W*, radi se, naime, o mjernoj jedinici, a ne o simbolu. Upravo zato neki autori radije pišu *A* (*arbeit*, umjesto engleskoga *work*) kao simbol za energiju. No, idemo dalje prema programu.

## 2.2. Kondenzatori

(fizikalne osobine, serijski i paralelni spoj kondenzatora)

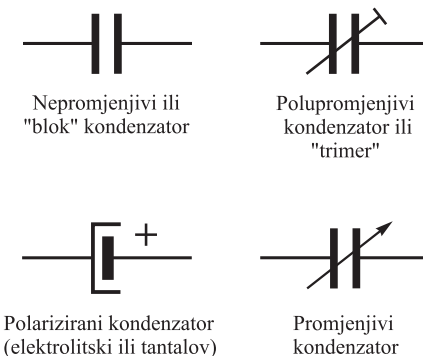
Poslije otpornika kondenzator je najčešća komponenta u elektroničkim sklopovima. Jedno od osnovnih svojstava kondenzatora jest njegova sposobnost da u sebi "usklađi" određenu količinu elektriciteta (i da je malo kasnije vrati nazad). To zovemo "električnim nabojem" i označavamo slovom *Q*. Jedinica za električni naboj je *kulon* (*C*), prema francuskom fizičaru Charlesu Coulombu (1736-1806.). Količina elektriciteta od 1 kulona dobije se tako da struja jakosti od 1 A puni neki kondenzator u trajanju od 1 sekunde. Dakle, 1 kulon = 1 amper-sekunda (As). To svojstvo kondenzatora da primi na sebe električni naboj zovemo **kapacitet** i označavamo slovom *C*.

Električni kapacitet kondenzatora mjeri se jedinicom *farad* (*F*), prema engleskom znanstveniku Michaelu Faradu (1791-1867.). *Farad* je vrlo velika jedinica, pa cijela kugla zemaljska ima tek 0.000710 F. Zato se u praksi rabi milijun puta manja jedinica -  $\mu\text{F}$  (mikrofarad,  $10^{-6}$  F), milijardu puta manja - nF (nanofarad,  $10^{-9}$  F) i bilijun puta manja - pF (pikofarad,  $10^{-12}$  F). U svom osnovnom obliku kondenzator se sastoji od dvije metalne ploče postavljene jedna nasuprot drugoj, između kojih se nalazi zrak (ili vakuum) kao izolator (pločasti kondenzator - slika 1.). Taj izolator



Slika 1. - Pločasti kondenzator

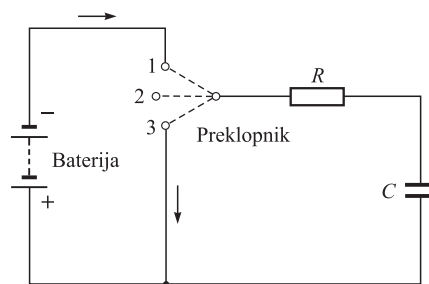
između ploča ima posebno ime i zove se **dielektrik**. Kapacitet kondenzatora bit će to veći što je veća površina ploča, što je **manji** razmak između njih i što ima učinkovitiji dielektrik kao izolator - npr. teflon (2,1), polietilen (2,3), polistirol (2,6), bakelit (5), tinjac (5,4), mikaleks (7,4), itd. Broj u zagradi označava za koliko će se puta povećati kapacitet kondenzatora ako taj dielektrik stavimo umjesto zraka. To je tzv. **relativna dielektrička konstanta**. Simboli za kondenzatore prikazani su na slici 2. Moramo pripaziti i na **dozvoljeni radni napon** koji je naznačen na tijelu kondenzatora. Ako je taj napon veći od naznačenoga, može doći do proboja dielektrika.



Slika 2. - Simboli za kondenzatore

Bez vanjskog utjecaja gustoća slobodnih elektrona na pločama kondenzatora je jednaka, pa između njih ne postoji nikakav električni napon (slika 1.). Međutim, ako između ploča spojimo bateriju, u vodičima do kondenzatora kratkotrajno će poteći električna struja. Kako je električna struja zapravo kretanje elektrona, na jednoj ploči pojavit će se višak, a na drugoj manjak elektrona (slika 3., položaj preklopnika - 1). Kako elektroni nose negativni elektricitet, za ploču s viškom elektrona (na sl. 3. gornju) kažemo da je negativno, a za ploču s manjkom elektrona - da je pozitivno nabijena. Ako sada uklonimo bateriju, kondenzator će i dalje ostati nabijen, a između ploča postojat će električni napon (slika 3., položaj preklopnika - 2).

