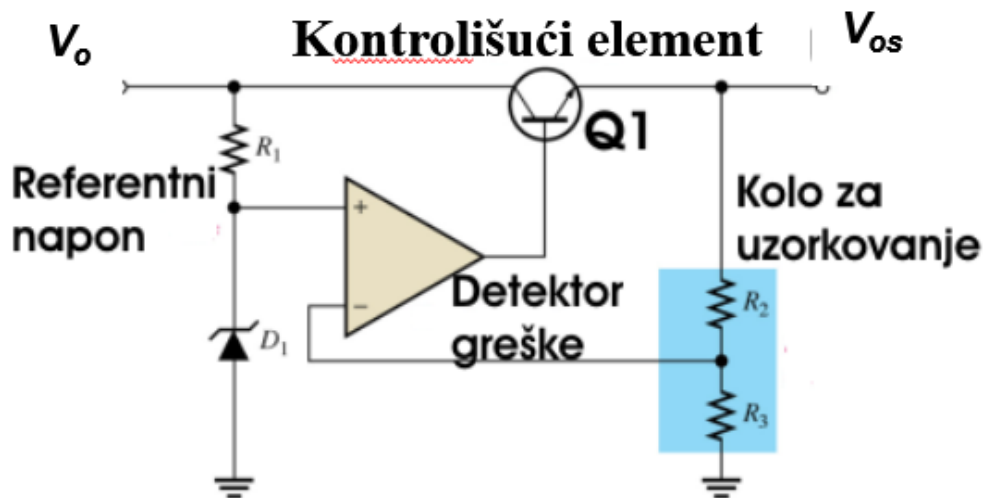


# Integransi stabilizatori napona

- **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 dopromene 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 netagivna povećaće se struja kroz tranzistor.

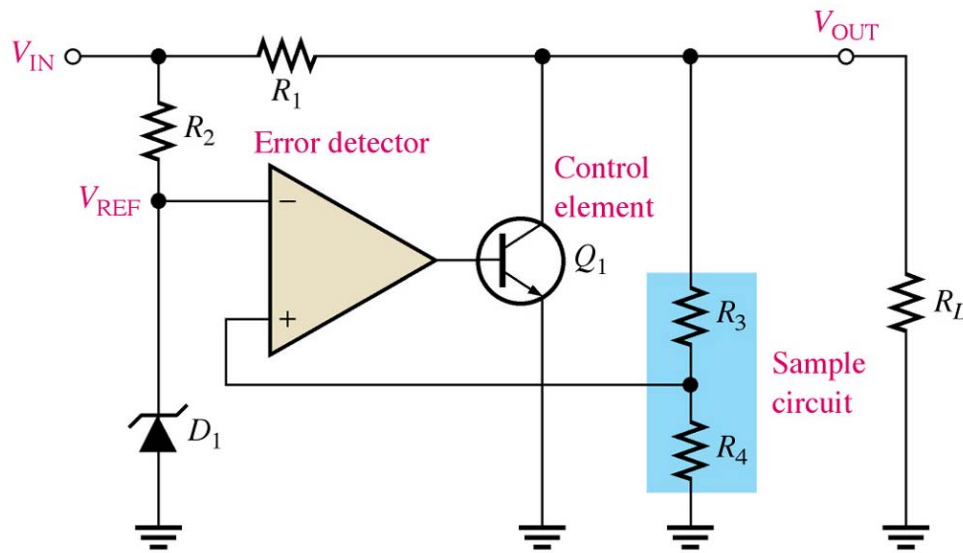


$$V^+ = V_Z$$

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

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

- **Paralelni stabilizator napon** sadrži kontrolni element koji je vezan paralelno sa potrošačem. Način funkcionisanja 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 stabilizatori napona

## ▪ 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

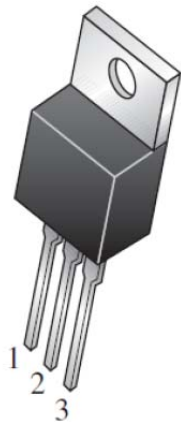
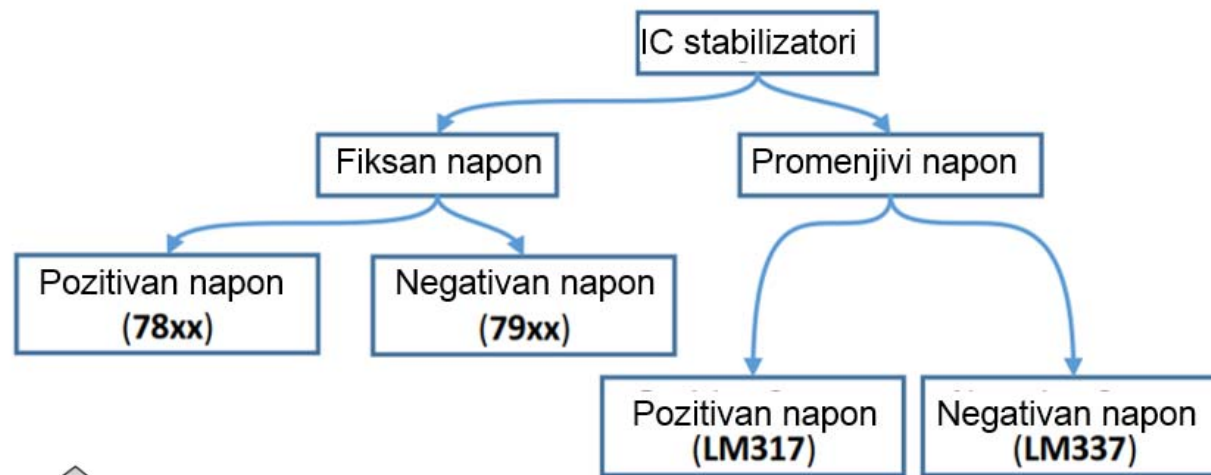
### • Integrirani stabilizatori napona se veoma često koriste u izvorima napajanja jer ih odlikuju sledeće osobine:

- imaju nisku cenu
- dostupan je veliki broj integriranih stabilizatora sa različitim nominalnim vrednostima napona i struja
- pouzdani su
- jednostavni su za korišćenje

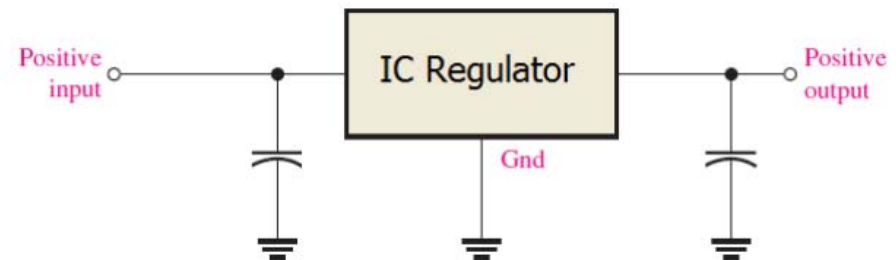


# Integrirani stabilizatori napona

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



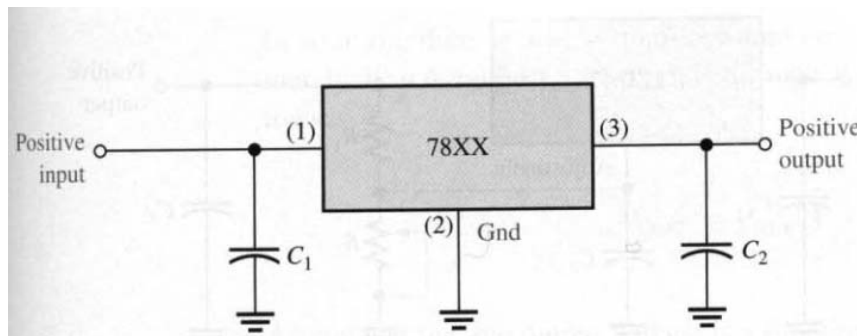
Pin 1. Input  
2. Ground  
3. Output  
Heatsink surface  
connected to Pin 2.



# Integrirani stabilizatori napona

## 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.

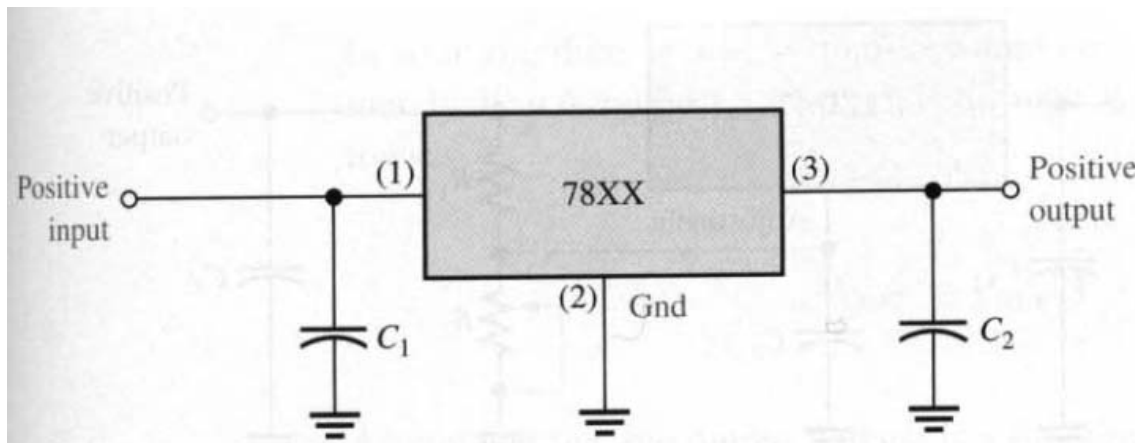


Type number	Output voltage
7805	+5.0 V
7806	+6.0 V
7808	+8.0 V
7809	+9.0 V
7812	+12.0 V
7815	+15.0 V
7818	+18.0 V
7824	+24.0 V

# Integrirani stabilizatori napona

## Integrirani stabilizator napona 7800

- Integrirani stabilizatori napona su kola sa najčešće **komponente sa tri terminala** čiji izlazni napon može biti:
  - pozitivni 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.

