

Uvod u elektroniku
13E041UE

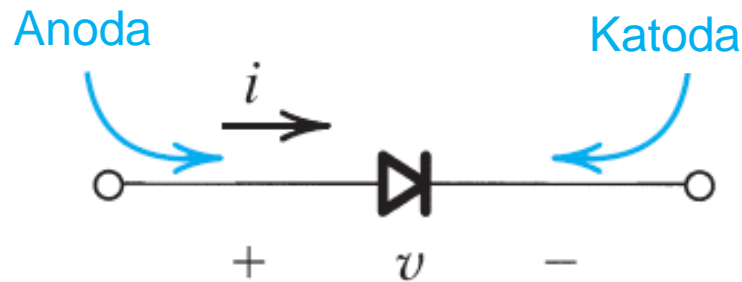
Dioda

Cilj predavanja:

Upoznavanje sa diodom. Osnovni modeli rada diode.
Ispravljačka kola bazirana na diodama. Kola za
ograničavanje napona.

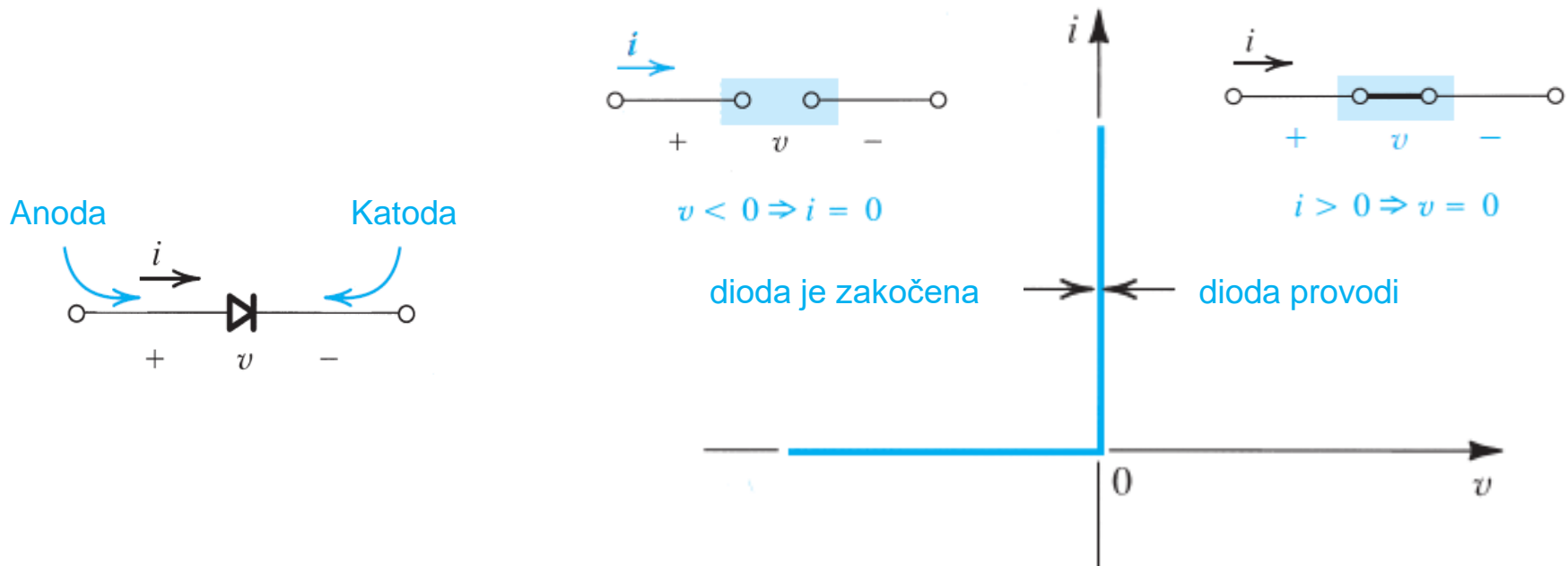
Šta je dioda?

- Elektronska komponenta sa dve elektrode (anoda i katoda) koja provodi struju samo u jednom smeru, i to od anode ka katodi.

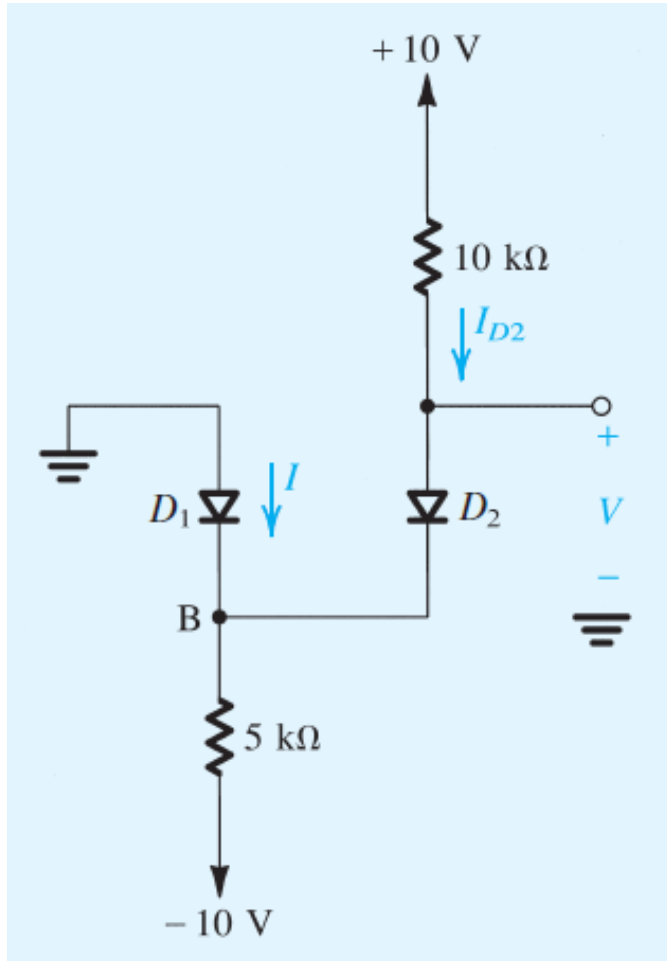


Model idealne diode

- Dioda je poluprovodnička komponenta i provodi struju samo u jednom smeru. Provodna dioda se ponaša kao kratak spoj. Ukoliko je napon na njenim priključcima negativan dioda je zakočena i ponaša se kao otvorena veza.



