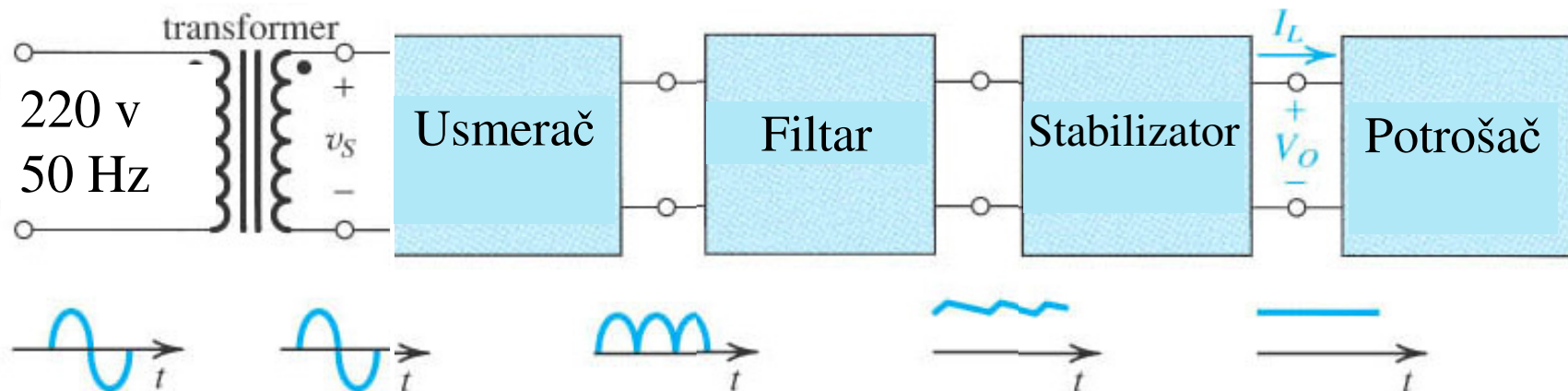


# Stabilizzatori

## Struktura sistema za konverziju naizmjeničnog napona u stabilisani jednosmerni napon

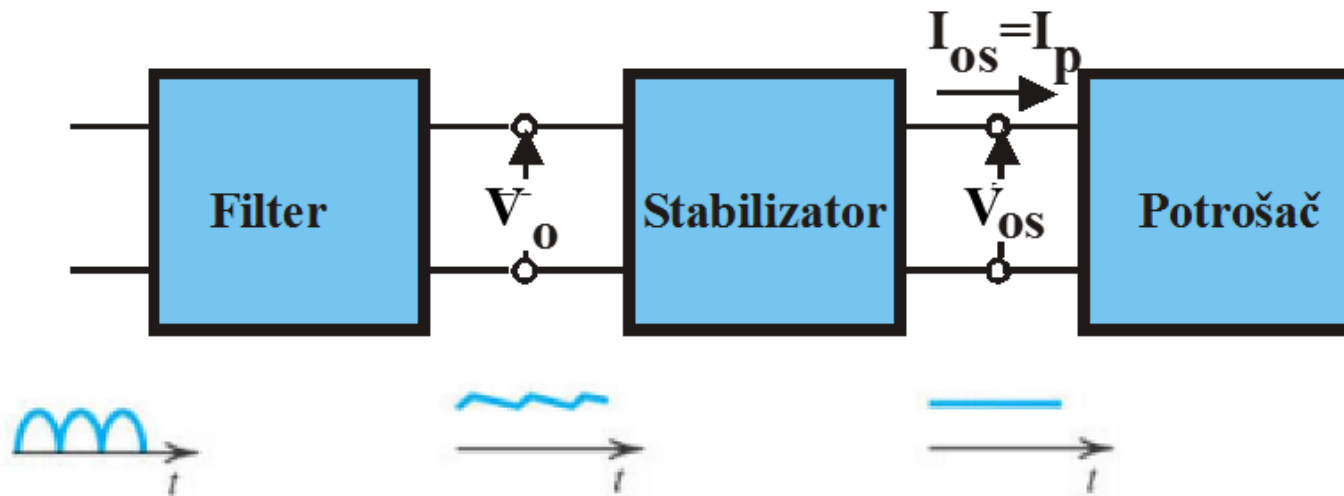
Stabilizator napona je sastavni deo izvora jednosmernog napajanja. Ovom bloku prethode: transformator, usmerač i filter. Da bi se od mrežnog napona dobio jednosmerni napon željene vrednosti, potrebno je:

1. Smanjiti njegovu vrednost primenom transformatora. Transformator galvanski razdvaja kolo jednosmerne i naizmjenične struje.
2. Usmeriti ga (napraviti jednosmerni napon) primenom ispravljača.
3. Ukloniti naizmjeničnu komponentu (“ispeglati”) filtrom.
4. Stabilisati ga primenom stabilizatora. To praktično znači učiniti nezavisnim od promena uslova rada (potrošača, napona mreže, temperature).



## Stabilizatori - regulatori napona

- **Stabilizator napona** ili naponski regulator (voltage regulator) je elektronsko kolo koje treba da obezbedi konstantan napon na izlazu nezavisno od otpornosti potrošača, varijacija ulaznog napona i temperature. Napon na izlazu stabilizatora ne treba da zavisi od promena:
  - a) ulaznog napona (napona na izlazu iz filtra)
  - b) otpornosti potrošača (struje kroz potrošač)
  - c) temperature

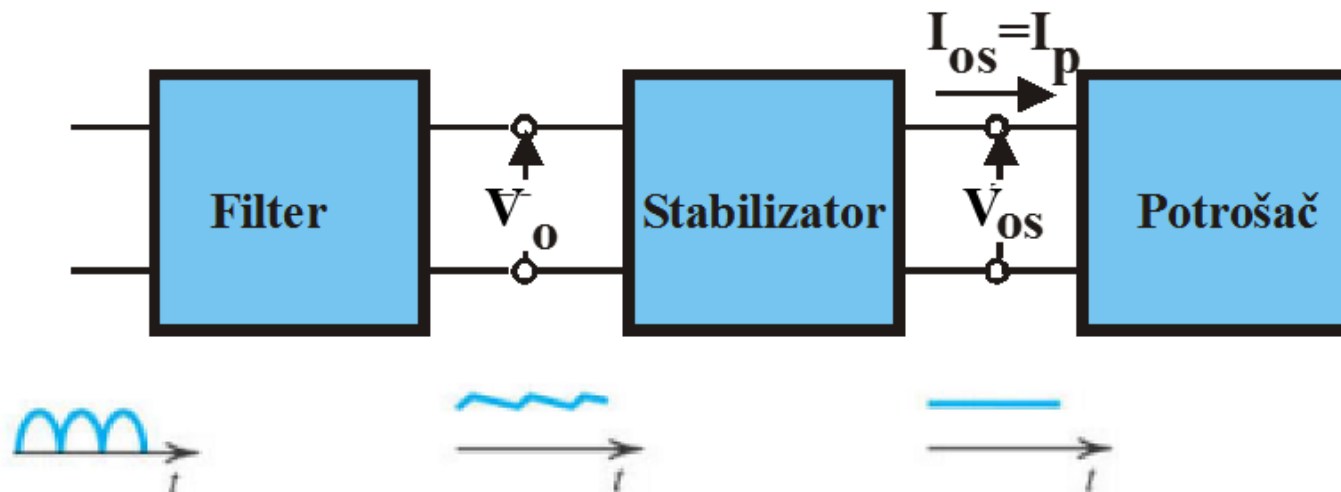


## Stabilizatori - regulatori napona

a) Merilo osetljivosti izlaznog napona na promene ulaznog napona je **faktor stabilizacije, S**:

$$S = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta V_o} \left| \begin{array}{l} I_{os} = Const \\ T = Const \end{array} \right.$$

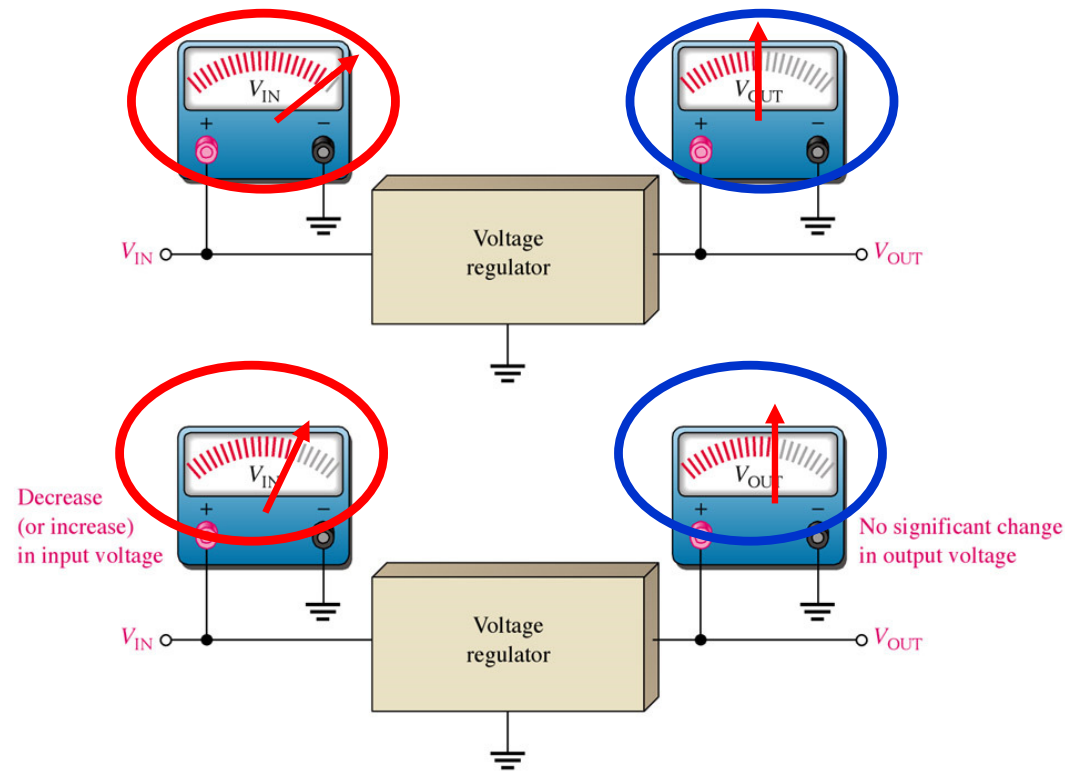
$\Delta V_{OS}$  je priraštaj napona na izlazu (stabilisanog napona) usled priraštaja ulaznog (nestabilisanog) napona,  $\Delta V_o$ , kada je temperatura konstantna i otpornost potrošača konstantna.



# Stabilizatori - regulatori napona

Stabilizator je idealan ako je *faktor stabilizacije* = 0.

Stabilizator je dobar ako je *faktor stabilizacije* mali  $S < 0.1\%$ .



## Stabilizatori - regulatori napona

b) Merilo osetljivosti izlaznog napona na promene otpornosti potrošača je **dinamička izlazna otpornost**:

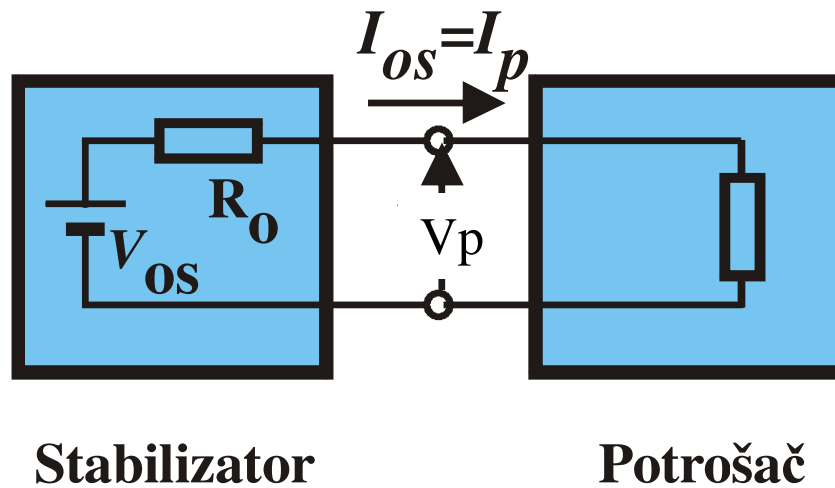
$$R_o = \frac{\Delta V_{OS}}{\Delta I_{OS}} \left| \begin{array}{l} V_O = Const \\ T = Const \end{array} \right.$$

$\Delta V_{OS}$  je priraštaj napona na izlazu (stabilisanog napona) usled priraštaja struje kroz potrošač,  $\Delta I_{OS}$ , kada je temperatura konstantna i ulazni (nestabilisani) napon konstantan.

## Stabilizatori - regulatori napona

Idealni stabilizator je ekvivalentan idealnom naponskom generatoru. Izlazni napon ne treba da zavisi od otpornosti potrošača. Stabilizator je idealan ako je izlazna otpornost  $R_o = 0$ .

Stabilizator je dobar ako je  $R_o < 10\Omega$ .