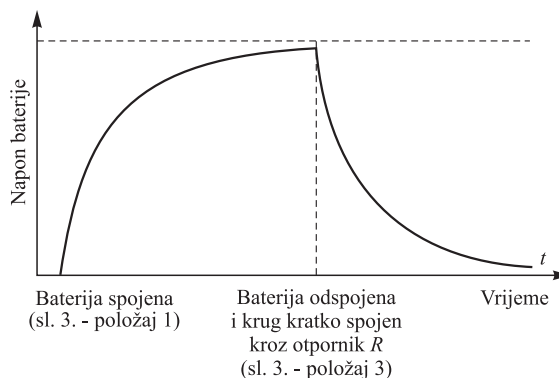
U svakom strujnom krugu postoji neki omski otpor *R*, tako da se kondenzator ne može trenutačno nabiti (slika 3.,



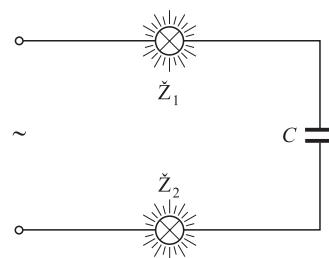
Slika 3.

položaj preklopnika - 1). Dok se kondenzator puni, struja je ispočetka velika, a napon između ploča je malen. Tijekom vremena struja punjenja se smanjuje, a napon na pločama se povećava, sve dok se ne izjednači s naponom baterije - kada struja padne na ništicu (slika 4.). Zato kažemo da kod punjenja kondenzatora **struja prethodi naponu**, pa tako dobivamo **fazni pomak** između struje i napona. Ako sada uklonimo bateriju i kratko spojimo priključke, počet će proces u suprotnom smjeru - kondenzator se izbija, tj. prazni (slika 3., položaj preklopnika - 3). Krivulja pražnjenja ima obratni oblik od krivulje punjenja i traje jednako dugo.

Sljedeće je osnovno svojstvo kondenzatora da **prividno propušta izmjeničnu struju**, dok istodobno ne propušta istosmjernu (slika 5.). Naime, ako na



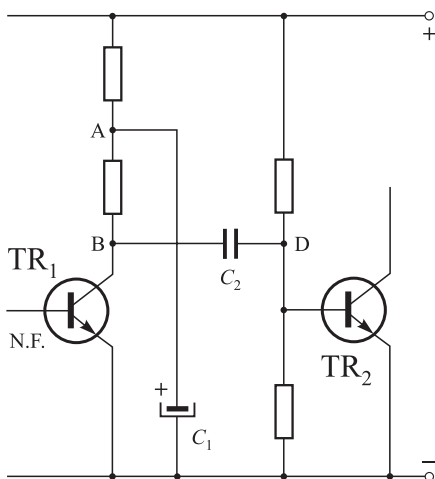
Slika 4.



Slika 5.

ploče kondenzatora priključimo izmjenični napon, one će se u jednom trenutku nabijati u jednom, a već sljedećeg trenutka u suprotnom smjeru, pa će kroz dovesti stalno teći izmjenična struja nabijanja i izbijanja kondenzatora. Ako je kapacitet kondenzatora dovoljno velik, umetnute žaruljice će svijetliti, **kao da** struja prolazi kroz kondenzator, iako znamo da njegov dielektrik kao izolator to ne dozvoljava. Zato kažemo "prividno propušta". Govorimo o **kapacitivnom otporu** kondenzatora  $X_c$  za izmjeničnu struju. Taj otpor je to manji, što je veći kapacitet kondenzatora i što je veća frekvencija izmjenične struje. Dakle, zaključimo: kondenzatori imaju **tri važna svojstva** od kojih se svako pojedinačno primjenjuje u elektronici i radiotehnici:

1. može primiti električni naboj, pa tako privremeno čuvati neku električnu energiju,
2. prividno propušta izmjeničnu, a ne propušta istosmjernu struju,
3. u serijskoj vezi s otpornikom kod izmjenične struje ostvaruje fazni pomak između te iste struje i napona. Pritom struja vremenski prethodi naponu.



Slika 6.

