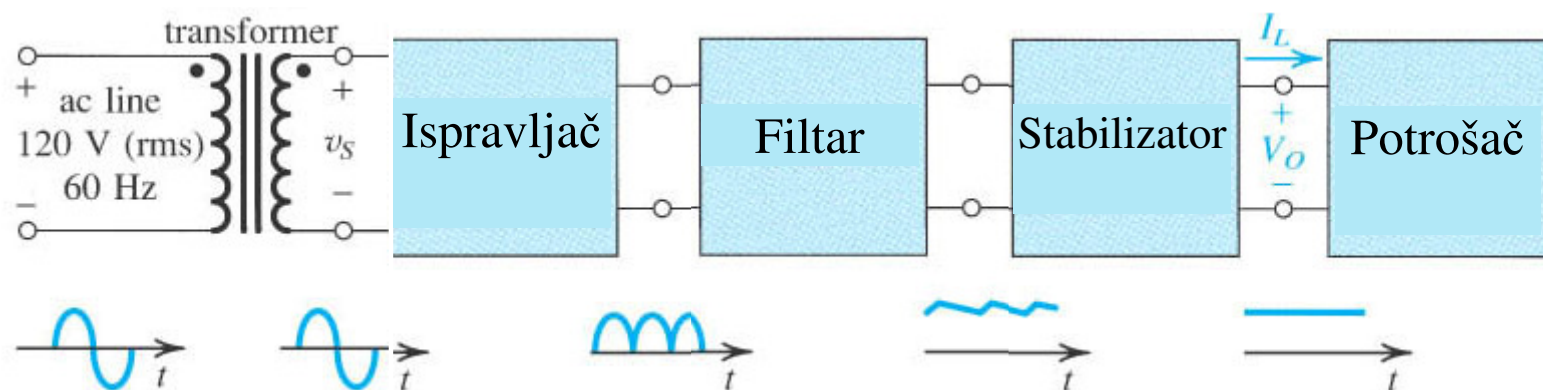


# Stabilizzatori - regolatori tensione

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

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

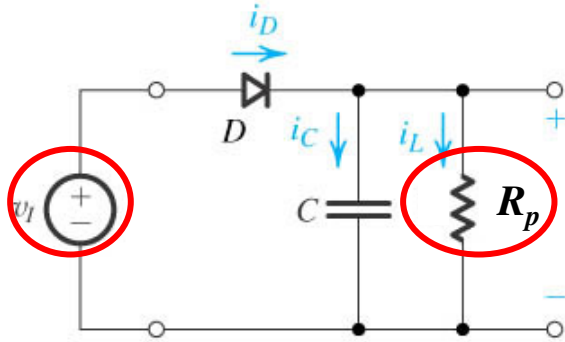
1. Smanjiti njegovu vrednost primenom transformatora.
2. Usmeriti ga (napraviti jednosmerni napon) primenom ispravljača.
3. Ukloniti naizmjeničnu komponentu (“ispeglati”) filtrom.
4. Stabilisati ga primenom stabilizatora. To praktično znači učiniti nezavisnim od promena uslova rada (potrošača i napona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



## Stabilizatori - regulatori napona

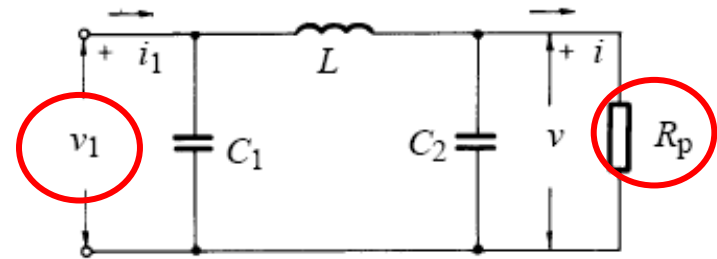
Napon na izlazu usmerača i filtra zavisi od:

- amplitude naizmeničnog napona kojim se pobuđuju (na izlazu transformatora).
- Otpornosti potrošača



(a)

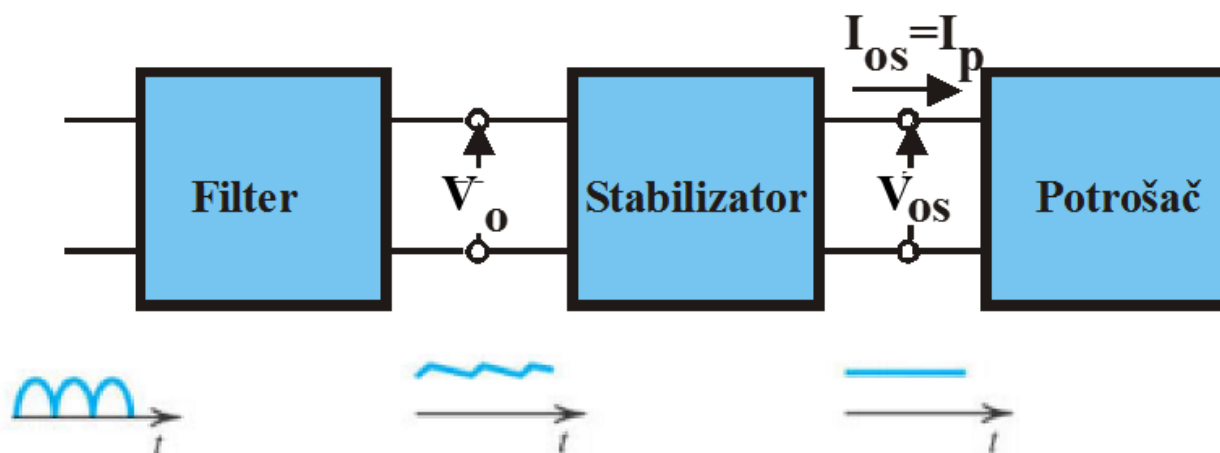
$$V_o = \frac{V_m}{\left(1 + \frac{\pi}{2\omega R_p C}\right)}$$



$$V_o = \frac{V_m}{\left(1 + \frac{1}{4fR_p C_2}\right)}$$

## 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

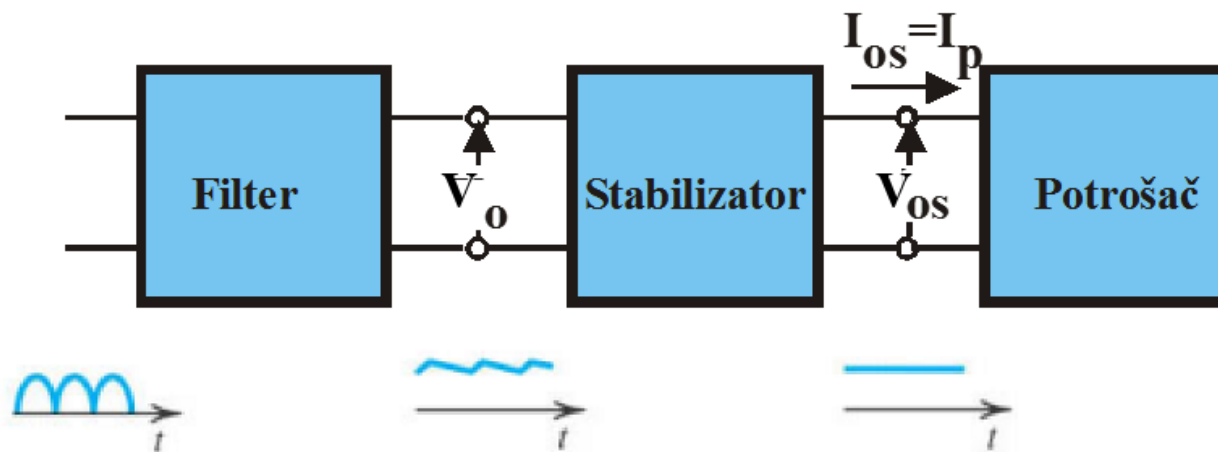


## Stabilizatori - regulatori napona

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

$$S = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta V_o} \Bigg|_{\substack{I_{os} = Const \\ T = Const}}$$

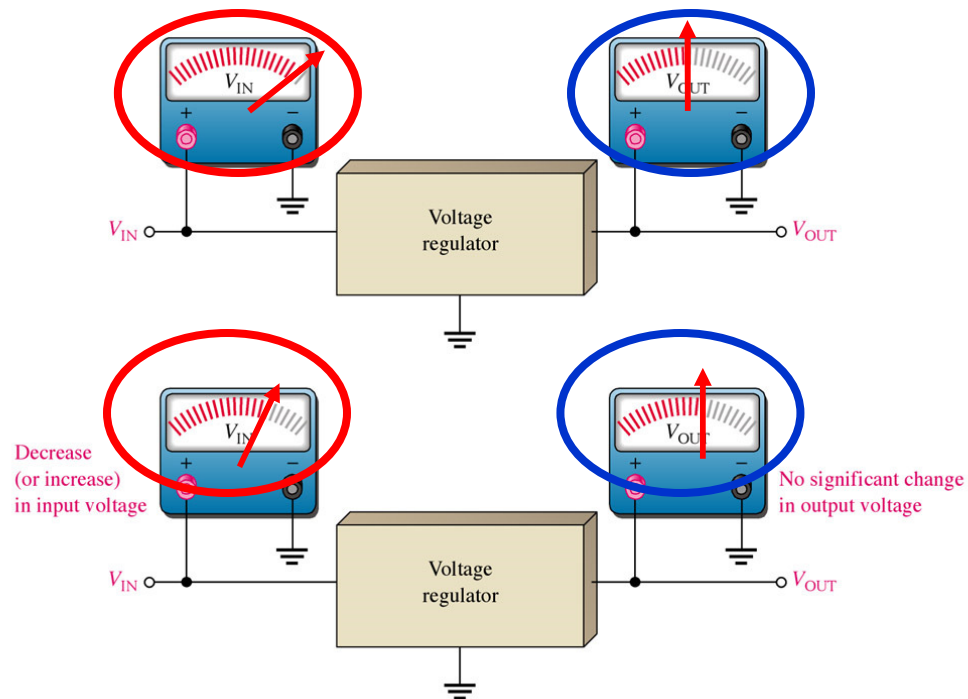
$\Delta V_{OS}$  je priraštaj napona na izlazu (stabilisanog napona) usled priraštaja ulaznog (nestabilisanog) napona,  $\Delta V_O$ , kada je temperatura konstantna i potrošač konstantan.



