

Uvod u elektroniku

dr.sc. Robert Beuc

Fizika

Studij Fizioterapije



- **Malo povijesti**
- **Elektronički uređaji i elementi**
- **Električki sklopovi pasivnih elemenata**
- **Kristalni poluvodiči**
- **Osnovni elektronički sklopovi**
- **Električna mjerenja**



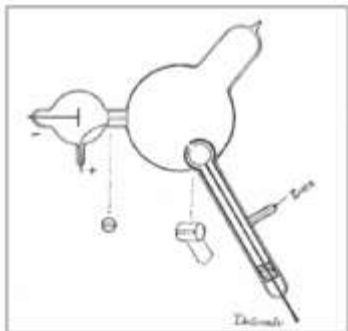
- ❑ U drugoj su polovici devetnaestog stoljeća istraživane pojave koje nastaju pri prolazu električne struji u plinovima. U tu su svrhu plin zatvarali u staklene cijevi, na čijim su krajevima bile utaljene metalne elektrode za spajanje u strujni krug. Brojni su istraživači proučavali te pojave. Pri tome je utvrđeno da plin u cijevima treba biti pod sniženim tlakom, a napon između elektroda visok.
- ❑ Pri strujanju elektriciteta kroz takve cijevi opažane su zanimljive ali i vrlo složene svjetlosne pojave, ovisne o vrsti i tlaku plina. Osobito je brojne i raznolike takve cijevi načinio 1870-ih godina njemački fizičar **Heinrich Geissler**, koje su po njemu nazvane **Geisslerovim cijevima**.

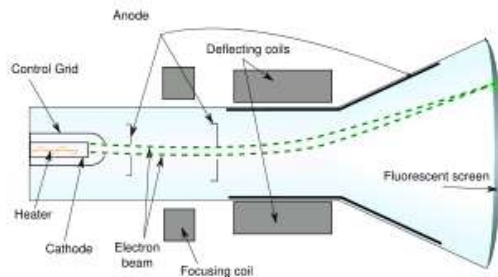


- Pri vrlo niskom tlaku u cijevi svjetlosne pojave gotovo nestaju, ali se pokazalo da u smjeru od negativne elektrode (katode), struje neke nevidljive *zrake* koje izazivaju svjetlucaње tvari na koji udare. Njemački fizičar **Julius Plücker** nazvao ih je 1858. god. *katodnim zrakama*.

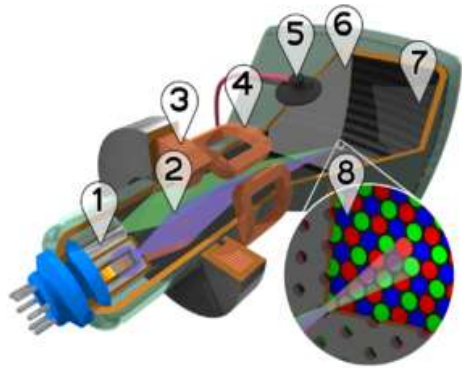


- Engleski fizičar **Joseph John Thomson** 1897. god. (Nobelova nagrada 1906.) dokazao da su katodne zrake roj predviđanih i dugo traženih elementarnih čestica elektriciteta, a Georg Francis FitzGerald ih je nazvao *elektronima*.

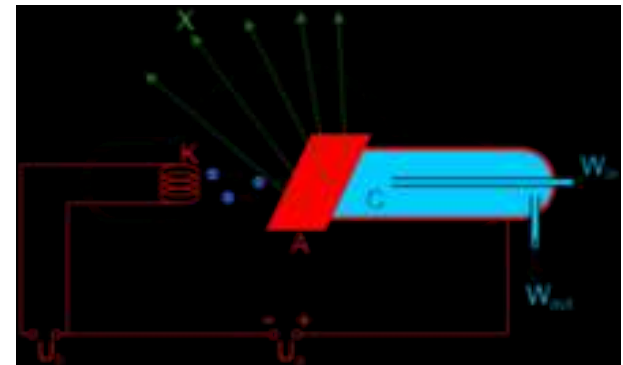




Cijevi u kojima se izravno primjenjuje roj elektrona za osvjetljavanje fluorescentnog zaslona su tzv. katodne cijevi, a to su naši današnji ekrani televizijskih prijemnika te monitora računala, radara i drugih uređaja.

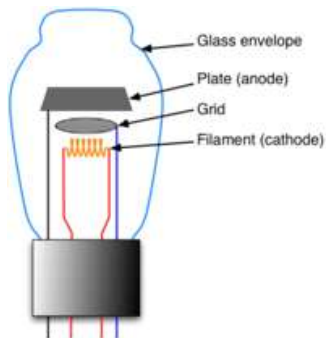
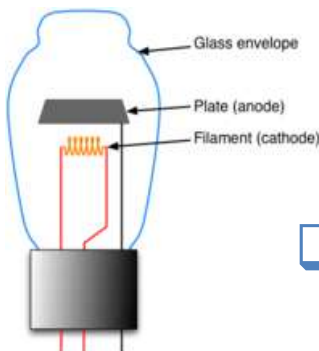


- 1895. godine, njemački fizičar **Wilhelm Conrad Rontgen** (Nobelova nagrada 1901.) je proučavajući katodno zračenje otkrio da ono ozračivanjem neke tvari, osobito kovina, iz njih izbija nevidljivo, ali vrlo prodorno zračenje. Nazvao ga je **x-zrakama**, a danas se njemu u čast naziva **rendgenskim zračenjem**. Ono se većinom proizvodi u tzv. rendgenskim cijevima, a primjenjuje se u medicini, fizici i tehnici.





- ❑ Britanski inženjer **John Ambrose Fleming** konstruirao je 1904. god. tzv. *elektronsku cijev*, koja potpuno ispražnjena od plinova, uz žarenje katode, vodi električnu struju pomoću termički izbačenih elektrona, uz relativno niske napone. Ta je prva i najjednostavnija elektronska cijev nazvana *diodom*. Ona se u strujnom krugu ponaša kao električni ventil, vodi električnu struju samo kada je užarena elektroda negativna, a ona druga, anoda, pozitivna.



- ❑ Američki je fizičar **Lee de Forest** 1906/7. godine stavio na put elektronima između katode i anode treću, rešetkastu elektrodu. Polaritetom te elektrode upravljao je strujom elektrona kroz cijev. Tek je ta *trioda*, elektronska cijev s trima elektrodama, bila *početkom elektronike*. Malim promjenama napona između rešetke i katode uzrokuje se znatno veće promjene struje između katode i anode. Trioda se ponaša kao *pojačalo* električnih promjena.



□ Tijekom XIX. stoljeća opažane su mnoge neobične električne pojave na pojedinim tvarima, bitno različite od pojava na kovinama. Nekim se od njih vodljivost osjetno mijenjala promjenom temperature, nekima osvjetljavanjem, neki su pokazivali usmjerenu vodljivost, veću u jednom smjeru, a manju u drugom. Takve se tvari, pošto im je vodljivost obično bila manja nego u kovinama, počelo *nazivati poluvodičima*.

□ Takvi su poluvodiči upotrebljavani u prvim radioprijamnicima na početku dvadesetog stoljeća, ali su izumom elektronske cijevi otišli gotovo u zaborav. I tako je, jedan izum elektronske cijevi, za nekoliko desetljeća odgodio izume poluvodičkih elektroničkih elemenata.

- U američkoj tvrtki Bell Telephone Laboratory okupljena je skupina fizičara pod vodstvom **W. Shockleya**. Na kraju 1947. god. dvojica fizičara iz te skupine, **J. Bardeen i W. H. Brattain**, zapazili su na kristalu germanija zanimljivu pojavu pojačavanja električnih promjena. Izumili su elektronički element nazvan **tranzistor**, kojim su potpuno izmijenili svijet elektronike, za što su sva trojica 1956. god. dobili Nobelovu nagradu.





Jack Kilby

281
ED NO. 243601
DATE Sept 12, 1952

A strip of germanium has been prepared
as shown to form a phase shift circuit.

This built in
of the germanium
multi-resistor
circuit, the
the surface was a
by germanium
and an aluminum
film was evaporated
and alloyed to provide
connections to the terminals. Some of
separate wires, the layer was formed by
the terminal and separate. The wire was
attached to make contact with the bar
surface as shown. The surface was as

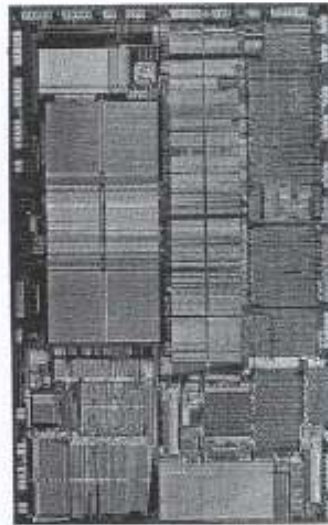
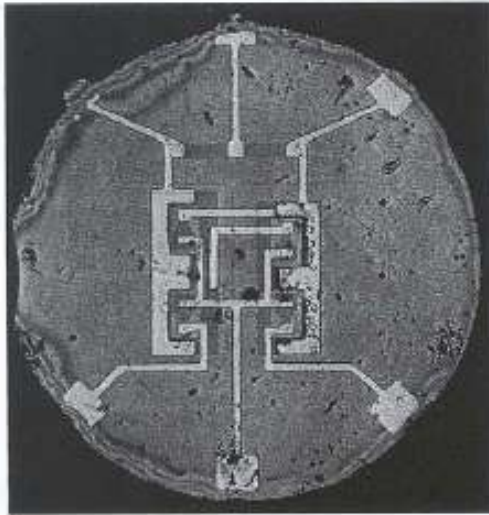
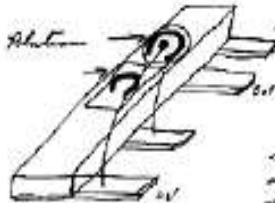
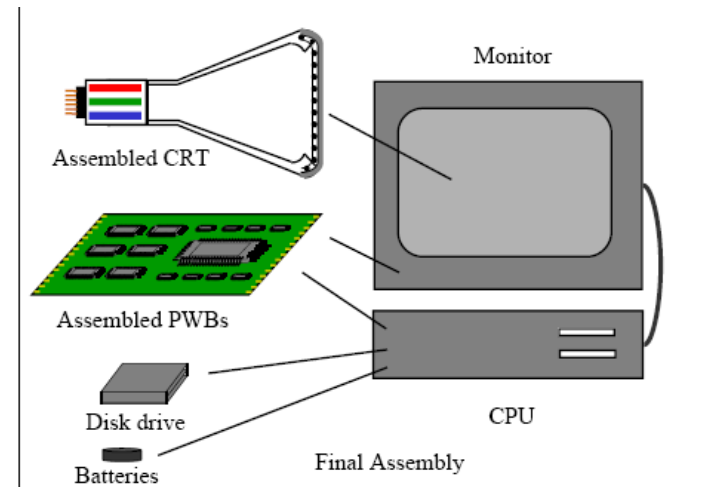
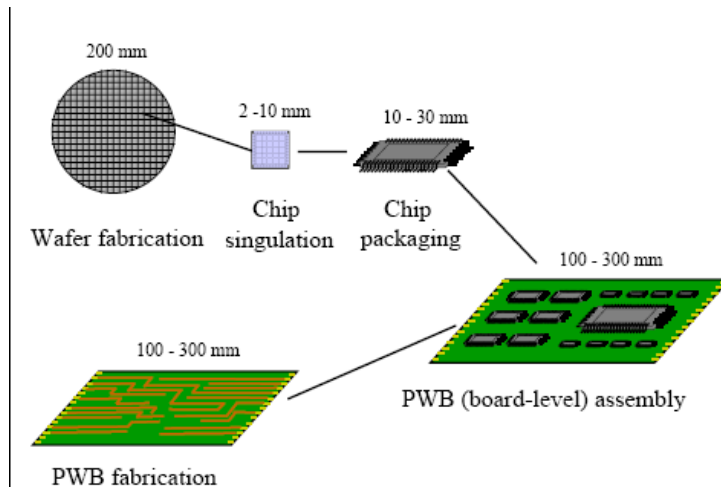


Figure 1-1 Photomicrographs of state-of-the-art ICs manufactured in the early 1960s (left) and in the early 1990s (right). The 1960s IC contains four bipolar transistors and several resistors. The 1990s chip contains over a million MOS transistors.

- **Jack Kilby** TI (tvorac ideje džepnih kalkulatora) i **Robert Noyce** (suosnivač tvrtke Intel) konstruirali su 1952. **integrirani krug**, preteču micro-chipa za što su 2000. g. dobili Nobelovu nagradu iz fizike.

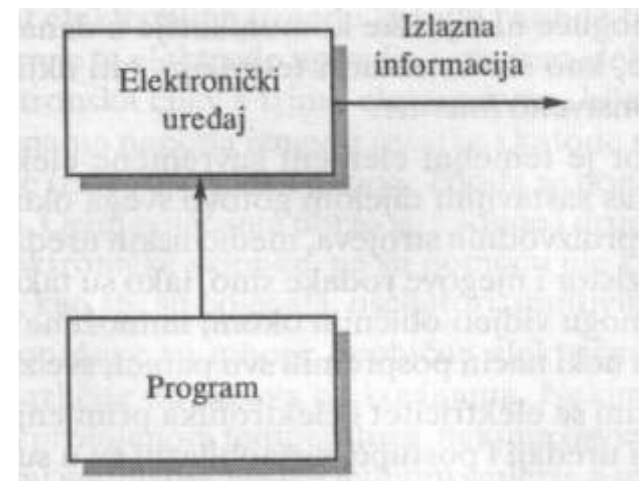
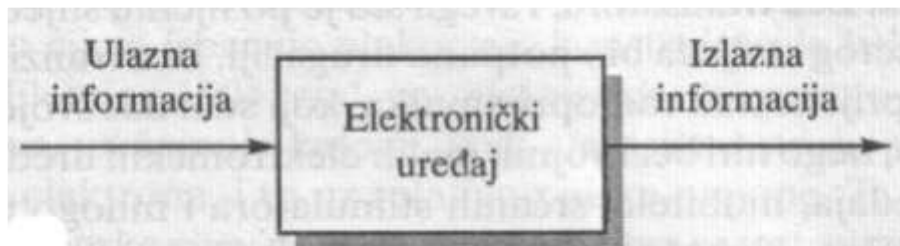
- Bez **tranzistora i mikročipova** koji su ih slijedili, ne bi bilo, ne samo malih prijenosnih radioprijamnika, koji su u nas svojedobno nazvani »tranzistorima«, nego niti bezbrojnih malih elektroničkih uređaja, satova, raznih zvučnih uređaja, mobitela, srčanih stimulatora
- Ne bi bilo niti najvećega izuma dvadesetog stoljeća, elektroničkog računala, barem ne u takvom obliku i takvih mogućnosti kao sto su to današnja osobna računala. Bez suvremenih elektroničkih uređaja ne bi bile moguće ni svjetske komunikacije u današnjem smislu i opsegu, niti one pasivne, kao sto su radio i televizija, niti aktivne, kao sto su računalne mreže, prvenstveno *Internet*.
- U medicini se elektricitet i elektronika primjenjuju odavno, a elektronika, elektronički uređaji i postupci nezaobilazni su u suvremenoj medicini. Njima se obavlja **elektrodijagnostika, elektroterapija, elektrostimulacija**, obradba podataka.

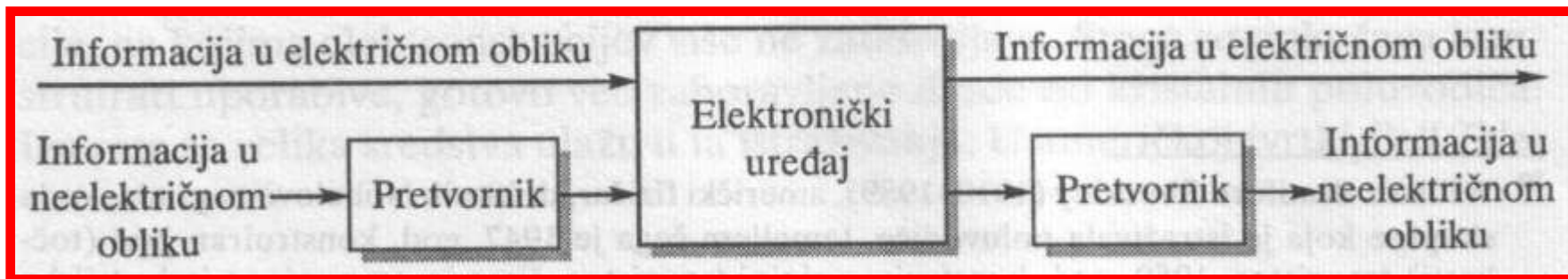


Elektronički uređaji i elementi

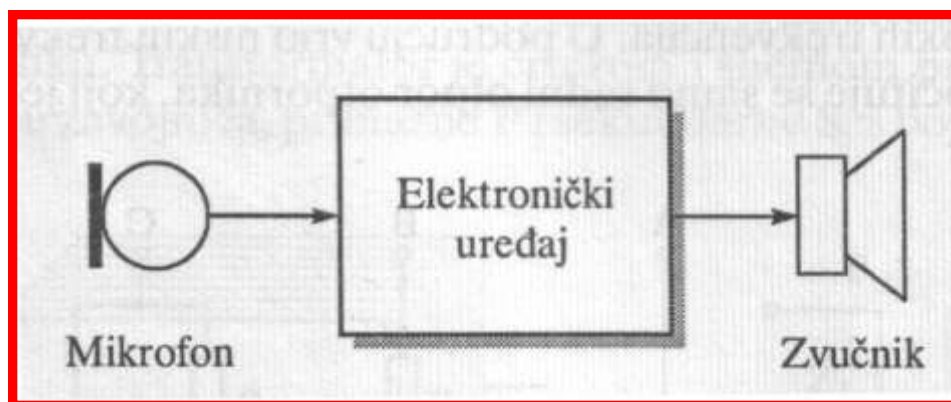
- Elektronika je grana tehnike u kojoj se primjenjuju pojave pri strujanju elektriciteta u slobodnom prostoru, u plinovima i u poluvodičima.
- Za to se upotrebljavaju naprave koje se općenito nazivaju *elektroničkim uređajima*.
- Uređaji su sastavljeni od manjih radnih cjelina koji se nazivaju *elektroničkim sklopovima*.

- **Elektronički uređaji**, obavljaju dvije zadaće:
 - Jedni uređaji obrađuju ulazne informacije
 - a drugi su prema nekom unaprijed zadanom programu izvori određenih informacija.
- Informacijom nazivamo jednu ili niz, obično u vremenu raspoređenih činjenica ili podataka o nekomu ili o nečemu.
- Za elektroničku obradu informacija treba biti u električnom obliku. To su neke električne veličine, najčešće napon ili struja, koje u svojoj vremenskoj promjeni po vrijednosti, frekvenciji, obliku itd. sadrže informaciju.





- Vrlo često informacije nisu u električnom obliku, pa se prije elektroničke obradbe moraju pretvoriti u elektronički oblik. Nakon obradbe često trebamo izlaznu informaciju u nekom drugom obliku, pa ju treba iz električnog pretvoriti u neki drugi oblik. Za to služe posebni uređaji, tzv. *pretvornici* oblika informacije.
- Najjednostavniji, postupak prevođenja je elektroakustičkim uređajima. Zvuk se, kao informacija u mehaničkom obliku, pretvara pomoću mikrofona u električni oblik. Nakon obrade u elektroničkim uređajima, ponovno se zvučnikom iz električnog oblika pretvara u zvuk.

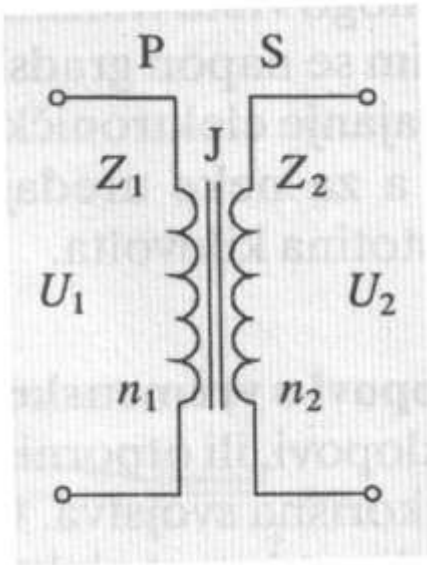
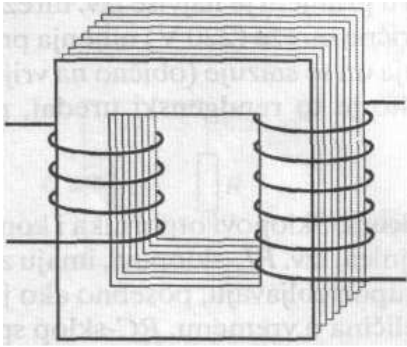


- ❑ U medicini je izvor **informacija** ljudsko tijelo. U dijagnostici se obrađuju naponi iz pojedinih organa, a ako informacije nisu u električnom obliku (temperatura, tlak, puls, zvuk i dr.) one se prvo pretvaraju u električni oblik.
- ❑ Postupci obrađivanja informacija su pojačavanje, uspoređivanje, mjerenje, odašiljanje na daljinu i pamćenje.
- ❑ Obrađena se informacija upotrebljava u stvarnom vremenu, ili se na prikladan način memorira.

