

Osnovi elektronike (Moduli ELK i EEN)

Marko Dimitrijević

Dr Marko Dimitrijević, docent
Elektronski fakultet Niš, kabinet 321

marko@venus.elfak.ni.ac.rs

marko.dimitrijevic@elfak.ni.ac.rs

Osnovna literatura

- V. Litovski, *Osnovi elektronike*, Akademska misao, 2006, ISBN: 86-7466-227-7
- P. Petković, V. Pavlović, M. Dimitrijević, S. Đorđević, D. Mirković, *Praktikum za izvođenje laboratorijskih vežbi iz predmeta Osnovi elektronike*, Elektronski fakultet Niš, 2020.
- Online resursi:
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/?page=education/elektronika/elektronika.htm>

Dodatna literatura

- B. Razavi, *Fundamentals of Microelectronics*, Wiley, 2006.
- [Razavi Electronics – YouTube](#)
- A. Sedra, K. Smith, *Microelectronic Circuits*, Oxford University Press, New York, Oxford 2004.

Predispitne obaveze

- **Laboratorijske vežbe (6. vežbi) – obavezne su za potpis**
- **Kolokvijumi (2 kolokvijuma u toku semestra), položena oba kolokvijuma se računaju kao položeni pismeni deo ispita u januarskom ispitnom roku**
- **Predavanja i računske vežbe nisu obavezne**
- **Konsultacije su utorkom i četvrtkom od 12:00 do 14:00 u kabinetu 322.**

Potrebno predznanje iz elektrotehnike

- Pojam idealnog i realnog naponskog izvora
- Pojam idealnog i realnog strujnog izvora
- Kirhofovi zakoni, Omov zakon
- Pojam impedanse – otpornik, kalem i kondenzator
- Jednosmerni i naizmenični režim
- Kontrolisani strujni i naponski izvori
- Metod konturnih struja
- Metod potencijala čvorova
- Princip superpozicije
- Tevenenova i Nortonova teorema

Osnovi elektronike

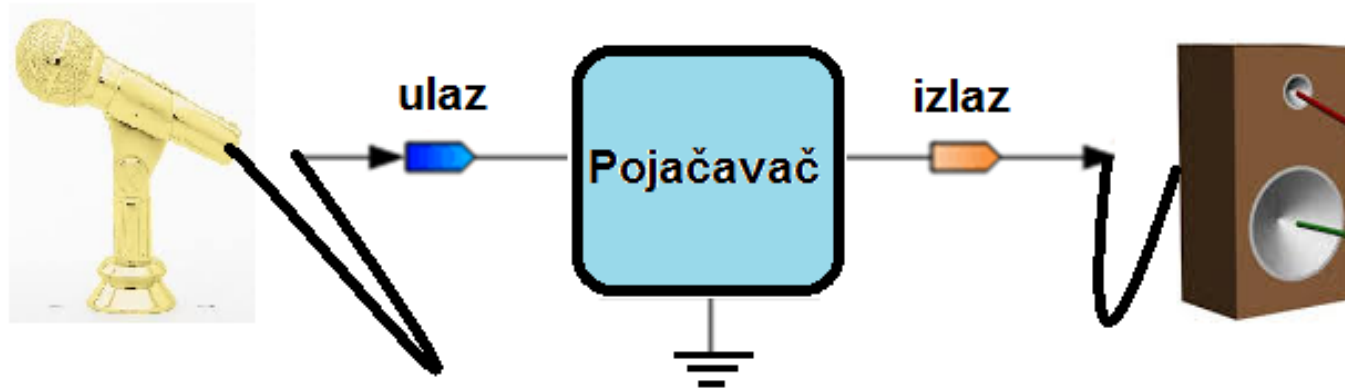
- Elektronika je imala izuzetan uticaj na razvoj ljudske civilizacije i zauzima značajno mesto u našem svakodnevnom životu.
- Elektronski uređaji su prisutni svuda – u telekomunikacijama, saobraćaju, medicini, energetici,...
- Cilj predmeta Osnovi elektronike je da se shvate osnovni koncepti i metodi elektronike – analiza i projektovanje osnovnih elektronskih kola.

Osnovi elektronike

- Osnovne električne komponente (otpornici, kondenzatori i kalemovi) su dipoli (imaju dva priključka) i najčešće su linearne – električne veličine imaju linearnu zavisnost.
- Mogućnosti primene ovih komponenti su ograničene
- Elektronska kola osim osnovnih električnih komponenti sadrže i poluprovodničke komponente – diode i tranzistore.
- Pomoću poluprovodničkih komponenti moguće je realizovati veliki broj korisnih uređaja.

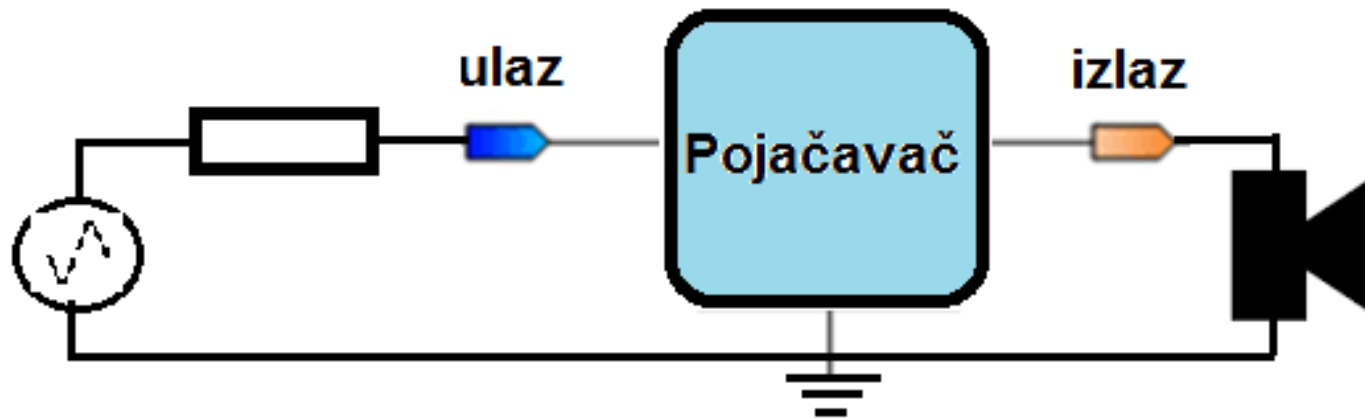
Primer elektronskog kola

- Jedan od najjednostavnijih kola je **pojačavač**.



Primer elektronskog kola – pojačavač

- Električna šema sistema, pretpostavimo da je napon koji generiše mikروفon 5mV , da je otpornost zvučnika 8Ω , a potrebna snaga 10W .



Primer elektronskog kola – pojačavač

- Koliki je napon potreban na zvučniku?

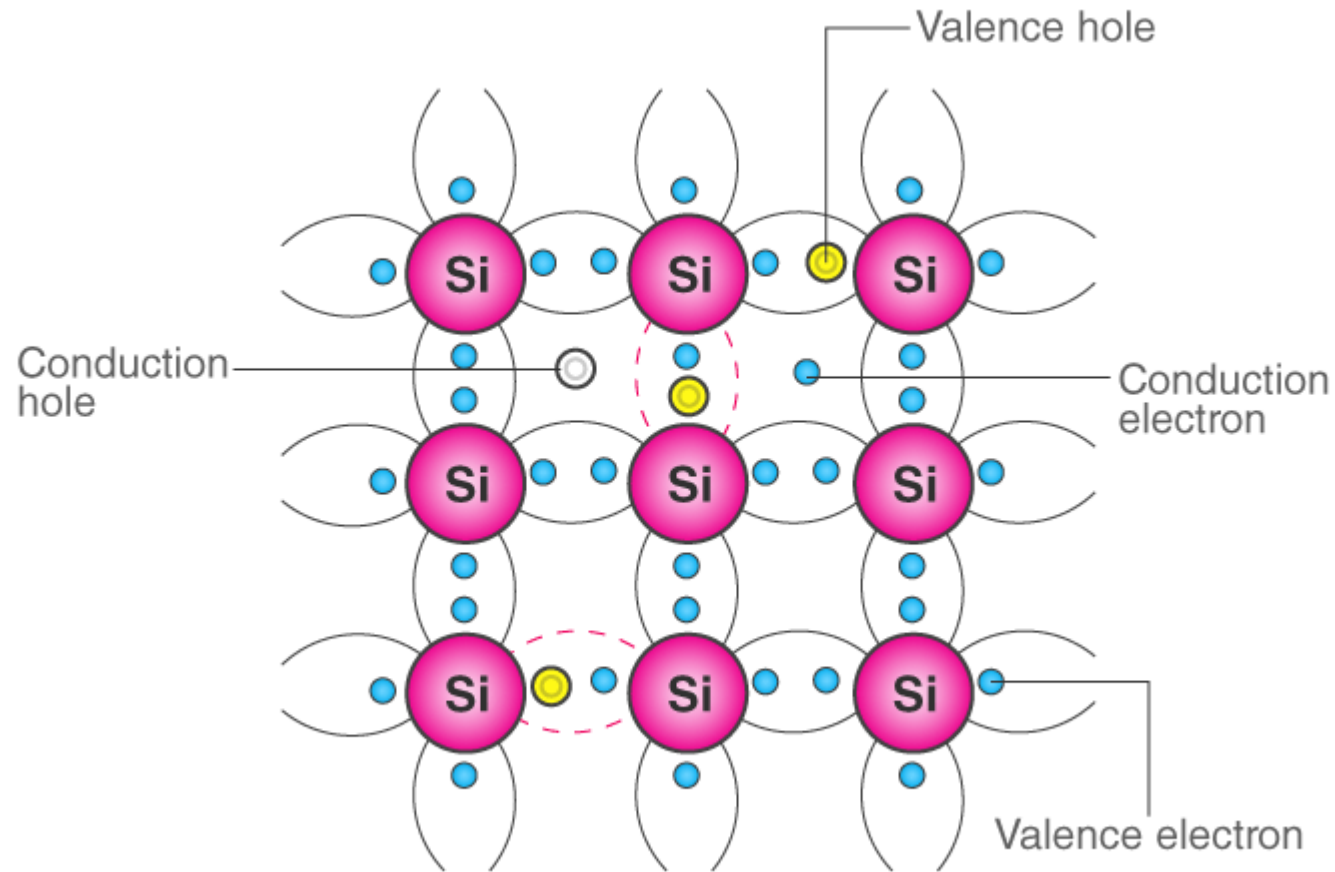
$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$V = \sqrt{P \times R} = \sqrt{10\text{W} \times 8\Omega} = 8,94\text{V}$$

Poluprovodničke komponente

- Poluprovodničke komponente su izrađene od materijala koji se nazivaju **poluprovodnički elementi** ili jednostavnije, **poluprovodnici**.
- Najčešće korišćeni poluprovodnici su silicijum (Si), germanijum (Ge) i III-V elementi (galijum arsenid GaAs).
- Poluprovodnički elementi (Si, Ge) pripadaju IV grupi periodnog sistema i imaju četiri valentna elektrona.

Poluprovodnički elementi



- Usled termičke ekscitacije, valentni elektroni se mogu osloboditi i doprineti električnoj provodnosti materijala.

