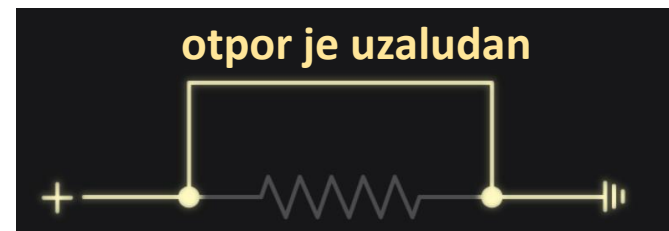
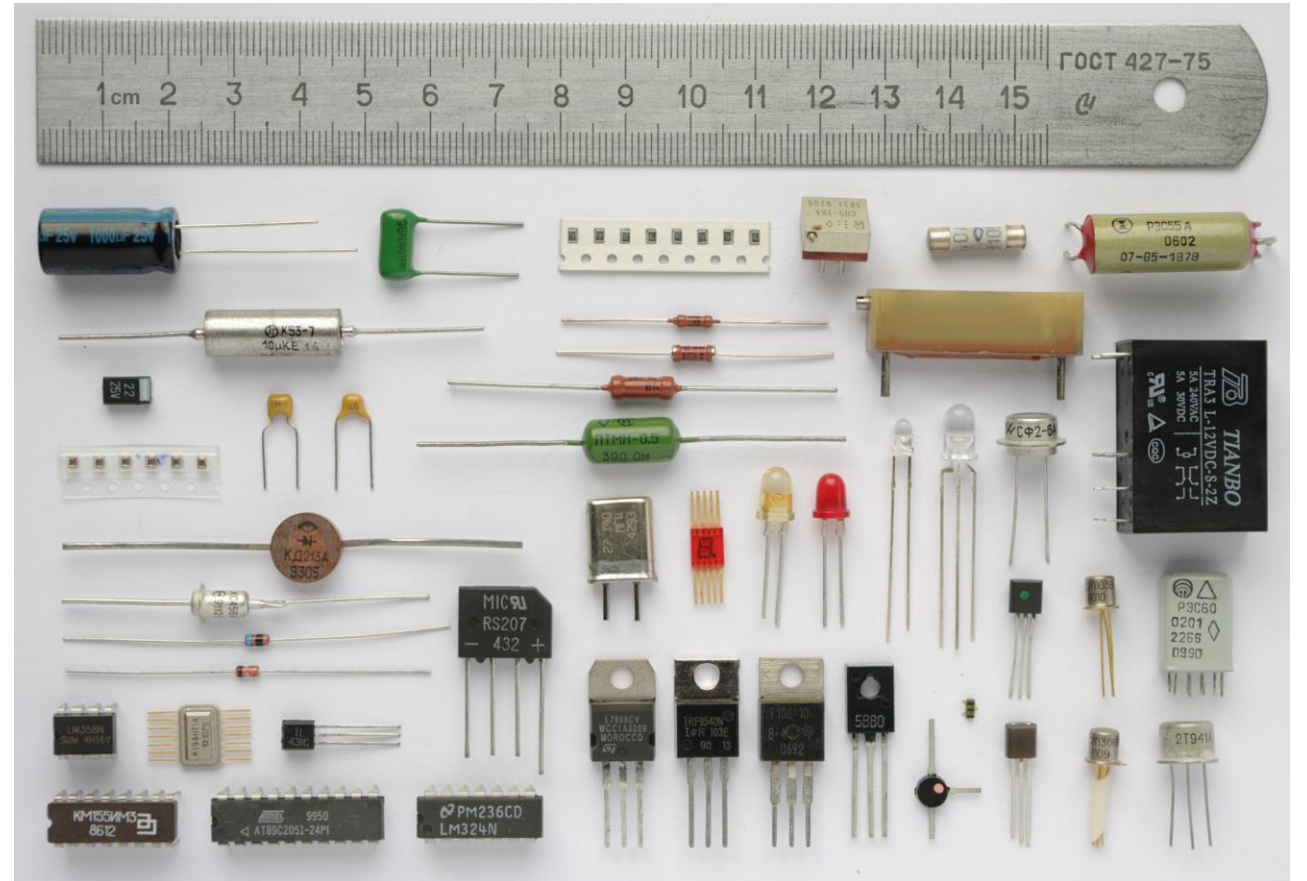


ANALOGNA ELEKTRONIKA KOMPONENTE I SIGNALI

UVOD U ELEKTRONIKU I DIGITALNE SISTEME



KOMPONENTE

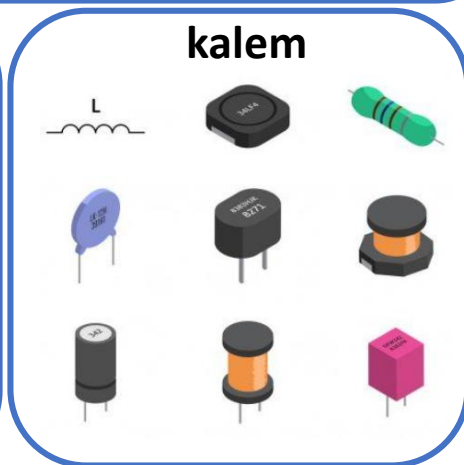
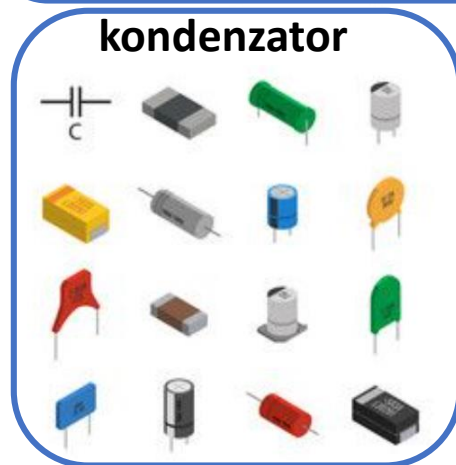


Linearne vs nelinearne komponente

Linearne komponente:

Linearna zavisnost napona i struje

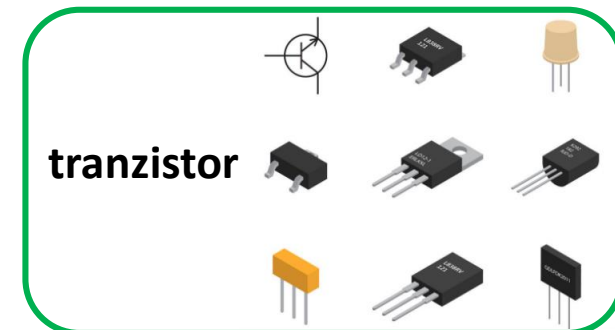
Primeri:



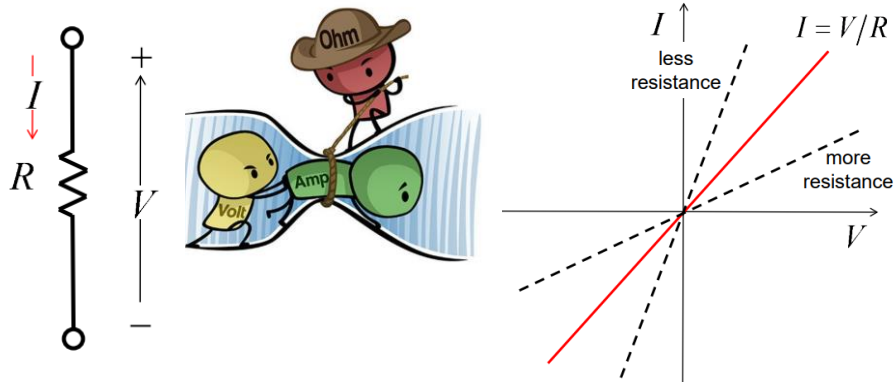
Nelinearne komponente:

Ne postoji linearna zavisnost između napona i struje

Primeri:



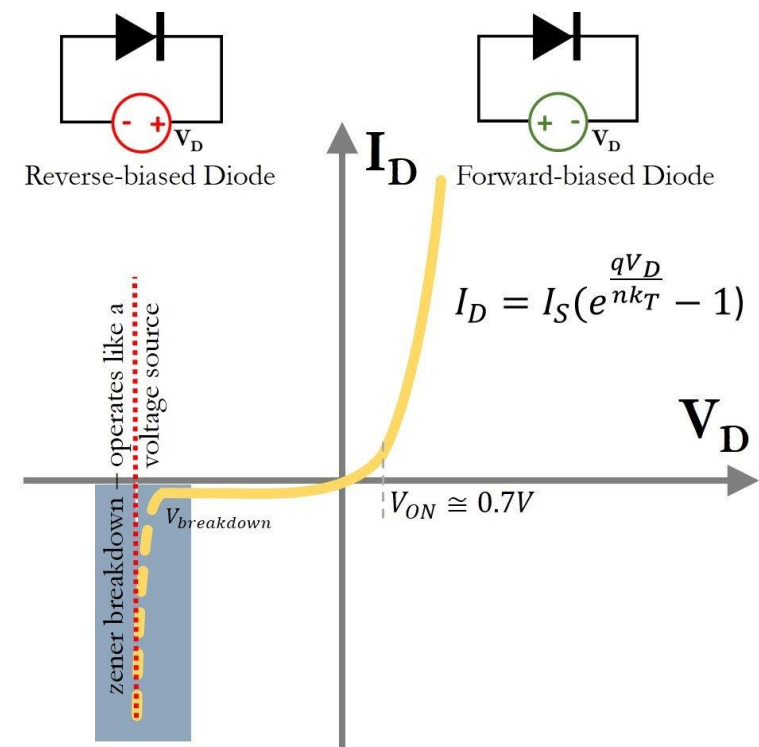
Linearne vs nelinearne komponente



Kod linearnih komponenti postoji linearna zavisnost između napona i struje. Na slici iznad je prikazana zavisnost struje od napona otpornika. Vrednost otpornosti definiše nagib linearne karakteristike.

Linearnost karakteristike podrazumeva **jednake promene napona dovode do jednakih promena struje.**

Kola koja su sastavljena isključivo od linearnih komponenti, predstavljaju linearna kola i mogu se rešavati korišćenjem principa superpozicije.

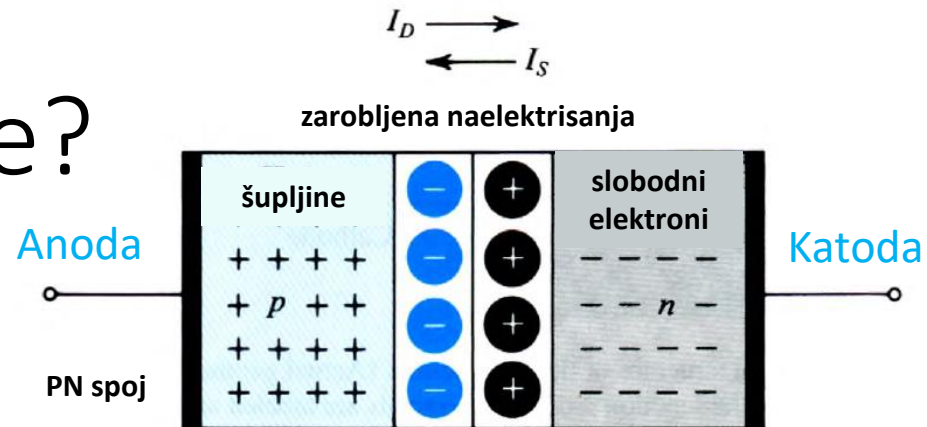
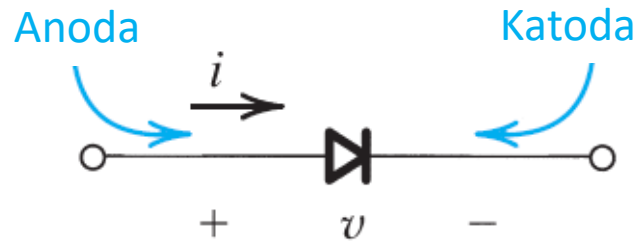


Dioda predstavlja poluprovodničku komponentu, sa dva piključka, koja ima izrazito nelinearnu strujno-naponsku karakteristiku.