- ❑ **Elektronički uređaj**, može biti izvor informacija. Ta se izlazna informacija može po potrebi pretvarati u neki drugi oblik.
- ❑ Elektronički uređaji, sastavljeni su od manjeg broja **elektroničkih sklopova**. Svaki od sklopova obavlja određenu zadaću u obrađivanju informacija. Rad složenih elektroničkih uređaja, a time i najbolju upotrebu, može se razumjeti samo ako se razumije rad i funkciju pojedinih sklopova.
- ❑ Sklopovi su sastavljeni od manjeg broja jednostavnijih **elektroničkih elemenata**.

- ❑ **Elektronički elementi** ili *sastavnice* osnovni su sastavni dijelovi elektroničkih uređaja. Njih se može razvrstati na pasivne, aktivne i pomoćne.
- ❑ **Pasivni elementi** uzrokuju samo pad napona, promjenu međusobnog odnosa električnih veličina: struje, napona, rada, magnetskog polja i si. Glavni su pasivni elementi otpornik, kondenzator i zavojnica. Svi se ostali pasivni i pomoćni elementi mogu predložiti slogovima otpornika, zavojnica i kondenzatora.
- ❑ **Aktivni elementi** mijenjaju oblik pojedinih električnih veličina, ponašaju se kao izvori novih izlaznih električnih veličina, ovisnih o ulaznim veličinama. Aktivni su elementi elektronske cijevi i poluvodički elektronički elementi.
- ❑ **Pomoćni elementi** su svi ostali elementi potrebni za sastavljanje sklopova. To su vodovi, izolatori, sklopke, preklopnici i sl.

SKLOPOVI PASIVNIH ELEMENATA



- **Transformator** je slog zavojnica koje su u induktivnoj vezi u svrhu posebnog prijenosa električne energije. Veza je između zavojnica većinom stalna. Stoga do međuindukcije može doći samo ako je ta energija u izmjeničnom obliku.
- Sastoji se od dviju zavojnica, primarne **P** i sekundarne **S**, s bojem zavoja **n_1** i **n_2** .
- *Magnetni tijek obiju zavojnica obuhvaćen tijelom povećane magnetne permeabilnosti, tzv. transformatorskom jezgrom.*
 - Za niskofrekvencijske transformatore ta je jezgra od posebnih željeznih, međusobno izoliranih limova, čime se sprečava induciranje vrtložnih struja u jezgri i gubitci energije.
 - Za visokofrekvencijske transformatore jezgra je od posebnog magnetnog materijala, tzv. ferita.

- ❑ U idealnom transformatoru električne snage na objema zavojnicama su jednake, tj. $P_1 = P_2$. U stvarnim transformatorima je zbog neizbježnih gubitaka sekundarna snaga manja 10 do 20%.
- ❑ Iz zakona indukcije može slijedi da se naponi na zavojnicama odnose kao omjeri broja zavoja tih zavojnica:

- ❑ Omjer struja je obrnut:
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

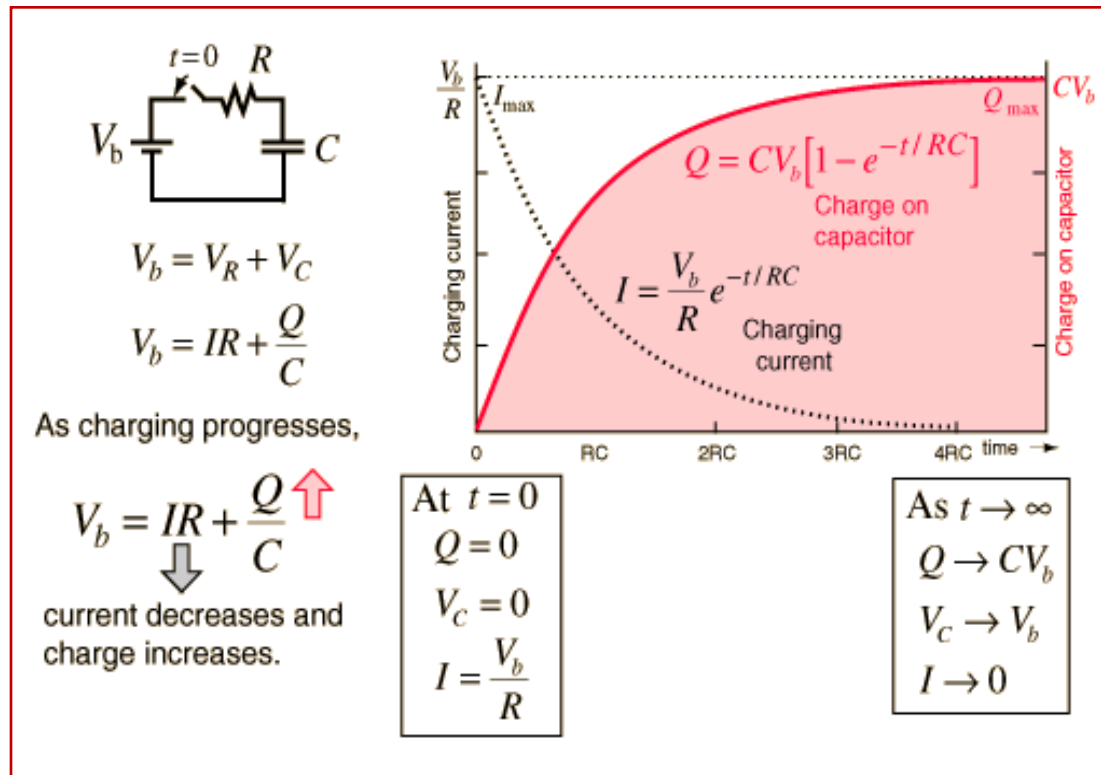
- ❑ Impedancija zavojnica transformatora odnose se kao kvadrat omjera broja zavoja :

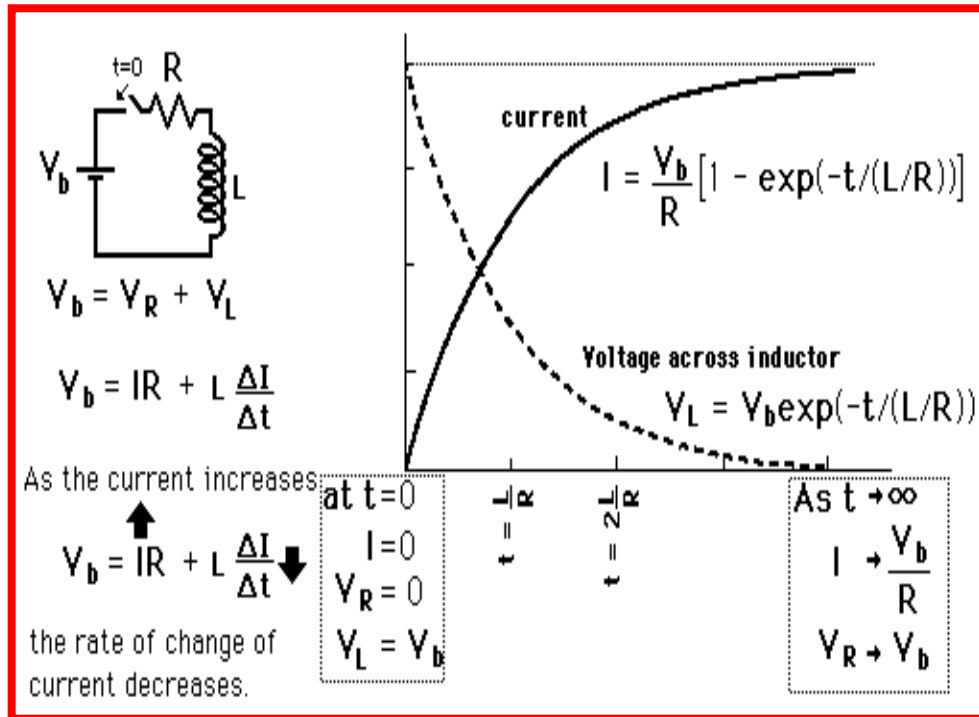
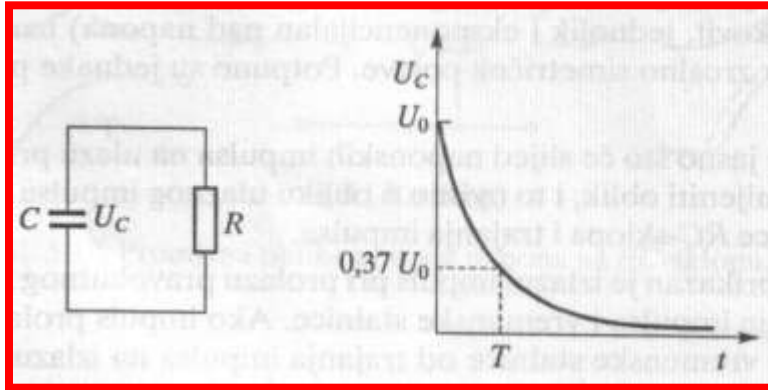
$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

- ❑ Transformatorom se mogu mijenjati impedancije, pa se transformator upotrebljava i za prilagođenje impedancije izvora i trošila.
- ❑ Najviše se koristi mrežni transformator kojim se napon gradske električne mreže (230 V)
 - ❑ za napajanje elektroničkih uređaja se snižuje (6V ili 12 V)
 - ❑ a za neke uređaje, kao sto je to rendgenski uređaj, povisuje na nekoliko stotina kilovolta.

Sklopovi s vremenskom konstantom

- Sklopovi otpornika i kondenzatora, **RC-sklopovi**
- Sklopovi otpornika i zavojnica, **RL-sklopovi**
- Kondenzator se strujom kroz otpornik puni postupno, kroz neko vrijeme, i to po rastućem eksponencijalnom zakonu.
- Vrijeme **$T = RC$** , koje ovisi samo o otporu otpornika i kapacitetu kondenzatora, naziva *vremenskom stalnicom* (konstantom) sklopa.



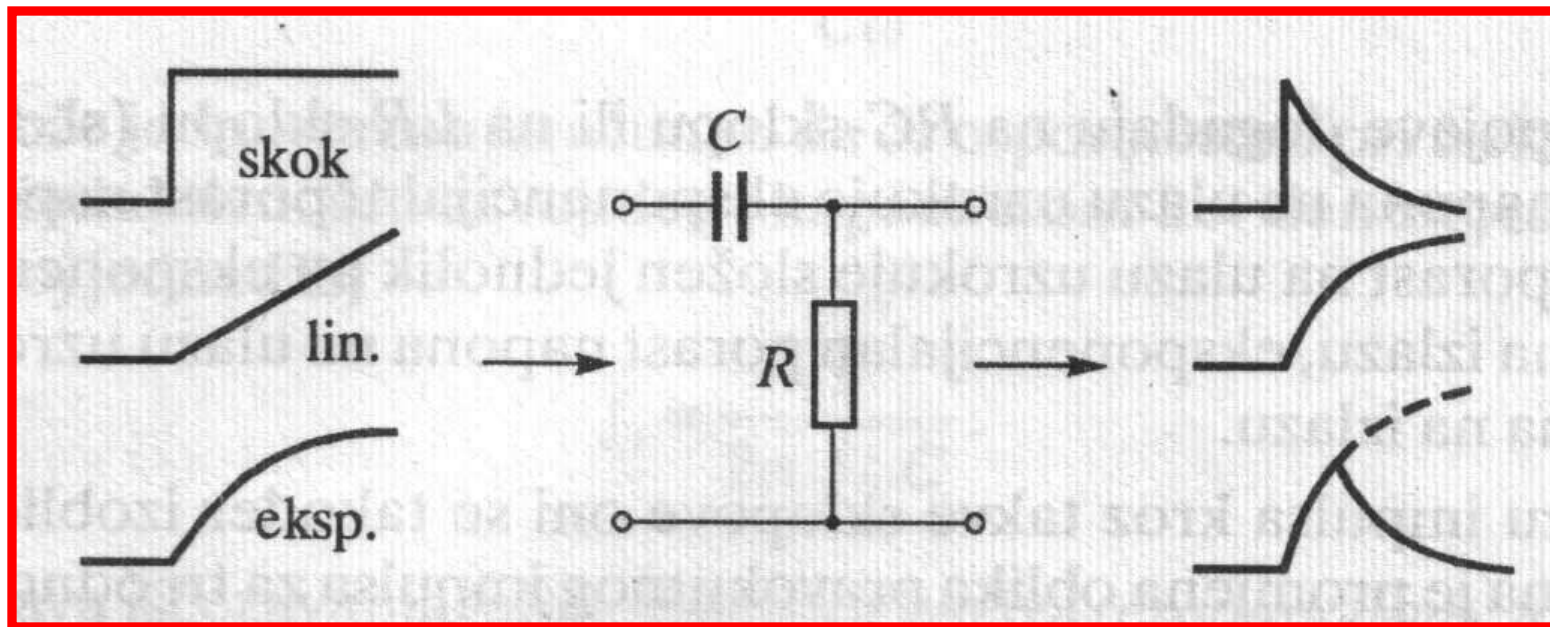


- Kondenzator napunjen na napon U_0 prazni se kroz otpornik također postupno, po padajućem eksponencijalnom zakonu. Napon na kondenzatoru sve sporije opada, pa će se kondenzator teorijski isprazniti kroz vrlo dugo vrijeme.
- Slično se ponaša RL-sklop, samo je *vremenska konstanta* RL-sklopa

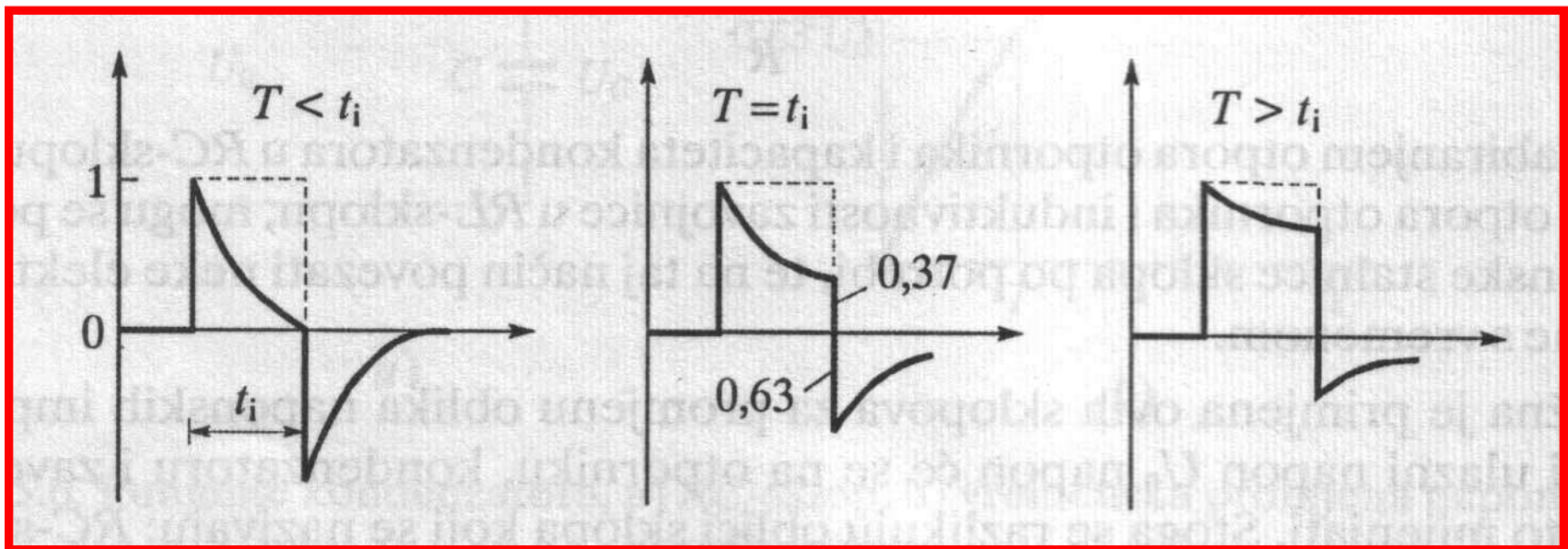
$$T = \frac{L}{R}$$

- Važna je primjena sklopova sa **vremenskom konstantom** pri promjeni oblika naponskih impulsa.
- Uz isti ulazni napon U_0 , napon će se na otporniku, kondenzatoru i zavojnici različito mijenjati.
- Razlikuju se oblici sklopa koji se nazivaju: **RC**-sklop, **CR**-sklop, **RL**-sklop i **LR**-sklop.

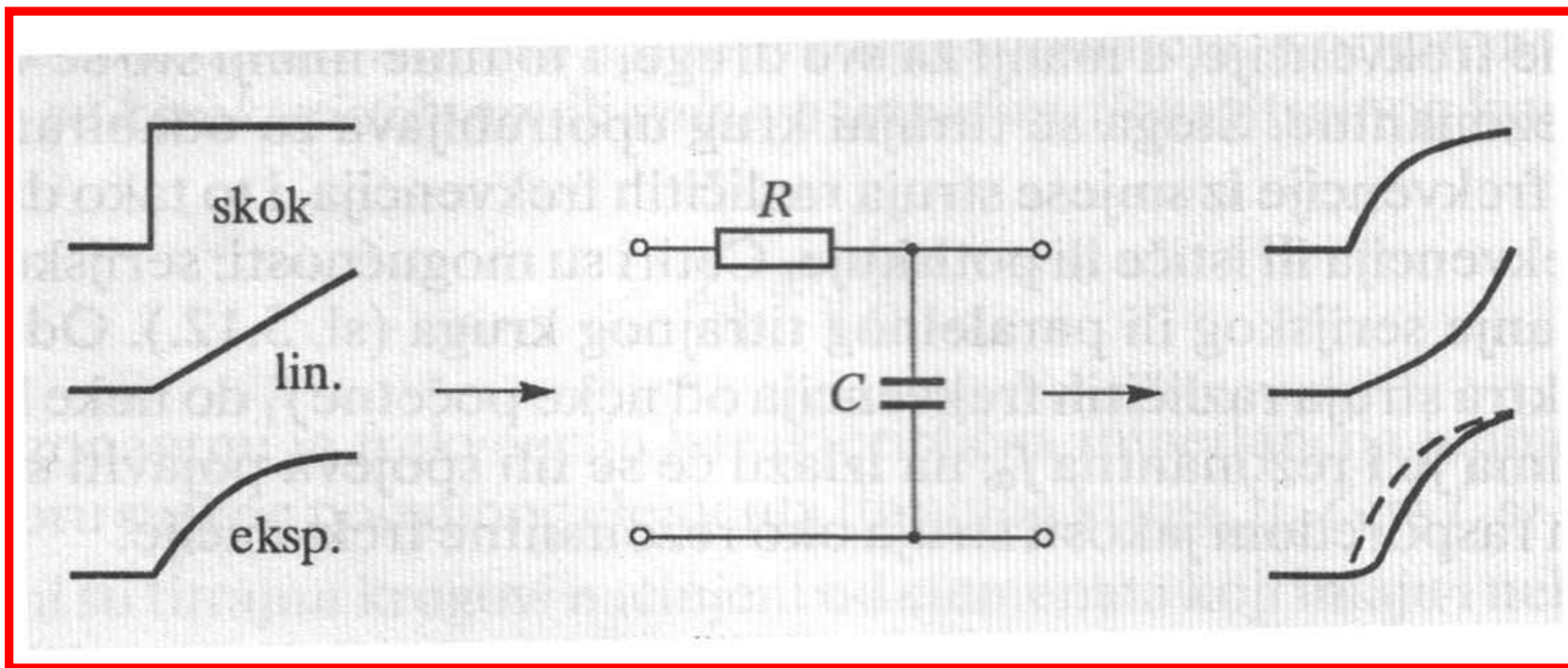
- Ovisnost oblika izlaznog napona o ulaznom naponu na **CR**-sklopu (ili **RL**-sklopu)