Napon na potrošaču  $V_p$  je manji od napona praznog hoda stabilizatora  $V_{OS}$  i zavisi od otpornosti potrošača, jer se sa promenom otpornosti potrošača menja struja kroz potrošač  $I_{os}$ .

$$V_p = V_{OS} - I_{os} \cdot R_o$$

$$V_p = \frac{V_{OS} \cdot R_p}{R_p + R_o}$$

## Stabilizatori - regulatori napona

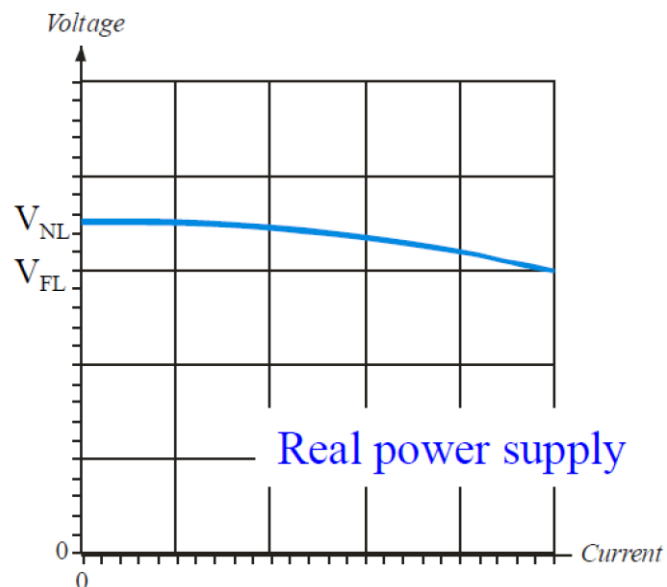
Umesto dinamičke izlazne otpornosti može se definisati i **faktor opterećenja (load regulation)**

$$S_P = \frac{V_{osmax} - V_{osmin}}{V_{osmin}} \cdot 100 [\%]$$

$V_{OSmax}$  je maksimalna vrednost izlaznog napona (kada nema potrošača).

$V_{OSmin}$  je minimalna vrednost izlaznog napona koja se dobija pri maksimalnoj dozvoljenoj vrednosti izlazne struje  $I_{OSmax}$ .

Idealni stabilzator bi trebao da ima faktor opterećenja jednak nuli.





## Stabilizatori - regulatori napona

c) Merilo osetljivosti izlaznog napona na promene temperature je **temperaturski faktor stabilizacije**

$$S_T = \frac{\Delta V_{OS}}{\Delta T} \Bigg|_{\substack{I_{OS} = Const \\ V_O = Const}}$$

$\Delta V_{OS}$  je priraštaj napona na izlazu (stabilisanog napona) usled priraštaja temperature,  $\Delta T$ , kada je ulazni (nestabilisani) napon konstantan i otpornost potrošača konstantna.

## Klasifikacija stabilizatora

**Linearni stabilizatori** napona sadrže kontrolni element koji radi u linearnom režimu rada. Dobra svojstva linearnih stabilizatora su velika brzina odziva na promene napona i nizak nivo šuma na izlazu. Najznačajniji nedostatak linearnih stabilizatora je mala efikasnost.

**Prekidački stabilizatori** (SMPS – Switching Mode Power Supply) generišu napon pravougaonog talasnog oblika koji nakon prolaska kroz niskofrekventni filter sastavljen od kabela i kondenzatora daje zadatu vrednost jednosmernog napona. U prekidačkom stabilizatoru regulacija se vrši prekidačem. Ulogu prekidača ima tranzistor koji se velikom brzinom prebacuje između stanja zakočenja i zasićenja. Prekidački stabilizatori su u prednosti kada je potreban veći stepen iskorišćenja. Najčešće se primenjuju kada je potrošnja elektronskog kola veća.

# Klasifikacija stabilizatora

## 1. Linearni stabilizatori

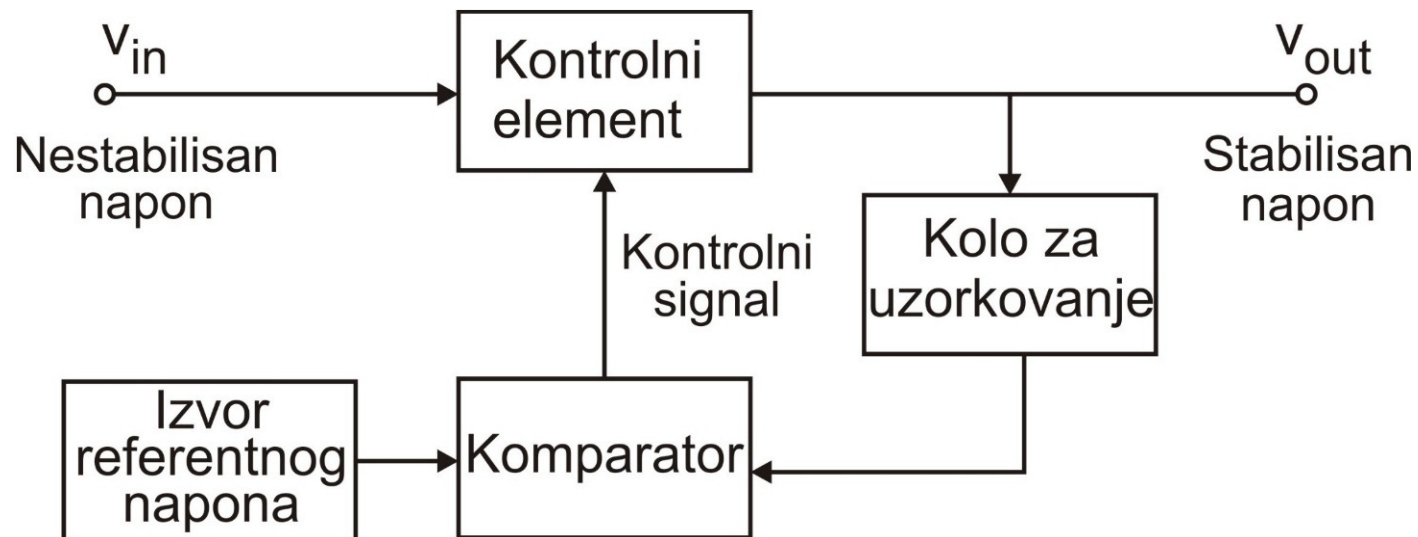
- Sa Zener diodom
- Paralelni stabilizatori
- Redni stabilizatori

## 2. Prekidački stabilizatori

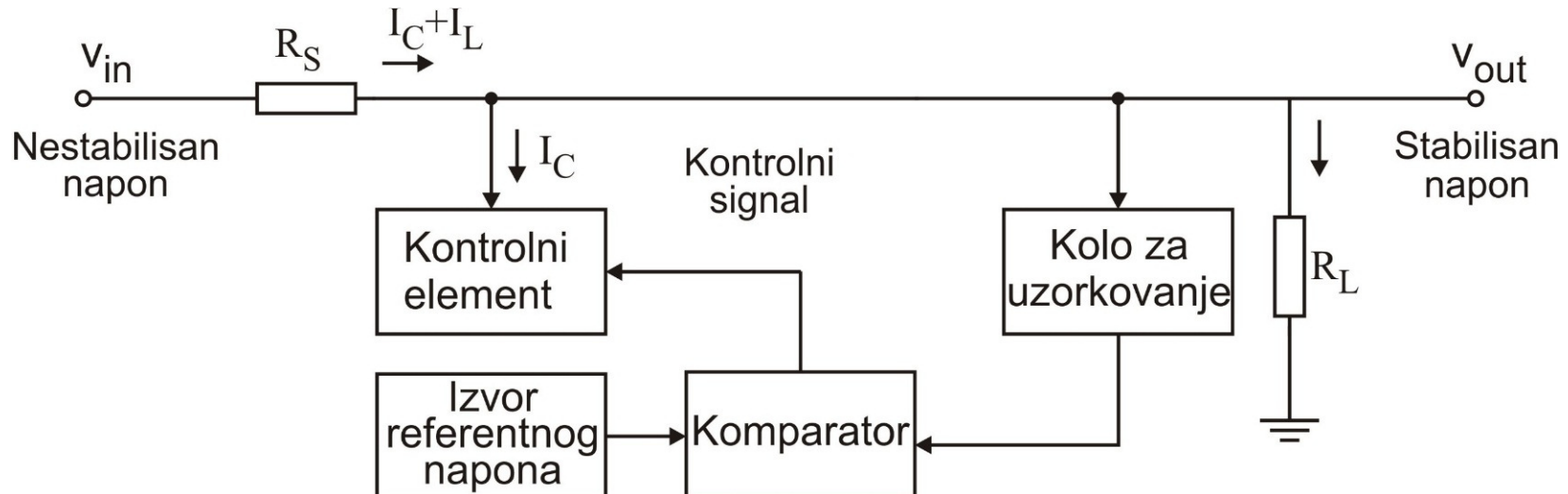
- Spuštači napona (step-down)
- Podizači napona (step-up)
- Invertujući stabilizator

# Linearni stabilizatori

▪ **Redni stabilizator napon** sadrži kontrolni element koji je između ulaza i izlaza (na red sa potrošačem). Uloga kontrolnog elementa je da absorbuje varijacije napona između ulaza i izlaza. Kolo za uzorkovanje prati promene napona na izlazu. Komparator (detektor greške) poredi uzorkovani napon sa referentnim naponom koji se generiše u izvoru referentnog napona. Na izlazu komparatora dobija se kontrolni signal koji deluje na kontrolni element na takav način da se održi konstantan napon na izlazu.

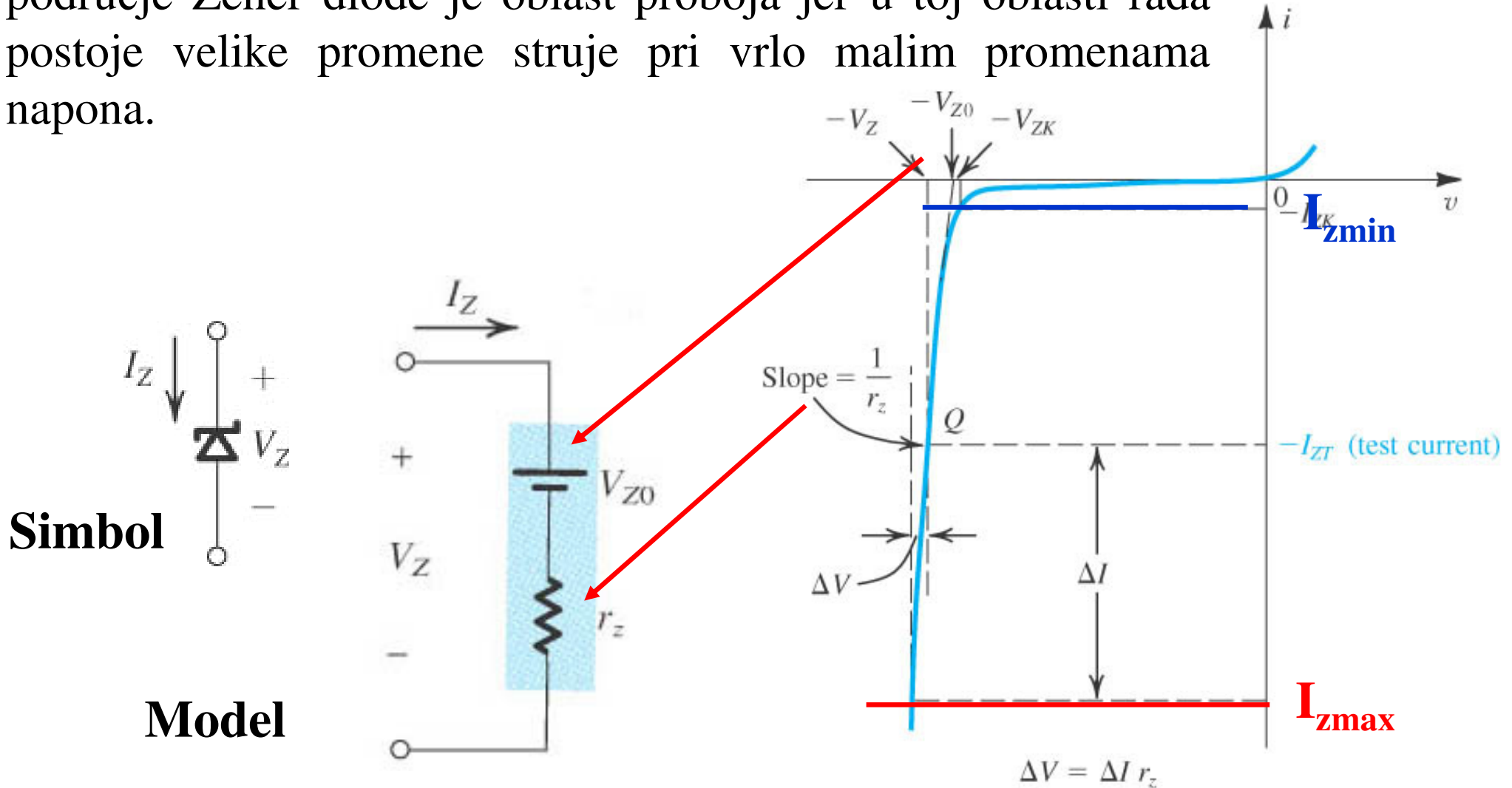


- **Paralelni stabilizator napon** sadrži kontrolni element koji je vezan paralelno sa potrošačem. Način funkcionisanja sličan je rednom stabilizator a razlika se ogleda u tome da se promene izlaznog napona kompenzuju promenom struje kroz kontrolni element.
- Komparator poredi uzorkovani napon sa referentnim naponom. Ukoliko dodje do promene izlaznog napona komparator generiše kontrolni signal. Pod dejstvom ovog signala povećava se ili se smanjuje struja kroz kontrolni element  $I_C$ . Ukoliko je promena izlaznog napona pozitivna povećaće se struja kroz kontrolni element i obrnuto.