## 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**:

$$R_o = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta I_{os}} \left| \begin{array}{l} V_o = \mathbf{Const} \\ \mathbf{T} = \mathbf{Const} \end{array} \right. = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta I_p} \left| \begin{array}{l} V_o = \mathbf{Const} \\ \mathbf{T} = \mathbf{Const} \end{array} \right. , \text{ jer je } I_{os} = I_p$$

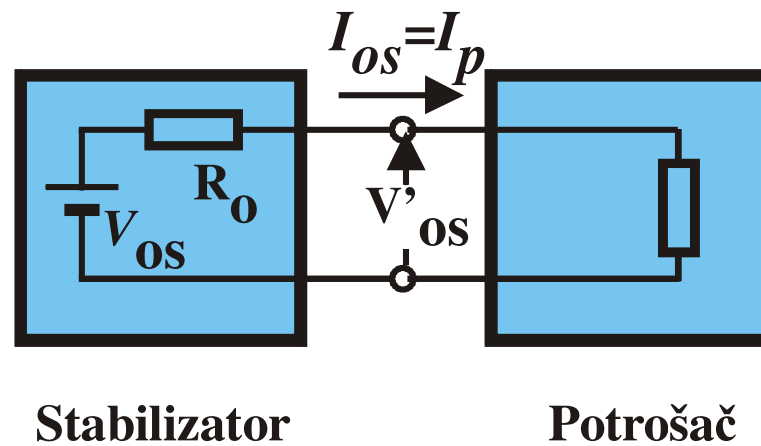
$\Delta V_{OS}$  je priraštaj napona na izlazu (stabilisanog napona) usled promene otpornosti potrošača (struje kroz potrošač).

$\Delta I_{OS}$  priraštaj struje kroz potrošač

## Stabilizatori - regulatori napona

Stabilizator je idealan ako je  $R_o = 0$ .

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



$$V'_{os} = V_p = V_{os} - I_{os} \cdot R_o$$



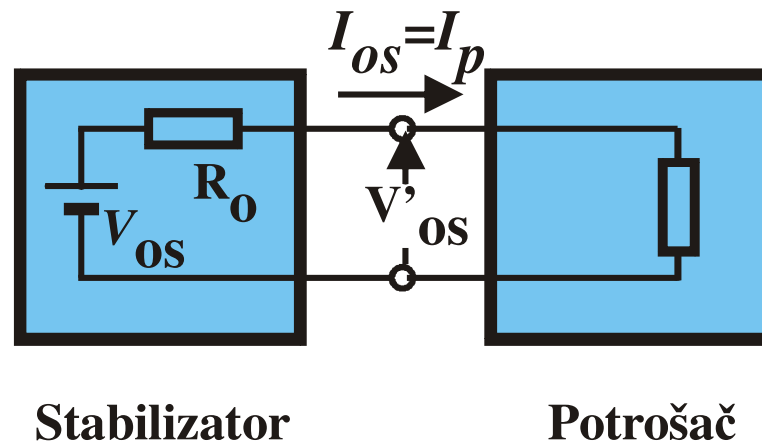
## Stabilizatori - regulatori napona

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

$$S_P = \frac{V_{os} - V'_{os \min}}{V'_{os \min}}$$

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

$V'_{os \min}$  je minimalna vrednost izlaznog napona koja se dobija pri maksimalnoj dozvoljenoj vrednosti izlazne struje  $I_{os \max}$



## Stabilizatori - regulatori napona

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

$$S_T = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta T} \left| \begin{array}{l} I_{os} = C^{ta} \\ V_{os} = C^{ta} \end{array} \right.$$

## Stabilizatori - regulatori napona

### Klasifikacija stabilizatora

#### 1. Linearni stabilizatori

- Sa Zener diodom
- Paralelni stabilizatori
- Redni stabilizatori

#### 2. Prekidački stabilizatori

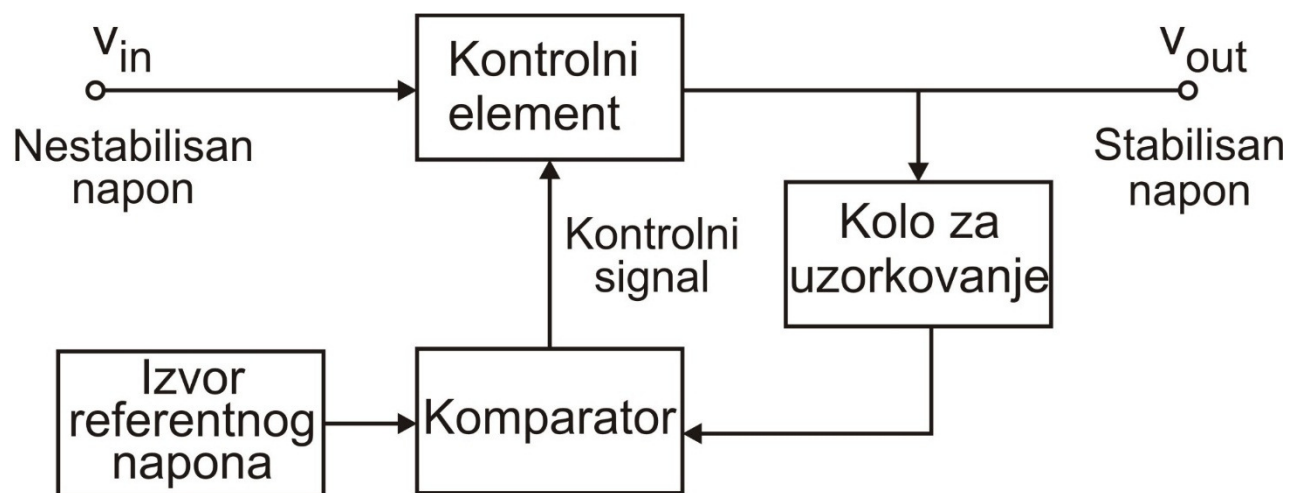
- Spuštači napona (step-down)
- Podizači napona (step-up)
- Invertujući stabilizator

## Stabilizatori - regulatori napona

**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.

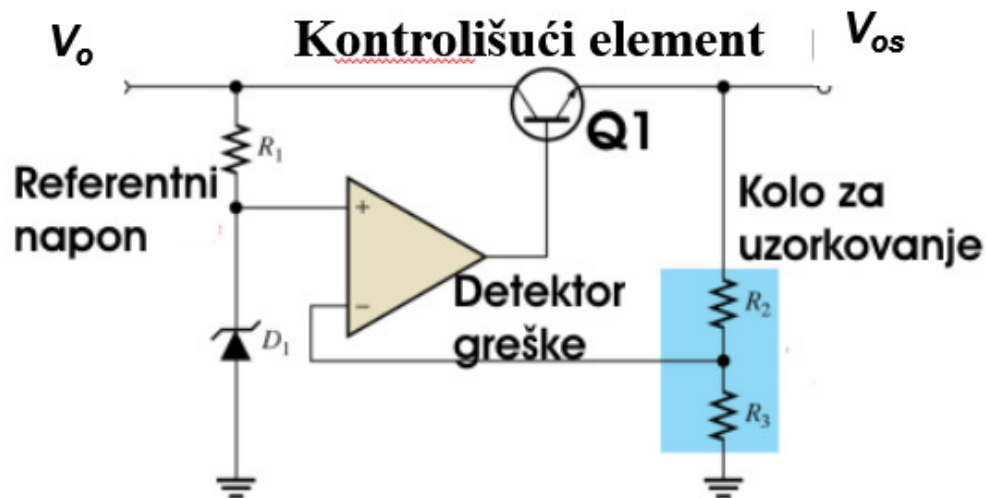
**Prekidački stabilizatori** (SMPS - Switching-Mode Power Supply) generišu napon pravougaonog talasnog oblika koji nakon prolaska kroz niskofrekventni filter sastavljen od kalema i kondenzatora daje zadatu vrednost jednosmernog napona. U prekidačkom stabilizatoru regulacija se vrši prekidačem. Ulogu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

▪ **Redni stabilizator napon** sadrži kontrolni element koji je između ulaza i izlaza. 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.



▪ **Redni stabilizator napon** sadrži kontrolni element koji je između ulaza i izlaza. Kolo za uzorkovanje prati promene napona na izlazu. Detektor greške poredi uzorkovani napon sa referentnim naponom i deluje na kontrolni element na takav način da se održi konstantan napon.

▪ Bilo koja promena izlaznog napona prouzrokuje priraštaj napona na ulazu operacionog pojačavača. Usled toga doći će do promene potencijala na izlazu O. P. a samim tim i do promene struje kroz tranzistor (kontrolni element). Ukoliko je promena izlaznog napona pozitivna smanjiće se struja kroz tranzistor a ukoliko je negativna povećaće se struja kroz tranzistor.

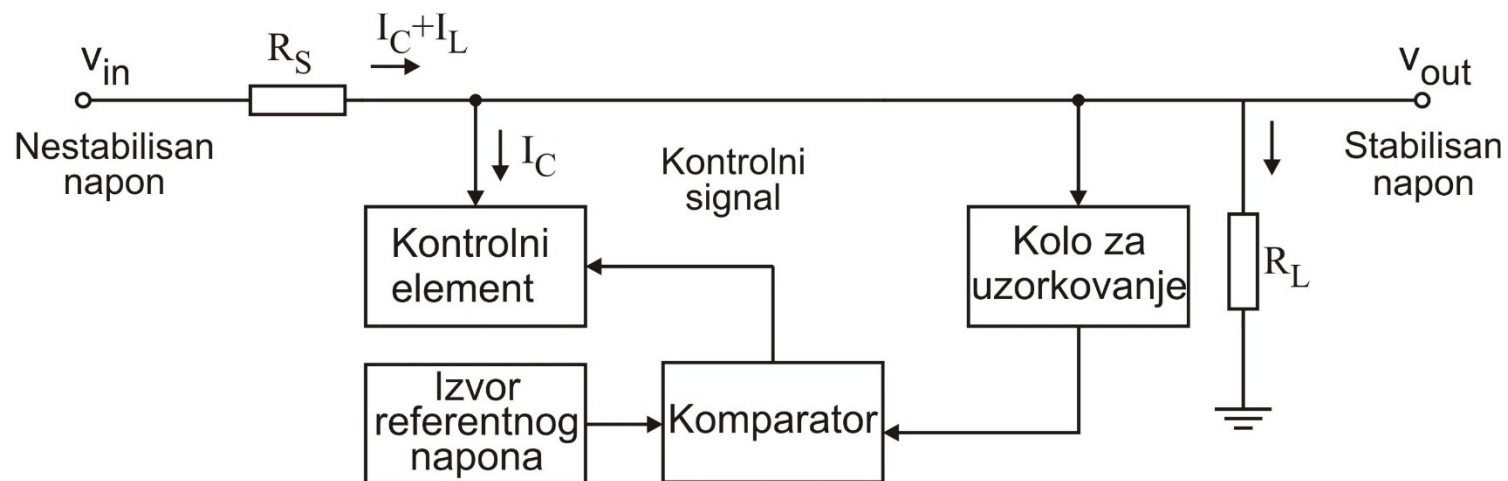


$$V^+ = V_Z$$

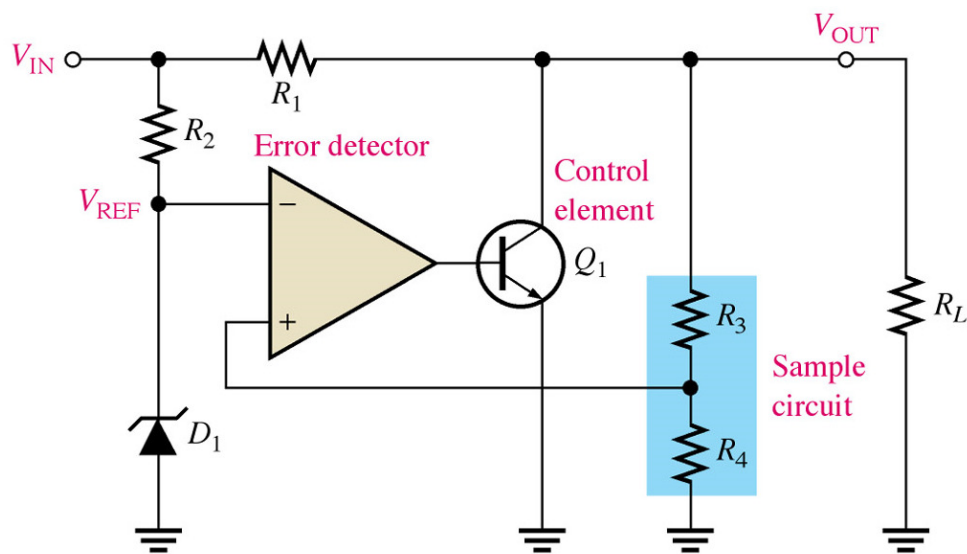
$$V_{os} \cong \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V^-$$