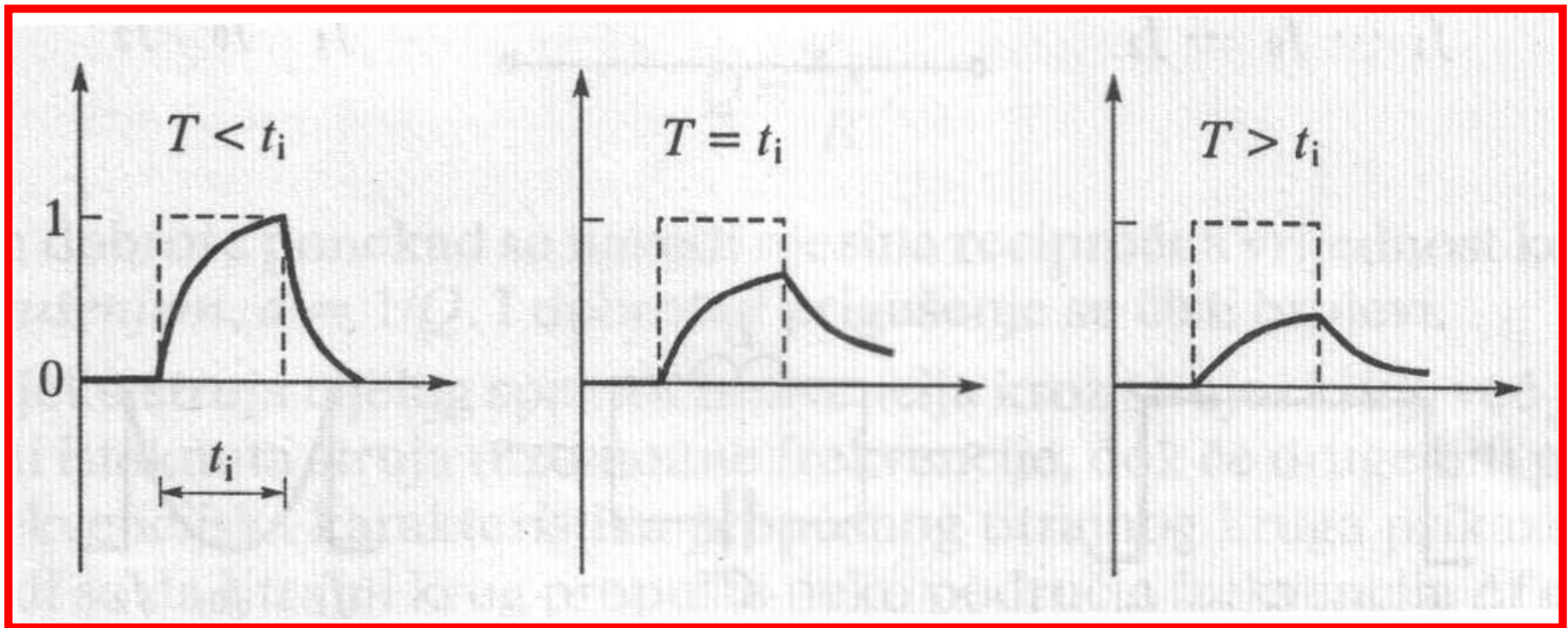
- CR -sklop i RL -sklop se nazivaju i **sklopovi za diferenciranje** impulsa.
- $T = RC$ odnosno $T = L/R$



- Ovisnost oblika izlaznog napona o ulaznom naponu na RC -sklopu ili LR -sklopu



- CR -sklop i RL -sklop se nazivaju i **sklopovi za integriranje** impulsa.
- $T = RC$ odnosno $T = L/R$



Titrajni krug

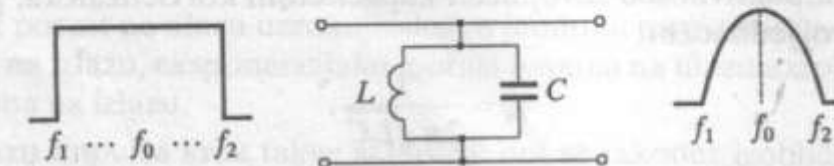
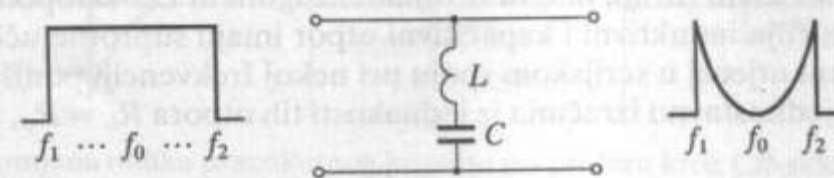
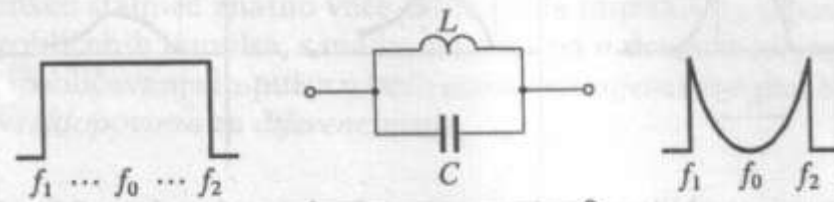
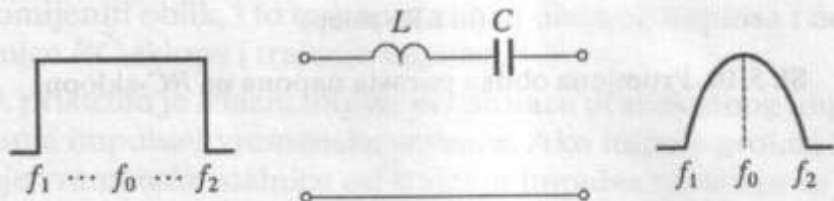
$$R_L = i \cdot L\omega$$

$$R_C = -i \frac{1}{C\omega}$$

$$L\omega = \frac{1}{C\omega}$$

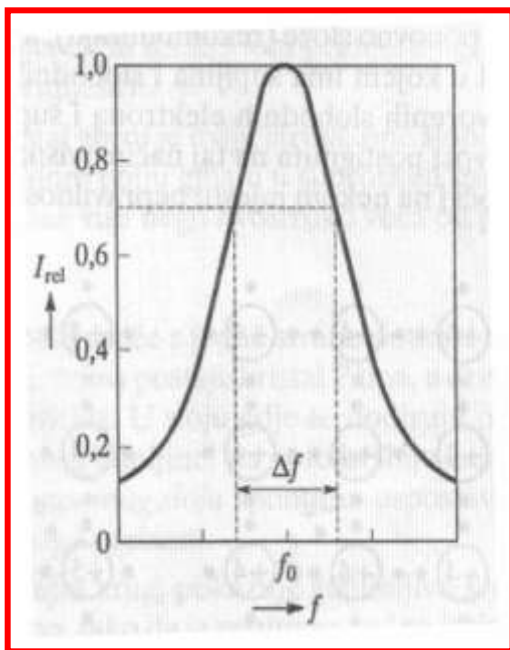
$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- Sklop se zavojnice i kondenzatora, naziva **titrajnim krugom** ili **LC-sklopom** jer u njemu mogu nastati električni titraji.
- U krugu izmjenične struje induktivni i kapacitivni otpor imaju suprotno djelovanje, pa se njihov ukupni utjecaj u serijskom spoju pri nekoj frekvenciji poništava. Ta se frekvencija izračuna iz jednakosti *otpora* **$R_L = R_C$**
- Pojava iščezavanja jalovog otpora naziva **rezonancijom**, a pripadajuća frekvencija **rezonantnom frekvencijom** titrajnog kruga.



- Serijski **LC**-sklop propušta struju rezonantne frekvencije, a predstavlja otpor za struje drugih frekvencija,
- Paralelni titrajni krug predstavlja najveći otpor za struju rezonantne frekvencije, a manji za sve druge.
- Titrajni krug se upotrebljava za odabiranje struje određene frekvencije iz smjese struja različitih frekvencija.
- Četiri su mogućnosti:
 - serijsko ili paralelno spajanje serijskog ili paralelnog titrajnog kruga

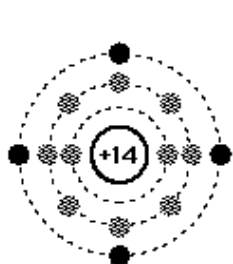
$$Z_k = \sqrt{\frac{L}{C}}$$



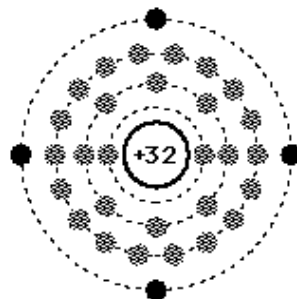
- U dva strujna kruga jednakih rezonantnih frekvencija (jednakih umnožaka LC) jača će struja teći onim s većim kapacitetom. Za jakost struje bitan je omjer induktivnosti i kapaciteta. Korijen iz toga omjera naziva se **karakterističnom ili valnom impedancijom** titrajnog kruga
- Pri tijeku struja cijelog spektra frekvencija kroz strujni krug, istaknuta je struja rezonantne frekvencije, dok će druge biti potisnute.
- Za nepropusni titrajni krug ta je karakteristična krivulja obrnuta.
- Dogovoreno je da se propuštenim smatraju struje onih frekvencija kojima je jakost veća od 70% jakosti struje rezonantne frekvencije. To se područje naziva **propusnim područjem** titrajnog kruga.

KRISTALNI POLUVODIČI

- Kristalni poluvodiči, vode električnu struju na drugačiji način nego kovine. Danas se za to rabe uglavnom kristali germanija i silicija. Naziv poluvodiči je povijesno nastao kada su proučavani neki prirodni kristali kojima je vodljivost bila između vodiča i izolatora.
- Germanij i silicij kemijski su elementi četvrte skupine periodnog sustava, prvi s atomnim brojem 32, a drugi 14. U vanjskoj ljusci njihova atoma nalazi se po četiri elektrona, i samo oni sudjeluju u kemijskom spajanju. Zbog toga se oni mogu jednostavno promatrati tako da se zapaze samo ti elektroni u vanjskoj ljusci, dok ostatak elektrona je stabilan i ima naboj $+4 e$.



Silicon

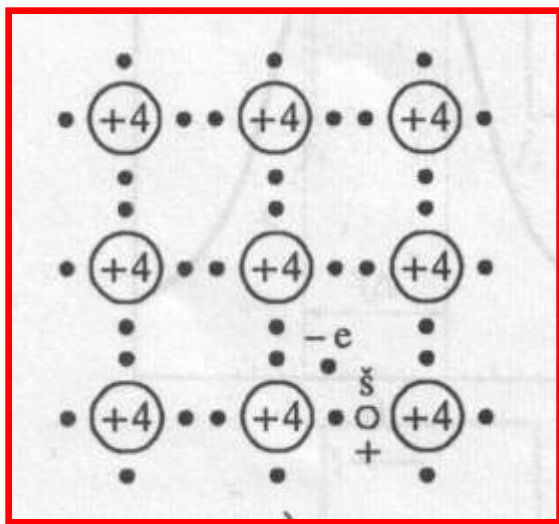


Germanium

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/>

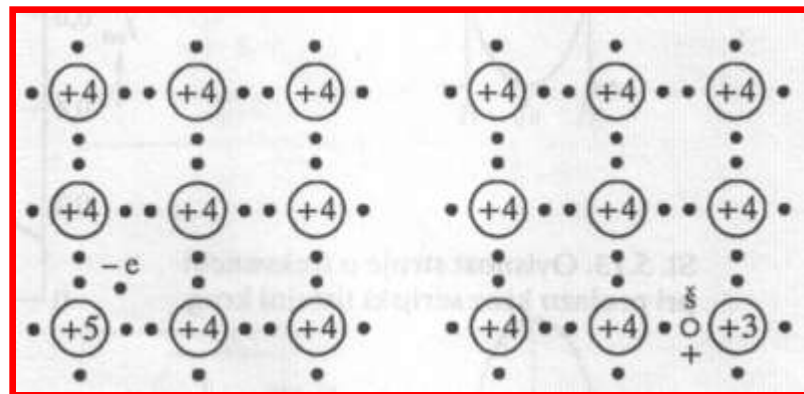
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|----|-------|------|-----|-----|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|-------|------|-----|-----|-------|----|
| Periodic Table of the Elements | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | | | |
| 1 | IA | H | | | | | | | | | | | | | | | | IIA | He | | |
| 2 | | Li | Be | | | | | | | | | | | | | III A | IV A | V A | VIA | VII A | Ne |
| 3 | | Na | Mg | III B | IV B | V B | VIB | VII B | VII | | | IB | IIB | Al | Si | P | S | Cl | Ar | | |
| 4 | | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | | |
| 5 | | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | | |
| 6 | | Cs | Ba | *La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | | |
| 7 | | Fr | Ra | +Ac | Rf | Ha | Sg | Ns | Hs | Mt | 110 | 111 | 112 | 113 | | | | | | | |
| * Lanthanide Series | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| + Actinide Series | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | | | |
| | | | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr | | | | |

- ❑ Atomi germanija, odnosno silicija spajaju se **kovalentnim vezama**, u kojima susjedni elektroni imaju po dva zajednička elektrona. Takav čist i savršeno pravilan kristal nema slobodnih naboja, pa je izolator.
- ❑ Već pri sobnoj temperaturi toplinsko je titranje atoma toliko da poneki **elektron** bude izbačen sa svoga mjesta. On se kao slobodan naboj giba po kristalu. Na mjesto iz kojega je izbačen, u tzv. **šupljinu**, može sada doći bilo koji drugi elektron, pa se šupljina također premješta po kristalu, a pošto privlači elektrone, ponaša se kao pozitivan naboj.



- ❑ Šupljine i elektroni međusobno se ponovno slože (rekombiniraju), a toplinsko ih titranje ponovno stvara. Kristal u kojem ima šupljina i slobodnih elektrona električni je vodič. Broj tako stvorenih slobodnih elektrona i šupljina ovisan je o temperaturi, pa je vodljivost postignuta na taj način ovisna o temperaturi. Do pojave šupljina može doći i na nekom mjestu nepravilnosti u kristalu.

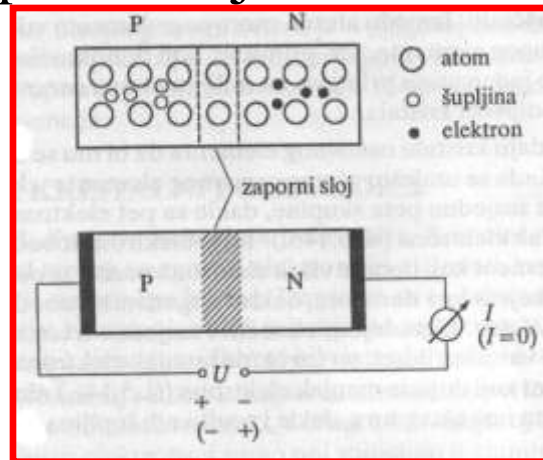
- ❑ Između atoma osnovnog elementa vrlo se lako ugradi poneki atom drugog elementa, primjese, koji donose višak ili manjak elektrona. Primjese se namjerno dodaju kristalu osnovnog elementa da bi mu se nadzirano **promijenila vodljivost**.
- ❑ Kada se umjesto atoma osnovnog elementa u kristalnu rešetku ugradi atom iz susjedne **pete** skupine, dakle sa pet elektrona u vanjskoj ljusci, on donese višak elektrona. Taj je elektron slobodan, i on pridonosi vodljivosti. Element koji donese višak elektrona naziva se **donatorom** ili **donorom**. Kristal u kojem ima donatora, dakle i negativnih slobodnih naboja, naziva se **kristalom N tipa**.
- ❑ Ugradnjom elementa susjedne **treće** skupine, dakle sa tri elektrona u vanjskoj ljusci, on uzrokuje manjak elektrona, te time nastaje šupljina. Element koji donese manjak elektrona naziva se **akceptorom**. Kristal u kojem ima akceptora, dakle i pozitivnih šupljina, naziva se **kristalom P tipa**.



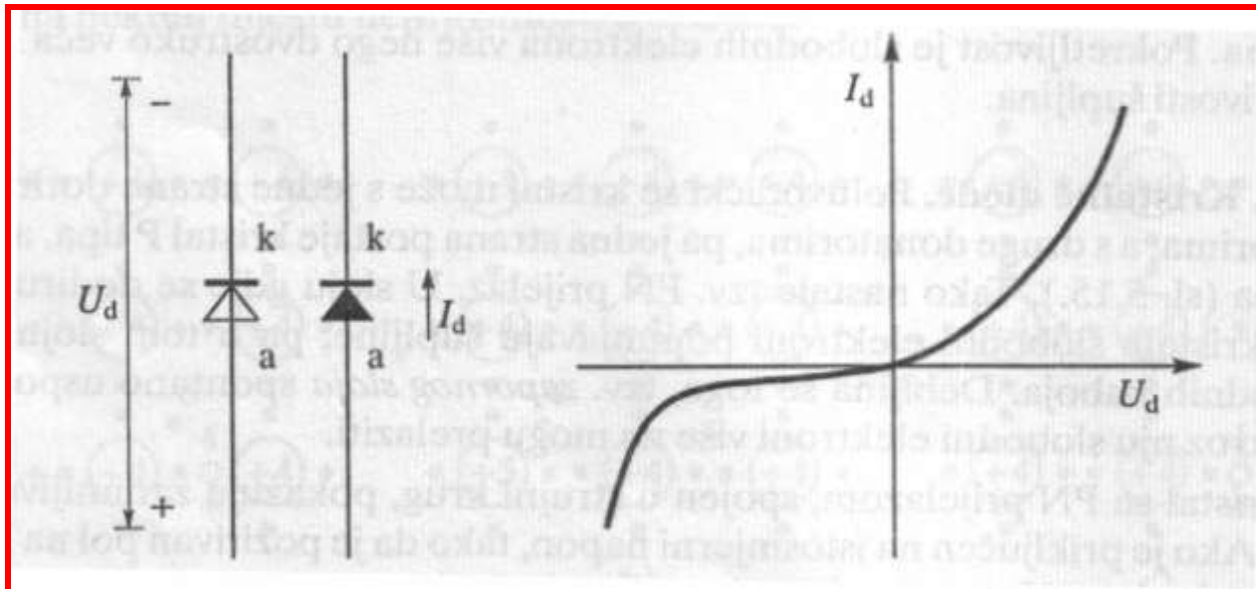
- ❑ Vodljivost kristala ovisi o stupnju dodavanja primjese, tzv. dotiranju, pa može biti slabo ili jako dotiran kristal određenog tipa.. Kao što je teško načiniti potpuno čist i pravilan kristal, tako je jednako teško načiniti kristal u kojem bi bili samo donatori ili samo akseptori. U svakom kristalu ima i jednih i drugih, važno je samo kojih je više.
- ❑ Osnovni kristal za proizvodnju elektroničkih elemenata u početku je bio **germanij**, ali je poslije prevladao **silicij**, a rjeđe se upotrebljavaju i neki drugi kristali, **galij-arsenid**, **indij-antimonid** i dr.
- ❑ Kao **donatori** upotrebljavaju se **antimon**, **arsen**, **bizmut**, **fosfor** ili **litij**, a kao **akseptori** **aluminij**, **bor**, **cink**, **indij**, **zlat** i dr.
- ❑ Primjese mogu biti ugrađene tako da atom primjese zauzme mjesto atoma (zamjenske ili **supstitucijske primjese**), ili da se atom primjese ugradi između atoma kristala (**međuprostorne primjese**).
- ❑ Električna struja kroz poluvodički kristal zbroj je dviju struja, one slobodnih elektrona i šupljina, koji se u električnom polju gibaju u suprotnim smjerovima. Pokretljivost je slobodnih elektrona više nego dvostruko veća od pokretljivosti šupljina.