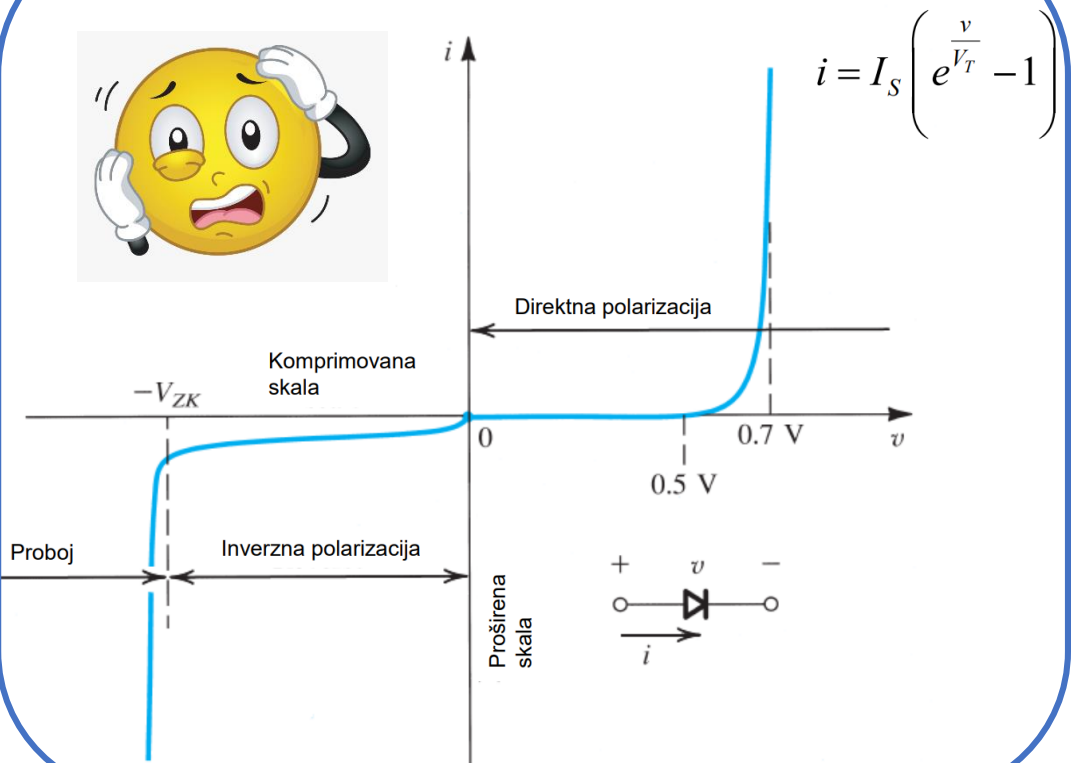
Pri direktnoj polarizaciji strujno naponska karakteristika diode predstavlja eksponencijalnu funkciju, dok pri inverznoj polarizaciji provodi izuzetno malu struju curenja. Pri dovoljno velikoj inverznoj polarizaciji dolazi do proboja diode sa skoro vertikalnom strujno-naponskom karakteristikom.

Kolo je nelinearno ukoliko je barem jedan element kola nelinearan. Kod nelinearnih kola ne važi princip superpozicije.

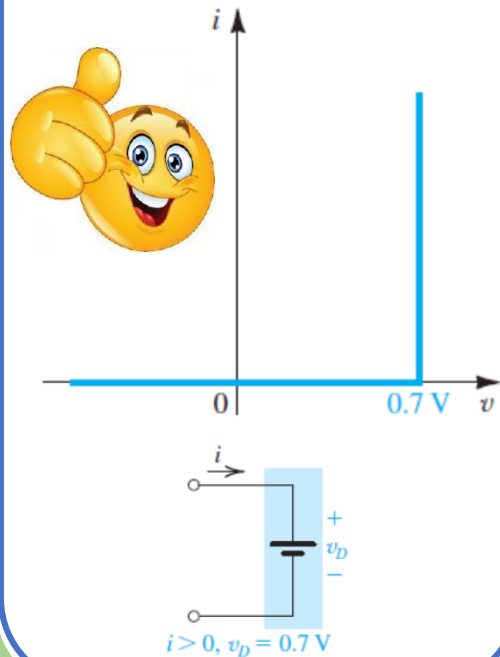
Šta je dioda i kako se modeluje?



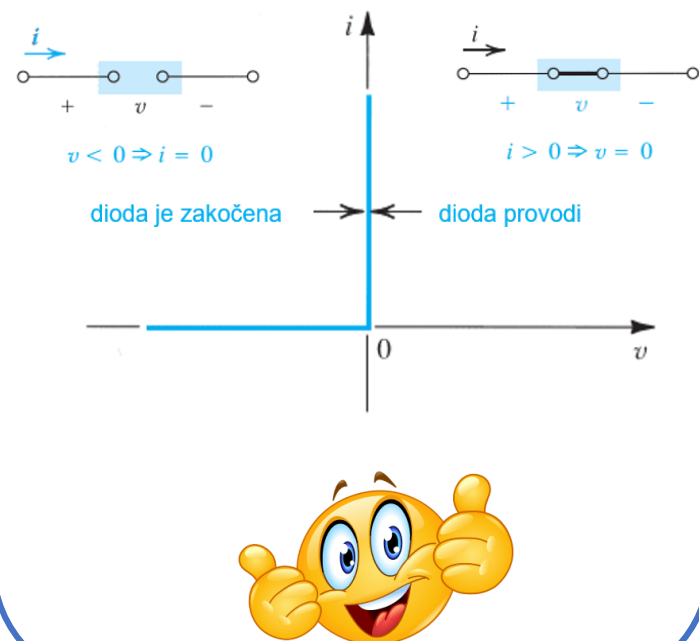
Model realne diode



Model diode sa konstantnim padom napona



Model idealne diode



Model realne diode

Model realne diode

Struja diode, koja radi van proboja, eksponencijalno zavisi od napona na diodi:

$$i = I_S \left(e^{\frac{v}{V_T}} - 1 \right)$$

i – struja diode

v – napon diode

V_T – temperaturni napon - linearno zavisi od temperature. Iznosi oko 25mV na temperaturi 300K

I_S – inverzna struja zasićenja, red veličine je fA (10^{-15})

Direktno polarisana dioda:

$$e^{\frac{v}{V_T}} \gg 1 \Rightarrow i = I_S e^{\frac{v}{V_T}}$$

Eksponencijalni porast struje, kriva praktično postaje vertikalna što odgovara idealnom naponskom izvoru.

Struja zavisi od napona na diodi ali i od temperatura diode preko napona V_T .

Koristi se kada je potrebno precizno odrediti zavisnost struje, napona temperatura, struja curenja i sl. Primer ako se dioda koristi kao temperaturni senzor.

Inverzno polarisana dioda:

$$e^{\frac{v}{V_T}} \approx 0 \Rightarrow i = -I_S$$

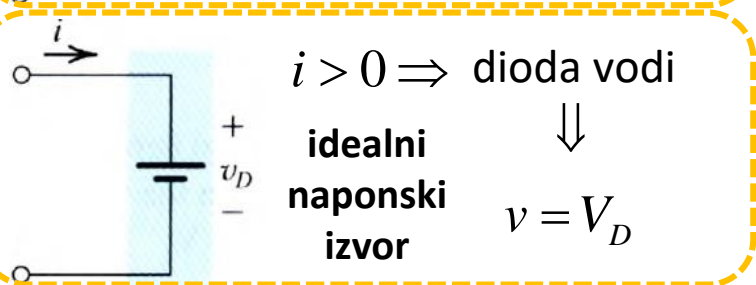
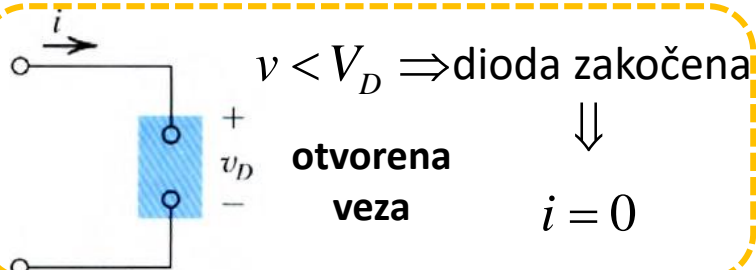
Pri inverznoj polarizaciji dioda provodi jako malu inverznu struju zasićenja. Smatra se da je ova struja praktično jednaka 0.

Proboj:

Pri dovoljno visokom inverznom naponu (nekoliko stotina volti kod običnih ili svega nekoliko volti kod Zener dioda) dolazi do proboja. U proboju se javlja velika inverzna struja i dioda se ponaša kao idealni naponski izvor. **Može doći do spaljivanja diode.**

Model diode sa konstantnim padom napona

Model diode sa konstantnim padom napona



i – struja diode

v – napon diode

V_D – prag provođenja diode

Direktno polarisana dioda:

$$i > 0 \Rightarrow v = V_D$$

Ukoliko je napon na diode dovoljno visok i dostiže vrednost V_D smatra se da je dioda direktno polarisana i počinje da provodi struju. Daljim povećanjem napona, napon diode ostaje konstantan V_D a struja kroz diodu je određena ostatkom kola.

Najčešće korišćen model za ručnu analizu kola. Dovoljno jednostavan da značajno uprošćava repavanje kola a u isto vreme daje informacije o padu napona na diodi koji često nije zanemarljiv.

Inverzno polarisana dioda:

$$v < V_D \Rightarrow i = 0$$

Ukoliko je napon na diodi manji od napona praga V_D , dioda je inverzno polarisana. Inverzno polarisana dioda, van proboja, se modeluje otvorenom vezom tako da je njena struja jednaka 0.

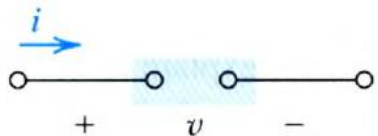
Proboj:

$$i < 0 \Rightarrow v = -V_Z$$

Pri dovoljno visokom inverznom naponu dolazi do proboja. U proboju se dioda ponaša kao idealan naponski izvor. Struja zavisi od ostatka kola.