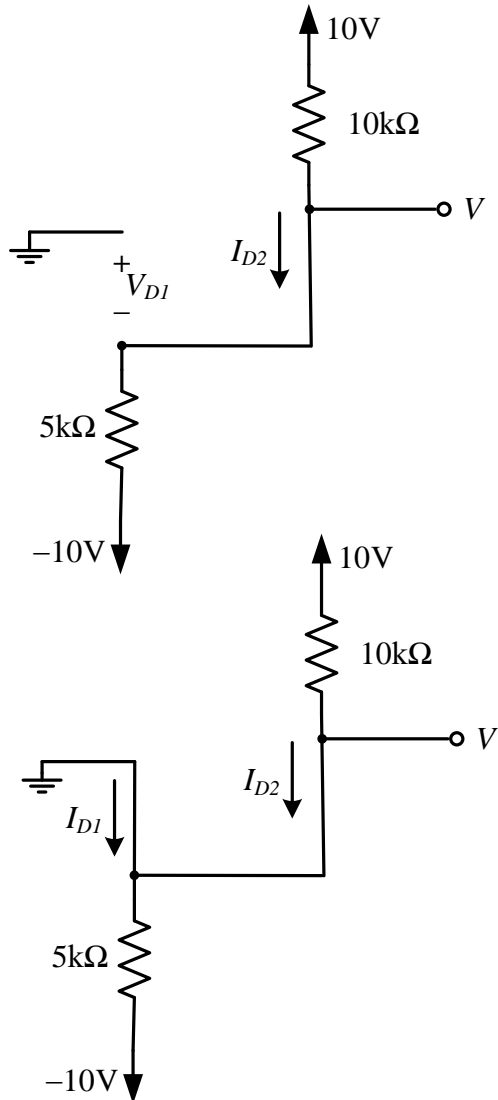
Analiza kola sa idealnim diodama



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.

Analiza kola sa idealnim diodama



Pretpostavka 1: D1 – zakočena i D2 – vodi

$$I_{D2} = \frac{10 - (-10V)}{10k\Omega + 5k\Omega} = 1.33\text{mA}$$

$$V_{D1} = 0 - (-10V + I_{D2} \cdot 5k\Omega) = 3.35V > 0$$

U kontradikciji sa pretpostavkom da je dioda D1 zakočena!

Pretpostavka 2: D1 – vodi i D2 – vodi

$$I_{D2} = \frac{10V}{10k\Omega} = 1\text{mA}$$

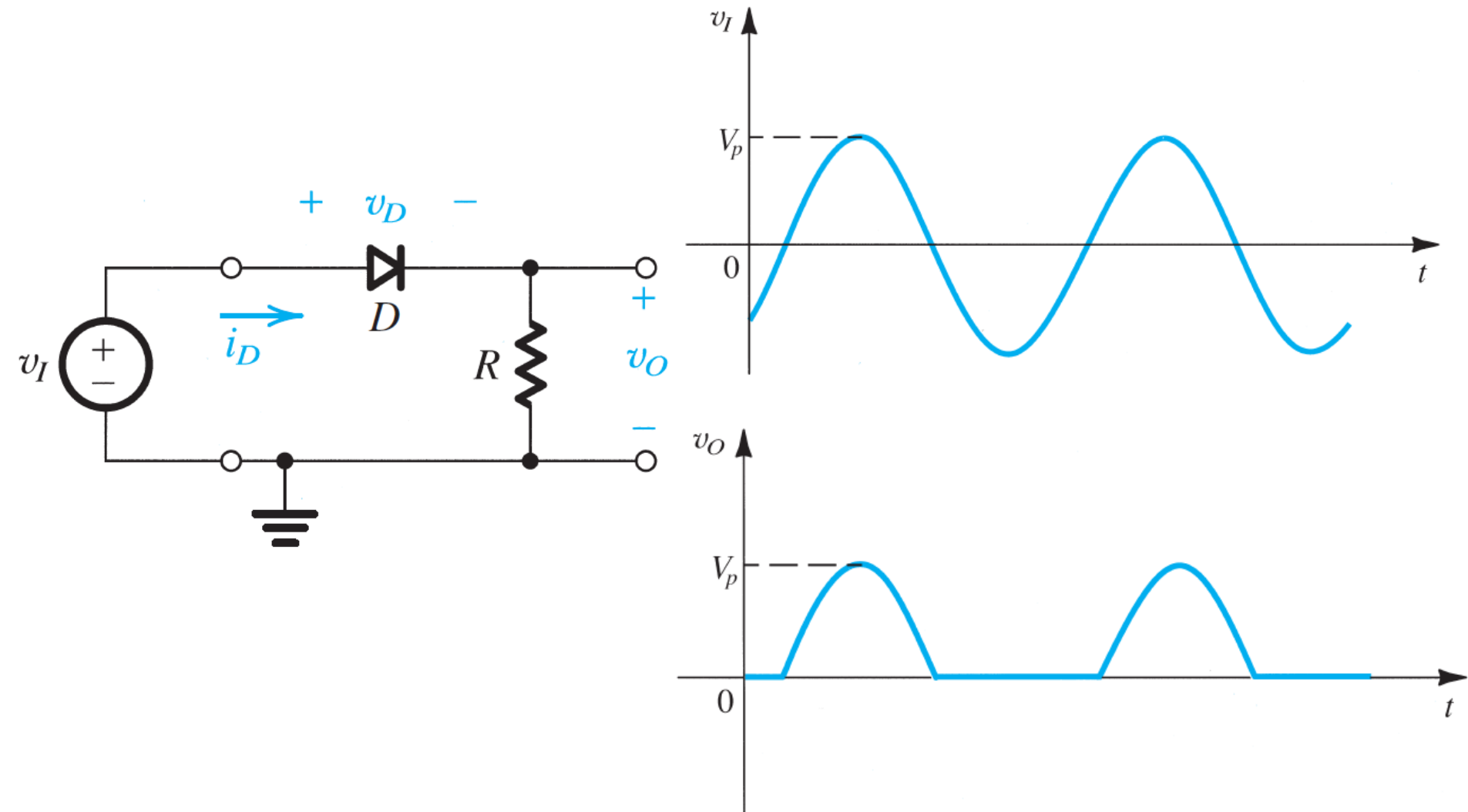
$$I_{D1} + I_{D2} = \frac{0 - (-10V)}{5k\Omega} = 2\text{mA} \Rightarrow I_{D2} = 1\text{mA}$$

