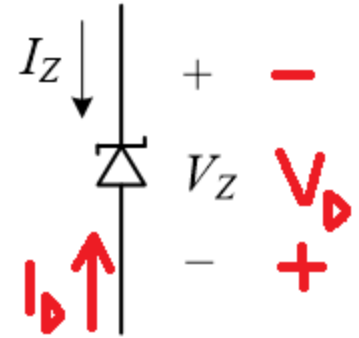


# Osnovi analogne elektronike

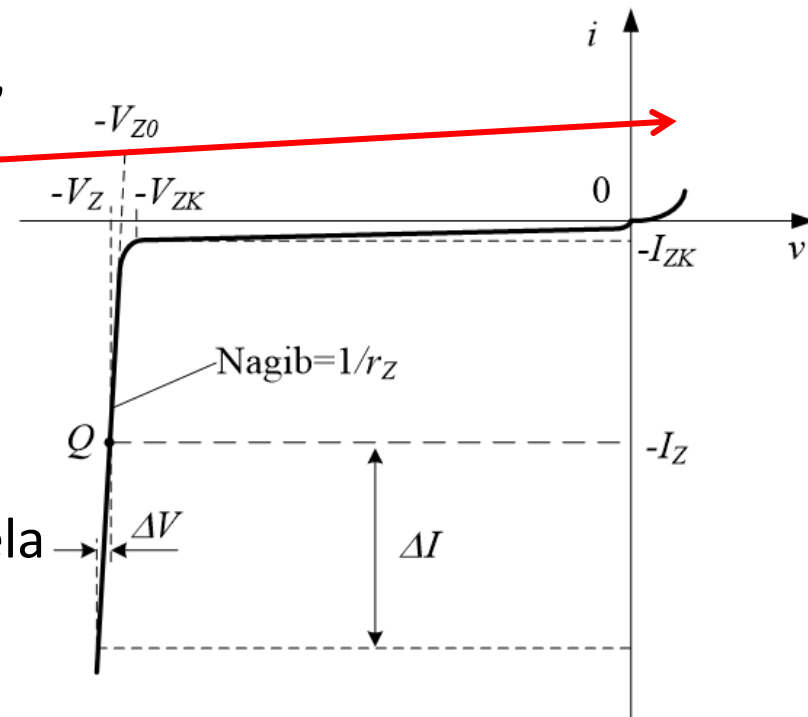
prof. Dr Nenad Jovičić

nenad@etf.rs

# Zener diode

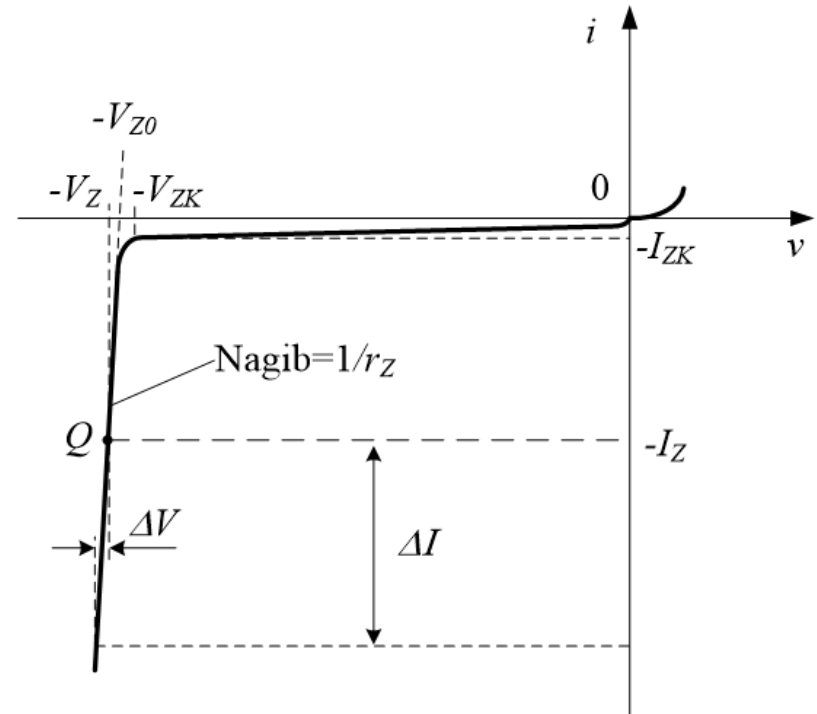


- Diode koje se koriste za rad u oblasti Zenerovog proboja
  - Vrednost probojnog napona se može tehnološki kontrolisati
- Kada je direktno polarisana, radi kao obična dioda
  - $V_{ZK}$  i  $I_{ZK}$  napon i struja diode na početku proboja (koleno)
  - Smatra se da je u proboju  $i$ -u karakteristika linearna, sa nagibom  $1/r_Z$
  - $V_{Z0}$  tačka preseka linearnog dela i naponske ose



# Zener diode

- $\Delta V = r_Z \Delta I$
- Sa slike  $\frac{-V_Z - (-V_{Z0})}{-I_Z} = r_Z$
- $r_Z$  dinamička otpornost Zener diode
- $v_Z = V_{Z0} + r_Z i_Z$ 
  - Važi ako je  $i_Z \gg I_{ZK}$  i  $v_Z > V_{Z0}$  (u linearnom delu karakteristike)