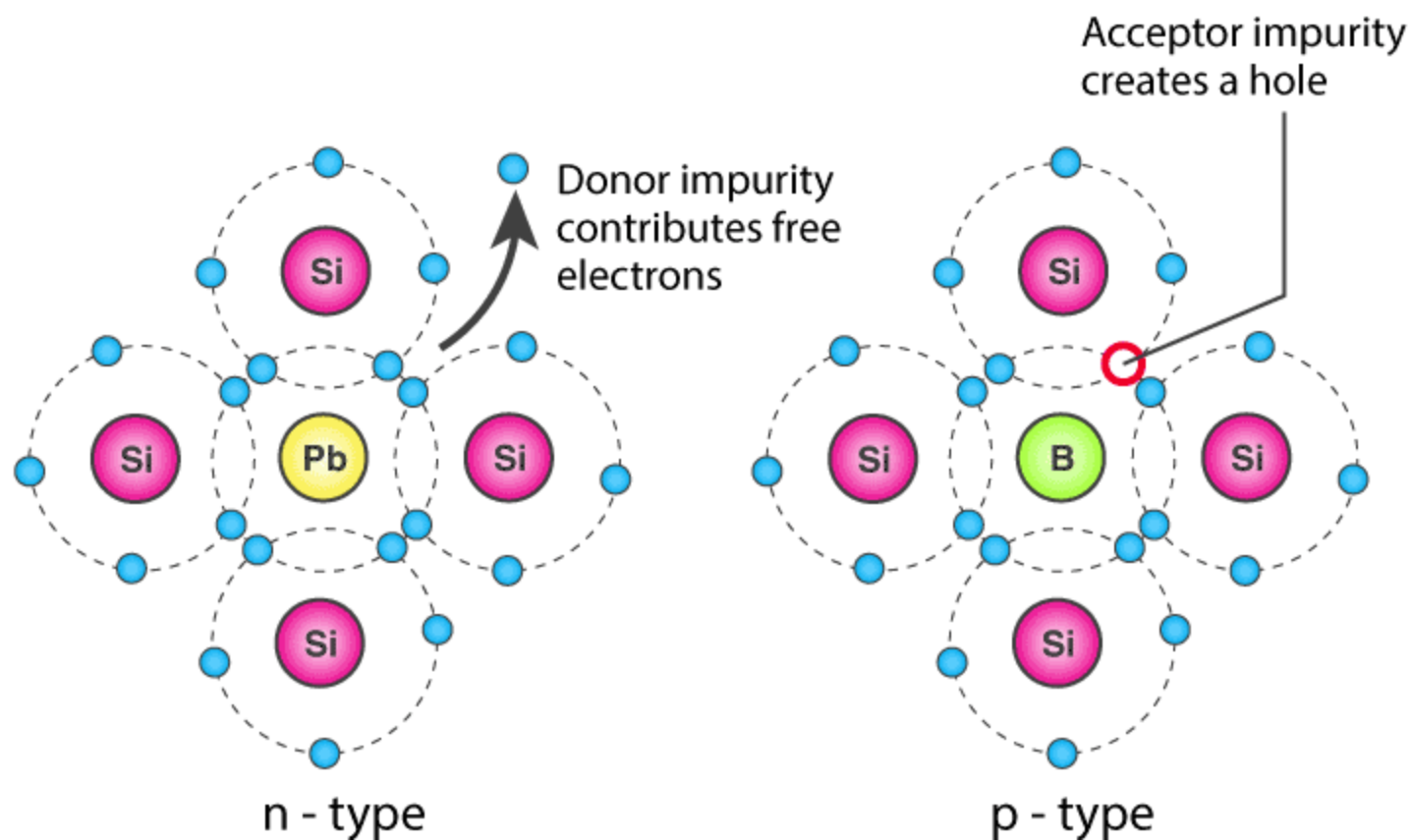
Intrinsični poluprovodnik

- Koncentracija elektrona u poluprovodniku zavisi od temperature (T) i materijala, može se izraziti empirijskom formulom:

$$n_i = 5,2 \cdot 10^{15} \times T^{3/2} \times e^{-\frac{\varepsilon_g}{2kT}} \approx 10^{10} \text{cm}^{-3} \text{ (Si, } T = 300\text{K)}$$

- Veličina ε_g se naziva *band gap* i zavisi od poluprovodnika ($\varepsilon_g = 1,2\text{eV}$ za silicijum). Bolcmanova konstanta: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$
- $n_i = n = p$

Dopirani poluprovodnik



- Dodavanjem elemenata III ili V grupe poluprovodniku, menjaju se njegova provodna svojstva – dopiranje.
- N_A, N_D – koncentracije akceptora, odnosno donora.
- $N_A, N_D \gg n_i$
- n – tip: $n = N_D, p = n_i^2 / N_D$
- p – tip: $p = N_A, n = n_i^2 / N_A$

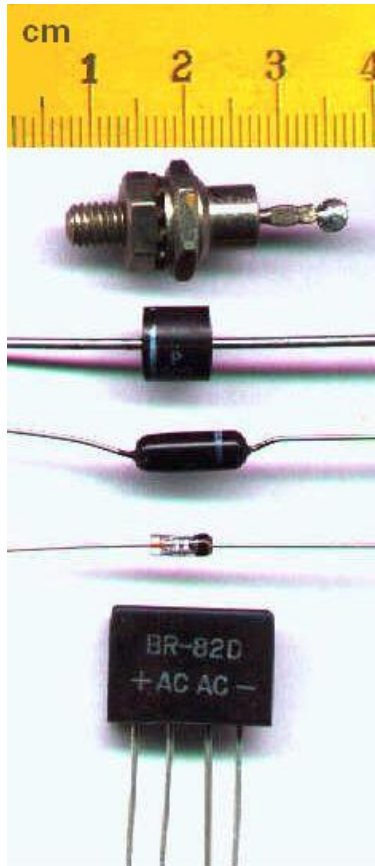
Kretanje nosilaca naelektrisanja

- Drift – kretanje nosilaca naelektrisanja pod dejstvom sila električnog polja
- Difuzija – kretanje nosilaca naelektrisanja usled difuzije (prelaska čestica iz oblasti veće koncentracije u oblast manje koncentracije)

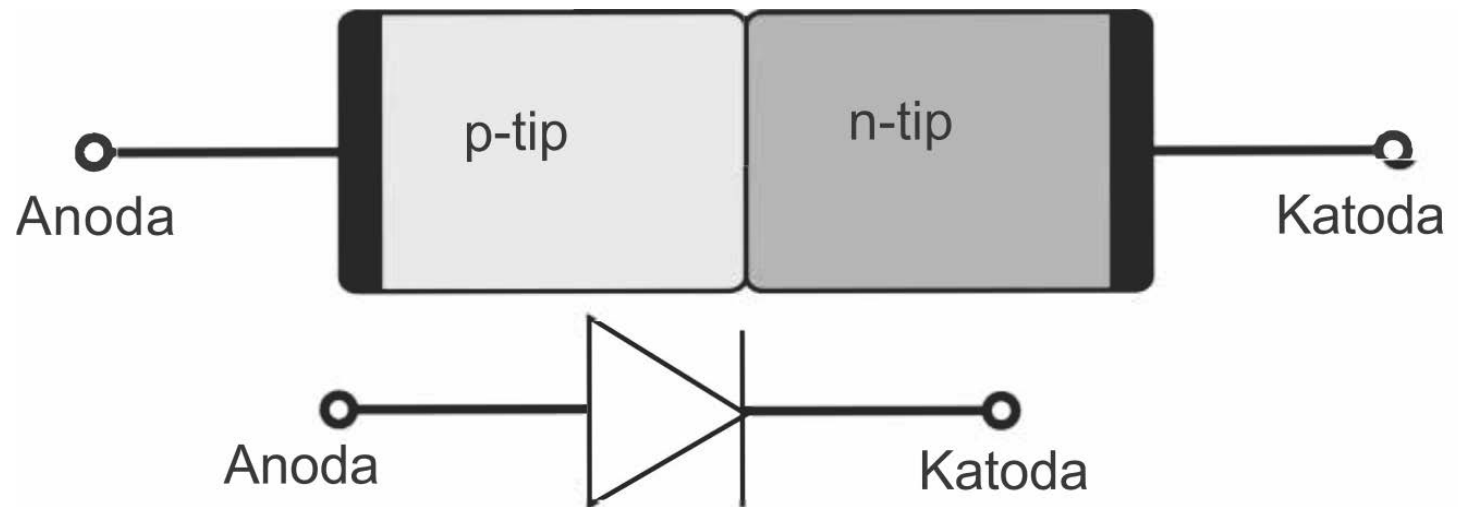
- $\rho = \frac{1}{\mu_n \cdot n \cdot e}$, $\rho = \frac{1}{\mu_p \cdot p \cdot e}$ $R = \rho \cdot \frac{l}{s}$