$I_{D1} > 0$ $I_{D2} > 0$ **Nema kontradikcije sa pretpostavkom da**

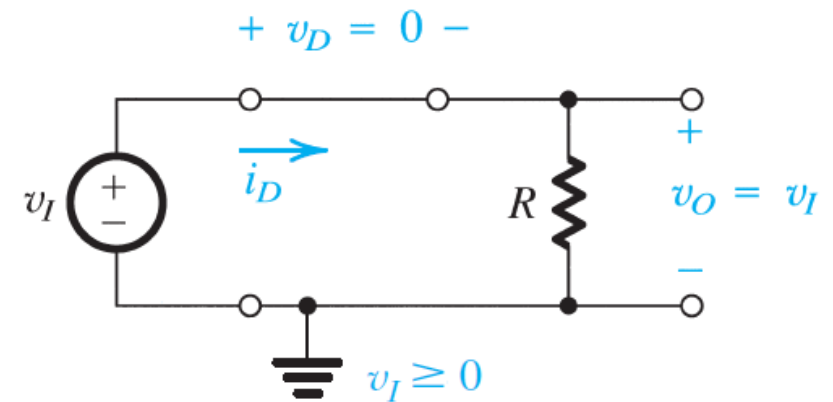
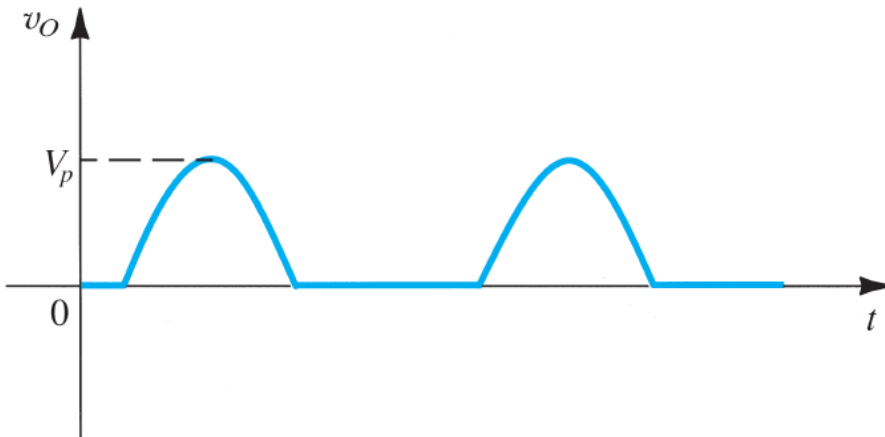
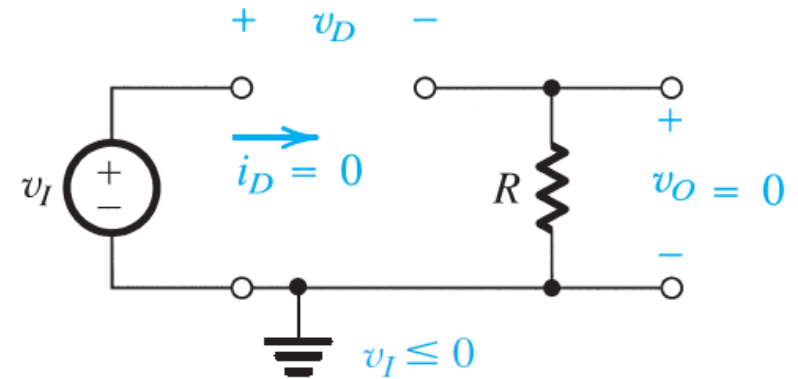
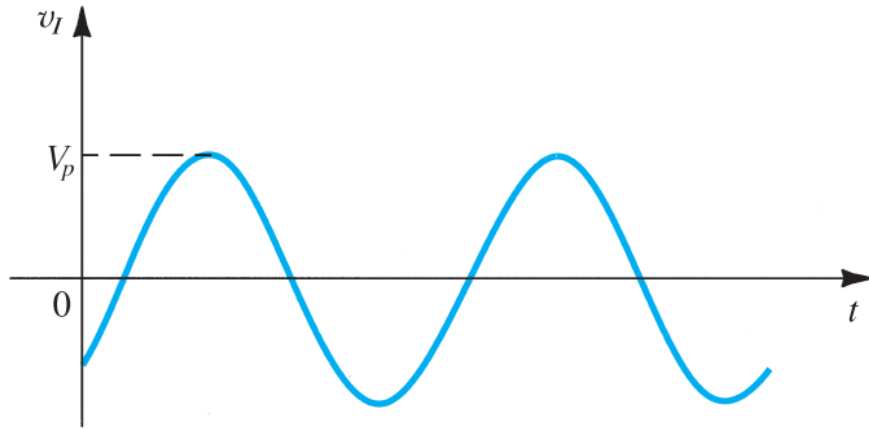
$V_{D1} = V_{D2} = 0$ **obe diode provode!**

$$V = 0$$

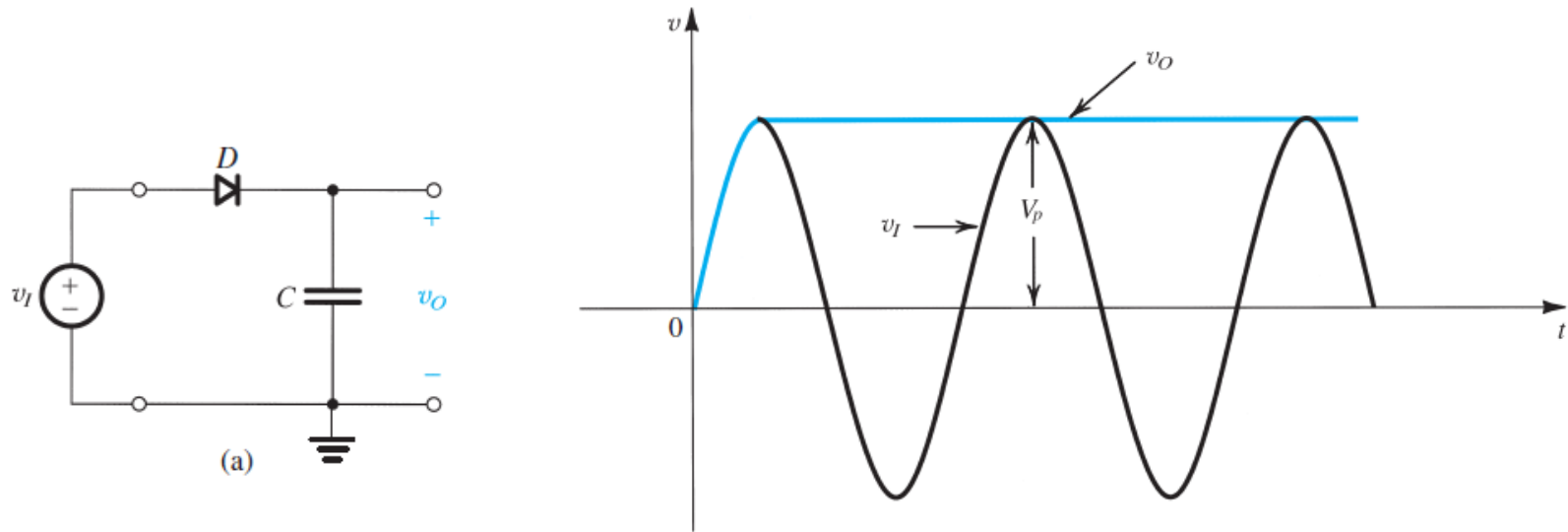
Jednostrani ispravljač sa idealnim diodama