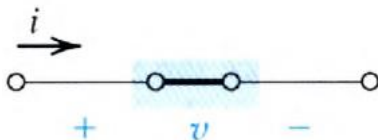
Model idealne diode

Model diode sa konstantnim padom napona



otvorena
veza

$v < 0 \Rightarrow$ dioda zakočena $\Rightarrow i = 0$



kratak
spoj

$i > 0 \Rightarrow$ dioda vodi $\Rightarrow v = 0$

i – struja diode
 v – napon diode

Direktno polarisana dioda:

$$i > 0 \Rightarrow v = 0$$

Ukoliko je napon na diodi pozitivan, dioda je direktno polarisana i ponaša se kao kratak spoj. Napon na diodi je nula a struja kroz diodu je određena ostatkom kola. **Struja kroz diodu može biti isključivo pozitivna.**

Inverzno polarisana dioda:

$$v < 0 \Rightarrow i = 0$$

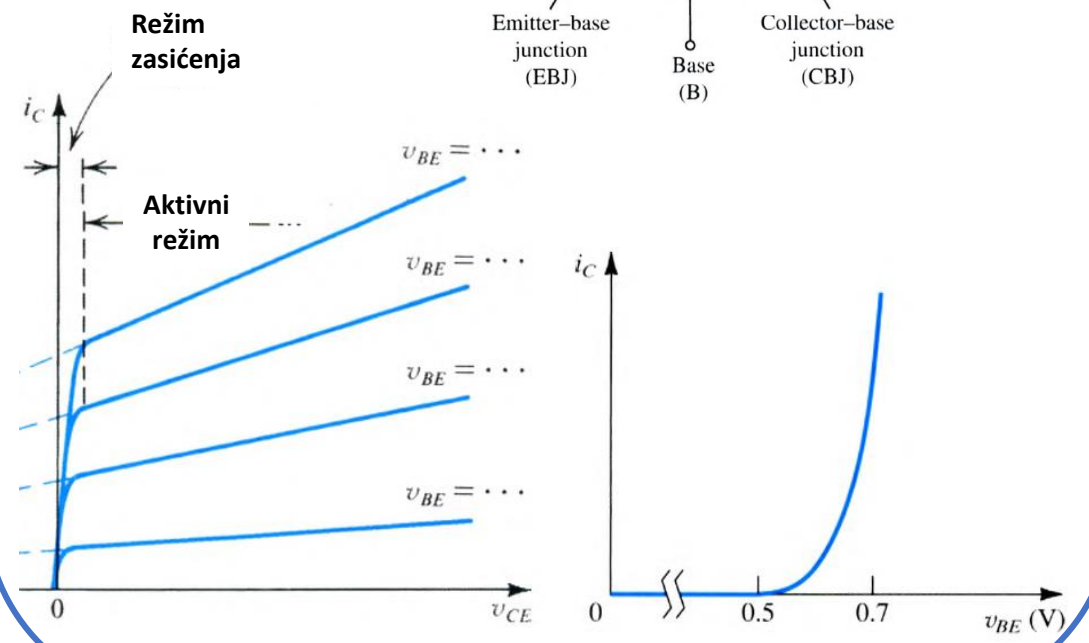
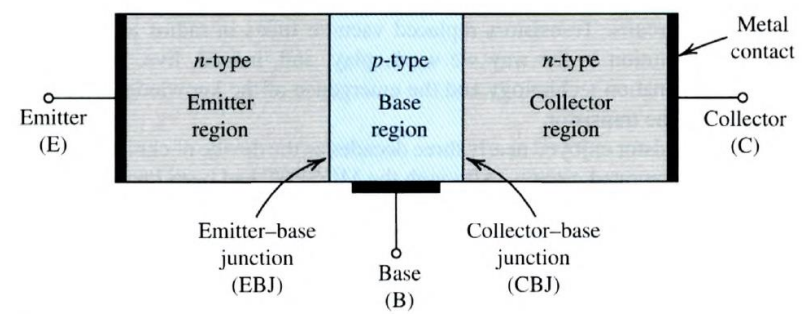
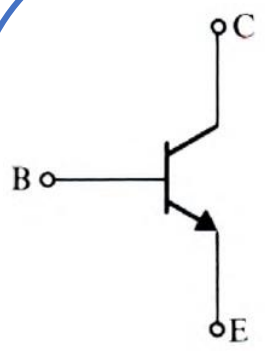
Ukoliko je napon na diodi manji od 0, dioda je inverzno polarisana. Inverzno polarisana dioda se modeluje otvorenim vezom tako da je njena struja jednaka 0.

Najjednostavniji model diode. Pored toga što se zanemaruje porast napona na provodnoj diodi s povećanjem struje i temperaturna zavisnost, zanemaruje se i pad napona. Ovaj pad napona, pored usmeračkog svojstva, često predstavlja i osnovnu funkcionalnost diode. Tako da se ovaj model koristi za brzinsku proveru funkcionalnosti kola.

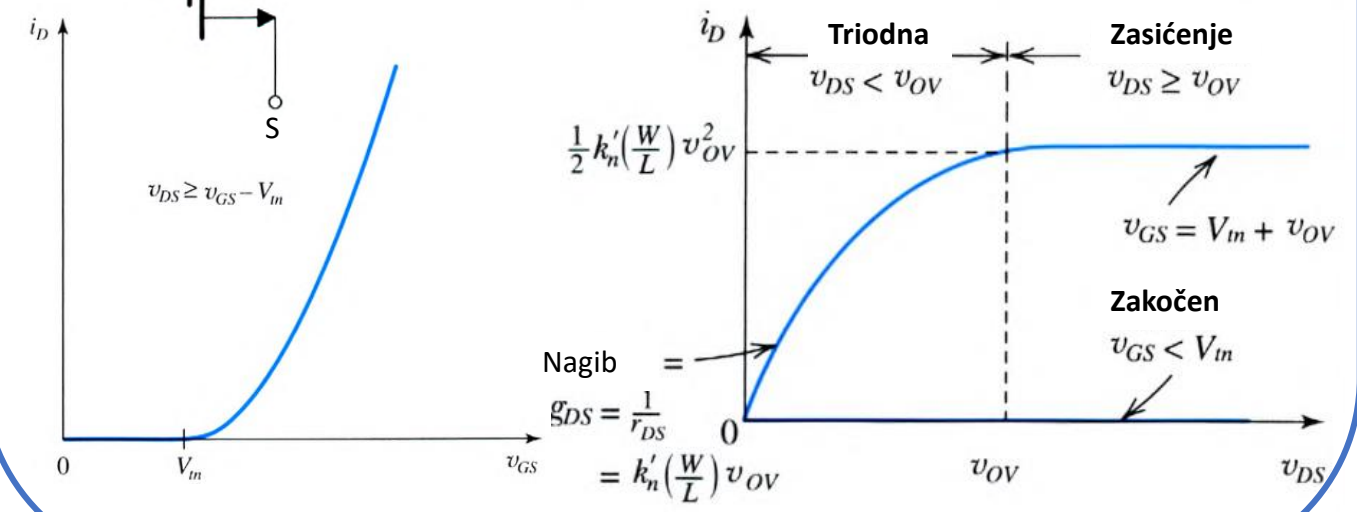
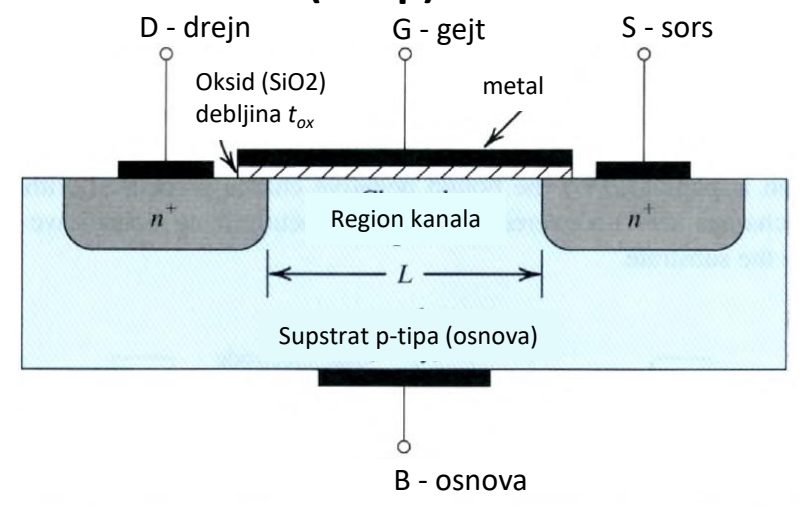
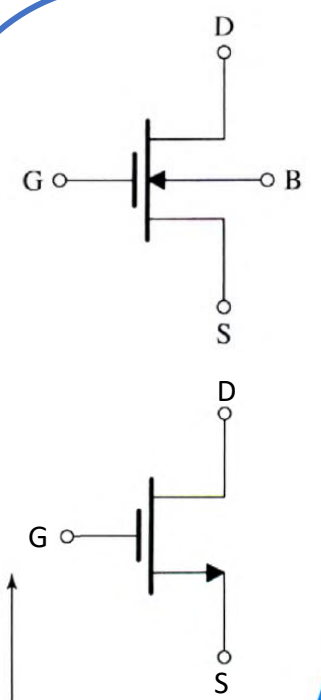


Šta je tranzistor i kako se modeluje?

Bipolarni tranzistor (NPN-tip)



MOSFET* tranzistor (N-tip) - NMOS

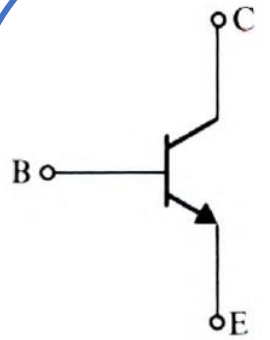


*MOSFET – Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor



Šta je tranzistor i kako se modeluje?

Bipolarni tranzistor (NPN-tip)



Bipolarni tranzistor predstavlja poluprovodničku komponentu, sa tri piključka – kolektor (C), emitor (E) i baza (B). Može se naći u tri režima rada: zakočenje, aktivan režim i zasićenje.

Tranzistor je zakočen
 $v_{BE} < V_{BET} \Rightarrow i_C = 0$

$i_C > 0 \Rightarrow v_{BE} = V_{BET}$ **Tranzistor vodi**

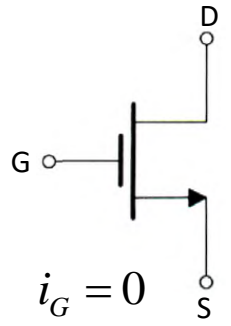
Aktivan režim
 $v_{CE} > V_{CES} \Rightarrow i_C = \beta_F i_B$

Režim zasićenja
 $i_C < \beta_F i_B \Rightarrow v_{CE} = V_{CES}$

β_F – strujno pojačanje tranzistora
 V_{BET} – napon praga tranzistora
 V_{CES} – napon zasićenja

v_{BE} – Napon između baze i emitora, njime se kontroliše uključenje i isključenje tranzistora.
 v_{CE} – Izlazni napon tranzistora. Od njega zavise režimi rada.
 i_C – Izlazna struja tranzistora, smer kolektor-emitor
 i_B – Ulazna struja tranzistora, smer ka bazi

MOSFET tranzistor (N-tip) - NMOS



MOSFET tranzistor predstavlja poluprovodničku komponentu, sa tri piključka – drejn (D), sors (S) i gejt (B). Može se naći u tri režima rada: zakočenje, triodna oblast i zasićenje.

Tranzistor je zakočen
 $v_{GS} < V_{Tn} \Rightarrow i_D = 0$

v_{GS} – Napon između gejta i sorsa, njime se kontroliše uključenje i isključenje tranzistora kao i jačina struje

$v_{GS} \geq V_{Tn}$ **Tranzistor vodi**

Triodna oblast
 $v_{DS} > v_{GS} - V_{Tn} \Rightarrow i_D = k'_n \left(\frac{W}{L} \right) \left((v_{GS} - V_{Tn}) v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right)$

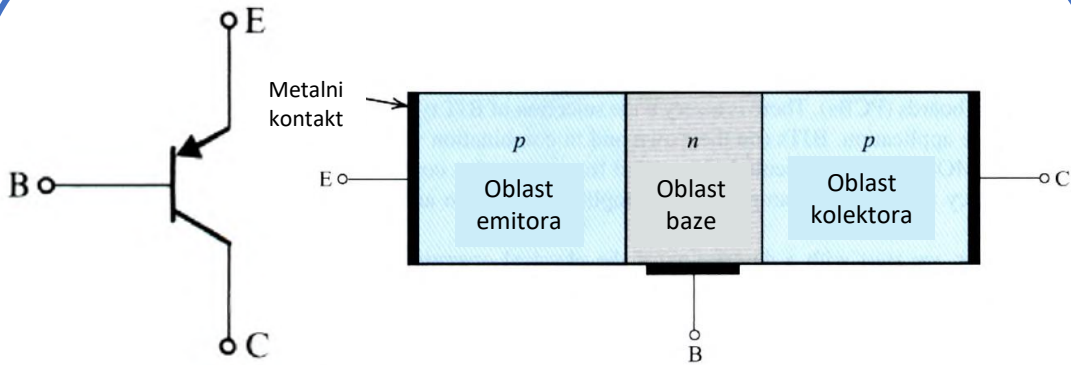
Zasićenje
 $v_{DS} \geq v_{GS} - V_{Tn} \Rightarrow i_D = k'_n \left(\frac{W}{L} \right) (v_{GS} - V_{Tn})^2$

k'_n – konstanta tehnologije izrade
 V_{Tn} – napon praga tranzistora
 W – širina kanala tranzistora
 L – dužina kanala tranzistora

v_{DS} – Izlazni napon tranzistora. Od njega zavise režimi rada.
 i_D – Izlazna struja. Smer drejn-sors.