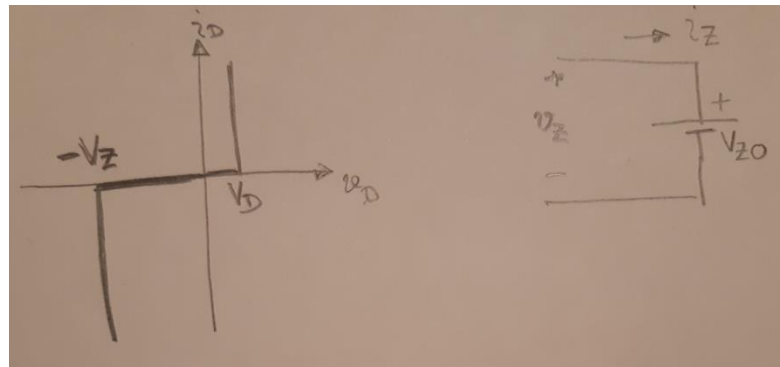
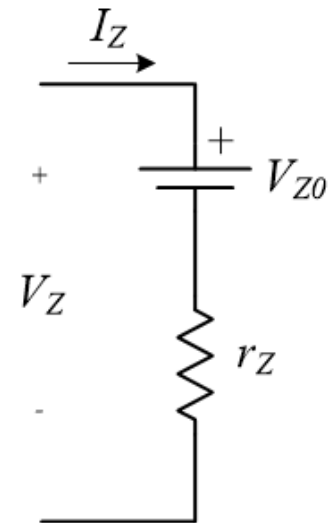


# Zener diode

- Model Zener diode →

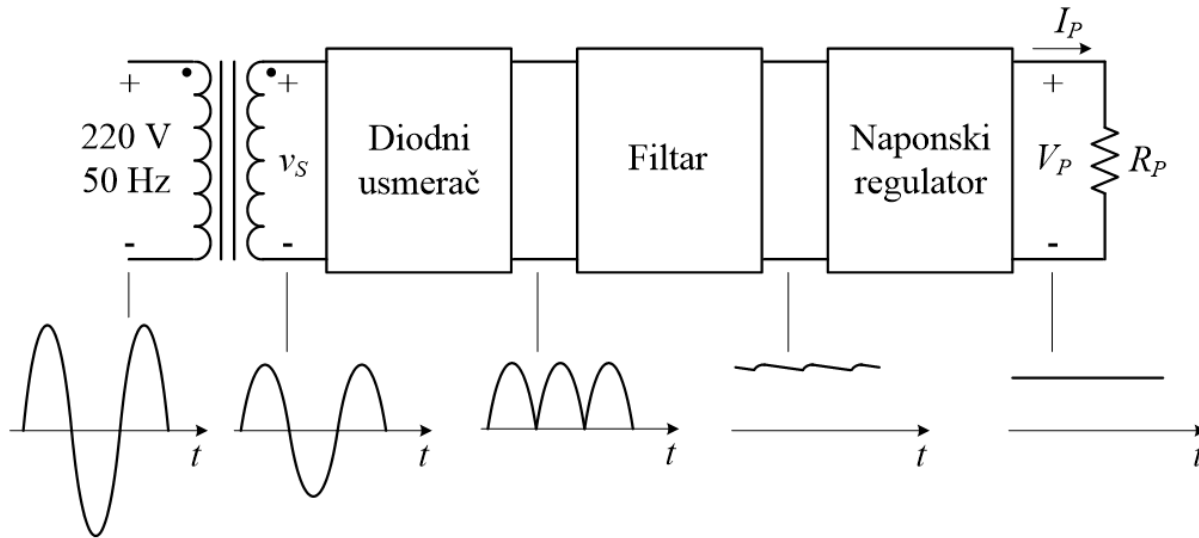
$$v_Z = V_{Z0} + r_Z i_Z$$

- Uprošćeni model,  $r_Z = 0$



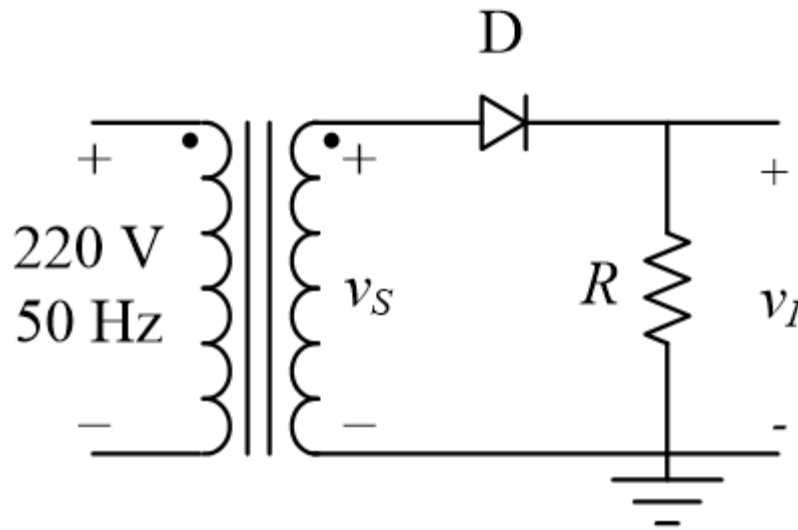
# Primena dioda

- Kao usmerači u linearnim izvorima napajanja
  - Od mrežnog napona 220V, 50Hz dobija se jednosmerni napon (5V, 12V, 24V, ...)