Kristalne diode

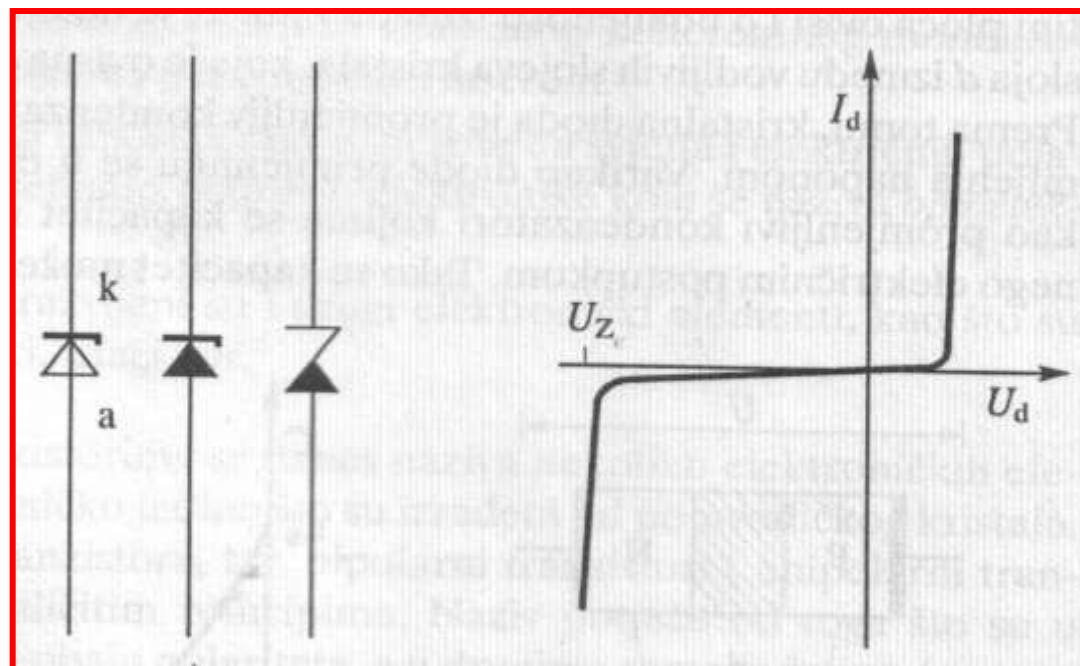
- ❑ Poluvodički se kristal može s jedne strane dotirati akceptorima, a s druge donatorima, pa jedna strana postaje kristal **P tipa**, a druga **N tipa**. Tako nastaje **PN prijelaz**.
- ❑ U sloju gdje se dodiruju oba tipa kristala slobodni elektroni popunjavaju šupljine, pa u tom sloju nema slobodnih naboja. Debljina se toga **zapornog sloja** spontano uspostavlja dok kroz nju slobodni elektroni više ne mogu prelaziti.
- ❑ Ako je kristal sa PN prijelazom priključen na istosmjerni napon, tako da je pozitivan pol na P tipu, a negativan na N tipu, šupljine i elektroni gibaju se prema suprotnom polu. Već pri vrlo niskim naponima, reda jednog volta, jakost je polja dovoljna da oni prolaze kroz zaporni sloj, opaža se tijek električne struje kroz kristal.



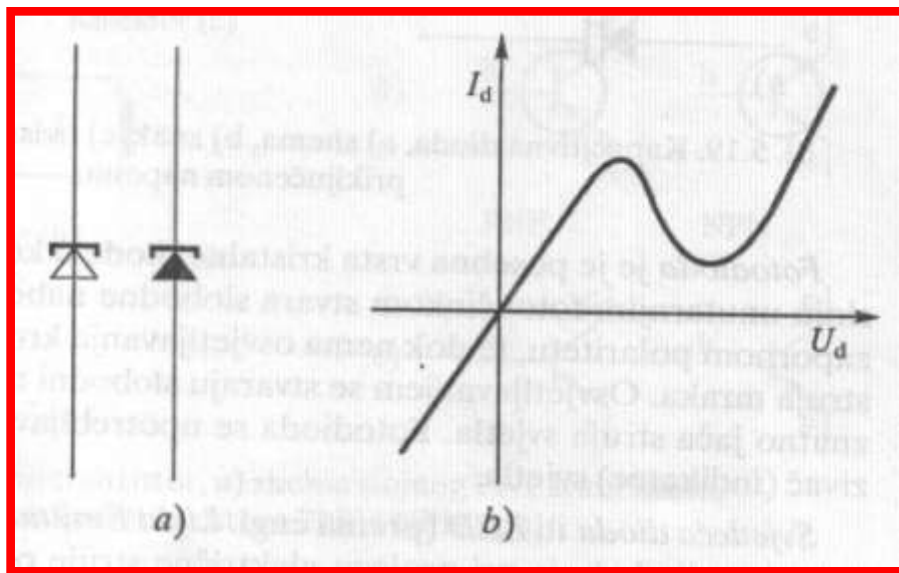
- ❑ Ako se polaritet napona izmijeni, naboji se gibaju u suprotnim smjerovima. Porastom napona debljina se zapornog sloja povećava, a u kristalu nema više slobodnih naboja, pa kristal ne vodi električnu struju.
- ❑ Vodljivost je PN prijelaza ovisna o polaritetu priključenog napona, uz jedan polaritet struja teče, uz obratni ne teče. PN prijelaz se ponaša kao električni ventil. Stoga se takav kristal naziva *kristalnom diodom*. Naziv je nastao prema sličnom svojstvu elektronske cijevi diode.



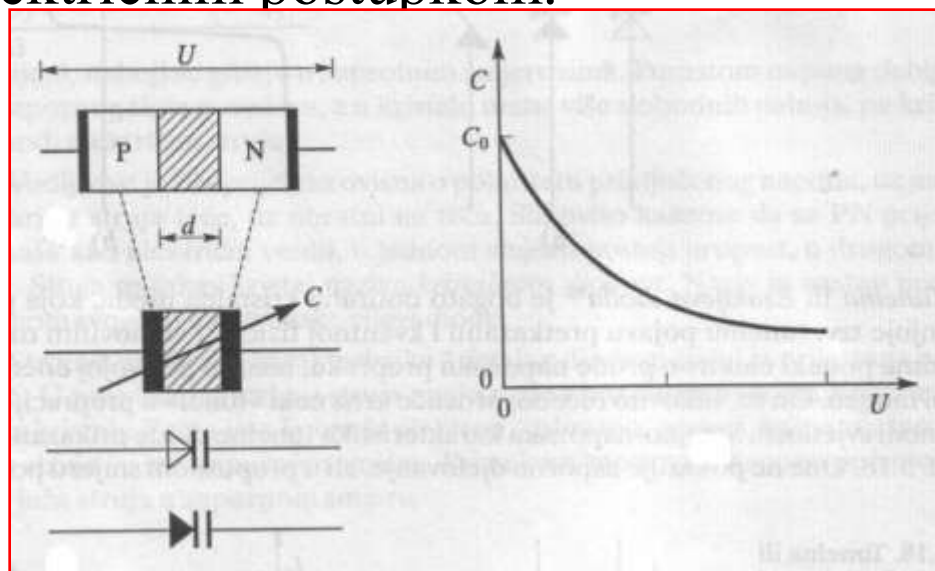
- **Zenerova dioda** je posebna vrsta diode kojoj struja u zapornom smjeru naglo raste pri određenom, tzv. *Zenerovu naponu*. U tom području promjena struje ne uzrokuje promjenu napona. Zenerova se dioda primjenjuje kao element za održavanje napona na stalnoj vrijednosti, tzv. stabiliziranje, određeno tim Zenerovim naponom.



- *Tunelna* ili *Esakijeva dioda* je bogato dopirana kristalna dioda, koja primjenjuje tzv. tunelnu pojavu pretskazanu u kvantnoj fizici. U stanovitim okolnostima poneki elektron prođe naponsku prepreku, iako to po svojoj energiji ne bi mogao. On se, slikovito rečeno, provuče kroz neki »tunel« u prepreci, i to brzinom svjetlosti. Ona ne pokazuje zaporno djelovanje, ali u propusnom smjeru pokazuje porast, pa pad struje i ponovni porast. U području opadanja struje pri porastu napona dioda ima negativan električni otpor. Upotrebljava se za vrlo brze operacije u mikrovalnom području.



- **Varikap dioda** (kapacitivna dioda, varaktor) se ponaša kao promjenljivi kondenzator.
- Kristalnu diodu čine dva vodljiva sloja kristala, koji su odvojeni zapornim slojem kao izolatorom. Svaka je dioda u zapornom smjeru kondenzator. Kapacitet pločastog kondenzatora osim o ploštini ploča ovisi i o udaljenosti između njih. Ta je udaljenost debljina zapornog sloja d između vodljivih slojeva kristala, koja je ovisna o priključenom naponu. Kristalna dioda je promjenljiv kondenzator, kojemu se kapacitet mijenja naponom.
- Varikap diode primjenjuju se u elektroničkim uređajima kao promjenljivi kondenzatori kojima se kapacitet ne mijenja mehaničkim nego električnim postupkom.



- **Fotodioda** je posebna vrsta kristalne diode u kojoj svjetlost u zapornom sloju unutarnjim fotoučinkom stvara slobodne naboje. Fotodioda se spaja u zapornom polaritetu, te dok nema osvjetljavanja kroz nju teče vrlo slaba, tzv. struja mraka. Osvjetljavanjem se stvaraju slobodni naboji, pa diodom poteče znatno jača struja svjetla. Fotodioda se upotrebljava kao elektronički pokazivač (indikator) svjetla.

| Material | |
|---------------------|---------------|
| Silicij | 190–1100 nm |
| Germanij | 400–1700 nm |
| Indij galij arsenid | 800–2600 nm |
| Olovo sulfid | <1000-3500 nm |



- ***Svjetleća dioda ili LED*** (prema engl. *Light Emitting Diode*) posebna je vrsta kristalne diode koja pri prolazu električne struje odašilje svjetlo. Do odašiljanja svjetla dolazi prilikom popunjavanja šupljina slobodnim elektronima, pri čemu se u nekim tvarima višak energije odašilje kao foton, pojavom obratnom vanjskom fotoučinku.

[aluminium gallium arsenide](#) (AlGaAs) - red and infrared

[aluminium gallium phosphide](#) (AlGaP) - green

[aluminium gallium indium phosphide](#) (AlGaInP) - red, orange, yellow, green

[gallium arsenide phosphide](#) (GaAsP) - red, orange, and yellow

[gallium phosphide](#) (GaP) - red, yellow and green

[gallium nitride](#) (GaN) - green, and blue, also white

[indium gallium nitride](#) (InGaN) - near ultraviolet, bluish-green and blue

[silicon carbide](#) (SiC) as substrate — blue

[silicon](#) (Si) as substrate — blue (under development)

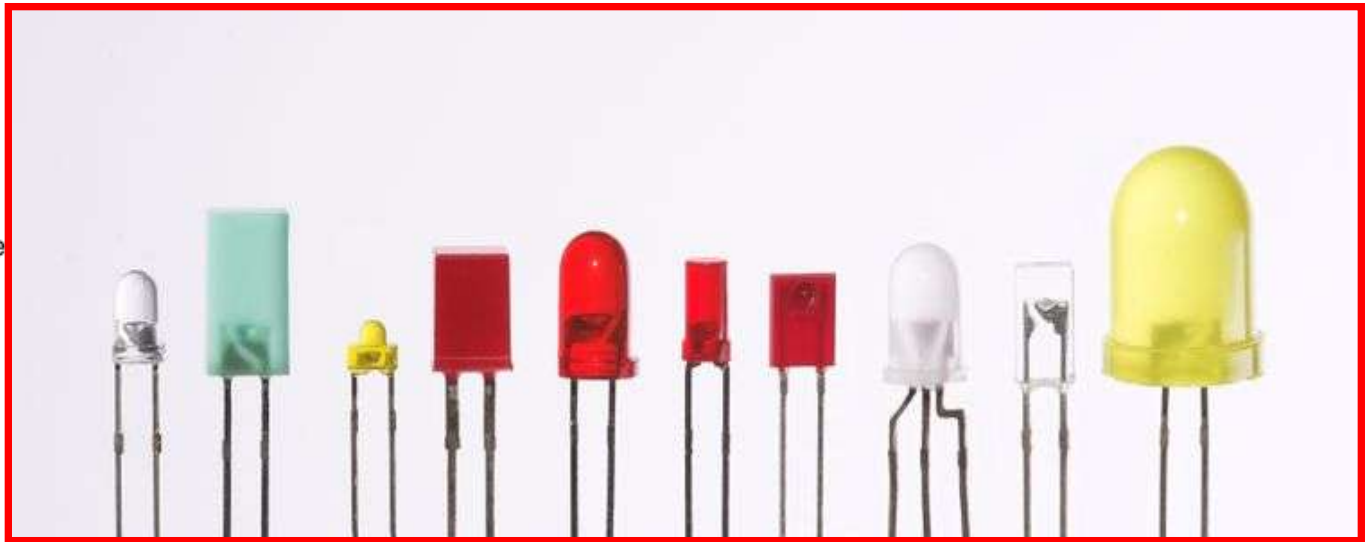
[sapphire](#) (Al₂O₃) as substrate — blue

[zinc selenide](#) (ZnSe) - blue

[diamond](#) (C) - ultraviolet

[aluminium nitride](#) (AlN),

[aluminium gallium nitride](#) (AlGaN) - near to far [ultraviolet](#)



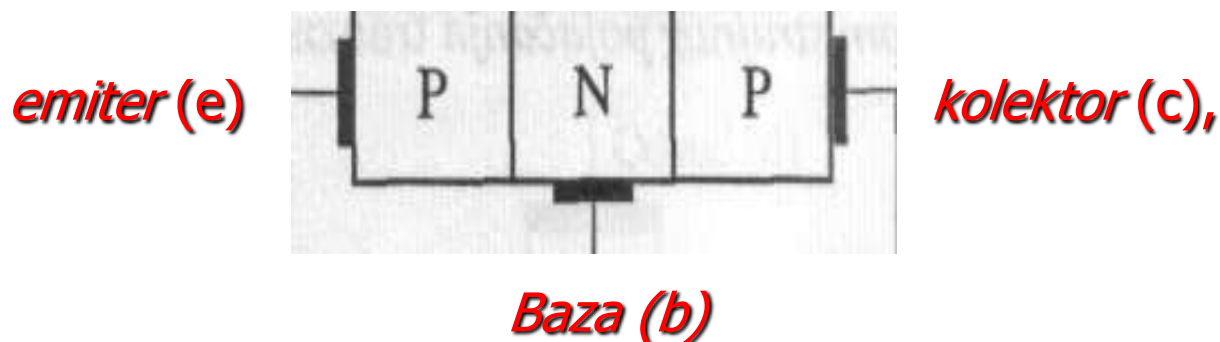
- ***Laserska dioda*** je posebna svjetleća dioda koja radi na principu stimuliranog odašiljanja svjetla. Odašilje vrlo uzak snop koherentnog svjetla, u vrlo uskom području valnih duljina. Izrađuju se od kristala **galij-arsenida (GaAs)**. Upotrebljavaju se gdje god je potreban uzak snop koherentnog monokromatskog svjetla, a nazivaju se i poluvodičkim laserom.

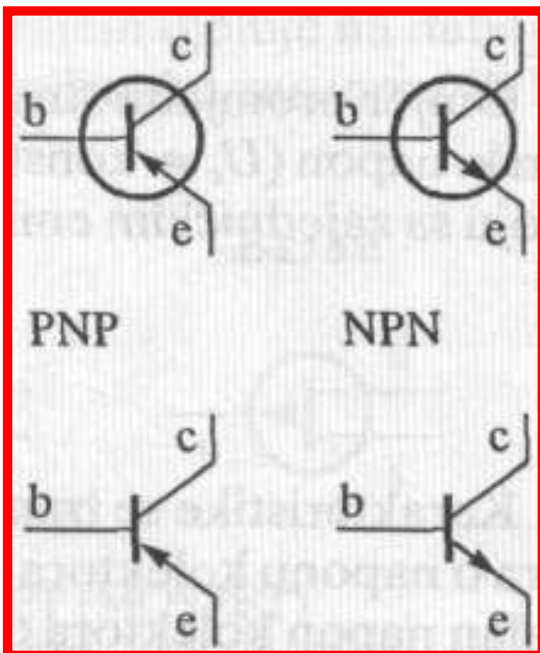


Tranzistori

- Tranzistorima se naziva nekoliko elektroničkih elemenata, kojima je zajedničko da su izrađeni od poluvodičkog kristala.
- Dvije su vrste tranzistora:
 - **bipolarni tranzistori**- slobodni naboji su obaju polariteta
 - **unipolarni tranzistori**- slobodni naboji su jednog polariteta

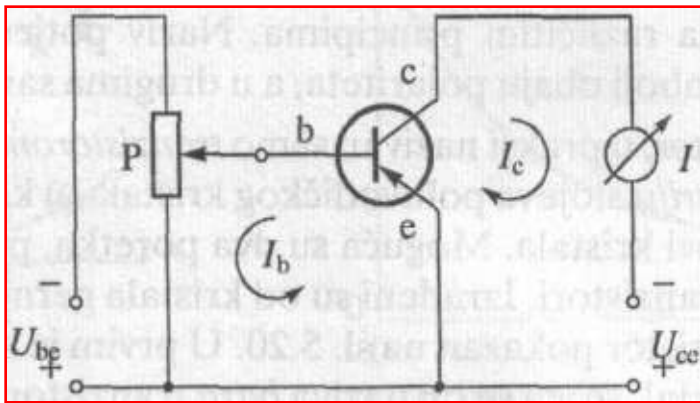
- ***Bipolarni tranzistor***, (*tranzistorom*) elektronički je element, izrađen od kristala germanija ili silicija, sastavljen od *triju* slojeva.
- Moguća su dva poretka:
 - **PNP** tranzistori
 - **NPN** tranzistori
- Srednji sloj je osnovni kristal, ***baza*** tranzistora, i označava se sa **b**. Bočni se slojevi nazivaju ***emiter*** (**e**) i ***kolektor*** (**c**),



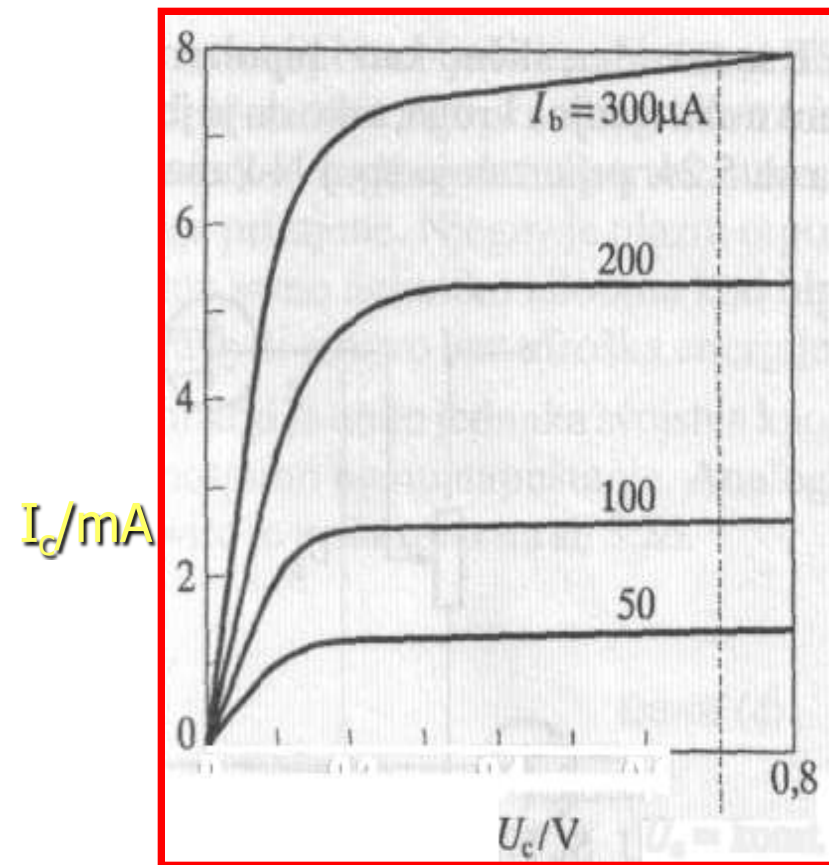


Shematske označavanje tranzistora, u kojem se tip tranzistora razlikuje smjerom strelice emitera

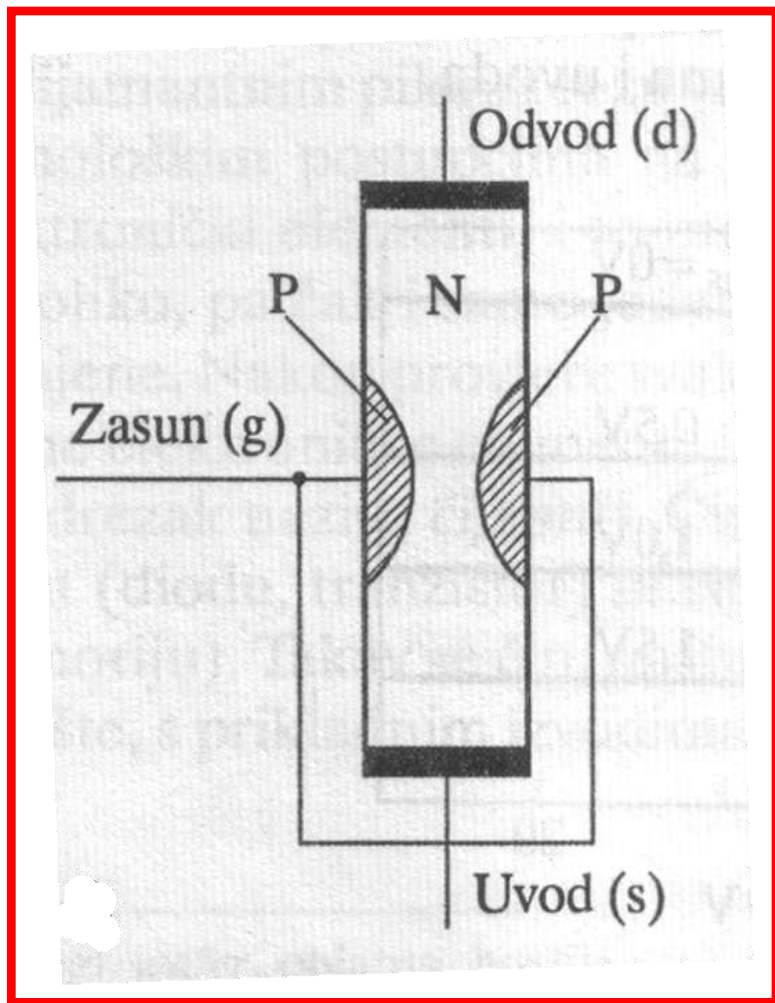
- Tranzistor se može pojednostavljeno promatrati kao da je sastavljen od dviju dioda, diode **emiter-baza** i diode **baza-kolektor**, koji imaju jednu zajedničku elektrodu.