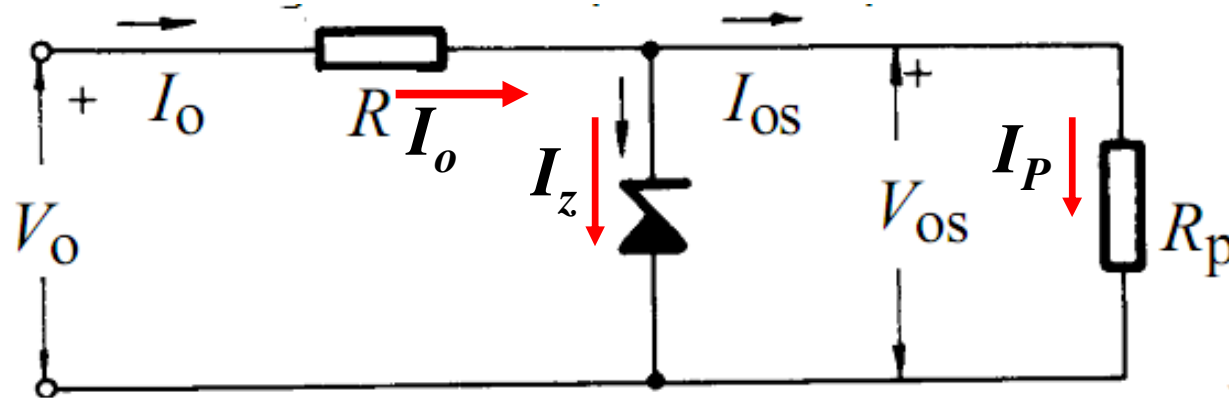
## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom

Zener dioda se koristi kako izvor referentnog napona. Radno područje Zener diode je oblast proboja jer u toj oblasti rada postoje velike promene struje pri vrlo malim promenama napona.



Strujno naponska karakteristika Zener diode pri inverznoj polarizaciji

## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



$$I_o = \frac{V_o - V_z}{R} \quad I_{os} = \frac{V_z}{R_p} = const$$

$$I_o = I_z + I_{os}$$

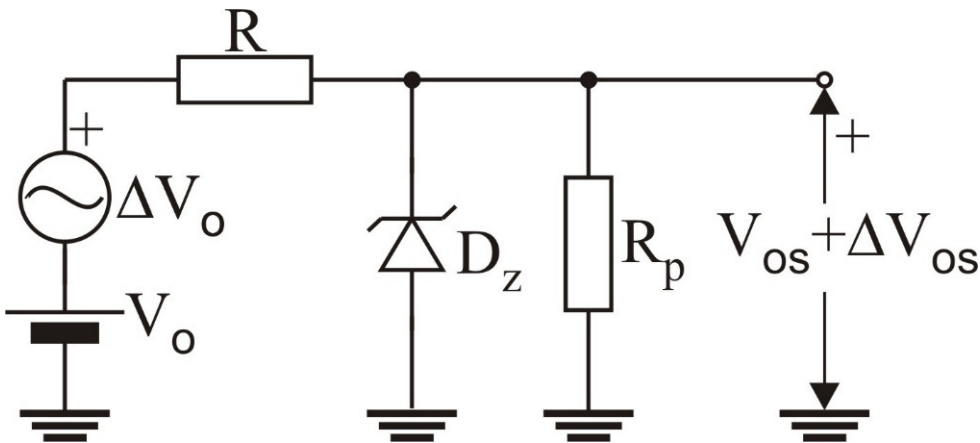
Ukoliko se poveća ulazni napon  $V_o$  dolazi do povećanja struje  $I_o$ . Ako je dioda u oblatoi proboja  $V_{os} = V_z$ , struja kroz potrošač se neće promeniti ali će porasti struja kroz zener diodu:  $\Delta I_o = \Delta I_z$ .

Ukoliko se smanji otpornost  $R_p$  dolazi do povećanja struje  $I_{os}$ . Ako je dioda u oblatoi proboja  $V_{os} = V_z$ , struja kroz otpornik R se neće promeniti ali će se smanjiti struja kroz zener diodu:  $\Delta I_z = -\Delta I_{os}$



## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom

Faktor stabilizacije,  $S$ , određuje iz šeme za naizmenični režim rada.



$$S = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta V_o} = \frac{v_{os}}{v_o}$$

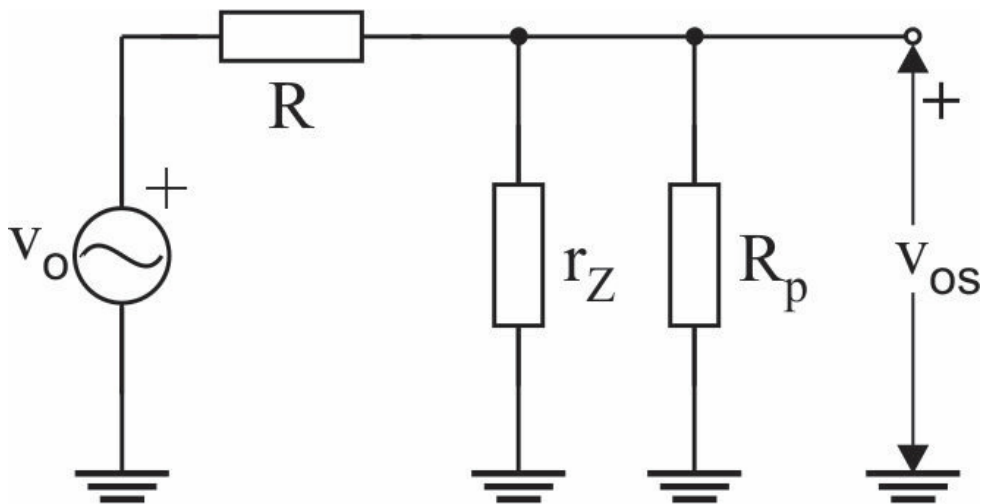
$$v_{os} = \frac{r_z \parallel R_p}{r_z \parallel R_p + R} \cdot v_o$$

$$r_z \ll R_p \quad r_z \ll R$$

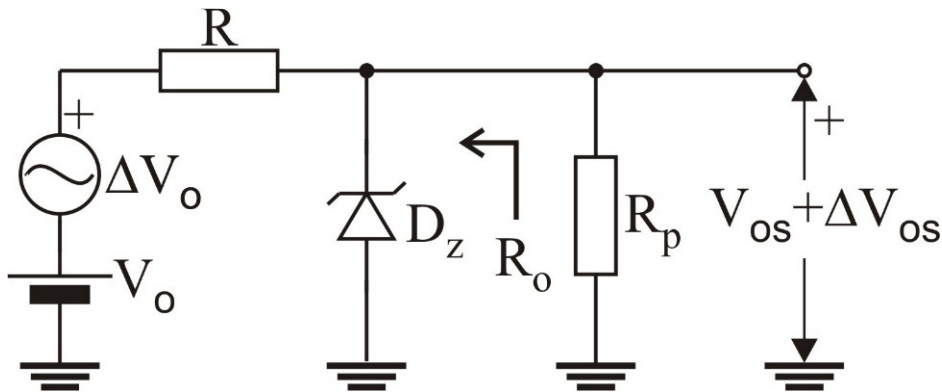
$$v_{os} = \frac{r_z}{r_z + R} \cdot v_o \approx \frac{r_z}{R} \cdot v_o$$

Faktor stabilizacije stabilizatora sa Zener diodom iznosi:

$$S = \frac{v_{os}}{v_o} \approx \frac{r_z}{R}$$



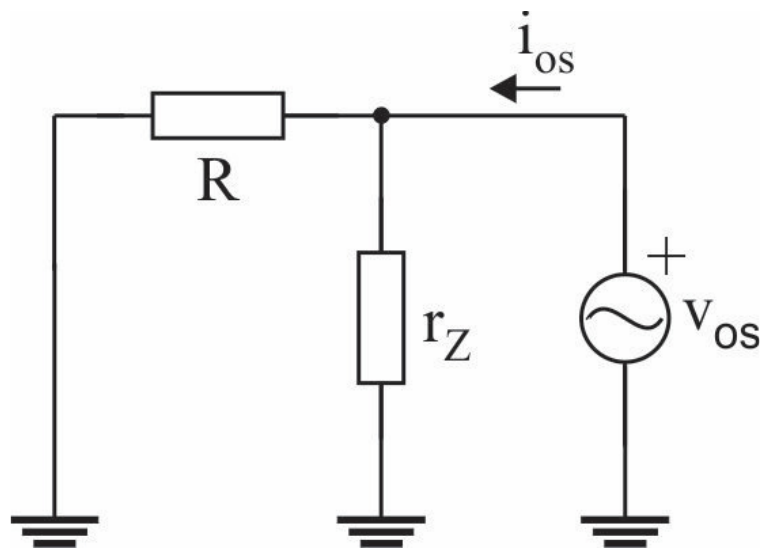
## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



$$R_o = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta I_{os}} = \frac{v_{os}}{i_{os}}$$

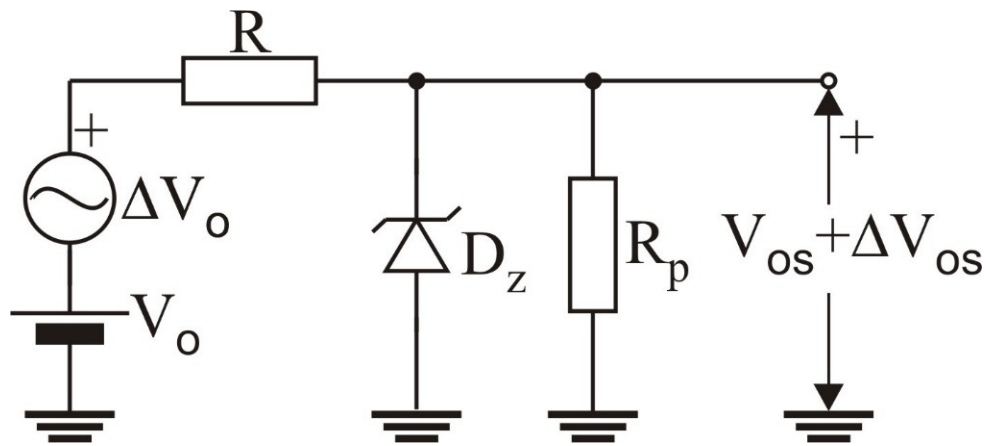
$$R_o = \frac{v_{os}}{i_{os}} = \frac{r_z \cdot R}{r_z + R}$$

$$R_o \approx r_z$$



Izlazna otpornost stabilizatora sa Zener diodom jednaka je dinamičkoj otpornosti Zener diode  $r_z$ .

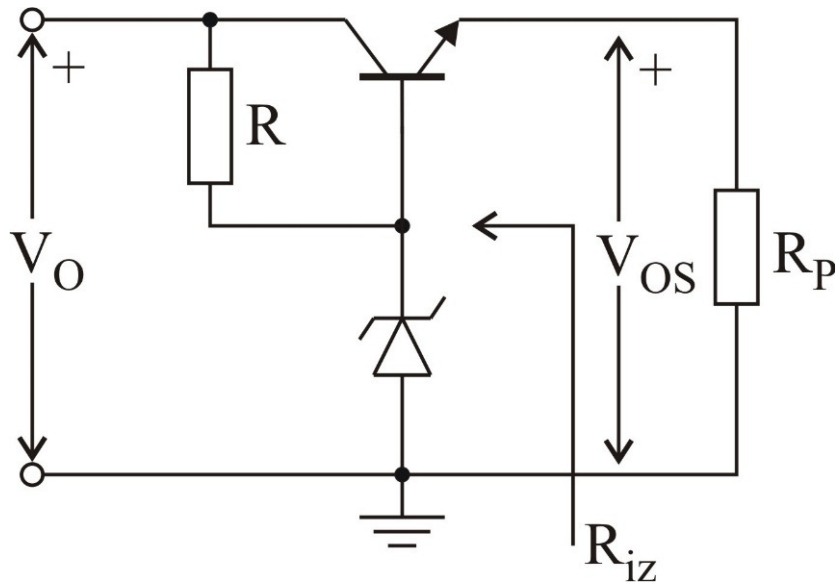
## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



$$S_T = \frac{\partial V_{os}}{\partial T} \approx \frac{\partial V_z}{\partial T}$$

Temperaturski faktor stabilizacije jednak je temperaturskom koeficijentu Zener diode, koji iznosi oko 2mV/C.

## Redni stabilizator - realizovan diskretnim komponentama



Jednosmerni izlazni napon rednog stabilizatora:

$$V_B = V_Z$$

$$V_{OS} = V_B - V_{BE}$$

$$V_{OS} = V_Z - V_{BE}$$

Tranzistor ima ulogu promenjive otpornosti koja je regulisana strujom baze.

**Princip rada:** Ukoliko se poveća ulazni napon  $V_O$  povećaće se struja kroz otpornik  $R$ . Ovaj porast struje uticaće samo na porast struje kroz zener diodu dok će struje tranzistora ostati nepromenjene.

Ukoliko se smanji otpornost potrošača,  $R_p$ , doći će do smanjenja izlaznog napona. Kao posledica toga povećaće se napon na emitorskom spoju tranzistora,  $V_{BE}$  jer je napon na bazi konstantan a napon na emitoru se smanjio. Usled povećanja  $V_{BE}$  dolazi do povećanja struje kolektora. Struja kolektora se povećava sve dok se ne uspostavi izlazna struja koja daje referentnu vrednost izlaznog napona  $V_{OS}$ .