# Primena dioda

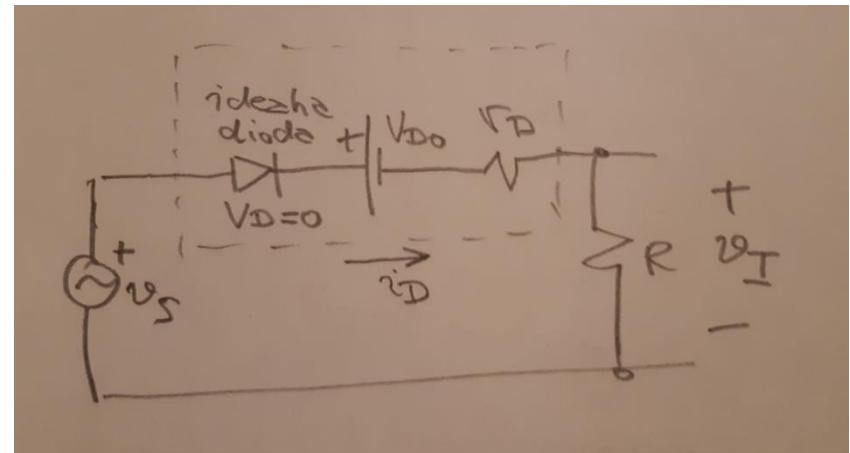
- Polutalasni (jednostrani) usmerač



# Primena dioda

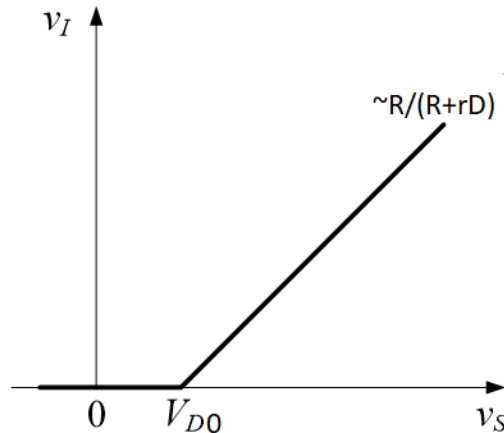
- Polutalasni (jednostrani) usmerač
  - Koristićemo izlomljeno linearni model diode
    - Kada  $v_S \leq V_{D0}$  dioda isključena,  $i_D = 0$ ,  $v_I = 0$
    - Kada  $v_S > V_{D0}$  dioda uključena,  $i_D = \frac{v_S - V_{D0}}{R + r_D}$ ,

$$v_I = \frac{R}{R + r_D} v_S - \frac{R}{R + r_D} V_{D0}$$



# Primena dioda

- Polutalasni (jednostrani) usmerač
  - Funkcija prenosa kola  $v_I = f(v_S)$  predstavljena grafički



- Ako je  $R \gg r_D$ ,  $v_I = v_S - V_{D0}$  i nagib 1, kada dioda vodi



# Primena dioda

- Polutalasni (jednostrani) usmerač

- Talasni oblik napona

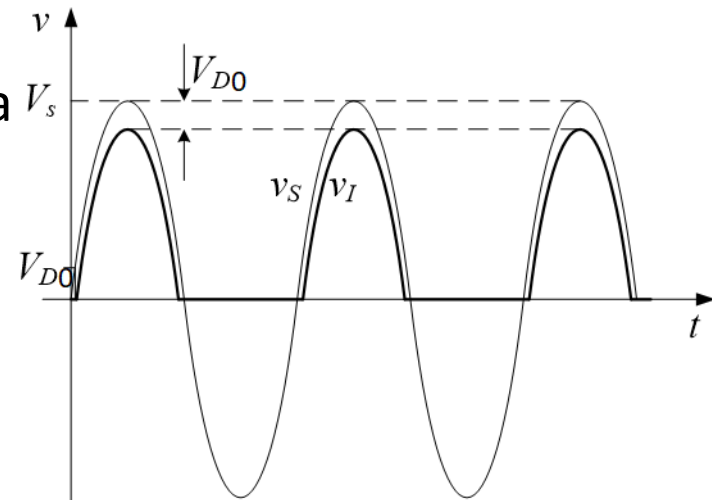
- Usmerava se samo pozitivna poluperioda

- Srednja vrednost napona na izlazu (za  $V_{D0} = 0$ )

$$v_{Isr} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} V_s \sin \omega t dt$$

$$v_{Isr} = \frac{1}{2\pi} V_s (-\cos \alpha) \Big|_0^{\pi} = \frac{V_s}{\pi}$$

- Kada je dioda isključena napon na njoj je  $v_D = v_s$

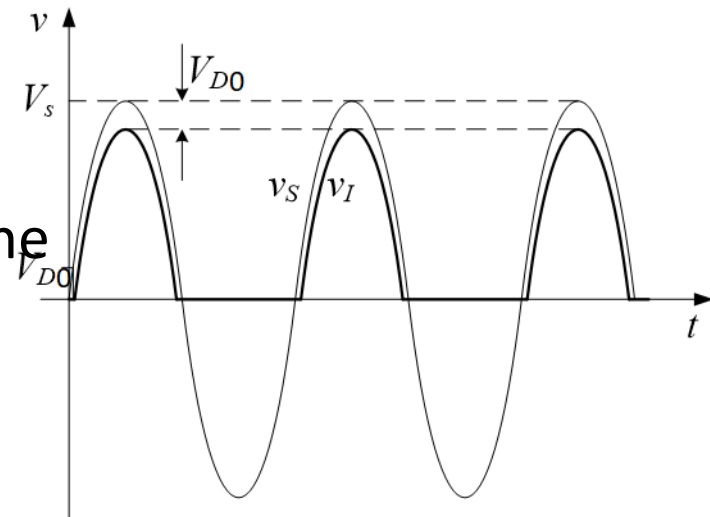


# Primena dioda

- Polutalasni (jednostrani) usmerač

– Kako se bira dioda:

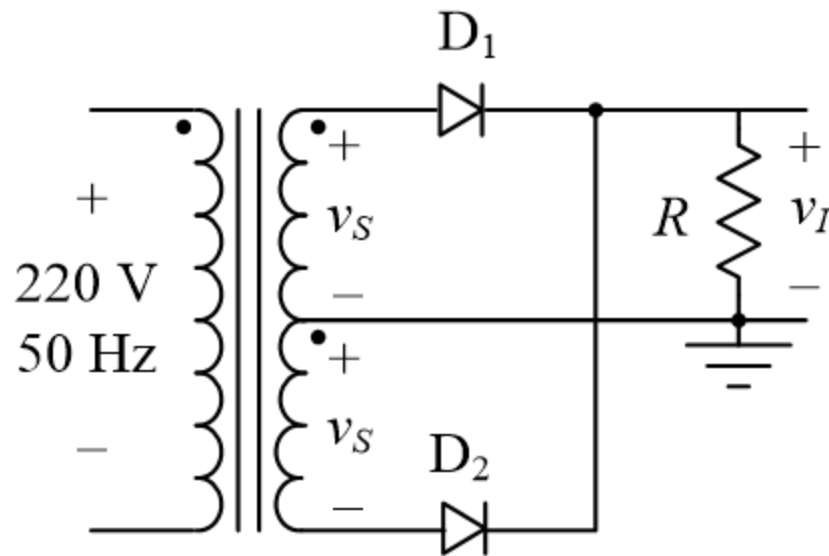
- Maksimalna struja
- Maksimalni napon inverzne polarizacije,  $v_D > -BV_D$



- $v_{D\min} = v_{S\min} = -V_S > -BV_D, \Rightarrow BV_D > V_S$

# Primena dioda

- Punotalasni (dvostrani) usmerač
  - Transformator sa srednjim izvodom

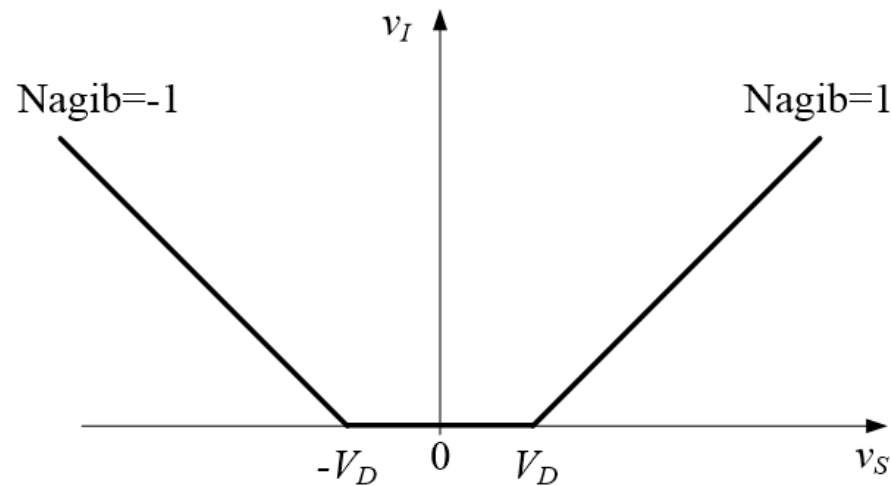


# Primena dioda

- Punotalasni (dvostrani) usmerač
  - Koristićemo model diode sa konstantnim naponom  $V_D$ 
    - Pozitivna poluperioda isto kao polutalasni usmerač, kada  $v_S > V_D$  dioda D1 uključena, D2 isključena  
 $v_I = v_S - V_D$ , struja na izlaz dolazi kroz D1
    - Negativna poluperioda simetrično, samo  $v_S$  sa promenjenim znakom; kada  $v_S < -V_D$  dioda D2 uključena, D1 isključena  
 $v_I = -v_S - V_D$ , struja na izlaz dolazi kroz D2
    - Između, kada  $-V_D < v_S < V_D$ , obe diode zakočene,  $v_I = 0$

# Primena dioda

- Punotalasni (dvostrani) usmerač
  - Funkcija prenosa kola  $v_I = f(v_S)$  predstavljena grafički



# Primena dioda

- Punotalasni (dvostrani) usmerač

- Talasni oblik napona

- Usmeravaju se obe poluperiode

- Srednja vrednost napona na izlazu (za  $V_D = 0$ )

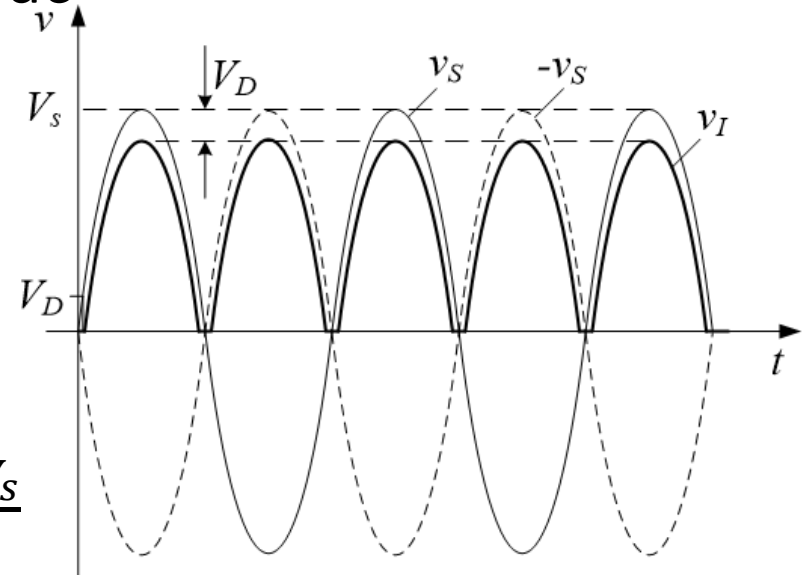
$$v_{Isr} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} V_S \sin \omega t dt$$