PN spoj, poluprovodnička dioda

- Dioda je najjednostavniji poluprovodnički element



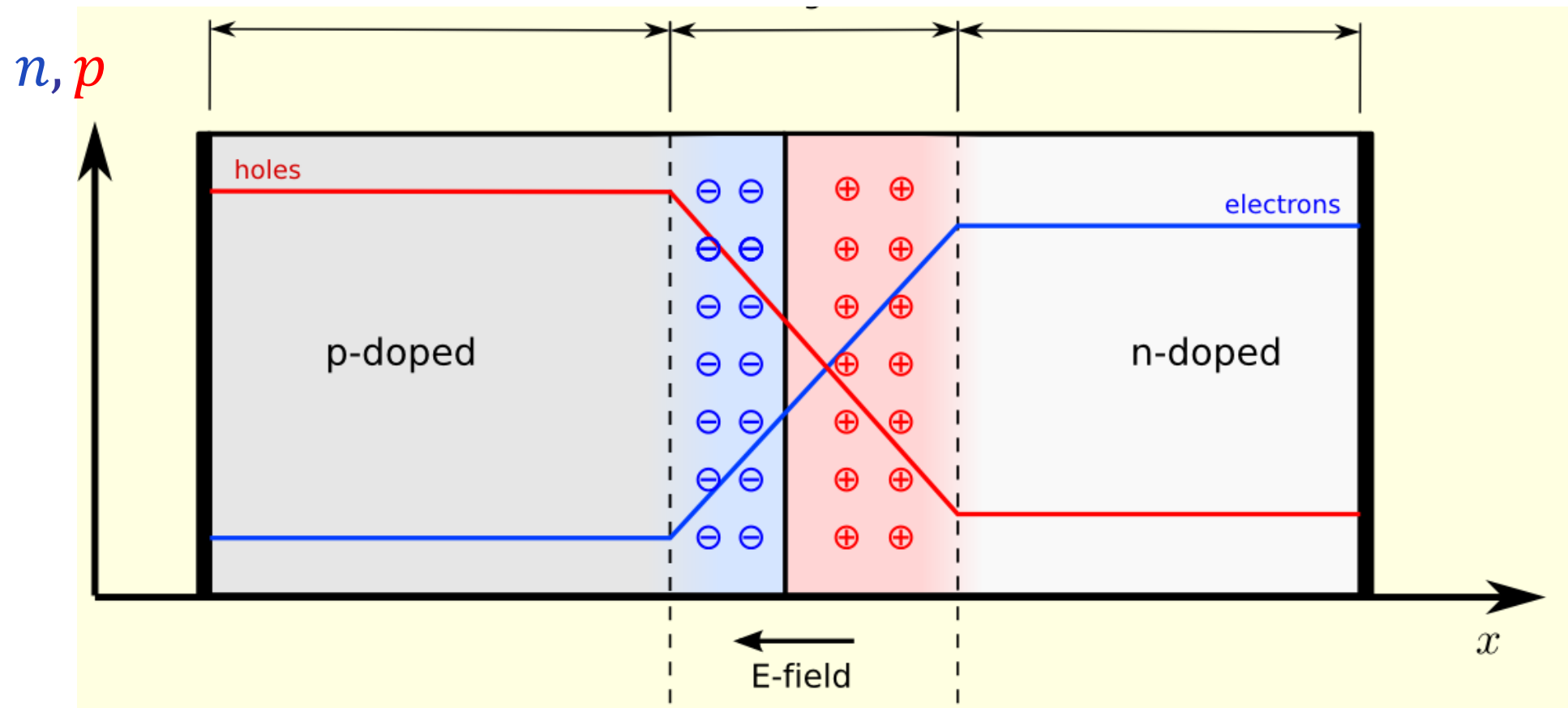
Izvor: Wikipedia.com



PN spoj, poluprovodnička dioda

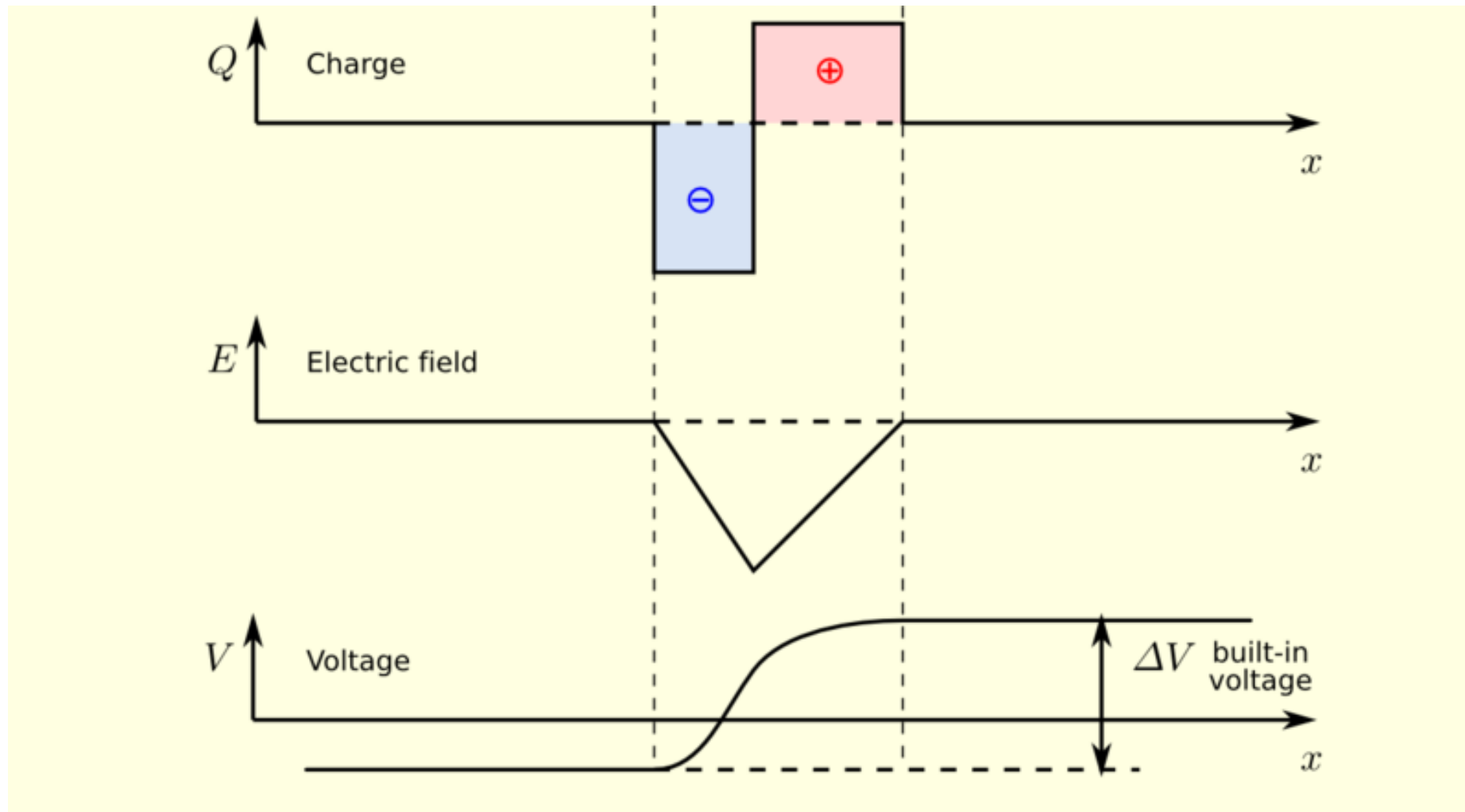
- Napon na diodi je razlika napona na anodi i katodi, $V_d = V_A - V_K$
- PN spoj može biti nepolarisan ($V_d = 0$), direktno polarisan ($V_d > 0$) i inverzno polarisan ($V_d < 0$).