PNP i PMOS tranzistori (umesto NPN i NMOS)

Bipolarni tranzistor (PNP-tip)



Važe isti izrazi kao za NPN ako se obrnu smerovi napona i struja.

Tranzistor je zakočen
 $v_{EB} < V_{EBT} \Rightarrow i_C = 0$

i_C – Izlazna struja tranzistora, smer emitor-kolektor

i_B – Ulazna struja tranzistora, smer iz baze ka spolja

$i_C > 0 \Rightarrow v_{EB} = V_{EBT}$ **Tranzistor vodi**

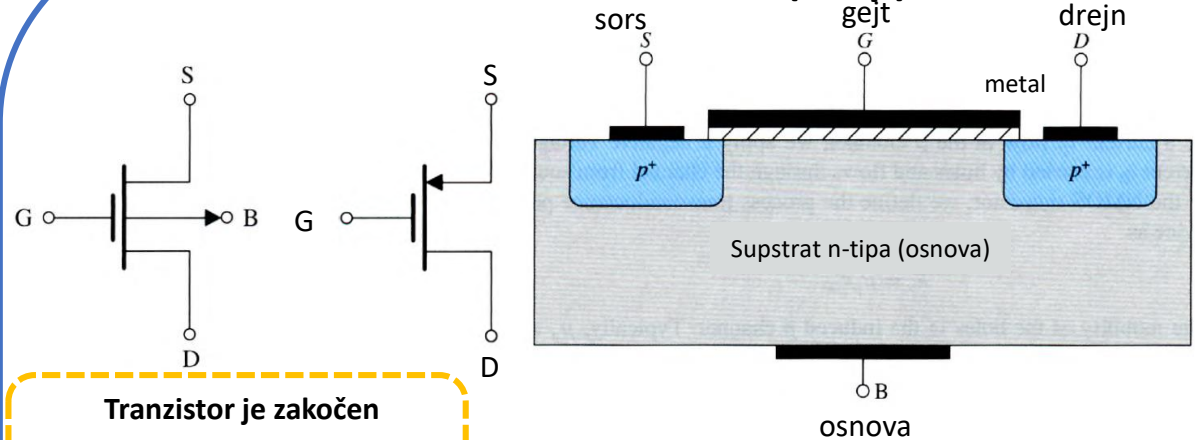
Aktivan režim

$$v_{EC} > V_{ECS} \Rightarrow i_C = \beta_{FP} i_B$$

Režim zasićenja

$$i_C < \beta_F i_B \Rightarrow v_{EC} = V_{ECS}$$

MOSFET tranzistor (P-tip) - PMOS



Tranzistor je zakočen

$$v_{SG} < V_{Tp} \Rightarrow i_D = 0$$

Važe isti izrazi kao za NMOS ako se obrnu smerovi napona i struja.

$v_{SG} \geq V_{Tp}$ **Tranzistor vodi**

i_D – Izlazna struja, smer sors-drejn.

Triodna oblast

$$v_{SD} > v_{SG} - V_{Tp} \Rightarrow i_D = k'_n \left(\frac{W}{L} \right) \left((v_{SG} - V_{Tp}) v_{SD} - \frac{v_{SD}^2}{2} \right)$$

Zasićenje

$$v_{SD} \geq v_{SG} - V_{Tp} \Rightarrow i_D = k'_n \left(\frac{W}{L} \right) (v_{SG} - V_{Tp})^2$$

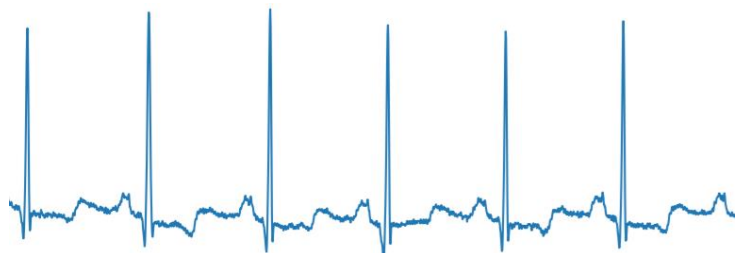
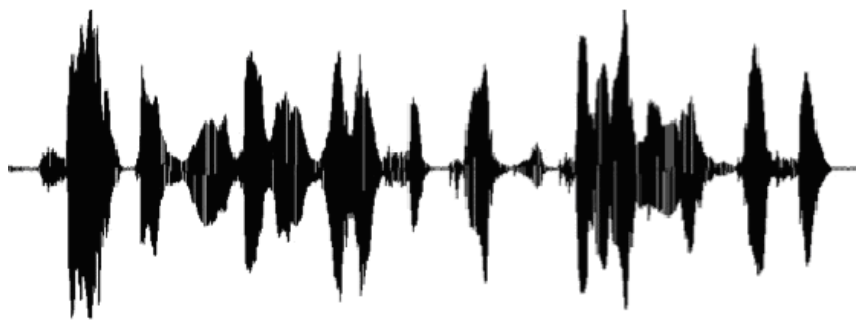
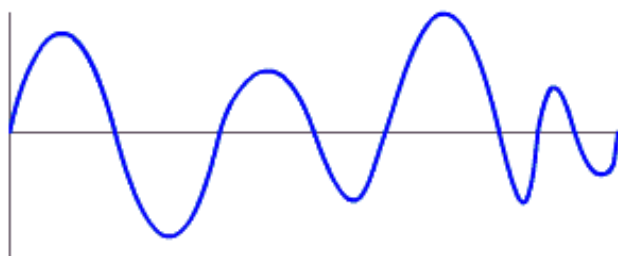
SIGNALI



Primeri signala

ANALOGNI SIGNAL

vreme – kontinualno, vrednost - kontinualna

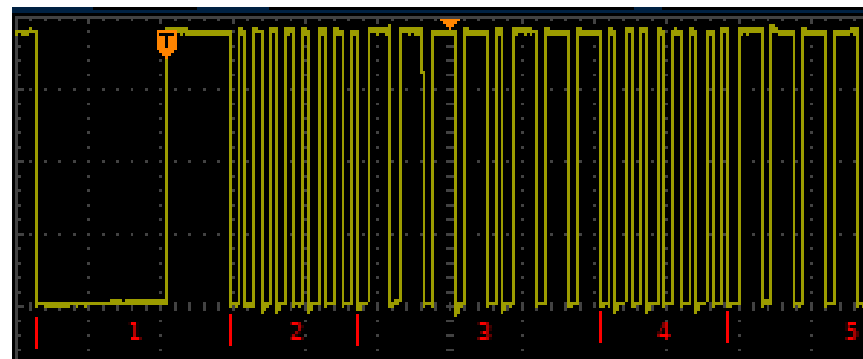


DIGITALNI SIGNAL

vreme – kontinualno, vrednost – diskretna (1, 0)

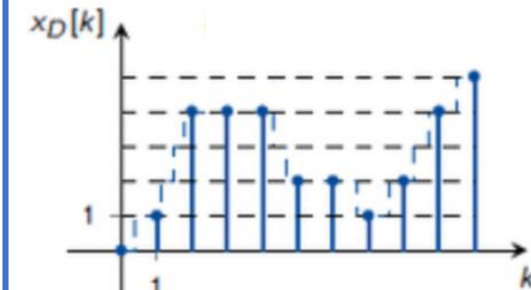
Digital data 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0

Digital signal



DIGITALNI DISKRETAN SIGNAL

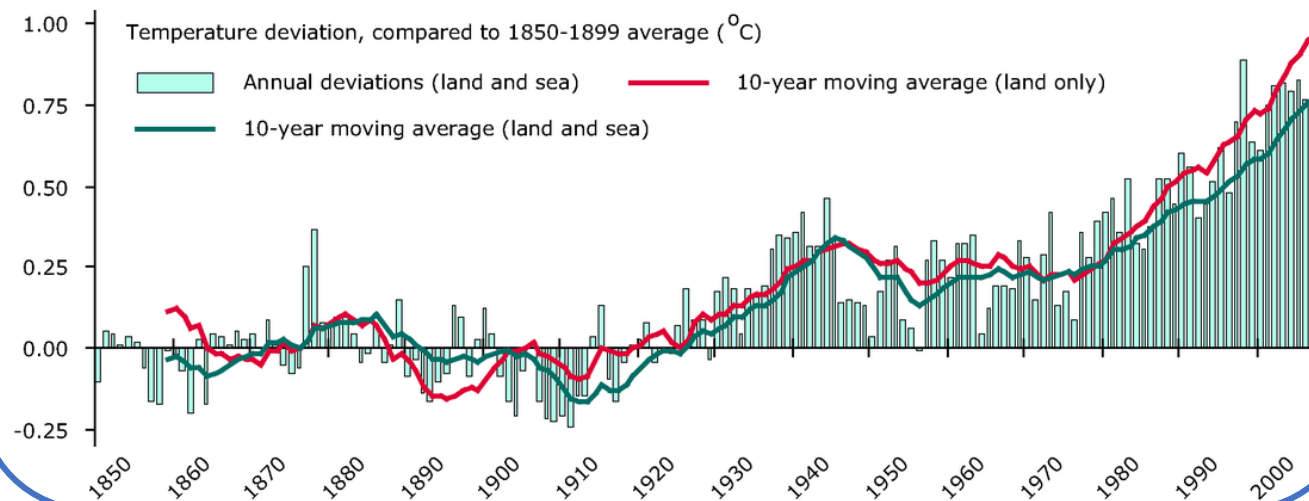
vreme – diskretno, vrednost – diskretna



U računar se nalaze isključivo ovakvi signali!

VREMENSKI DISKRETAN SIGNAL

vreme – diskretno, vrednost - kontinualna



Šta su signali?

Signali predstavljaju **merljive** fizičke veličine koje nose **informaciju** o nekom **promenljivom** fizičkom procesu.

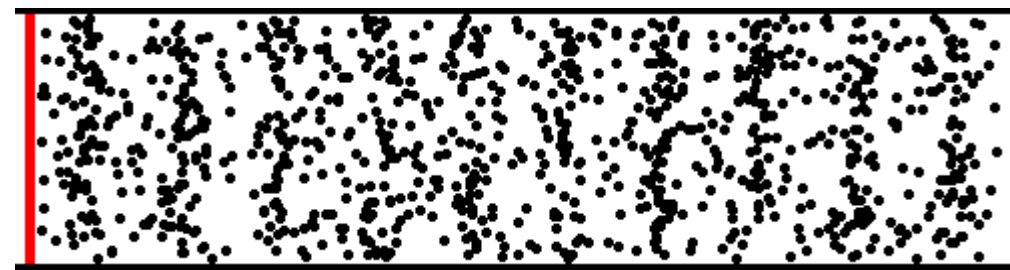
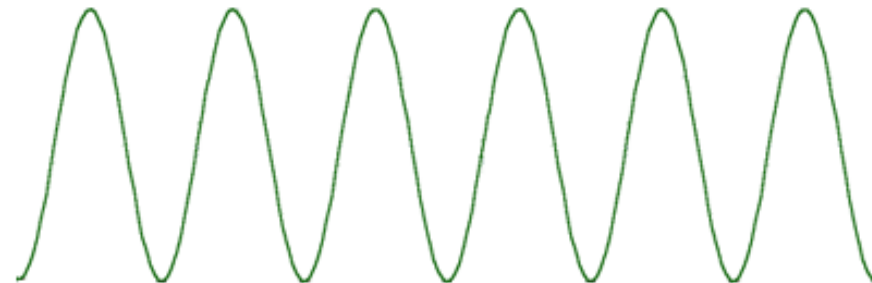
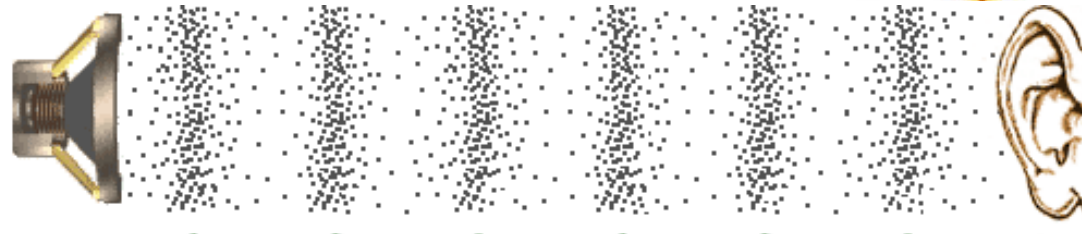
Signali se koriste za utiskivanje **informacije** kako bi mogla biti preneti kroz odgovarajući fizički medijum.