Jednostrani ispravljač sa idealnim diodama

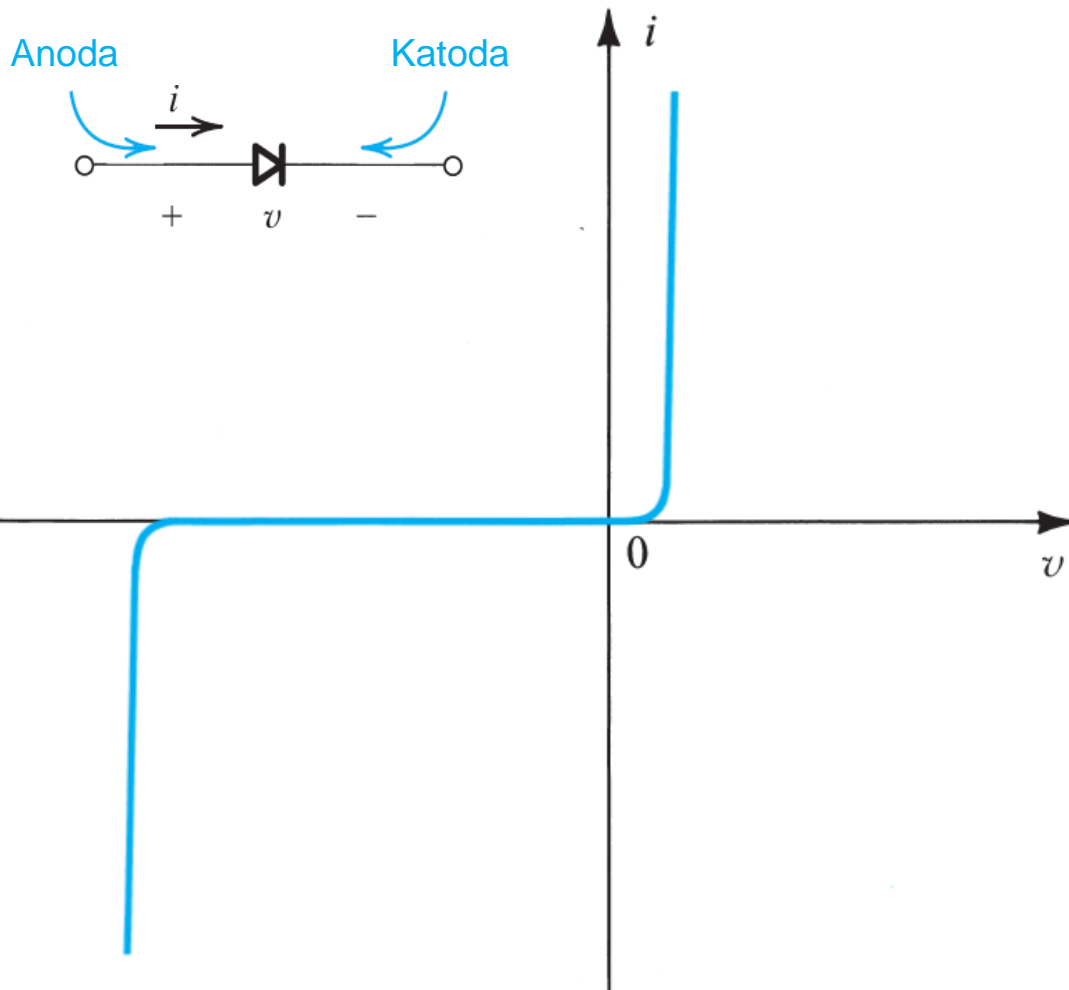


Kolo za detekciju maksimuma napona



Dokle god je napon na kondenzatoru manji od ulaznog napona dioda vodi i puni se kondenzator. Kada ulazni napon postane manji od napona na kondenzatoru dioda se zakoči. Prema tome na kondenzatoru se uvek nalazi maksimalna vrednost ulaznog napona.

Model realne diode



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

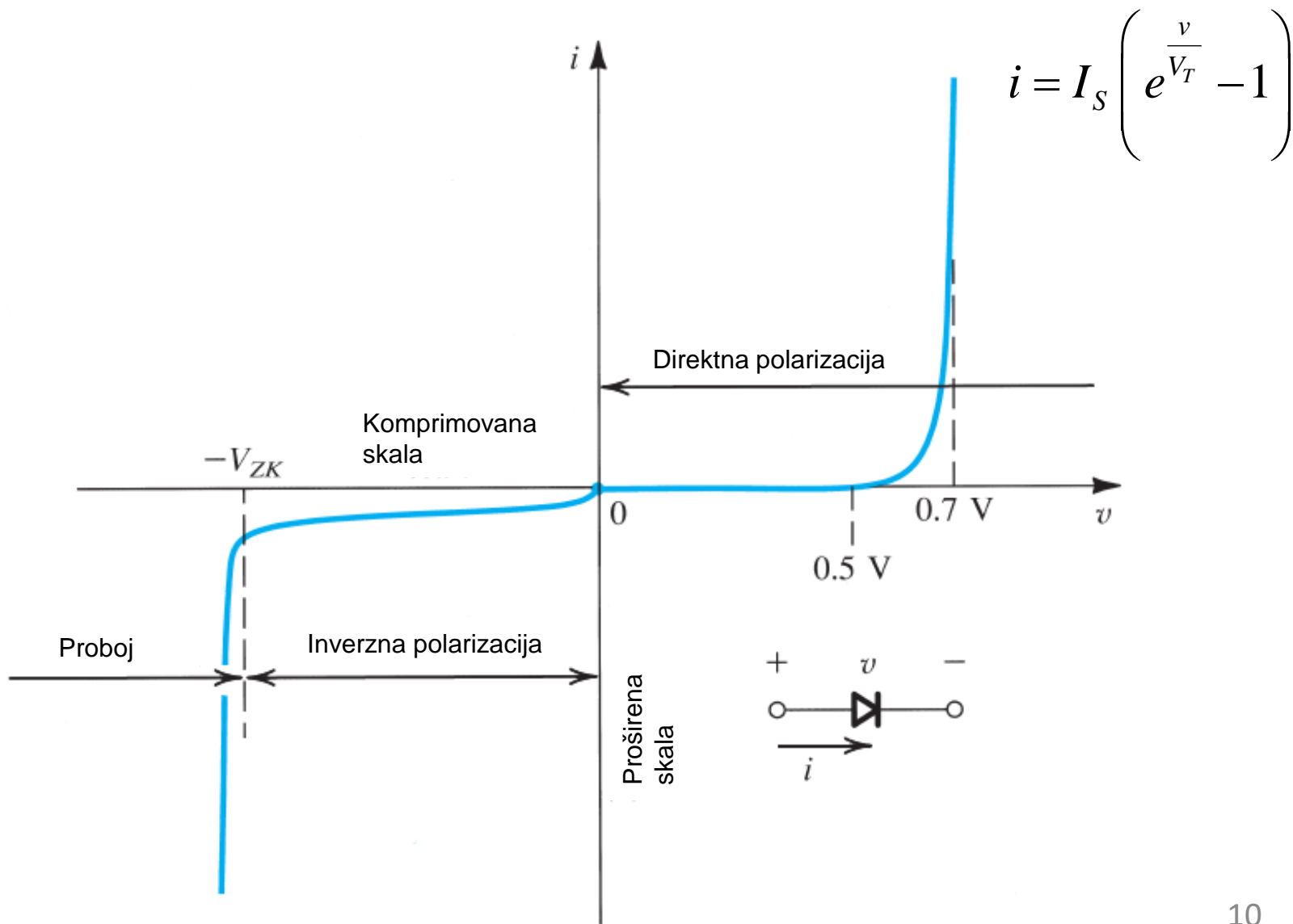
i — struja diode

v — napon diode

V_T — temperaturni napon, 25mV na temperaturi od 300K

I_S — Inverzna struja zasićenja.
Vrednost ove struje je reda fA
(femto ampera – 10^{-15})