$$v_{Isr} = \frac{2}{2\pi} V_S (-\cos \alpha) \Big|_0^{\pi} = \frac{2V_S}{\pi}$$

- Kada je dioda isključena, npr D2, napon na njoj je

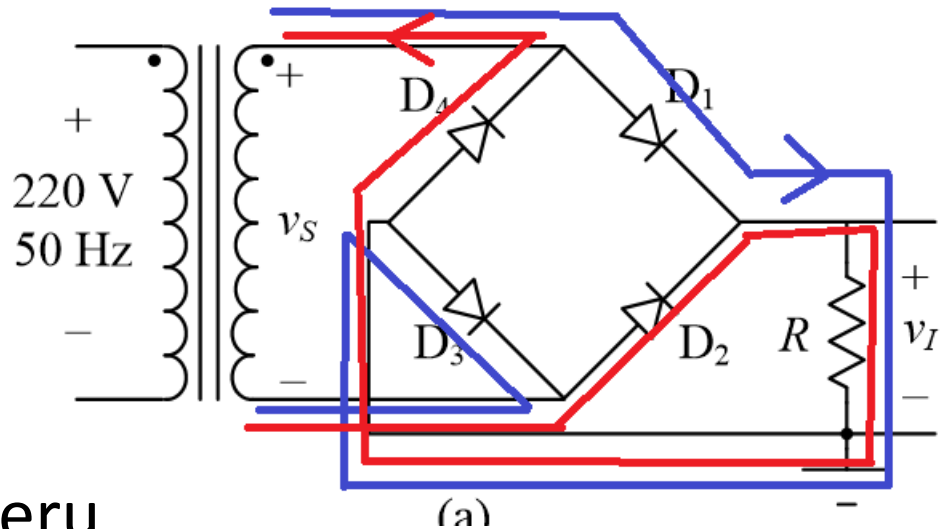
$$v_{D2} = -v_S - v_I = -2v_S + V_D$$

$$v_{D2min} = -2V_S + V_D > -BV_D \Rightarrow BV_D > 2V_S - V_D$$



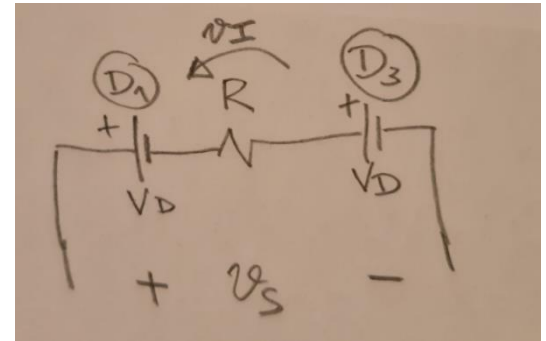
# Primena dioda

- Usmerač sa Grecovim spojem (mostom)
  - Mostni usmerač
  - Diode uvek vode u paru, D1 i D3, odnosno D2 i D4
  - Struja kroz potrošač uvek teče u istom smeru



# Primena dioda

- Usmerač sa Grecovim spojem (mostom)
  - Koristićemo model diode sa konstantnim naponom  $V_D$ 
    - Pozitivna poluperioda, kada  $v_S > 2V_D$ , vode D1 i D3, D2 i D4 isključene,  $v_I = v_S - 2V_D$
    - Negativna poluperioda simetrično, kada  $v_S < -2V_D$ , vode D2 i D4, D1 i D3 isključene,  $v_I = -v_S - 2V_D$
    - Između, kada  $-2V_D < v_S < 2V_D$ , sve diode zakočene,  $v_I = 0$





# Primena dioda

- Usmerač sa Grecovim spojem (mostom)

- Talasni oblik napona

- Usmeravaju se obe poluperiode

- Srednja vrednost napona na izlazu kao i kod punotalasnog usmerača

$$v_{Isr} = \frac{2V_S}{\pi}$$

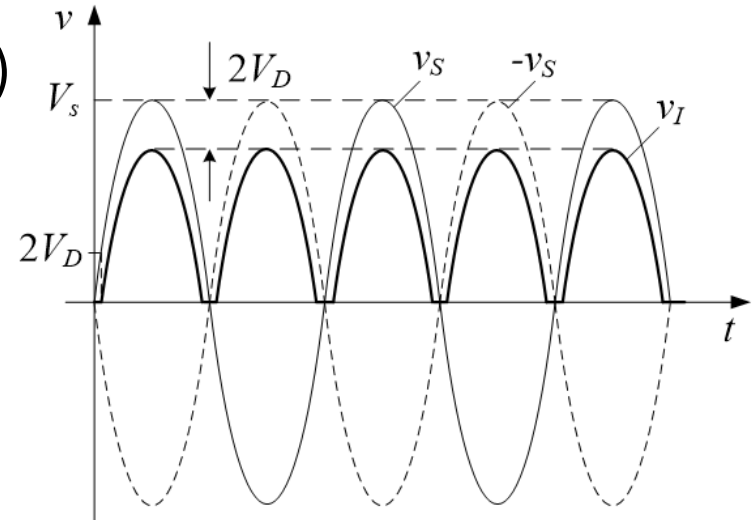
- Kada je jedan par dioda isključen, npr D1 i D3, napon na npr D3 je

$$v_{D3} = v_{D3A} - v_{D3K} = (v_S + V_{D4}) - (0)$$

$v_{D3A}$  i  $v_{D3K}$  u odnosu na donji kraj transformatora

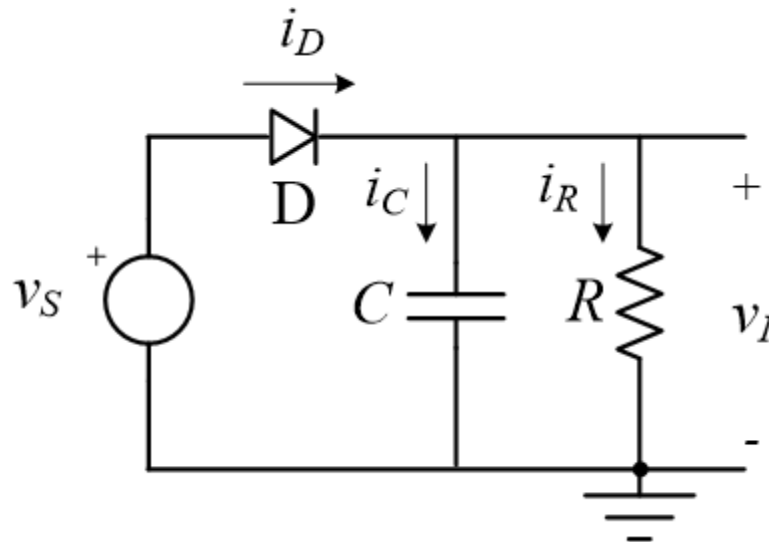
$$v_{D3\min} = -V_S + V_D > -BV_D \Rightarrow BV_D > V_S - V_D$$