Ukoliko se informacija krije u promenama elektromagnetnog polja (napon, struja) onda govorimo o **električnom signalu**. Kao elektroničari se bavimo kreiranjem elektronskih kola koja mogu da manipulišu električnim signalima. Dobra vest je da se i drugi signali kao što su zvuk, temperatura, pritisak i sl mogu prevesti u električne signale kao i obrnuto korišćenjem **pretvarača**.

Zvuk predstavlja signal!

Informacija je sadržana u promenama vazdušnog pritiska.

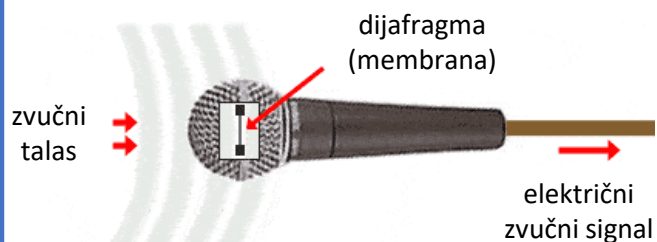


Generisanje električnog signala – zvuk

Problem: Utisnuti zvučni signal u električni.

Dakle, potrebno je konvertovati promene vazdušnog pritiska u promene napona i struje.

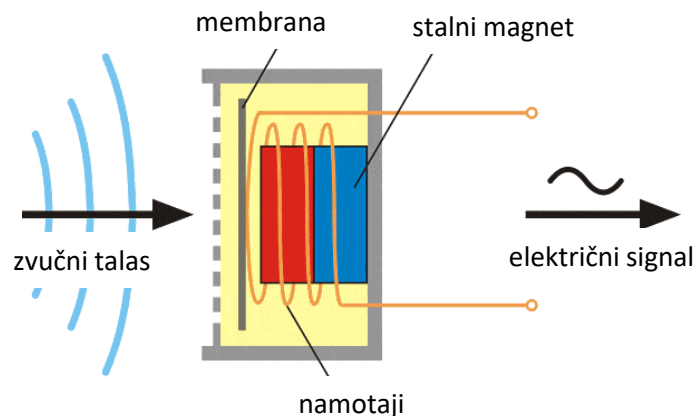
Ideja: Postaviti elastičnu membranu koja će vibrirati u ritmu zvučnog talasa.



Potrebno je sad još nekako ove mehaničke pokrete prevesti u električni signal.

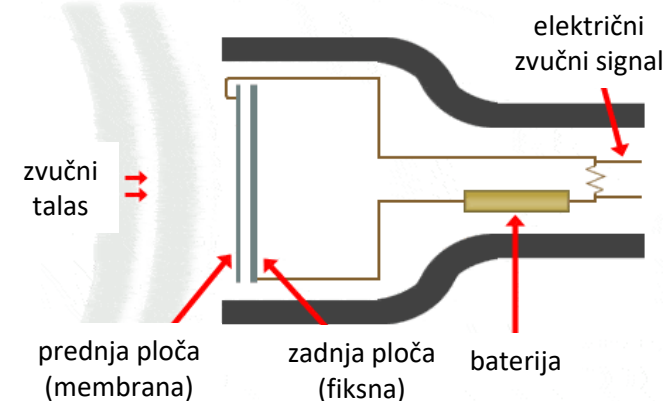
Rešenje 1: Dinamički mikrofon

Membrana mikrofona je povezana sa stalnim magnetom oko koga se nalaze namotaji žice. Pomeranjem magneta, kalem koji se sastoji od namotaja se nalazi u promenljivom magnetom polju, što stvara struju na izlazu. Intenzitet struje je direktno proporcionalan pomerajima magneta.



Rešenje 2: Kapacitivni mikrofon

Membrana mikrofona predstavlja jednu ploču pločastog kondenzatora. Pomeraji membrane, menjaju kapacitivnost ovog kondenzatora. Kako je kondenzator povezan u električno kolo s baterijom, promenom njegove kapacitivnosti menja se i napon na izlazu. Promena kapaciteta je proporcionalna pomeraju membrane, i linearno utiče na promenu napona.



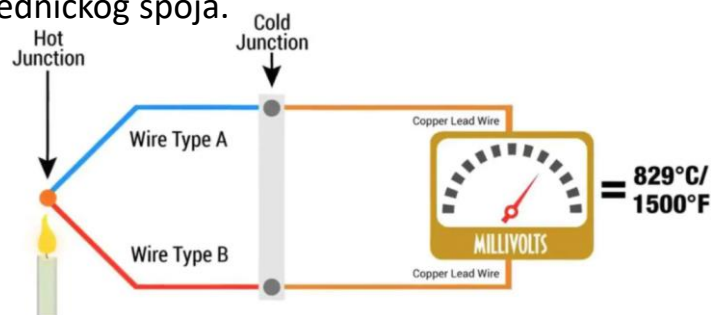
Generisanje električnog signala – temperatura

Problem: Utisnuti promene temperature u električni signal.

Ideja: Iskoristiti neku komponentu čije karakteristike zavise od temperature. Tj. Iskoristiti dve komponente, od koji se jedna drži na konstantnoj temperaturi (npr 0°C) a druga na temperaturi koju merimo. Informacija se sada krije u razlici napona/struje ove dve komponente koje imaju identičnu pobudu.

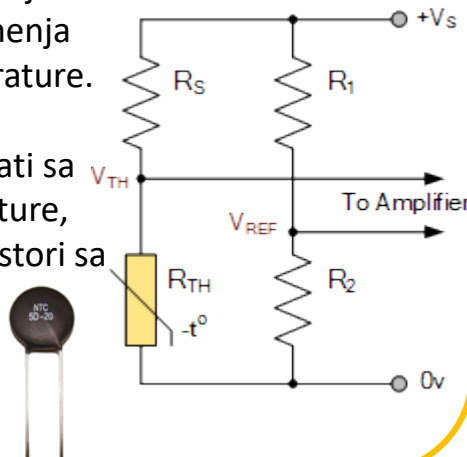
Rešenje 1: Termopar

Spajanjem 2 provodne žice od različitih materijala dobija se termopar. Između slobodnih krajeva žica postojeće napon koji direktno zavisi od temperature zajedničkog spoja.



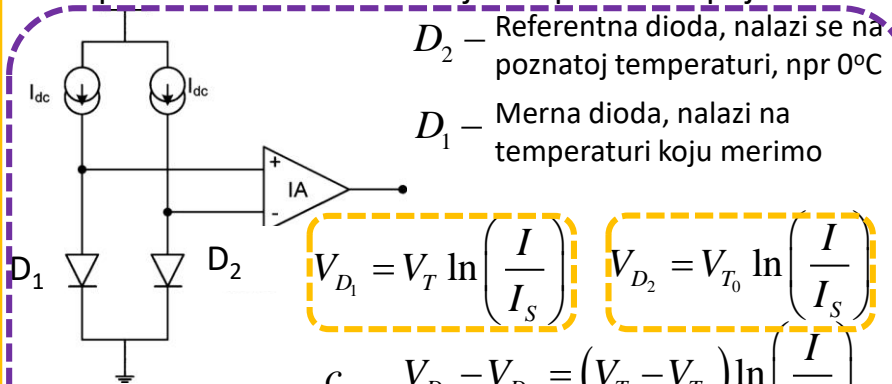
Rešenje 2: Termistor

Termistor je otpornik čija se otpornost značajno menja sa promenom temperature. Otpornost se može povećavati ili smanjivati sa povećanjem temperature, pa tako postoje termistori sa pozitivnim (PTC) ili negativnim (NTC) temperaturnim koeficijentom.



Rešenje 3: Dioda ili tranzistor

Za merenje temperature se može iskoristiti i temperaturna zavisnost struje i napona PN spoja.



D_2 – Referentna dioda, nalazi se na poznatoj temperaturi, npr 0°C

D_1 – Merna dioda, nalazi na temperaturi koju merimo

$$V_{D1} = V_T \ln\left(\frac{I}{I_S}\right) \quad V_{D2} = V_{T_0} \ln\left(\frac{I}{I_S}\right)$$

$$V_{D1} - V_{D2} = (V_T - V_{T_0}) \ln\left(\frac{I}{I_S}\right)$$

$$V_{D1} - V_{D2} = (T - T_0) \frac{k}{q} \ln\left(\frac{I}{I_S}\right) \Rightarrow \Delta V_D = c(T - T_0)$$

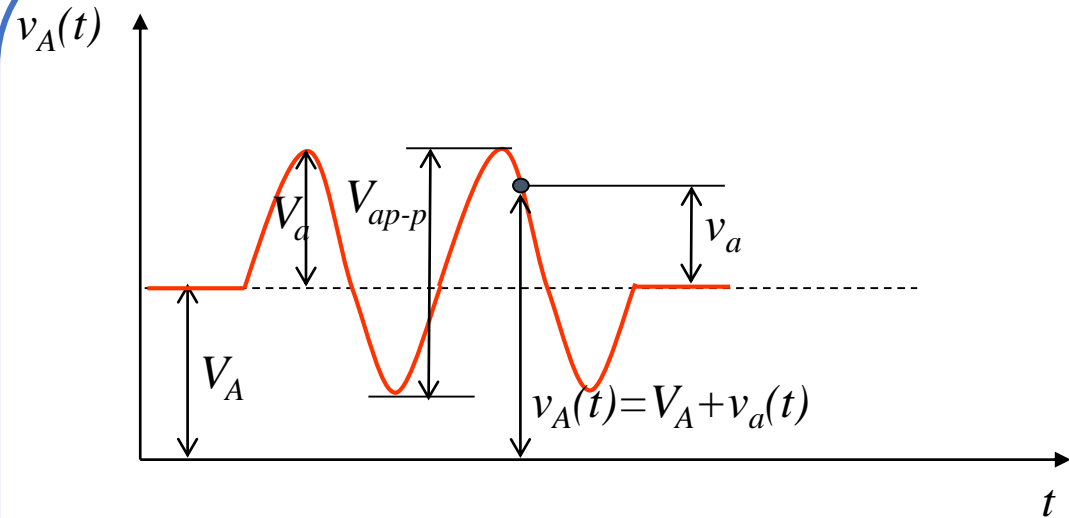
$$V_{be1} = V_T \ln\left(\frac{I}{I_S}\right) \quad V_{be2} = V_T \ln\left(\frac{10I}{I_S}\right)$$

$$V_{be2} - V_{be1} = V_T \left(\ln\left(\frac{10I}{I_S}\right) - \ln\left(\frac{I}{I_S}\right) \right)$$

$$\Delta V_{be} = T \frac{k}{q} \ln(10)$$

Osnovne karakteristike signala

PROSTOPERIODIČNI SIGNALI



$v_A(t)$ – ukupna trenutna vrednost signala

V_A – srednja vrednost signala – DC komponenta

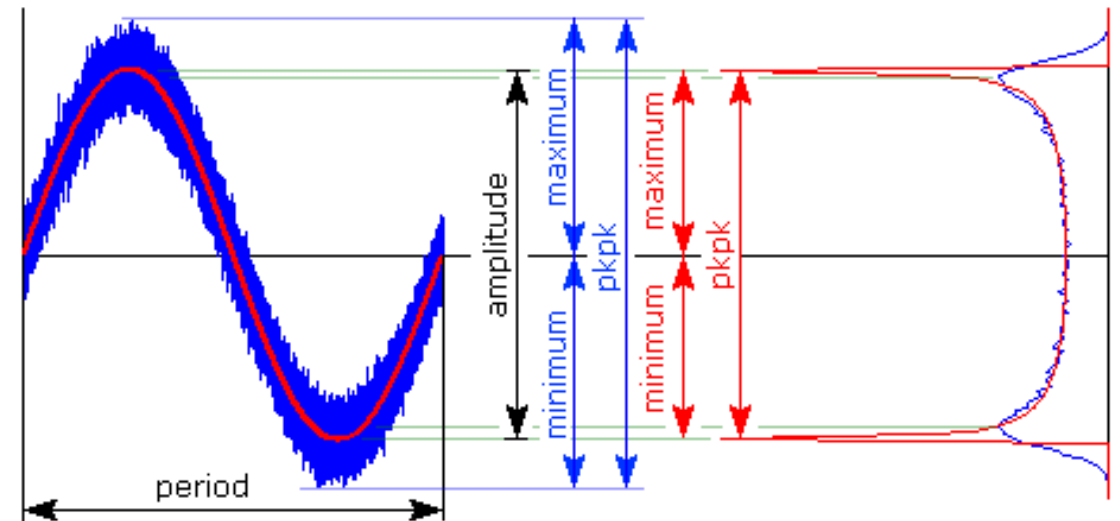
$v_a(t)$ – promenljiva (AC) komponenta signala