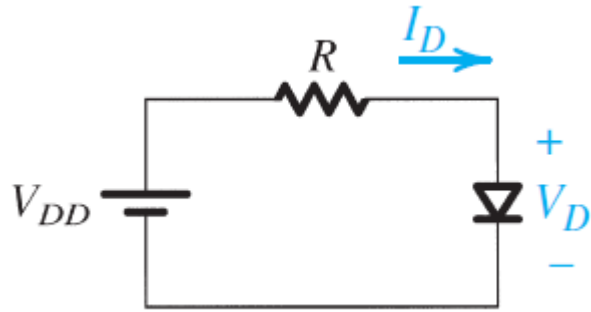
Model realne diode



Model realne diode

- Za diodu se kaže da je u direktnoj polarizaciji kada je napon na njenim krajevima veći od 0.
- Struja diode pri direktnoj polarizaciji zavisi eksponencijalno od napona na njenim krajevima.
- Pri inverznoj polarizaciji dioda provodi veoma malu struju inverznog zasićenja.
- Ako napon inverzne polarizacije poraste preko kritične vrednosti, dolazi do proboja diode.
- U proboju struja diode naglo raste i ukoliko nije ograničena spoljnim kolom često dolazi do spaljivanja diode.

Analiza kola sa realnim diodama



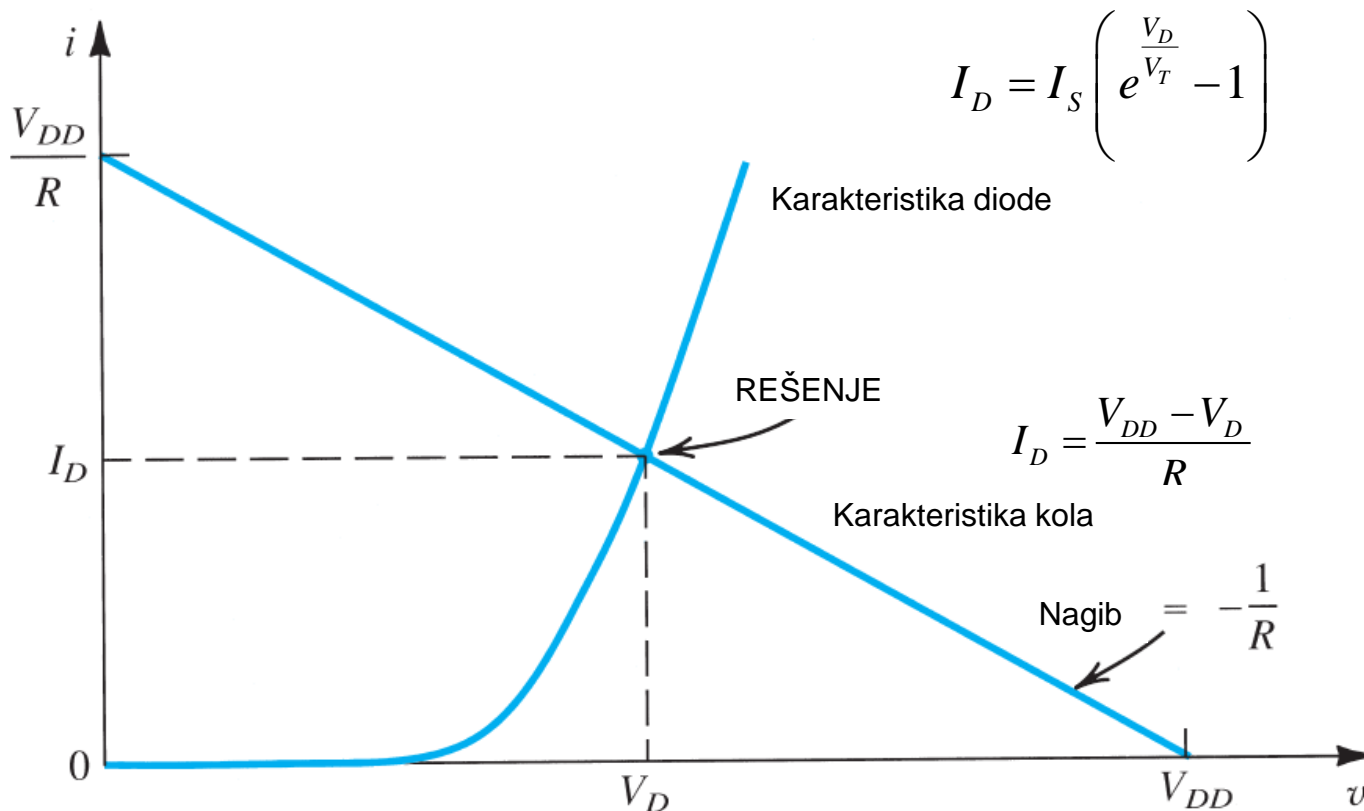
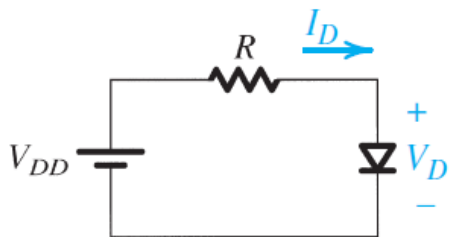
$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)$$

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

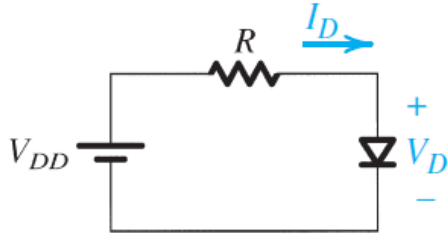
$$\frac{V_{DD} - V_D}{R} = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)$$

PROBLEM – ne postoji analitičko rešenje jednačine!!!

Analiza kola sa realnim diodama – grafički postupak



Analiza kola sa realnim diodama – numerički postupak



$$I_S = 1\text{fA}$$

$$V_T = 25\text{mV}$$

$$R = 1\text{k}\Omega$$

$$V_{DD} = 5\text{V}$$

Usvajanje početne vrednosti napona na diodi: $V_{D0} = 0$

Korak 1.1: Odrediti struju diode na osnovu karakteristike kola.

$$I_{D1} = \frac{V_{DD} - V_{D0}}{R} = 5\text{mA}$$

Korak 1.2: Preciznije odrediti napon na diodi korišćenjem karakteristike diode.