Nepolarisani PN spoj

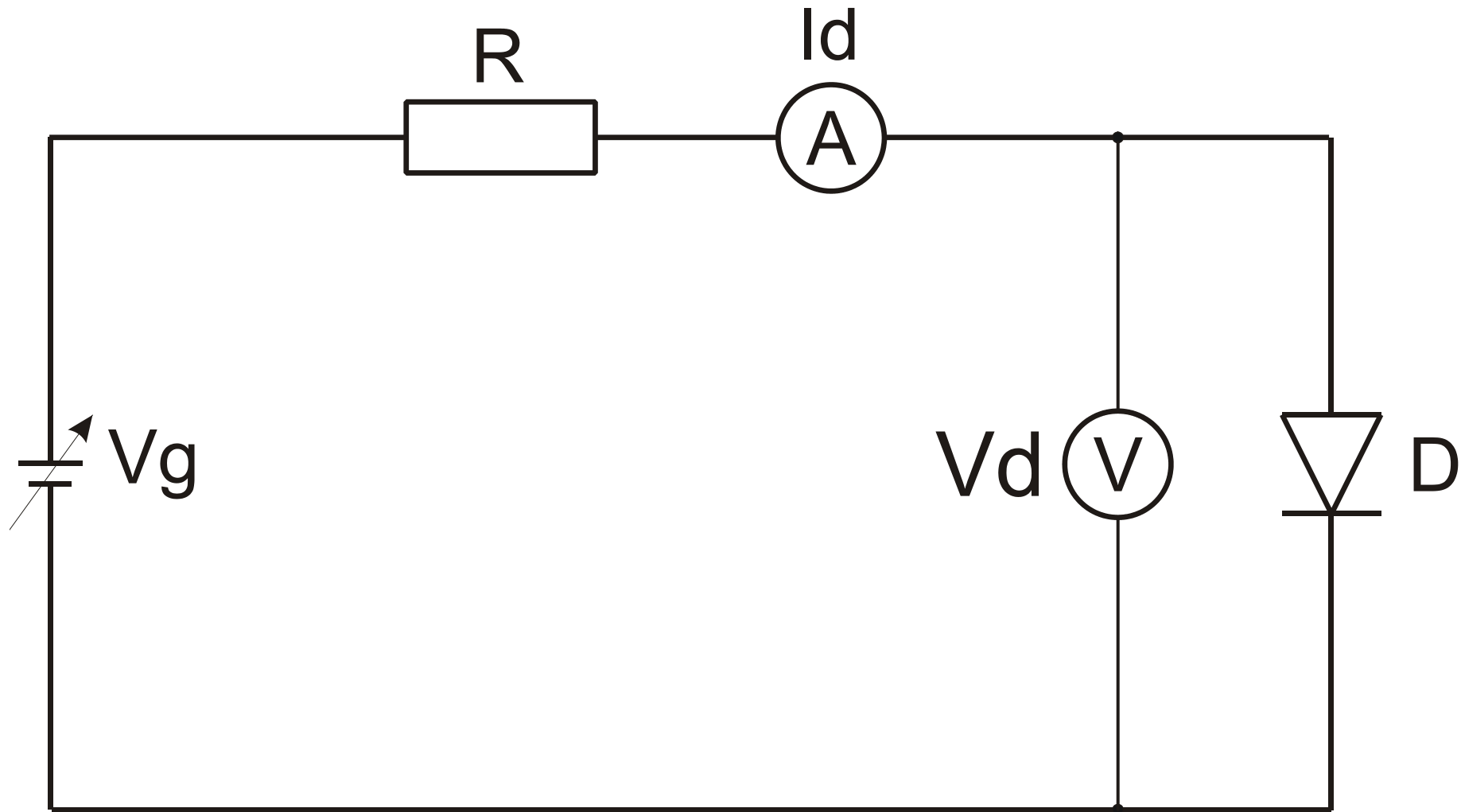


Izvor: Wikipedia.com

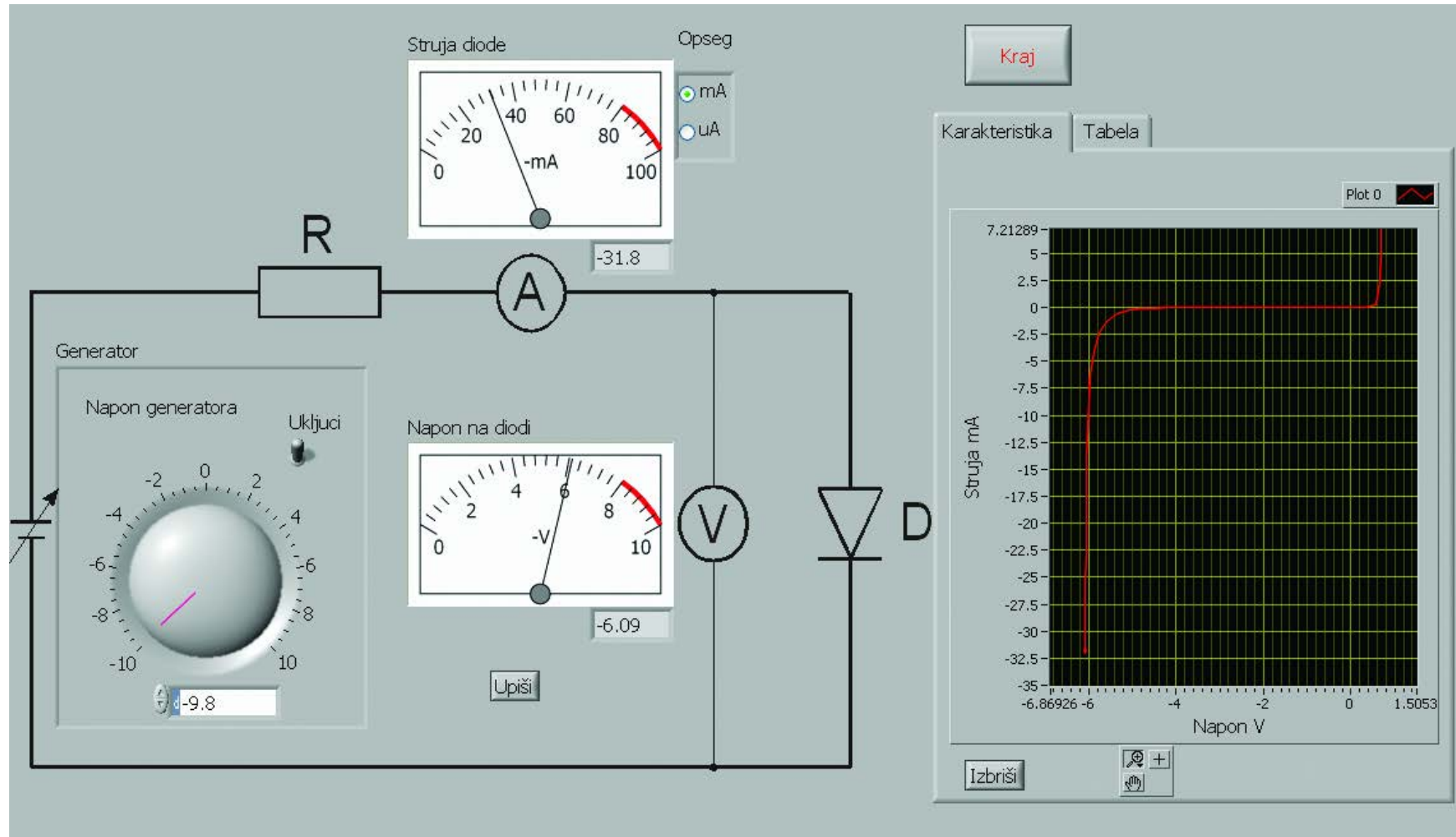
Nepolarisani PN spoj



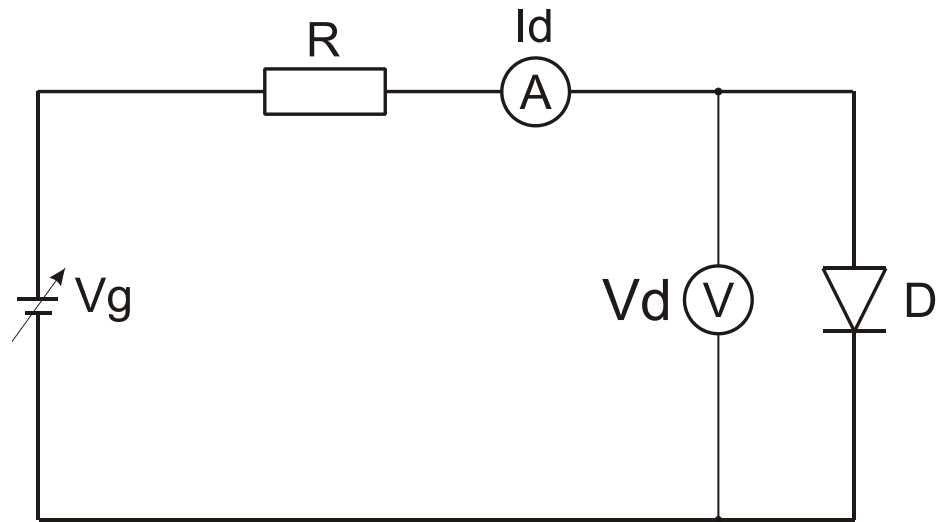
Polarisani PN spoj



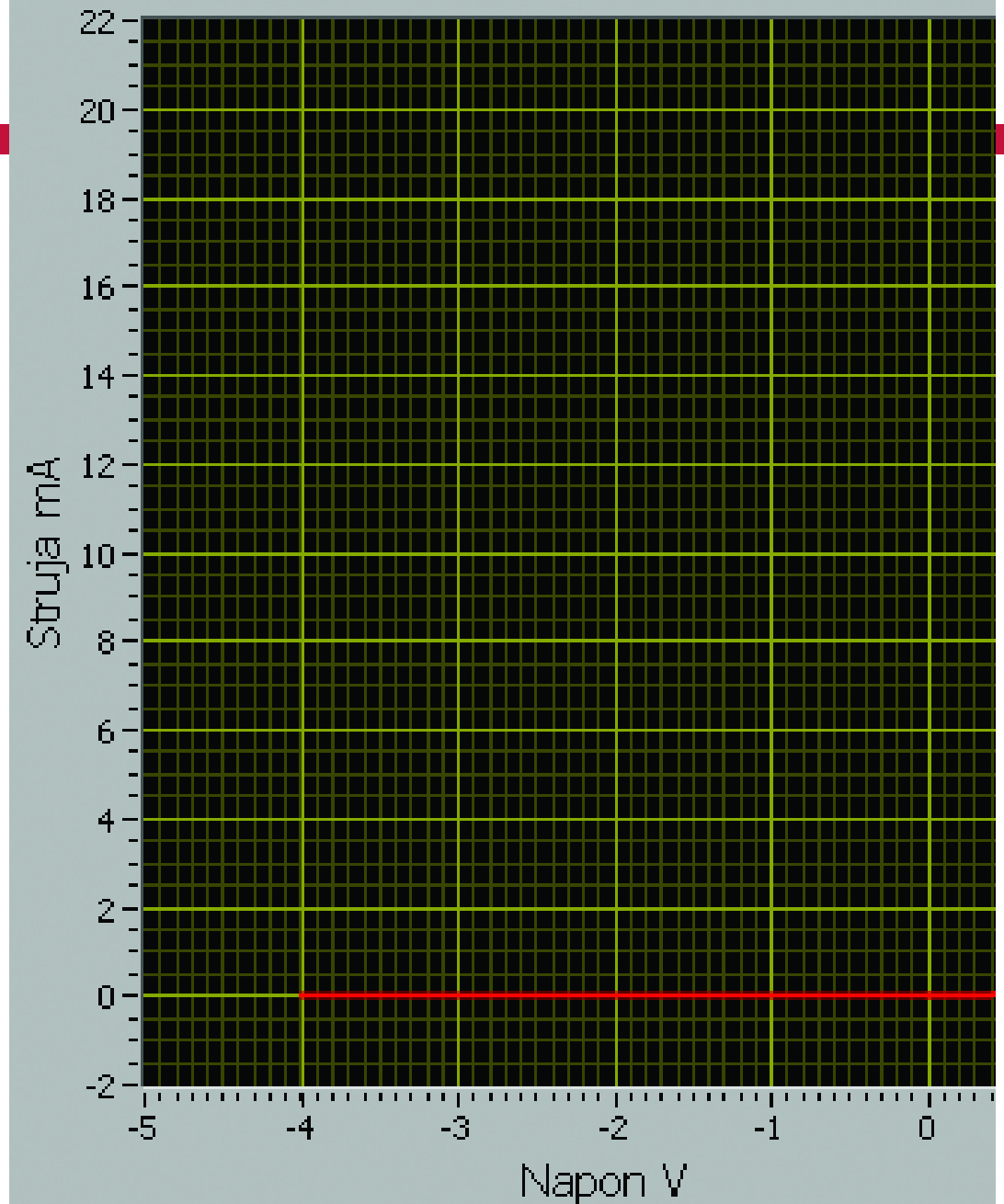
Inverzno polarisani PN spoj



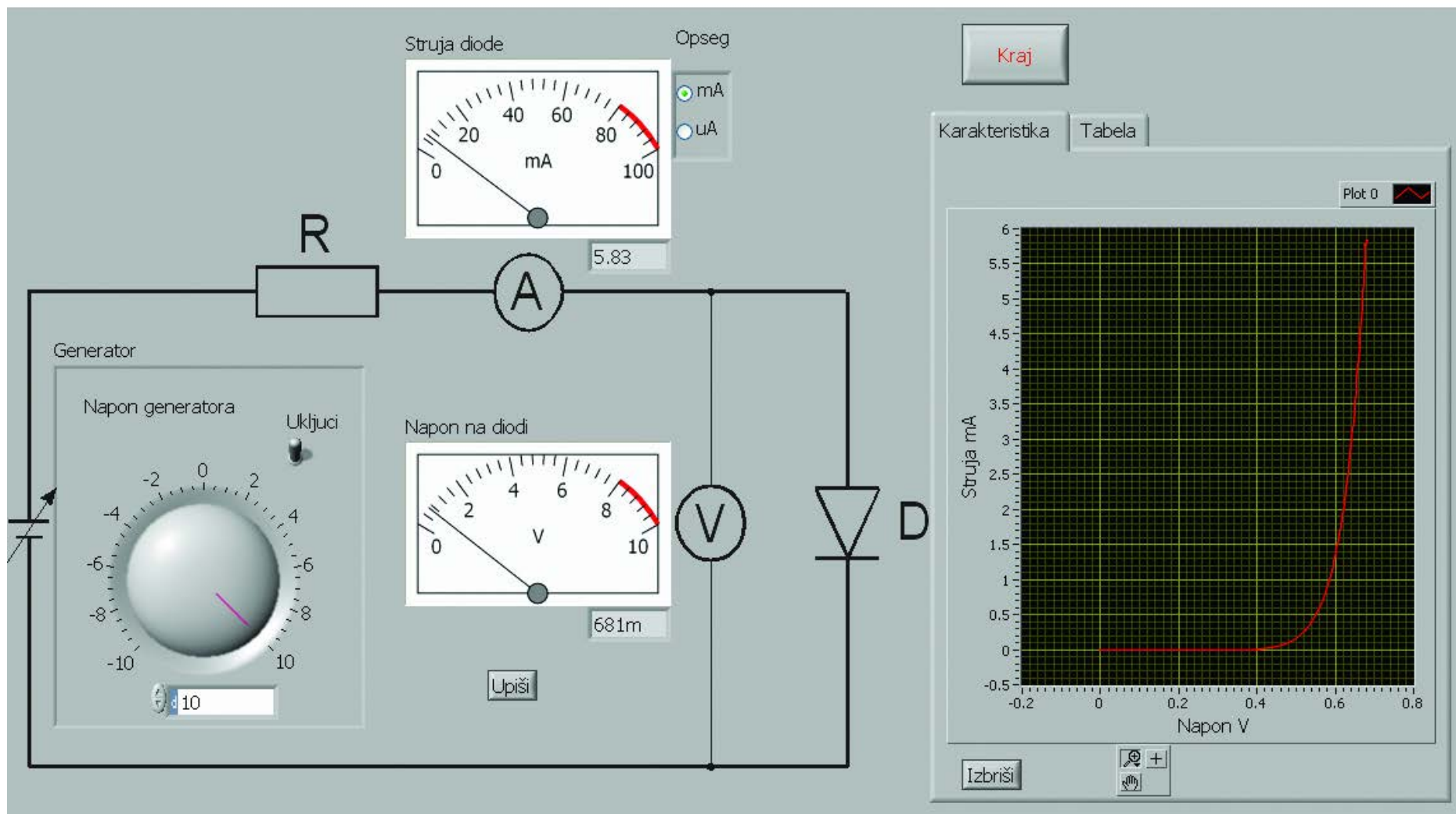
Inverzno polarisani PN spoj



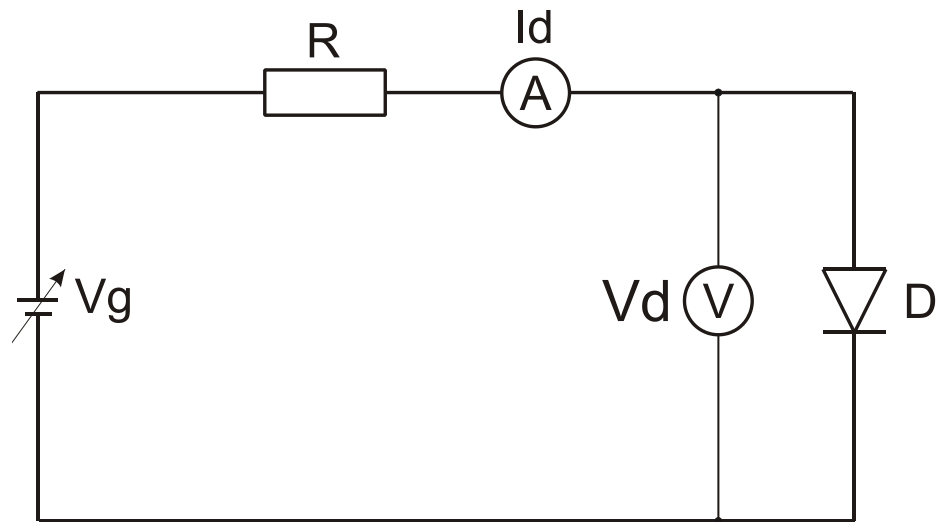
$V_g < 0$



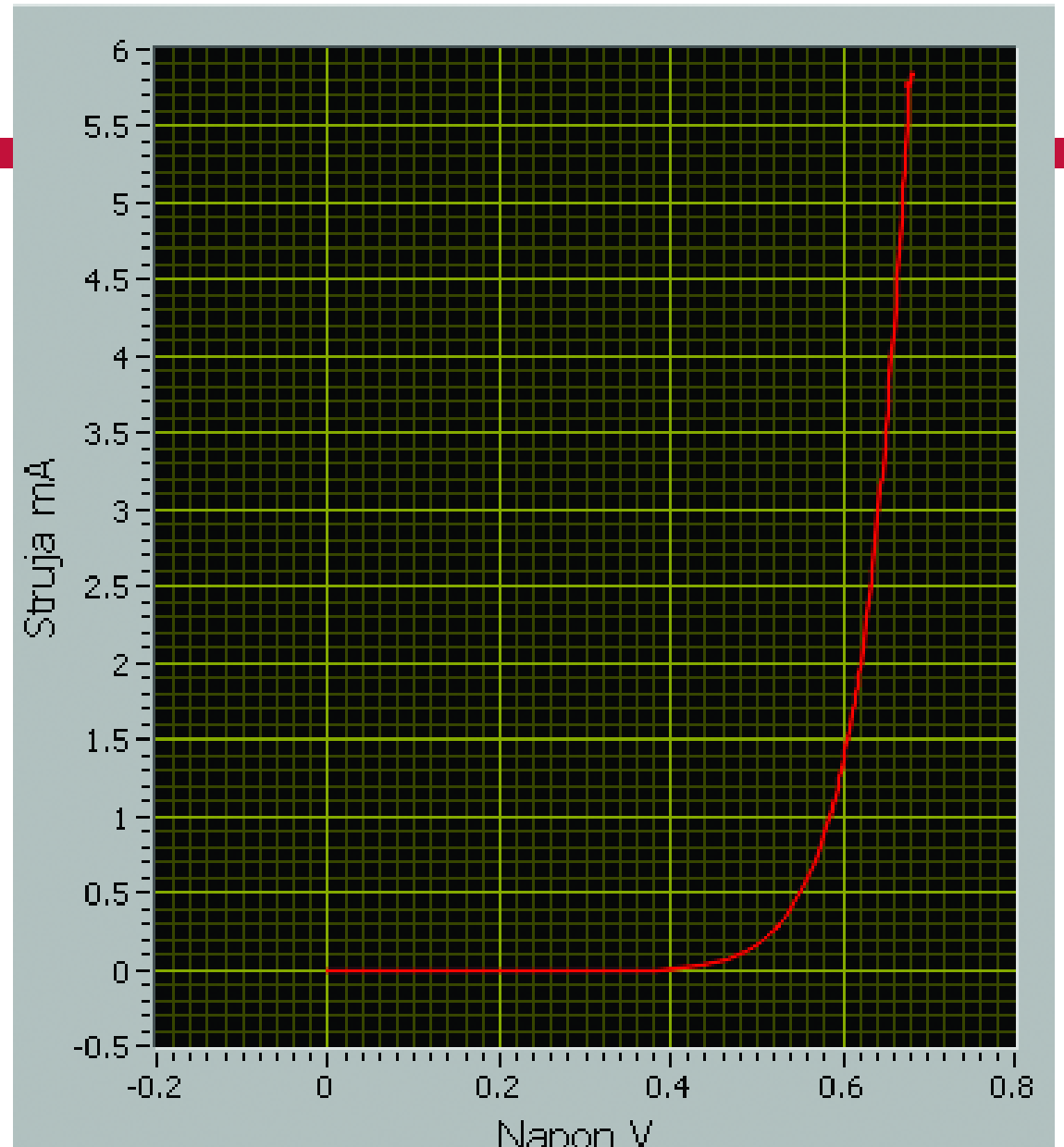
Direktno polarisani PN spoj



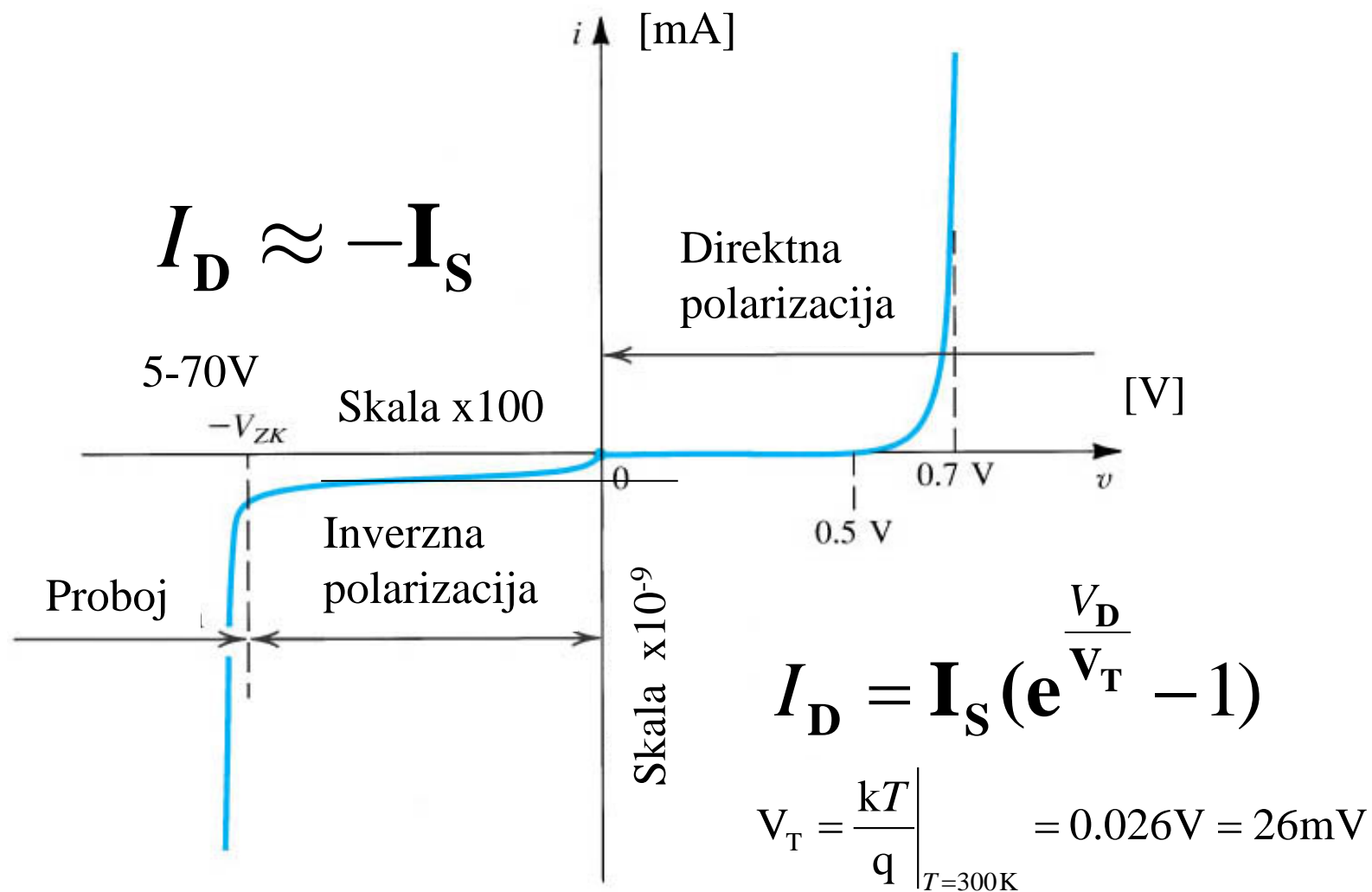
Direktno polarisani PN spoj



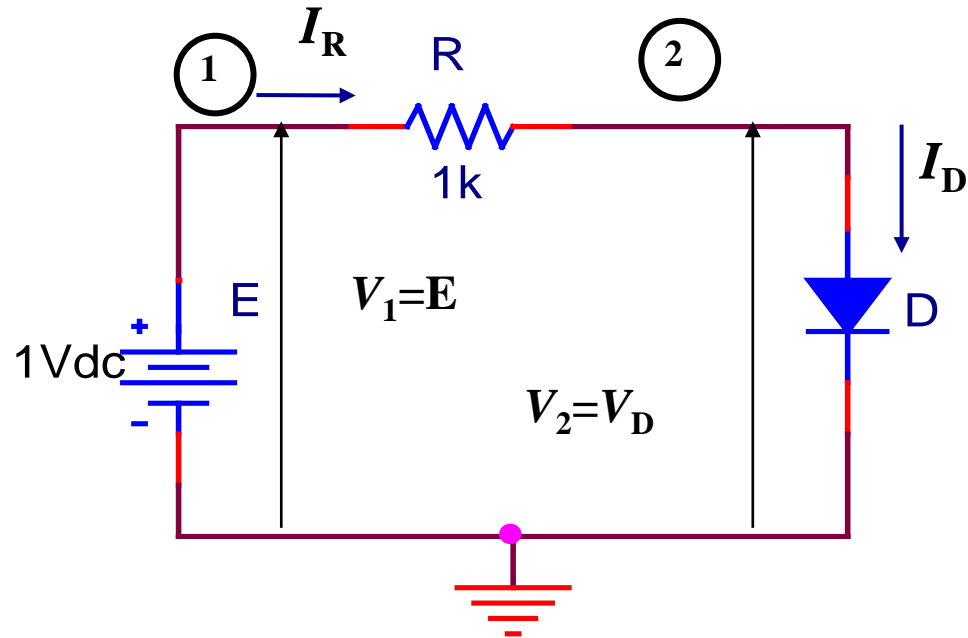
$V_g > 0$