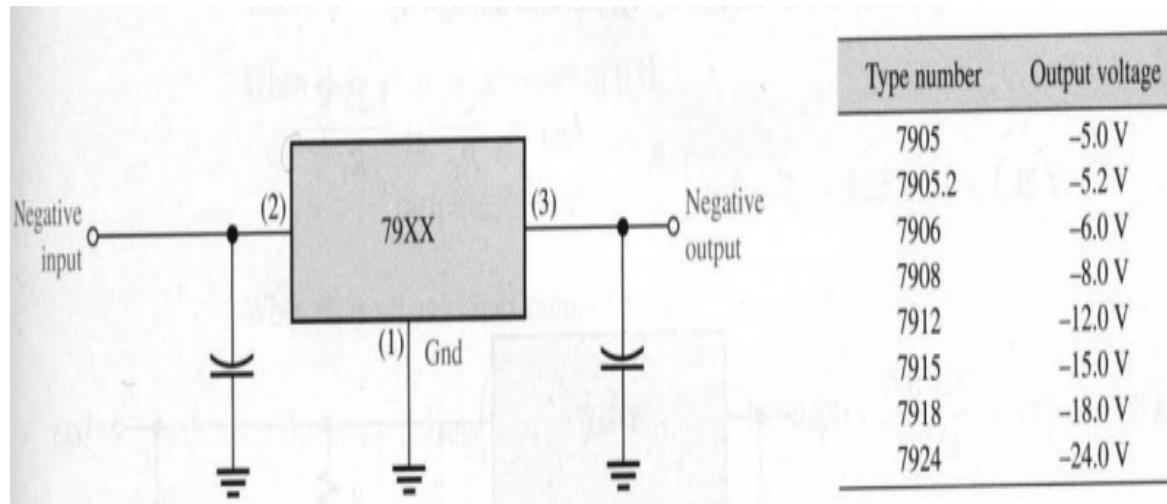


Type number	Output voltage
7805	+5.0 V
7806	+6.0 V
7808	+8.0 V
7809	+9.0 V
7812	+12.0 V
7815	+15.0 V
7818	+18.0 V
7824	+24.0 V

# Integrirani stabilizatori napona

## Integrirani stabilizator napona 7900

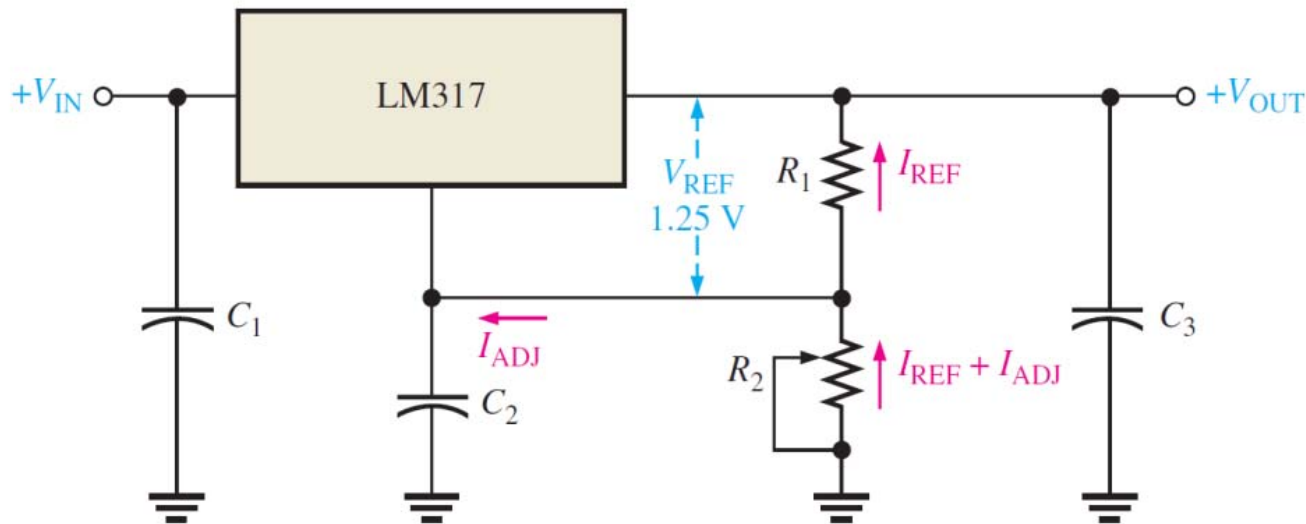
- Integrirana kola familije 7900 su tipični predstavnici stabilizatora koji daju negativan fiksni napon. Ova familija integriranih kola ima iste osobine kao 7800.





# Integrirani stabilizatori napona

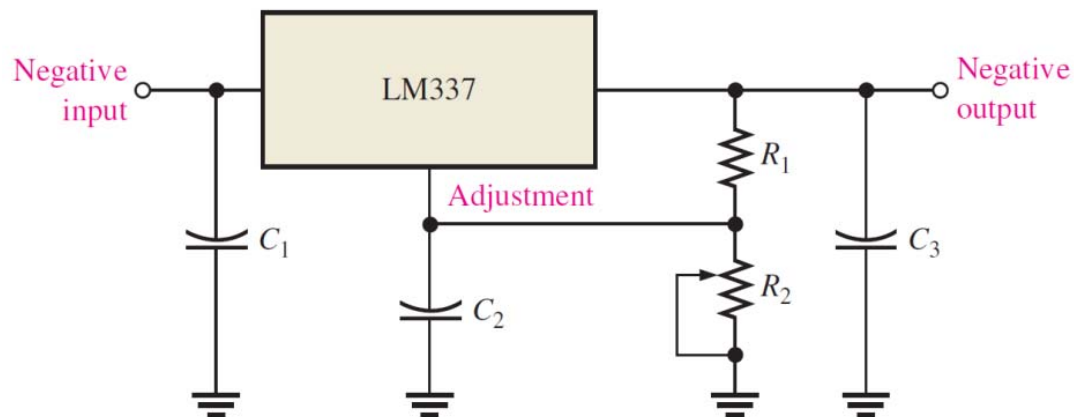
- Spoljni otpornik  $R_1$  i potenciometar  $R_2$  koriste se za podešavanje izlaznog napona.
- Izlazni napon može da varira između 1.2 V i 37 V zavisno od vrednosti otpornika.
- Integrirano kolo LM317 može da obezbedi izlaznu struju u iznosu od 1.5 A.
- Struja koja utiče srednji pin  $I_{ADG}$  je reda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

- 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 integriranog kola LM317.



# Integrirani stabilizatori napona

## Izvori referentnog napona

Karakteristike rednog stabilizatora zavise od mogućnosti izvora referentnog napona da održi konstantan napon pri različitim ambijentalnim promenama. Izvor referentnog napona je tradicionalno realizovan zener diodom.

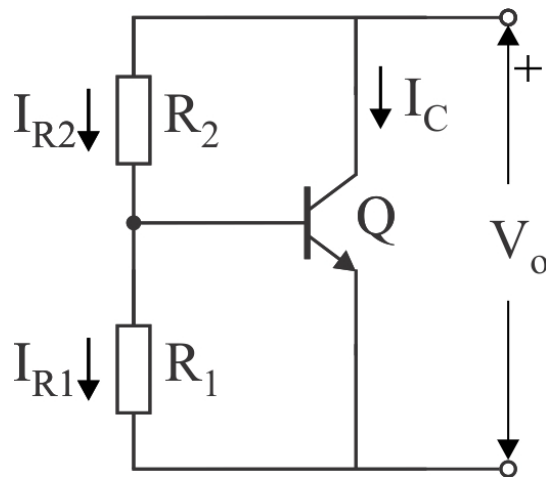
Izvori referentnog napona treba da daje konstantan napon u što širem temperaturskom opsegu. Kao mera osetljivosti na temperaturne promene koristi se **temperaturni koeficijent**  $\frac{dV_{ref}}{dT}$ .

Kao izvori referentnog napona koriste se direktno polarisane diode i Zener diode. Napon na Zener diodama je oko 6 V, dok je napon direktno polarisanog pn spoja za silicijum oko 0.7 V. Ukoliko je potrebno dobiti veću vrednost napona koristi se redna veza većeg broja dioda. Zener dioda ima pozitivan temperaturni koeficijent od oko 2mV/C. Kod direktno polarisane diode temperaturni koeficijent je negativan i iznosi -2.5mV/C.