## Redni stabilizator - realizovan diskretnim komponentama

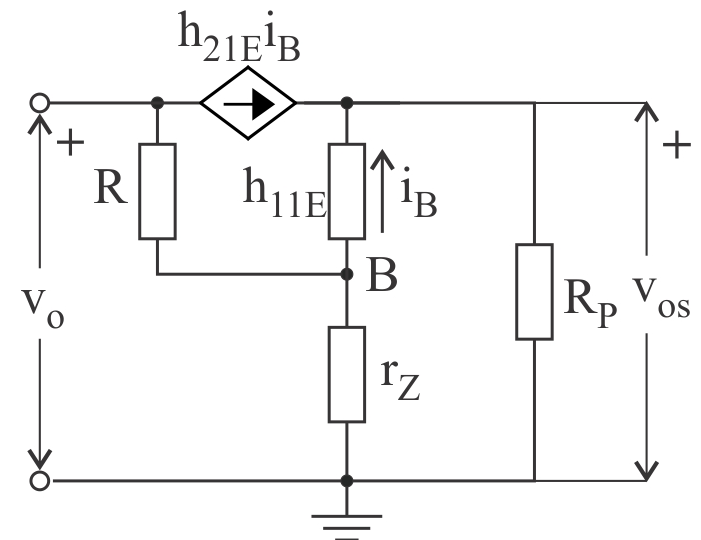
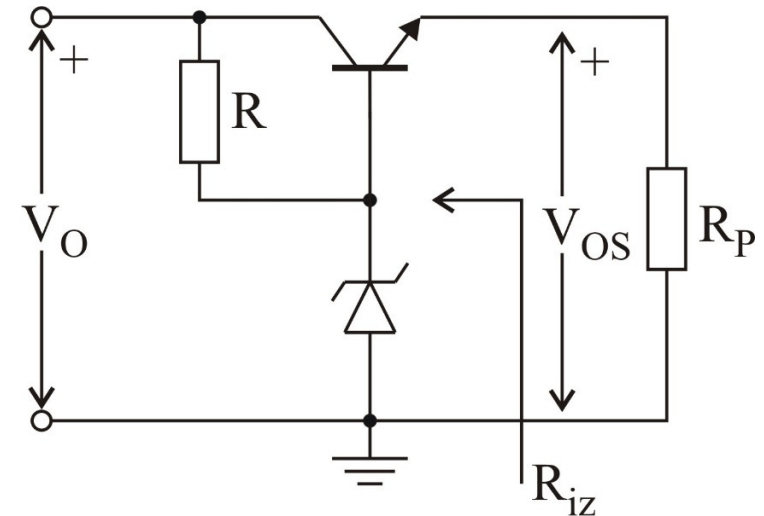
### Faktor stabilizacije

Faktor stabilizacije određuje se naizmeničnom analizom kola.

Potrebno je odrediti odnos naizmenične komponente napona na izlazu stabilizatora  $v_{os}$  i naizmenične komponente napona na ulazu u stabilizator  $v_o$ .

$$S = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta V_o} = \frac{v_{os}}{v_o}$$

Iako je izraz za  $S$  isti kao kod stabilizatora sa zener diodom,  $R$  može da bude mnogo veće, jer  $I_z$  kontroliše samo baznu struju, tako da se ostvaruje mnogo manji faktor stabilizacije.



# Redni stabilizator - realizovan diskretnim komponentama

## Faktor stabilizacije

Potencijal u čvoru B može se odrediti preko izraza za razdelnik napona.

$$v_B = v_o \cdot \frac{r_z \parallel (h_{11E} + R_p \cdot (1 + h_{21E}))}{R + r_z \parallel (h_{11E} + R_p \cdot (1 + h_{21E}))}$$

Tipična vrednost za dinamičku otpornost Zener diode je mnogo manja od  $h_{11E}$ , tako da važi:

$$r_z \parallel (h_{11E} + R_p \cdot (1 + h_{21E})) \approx r_z$$

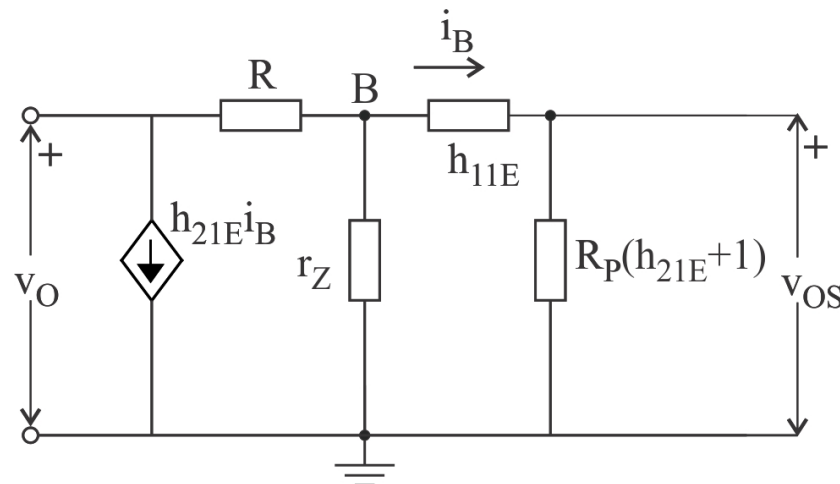
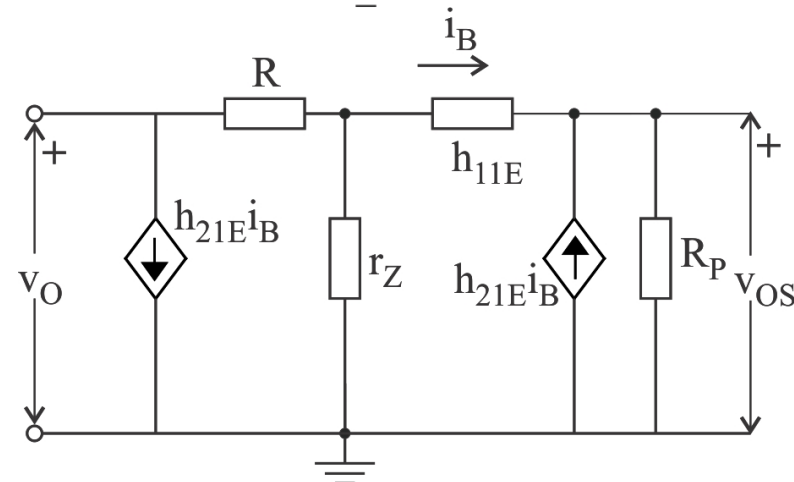
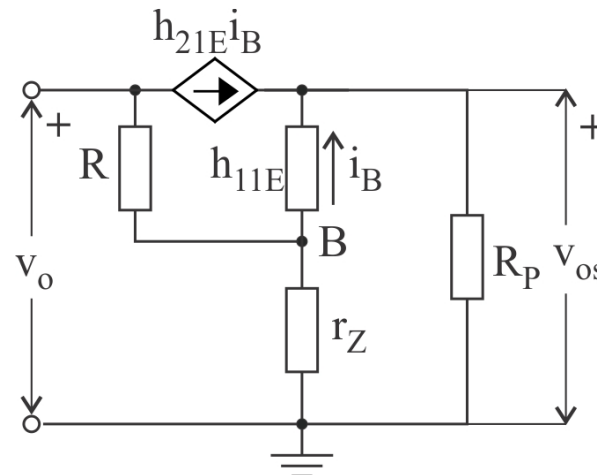
$$v_B \approx v_o \cdot \frac{r_z}{R + r_z}$$

$$v_{os} = v_b \cdot \frac{R_p \cdot (1 + h_{21E})}{h_{11E} + R_p \cdot (1 + h_{21E})}$$

$$R_p \cdot (1 + h_{21E}) \gg h_{11E} \rightarrow v_{os} \approx v_b$$

$$v_{os} \approx v_o \cdot \frac{r_z}{R + r_z} \approx v_o \cdot \frac{r_z}{R}$$

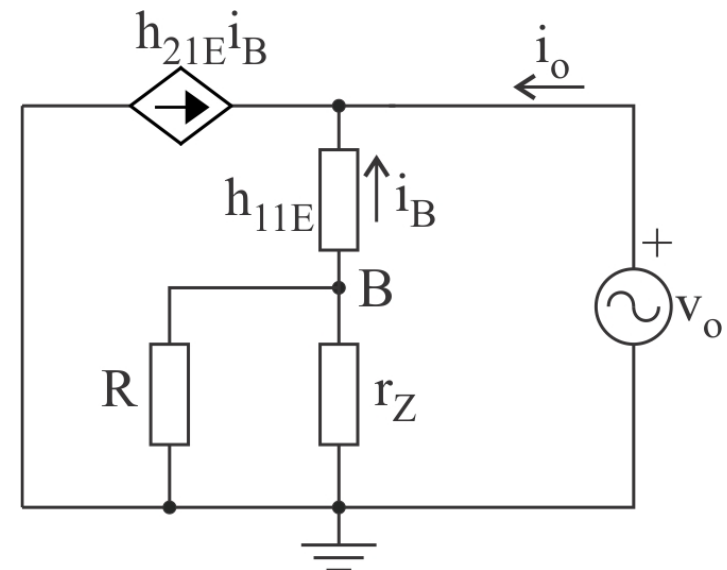
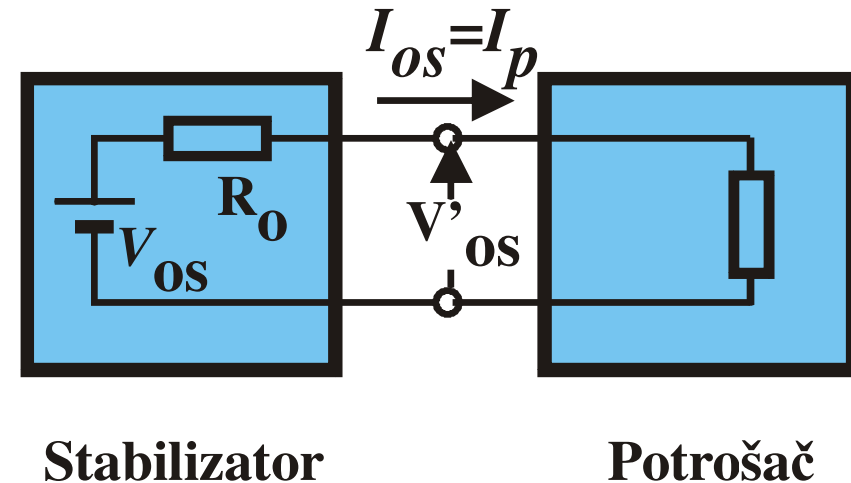
$$S = \frac{v_{os}}{v_o} \approx \frac{r_z}{R}$$



## Redni stabilizator - realizovan diskretnim komponentama

Izlazna otpornost stabilizatora je ekvivalentna Thevenenova otpornost dvopola koji čini stabilizator. Da bi odredili ovu otpornost potrebno je odrediti struju kroz generator postavljen na izlaznom pristupu pri čemu je kratkospojen ulazni pristup (ulazni naizmenični napon jednak nuli).

$$R_o = \frac{v_{os}}{i_{os}}$$



## Redni stabilizator - realizovan diskretnim komponentama

Izlazna otpornost rednog stabilizatora:

$$R_o = \frac{v_{os}}{i_{os}}$$

Grana u kojoj protiče struja baze može se prikazati preko ekvivalentne otpornosti:

$$R_{eq} = h_{11E} + R \parallel r_z$$

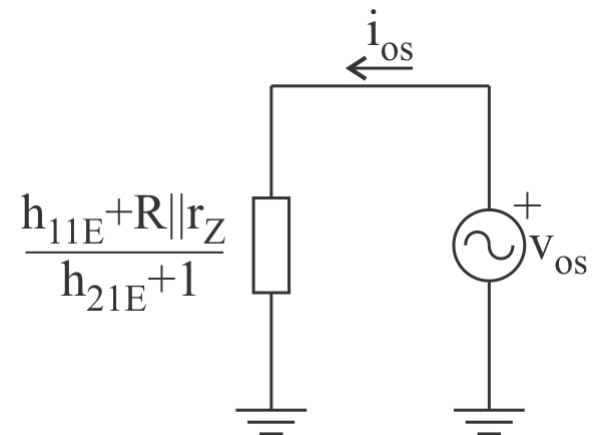
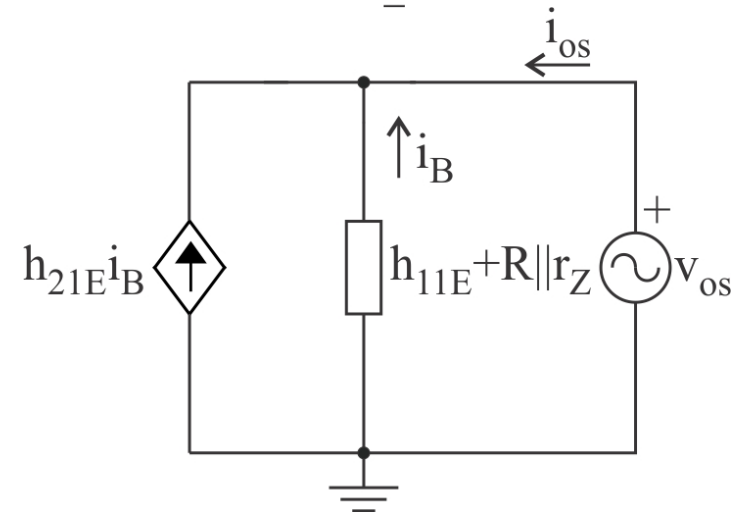
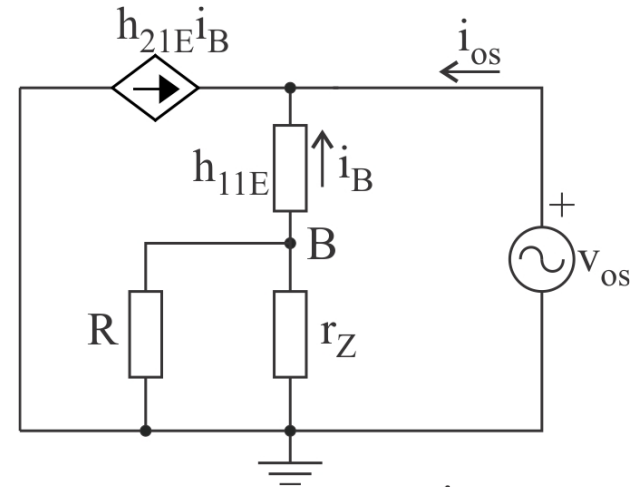
$$i_B = -\frac{v_o}{R_{eq}}$$

$$i_{os} = -(1 + h_{21E}) \cdot i_B$$

$$R_o = \frac{v_{os}}{i_{os}} = \frac{R_{eq}}{1 + h_{21E}} = \frac{h_{11E} + R \parallel r_z}{1 + h_{21E}}$$