Karakteristika diode



Modeli diode



$$\frac{V_1 - V_2}{R} = I_R$$

$$\frac{V_2 - V_1}{R} + I_D(V_D) = 0$$

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

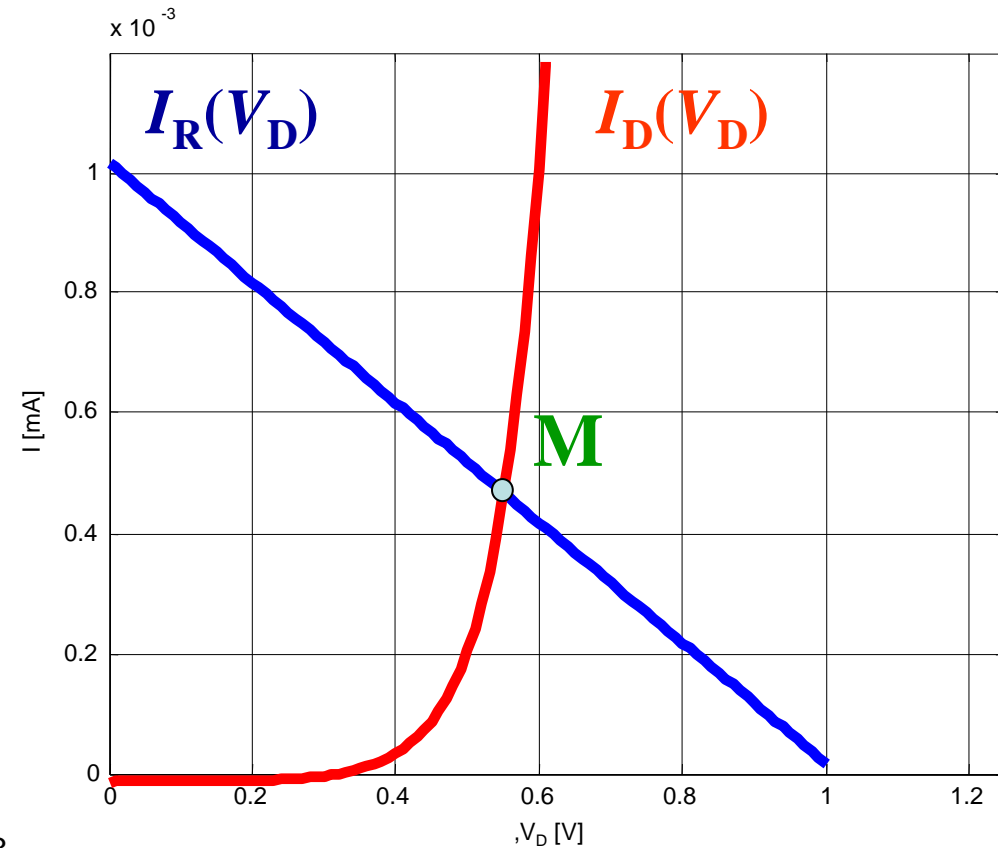
$$V_D = ?$$

Modeli diode

- Grafička interpretacija problema

$$\frac{E - V_D}{R} = I_R$$

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

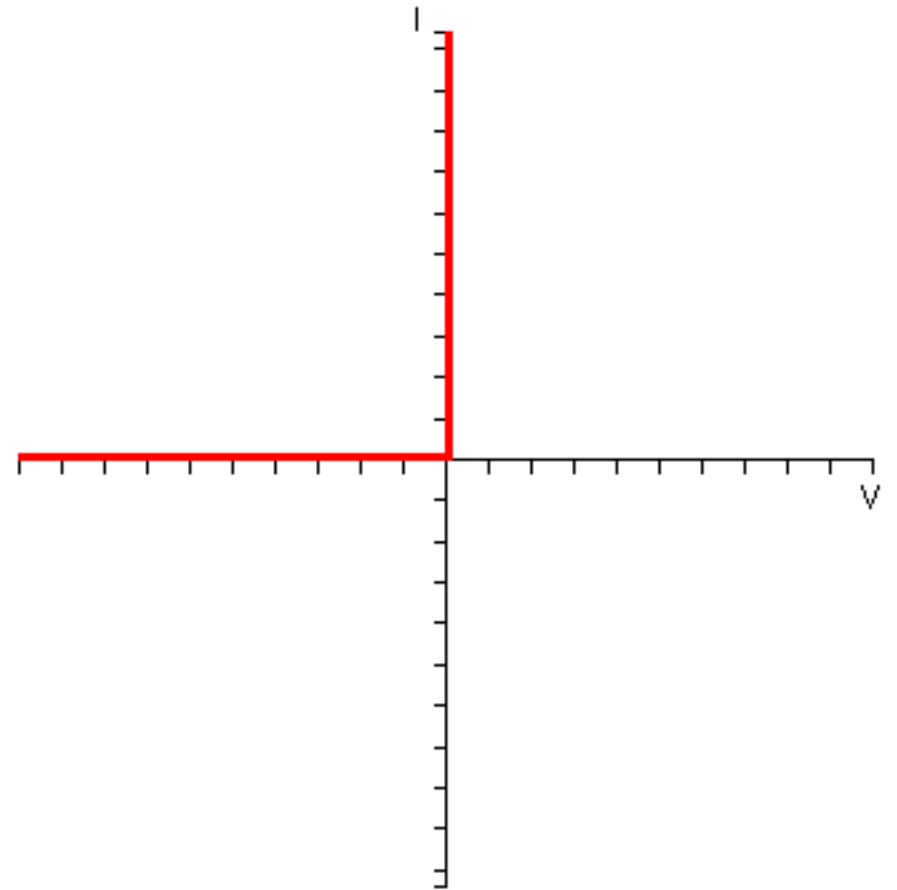


Modeli diode

- Karakteristika diode je nelinearna
- Neophodno je primeniti numerički metod za rešavanje sistema nelinearnih jednačina ili primeniti neki model koji je jednostavniji (linearan)