V_a – amplituda signala, od ravnotežnog položaja

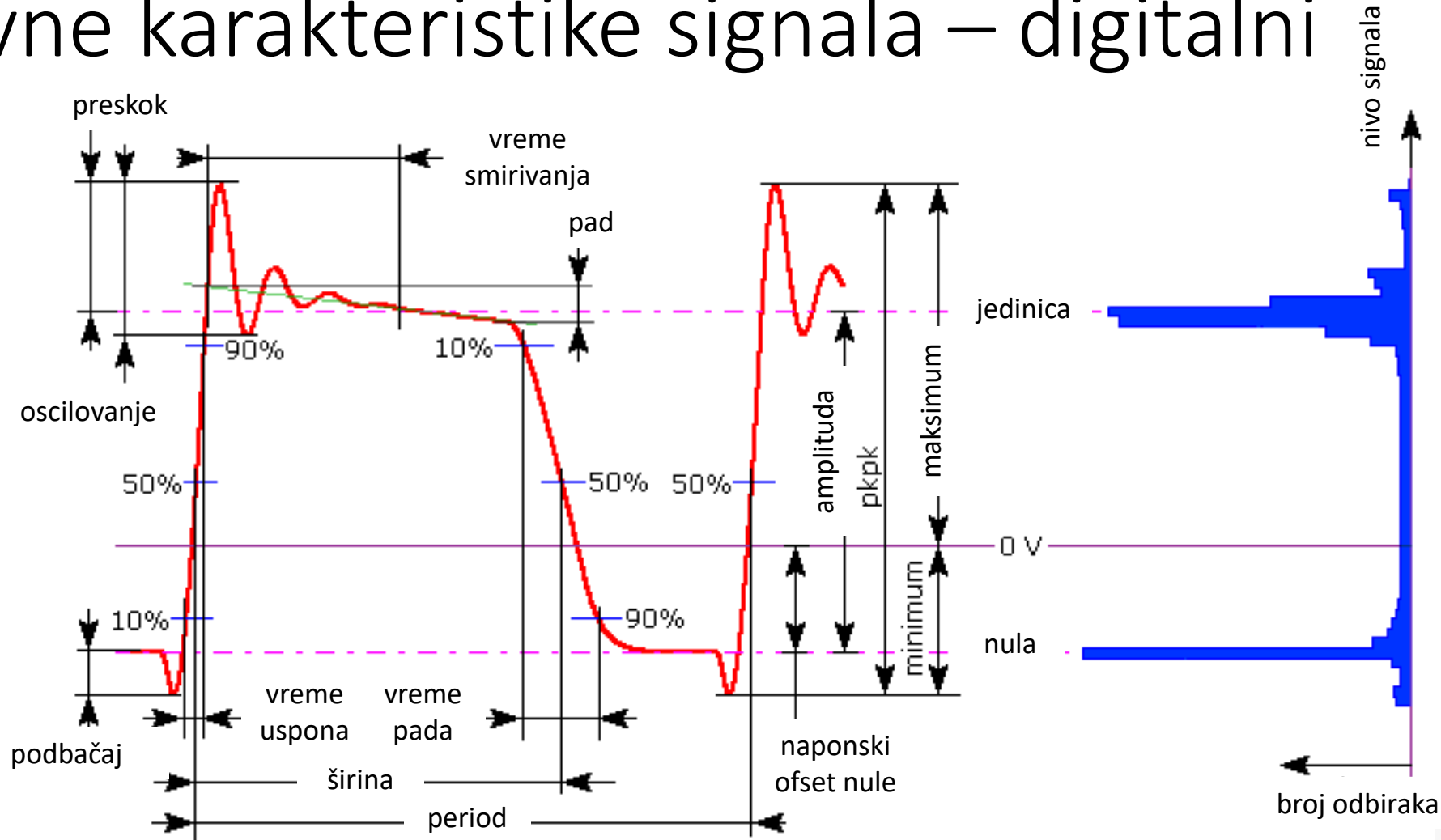
V_{a-p-p} – amplituda signala, od najveće do najmanje vrednosti signala (peak-to-peak)

PROSTOPERIODIČNI SIGNALI SA ŠUMOM

Kod realnih signala javlja se šum tako da se pri određivanju amplitude ne posmatra rastojanje između maksimuma i minimuma već između tačaka nagomilavanja. Efekat je isti kao da se amplituda zapravo određuje na prethodno usrednjenom signalu (koji se dobija usrednjavanjem nekoliko perioda).



Osnovne karakteristike signala – digitalni



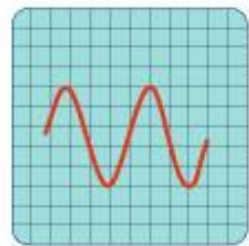
Kako zapravo izgledaju vaše 1 i 0 digitalnog signala kada se šalju kroz provodnik!



Složeni signali

KOMBINOVANJE PROSTOPERIODIČNIH SIGNALA

Linearnom kombinacijom prostoperiodičnih signala različitih učestanosti dobijaju se složeni signali. Periodu složenog signala predstavlja najmanji zajednički sadržalac perioda svih signala koji učestvuju u kreiranju složenog signala. Ukoliko ovaj sadržalac ne postoji, rezultujući signal je aperiodičan.



$$5\sin(2\pi f_1)$$

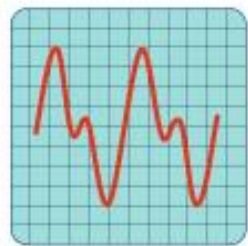
+



$$3\sin(2\pi f_2)$$

$$f_2 = 2f_1$$

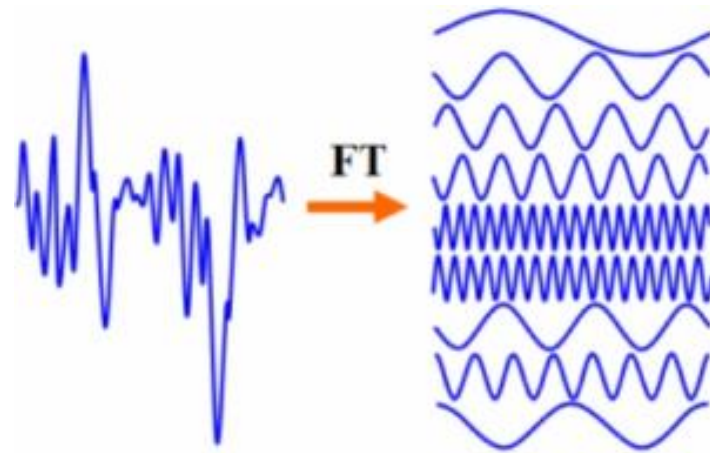
=



$$f_3 = 2f_1$$

DOBRA VEST (DETALJI U NAREDNIM GODINAMA...)

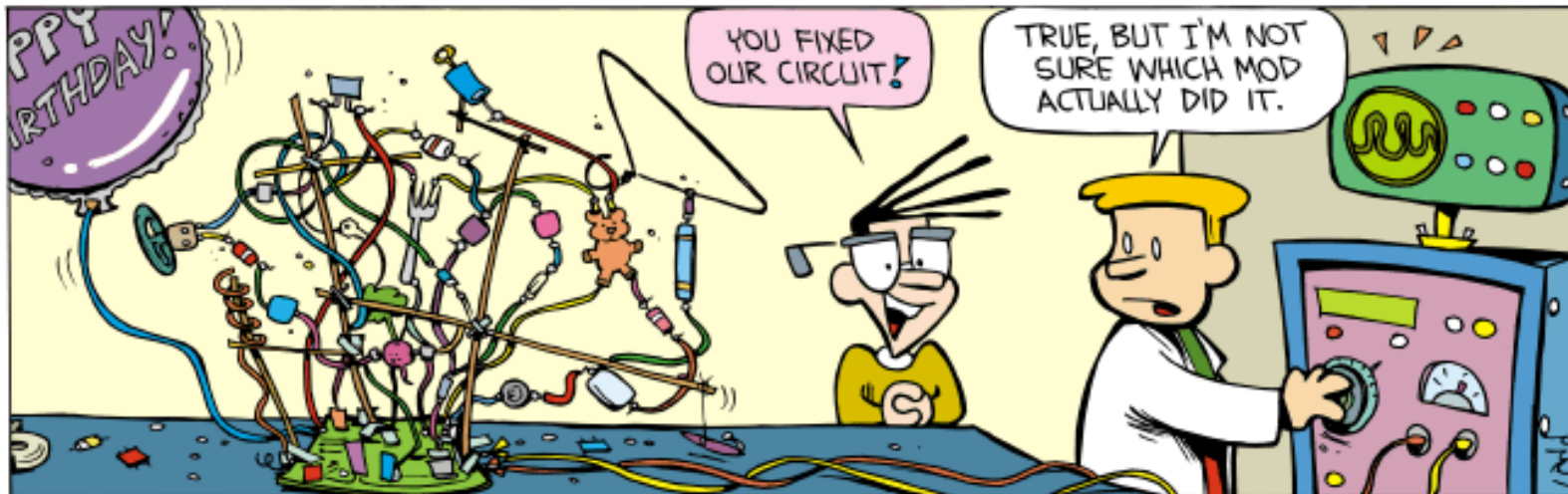
Svaki složeni signal (koji ispunjava određene uslove, poput konačne energije i sl...) se može predstaviti kao linearna kombinacija beskonačno mnogo sinusoida različitih učestanosti.



Ovo nam zapravo daje motiv da savladamo analizu i obradu sinusoidalnih signala, a onda svaki problem, u slučaju da imamo linearan sistem možemo da rešimo korišćenjem superpozicije.