$$V_{os} \cong \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_Z$$

- **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.
- Bilo koja promena izlaznog napona prouzrokuje priraštaj napona na ulazu komparatora. Usled toga doći će do promene potencijala na izlazu komparatora a samim tim i do promene struje kroz kontrolni element  $I_C$ . Ukoliko je promena izlaznog napona pozitivna povećaće se struja kroz kontrolni element i obrnuto.



- **Paralelni stabilizator napon** sadrži kontrolni element koji je vezan paralelno sa potrošačem. Način funkcionisanja je sličan rednom stabilizator a razlika se ogleda u tome da se promene izlaznog napona usled promene potrošača ili ulaznog napona kompenzuju promenom struje kroz tranzistor.



$$V^+ = V_Z$$

$$V_{os} \cong \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V^-$$

$$V_{os} \cong \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_Z$$



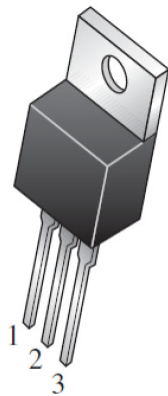
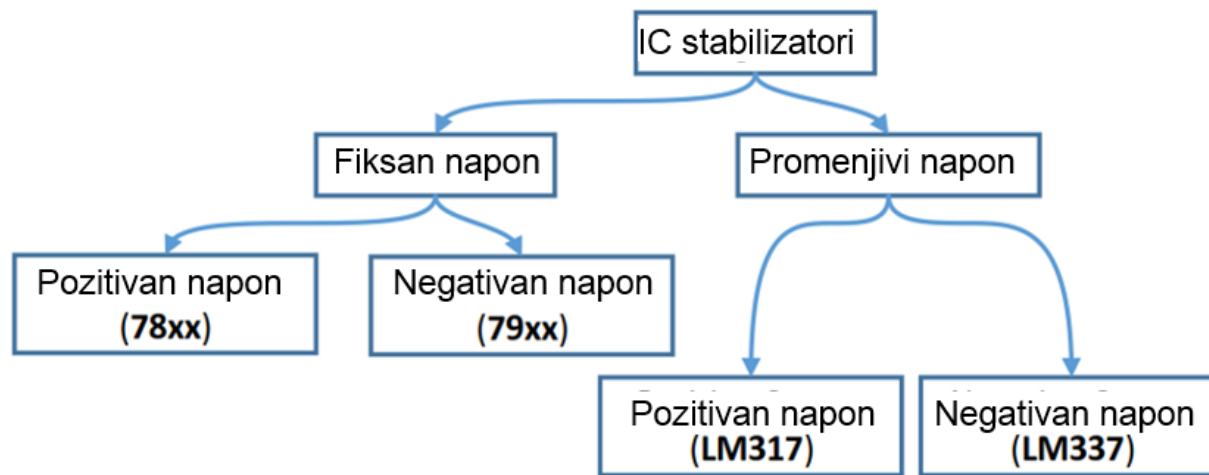
## • **Integrirani stabilizator napona**

- 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

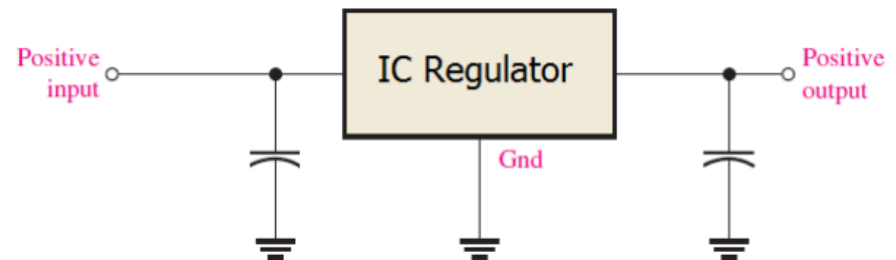


## Stabilizatori - regulatori napona

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

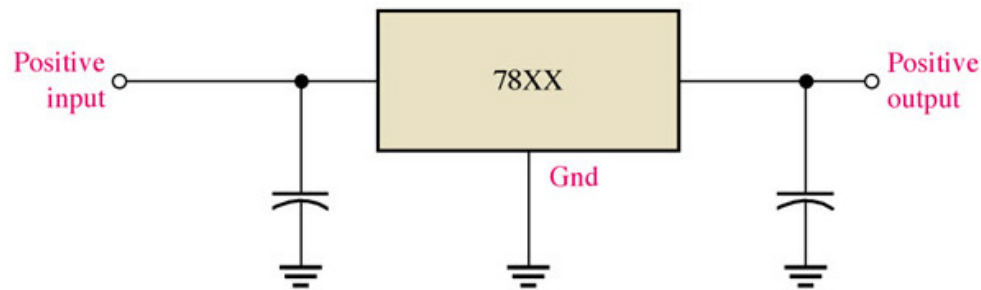


Pin 1. Input  
2. Ground  
3. Output  
  
Heatsink surface  
connected to Pin 2.



## 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 unapredio vremenski odziv. Ulazni napon mora da bude bar za 2 volta veći od izlaznog napona.



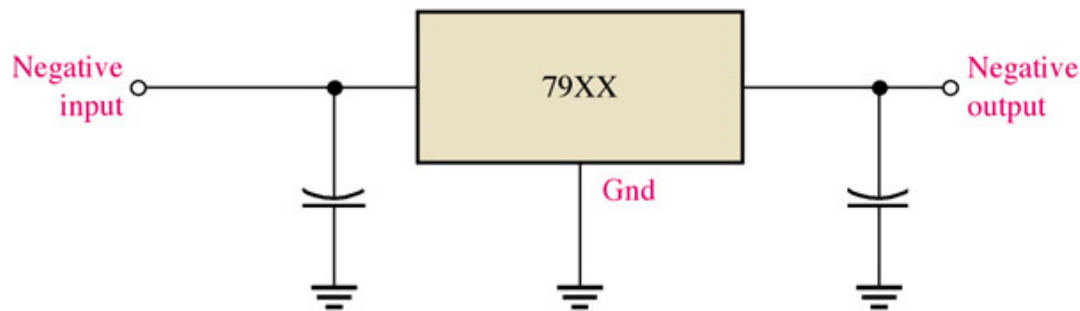
(a) Standard configuration

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.

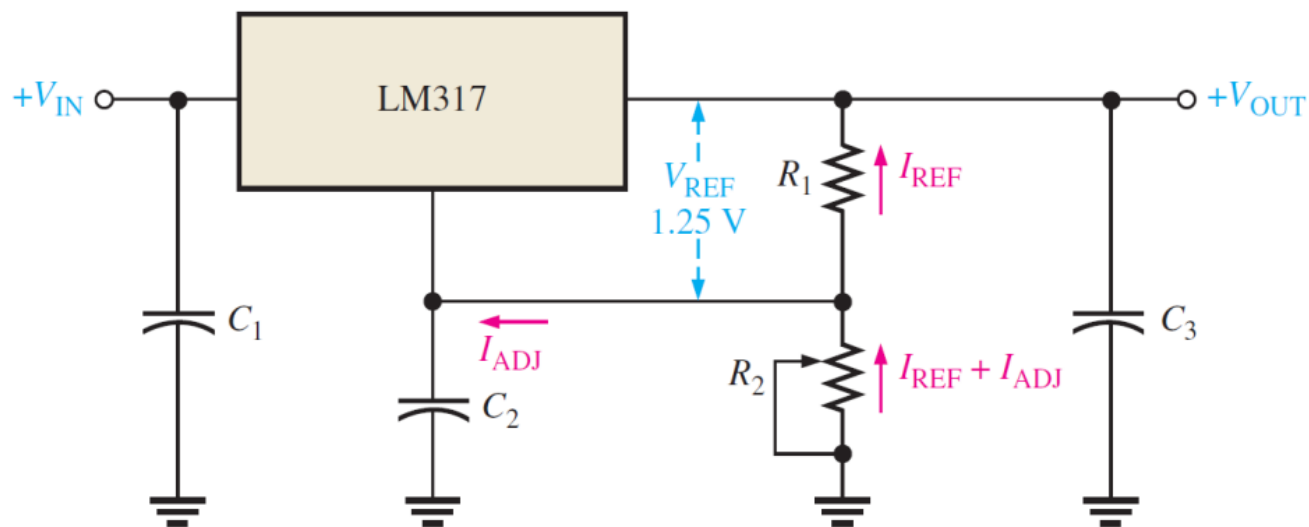


Type number	Output voltage
7905	-5.0 V
7905.2	-5.2 V
7906	-6.0 V
7908	-8.0 V
7912	-12.0 V
7915	-15.0 V
7918	-18.0 V
7924	-24.0 V

(b) The 7900 series

## Integrirani stabilizator napona sa promenljivim naponom

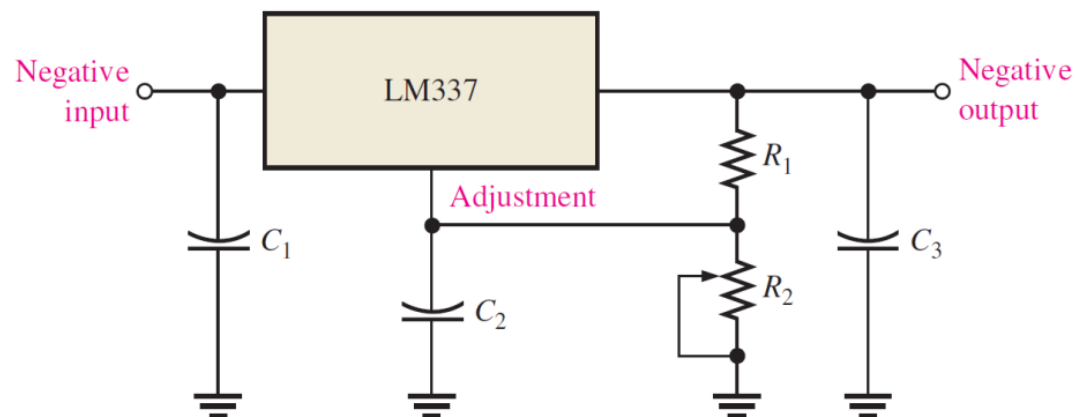
- Spoljnji otpornik  $R_1$  i potenciometar  $R_2$  koriste se za podešavanje izlaznog napona.
- Izlazni napon može da varira između 1.2 V i 37 V zavisno od vrednosti otpornika.
- Integrirano kolo LM317 može da obezbedi izlaznu struju u iznosu od 1.5 A.
- Struja koja utiče u pin koji utiče u srednji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