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

$$V_{D1} = V_T \ln \left(1 + \frac{I_{D1}}{I_S} \right) = 731.01\text{mV}$$

Korak 2.1: $I_{D2} = \frac{V_{DD} - V_{D1}}{R} = 4.26899\text{mA}$

Korak 2.2: $V_{D2} = V_T \ln \left(1 + \frac{I_{D2}}{I_S} \right) = 727.06\text{mV}$

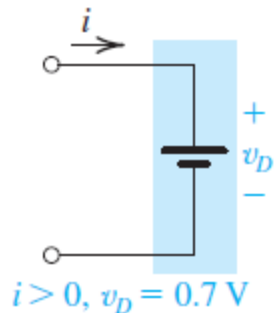
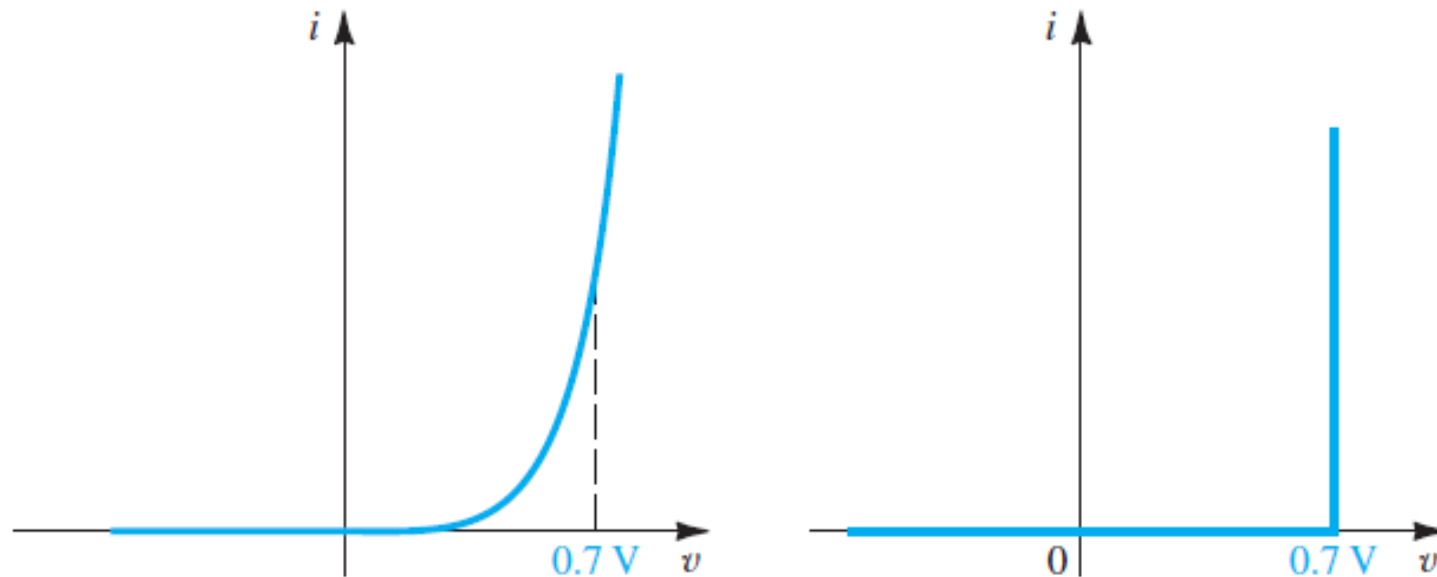
$$\frac{|V_{D2} - V_{D1}|}{V_{D1}} \cdot 100\% = 0.54\% < 1\%$$

Dovoljno dobra preciznost. Zaustavlja se iterativni postupak.

Modeli diode

- Model realne diode omogućava preciznu analizu rada diode.
- Problem je u tome što rešavanje kola postaje suviše kompleksno u slučajevima kada je potrebna brza analiza rada sistema.
- Model idealne diode omogućava brzu analizu kola, međutim predstavlja suviše veliko pojednostavljenje pošto ne uzima u obzir pad napona na provodnoj diodi.

Model diode sa konstantnim padom napona

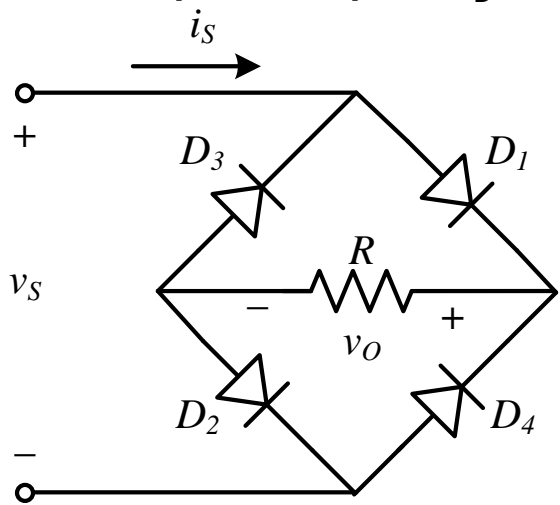


Dioda provodi struju ukoliko je napon na njenim krajevima veći od napona praga V_D (u primeru sa slike 0.7). Provodna dioda se ponaša kao idealni naponski izvor.

Dioda je zakočena ukoliko je napon na njenim krajevima manji od napona praga. Zakočena dioda se ponaša kao otvorena veza.

Dvostrani ispravljač napona sa Grecovim spojem

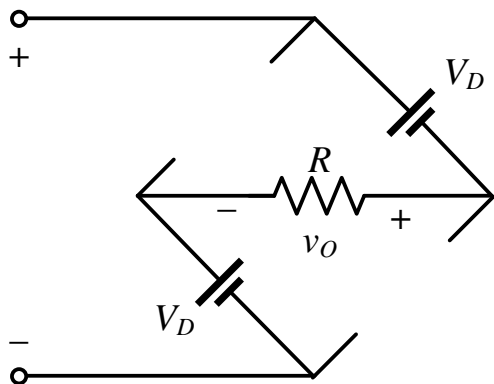
Pri analizi se koristi model diode sa konstantnim padom napona V_D .



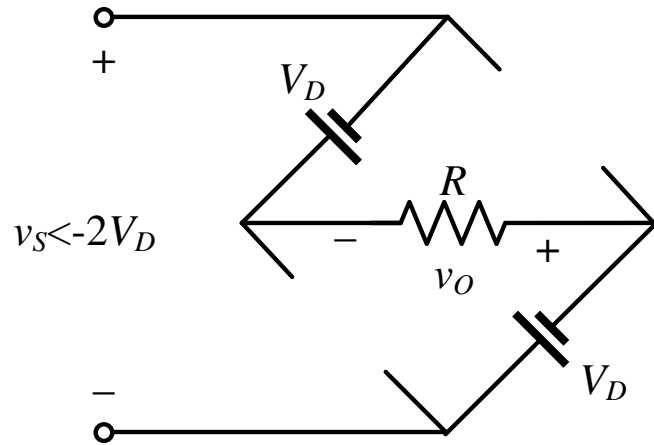
Kada je napon na ulazu veći od 0, ulazna struja je pozitivna. Prema tome mogu da vode jedino diode D1 i D2. Da bi diode vodile, potrebno je da napon na njihovim priključcima bude jednak naponu praga V_D .

$$v_S - V_D - v_O - V_D = 0$$
$$v_O = v_S - 2V_D$$

Šta se dešava ako je napon na ulazu veći od 0 a manji od $2V_D$? Sve diode su zakočene i izlazni napon je jednak 0.