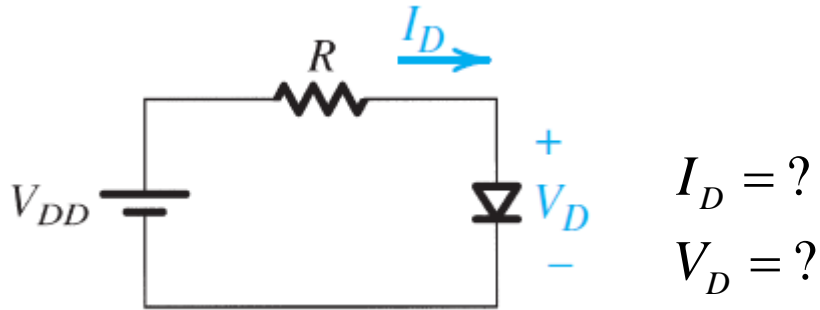
NELINEARNA ELEKTRONSKA KOLA

Return to Zero



Analiza kola sa realnim diodama

ZADATAK



karakteristika otpornika

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R}$$

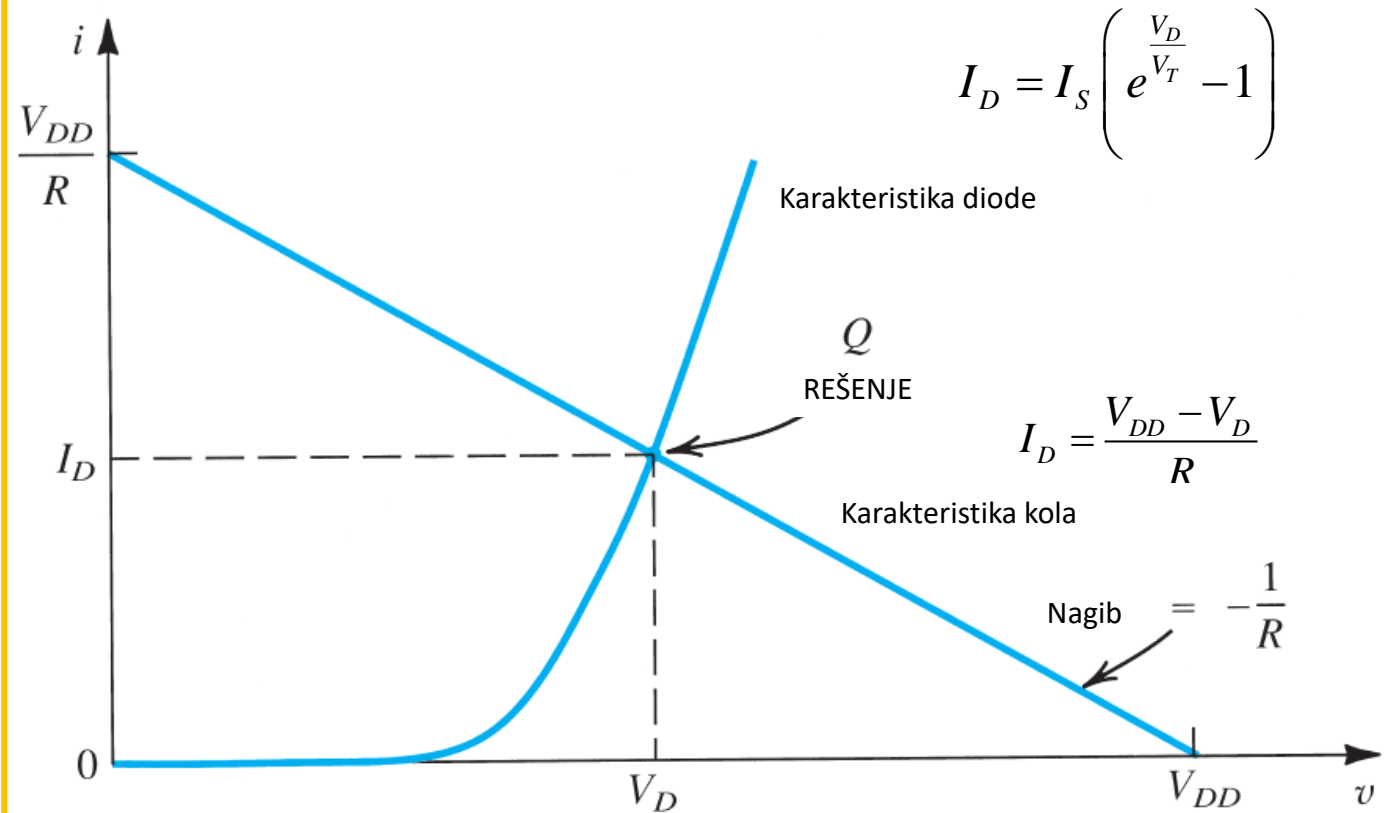
karakteristika diode

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)$$

$$\frac{V_{DD} - V_D}{R} = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)$$

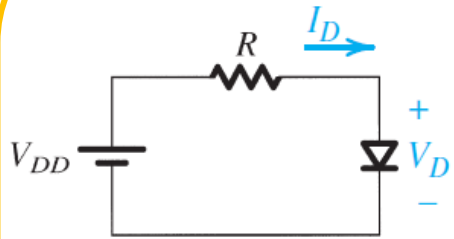
PROBLEM – Ne postoji analitičko rešenje jednačine!!!

REŠENJE 1 – GRAFIČKI POSTUPAK



Analiza kola sa realnim diodama

REŠENJE 2 – NUMERIČKI POSTUPAK



Korak 0 - Usvajanje početne vrednosti napona na diodi

$$V_{D0} = 0.5V$$

Korak 1 – Odrediti struju diode a na osnovu nje i novu vrednost napona na diodi.

$$I_{D(1)} = \frac{V_{DD} - V_{D(0)}}{R} = 4.5mA$$

$$V_{D(1)} = V_T \ln \left(1 + \frac{I_{D(1)}}{I_S} \right) = 728mV$$

Korak 2

$$I_{D(2)} = \frac{V_{DD} - V_{D(1)}}{R} = 4.272mA$$

$$V_{D(2)} = V_T \ln \left(1 + \frac{I_{D(2)}}{I_S} \right) = 727mV$$

Korak 3

$$I_{D(3)} = \frac{V_{DD} - V_{D(2)}}{R} = 4.273mA$$

$$V_{D(3)} = V_T \ln \left(1 + \frac{I_{D(3)}}{I_S} \right) = 727mV$$

REŠENJE!!!

REKAPITULACIJA

Pošli smo od karakteristika otpornika i diode koje su povezane parametrima kola. Problem je bio što je jednačina transcendentna i analitičko rešenje ne postoji. Zbog toga smo rešili da problem napadnemo postupno. Formiramo iterativni postupak u kom pretpostavimo što bolje moguće napon diode. Na osnovu karakteristike otpornika i napona na njemu (koji je sada poznat, odnosno pretpostavljen) odredimo njegovu struju. To je ujedno i struja dioda. Ako sad usvojimo da kroz diodu protiče ta struja onda možemo preciznije da odredimo napon i tako dalje...

PITANJE – Kako da znam kada imam rešenje?

Ukoliko se prethodno i trenutno izračunata vrednost malo razlikuju, recimo manje od 1% možemo reći da smo došli do rešenja

$$\frac{|V_{D(k)} - V_{D(k-1)}|}{V_{D(k-1)}} \cdot 100\% < 1\% \Rightarrow$$

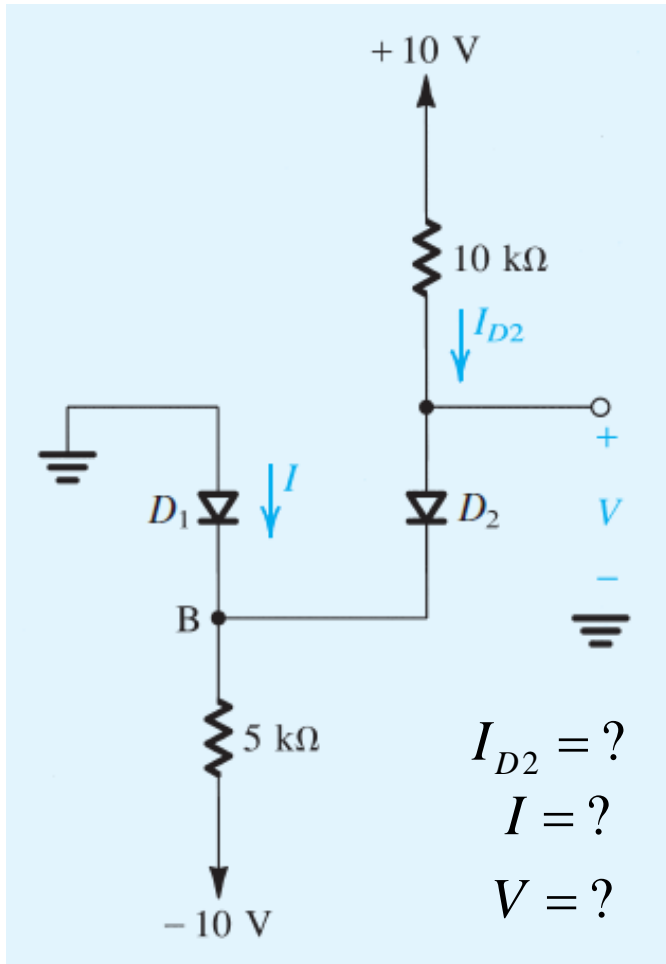


PITANJE – Da li ću stalno ovo morati da radim, kad god imam nelinearno kolo?

Naravno da ne! Ovu analizu uglavnom rade računari, jer njima kao što im ime kaže, nije problem da računaju. Mi se pak koristimo nešto pametnijim metodama koje su manje precizne ali su zato "beskonačno" brže.

Analiza kola sa idealnim diodama

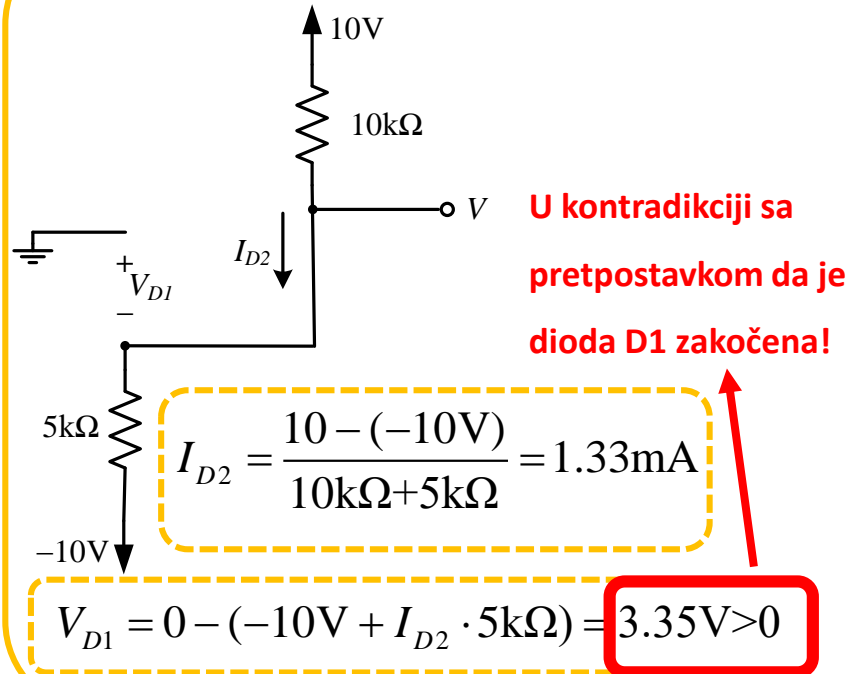
ZADATAK



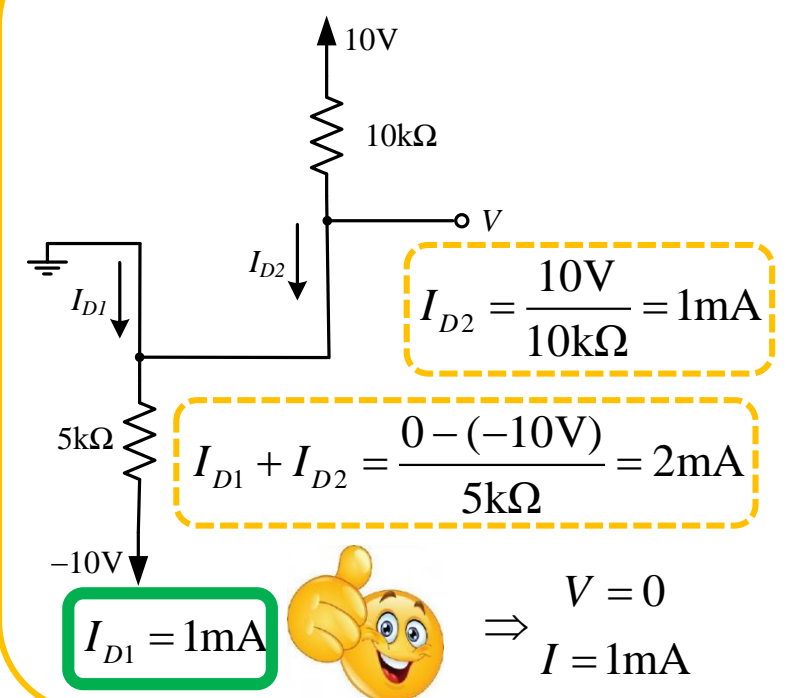
Da li diode provode ili ne zavisi od napona na njihovim krajevima. S druge strane ovi naponi zavise od topologije kola, odnosno od veza koje su ostvarene ili ne provođenjem ili zakočenjem dioda.