- Tri modela diode: model idealne diode, model konstantnog napona i model eksponencijalne zavisnosti struje

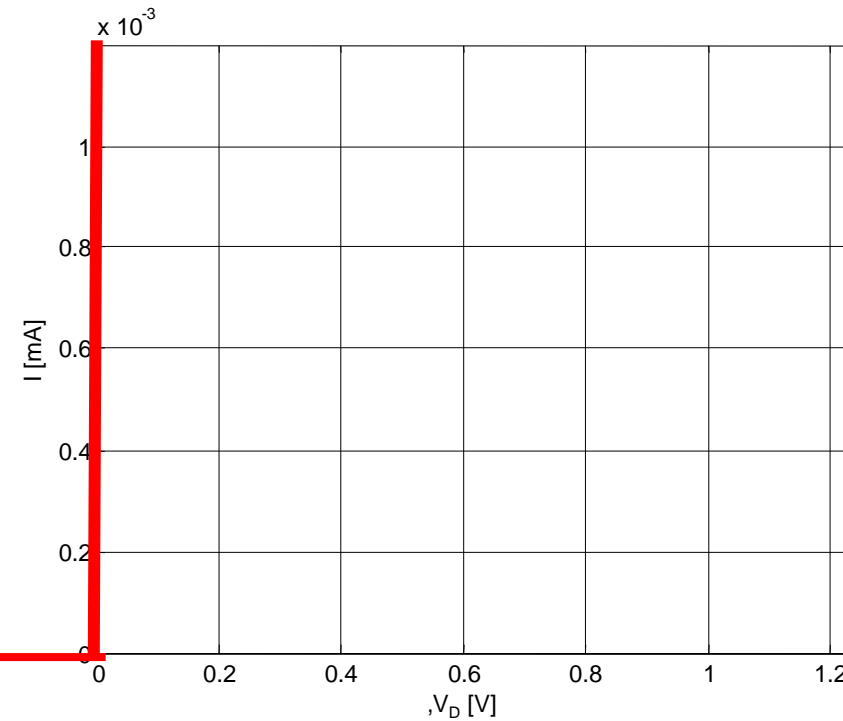
Modeli diode – idealna dioda

- Dioda vodi kada je direktno polarisana – kratak spoj, kada je inverzno polarisana ne vodi – prekid u kolu



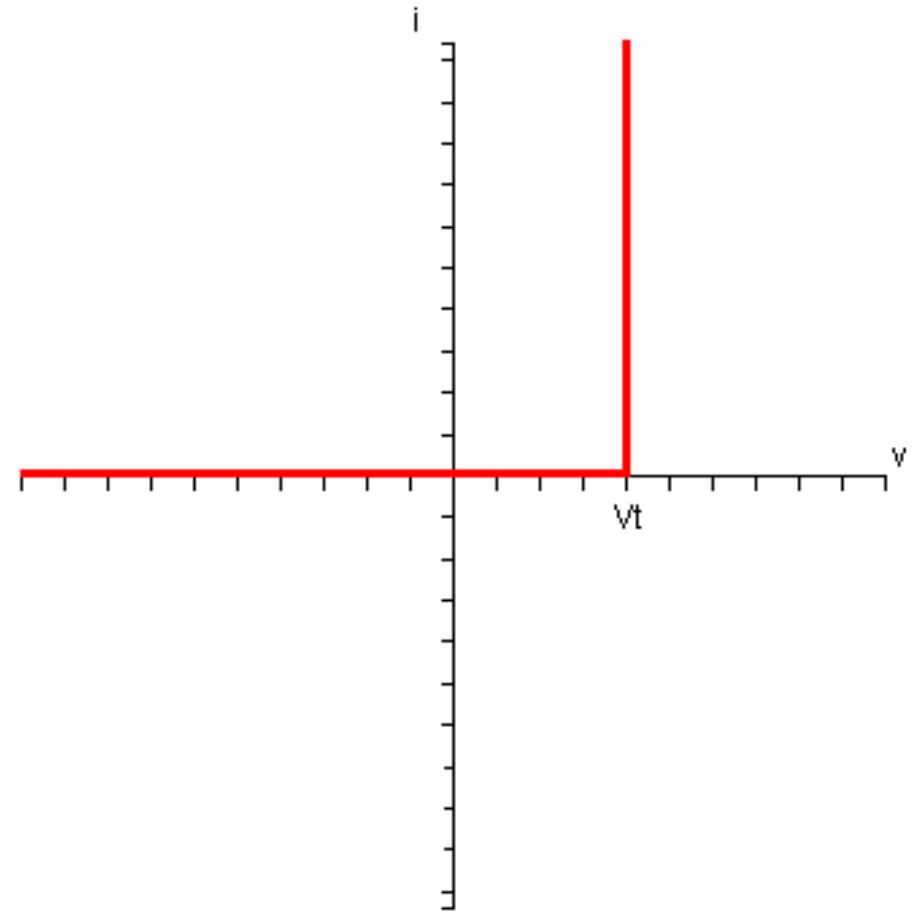
Modeli diode – idealna dioda

$$I_D = 0 \quad \text{za } V_D < V_\gamma = 0V$$

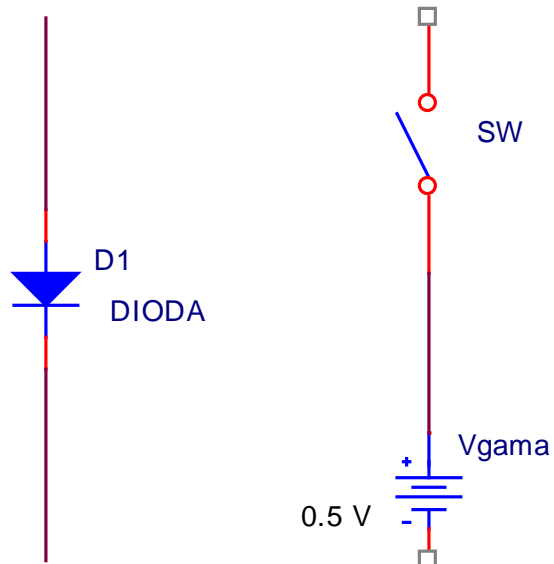


Modeli diode – model konstantnog napona

- Dioda vodi kada je direktno polarisana – idealni naponski generator, kada je inverzno polarisana ne vodi – prekid u kolu