# Integrirani stabilizatori napona

## Izvor referentnog napona za polarizaciju u klasi AB

Za dobijanje proizvoljne vrednosti napona koristi se sledeće kolo. Ova tehnika se naziva **polarizacija u klasi AB**. Napajanje klase AB zahteva manji napon nego napajanje klase A, koje je jednako dvostrukoj vrednosti napona direktno polarisane diode. Ovo kolo je praktično zamena za zener diodu ili serijsku vezu dioda.



$$I_{R1} = \frac{V_{BE}}{R_1} \quad I_{R2} = I_{R1} + I_B \approx \frac{V_{BE}}{R_1}$$

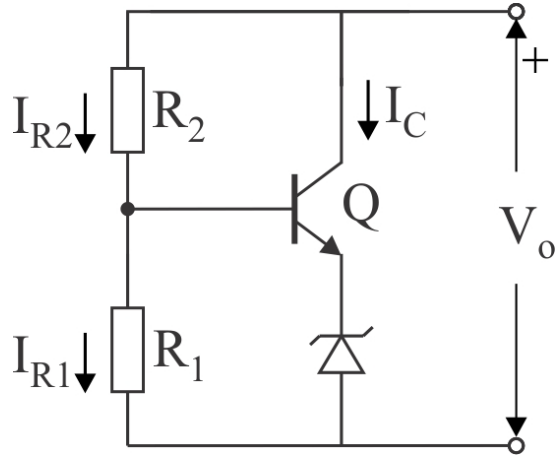
$$V_o = V_{BE} + R_2 \cdot I_{R1}$$

$$V_o = V_{BE} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$\frac{dV_o}{dT} = \frac{dV_{BE}}{dT} \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

# Integrirani stabilizatori napona

Radi neutralisanja negativnog temperaturskog koeficijenta napona na emitorskom pn spoju pridodaje se zener dioda koja ima pozitivan temperaturski koeficijent.



$$I_{R1} = \frac{V_{BE} + V_Z}{R_1} \quad I_{R2} = I_{R1} + I_B \approx \frac{V_{BE} + V_Z}{R_1}$$

$$V_o = V_{BE} + V_Z + R_2 \cdot I_{R2}$$

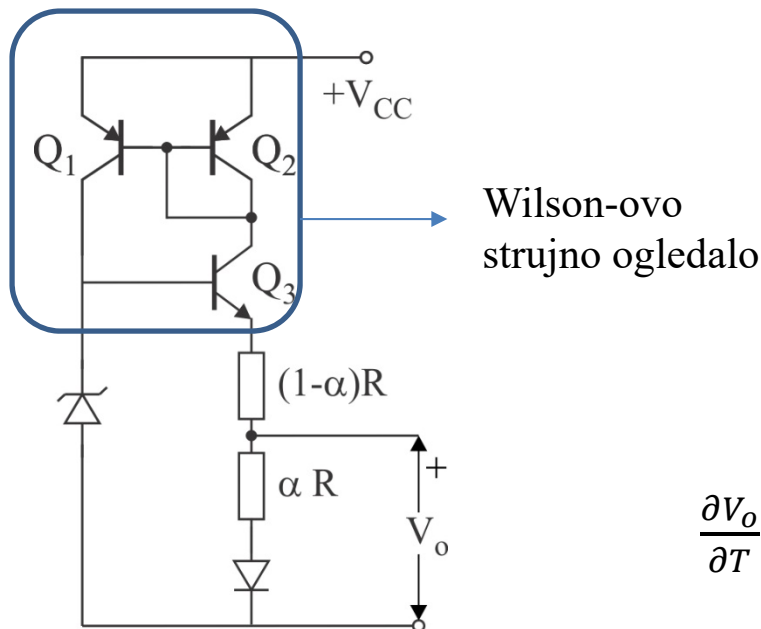
$$V_o = (V_{BE} + V_Z) \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$\frac{dV_o}{dT} = \left( \frac{dV_{BE}}{dT} + \frac{dV_Z}{dT} \right) \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

# Integrirani stabilizatori napona

Na slici je prikazan izvor referentnog napona koji koristi Wilson-ovo strujno ogledalo i zener diodu. Ovaj izvor referentnog napona koristi se u integrisanom kolu CA3085. Na izlazu se radi podešavanja vrednosti temperaturnog koeficijenta koristi razdelnik napona (otpornici  $\alpha R$  i  $(\alpha-1)R$ ) koji u sebi sadrži i diodu.

Pridodavanjem strujnog ogledala naponskom izvoru postiže se sa struja kroz zener diodu prati struju koja protiče kroz potrošač. Na taj način struja kroz zener diodu neće zavistiti od vrednosti napona napajanja i eventualnih varijacija u naponu napajanja. U CA3085 koristi se Wilsonov strujni izvor.



$$V_o = \alpha(V_Z - V_{BE}) + (1 - \alpha) V_D$$

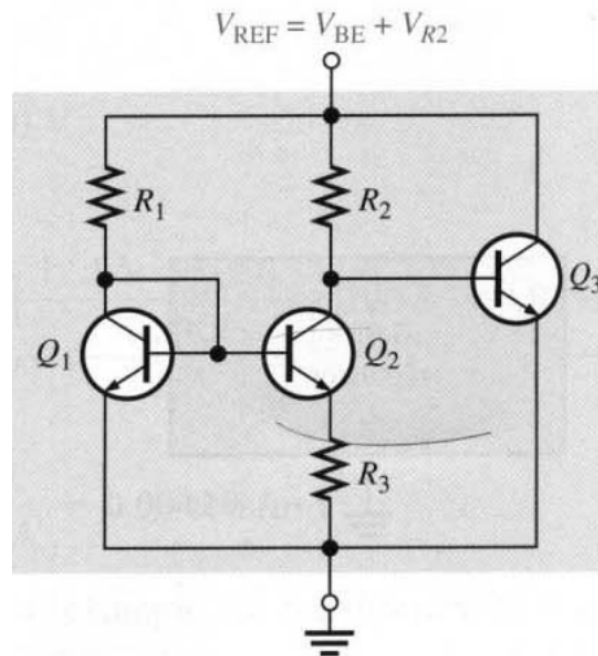
$$\frac{\partial V_o}{\partial T} = \alpha \left( \frac{\partial V_Z}{\partial T} - \frac{\partial V_{BE}}{\partial T} \right) + (1 - \alpha) \frac{\partial V_{BE}}{\partial T}$$

Potrebno je podesiti odnos otpornika  $\alpha$  tako da temperaturni koeficijent bude jednak nuli.

$$\frac{\partial V_o}{\partial T} = 0 \quad \rightarrow \quad \alpha \left( 4.5 \frac{mV}{c} + 2.5 \frac{mV}{c} \right) - (1 - \alpha) 2.5 \frac{mV}{c} = 0$$

## Izvor referentnog napona na principu energetskog procepa (bandgap)

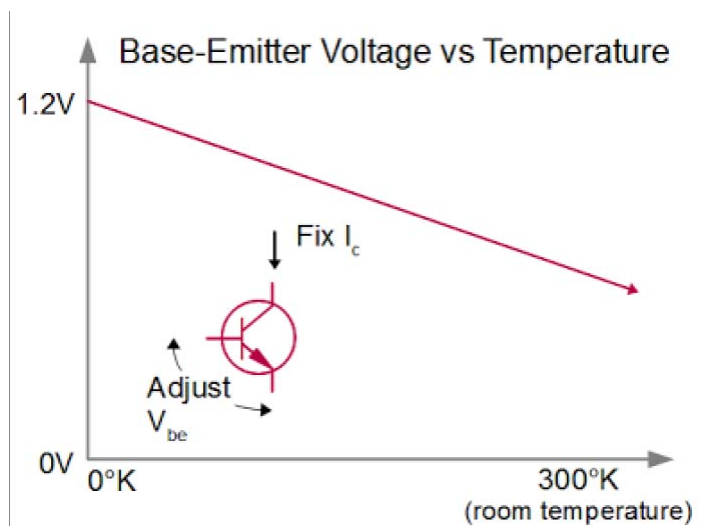
- U integrisanim kolima se koristi i **bandgap izvor referentnog napona** prikazan na slici. Ova kola su projektovana tako da se temperaturni koeficijenti tranzistora međusobno poništavaju. Na taj način kolo ima vrlo mali temperaturni drift i praktično napon ne zavisi od temperature.



# Integrirani stabilizatori napona

## Izvor referentnog napona na principu energetskog procepa (bandgap)

Napon baza-emitor ima negativan temperaturni koeficijent, koji zavisi od struje koja protiče kroz tranzistor i ima vrednost oko  $-2 \text{ mV/K}$ . Vrednost napona baza-emitor na apsolutnoj nuli jednak je energetskom procepu, koji za silicijum iznosi  $E_{g0}=1,2 \text{ V}$ .



$$V_{BE} = V_T \cdot \ln \left( 1 + \frac{I_C}{I_S} \right) \approx V_T \cdot \ln \left( \frac{I_C}{I_S} \right)$$

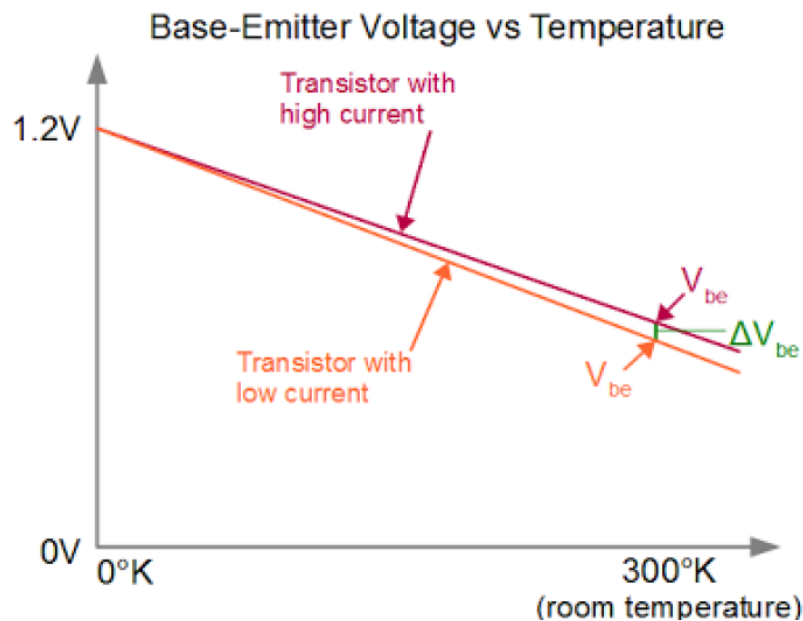
$$\frac{\partial V_{BE}}{\partial T} = \frac{\partial V_{BE}}{\partial V_T} \cdot \frac{dV_T}{dT} + \frac{\partial V_{BE}}{\partial I_S} \cdot \frac{dI_S}{dT}$$