Može „slabija“ dioda po pitanju probojnog napona nego kod punotalasnog usmerača



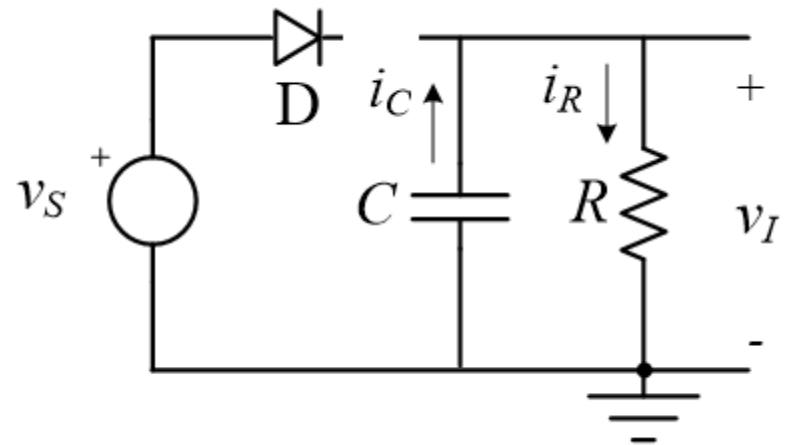
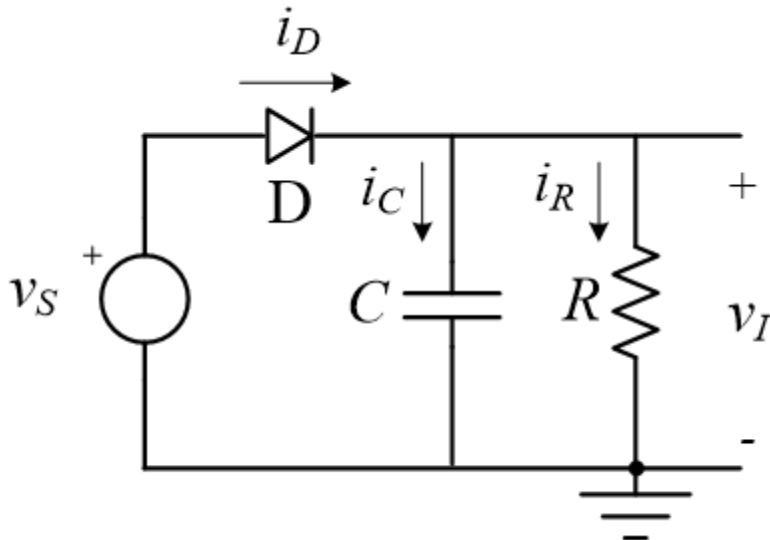
# Primena dioda

- Kapacitivni filter za usmerače
  - Smatramo da je  $V_D = 0$
  - Dva procesa u kolu, sinus na ulazu, i punjenje / pražnjenje kondenzatora