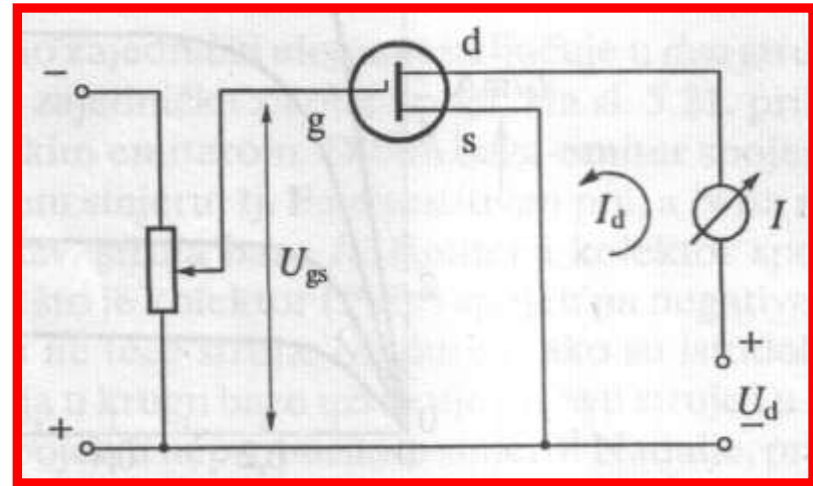
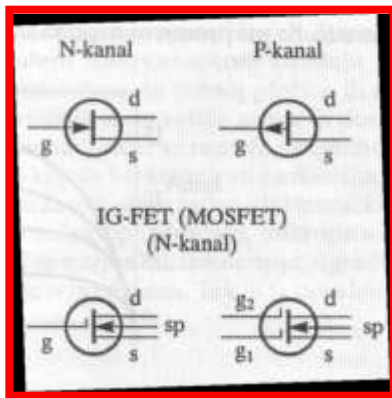
- ❑ Tranzistor se kao zajednički element uključuje u *dva* strujna kruga, tako da je jedna elektroda zajednička za oba kruga (spoj tranzistora sa zajedničkim emiterom).
- ❑ Dioda **baza-emiter** spojena je u prvom krugu u propusnom smjeru, (P na pozitivan pol, a N na negativan pol), pa u tome krugu teče struja baze **I_b** .
- ❑ Emiter i kolektor spojeni su u drugom krugu, a zbog toga što je kolektor (P tip) spojen na negativan pol, nepropustan smjer.
- ❑ Ako su istodobno uključena oba strujna kruga, struja u krugu baze uzrokuje pojavu struje i u krugu **I_c** .
- ❑ Promjene struje baze **I_b** uzrokuju znatno veće promjene struje kolektora **I_c** . Te se činjenice nazivaju *tranzistorskom pojavom*.
- ❑ U ovom je spoju baza upravljačka elektroda sklopa.



- Karakteristike se tranzistora najčešće prikazuju kao ovisnosti struje kolektora o naponu kolektora za razne struje baze. Iz njega se za stalan napon kolektora očitava koliko će se u nekom području kolektorskog napona promijeniti struja kolektora pri promjeni struje baze.
- Tranzistorska pojava na bipolarnom tranzistoru omogućava da se on upotrebljava kao element za pojačavanje električnih promjena ili kao elektronička sklopka.

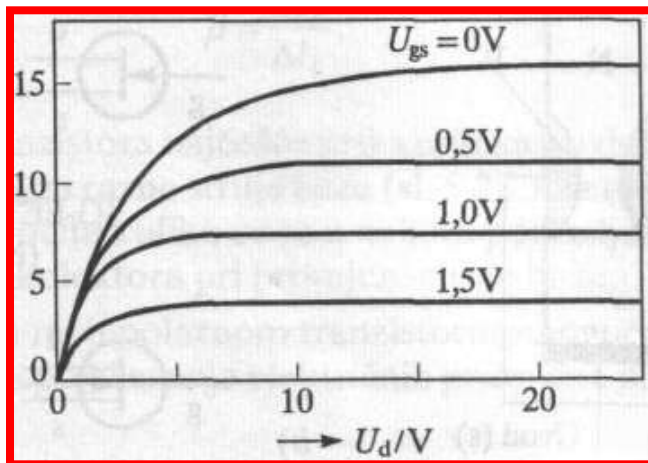


- **Unipolarni tranzistor** ili **FE T** (prema engl *Field Effect Tranzistor*, tranzistor s učinkom polja) čini poluvodički kristal jednog tipa (**P** ili **N**), koji se naziva **kanalom**.
- Kristal je spojen elektrodama koje se nazivaju **uvod** (**s**; *source*) i **odvod** (**d**; *drain*).
- Bočno je osnovni kristal dopiran, pa se na tim mjestima uspostavlja **PN**-prijelaz i zaporni sloj. Ta se mjesta nazivaju **zasun** (**g**; *gate*).
- Zasun ne mora biti u vodljivoj vezi s kanalom, jer će biti dovoljno da električnim poljem djeluje na naboje u kanalu.

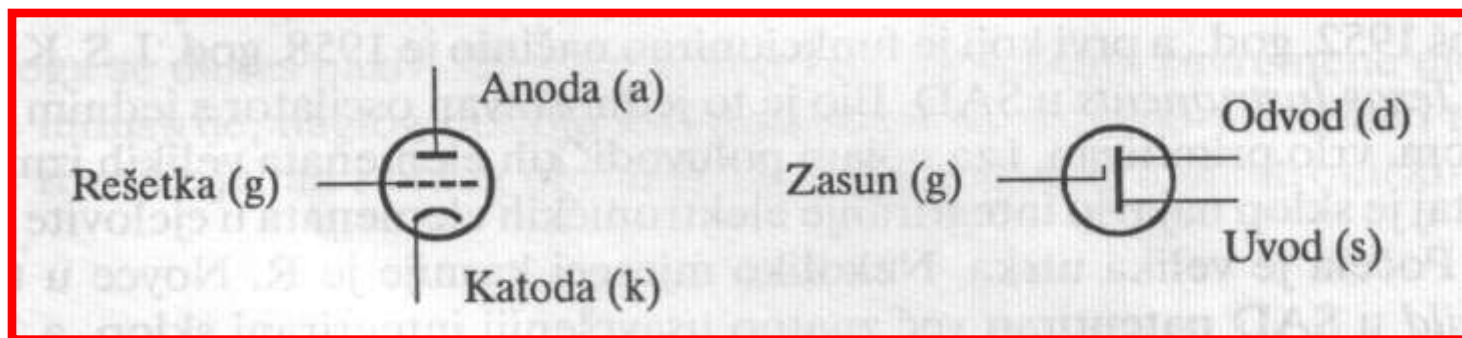


- FET se uključuje kao zajednički element u *dva* strujna kruga, tako da je jedna elektroda zajednička za oba kruga.
- Dioda **zasun-uvod** spojena je u prvom krugu, u nepropusnom smjeru (N na pozitivan pol, a P na negativan pol).
- Kanal je spojen u drugom strujnom krugu i njime uz neki napon odvoda U_d između uvoda i odvoda teče kanalom struja odvoda I_d .
- Promjenom napona U_{gs} između zasuna i uvoda mijenja se debljina zapornog sloja, time i propusnost kanala i po tome i struja kroz kanal, pa se zasun naziva i upravljačkom elektrodom FET-a.

I_d/mA



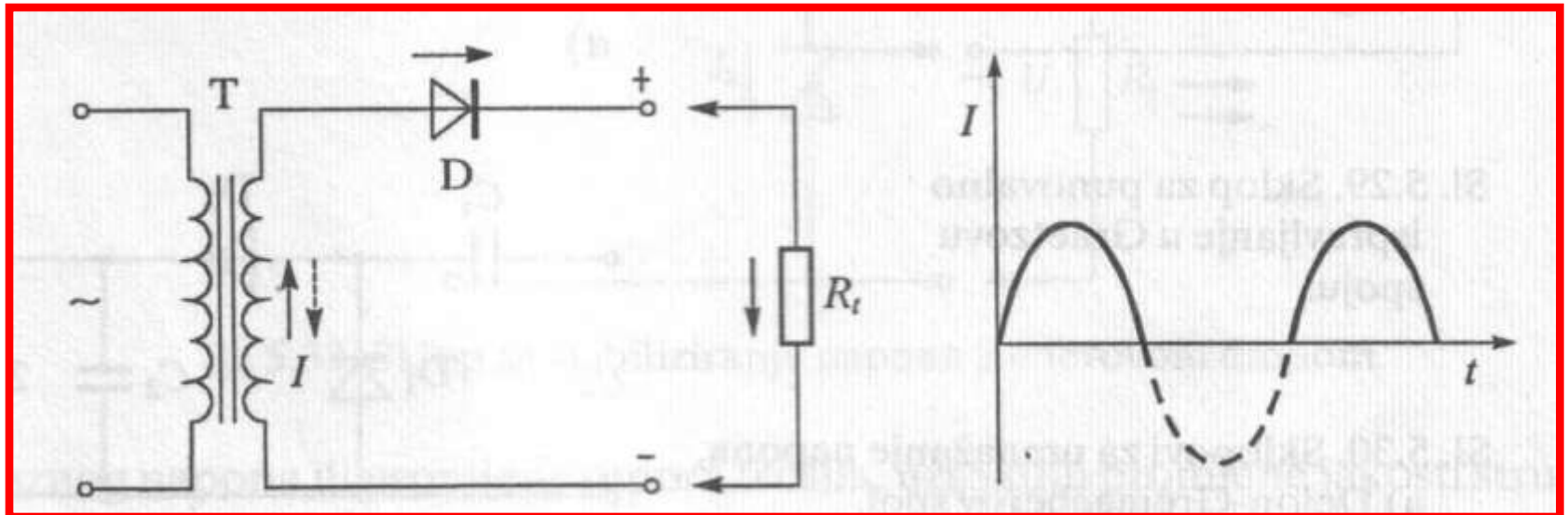
- Karakteristike se FET-a prikazuju kao ovisnosti struje odvoda o naponu odvoda, za razne struje baze.
- FET-u se upotrebljava kao element za pojačavanje električnih promjena ili kao elektronička sklopka.
- Za upravljanje strujom kanala nije potrebna struja kao kod bipolarnog tranzistora, nego napon. Njegov je ulazni otpor je mnogo veći od odgovarajućeg otpora bipolarnog tranzistora, pa se njime može upravljati gotovo bez utroška energije.
- FET ima jednaka svojstva kao elektronska cijev, te je omogućio gotovo potpuno njeno napuštanje.



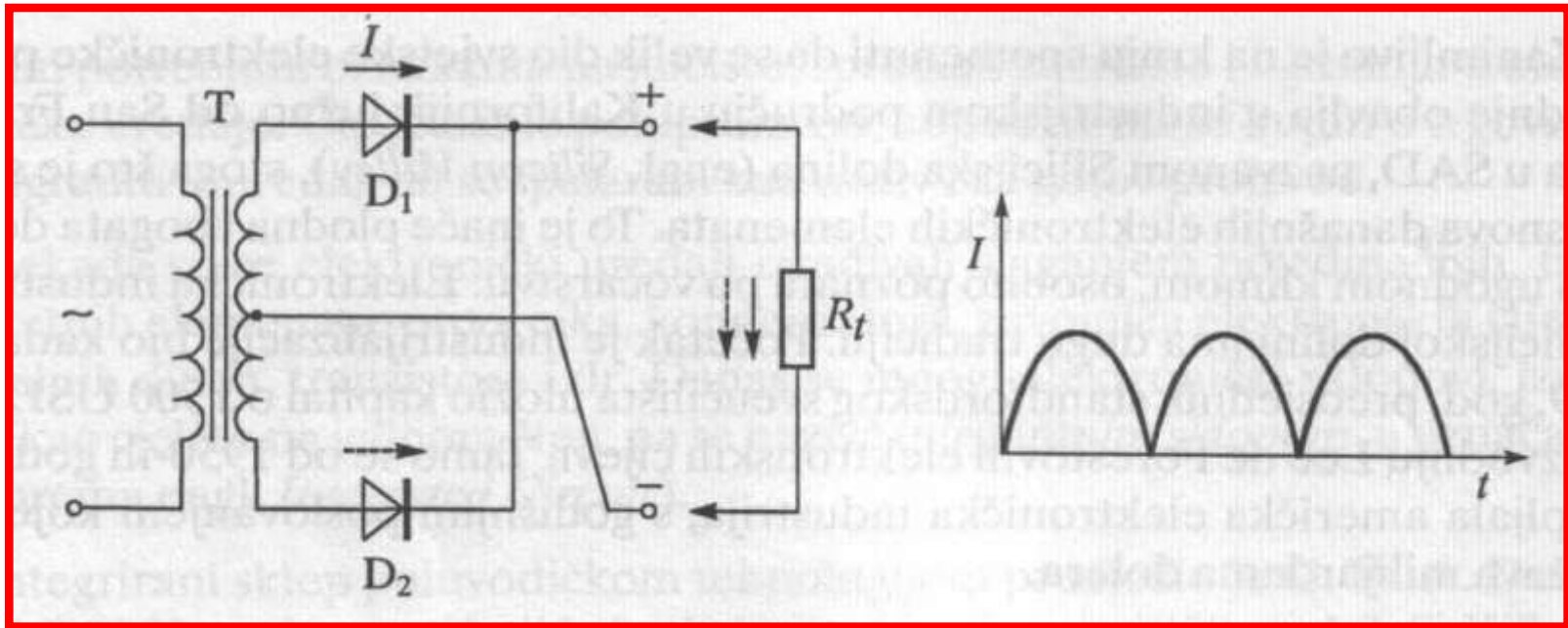
OSNOVNI ELEKTRONIČKI SKLOPOVI

- Ispravljači i stabilizatori
- Osnovno svojstvo poluvodičkih dioda da pokazuju ventilsko djelovanje koristi se za pretvaranje izmjenične struje u istosmjernu, ispravljanje.

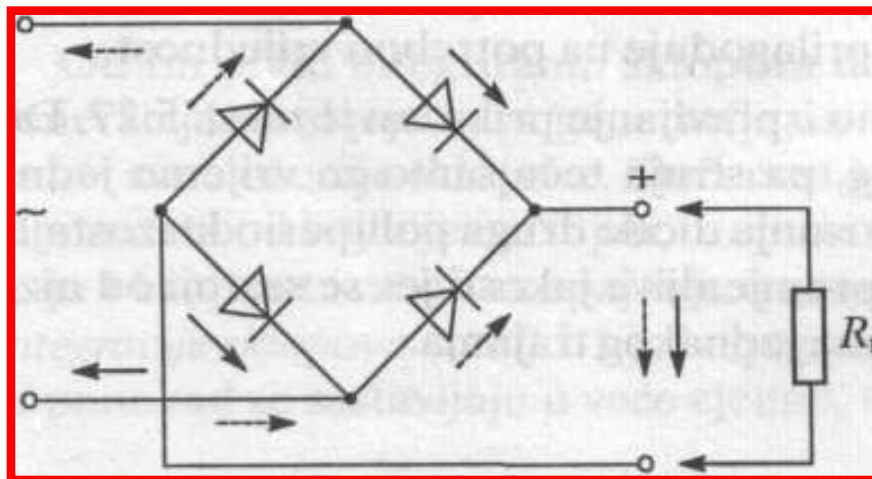
- Sklop za poluvalno ispravljanje.
- Dioda je spojena serijski u strujni krug, pa struja teče samo za vrijeme jedne poluperiode, dok zbog zapornog djelovanja diode druga poluperioda izostaje. Trošilom prolazi istosmjerna struja, promjenljive jakosti jer se sastoji od niza sinusnih impulsa, rastavljenih stankama jednakog trajanja.

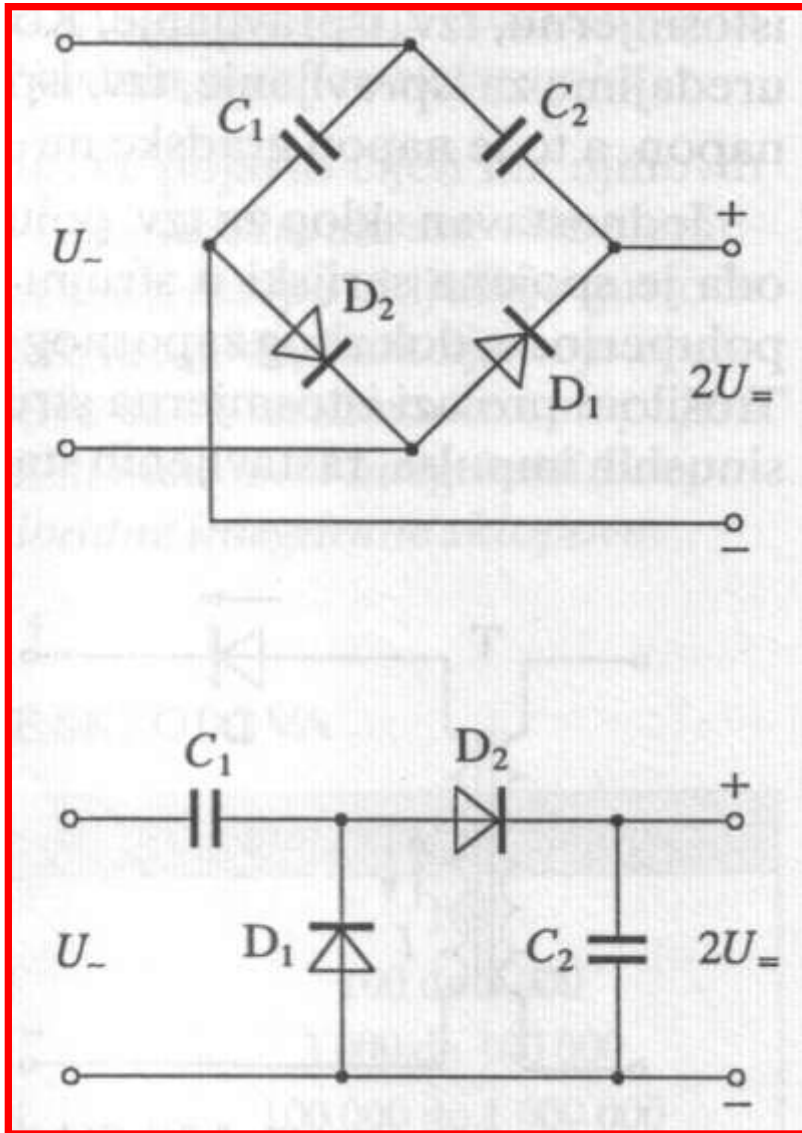


- Sklop za punovalno ispravljanje
- Za punovalno ispravljanje treba trošilom propustiti i drugu poluperiodu, ali izmijenjenim smjerom. To se postiže upotrebom dvostruke sekundarne zavojnice, s dvostrukim naponom, i dvjema diodama. Trošilom prolazi istosmjerna struja, promjenljive jakosti, pulzirajuća struja, jer se sastoji od neprekinutog niza sinusnih impulsa.