# Integrirani stabilizatori napona

## Izvor referentnog napona na principu energetske procepa (bandgap)

Bandgap izvor referentnog napona zasniva se na razlici potencijala dva direktno polarisana pn spoja. Ovi pn spojevi mogu da budu dve direktno polarisane diode ili emitorski pn spojevi dva tranzistora. Razlika napona baza-emitor za dva tranzistora sa nejednakim strujama,  $\Delta V_{BE}$ , ima pozitivan temperaturni koeficijent.



$$V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \cdot \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}} = \frac{K \cdot T}{q} \cdot \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}}$$

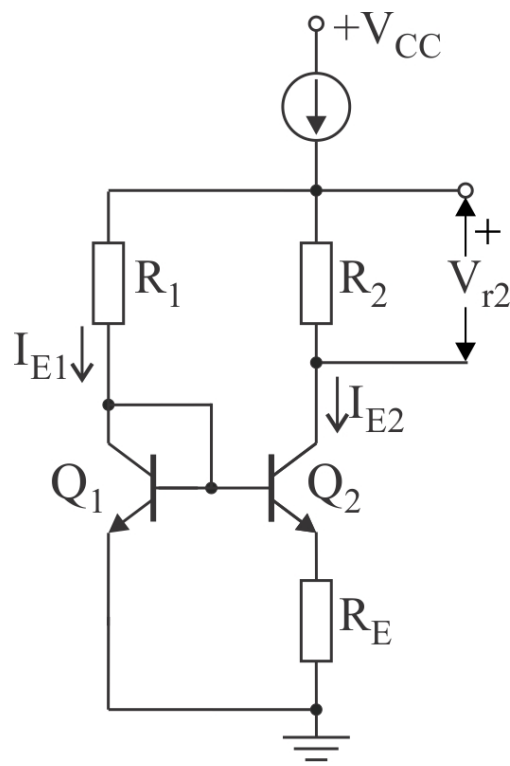
$$\frac{\partial(\Delta V_{BE})}{\partial T} = \frac{K}{q} \cdot \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}}$$

Temperaturni koeficijent razlike napona baza-emitor za dva tranzistora sa nejednakim strujama,  $\Delta V_{BE}$ .

# Integrirani stabilizatori napona

## Izvor referentnog napona na principu energetskog procepa (bandgap)

Bandgap izvor referentnog napona zasniva se na razlici potencijala dva direktno polarisana pn spoja emitorskog pn spoja ili dve direktno polarisane diode. Kao što se iz jednačine vidi dobija se izraz koji ima pozitivan temperaturski koeficijent.



$$V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \cdot \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}} = \frac{K \cdot T}{q} \cdot \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}}$$

$$V_{R2} = R_2 \cdot I_{E2} = \frac{R_2}{R_E} \cdot (V_{BE1} - V_{BE2})$$

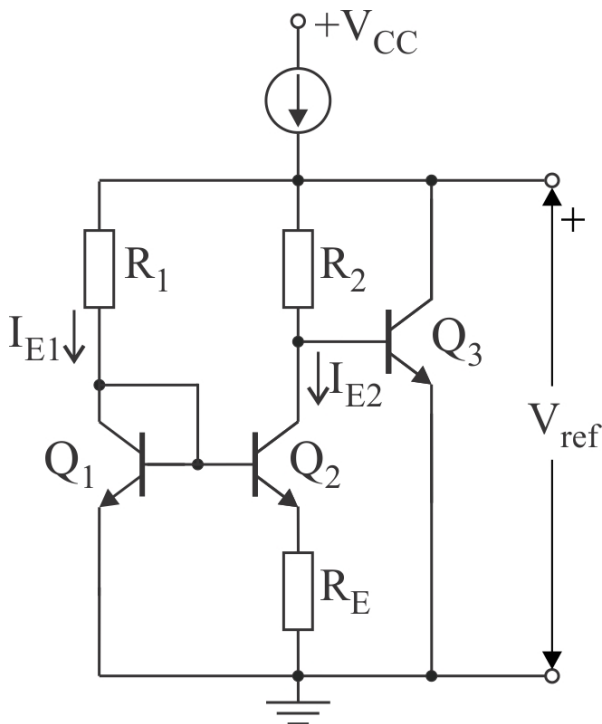
$$V_{R2} = \frac{R_2}{R_E} \cdot V_T \cdot \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}}$$

Napon na otporniku  $R_2$  srazmeran je razlici napona na emitorskim pn spojevima tranzistora,  $\Delta V_{BE}$ . Ovaj napon je linearno srazmeran temperaturi.

$$\frac{dV_{R2}}{dT} = \frac{V_{R2}}{T} = \frac{R_2}{R_E} \cdot \frac{k}{q} \cdot \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}}$$

# Integrirani stabilizatori napona

Napon na otporniku  $R_2$  ima pozitivan temperaturski koeficijent. Da bi dobili temperaturni koeficijent približno jednak nuli treba na red sa ovim otpornikom vezati direktno polarisanu diodu. Na taj način se medjusobno anuliraju vrednosti temperaturnih koeficijenata  $V_{R2}$  i  $V_{BE3}$ . Uslov da ukupan temperaturski koeficijent bude nula je zadovoljen ukoliko je napon na otporniku  $R_2$  jednak padu napona na diodi. Tako da je napon koji daje izvor referentnog napona praktično jednak  $2V_{BE}=1,2\text{ V}$ .



$$V_{ref} = V_{R2} + V_{BE} = V_{BE} + \frac{R_2}{R_E} \cdot V_T \cdot \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}}$$

$$\frac{dV_{ref}}{dT} = \frac{dV_{BE}}{dT} + \frac{V_T}{T} \cdot \frac{R_2}{R_E} \cdot \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}} = 0$$

Otpornike  $R_1$ ,  $R_2$  kao i struje  $I_{E1}$ ,  $I_{E2}$  treba podesiti tako da važi:

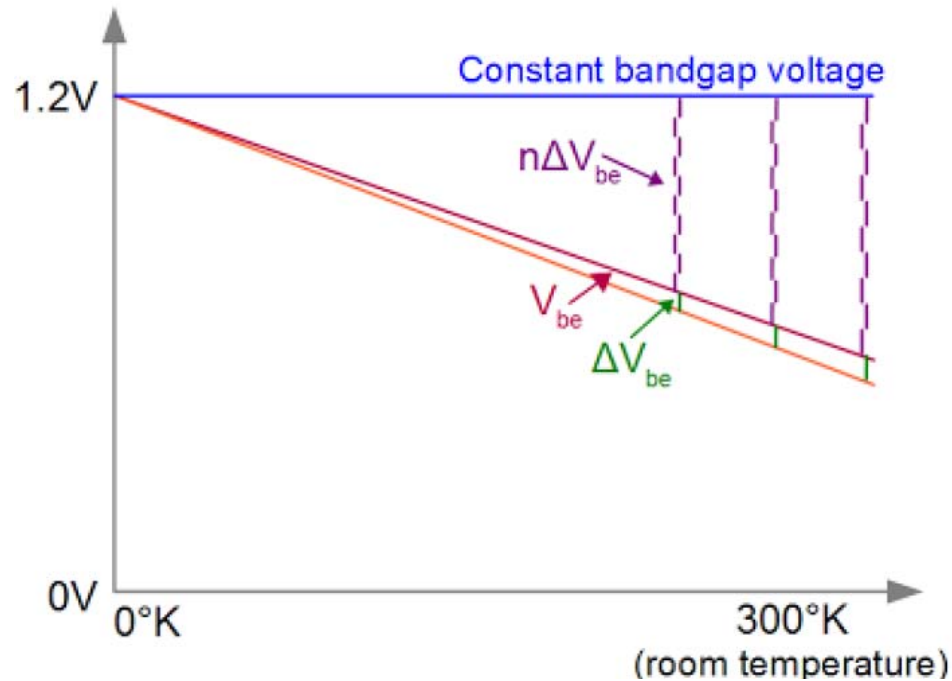
$$\frac{R_2}{R_E} \cdot \frac{K}{q} \cdot \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}} = -\frac{dV_{BE}}{dT} = 2 \frac{mV}{C^\circ}$$

$$V_{R2} = -T \frac{dV_{BE}}{dT} = 300K \cdot 2 \frac{mV}{K} \approx 0,6\text{ V}$$

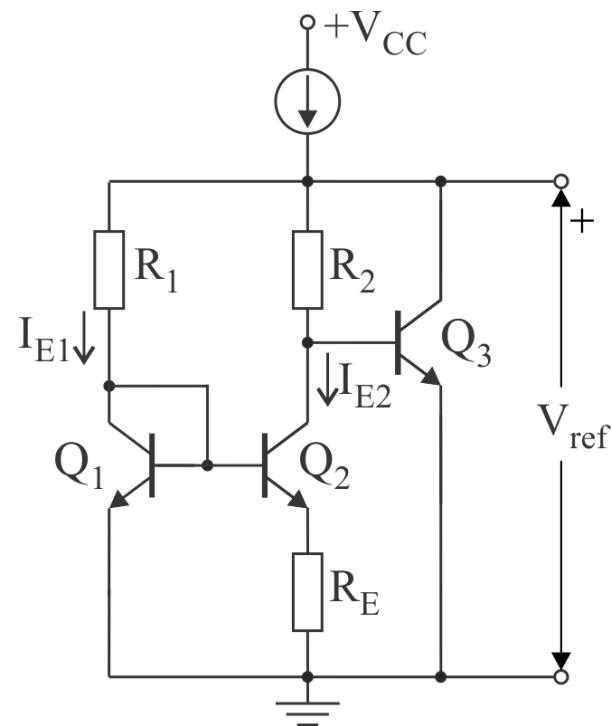
$$V_{ref} = V_{BE} - T \cdot \frac{dV_{BE}}{dT} \approx E_g = 1,23\text{ V}$$

# Integrirani stabilizatori napona

Slika prikazuje zavisnost napona na emitorskim pn spojevima od temperature.