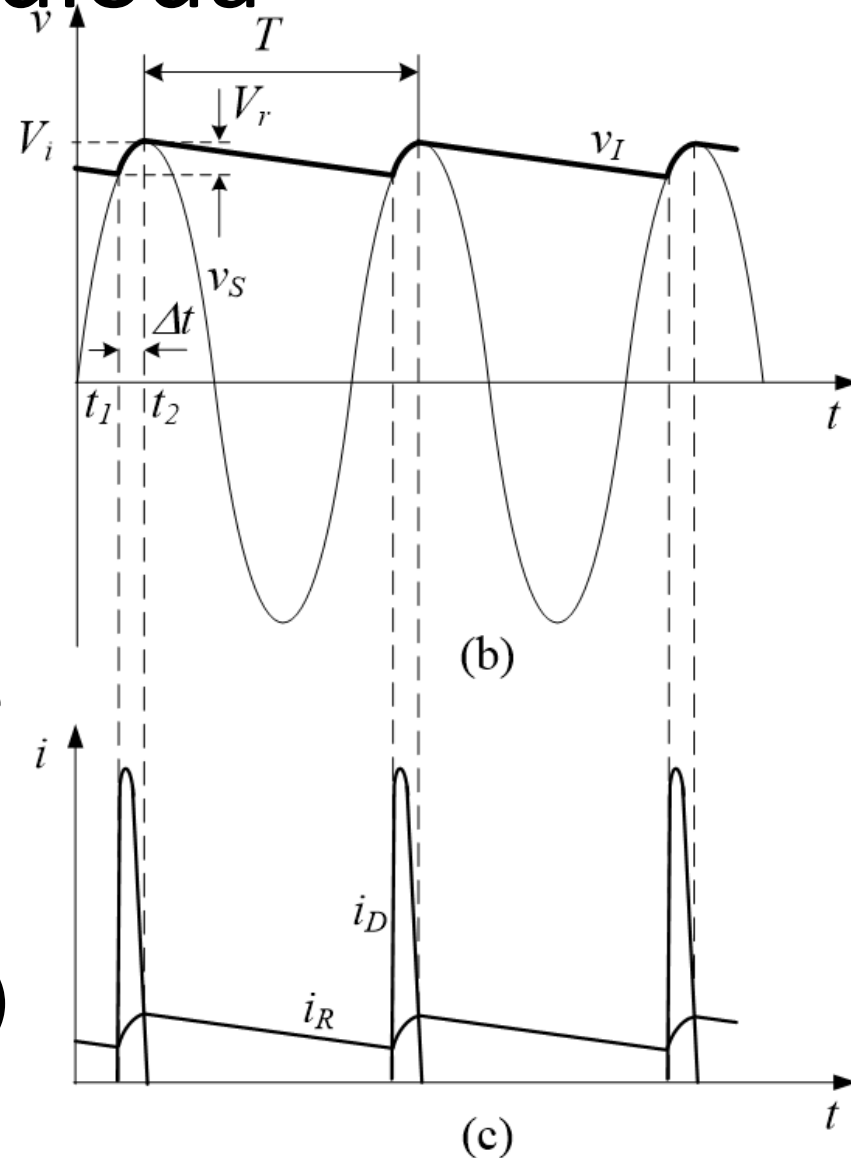
# Primena dioda

- Kapacitivni filter za usmerače
  - Kada je dioda zakočena, kondenzator se prazni preko otpornika,  $v_I(t) = V_i e^{-\frac{t}{RC}}$



# Primena dioda

- Kapacitivni filter za usmerače
  - Do  $t_1$   $v_S < v_I$ , dioda zakočena,  $i_D = 0$
  - U  $t_1$   $v_S = v_I$ ,  $v_S$  raste, dioda se uključuje
  - U  $t_2$   $v_S$  kreće da pada brže nego  $v_I$  i dioda se isključuje
  - Struja diode dopunjava kondenzator u impulsima
  - $V_r$  maksimalna promena napona na izlazu (talasnost)



# Primena dioda

- Kapacitivni filter za usmerače

- U  $t_0$  (to je  $t_2 - T$ ),  $v_I(t_0) = V_i$
- U  $t_1$   $v_I(t_1) = V_i e^{-\frac{t_1-t_0}{RC}}$
- Takođe  $v_I(t_1) = V_i - V_r$

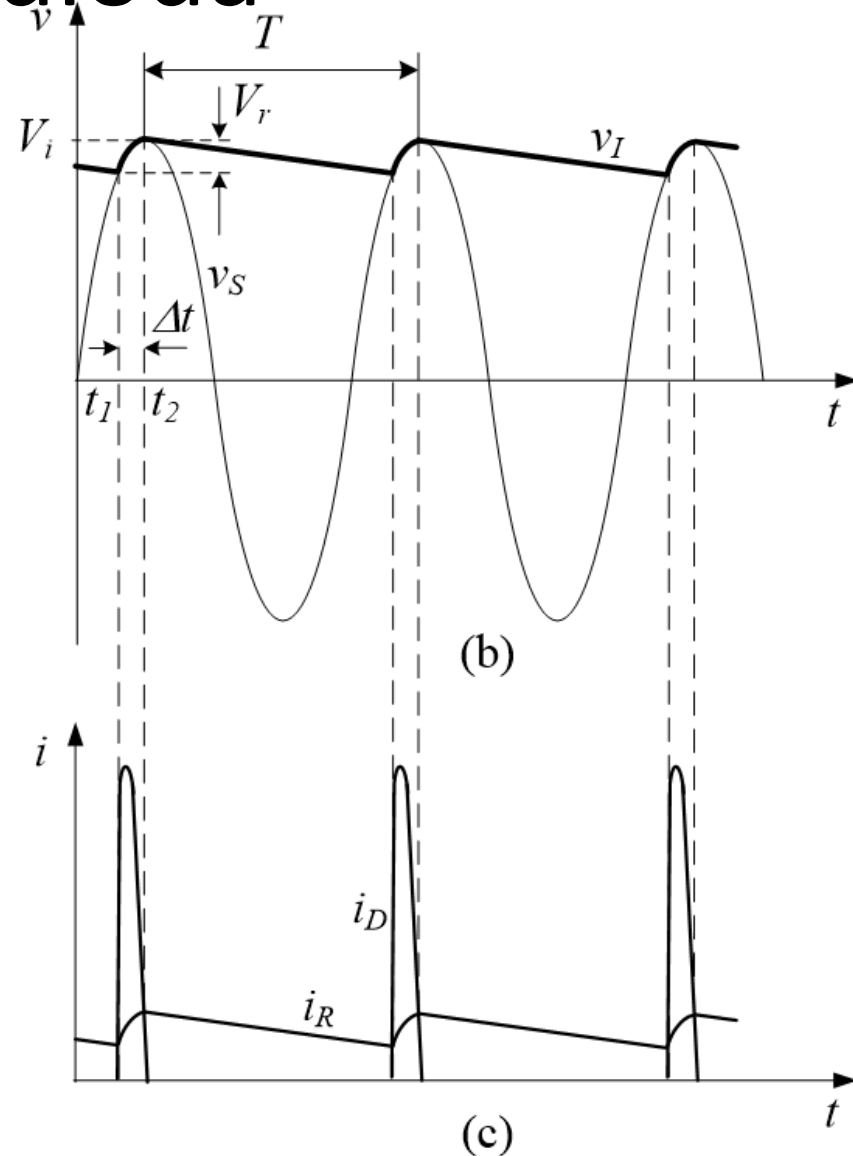
$$V_i - V_r = V_i e^{-\frac{t_1-t_0}{RC}}$$