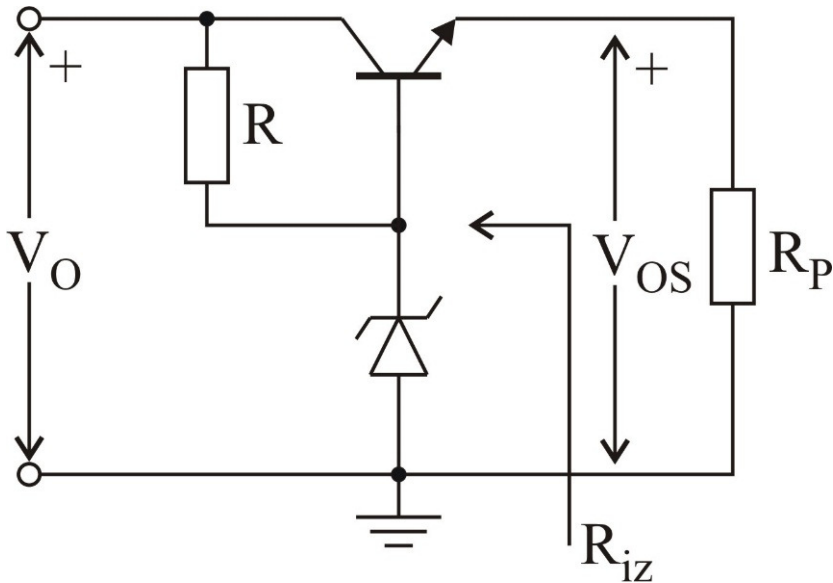
$$r_z \ll R \quad h_{11E} \gg r_z \quad \Rightarrow \quad R_{eq} \approx h_{11E} + r_z \approx h_{11E}$$

$$R_o = \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}}$$





## Redni stabilizator - realizovan diskretnim komponentama



Temperaturski faktor stabilizacije

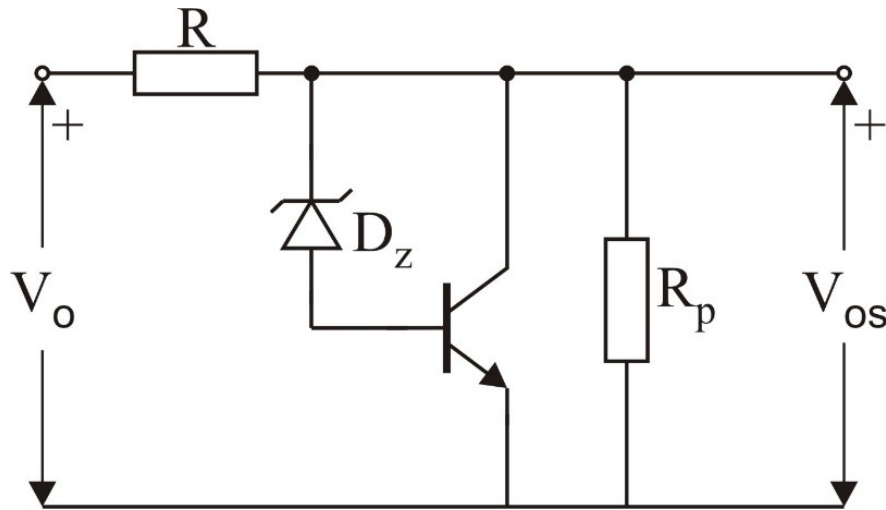
$$V_{OS} \approx V_Z - V_{BE}$$

$$S_T = \frac{\partial V_{OS}}{\partial T} \approx \frac{\partial V_Z}{\partial T} - \frac{\partial V_{BE}}{\partial T}$$

$$S_T \approx 4.5 \frac{mV}{C}$$

Temperaturski faktor stabilizacije jednak je razlici temperaturnog koeficijenta Zener diode (2mV/C) i temperaturnog koeficijenta direktno polarisanog pn spoja (približno -2.5 mV/C).

## Paralelni stabilizator - realizovan diskretnim komponentama



Jednosmerni izlazni napon paralelnog stabilizatora:

$$V_{os} = V_{BE} + V_Z$$

**Princip rada:** Porast  $V_o$  za  $\Delta V_o$  izaziva porast struje kroz otpornik R. Usled povećanja struje kroz R povećaće se struja kroz Zener diodu a samim tim i struje baze jer je  $I_Z = I_B$ . Kao posledica toga povećava se struja kolektora. Na taj način održava se struja koja protiče kroz  $R_p$  konstantnom.

Ukoliko se smanji otpornost potrošača (poveća izlazna struja) smanjiće se izlazni napon. Kao posledica toga smanjenjiće se napon na emitorskom pn spoju  $V_{BE}$  što dovodi do smanjenja struje kolektora. Struja kolektora se smanjuje sve dok se ne uspostavi izlazna struja koja daje referentnu vrednost izlaznog napona  $V_{os}$ .

## Paralelni stabilizatori - regulatori napona

### Paralelni stabilizatori –faktor stabilizacije

Paralelna veza strujnog generatora kontrolisanog strujom  $h_{21E} \cdot i_b$  i ekvivalentne otpornosti kroz koju protiče struja  $i_b$ ,  $r_z + h_{11E}$ , može se zameniti otpornikom  $\frac{r_z + h_{11E}}{1 + h_{21E}}$ .

Ekvivalentna otpornost između kolektora i mase je:

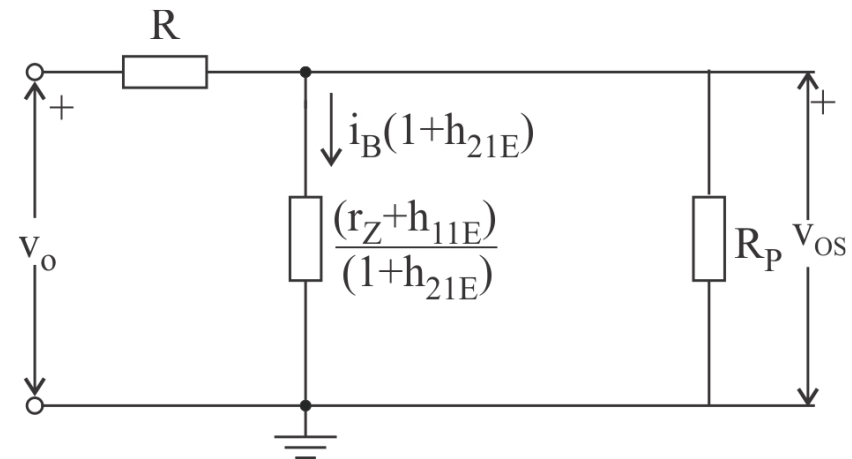
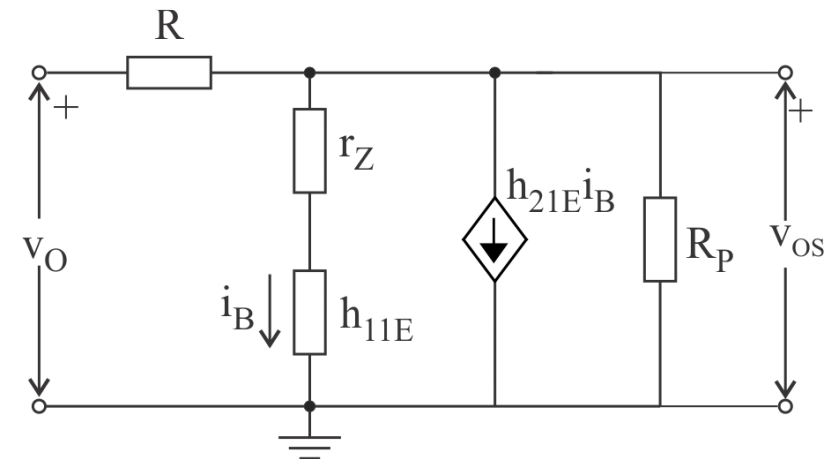
$$R_p \parallel \frac{r_z + h_{11E}}{1 + h_{21E}}$$

$$r_z \ll h_{11E} \Rightarrow R_{eq} \approx R_p \parallel \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}}$$

$$R_p \ll \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}} \Rightarrow R_{eq} \approx \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}} \approx \frac{h_{11E}}{h_{21E}}$$

Izlazni napon  $v_{os}$  se može odrediti preko razdelnik napona.

$$\frac{v_{os}}{v_o} = \frac{R_{eq}}{R + R_{eq}} \approx \frac{h_{11E}}{h_{11E} + R \cdot h_{21E}}$$



$$S \approx \frac{h_{11E}}{h_{11E} + R \cdot h_{21E}}$$

## Paralelni stabilizatori - regulatori napona

### Paralelni stabilizatori –izlazna otpornost

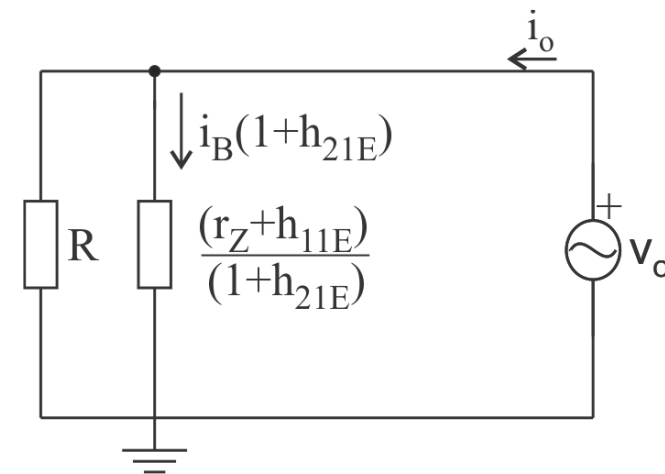
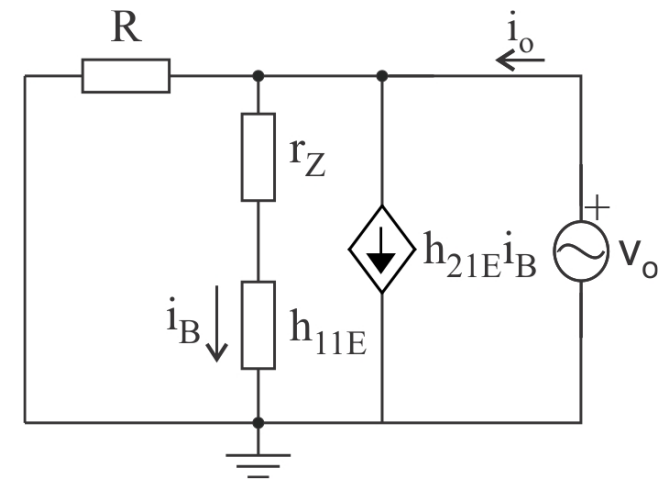
Paralelna veza strujnog generatora kontrolisanog strujom  $h_{21E} \cdot i_b$  i ekvivalentne otpornosti kroz koju protiče struja  $i_b$ ,  $r_Z + h_{11E}$ , može se zameniti otpornikom  $\frac{r_Z + h_{11E}}{1 + h_{21E}}$ .

$$R_o = \frac{v_o}{i_o} = R \parallel \frac{r_Z + h_{11E}}{1 + h_{21E}} \approx R \parallel \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}}$$

$$r_Z \ll h_{11E} \Rightarrow R_o \approx R \parallel \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}}$$