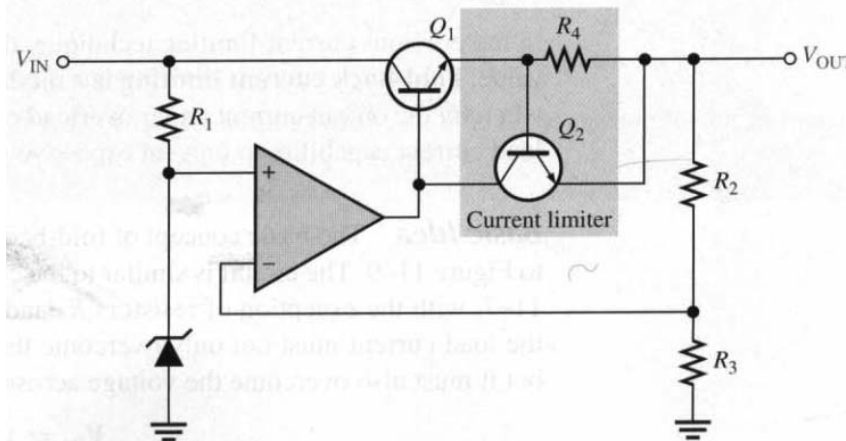


$$n = \frac{R_2}{R_E}$$



$n\Delta V_{BE}$  označava napon na otporniku  $R_2$ . Ovaj napon raste sa temperatureom. Zavisnosti  $V_{R2}$  od temperature treba da bude po apsolutnoj vrednosti jednak  $\left| \frac{dV_{BE}}{dT} \right| = 2,5 \text{ mV}/C^0$ .

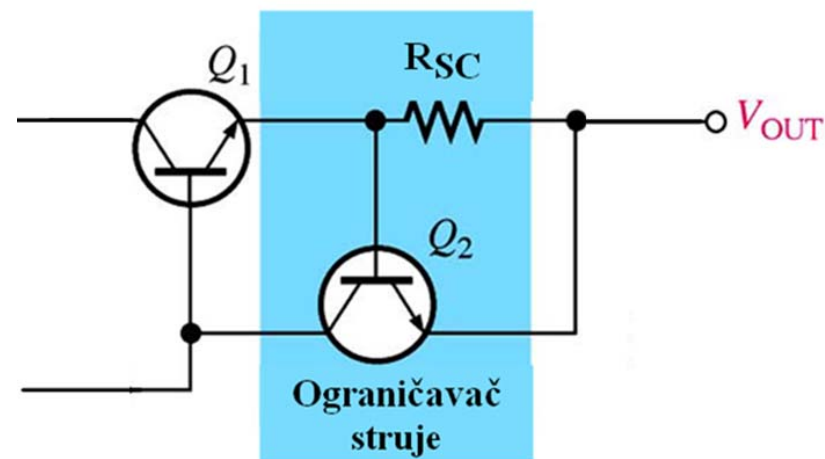
Tranzistor koji obavlja ulogu kontrolnog elementa može lako biti oštećen usled velike struje. Zbog toga neophodno je uvesti kolo za ograničenje struje. Jedno od podkola za ograničenje struje sastoji se od tranzistora i otpornika koji je povezan između emitorskog pn spoj tranzistora.



Vrednost otpornosti  $R_4$  je tako odabrana da kada struja kroz potrošač dostigne maksimalnu vrednost  $I_{max}$  tranzistor  $Q_2$  prelazi iz zakočenja u provodnu oblast. Usled toga se deo struje emitora  $Q_1$  preusmerava ka kolektoru  $Q_2$  usled čega se smanjuje struja kroz  $Q_1$ .

$$I_{Lmax} = \frac{V_{\chi}}{R_4} = \frac{0.6}{R_4}$$

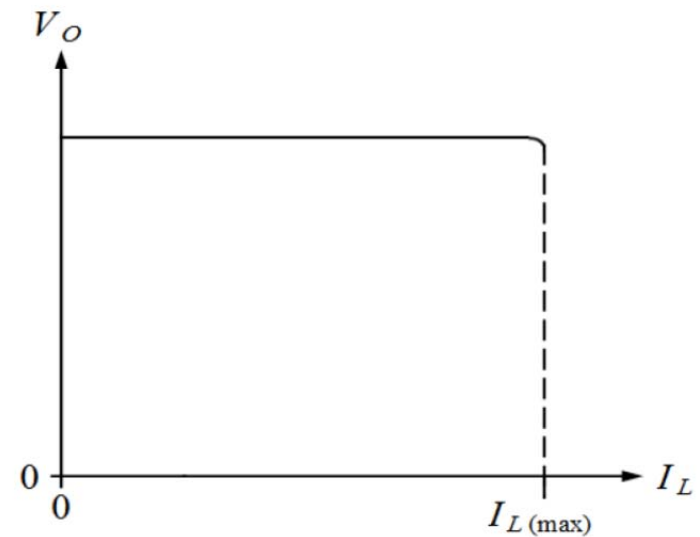
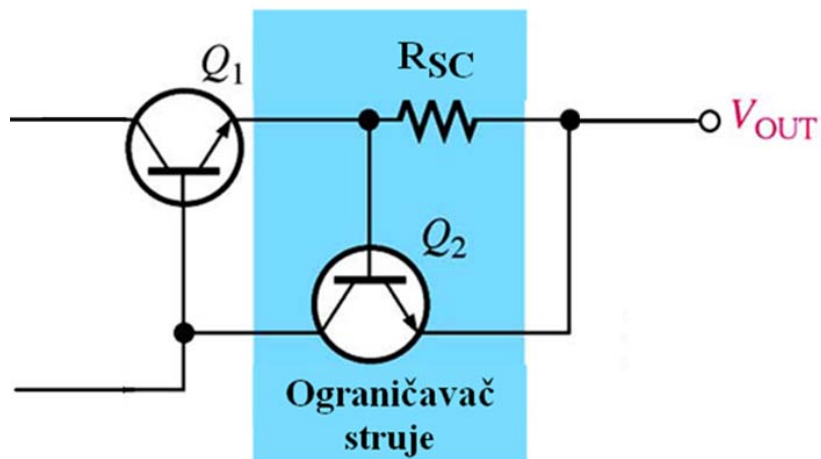
Na slici je prikazana zaštita od kratkog spoja. Funkcionisanje ovog kola zasniva na odmeravanju struje potrošača pomoću otpornika vezanog na red sa potrošačem,  $R_{SC}$ . Ukoliko je struja kroz potrošač manja od maksimalno dozvoljene vrednosti  $I_{Lmax}$ , tranzistor  $Q_2$  je u zakočenju jer je pad napona na otporniku  $R_{SC}$  manji od praga provođenja tranzistora. Ukoliko struja prekorači maksimalno dozvoljenu vrednost tranzistor  $Q_2$  će provesti i napon na izlazu više neće biti konstantan.



Kada provede tranzistor Q2 praktično se dešava konverzija naponskog generatora u strujni generator. Tada struja kroz potrošač postaje približno konstantna i iznosi:

$$I_{Lmax} = \frac{V_Y}{R_{SC}}$$

Struja koja teče kroz potrošač praktično je jednaka zbiru struje emitora zaštitnog tranzistora Q2 i struja koja teče kroz senzorski otpornik RSC, međutim struju kroz Q2 možemo da zanemarimo pošto je znatno manja.



## Fold-back strujna zaštita

Nedostatak prethodnog tipa strujne zaštite je što kada se u uključi zaštitni tranzistor  $Q_2$ , napon na izlazu nije definisan i snaga disipacije na kontrolnom tranzistoru  $Q_1$  može da postane veoma velika kada je izlazni napon mali. Da bi se izbegla ova mogućnost kolu se dodaje naponski razdelni kao na slici. Zahvaljujući ovom naponskom razdelniku uspostavlja se relacija između izlaznog napona i izlazne struje.

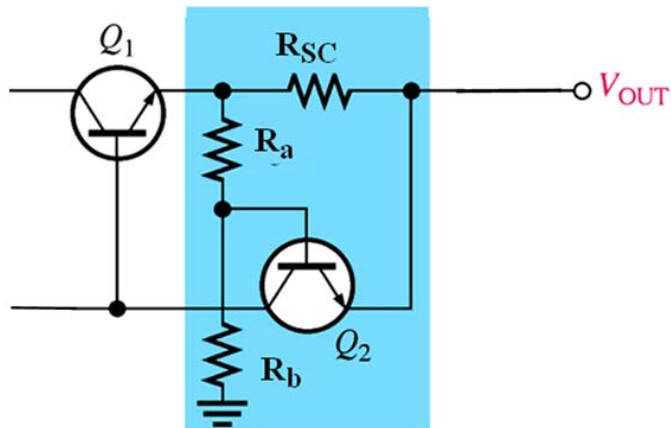
$$V_{E1} = R_{SC} \cdot I_L + V_{out}$$

$$V_{B2} \approx \frac{R_b}{R_b + R_a} \cdot V_{E1} = \alpha \cdot V_{E1}$$

$$V_{BE2} = (R_{SC} \cdot I_L + V_{out}) \cdot \alpha - V_{out}$$

$$V_{BE2} = V_{out}(\alpha - 1) + R_{SC} \cdot I_L \cdot \alpha$$

Sabirak uz napon je negativan a sabirak uz struju pozitivan. Pri istoj vrednosti  $V_{BE}$  većoj struji  $I_L$  odgovara veći napon  $V_{out}$ .