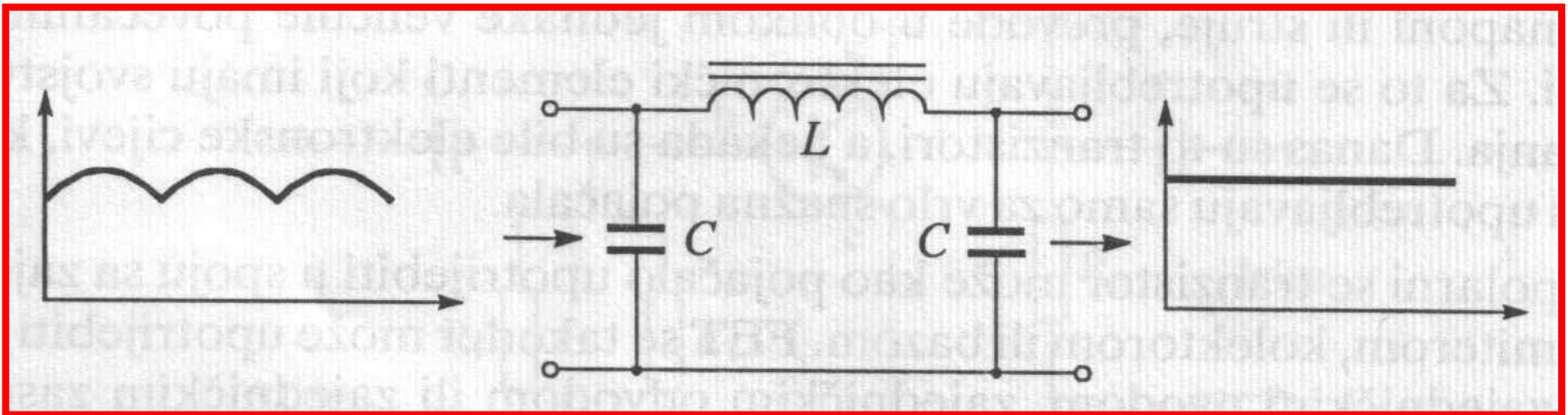
- *Graetzov spoj* je također sklop za **punovalno ispravljanje**. Sastoji se od jednostruke sekundarne zavojnice i četiri diode. Dioda su spojene u granama kvadratične sheme, sa smjerovima kako je to na shemi naznačeno. Ako se izmjeničan napon spoji u dijagonali, tzv. mostu, između vrhova u kojima se sastaju nejednaki polovi dioda, između drugog para vrhova pojavljuje se istosmjernan punovalni napon.



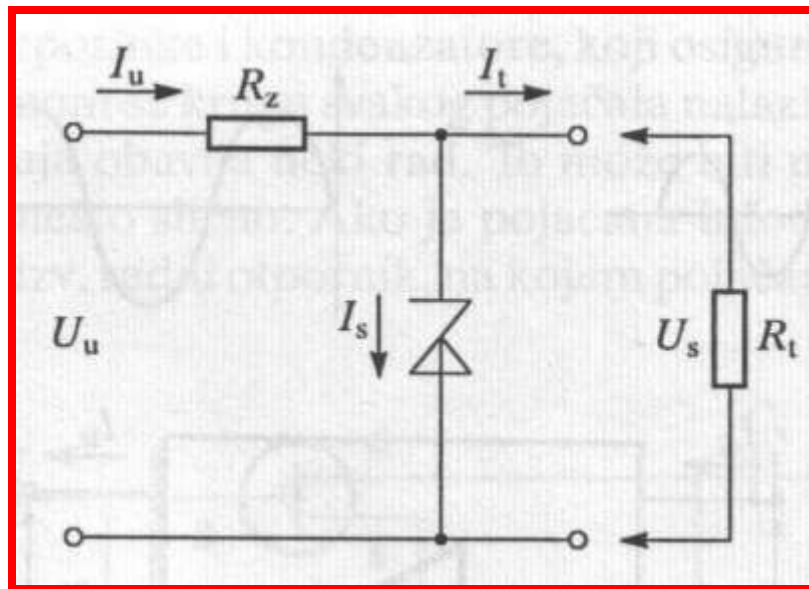


- **Uvišestručavanje napona**
- Upotrebom dioda i kondenzatora može se raznim mosnim spojevima osim ispravljanja postići udvostručavanje, pa i višestruko umnažanje napona.
- Drugi se spoj može stupnjevano nastavljati, pa se dobije kaskadni spoj za umnažanje napona toliko puta koliko je dioda upotrijebljeno, uz uvjet vrlo slabih struja kroz trošilo.

- **Sklop za filtriranje** sastavljen je od nekoliko kondenzatora i zavojnica.
- Uobičajeni sklop za »izravnavanje« istosmjerne struje je CLC-sklop, zbog sličnosti s grčkim slovom π nazivan i » π filterom«.
- Za učinkovito »izravnavanje« izmjenične struje upotrebljavaju se kondenzatori velikog kapaciteta i zavojnica velike samoinduktivnosti

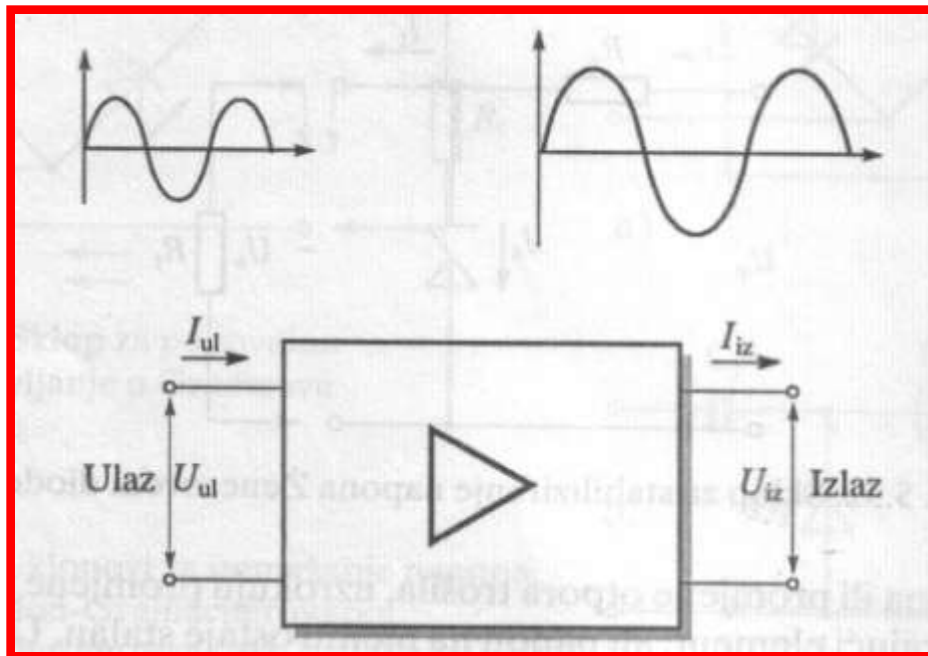


- **Sklop za stabiliziranje napona** Zenerovom diodom
- Naponi se na izlazu ispravljača često mijenjaju, bilo zbog neizbježnih promjena napona gradske mreže, bilo zbog promjene potrošnje trošila.
- Osnova svakog sklopa za stabiliziranje je elektronički element u kojem u nekom području izostaje ovisnost promjene jakosti struje o naponu, npr. Zenerova dioda.



Pojačala

- Elektronička pojačala su sklopovi u kojima se električne veličine, naponi ili struje, prevode u oblikom jednake veličine povećanih vrijednosti.
- Sastoji se od elektroničkih elemenata koji imaju svojstvo pojačavanja. Danas su to tranzistori, a nekada su bile elektronske cijevi, koje se danas upotrebljavaju samo za vrlo snažna pojačala.
- Pojačalo se predočava četveropolom, sklopom koji ima dvije ulazne i dvije izlazne priključnice.



- Pojačalo karakteriziraju ulazne i izlazne vrijednosti struja i napona, ulazna i *izlazna* snaga, te ulazni i *izlazni* otpori. Omjer izlaznih i ulaznih vrijednosti nazivaju se *pojaćanjem* pojaćala. Naponsko pojaćanje A_u i strujno A_I dani su omjerima pripadnih vrijednosti a njihov je umnožak pojaćanje snage A_P .

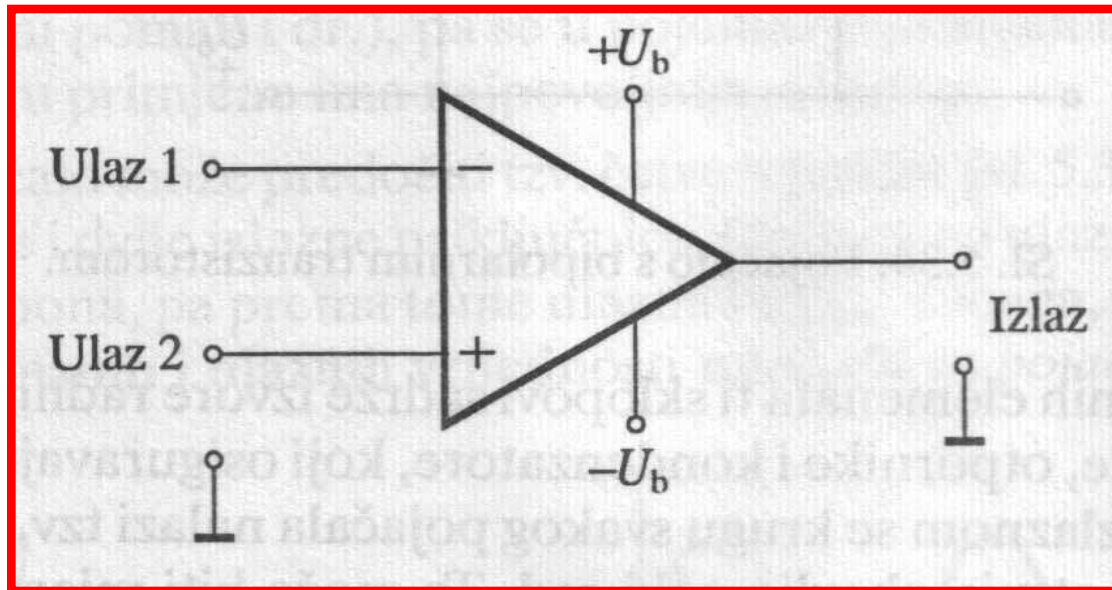
$$A_U = \frac{\Delta U_{iz}}{\Delta U_{ul}}$$

$$A_I = \frac{\Delta I_{iz}}{\Delta I_{ul}}$$

$$A_P = A_U A_I = \frac{P_{iz}}{P_{ul}}$$

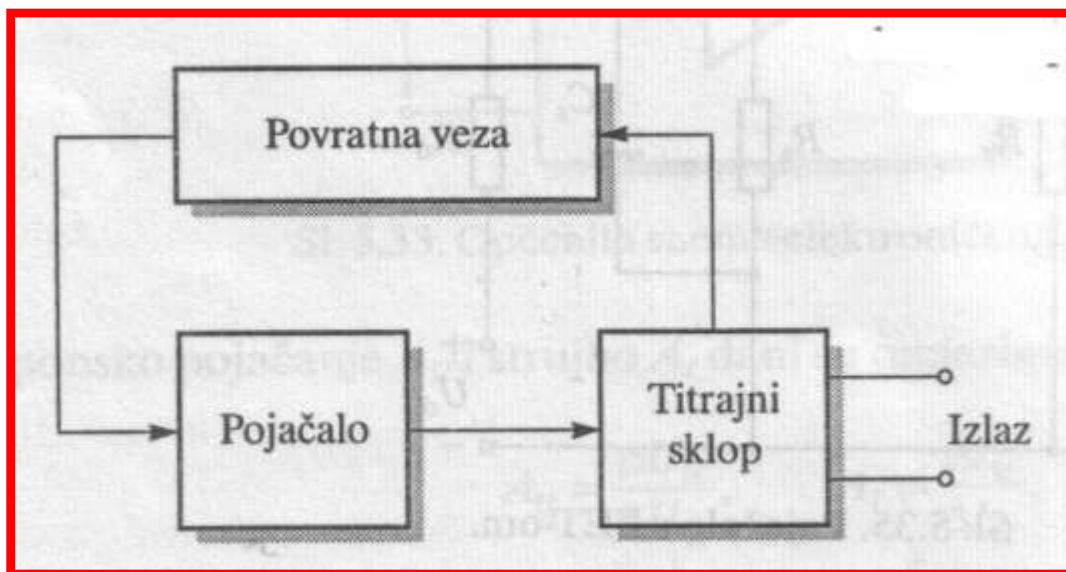
- Osim aktivnih elemenata ti sklopovi sadrže izvore radnih napona, te neke pasivne elemente, otpornike i kondenzatore, koji osiguravaju potrebna uvjete rada sklopa.
- U izlaznom se krugu svakog pojaćala nalazi radni element na kojem pojaćana struja obavlja neki rad: indikator, zvućnik, otpornik.
- Ako je pojaćana informacija predvićena za dalju obradbu, na izlazu pojaćala je radni otpornik, na kojem struja uzrokuje pad napona.

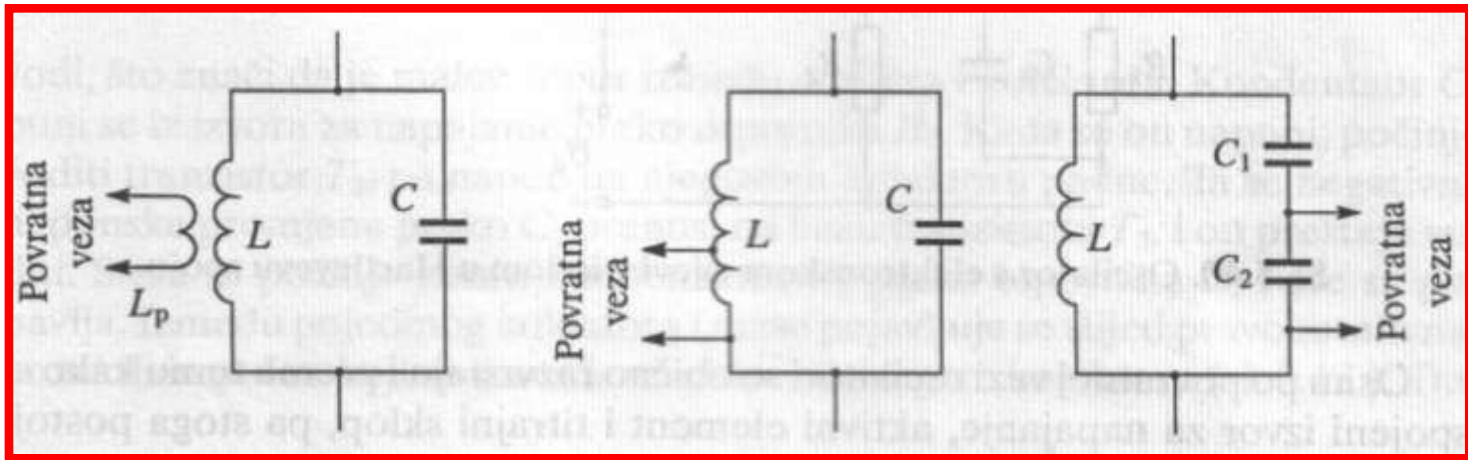
- Pojačanje pojačala s jednim aktivnim elementom za mnoge primjene nije dovoljno, pa se pojačala slažu od niza pojedinih stupnjeva. Pojačanje je pojačala sa n stupnjeva umnožak pojedinih pojačanja.
- Složena pojačala s velikim pojačanjem (10^3 do 10^6), velikim ulaznim otporima ($0,1$ do $10^8 \text{ M}\Omega$), malim izlaznim otporima (10 do $200 \text{ }\Omega$), izrađena kao integrirani sklopovi sa nekoliko desetaka tranzistora, vrlo malih dimenzija, nazivaju se *operacijskim pojačalima*.



Oscilatori

- Elektronički oscilatori su sklopovi kojima se proizvode visokofrekventne električne struje. To se postiže tako da se u nekom sklopu pobude trajni električni titraji.
- Svaki se oscilator sastoji od **titrajnog sklopa**, **pojačala** i posebnog načina spajanja *izlaza* pojačala na njegov ulaz, *povratne veze*





- **Titrajni je sklop** najčešće titrajni krug (LC-sklop), čijom je rezonantnom frekvencijom određena i frekvencija oscilatora.
- **Pojačalo** može biti s nekim aktivnim elektroničkim elementom: bipolarnim tranzistorom, FET-om, nekim tipovima dioda, a za posebno snažne oscilatore još se u nekim primjenama rabe elektronske cijevi.
- Pri upotrebi titrajnog kruga **povratna veza** se može ostvariti na nekoliko načina:
 - pomoćnom zavojnicom koja je u induktivnoj vezi sa zavojnicom titrajnog kruga
 - naponom s dijela zavojnice titrajnog kruga
 - naponom s kapacitivnog razdjelnika u titrajnom krugu.

Multivibratori

- ❑ Elektronički sklopovi koji skokovito prelaze iz jednog u drugo od dvaju mogućih stanja vodljivosti nazivaju se **multivibratorima** ili relaksacijskim sklopovima.
- ❑ Multivibratori su izvori pravokutnih impulsa vrlo različitih odnosa impulsa i stanke. Multivibrator je sklop dvaju pojačala koji su na neki način međusobno krizno spojeni, tako da je izlaz jednog pojačala spojen na ulaz drugoga, i obratno.
- ❑ Tri su skupine multivibratora:
 - ❑ **Astabilni multivibrator** spontano prelazi iz jednog u drugo stanje.
 - ❑ **Monostabilni multivibrator** ima jedno stabilno stanje iz kojega ga se vanjskim djelovanjem prebacuje u drugo, nestabilno stanje, a on se sam vraća u prvotno, stabilno stanje.
 - ❑ **Bistabilni multivibrator** ima oba stanja stabilna, a iz jednog u drugo stanje prebacuje ga se vanjskim utjecajem.

ELEKTRIČNA MJERENJA I POKAZIVANJA

- 1) Analogne i digitalne veličine**
- 2) Logički sklopovi**
- 3) Mjerenja**
- 4) Pokaznici**

INFORMACIJA U ELEKTRONICI

■ Općenita funkcija elektroničkih uređaja:

- obrađivanje informacija,
- stvaranje informacija po unaprijed zadanom programu.

■ **Informacija** – u elektronici jedan ili niz podataka o nekome ili nečemu, obično u vremenskom slijedu.

■ Za elektroničku obradbu informacija treba biti u **električkom obliku**. Često se naziva *signalom*.

■ **Informacija u električnom obliku** (*signal*) – većinom je sadržana u promjenama napona ili struje.

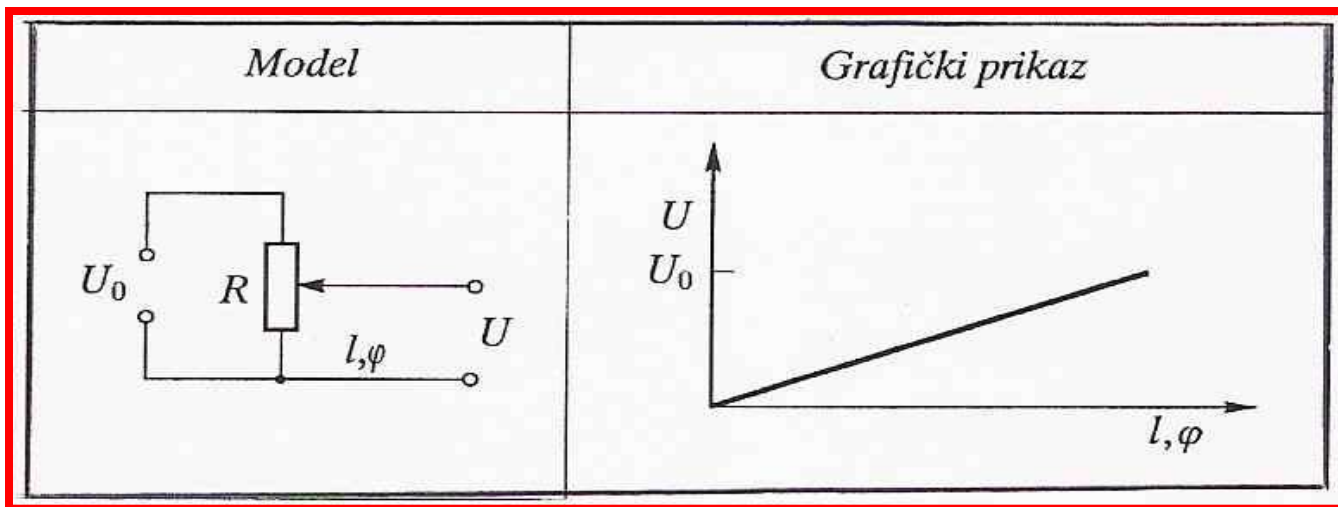
■ Veličine koje predstavljaju informaciju su u dva oblika:

analogne veličine,

digitalne veličine.