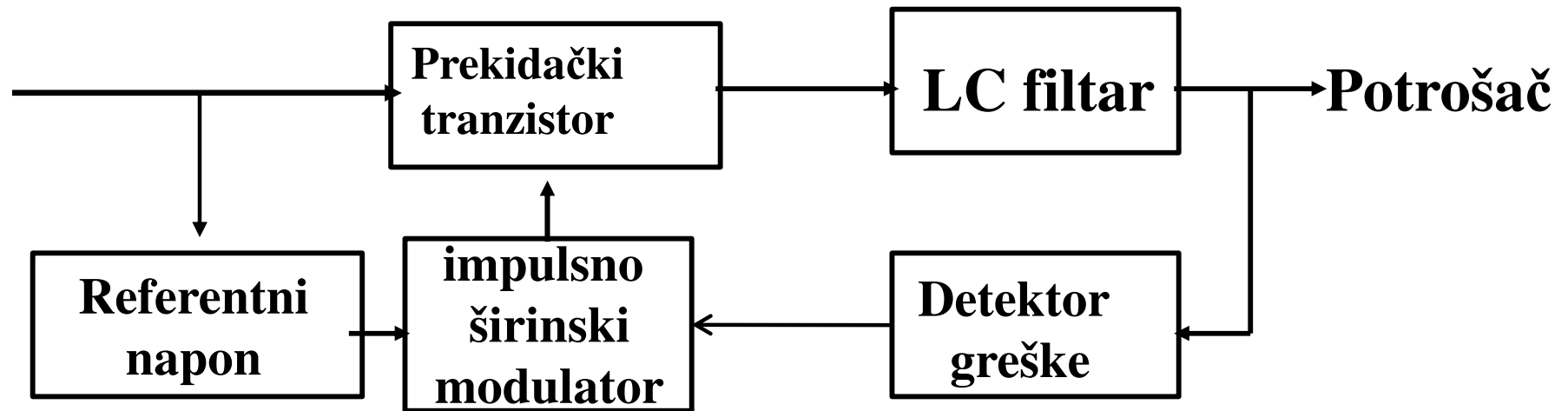
$$R \ll \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}} \Rightarrow R_o \approx \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}}$$

$$R_o \approx \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}}$$



# Prekidački stabilizatori

# Prekidački stabilizatori – principijelna šema



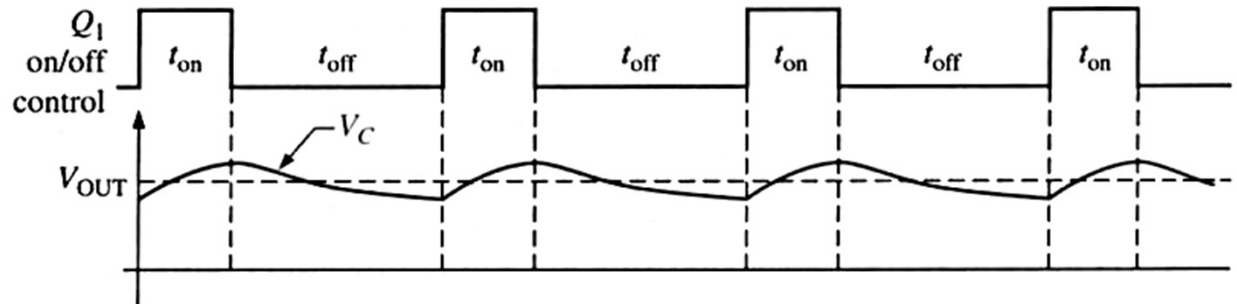
**Prekidački stabilizatori** (SMPS - Switching-Mode Power Supply) generišu napon pravougaonog talasnog oblika koji nakon prolaska kroz niskofrekventni LC filter daje zadatu vrednost jednosmernog napona. U prekidačkom stabilizatoru regulacija se vrši prekidačem.

Kontrolišući element (tranzistor) radi u prekidačkom režimu tako da je disipacija na njemu mala. Prekidač je otvoren kada je tranzistor u režimu zakočenja  $I_C=0A$ . Prekidač je zatvoren kada je prekidački tranzistor u režimu zasićenja,  $V_{CE}=V_{CES} \approx 0.2V$ .

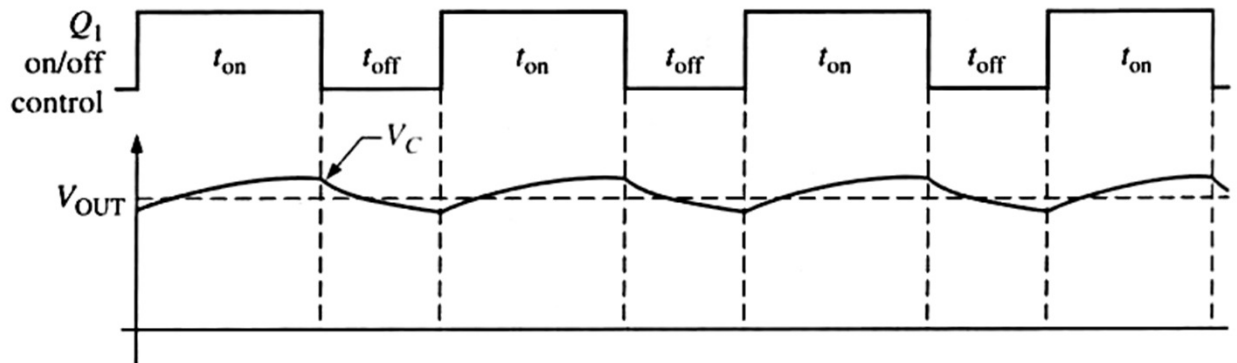
Za upravljanje prekidačem primenjuje se impulsno širinski modulator koji u suštini predstavlja **oscilator kontrolisan naponom**. Ovo kolo generiše napon pravougaonog talasnog oblika konstantne frekvencije. Ono što je promenljivo je vremenski interval višeg naponskog nivoa, odnosno menja se takozvani faktor ispunje.

Uloga impulsno širinske modulacije je da menja vremenski interval trajanja višeg naponskog nivoa,  $t_{on}$ . Odnos tog vremenskog intervala i periode je **faktor ispune** (duty cycle),  $D$ .

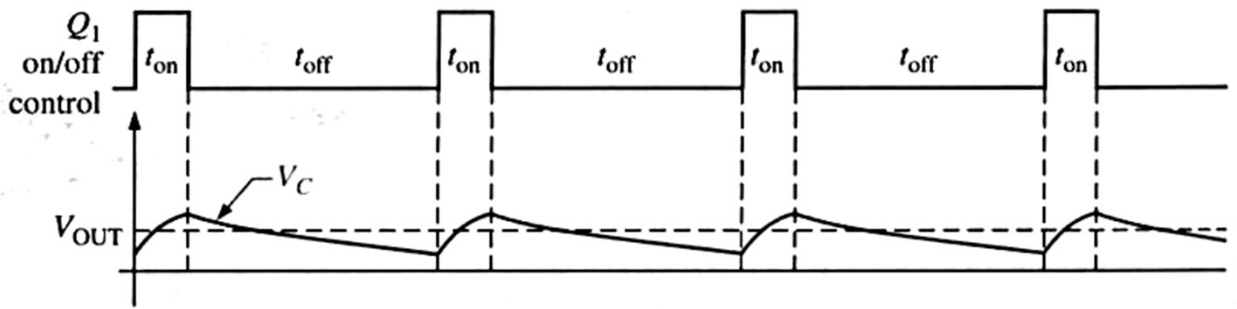
$$D = \frac{t_{on}}{T}$$



(a)  $V_{OUT}$  depends on the duty cycle.



(b) Increase the duty cycle and  $V_{OUT}$  increases.



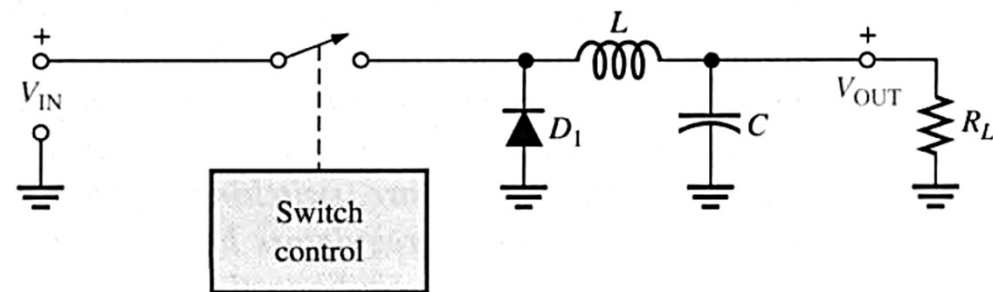
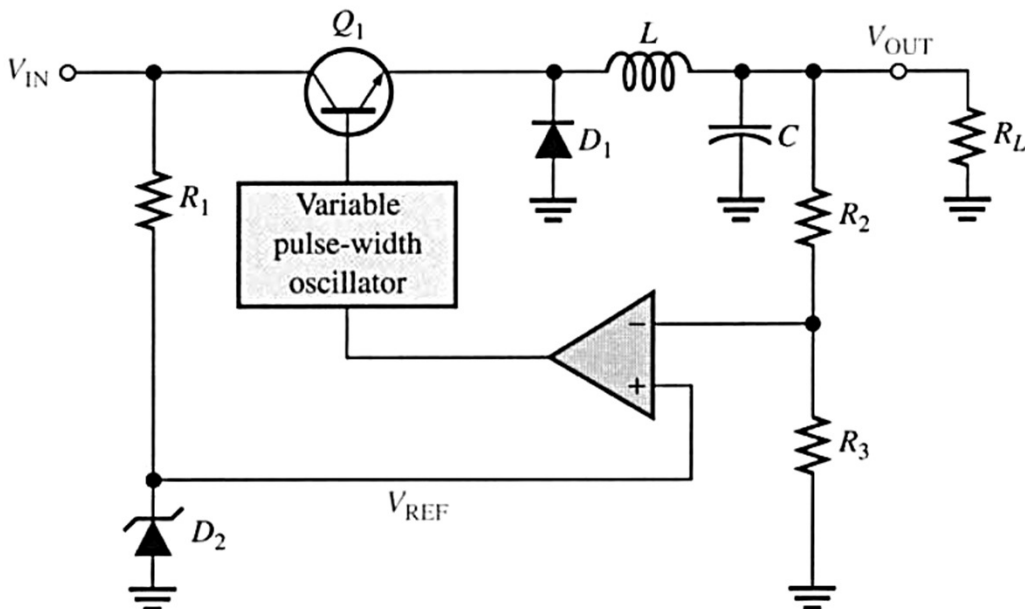
(c) Decrease the duty cycle and  $V_{OUT}$  decreases.

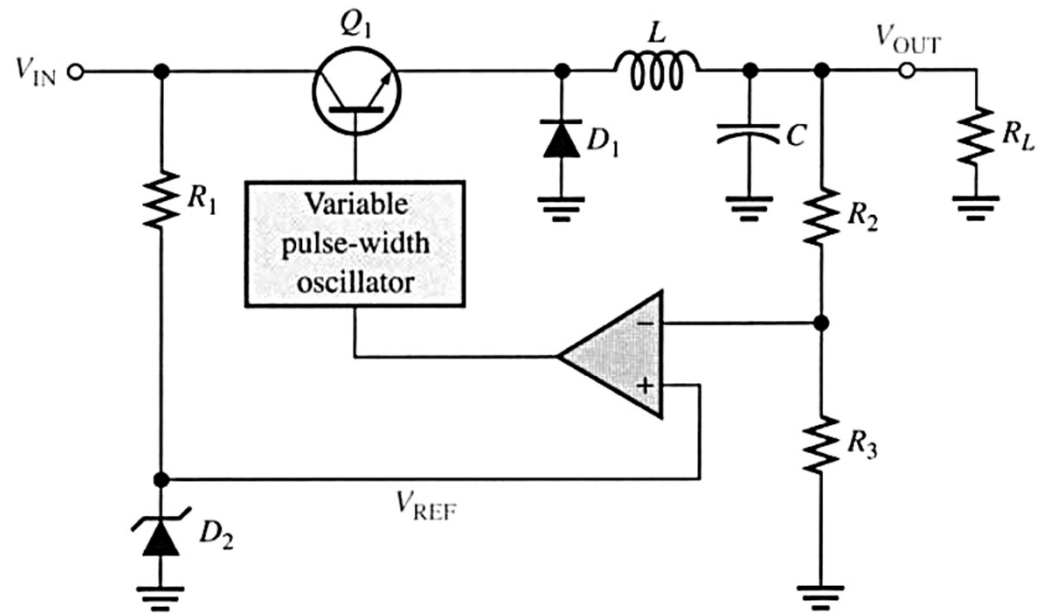
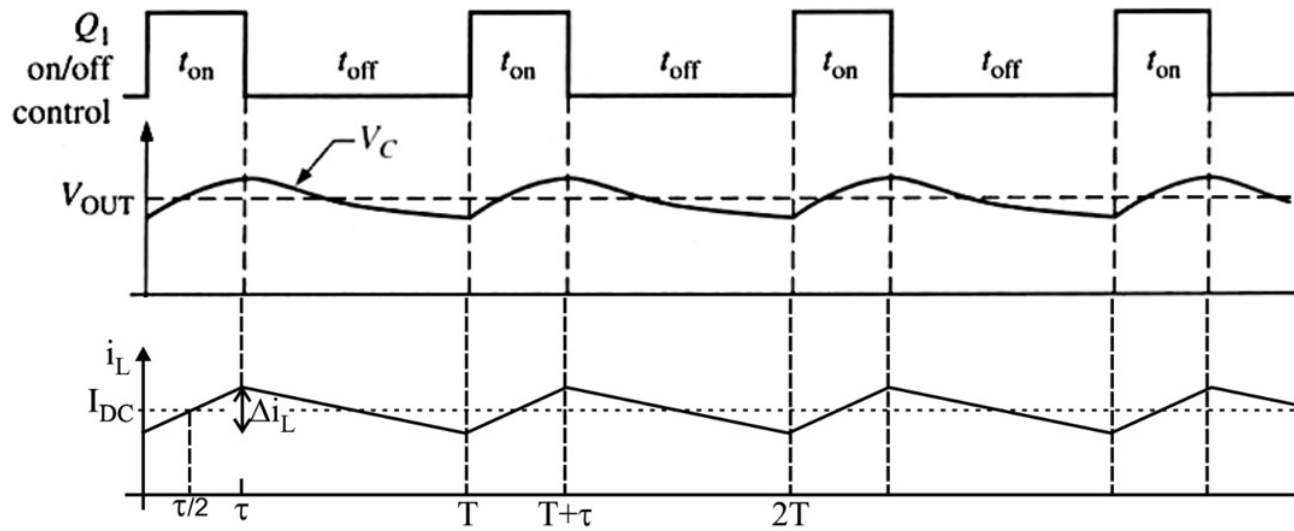
- Najbitnije prednosti prekidačkih stabilizatora su:
  - Ovim stabilizatorom može se postići **veći stepen iskorišćenja** nego sa linearnim tipom jer tranzistori ne vode svo vreme. Pored toga snaga disipacije tranzistora u režimu zasićenje je mnogo manja nego snaga koja se disipira kada je transistor u aktivnoj oblasti. Stepenn iskorišćenja je dosta veliki i kreće se u granicama od 70% do 90% (kod linearnih stabilizatora 40% do 60%).
  - Mrežni napon se direktno ispravlja i filtrira bez primene transformatora. Zahvaljujući ovome manjih su dimenzija.
  - Prekidačkim regulatorima se mogu proizvesti veće struje pri nižim naponima jer je snaga disipacije tranzistora manja.
- Prekidački stabilizatori se dele na sledeće kategorije:
  - spuštač napona (step-down)
  - podizač napona (step-up)
  - invertujući (voltage inverter)