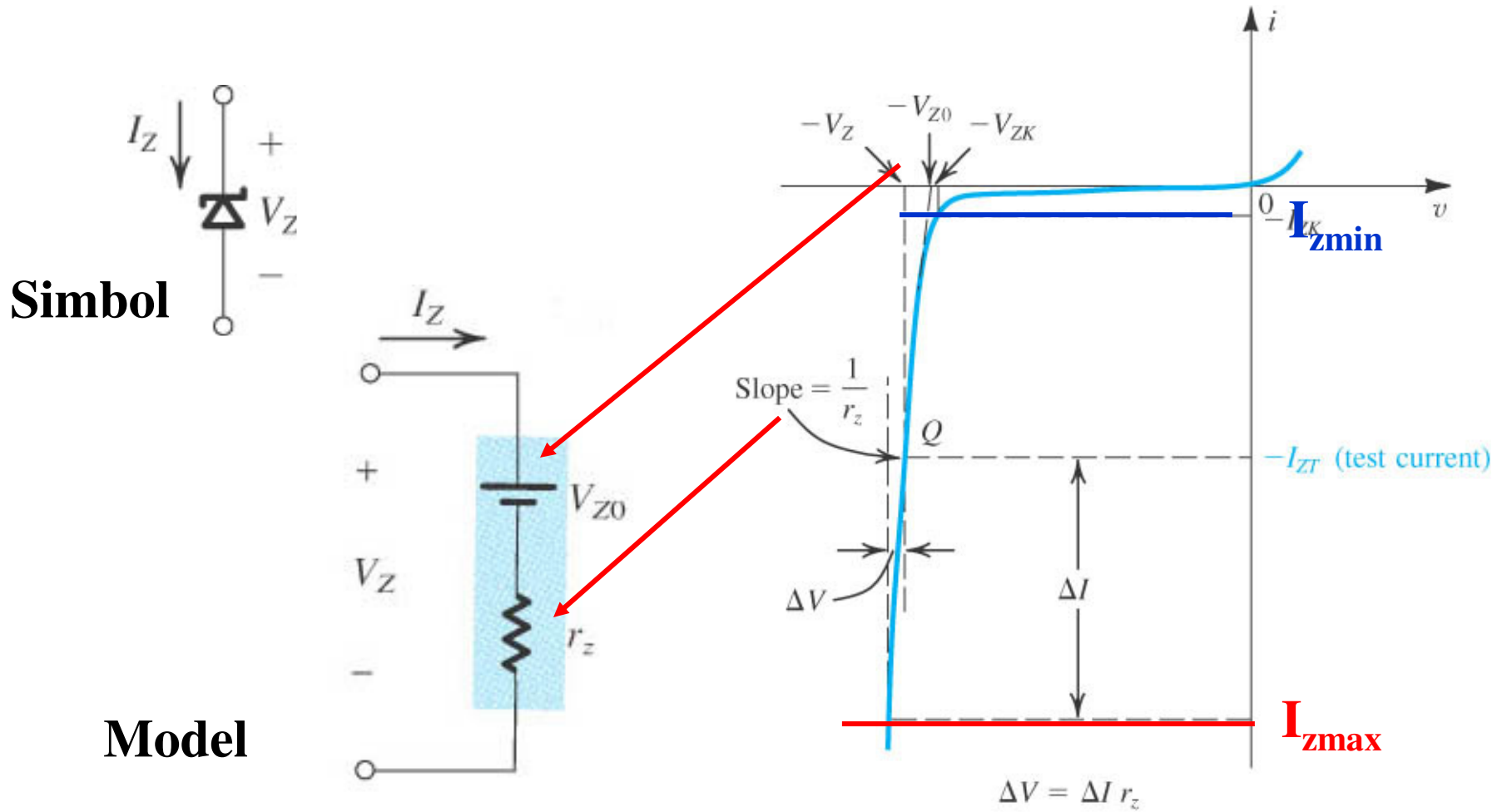
$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2$$

## Integrirani stabilizator napona sa promenjivim 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.

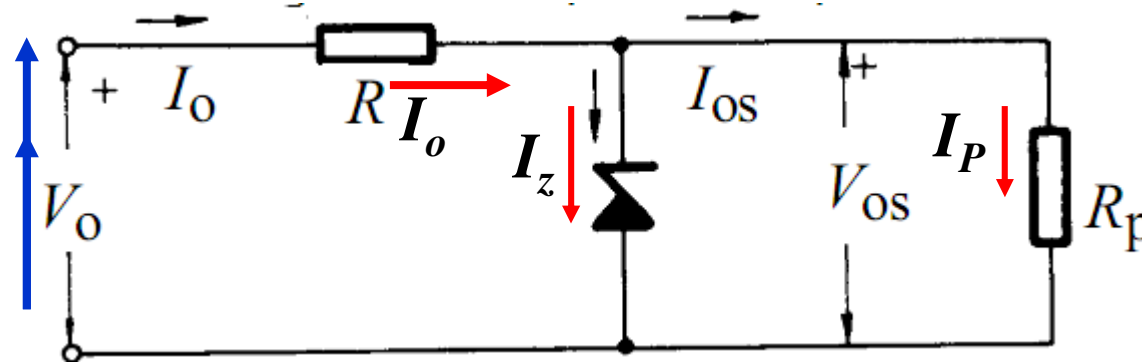


# Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Karakteristika pri inverznoj polarizaciji

## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



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

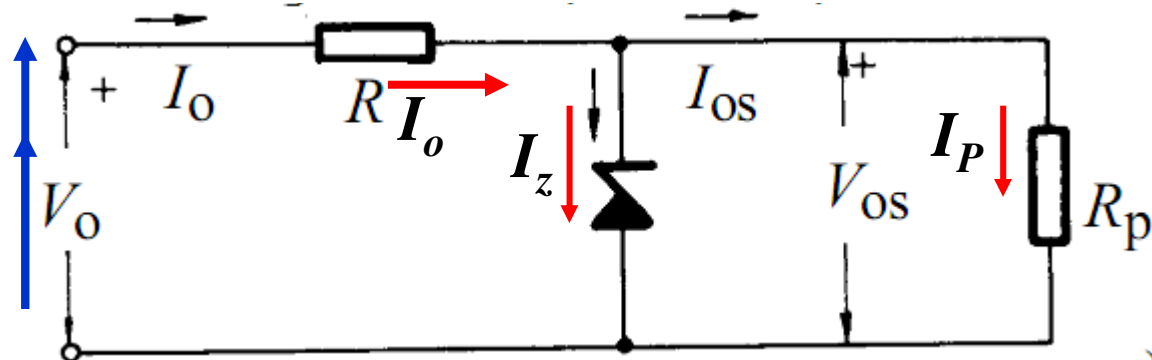
$$I_o = I_z + I_{os}$$

$$\Delta I_o = \Delta I_z$$

Pretpostavimo da napon  $V_o$  poraste. Tada će struja  $I_o$  da poraste. Ako je dioda idealna, biće  $V_{os} = V_z$ , zato će struja kroz potrošač ostati ista  $I_{os} = I_p = V_z / R_p$ , jer će “višak” struje da ide kroz diodu.



## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



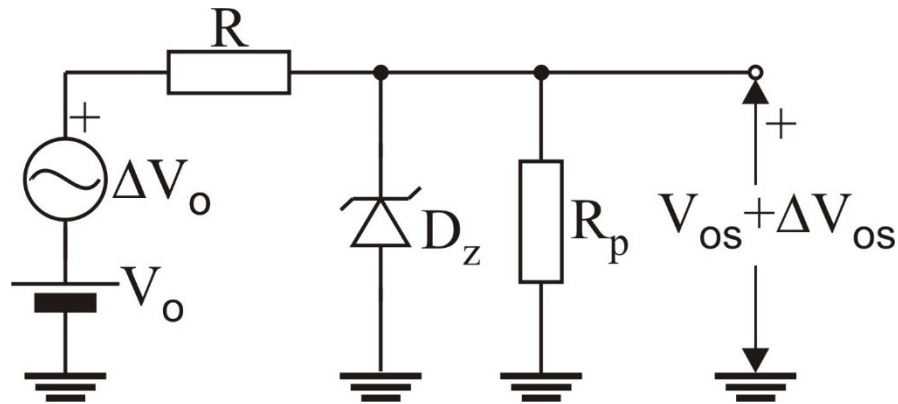
$$I_o = \frac{V_o - V_z}{R} = \text{const} \quad I_{os} = \frac{V_z}{R_p}$$

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

$$\Delta I_z = -\Delta I_{os}$$

Pretpostavimo da struja  $I_p$  poraste zato što se smanji  $R_p$ . Ako je dioda idealna, biće  $V_{os} = V_z$ . Tada će struja  $I_{os}$  da zadrži vrednost, ali će struja kroz diodu da se smanji.

## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



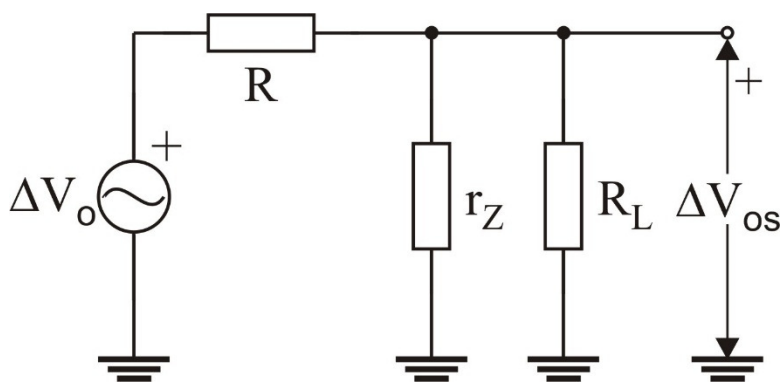
$$\Delta V_{os} = \frac{r_z \parallel R_p}{r_z \parallel R_p + R} \Delta V_o$$

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

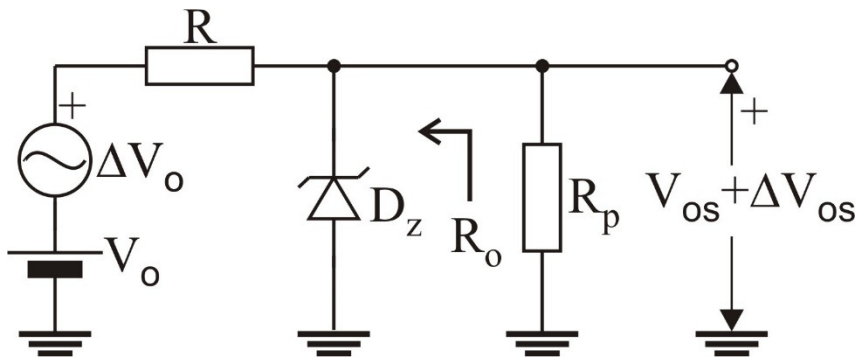
$$\Delta V_{os} \approx \frac{r_z}{r_z + R} \Delta V_o \approx \frac{r_z}{R} \Delta V_o$$

Faktor stabilizacije stabilizatora sa Zener diodom iznosi:

$$S = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta V_o} \approx \frac{r_z}{R}$$

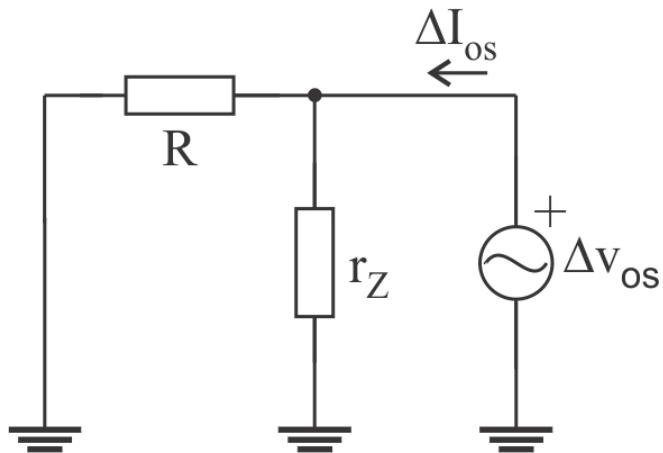


## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



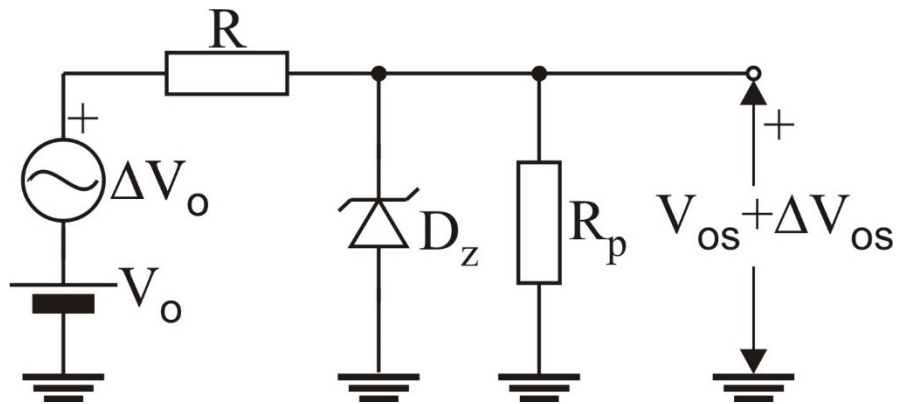
$$R_o = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta I_{os}} = \frac{r_z R}{r_z + R}$$

$$R_o \approx r_z$$



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

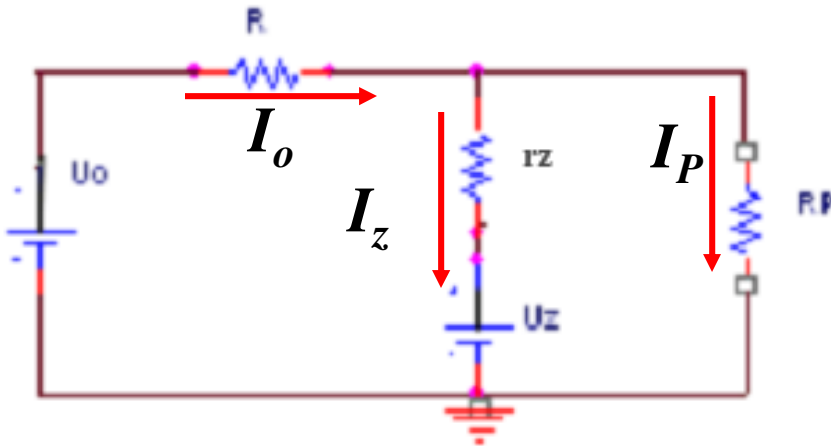
## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



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

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

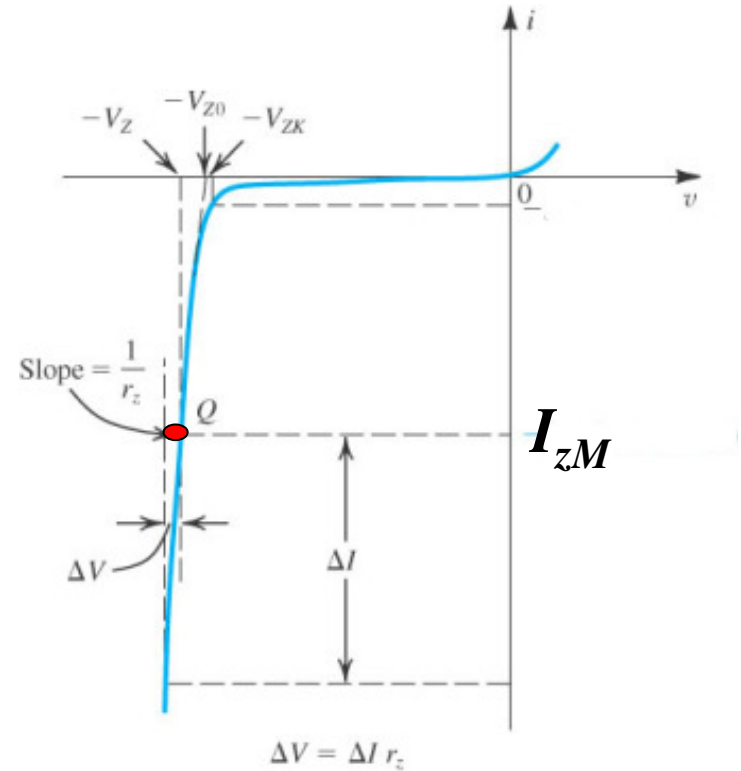
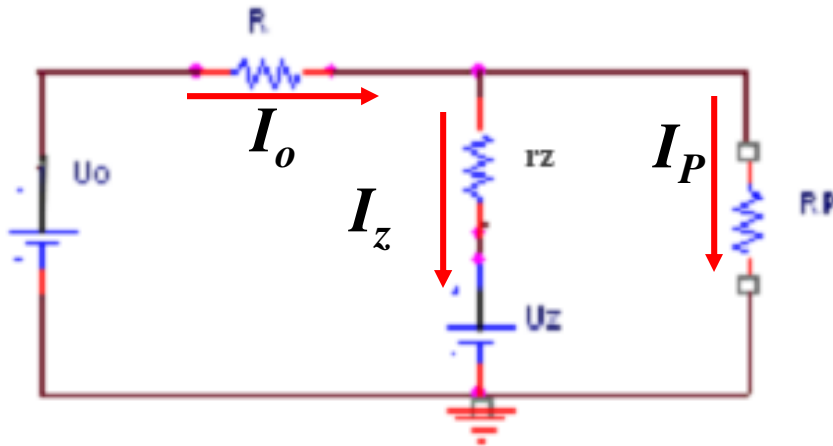
## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Izbor diode za zadate vrednosti  $V_o$ ,  $V_{os}$  i opseg promene  $R_p$ .

Izabere se vrednost  $R$  tako da radna tačka diode bude na sredini dinamičkog opsega između  $I_{zmin}$  i  $I_{zmax}$  (opseg regulacije). Maksimalna struja kroz zener diodu određena maksimalnom dozvoljenom disipacijom za zener diodi  $I_{zmax} = P_d / V_z$ . Vrednosti  $I_{zmin}$ ,  $P_d$  i  $V_z$  su date u katalogu komponente.

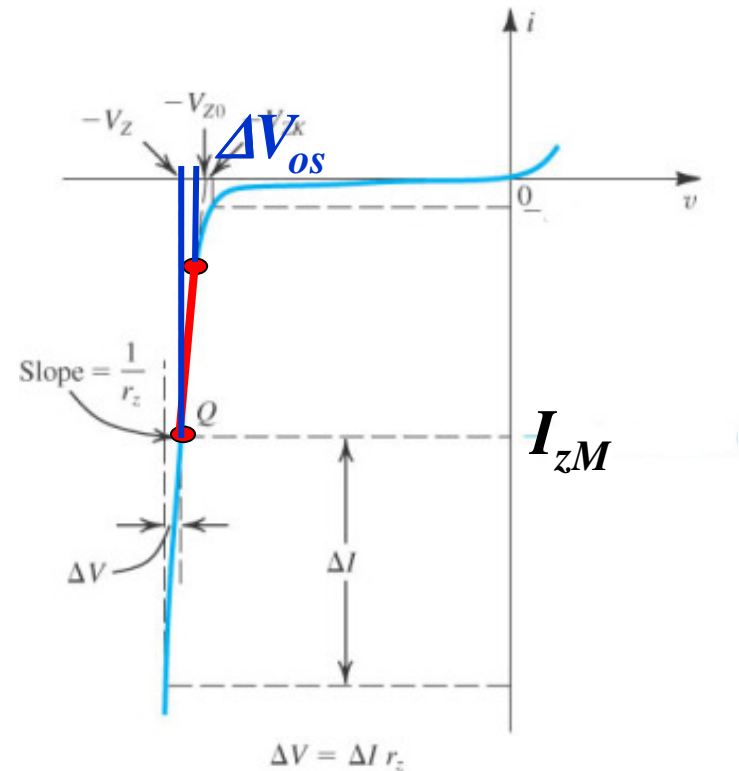
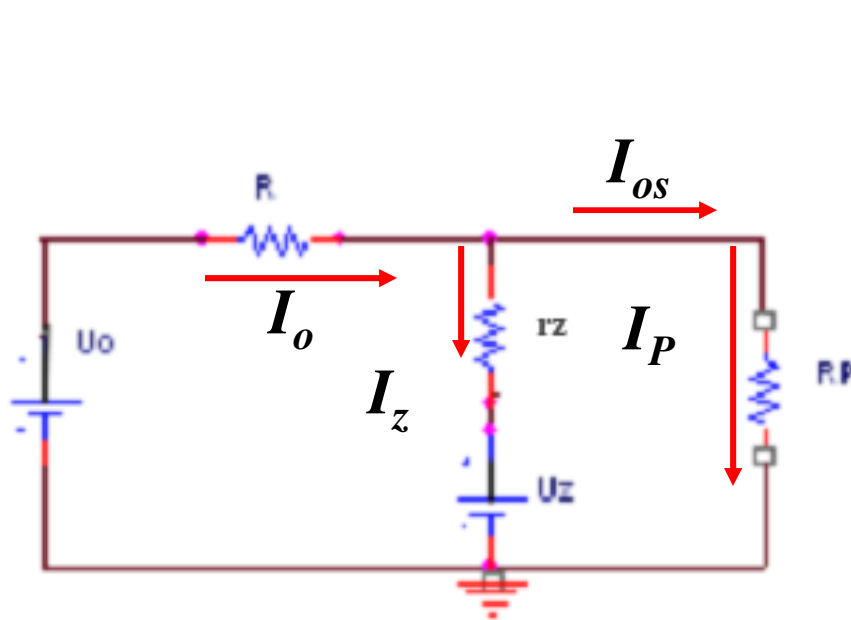
## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