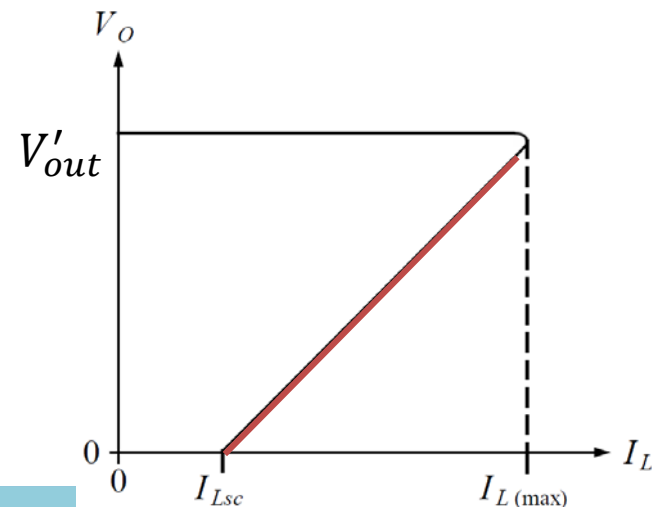
Kada se uključi transistor  $Q_2$ :

$$V_{\gamma} = V_{out} \cdot (\alpha - 1) + \alpha \cdot R_{SC} \cdot I_{Lmax}$$

Za  $V_{out} = 0$   $I_L = I_{LSC}$

Za  $I_L = I_{Lmax}$   $V_{out} = V'_{out}$

$$V_{\gamma} = \alpha \cdot R_{SC} \cdot I_{LSC}$$

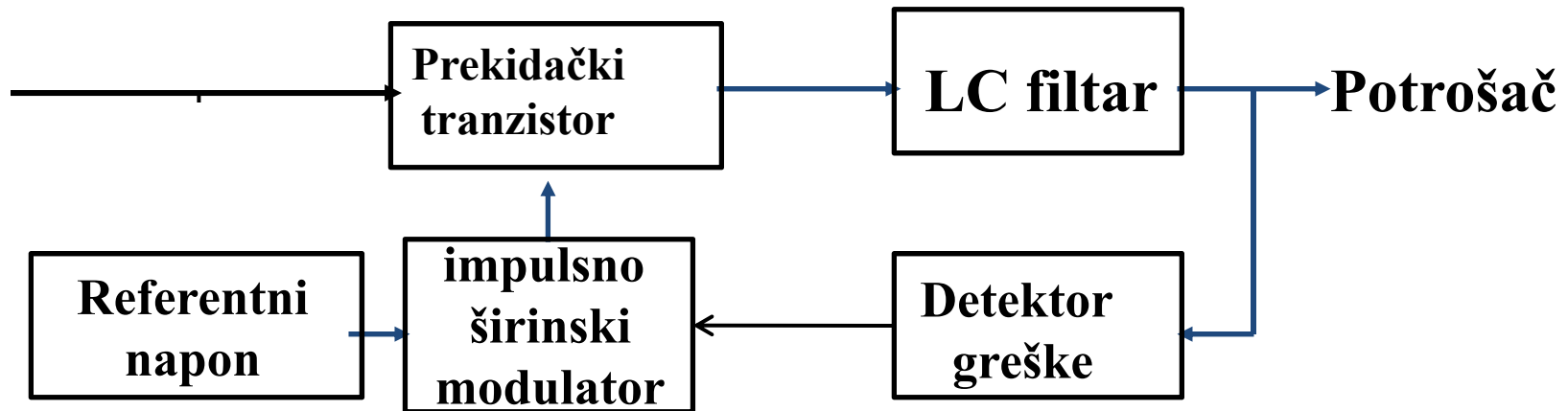




# Prekidački stabilizatori

- **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.
  
- 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 zasićenja je mnogo manja nego snaga koja se disipira kada je aktivni element 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 kontrolnog tranzistora manja.
  
- Prekidački stabilizatori se dele na sledeće kategorije:
  - spuštač napona (step-down)
  - podizač napona (step-up)
  - invertujući (voltage inverter)

## Prekidački stabilizatori – principijelna šema

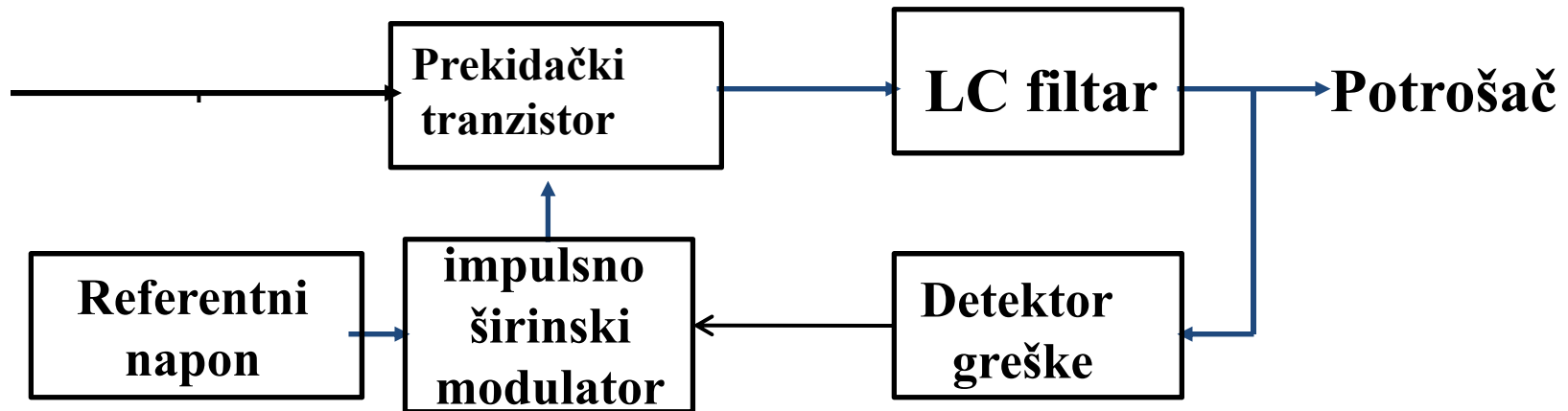


**Prekidački stabilizatori** generišu napon pravougaonog talasnog oblika koji nakon prolaska kroz niskofrekventni LC filter daje zadatu vrednost jednosmernog napona. U prekidačkom stabilizatoru regulacija se vrši prekidačem. Kontrolišući element (tranzistor) radi u prekidačkom režimu tako da je disipacija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

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

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

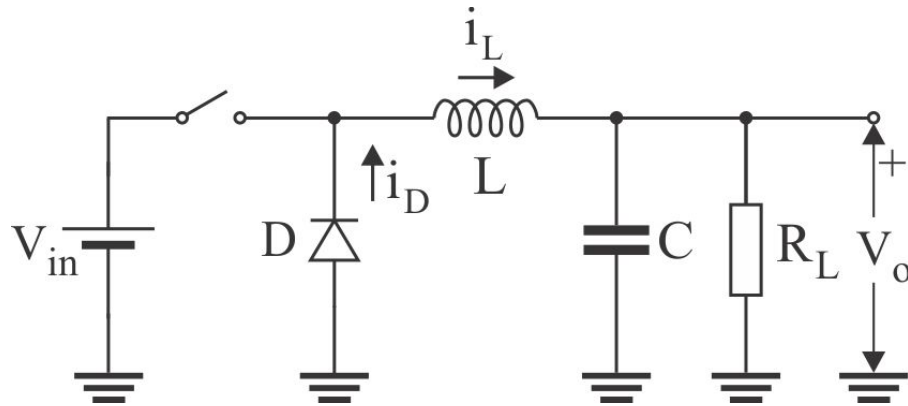
## Prekidački stabilizatori – principijelna šema