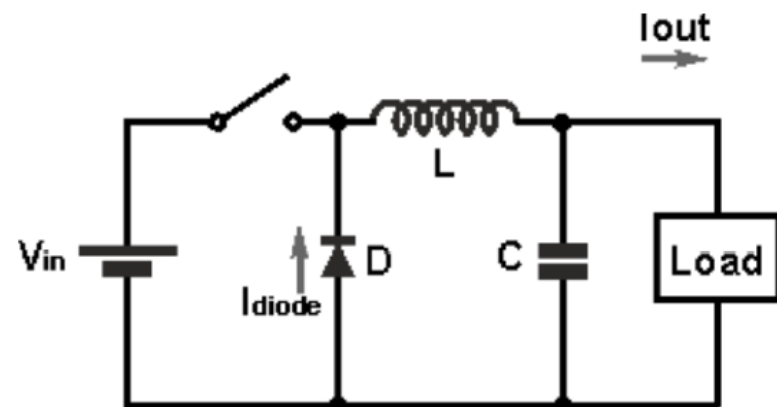
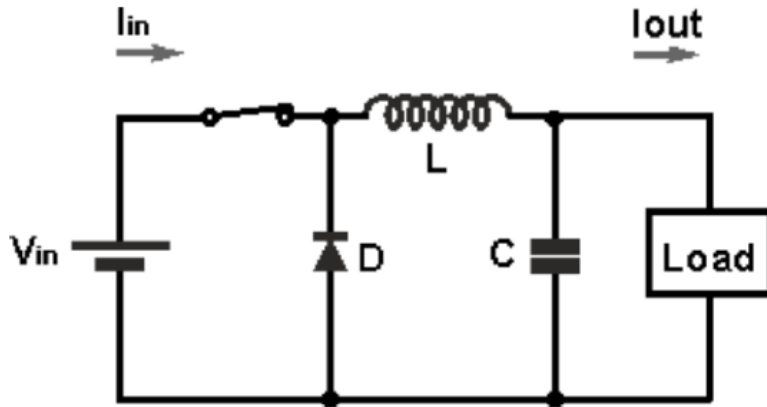
# Prekidački spustač napona

- Kod prekidačkog spustača napona izlazni napon je uvek manji od ulaznog napona. Postoje dva režima rada kola, jedan kada je prekidač zatvoren i drugi kada je prekidač otvoren.
- Kada je prekidač zatvoren (tranzistor  $Q_1$  u zasićenju) dioda je u zakočenju i strujno kolo se zatvara preko kalema i kondenzatora. Tokom tog perioda kalem akumulira energiju i napon na kondenzatoru raste.
- Kada se prekidač otvori (tranzistor u zakočenju) polaritet kalema se menja kao posledica Lorencovog zakona i on vraća akumuliranu energiju. Praktično kalem tada ima ulogu izvora napajanja. Dioda postaje direktno polarisana i počinje da teče struja ka potrošaču. Tokom tog perioda napon na kondenzatoru opada.
- Regulacija izlaznog napona vrši se promenom vremenskog intervala tokom koga je prekidač zatvoren. Što je taj vremenski interval duži srednja vrednost napona na izlazu je veća.





# Prekidački spustač napona



$$i_L(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_0^t v_L(t) dt + i_L(0)$$

$$\Delta i_{Lon} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \cdot \tau$$

$$\Delta i_{Loff} = \frac{V_{out}}{L} (T - \tau)$$

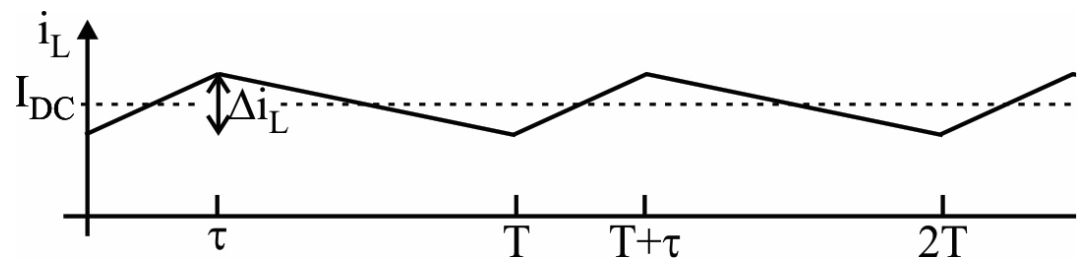
$$\Delta i_{Lon} = \Delta i_{Loff}$$

$$(V_{in} - V_{out}) \cdot \tau = V_{out} (T - \tau)$$

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{\tau}{T} = V_{in} \cdot D$$

$$D = \frac{\tau}{T} \text{ je faktor ispunje (duty cycle)}$$

Kada je prekidač zatvoren struja kroz kalem linearno raste, a kada je prekidač otvoren linearno opada. Kada se izjednači ova dva priraštaja struje ( $\Delta i_{Lon}$  i  $\Delta i_{Loff}$ ) može da se odredi vrednost izlaznog napona  $V_{out}$ .



**Faktor ispunje** je odnos vremenskog intervala u toku koga je prekidač zatvoren i periode signala. Što je veći faktor ispunje jednosmerni izlazni napon je veći.

# Prekidački podizač napona (step-up switching regulator)

Ovaj regulator napona daje na izlazu napon koji je veće vrednosti od ulaznog napona. Kada je prekidač zatvoren dioda ne vodi i sva ulazna struja teče kroz kalem na kome se akumulira energija.

Kada se prekidač otvori napon na kalemu menja polaritet. Dioda postaje direktno polarisana i kroz nju teče struja koja puni kondenzator. Na izlazu se dobija veći napon nego na ulazu jer se ulaznom naponu pridodaje napon na kalem.

Izlazni napon određene je izjednačavanjem pozitivnog priraštaja struje kroz kalem tokom intervala  $\tau$  i negativnog priraštaja struje tokom preostalog dela periode.

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_0^t v_L(t) dt + i_L(0)$$

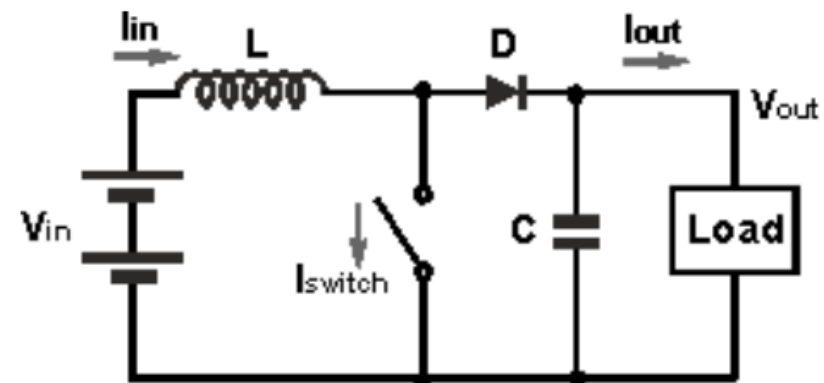
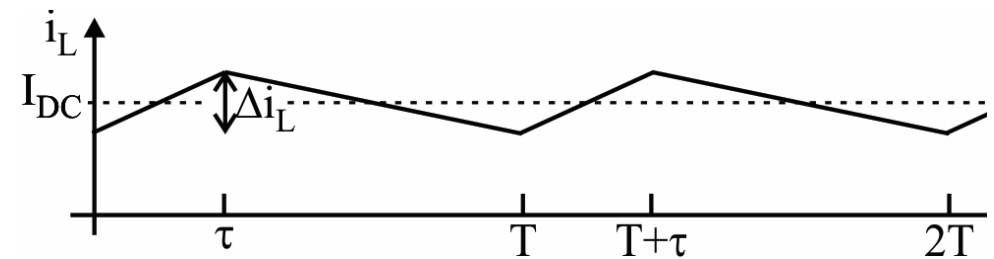
$$\Delta i_{Lon} = \frac{V_{in}}{L} \cdot \tau$$

$$\Delta i_{Loff} = -\frac{(V_{in} - V_{out})}{L} (T - \tau)$$

$$\Delta i_{Lon} = \Delta i_{Loff}$$

$$V_{in} \cdot \tau = (V_{out} - V_{in}) \cdot (T - \tau)$$

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{T}{T - \tau} = V_{in} \cdot \frac{1}{1 - D}$$



# Prekidački obrtač napona (inverting switching regulator)

Ovaj regulator napona daje na izlazu napon suprotnog polariteta od ulaznog. Kada je prekidač zatvoren dioda ne vodi i sva ulazna struja teče kroz kalem na kome se akumulira energija.

Kada se prekidač otvori napon na kalemu menja polaritet. Dioda postaje direktno polarisana i kroz nju teče struja koja prazni kondenzator.

Izlazni napon određene je izjednačavanjem pozitivnog priraštaja struje kroz kalem tokom intervala  $\tau$  i negativnog priraštaja struje tokom preostalog dela periode.

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_0^t v_L(t) dt + i_L(0)$$

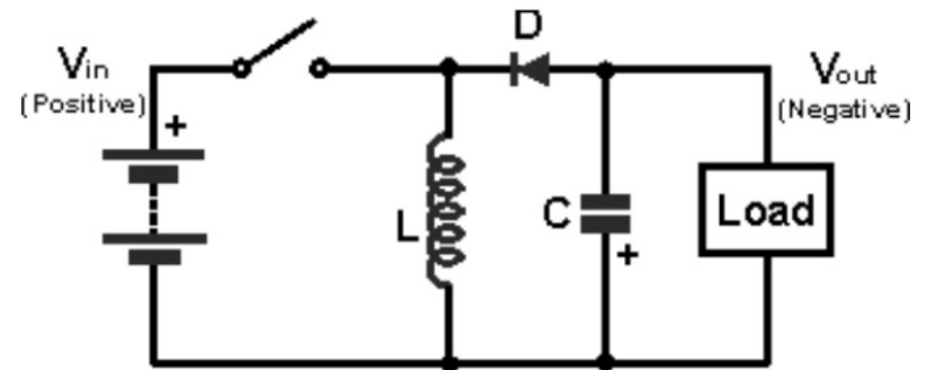
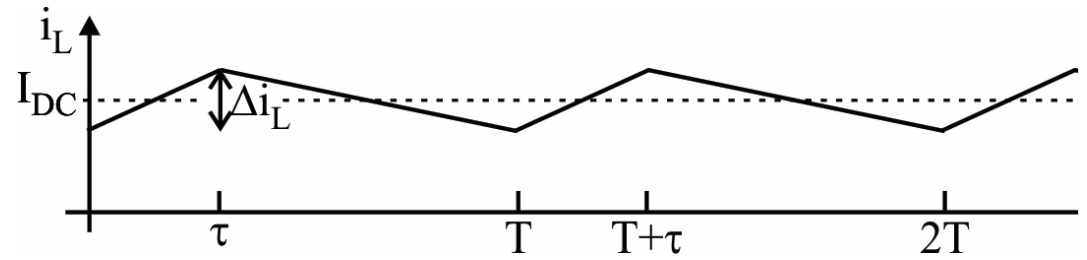
$$\Delta i_{Loff} = -\frac{V_{out}}{L} (T - \tau)$$

$$\Delta i_{Lon} = \frac{V_{in}}{L} \cdot \tau$$

$$\Delta i_{Lon} = \Delta i_{Loff}$$

$$V_{in} \cdot \tau = -V_{out} \cdot (T - \tau)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{\tau}{T - \tau} = -\frac{D}{1 - D}$$