$$I_{zM} = (I_{zmin} + I_{zmax})/2 \approx I_{zmax}/2$$

$$R = (V_o - V_z) / I_{zM}$$

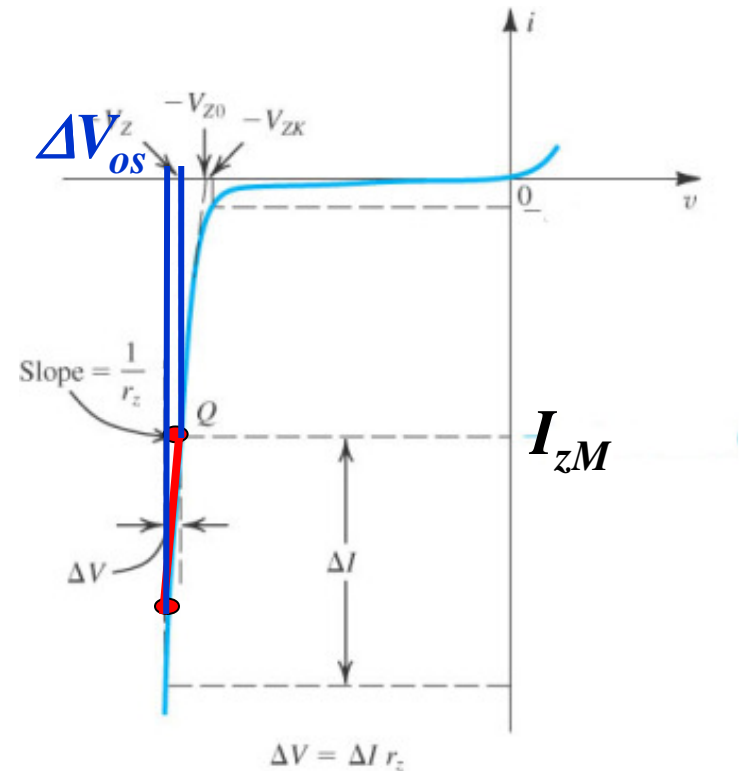
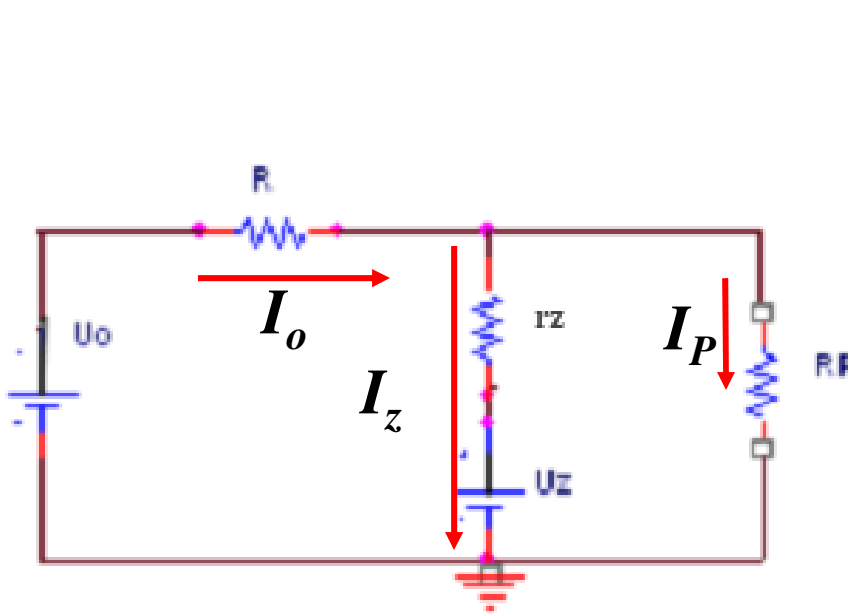
## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Ako se otpornost potrošača smanji,  
povećaće se struja  $I_P$ , a smanjiće se strja  $I_z$ .

Napon  $V_{os}$  smanjiće se za  $\Delta V_{os}$

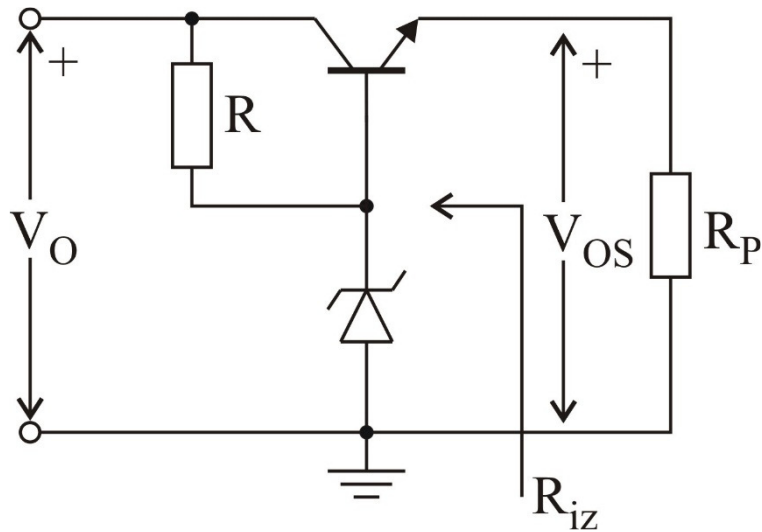
## Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Ako se otpornost potrošača poveća, smanjiće se struja  $I_P$ , a povećaće se struja  $I_Z$   
 Napon  $V_{os}$  povećaće se za  $\Delta V_{os}$



## Redni stabilizator - realizovan diskretnim komponentama



Jednosmerni izlazni napon  
rednog stabilizatora:

$$V_B = V_Z$$

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

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

**Princip rada:** Ukoliko se poveća ulazni napon povećaće se struja kroz otpornik  $R$ . Ovaj porast struje utiće samo na porast struje kroz zener diodu dok će struje tranzistora ostati nepromenjene. Važi i sve obrnuto u slučaju kada se ulazni napon smanji.

Ukoliko se smanji otpornost potrošača, doći će do smanjenja izlaznog napona. Kao posledica toga povećaće se napon na emitorskom spoju tranzistora,  $V_{BE}$ , što dovodi do povećanja struje kolektora i usled toga povećanja izlaznog napona.

## Redni stabilizator - realizovan diskretnim komponentama

### Faktor stabilizacije

$$i_B + \frac{v_B}{r_Z} + \frac{v_B - v_O}{R} = 0$$

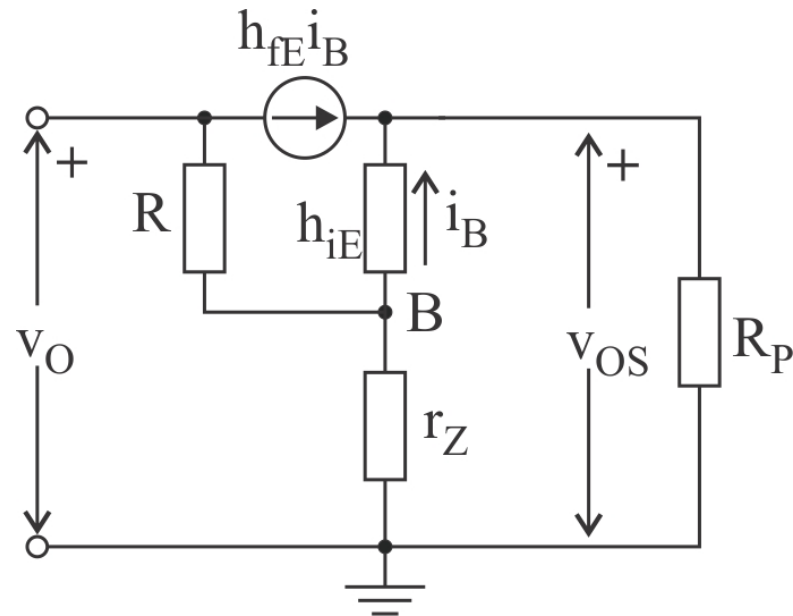
$$v_{OS} = (1 + h_f) \cdot i_b \cdot R_p$$

$$i_B = \frac{v_B - v_{OS}}{h_i}$$

$$S = \frac{\Delta V_{OS}}{\Delta V_O} = \frac{v_{OS}}{v_O}$$

$$h_{fE} \cdot R_p \gg h_{iE}, R$$

$$S \approx \frac{r_Z}{R}$$



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

Izlazna otpornost rednog stabilizatora:

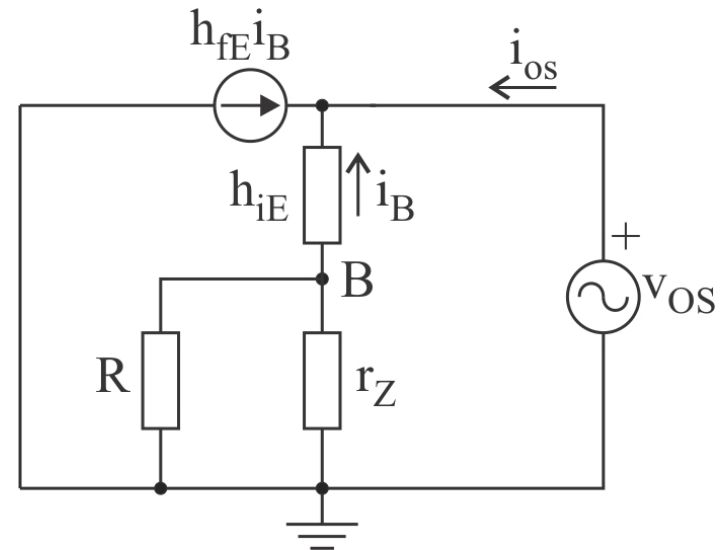
$$R_o = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta I_{os}} = \frac{v_{os}}{i_{os}}$$

$$i_b = -\frac{v_{os}}{h_{iE} + R || r_Z} \approx -\frac{v_{os}}{h_{iE} + r_Z} \approx -\frac{v_{os}}{h_{iE}}$$