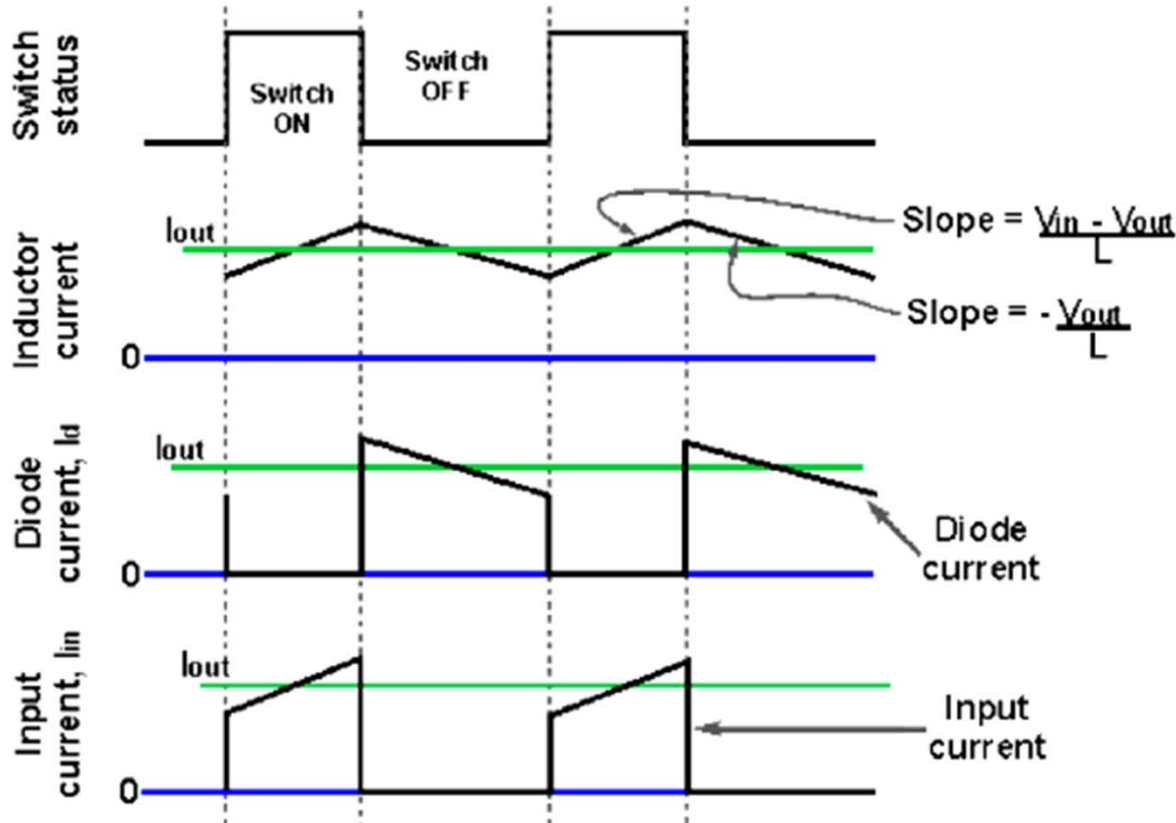
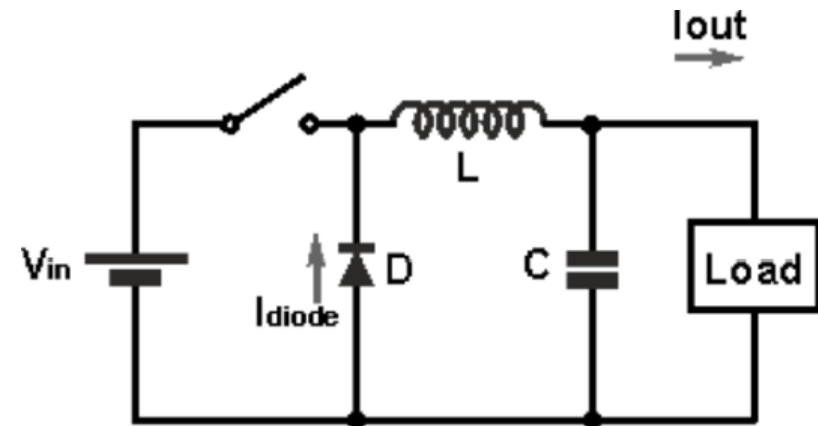
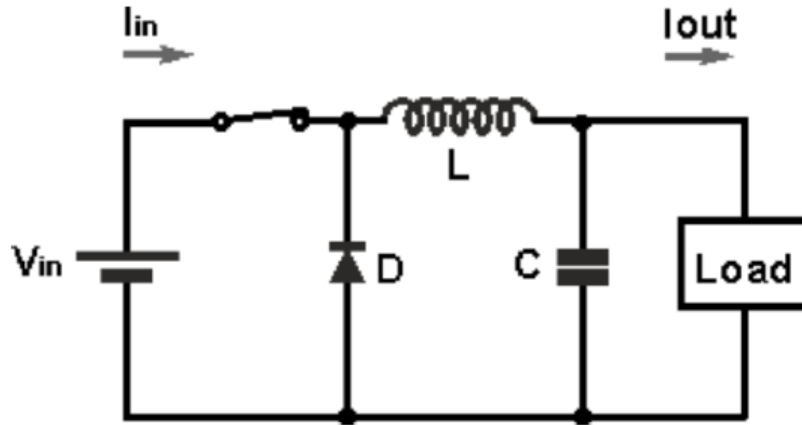
Za upravljanje prekidačem primenjuje se **impulsno širinski modulator** koji u suštini predstavlja oscilator kontrolisan naponom. Ovo kolo generiše napon pravougaonog talasnog oblika konstantne frekvencije. Ono što je promenljivo je vremenski interval u toku koga je prekidač zatvoren, odnosno menja se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

## Prekidački spustač napona (step-down switching regulator)

Prekidački stabilizatori sadrže odgovarajući konvertor jednosmernog napona (DC-DC converter). Slika prikazuje konvertor jednosmernog napona, koji na izlazu generiše napon manje vrednosti od ulaznog napona. Ovo kolo sadrži dva prekidača (tranzistor i dioda), prigušnicu i kondenzator. Rad kola zasniva se na svojstvu kalema da se protivi promeni struje, što je u skladu sa Lorencovim zakonom.

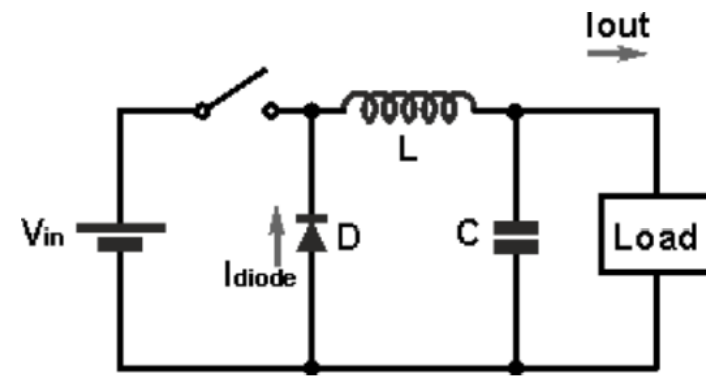
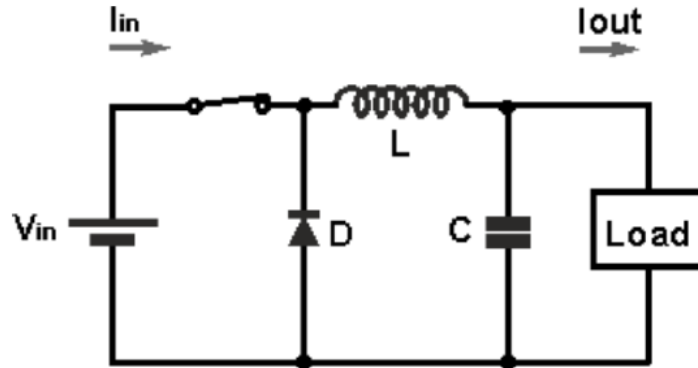


# Prekidački spustač napona



- Kada je prekidač zatvoren akumulira se energija u kalemu i raste struja kroz kalem.
- Kada se prekidač otvori polaritet kalema postaje suprotan po Lorencovom zakonu. Pod dejstvom ovog napona dioda postaje direktno polarisana i struja kalema nastavlja da teče u istom smeru.

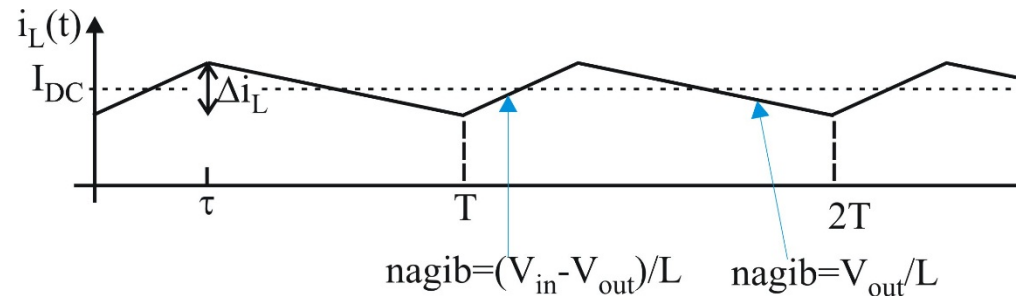
# Prekidački spustač napona



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

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

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



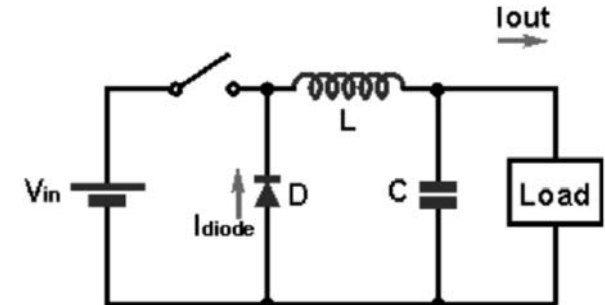
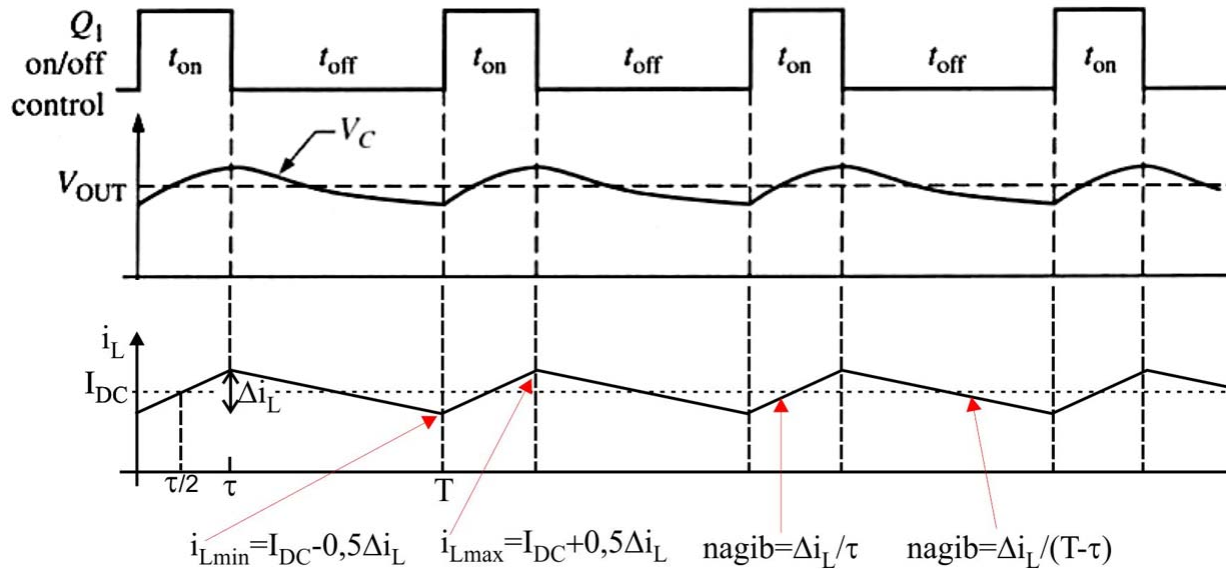
$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{\tau}{T} = V_{in} \cdot D$$