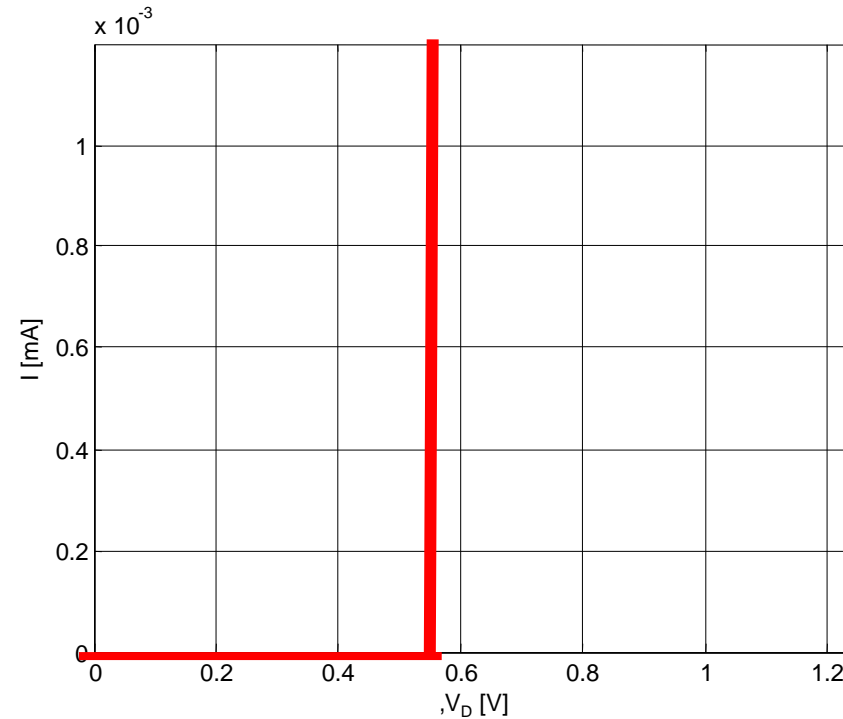


Modeli diode – model konstantnog napona



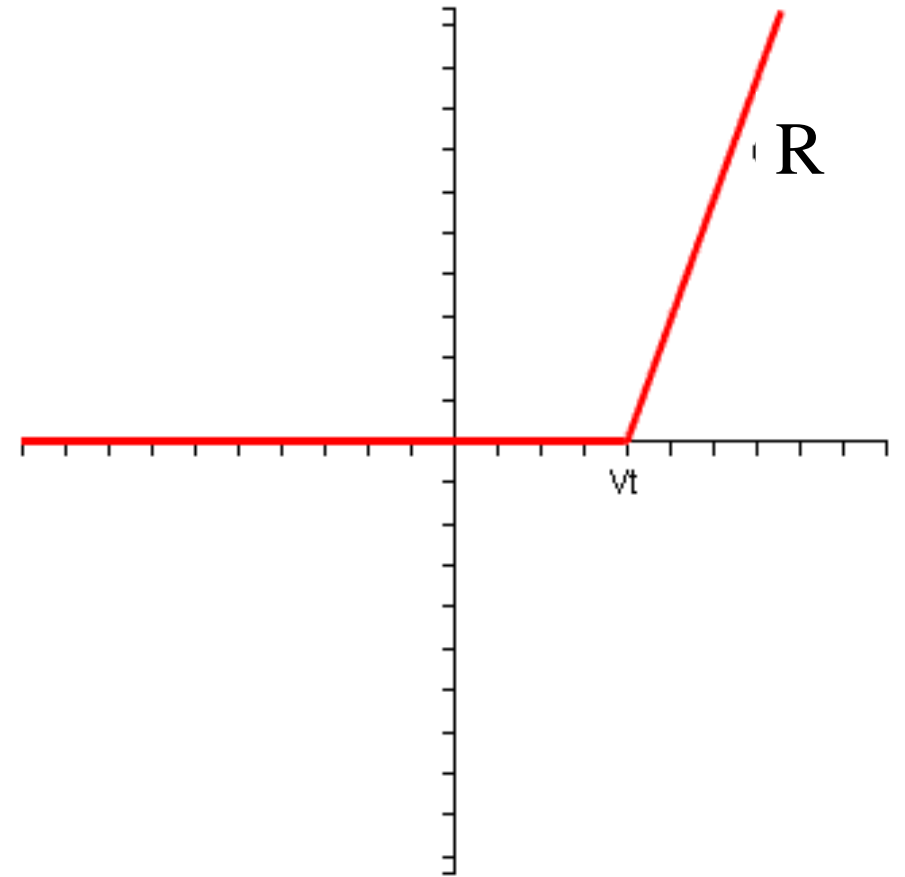
$$I_D = 0 \quad \text{za } V_D < V_\gamma = 0.55\text{V}$$

$$V_D = V_\gamma \quad \text{za } V_D \geq V_\gamma$$

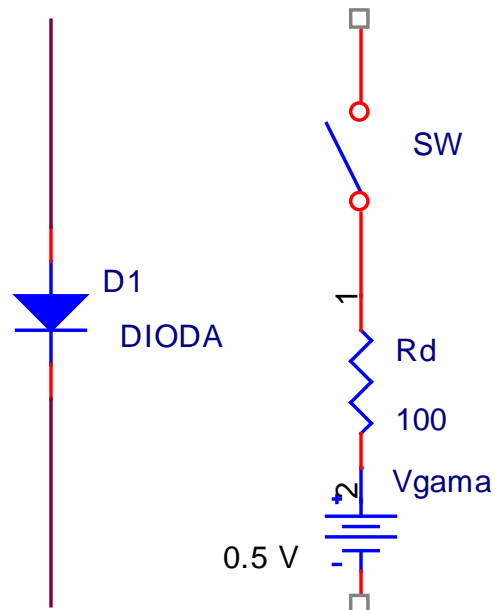


Modeli diode – model konstantnog napona

- Dioda vodi kada je direktno polarisana – realni naponski generator, kada je inverzno polarisana ne vodi – prekid u kolu

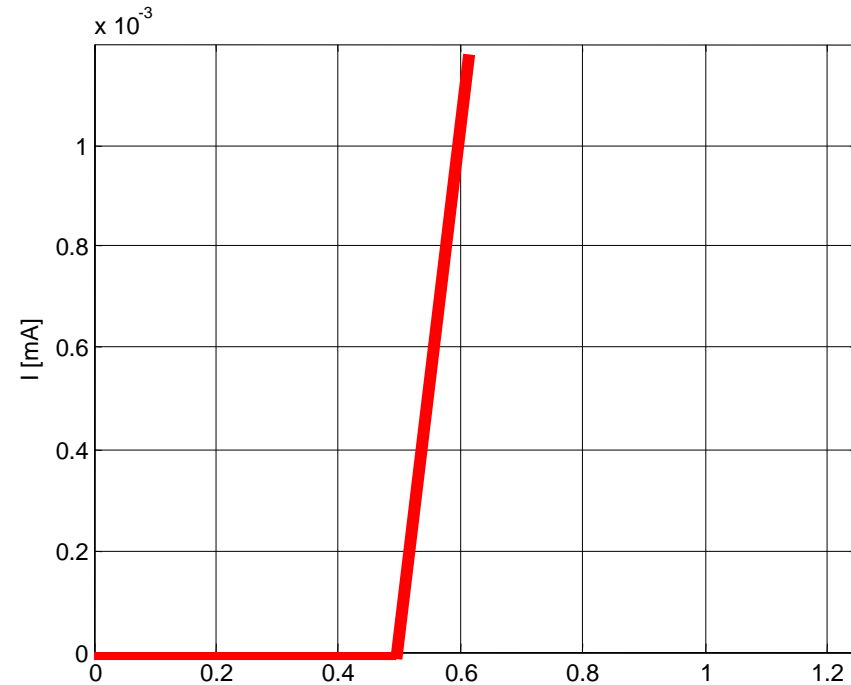


Modeli diode – model konstantnog napona



$I_D = 0$ za $V_D < V_\gamma = 0.5V$

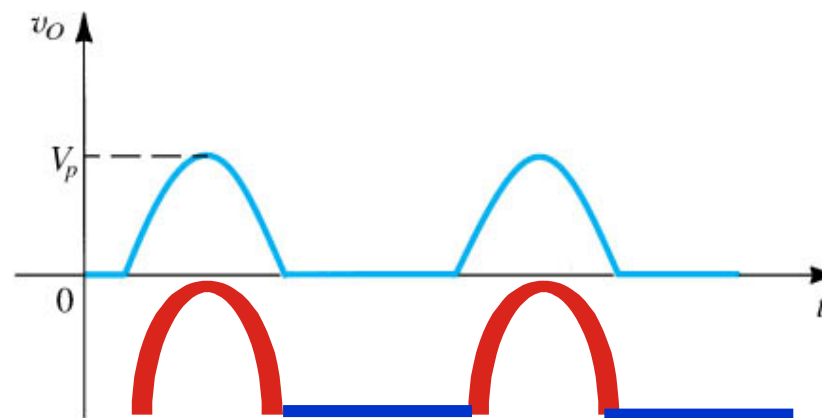
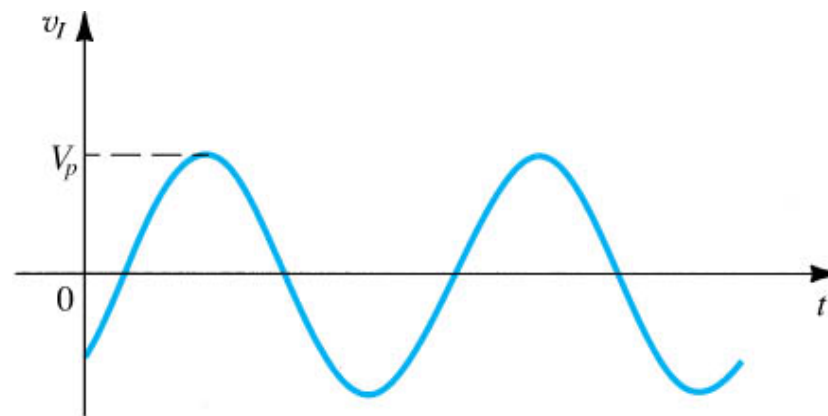
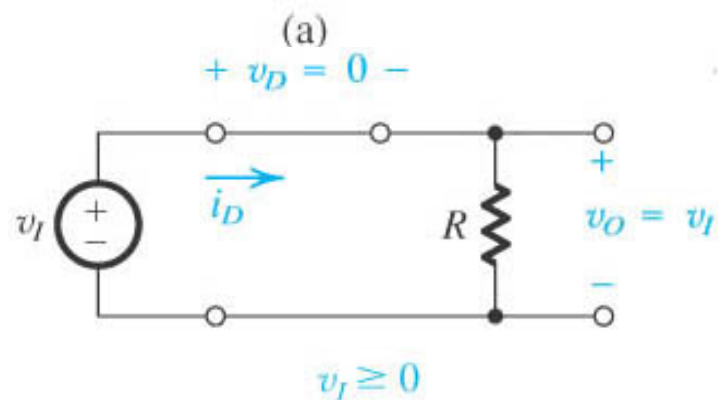
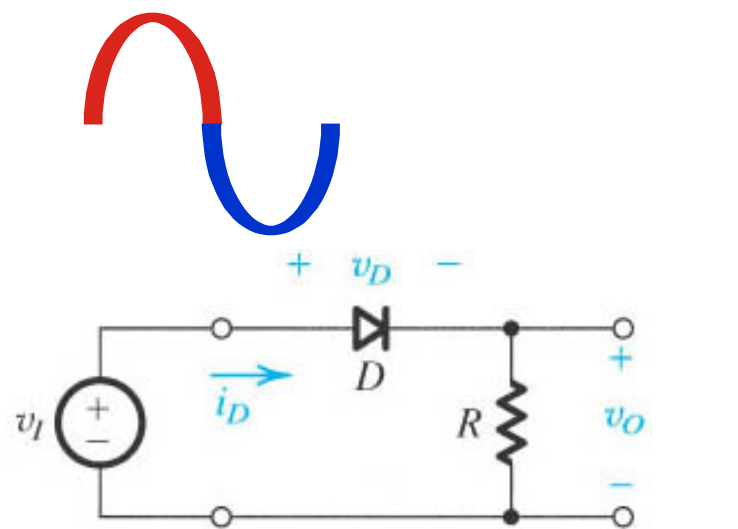
$$I_D = \frac{V_D}{R_d} \text{ za } V_D > V_\gamma$$