Na slici 6. vidimo praktičnu primjenu kondenzatora: tranzistor TR1 na svome kolektoru ima istosmjerni napon za rad tranzistora, koji uzima iz točke A. Ako taj napon još nije dovoljno "ispeglan", to se može postići s pomoću kondenzatora C1 - kako u zvučniku ne bi došlo do brujanja (primjena prvog svojstva - slika 6.). Osim toga, na kolektoru tranzistora (točka B) nalazi se i izmjenični niskofrekventni napon koji predstavlja zvuk. Njega treba dodatno pojačati u drugom tranzistoru. Zato se taj n.f. napon vodi na bazu drugog tranzistora TR2. Ta veza je uspostavljena preko kondenzatora C2 kapaciteta od oko 1  $\mu\text{F}$ , pa niska frekvencija stiže na bazu radi daljnje pojačanja (točka D), dok istosmjerni

napon ostaje zadržan na lijevoj strani kondenzatora C2 (primjena drugoga svojstva). Za prijenos visokih frekvencija kapacitet takvog kondenzatora obično iznosi do 1000 pF, dok za prijenos niskih frekvencija on ima od 0.1 do 10  $\mu\text{F}$ , a može i više.

Kondenzatore možemo povezati paralelno ili serijski. Kod paralelne veze njihovi kapaciteti se jednostavno zbrajaju (slika 7.): 2  $\mu\text{F}$  + 3  $\mu\text{F}$  + 5  $\mu\text{F}$  = 10  $\mu\text{F}$ . Kod serijske veze kondenzatora vrijede isti obrasci kao i za paralelne otpornike (slike 8. i 9.):

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \text{ itd.}$$

Za dva kondenzatora u serijskoj vezi možemo primijeniti i izvedeni obrazac:

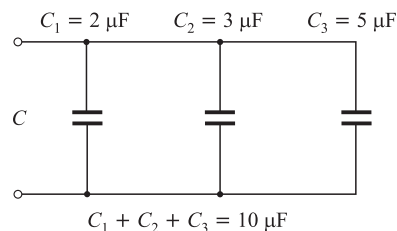
$$C_{12} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

Na primjer,  $C_1 = 4 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 6 \mu\text{F}$ :

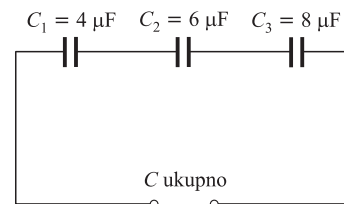
$$C_{12} = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = \frac{24}{10} = 2,4 \mu\text{F}.$$

Osim po svojoj namjeni i konstrukciji (promjenljivi, polupromjenljivi, nepromjenljivi ili *blok*), kondenzatori se razlikuju i prema dielektriku koji se nalazi između njihovih ploča. Tako imamo zračne, keramičke, polistirenske, elektrolitske, tantalske, itd. Svaki od njih, iako obavlja istu funkciju, po nečemu se međusobno razlikuju. Npr. zračni, keramički i polistirenski kondenzatori imaju manje gubitke kod visokih frekvencija, ali su manjega kapaciteta - dok elektrolitički i tantalski kondenzatori mogu imati velik kapacitet uz malen obujam. Pritom su elektrolitski i tantalski kondenzatori i **polarizirani**, tj. moramo paziti na koji ćemo izvod staviti pozitivni, a na koji negativni pol napona, kako ih ne bismo probili.

Označavanje kondenzatora je različito. Kod manjeg kapaciteta (reda pikofarada) označavanje može biti i bojama, slično kao kod otpornika. To se odnosi i na kondenzatore od tantala. Kada se kapacitet označava brojkama, često zadnja znamenka ne znači jedinice, već broj ništica, npr. 472 pF je zapravo 4700 pF. Također se umjesto decimalnog zareza može staviti oznaka jedinice; npr. 6n8 = 6,8 nF.



Slika 7.



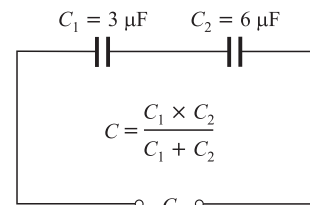
$$\frac{1}{C_{uk}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{8} = 0,542$$

$$C = \frac{1}{0,542}$$

$$C = 1,845 \mu\text{F}$$

Slika 8.



$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9}$$

$$C = 2 \mu\text{F}$$

Slika 9.

Danas smo upoznali sljedeće pojmove:

- kondenzator,
- naboj,
- kapacitet i jedinice kapaciteta,
- dielektrik,
- radni napon kondenzatora,
- kapacitivni otpor za izmjeničnu struju,
- fazni pomak.

Sljedeći put govorit ćemo o zavojnicama. ■