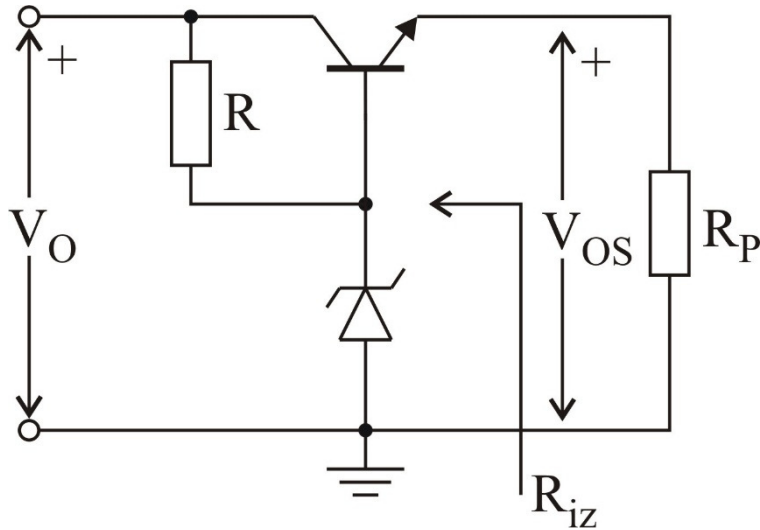
$$h_{ie} \gg r_Z$$

$$i_{os} = -(h_{fE} + 1) \cdot i_b = v_{os} \cdot \frac{h_{fE}}{h_{iE}}$$

$$R_o = \frac{v_{os}}{i_{os}} = \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1}$$



## Redni stabilizator - realizovan diskretnim komponentama



Temperaturski faktor stabilizacije

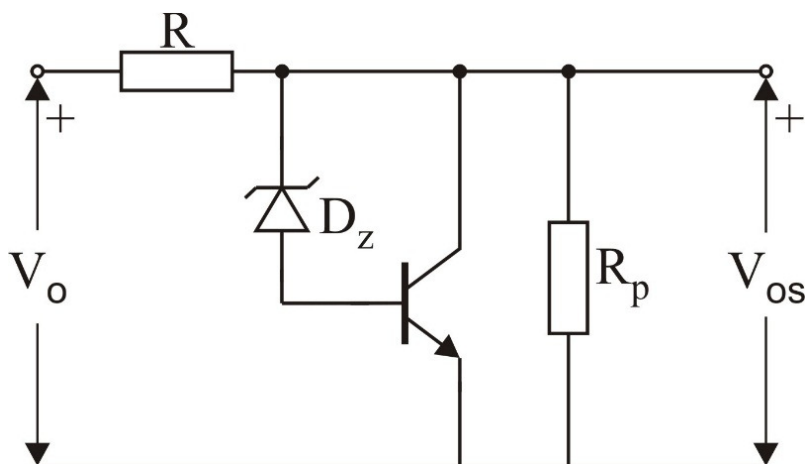
$$V_{OS} \approx V_Z - V_{BE}$$

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

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

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



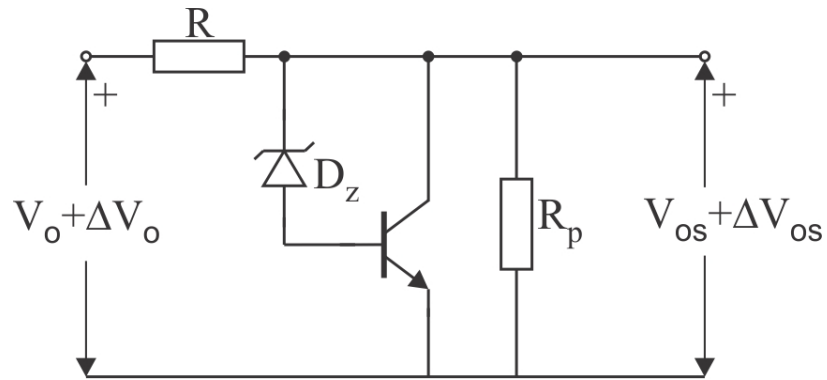
Jednosmerni izlazni napon  
paralelnog stabilizatora:

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

**Princip rada:** Paralelni stabilizator primenjuje negativnu naponsku povratnu spregu. 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  $I_z = I_B$ . Kao posledica toga povećava se struja kolektora. Na taj način održava se struja koja protiče kroz  $R_p$  konstantnom.

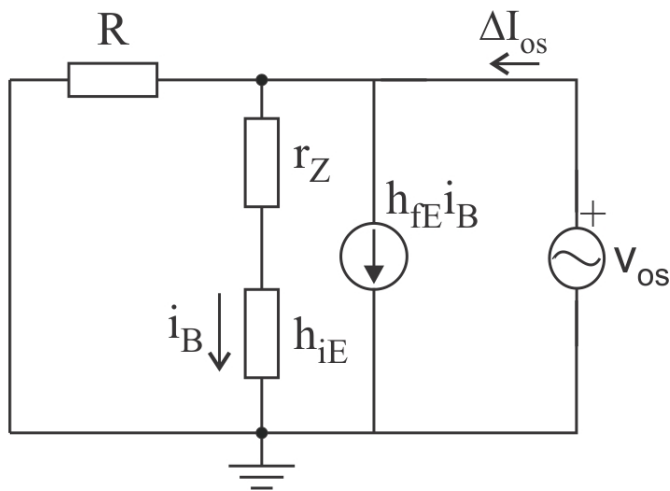
## Paralelni stabilizatori - regulatori napona

### Paralelni stabilizatori –izlazna otpornost



$$V_{os} = V_o - RI_o$$

$$v_{os} \left( \frac{1}{R} + \frac{1 + h_{fE}}{r_z + h_{iE}} \right) = \Delta I_{OS}$$

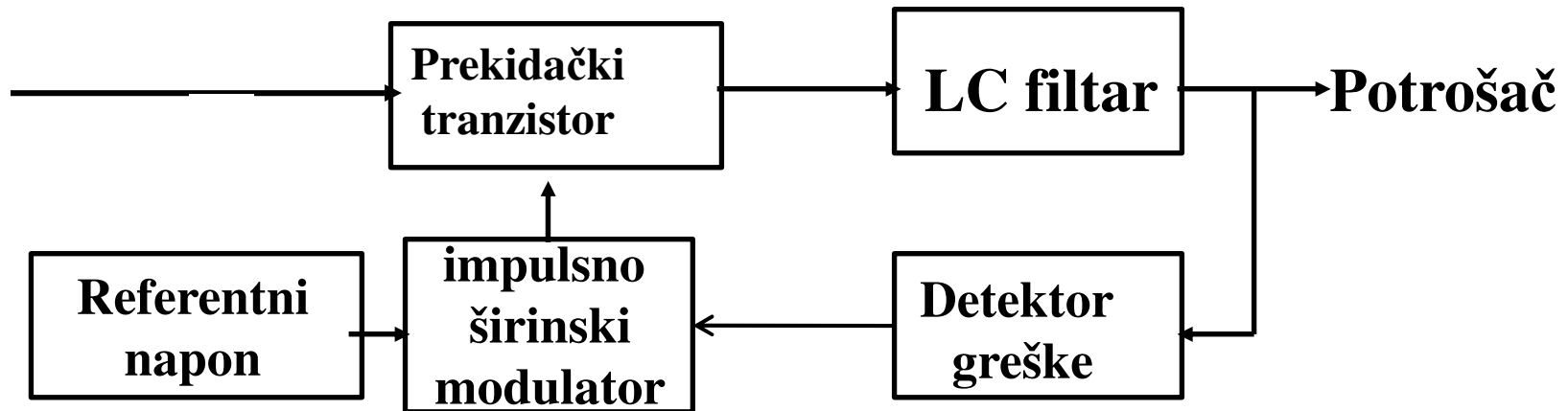


$$r_z \ll h_{11E}$$

R je istog reda veličine kao  $h_{11E}$

$$R_o = \frac{h_{ie} || R}{1 + h_{fe}}$$

## Prekidački stabilizatori – principijelna šema

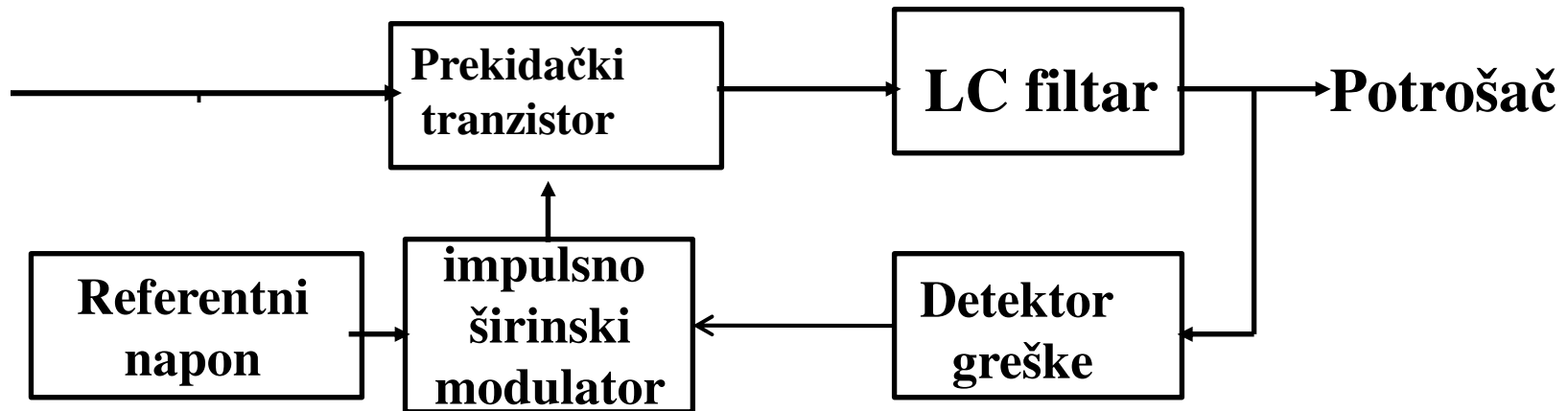


**Prekidački stabilizatori** generišu napon pravougaonog talasnog oblika koji nakon prolaska kroz niskofrekventni LC filter daje zadatu vrednost jednosmernog napona. U prekidačkom stabilizatoru regulacija se vrši prekidačem. Kontrolišući element (tranzistor) radi u prekidačkom režimu tako da je disipacija na njemu mala.

Prekidač je zatvoren kada je tranzistor u režimu zakočenja  $I_C=0A$ .

Prekidač je zatvoren kada je prekidački tranzistor u režimu zasićenja,  $V_{CE}=V_{CES} \approx 0.2V$ .