- Pretpostavka  $t_1 - t_0 \approx T$

$$V_i - V_r = V_i e^{-\frac{T}{RC}}$$

- Ako  $RC \gg T$ , tada  $\frac{T}{RC} \rightarrow 0$ , i  
 $e^{-\frac{T}{RC}} \approx 1 - \frac{T}{RC}$

$$V_r = V_i \frac{T}{RC} = \frac{V_i}{fRC}$$

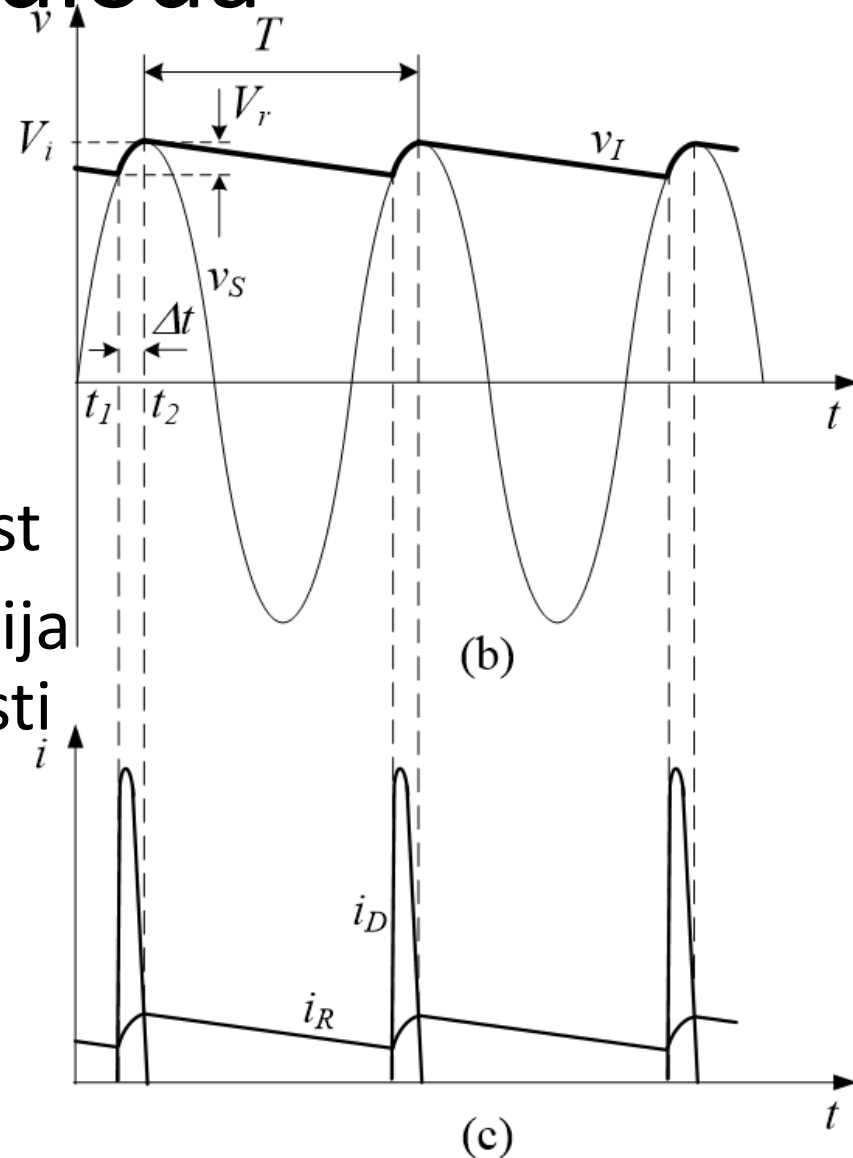


# Primena dioda

- Kapacitivni filter za usmerače

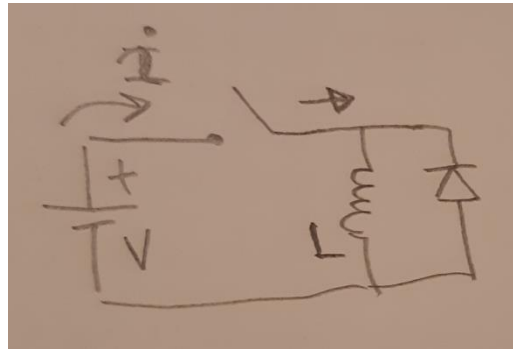
$$V_r = V_i \frac{T}{RC} = \frac{V_i}{fRC}$$

- Što veće  $C$  manja talasnost
- Kada  $R \rightarrow \infty$   $V_r \rightarrow 0$  i dobija se detektor vršne vrednosti



# Primena dioda

- Zaštitna (catch) dioda



- Kada je prekidač zatvoren kroz kolo teče DC struja, dioda zakočena
- Kada se prekidač otvori struja pada na nulu, ali se u kalemu zbog toga indukuje ems  $e = L \frac{di}{dt} \rightarrow \infty$ , i kada ne bi bilo diode došlo bi do varničenja – ovde se dioda uključuje i struja kalema teče kroz diodu dok ne padne na nulu

# Primena dioda

- Stabilizacija napona

- Vrednost napona  $V^+$  može biti promenljiva u nekim granicama, takođe i vrednost potrošača

$$v_P = \frac{R_P(r_Z V^+ + R V_Z)}{r_Z(R_P + R) + R_P R}$$

$$\frac{dv_P}{dV^+} = \frac{r_Z R_P}{r_Z(R_P + R) + R_P R}$$

$$\frac{dv_P}{dR_P} = \frac{r_Z R(r_Z V^+ + R V_Z)}{(R_P(r_Z + R) + r_Z R)^2}$$

- Struja Zener diode mora biti uvek veća od granične

$$\frac{v_P - V_Z}{r_Z} > I_{ZK} \Rightarrow R_P > R \frac{V_Z + r_Z I_{ZK}}{V^+ - V_Z - (r_Z + R) I_{ZK}}$$

- Ako bi bilo  $r_Z = 0$ ,  $v_P = V_Z$