ANALOGNE VELIČINE

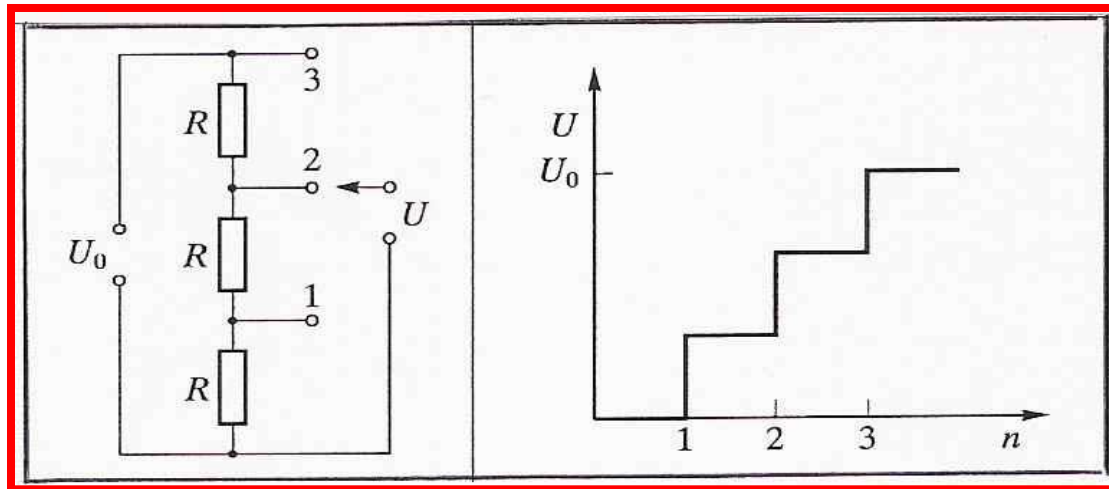
■ **Analogna veličina** (grč. *analogia*, sličnost, sklad) oblikom je vjerna informaciji koju predstavlja.



■ Model veličine u kojoj je napon analogan informaciji (pomaku l ili zakretu φ promjenljivoga otpornika)

DIGITALNE VELIČINE

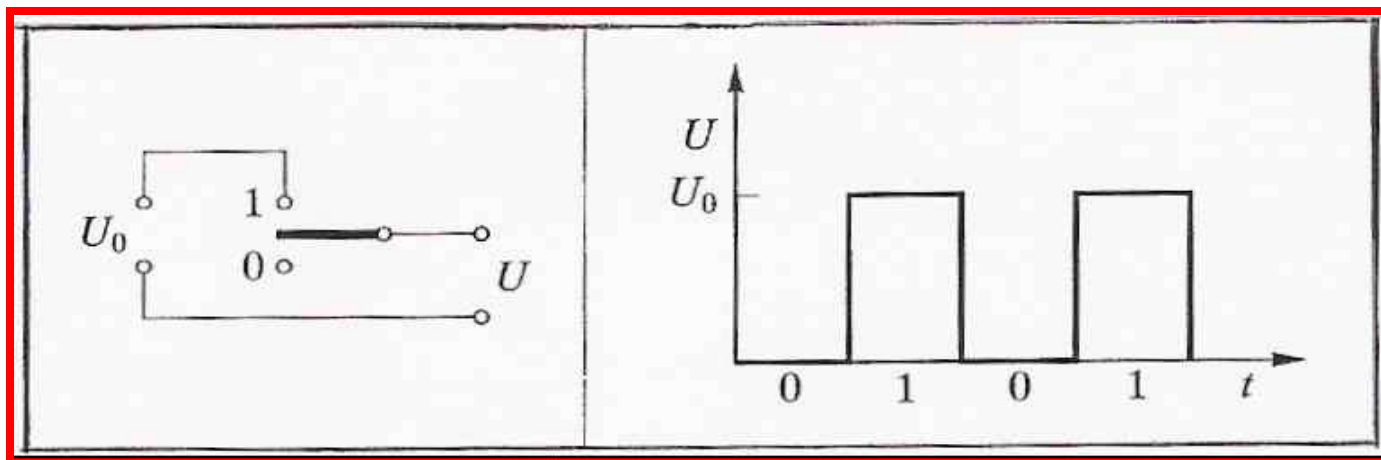
- **Digitalna veličina** (engl. *digit*, prst, brojka) predstavlja informaciju nizom brojčanih vrijednosti.



- Model digitalne veličine kojoj je informacija prikazana nizom brojeva

BINARNE VELIČINE

- **Binarna veličina** (lat. *bini*, po dva) – digitalna veličina prikazana *dvojno*, samo s dva podatka:
- DA – NE, ima – nema itd., ili brojčano 1 i 0.



- Model binarne veličine prikazane dvjema vrijednostima napona $U = U_0$ ili $U = 0$, ili brojčano 1 i 0

ANALOGNE I DIGITALNE VELIČINE

- Informacije su se u elektronici više od pola stoljeća obrađivale u analognom obliku.
- Tek se u drugoj polovici 20. st. uvidjelo da je obrađivanje informacija znatno pouzdanije, uspješnije, jednostavnije, neovisnije o smetnjama itd., ako je informacija i digitalnom, a posebno ako je u binarnom obliku.
- **Digitalna obradba**, započeta s elektroničkim računalima, gotovo je iz svih primjena potisnula analognu obradbu.
- Osnova digitalne obradbe je *elektronička logika*.

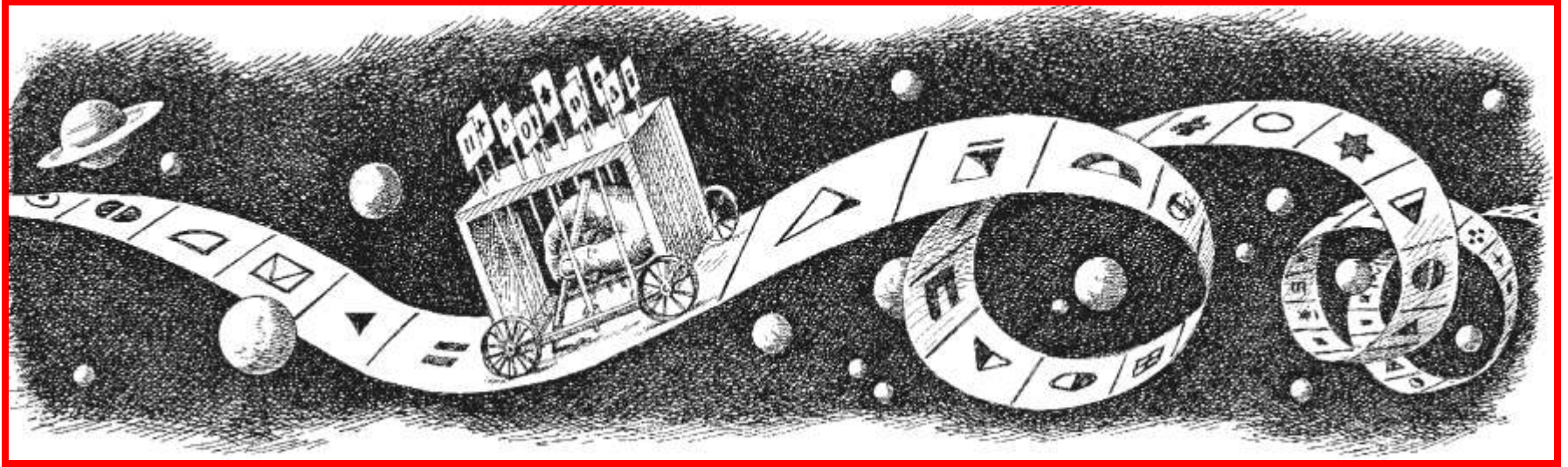
LOGIKA

- **Logika** (grč. *logos*, pojam, misao, *riječ*), “umijeće mišljenja”.
- **Logika sudova** – pojmovi svedeni do elementarnih činjenica koje mogu poprimiti samo dvije vrijednost
 - **istina – neistina**
 - **DA – NE**
- **Primjeri logike sudova**
 - Danas je srijeda . *prosudba: DA*
 - Danas je četvrtak. *prosudba: NE*
 - Dan je srijeda. *nejasna tvrdnja: ?*

MATEMATIČKA LOGIKA

- **George Boole** (1815. – 1864.), engl. matematičar – matematički uobličio logiku sudova (tzv. *Boolova algebra*).
- U 1. pol. 20. st. Boolova algebra je **ostvarena električnim i elektroničkim sklopovima**.
- **Alan Mathison Turing** (1912. – 1954.), engl. matematičar – razradio 1936. god. *zamišljeni automat* za obrađivanje matematičkih problema velikim nizom jednostavnih logičkih koraka (DA – NE).
- **Turingov stroj** danas je ograničeno ostvaren **elektroničkim računalima!**

TURINGOV STROJ



Slikovit prikaz Turingove beskonačne vrpce na koju se može zapisati i s koje se može pročitati sve znanje o našem svijetu, ako je pretočeno u svijet logičkih znakova, te obrađivano logičkim postupcima

INFORMACIJE I ELEKTRONIČKA RAČUNALA

- **Claude Elwood Shannon** (1916. – 2001.), amer. matematičar, uveo prikazivanje informacija nizom sastavnica (jednostavnih sudova DA – NE).

Po njemu nazvana jedinica količine informacija *šanon* (shannon).

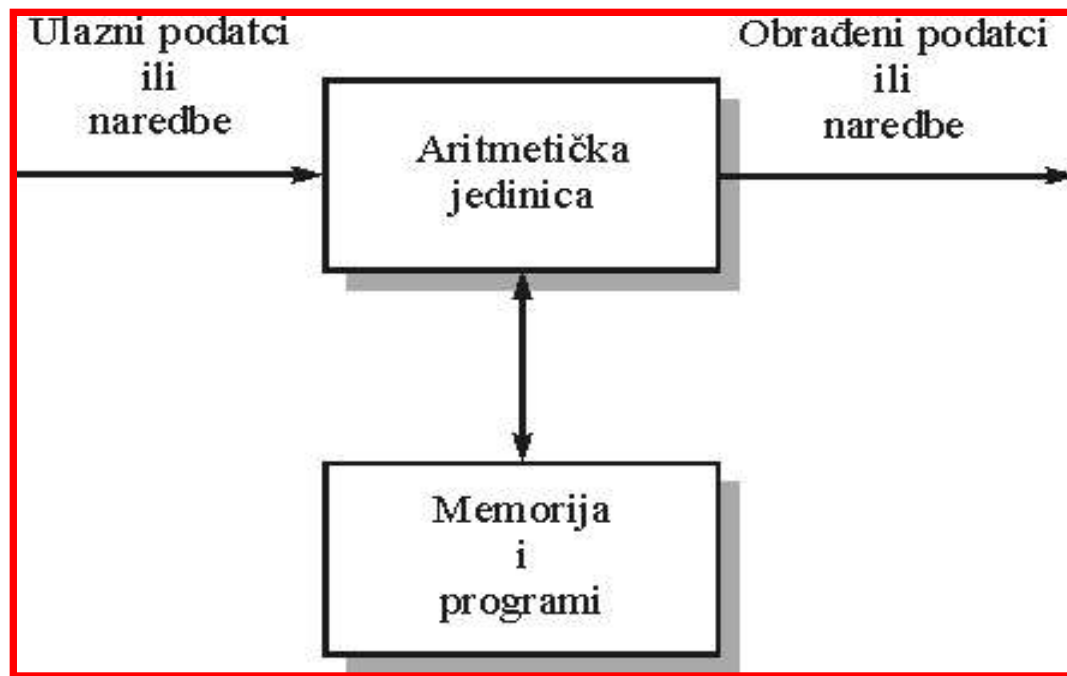
- **John von Neumann** (1903. – 1957.), amer. matematičar, postavio osnovnu građu elektroničkog računala.
- Prvo elektroničko računalo ENIAC – ostvareno 1945. god.
- Današnja elektronička računala, neusporedivo moćnija, građena su na istom načelu.

PRVO ELEKTRONIČKO RAČUNALO

- Prvo elektroničko računalo ENIAC (prema engl. *Electronic Numerical Integrator And Computer*), izgrađeno u SAD, dovršeno je 1945. god.:
 - prostor: 140 m²,
 - masa: 30 t,
 - elektronskih cijevi: 18 000,
 - releja: 1500,
 - el. snaga: 200 kW.

GRAĐA ELEKTRONIČKOGA RAČUNALA

- Današnja elektronička računala, neusporedivo moćnija, građena su na istom von Neumannovu načelu.



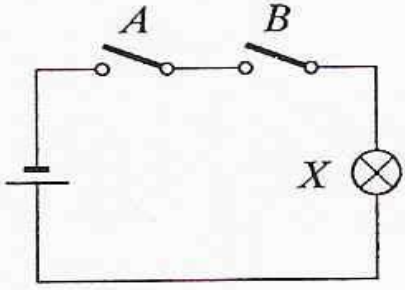
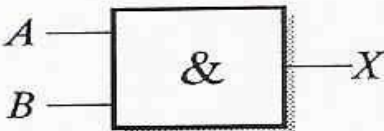
- Osnovna shema elektroničkoga računala

LOGIČKI SKLOPOVI

- **Logičko sklopovi** – elektronički sklopovi u kojima **izlazna informacija** ovisi o stanju **ulaznih informacija**.
- Osnovne sastavnice logičkoga sklopa su **sklopke** s dva moguća stanja: **DA** – **NE** (ima – nema, itd., itd.), ili brojčano **1** i **0**.
- Kao sklopke se upotrebljavaju *tranzistori* i njihove inačice, a sklopovi su *monostabilni* i *bistabilni multivibrator* i njihove inačice.
- Tri temeljna logička sklopa – ostvaruju tri temeljne računske operacije Boolove algebre:
 - I-sklop (“množenje” ili konjukcija)
 - ILI-sklop (“zbrajanje” ili disjunkcija)
 - NE-sklop (komplementarnost ili negacija)
- Sve ostale računske operacije (implikacije, disjunkcije i dr.) obavljaju se slaganjem osnovnih sklopova.

LOGIČKI SKLOPOVI

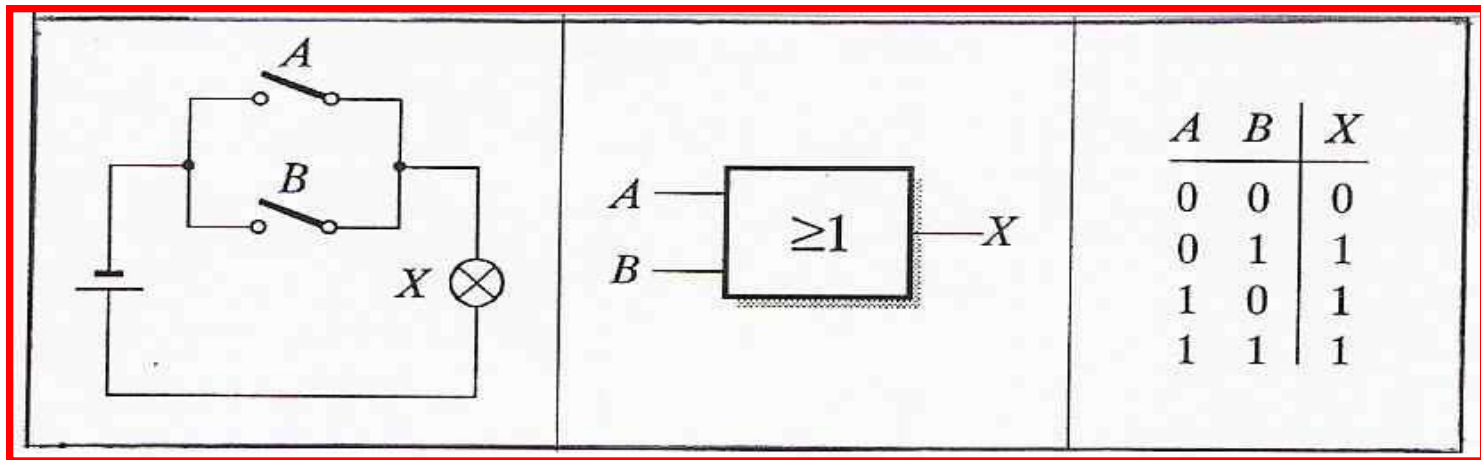
- **I-sklop** (engl. *AND-gate*) ima izlaznu informaciju **DA** samo ako su obje ulazne informacije **DA** (postoji **A i B**)

| Model | Znak | Logička tablica | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  |  | <table><tr><th>A</th><th>B</th><th>X</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table> | A | B | X | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| A | B | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |

- Model I-sklopa, njegov znak i pripadna logička tablica istinitosti

LOGIČKI SKLOPOVI

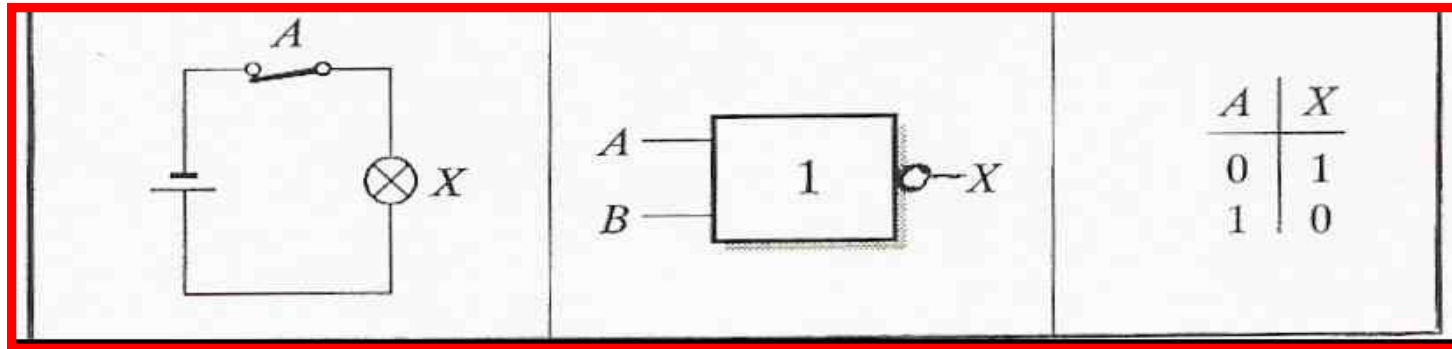
- **ILI-sklop** (engl. *OR-gate*) ima izlaznu informaciju **DA** ako je jedna ili druga, ili obje ulazne informacije **DA** (postoji **A ili B**)



- Model ILI-sklopa, njegov znak i pripadna logička tablica istinitosti

LOGIČKI SKLOPOVI

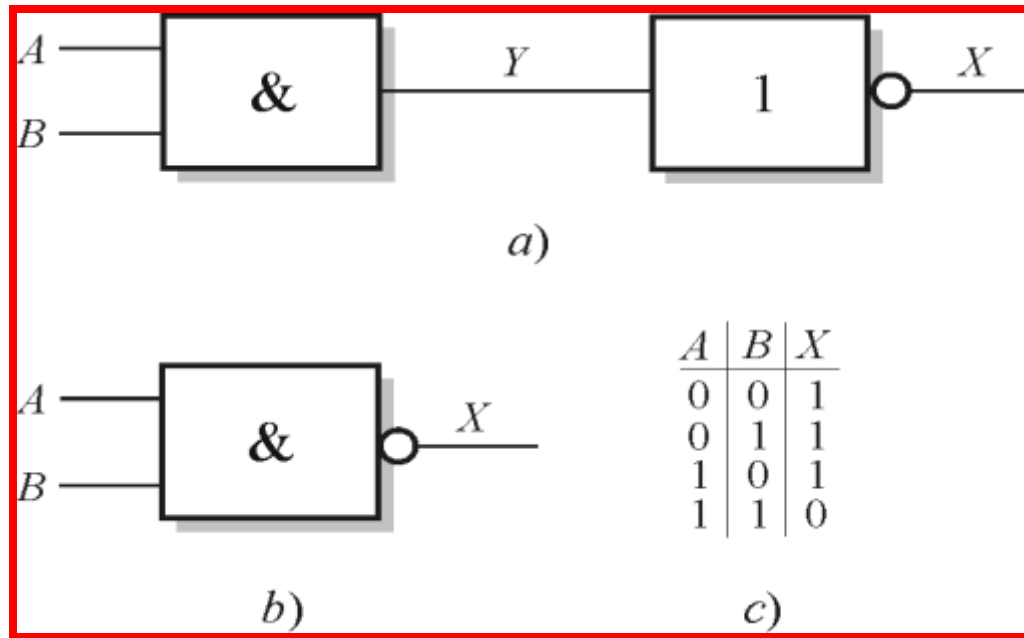
- **NE-sklop** (engl. *NOT-gate*) ima izlaznu informaciju **DA** samo ako je ulazna informacija **NE**, i obratno (nije A)



- Model NE-sklopa, njegov znak i pripadna logička tablica istinitosti

SLAGANJE LOGIČKIH SKLOPOVA

- Ostale i složenije funkcije postižu se slaganjem osnovnih sklopova



- Primjer spajanja logičkih sklopova, a) spajanje I-sklopa i NE-sklopa, b) novi NE-I-sklop, c) pripadna logička tablica istinitosti

PRETVORNICI

- Neelektrične informacije se prije obradbe moraju pretvoriti u električni oblik.