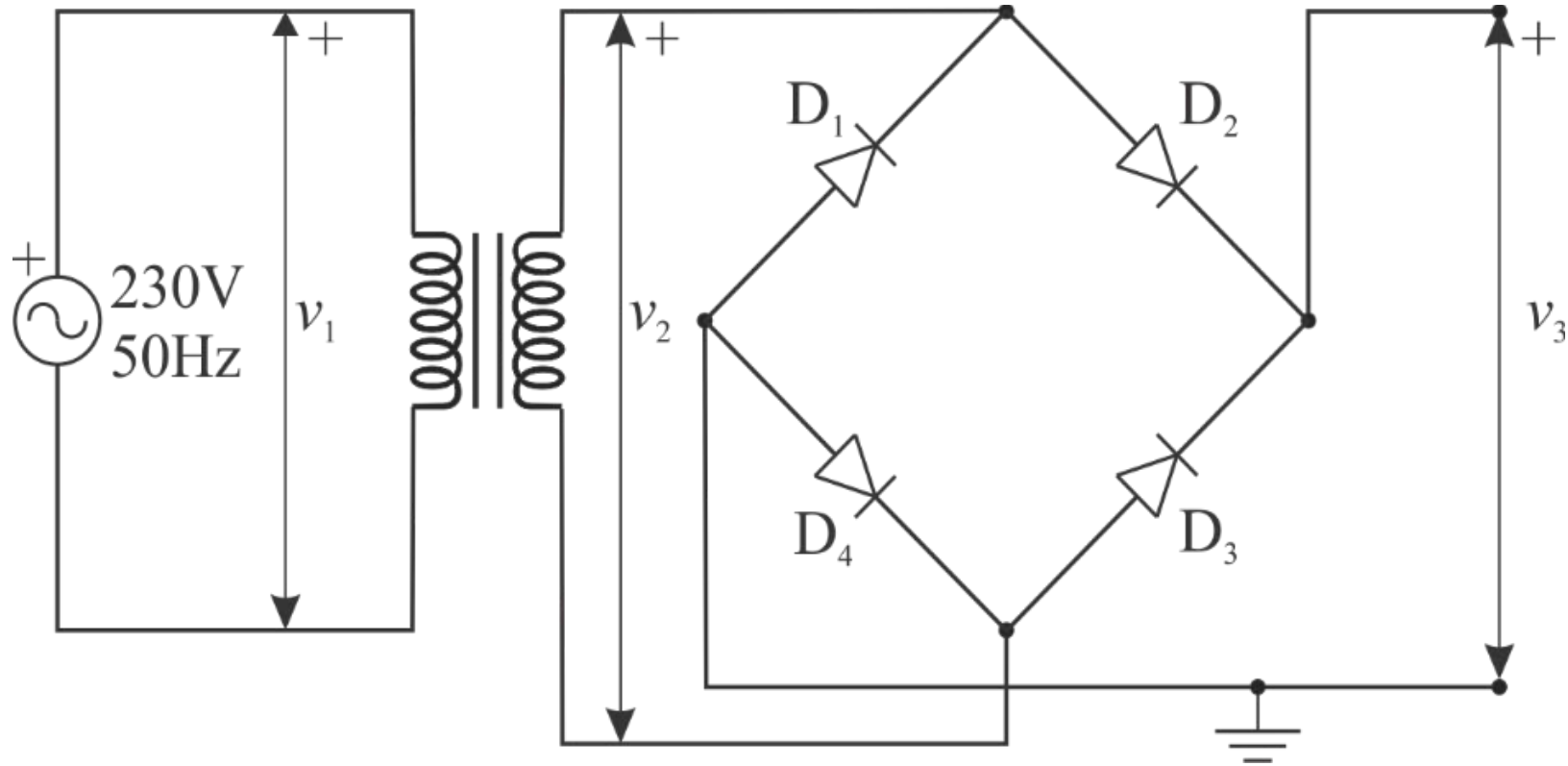
Primena dioda – usmeravanje

- Osobina diode da provodi samo kada je direktno polarisana se može iskoristiti za konstrukciju kola koje pretvara naizmenični napon u jednosmerni
- Ovakva kola se nazivaju usmerači napona
- Postoje dve vrste usmerača – polutalasni i punotalasni

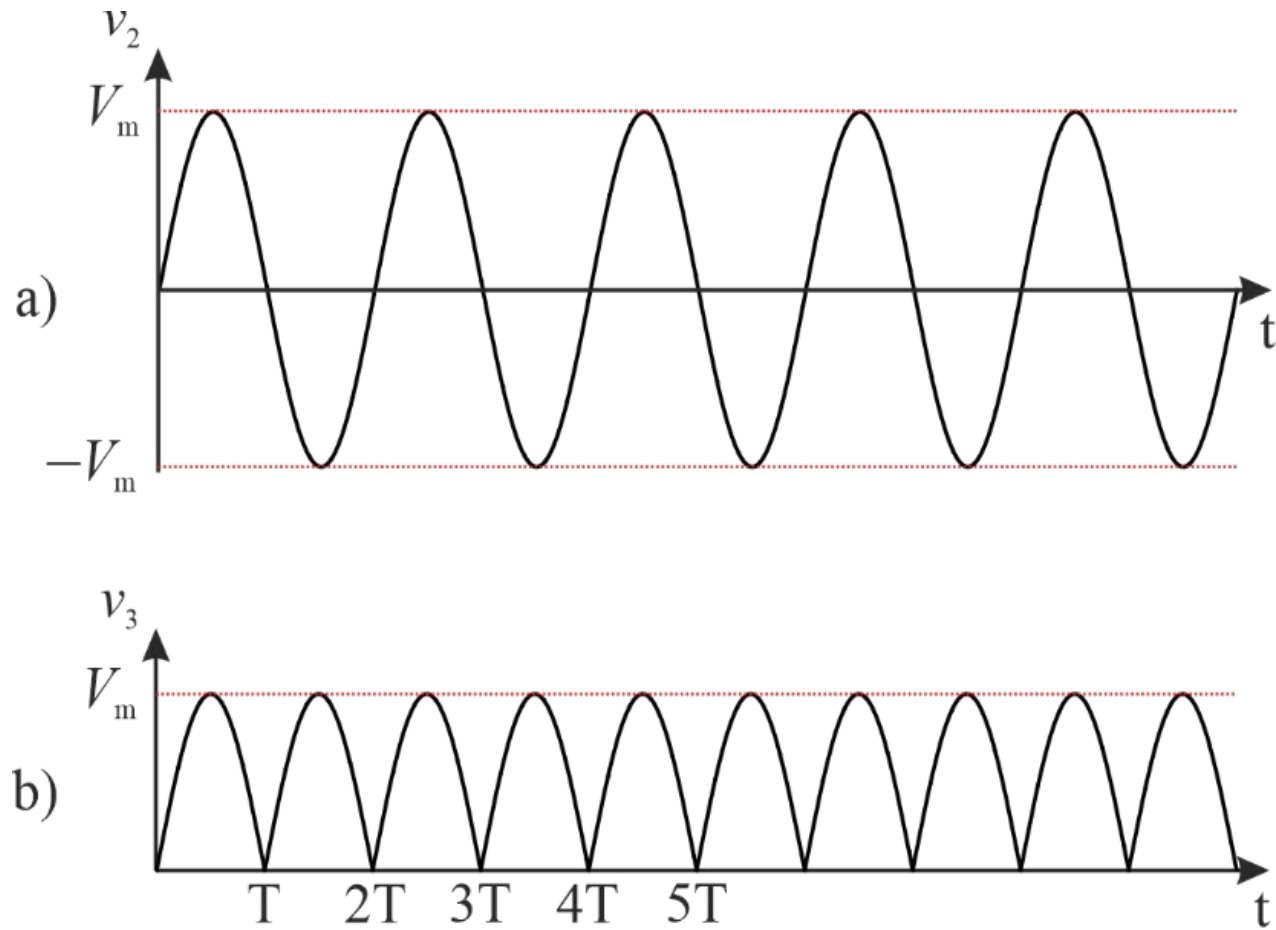
Primena dioda – polutalasno usmeravanje



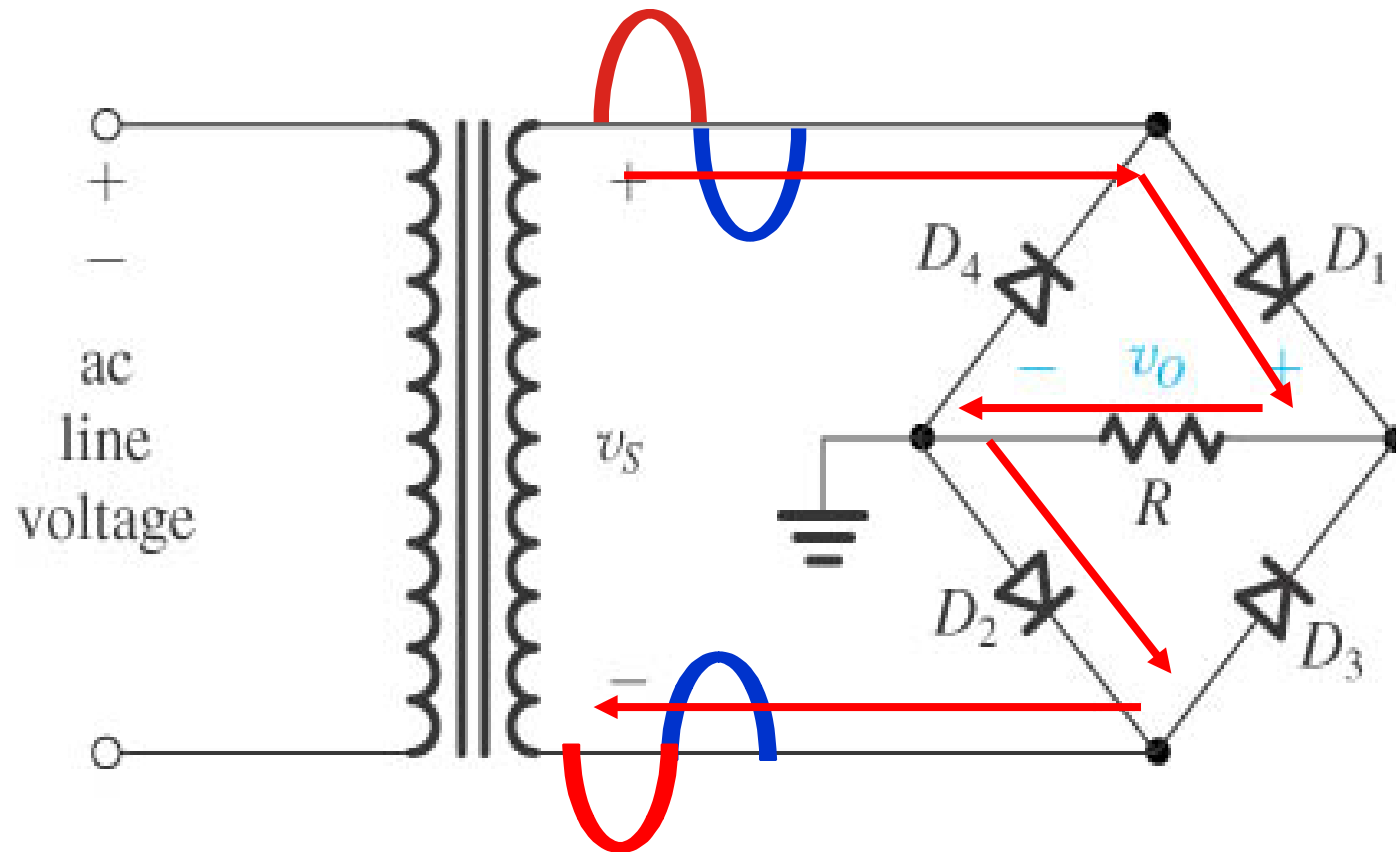
Primena dioda – punotalasno usmeravanje



Primena dioda – punotalasno usmeravanje



Primena dioda – punotalasno usmeravanje



Primena dioda – punotalasno usmeravanje