## Prekidački stabilizatori – principijelna šema

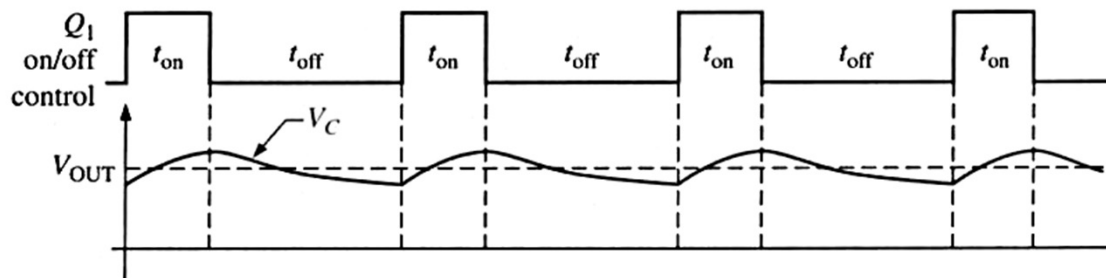


Za upravljanje prekidačem primenjuje se impulsno širinski modulator koji u suštini predstavlja oscilator kontrolisan naponom. Ovo kolo generiše napon pravougaonog talasnog oblika konstantne frekvencije. Ono što je promenljivo je vremenski interval u toku koga je prekidač zatvoren, odnosno menja se takozvani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

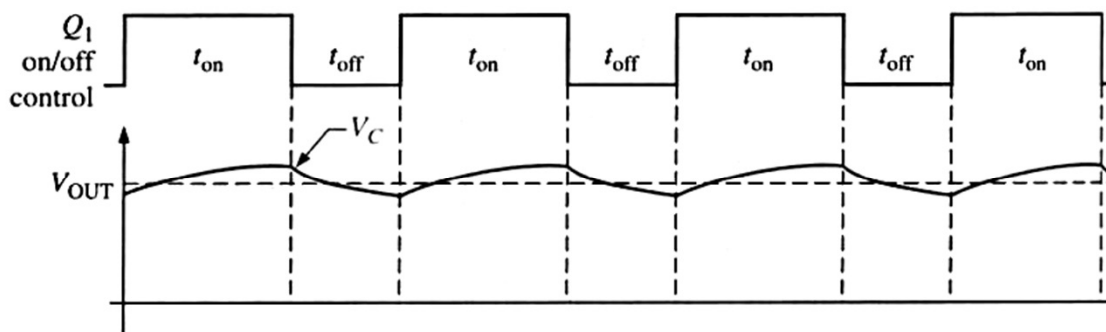


Uloga impulsno širinske modulacije je da menja vremenski interval u toku koga je prekidač zatvoren,  $t_{on}$ . Odnos tog vremenskog intervala i period je faktor ispune (duty cycle),  $D$ .

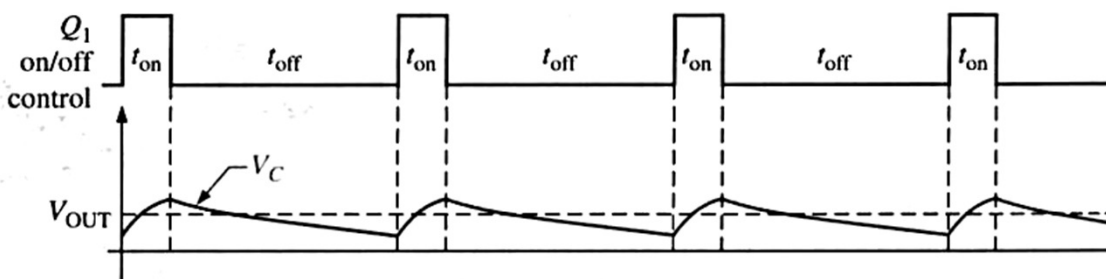
$$D = \frac{t_{on}}{T}$$



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



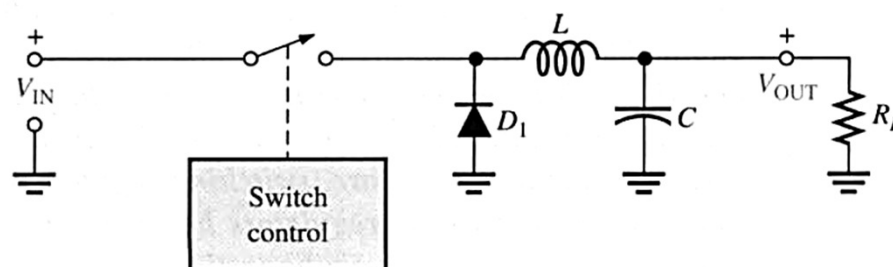
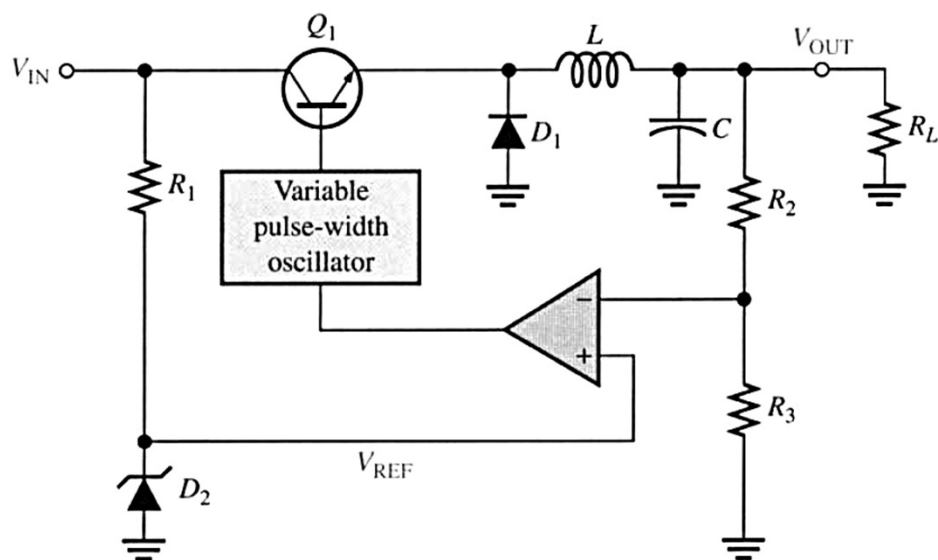
(b) Increase the duty cycle and  $V_{OUT}$  increases.

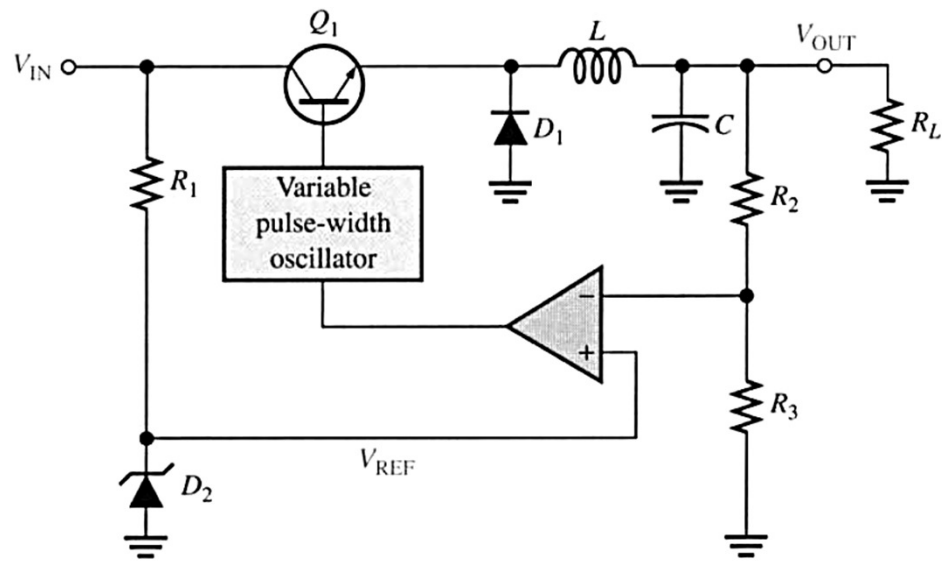
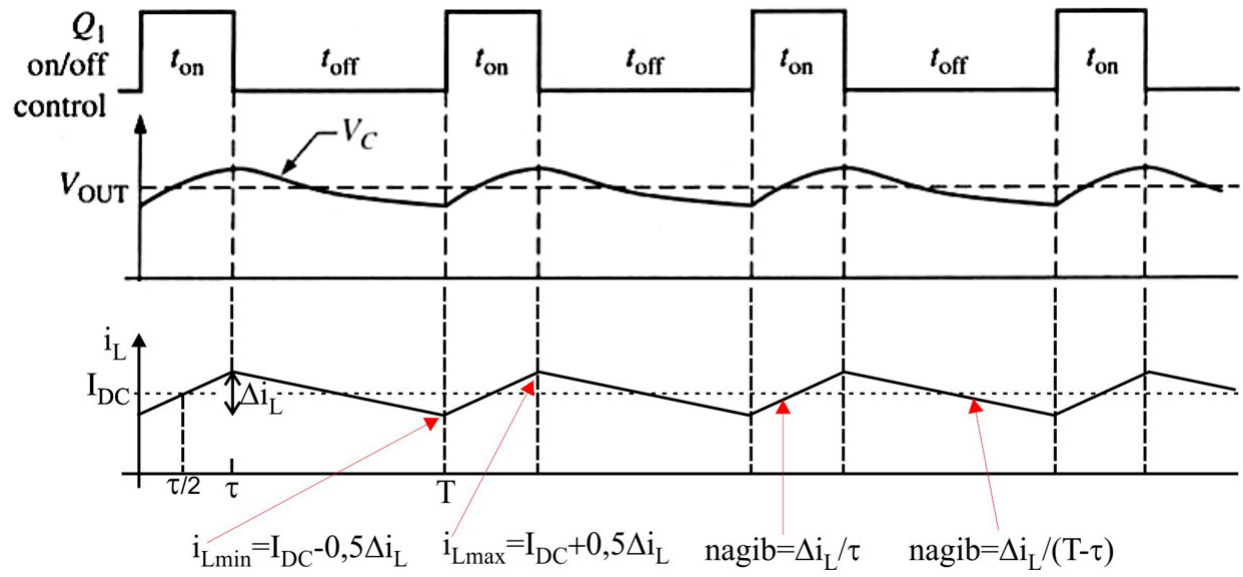


(c) Decrease the duty cycle and  $V_{OUT}$  decreases.

## Prekidački spustač napona

- Kod prekidačkog spustača napona izlazni napon je uvek manji od ulaznog napona.
- 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.





## Stabilizatori napona

### Elementarna pitanja

1. Uloga stabilizatora napona, klasifikacija stabilizatora napona.
2. Parametri stabilizatora napona: faktor stabilizacije, izlazna otpornost, temperaturni faktor stabilizacije, faktor opterećenja.
3. Integrirani stabilizatori napona sa fiksnim i promenljivim naponom, način vezivanja u kolu.

### Ostala ispitna pitanja

4. Stabilizator napona realizovan primenom zener diode.
5. Princip rada rednog stabilizatora napona, blok šema rednog stabilizatora napona.
6. Princip rada paralelnog stabilizatora napona, blok šema paralelnog stabilizatora napona.
7. Redni stabilizator napona realizovan diskretnim komponentama.
8. Paralelni stabilizator napona realizovan diskretnim komponentama.
9. Princip rada prekidačkih stabilizatora napona (principijelna šema, impulsno širinska modulacija, faktor ispunje).
10. Prekidački spuštač napona, električna šema i princip rada.