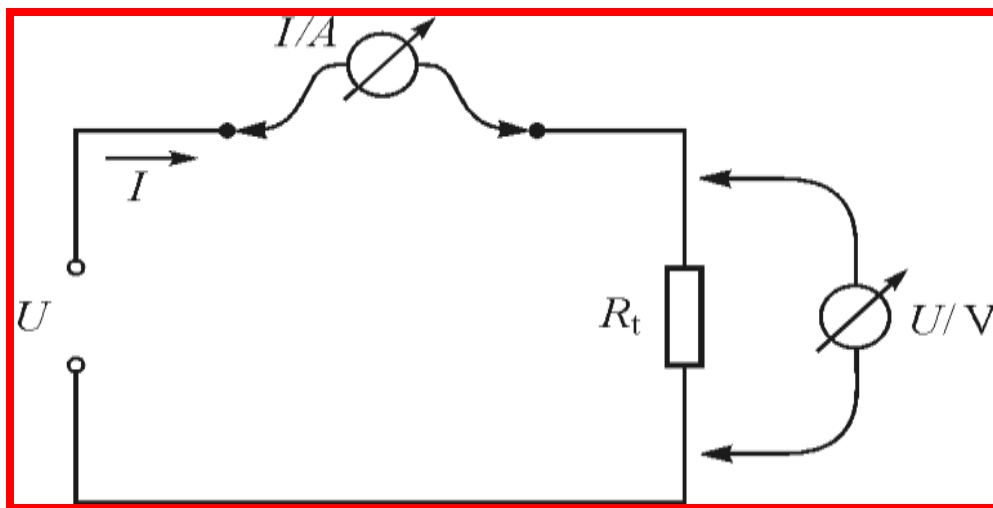
- Električne veličine se mogu iz analognog oblika pretvarati u digitalni, i obratno.



Analogno-digitalni pretvornik (A/D pretvornik) i digitalno-analogni pretvornik (D/A pretvornik) s pripadnim znakovima

MJERENJE ANALOGNIH VELIČINA

- Informaciji u obliku analogne električne veličine mjeri se napon i struja .

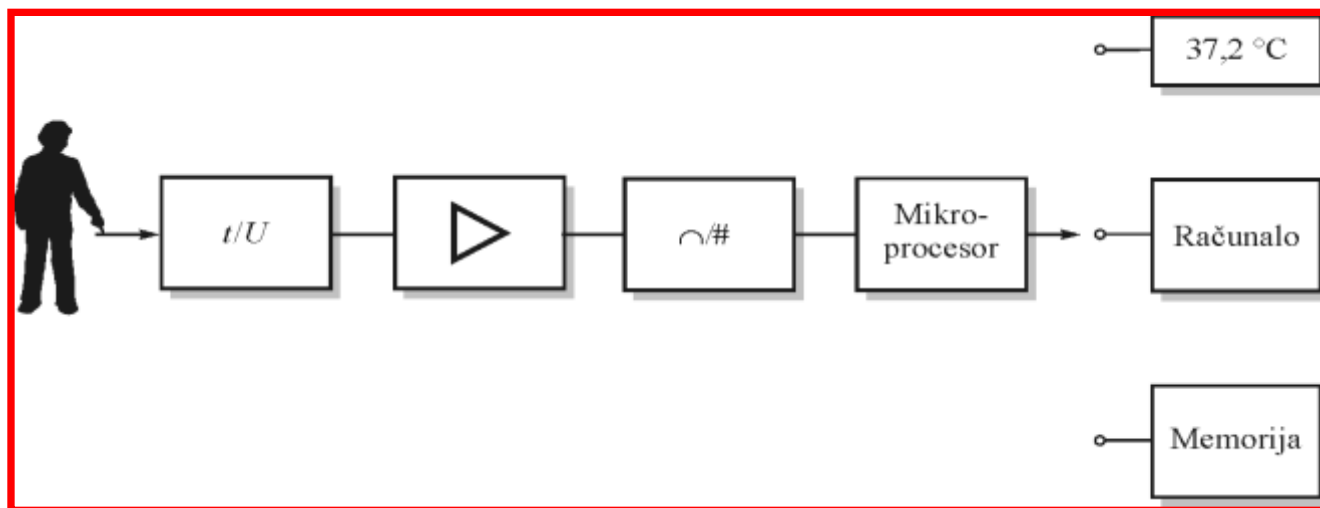


Mjerenje napona i struje u strujnom krugu

MJERENJE DIGITALNIH VELIČINA

- Informacija koja nije u električnom obliku za obradbu (npr. *mjerenje*) prilagođava se u nekoliko koraka:
 1. pretvaranje u električni oblik,
 2. pojačavanje u analognom obliku,
 3. pretvaranje iz analognog u digitalni oblik,
 4. obrađivanje u namjenskom elektroničkom sklopu, tzv. *mikroprocesoru*,
 5. pokazivanje brojčanih podataka na **slovčano-brojčanom pokazniku**, ili
 6. obrađivanje u računalu (npr. uspoređivanje s usporedbenim veličinama) i pokazivanje na **slikovnom pokazniku**, ili
 7. pohranjivanje za buduću upotrebu u elektroničku **memoriju**.

MJERENJE ANALOGNE VELIČINE DIGITALNOM OBRADBOM

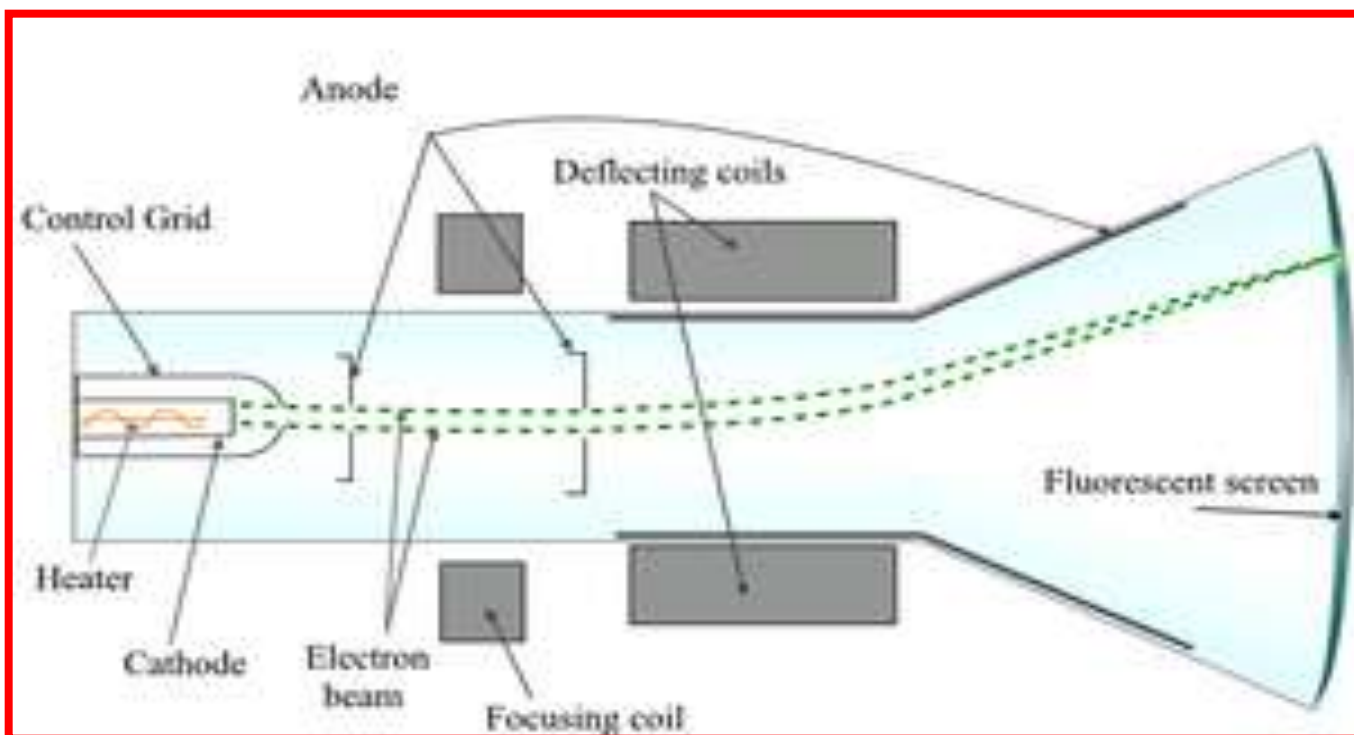


Shema digitalne obradbe pri mjerenju tjelesne temperature

ELEKTRONIČKI POKAZNICI ZNAKOVA I SLIKA

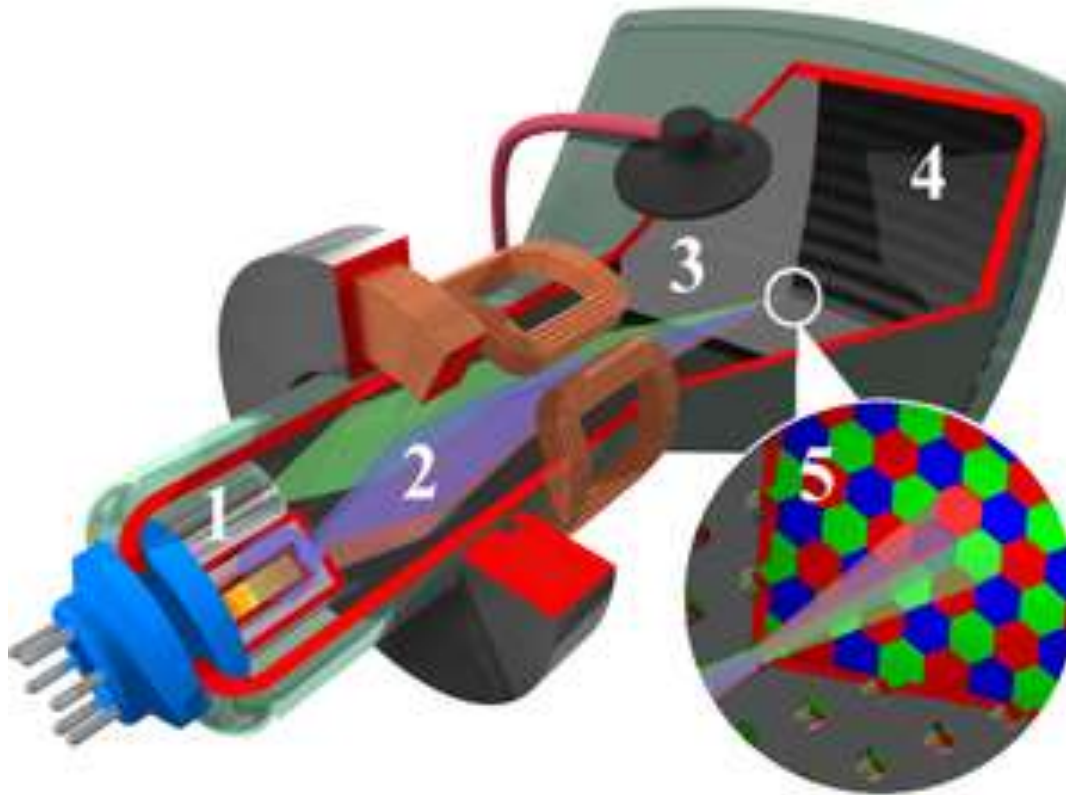
- Elektronički pokaznici:
- *povijesni*:
 - žarulje i svjetleće cijevi
 - katodne cijevi
- *današnji*:
 - svjetleće diode (LED)
 - pokaznici s tekućim kristalima
 - mikrozasloni
 - plazmatični zasloni
 -

KATODNE CIJEVI



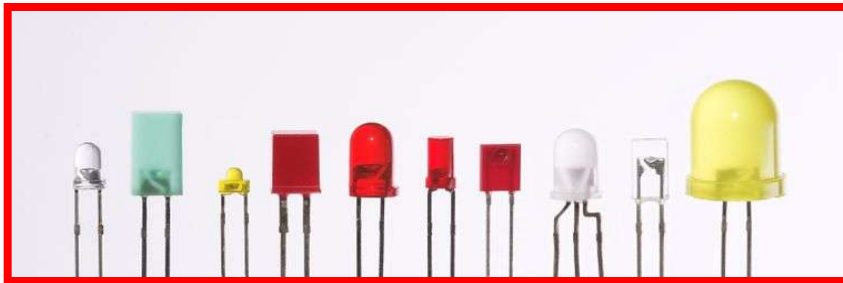
Presjek katodne cijevi

KATODNE CIJEVI



Katodna cijev za sliku u boji s tri snopa za tri osnovne boje (crvena, plava i zelena)

SVIJETLEĆE DIODE



Signalne svjetleće diode

SVJETLILA SA SVJETLEĆIM DIODAMA



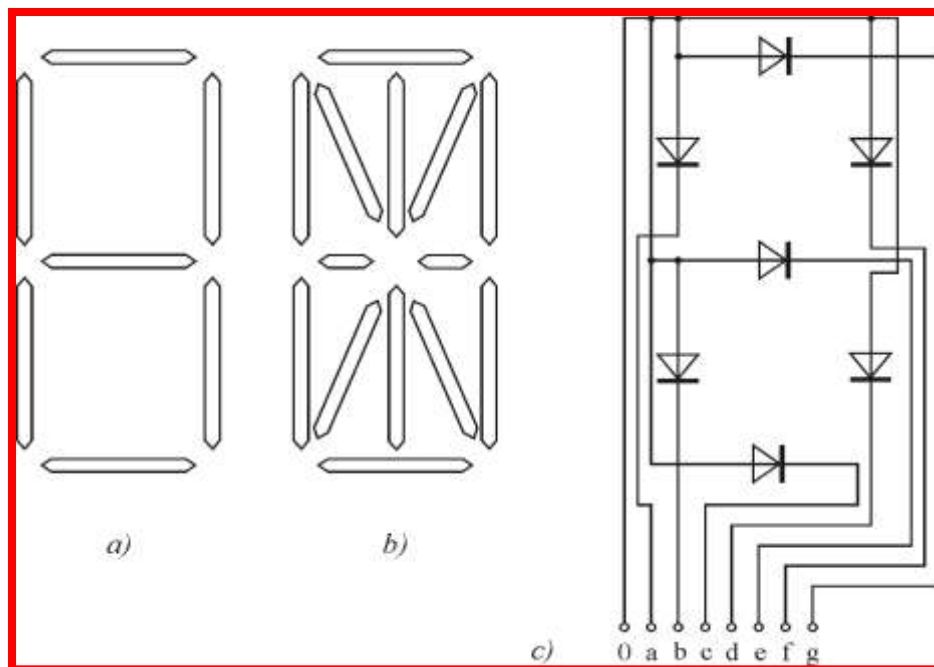
Suvremene svjetleće diode učinkovito
pretvaraju električnu energiju u svjetlost

SVJETLILA SA SVJETLEĆIM DIODAMA



Rasvjeta javnih prostora sa svjetlećim diodama

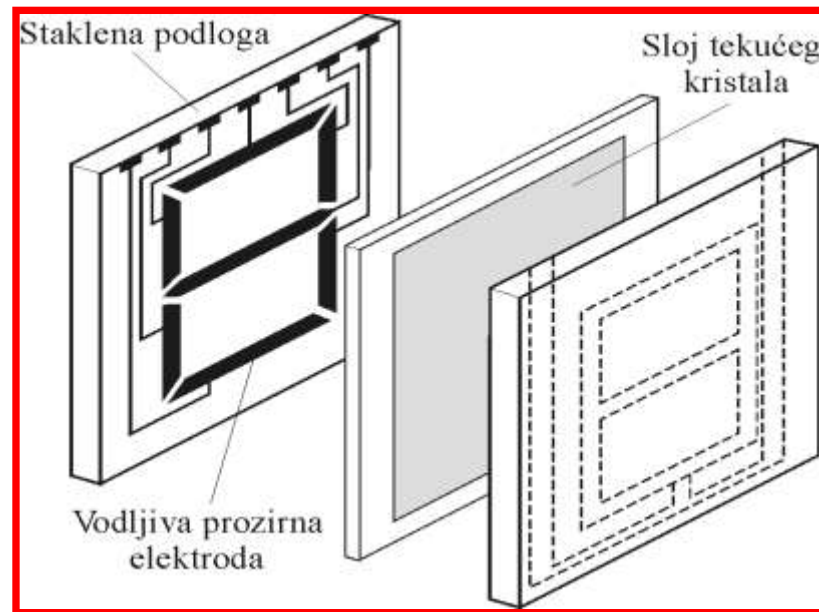
POKLAZNICI SA SVJETLEĆIM DIODAMA



Aktivni (svijetleći) pokaznici slova i brojki sa svjetlećim diodama, a) sa sedam, b) sa 14 dioda, c) semaforski pokazivač

POKAZNICI S TREKUĆIM KRISTALIMA

- Tekući kristali – organske tvari s pravilno raspoređenim makromolekulama koje se u el. polju usmjeravaju u smjeru polja.



Pasivni pokaznik s tekućim kristalima

POKAZNICI S TEKUĆIM KRISTALIMA

- Upotrebljavaju se kao pokaznici na kalkulatorima i mjernim uređajima



Pasivni pokaznik s tekućim kristalom na tiskanoj pločici elektroničkoga uređaja (npr. kalkulatora)

POKAZNICI S MIKROZASLONIMA

- Mikrozaslon (engl. *microdisplay*) – tekući kristal na silicijskoj podlozi – dijagonala 2,5 cm – razlučivost kao katodna cijev dijagonale 50 cm.



PLAZMATIČNI ZASLON

- **Plazmatični zaslon** (engl. *Plasma Display Panel*), razlučivost kao katodna cijev pa ju nakon 2000 god. potiskuje iz upotrebe (debljina nekoliko centimetara).
- Upotrebljava se kao televizijski i računalni zaslon, te zaslon mobitela.

ORGANSKA LED KAO ZASLON

- Zaslon od organskih molekula (OLED, prema engl. *organic light-emitting diode*) je *plosnata svjetleća dioda* (LED), u kojoj dolazi do pojave elektroluminiscencije.
- Jedan od materijala je poseban polimer (PLED, prema engl. *polymer light-emitting diode*).
- Upotrebljava se kao televizijski i računalni zaslon, te kao plosnato svjetlilo.

OLED ZASLON



Veliki OLED zaslon (2005. god.), dijagonale oko 1 m



Ovime završavamo priču
o elektronici

Zadnje predavanje je ljubazno ustupio prof. dr. Zvonimir Jakobović

Ilustracije i ideje uglavnom posuđene iz slijedećih izvornika:

Jakobović, Z.: Fizika i elektronika - odabrana poglavlja za studije Visoke zdravstvene škole. Zagreb: Visoka zdravstvena škola, 1997.