Dvostrani ispravljač napona sa Grecovim spojem



Kada je napon na ulazu manji od 0, ulazna struja je negativna. Prema tome mogu da vode jedino diode D3 i D4. Da bi diode vodile, potrebno je da napon na njihovim priključcima bude jednak naponu praga V_D .

$$v_S + V_D + v_O + V_D = 0$$

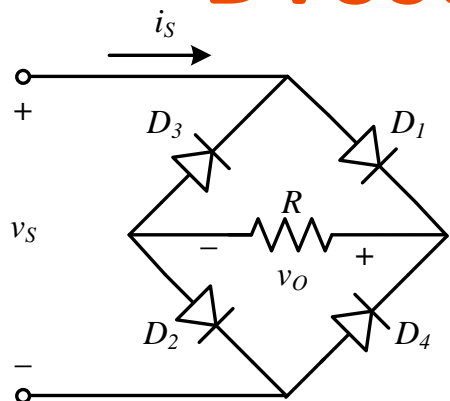
$$v_O = -(v_S + 2V_D)$$

Šta se dešava ako je napon na ulazu manji od 0 a veći od $-2V_D$?

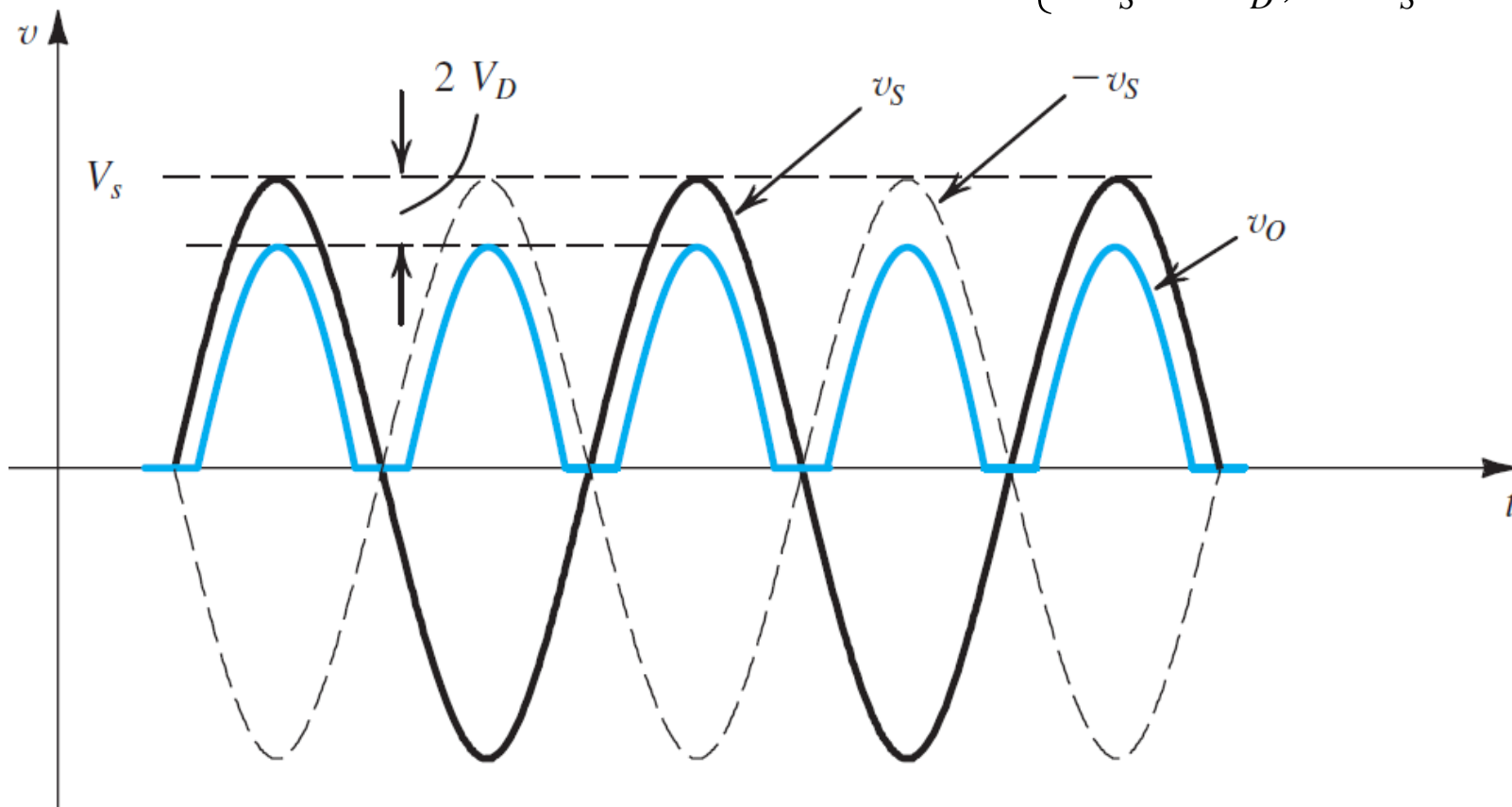
Sve diode su zakočene i izlazni napon je jednak 0.

Obratiti pažnju da je napon V_O uvek pozitivan! Razlog za to je taj što je smer struje kroz otpornik R uvek od + ka – priključku, bez obzira koji par dioda vodi.

Dvostrani ispravljač napona sa Grecovim spojem



$$v_o = \begin{cases} -(v_s + 2V_D), & \text{za } v_s < -2V_D \\ 0, & \text{za } -2V_D \leq v_s \leq 2V_D \\ v_s - 2V_D, & \text{za } v_s > 2V_D \end{cases}$$

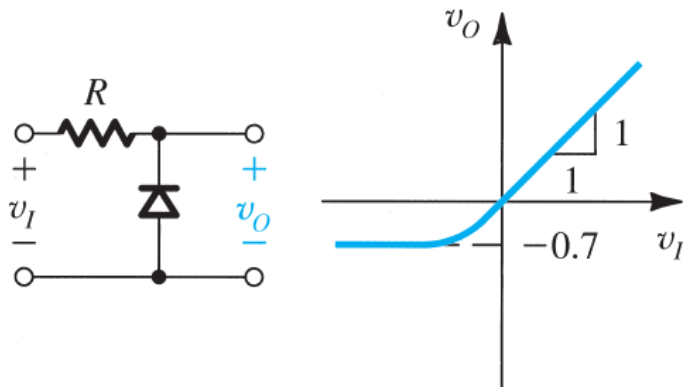


Kola za ograničavanje napona

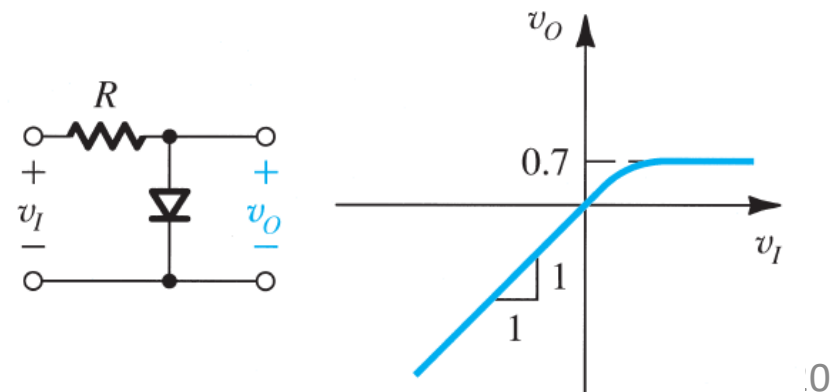
U elektronici se često javlja potreba sa kolima kojim se ograničava vrednost napona unutar unapred zadatih granica. Ovakva kola se obično koriste kao zaštita na ulaznim priključcima uređaja ili kao zaštita od prenapona i podnapona koji se mogu javiti u uređaju.