Kolo se rešava tako što se pretpostavi stanje svake pojedinačne diode u kolu. Nakon toga se dobija linearno kolo koje se jednostavno rešava. Nakon dobijenih vrednosti napona i struja neophodno je proveriti da li su početne pretpostavke bile ispravne.

PRETPOSTAVKA 1 – D1 OFF, D2 ON



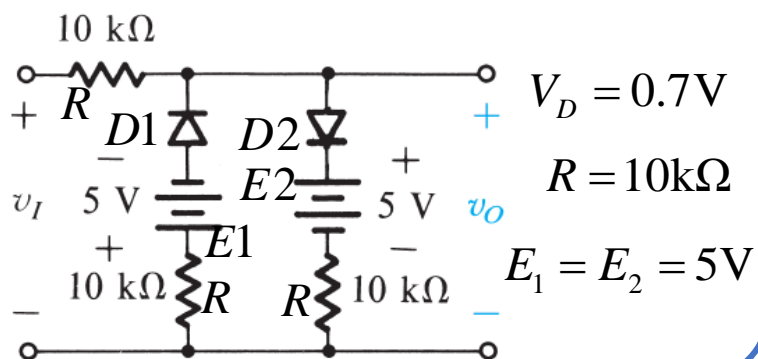
PRETPOSTAVKA 2 – D1, D2 ON



Određivanje prenosne karakteristike kola

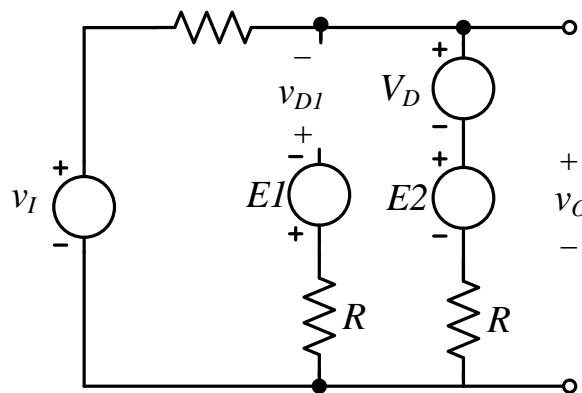
ZADATAK

Potrebno je odrediti prenosnu karakteristiku kola odnosno: $v_o = f(v_I)$



REŽIM 3 $v_I \geq E2 + V_D = 5.7V$

R D1 - OFF, D2 - ON

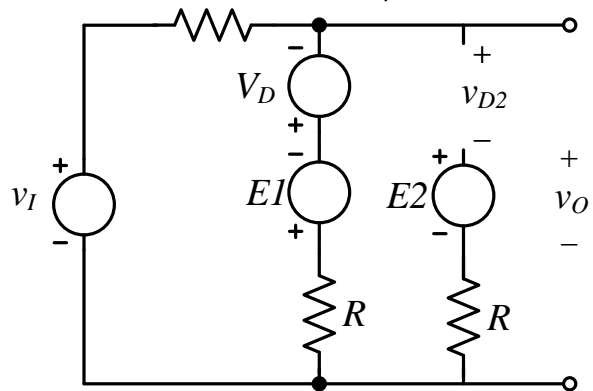


NAPOMENA

Za svaki od režima rada neophodno je potvrditi da su u toku celog režima, naponi neprovodnih dioda manji od napona praga a struje provodnih dioda pozitivne. U suprotnom imamo kontradikciju!

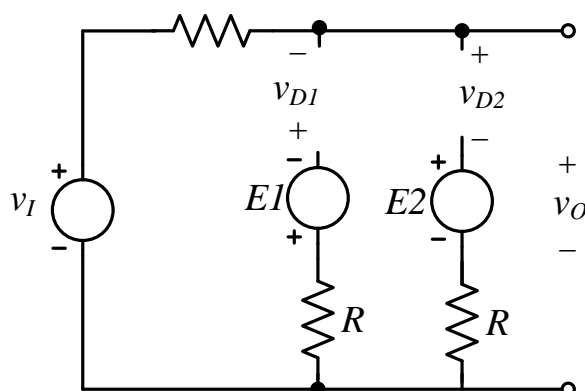
REŽIM 1 $v_I \leq -E1 - V_D = -5.7V$

R D1 - ON, D2 - OFF

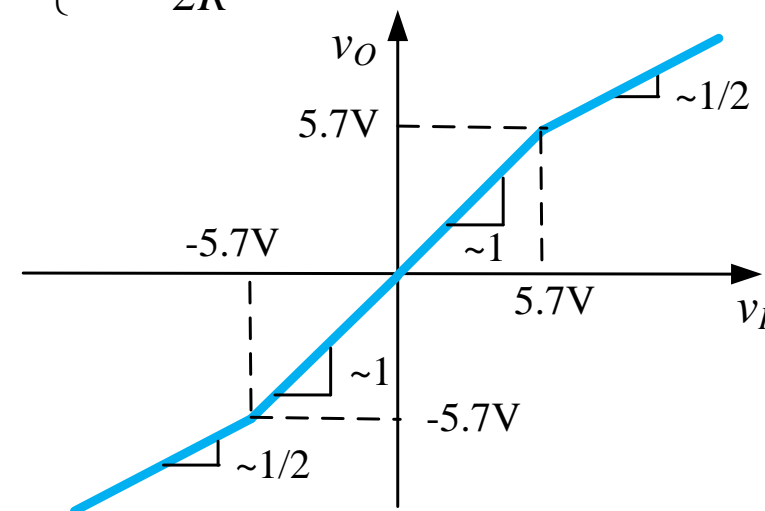


REŽIM 2 $-5.7 \geq v_I \geq 5.7V$

R D1 - OFF, D2 - OFF

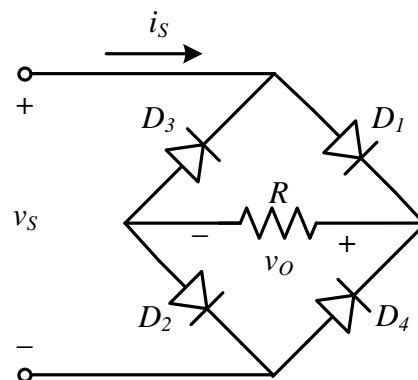
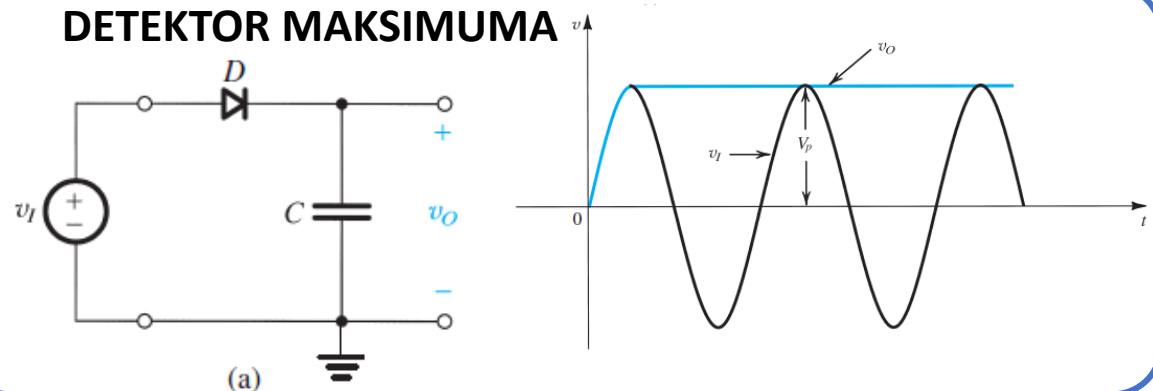


$$v_o = \begin{cases} \frac{v_I + V_D + E1}{2R} R - E1 - V_D, & \text{za } v_I \leq -5.7V \\ v_I, & \text{za } -5.7V \leq v_I \leq 5.7V \\ \frac{v_I - V_D - E2}{2R} R + E2 + V_D, & \text{za } v_I \geq 5.7V \end{cases}$$

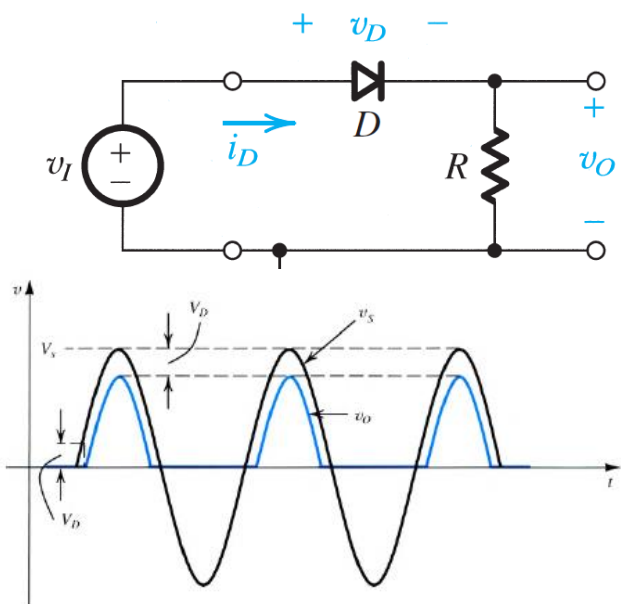


Primeri kola sa diodama

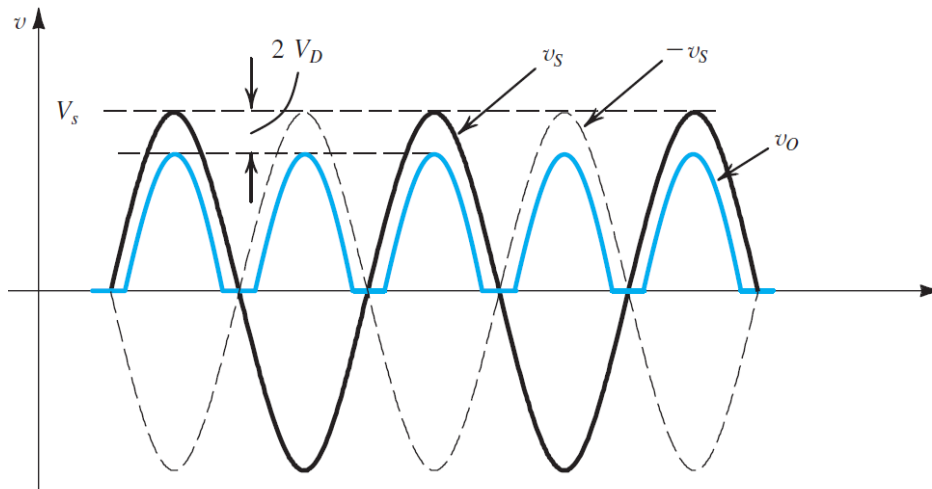
DETEKTOR MAKSIMUMA



JEDNOSTRANI ISPRAVLJAČ



DVOSTRANI ISPRAVLJAČ – GREC



OGRANIČAVANJE NAPONA