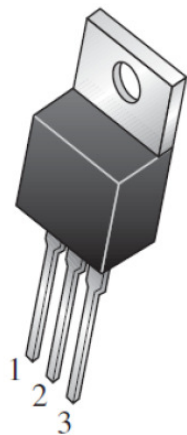
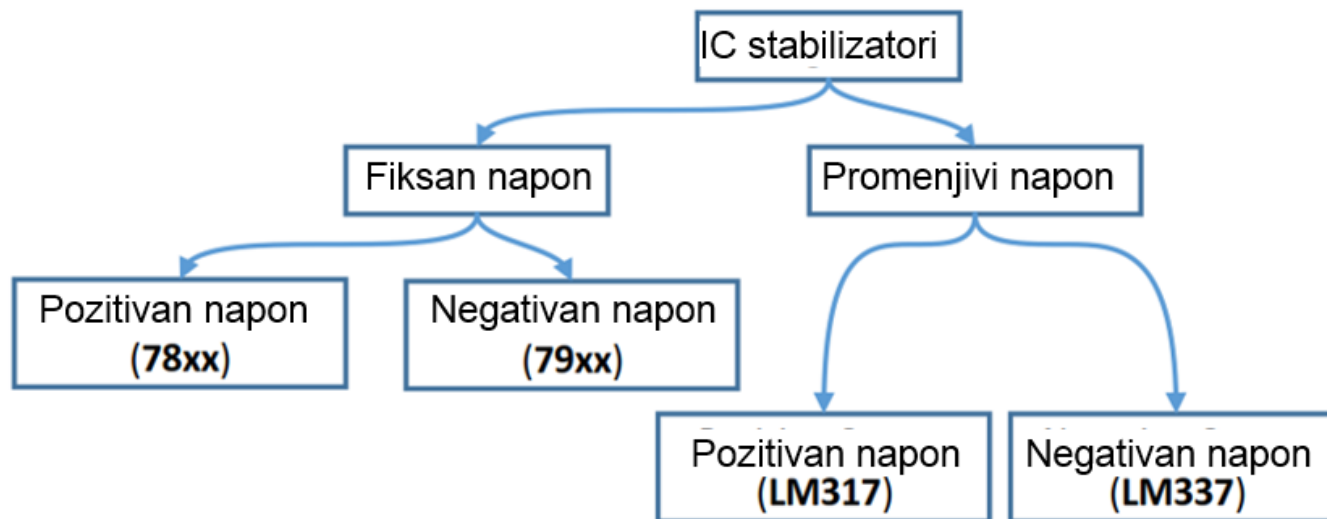
## • **Integrirani stabilizator napona**

- Tipovi integriranih stabilizatora napona:
  - stabilizatori koji generišu fiksni izlazni napon (pozitivan ili negativan)
  - stabilizatori koji generišu promenjivi izlazni naponom (pozitivna ili negativan)
  - prekidački stabilizatori
- Integrirani stabilizatori napona se veoma često koriste u izvorima napajanja jer ih odlikuju sledeće osobine:
  - jednostavni su za korišćenje
  - imaju nisku cenu
  - pouzdani su
  - dostupan je veliki broj integriranih stabilizatora sa različitim nominalnim vrednostima napona i struja

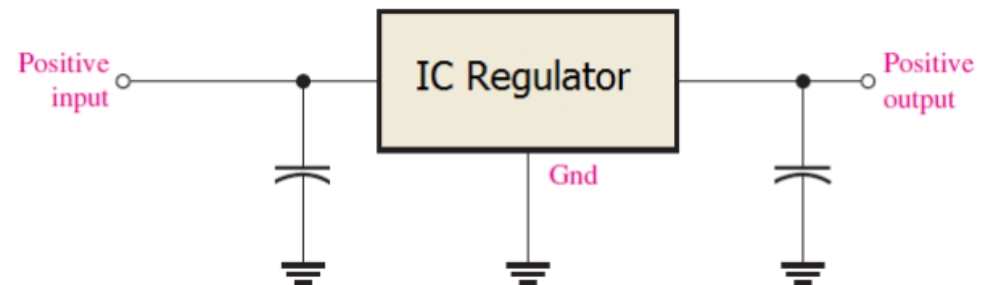


# Stabilizatori - regulatori napona

Integrirana kola stabilizatora napona su redni stabilizatori. Ova integrirana kola sadrže unutar istog čipa izvor referentnog napona, detektor greške i komparator.

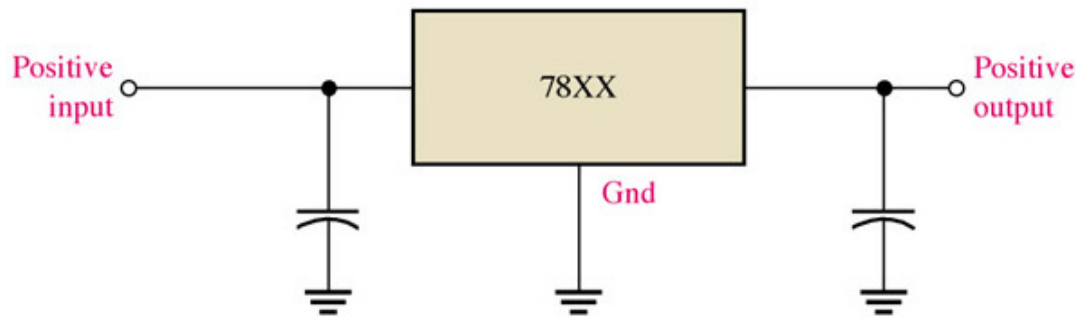


Pin 1. Input  
2. Ground  
3. Output  
Heatsink surface connected to Pin 2.



## Integrirani stabilizator napona 7800

- Integrirani stabilizatori napona su kola sa najčešće komponente sa tri terminala čiji izlazni napon može biti pozitivan ili negativni napon, fiksni ili promenljiv.
- Integrirana kola familije 7800 generišu na izlazu pozitivan fiksni napon. Zadnje dve cifre u nazivu predstavljaju vrednost izlaznog napona. Kapacitivnost na ulazu se koristi da bi se sprečile oscilacije a kapacitivnost na izlazu se primenjuje da bi se smanjio prelazni režim nakon brzih promena struje potrošnje kao i radi smanjenja šuma. Ulazni napon mora da bude bar za 2 volta veći od izlaznog napona.



(a) Standard configuration

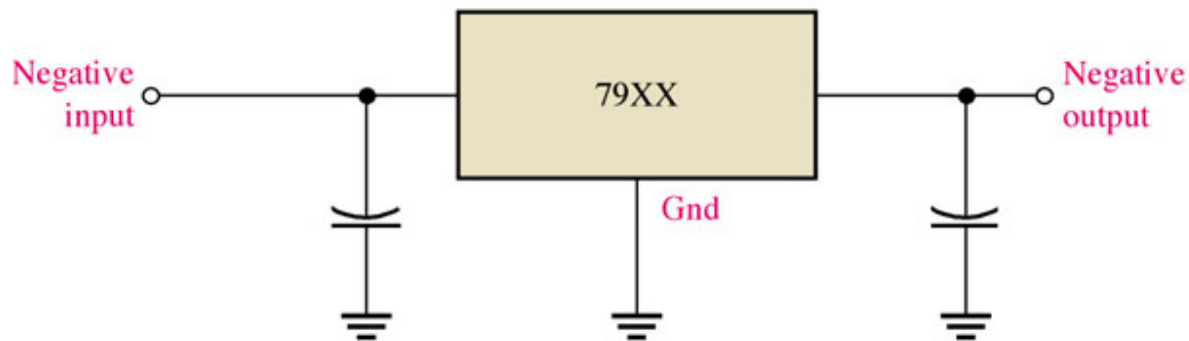
Type number	Output voltage
7805	+5.0 V
7806	+6.0 V
7808	+8.0 V
7809	+9.0 V
7812	+12.0 V
7815	+15.0 V
7818	+18.0 V
7824	+24.0 V

(b) The 7800 series



## Integrirani stabilizator napona 7900

- Integrirana kola familije 7900 su tipični predstavnici stabilizatora koji daju negativan fiksni napon. Ova familija integriranih kola ima iste osobine kao 7800.

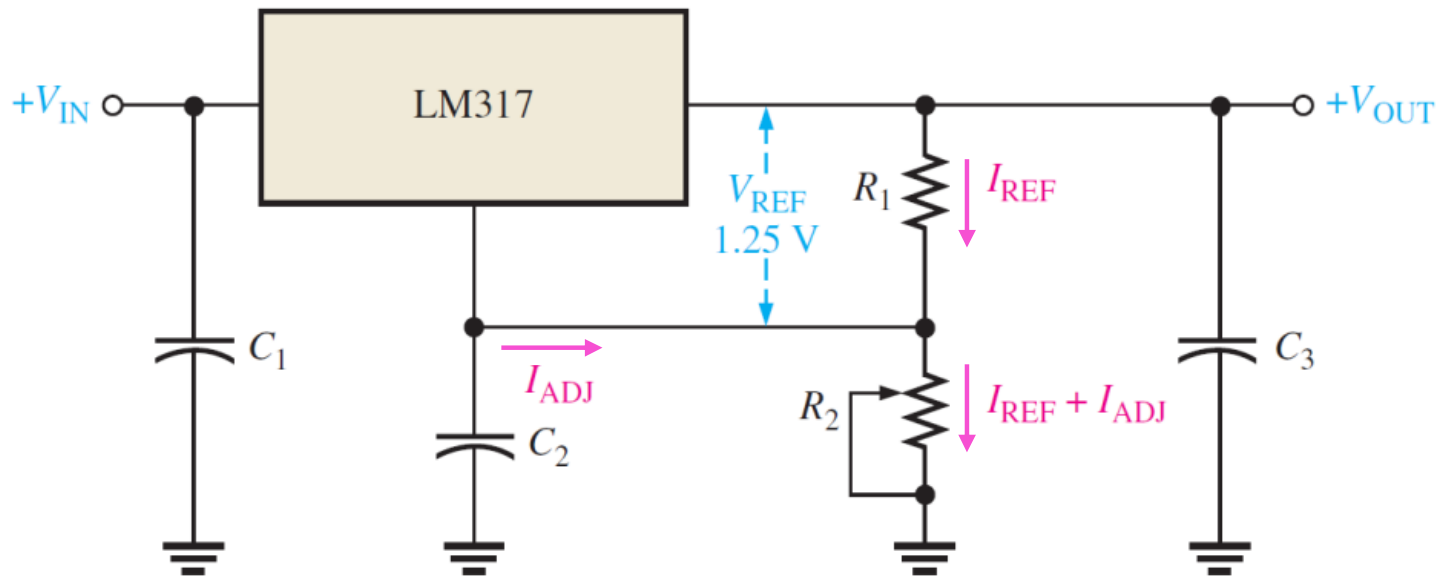


Type number	Output voltage
7905	-5.0 V
7905.2	-5.2 V
7906	-6.0 V
7908	-8.0 V
7912	-12.0 V
7915	-15.0 V
7918	-18.0 V
7924	-24.0 V

(b) The 7900 series

## Integrirani stabilizator napona sa promenljivim naponom

- Spoljni otpornik  $R_1$  i potenciometar  $R_2$  koriste se za podešavanje izlaznog napona.
- Izlazni napon može da varira između 1.2 V i 37 V zavisno od vrednosti otpornika.
- Integrirano kolo LM317 može da obezbedi izlaznu struju u iznosu od 1.5 A.
- Struja koja utiče u srednji pin  $I_{ADJ}$  je reda desetak mikro ampera i može da se zanemari.

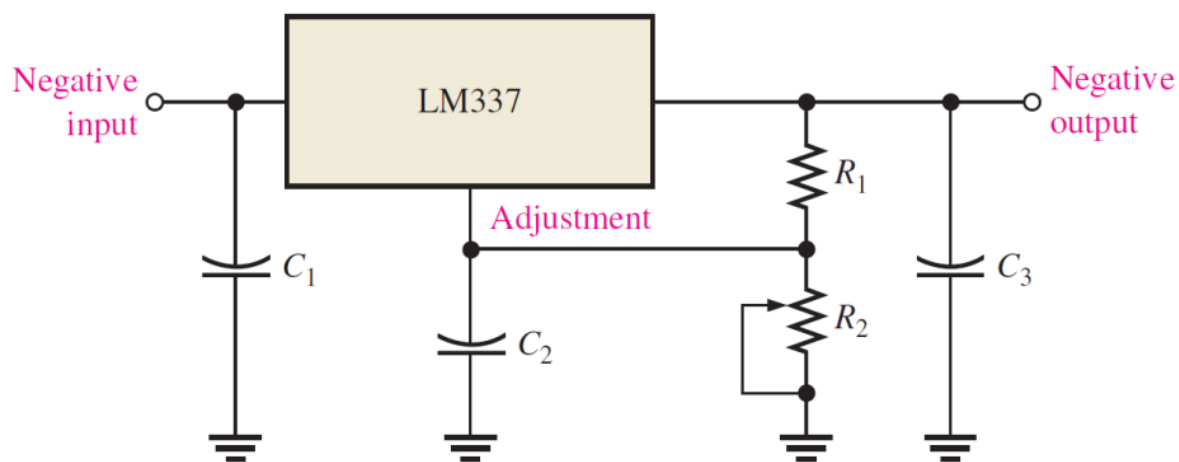


$$V_{out} = V_{ref} + (I_{ref} - I_{adj}) \cdot R_2 \approx V_{ref} + I_{ref} \cdot R_2$$

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1,25 V \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

## Integrirani stabilizator napona sa promenljivim naponom

- Integrirano kolo LM337 se koristi za stabilizaciju negativnog napona. Ovo kolo ima iste karakteristike kao integrirano kolo LM317, sa tom razlikom što su potencijali na ulazu i izlazu negativni. Izlazni napon se podešva na isti način kao kod integrisanog kola LM317.



# Stabilizatori napona

## Elementarna pitanja

1. Uloga stabilizatora napona. Parametri stabilizatora napona: faktor stabilizacije, izlazna otpornost, temperaturski faktor stabilizacije.
2. Osobine linearnih stabilizatora, princip rada rednog stabilizatora napona i paralelnog stabilizatora napona na nivou blok šeme.
3. Princip rada prekidačkih stabilizatora napona (principijelna šema, impulsno širinska modulacija, faktor ispunje).

## Ostala ispitna pitanja

4. Stabilizator napona realizovan primenom zener diode (električna šema, izraz za faktor stabilizacije i izlaznu otpornost).
5. Redni stabilizator napona realizovan diskrentnim komponentama (električna šema, izraz za faktor stabilizacije i izlaznu otpornost).
6. Paralelni stabilizator napona realizovan diskrentnim komponentama.
7. Prekidački spuštač napona (pojednostavljena električna šema sa prekidačem i princip rada).
8. Prekidački podizač napona.
9. Prekidački obrtač napona.
10. Integrirani stabilizatori napona.