Tipičan primer kola koja se koriste za ograničenje pozitivnih i negativnih napona prikazani su na slici ispod.

Ograničavanje negativnih napona na -0.7V

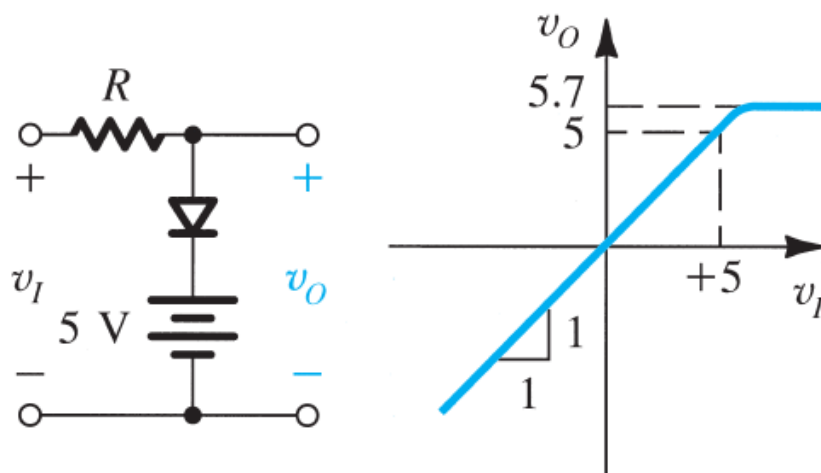


Ograničavanje pozitivnih napona na 0.7V



Kola za ograničavanje napona

Vezivanjem više dioda na red ili dodavanjem idealnih naponskih izvora kao u primeru, može se podešavati naponski nivo pri kom dolazi do odsecanja.

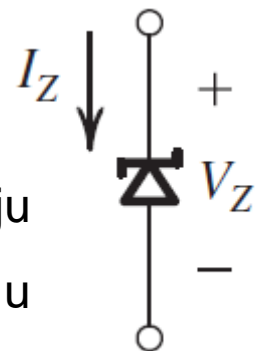


Zener diode

Pri inverznoj polarizaciji dioda provodi jako malo struju koja predstavlja inverznu struju zasićenja. Ako napon inverzne polarizacije pređe kritičnu tačku dolazi do proboja i dioda počinje da vodi. S obzirom da je kod standardnih dioda probojni napon veoma visok, u trenutku proboja obično dolazi do protoka veoma velike struje kroz diodu koja je može oštetiti. Zbog toga se obične diode ne koriste pri inverznoj polarizaciji.

Postoje diode kod kojih je probojni napon znatno niži, i one se nazivaju **Zener diode**. Niži probojni napon omogućava da se ove diode koriste u režimu proboja bez bojazni da će struja kroz njih preći kritične vrednosti.

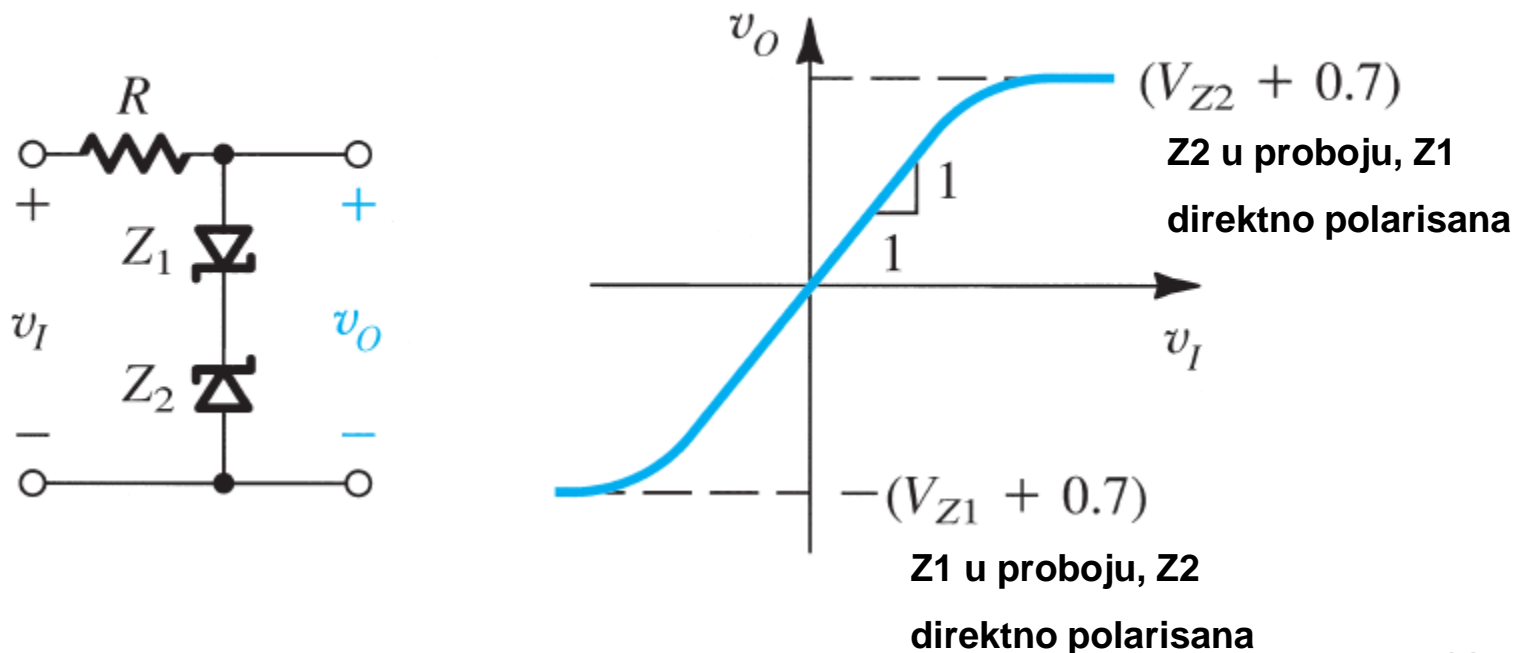
U proboju Zener dioda se ponaša kao idealni naponski izvor sa naponom V_Z .



Kola za ograničavanje napona sa Zener diodama

Naponi V_{Z1} i V_{Z2} označavaju napona proboja dioda Z1 i Z2.

Obratiti pažnju da se Zener diode pri direktnoj polarizaciji ponašaju kao standardne diode i da vode kada napon pređe napon praga V_D (u primeru 0.7)



Kola za meko ograničavanje napona

Dodavanjem otpornika u kolo za ograničavanje napona postiže se slabljenje izlaznog napona nakon određenog napona praga. Dakle, ne dolazi do odsecanja i napon na izlazu i dalje raste sa porastom ulaznog napona ali sporije.