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

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

# Prekidački spustač napona

## Konvertor napona



$$\Delta V = \frac{1}{C} \int_{\frac{\tau}{2}}^{\frac{T}{2}} [i_L(t) - I_{DC}] \cdot dt$$

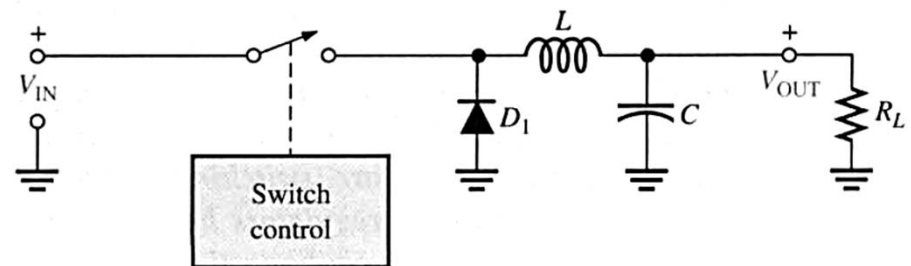
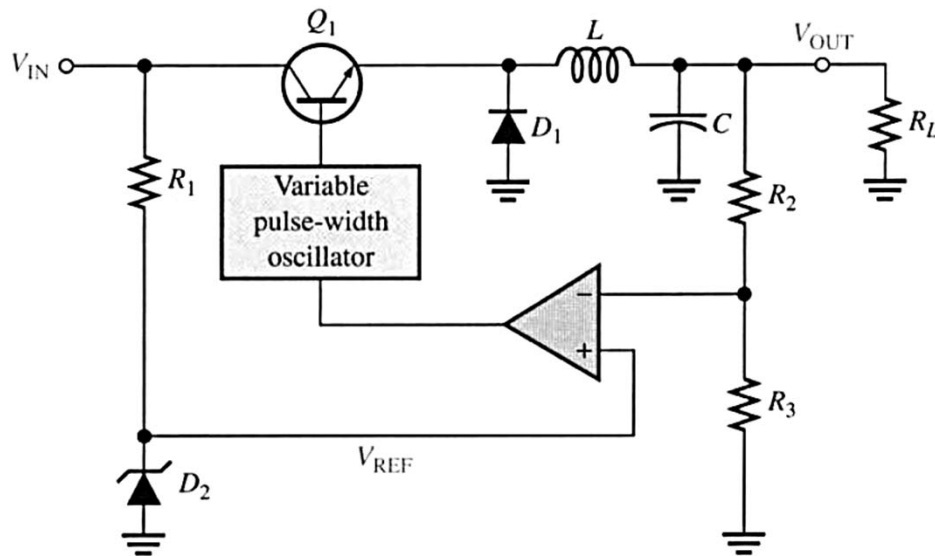
$$\Delta V = \frac{1}{C} \cdot \frac{\Delta i_L \cdot T}{8}$$

$$\Delta V = \frac{1}{C} \int_0^{\frac{\tau}{2}} \frac{\Delta i_L}{\tau} \cdot t \cdot dt + \frac{1}{C} \int_0^{\frac{(T-\tau)}{2}} \left( \frac{\Delta i_L}{2} - \frac{\Delta i_L}{T-\tau} \cdot t \right) \cdot dt$$

Varijacije napona,  $\Delta V$ , su inverzno proporcionalne induktivnosti kalema, kapacitivnosti kondenzatora i frekvenciji signala.

# Prekidački spustač napona

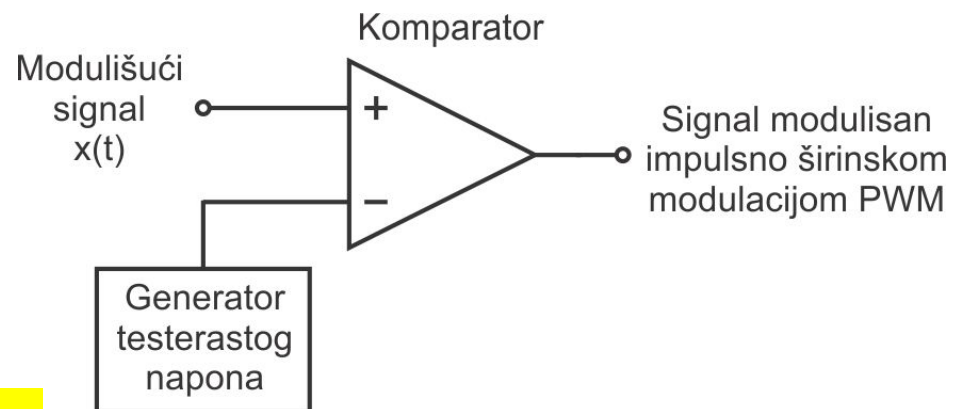
- Izlazni napon je uvek manji od ulaznog napona. Tranzistor Q1 periodično prekida ulazni napon. S obzirom da kontrolni element Q1 menja režime rada između zasićenja i zakočenja snaga disipacije na kontrolnom elementu je relativno mala.
- LC filter se koristi da usrednji impulse napona. Kapacitivnost u filtru se puni tokom perioda kada je tranzistor Q1 u zasićenju, odnosno prekidač zatvoren,  $t_{ON}$ .
- Kada se prekidač otvori (tranzistor u zakočenju) polaritet kalema se menja i on vraća akumuliranu energiju. Kao posledica toga dioda je direktno polarisana i počinje da teče struja ka potrošaču. Istovremeno kondenzator se prazni.





## Impulsno Širinska Modulacija (Pulse Width Modulation PWM)

U impulsno širinskoj modulaciji informacija o amplitudi analognog signala se predstavlja širinom (trajanjem) impulsa signala. Amplituda PWM signala je najčešće fiksna i nije od značaja, ali se u nekim slučajevima može koristiti za prenos dodatnih informacija. U suštini, PWM predstavlja način digitalnog kodiranja nivoa analognih signala.



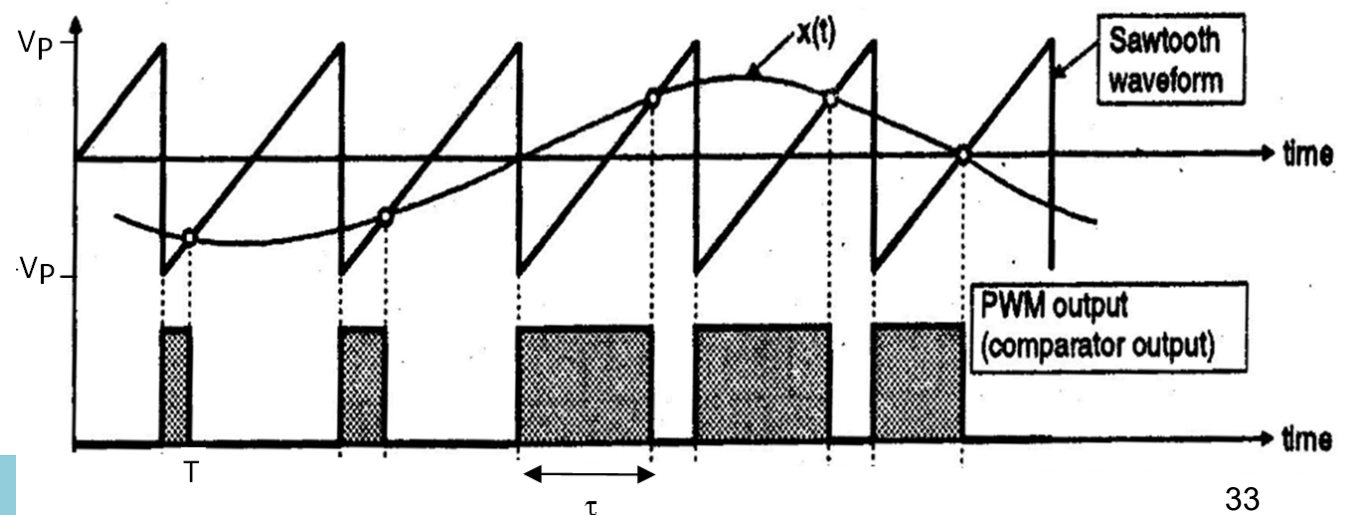
$$\frac{V_C - (-V_P)}{2 \cdot V_P} = \frac{\tau}{T}$$

$$D = \frac{\tau}{T} = \frac{1}{2} + \frac{V_C}{2 \cdot V_P}$$

$V_C$  je napon modulišućeg signala u trenutku kada se izjednači sa testerastim naponom.

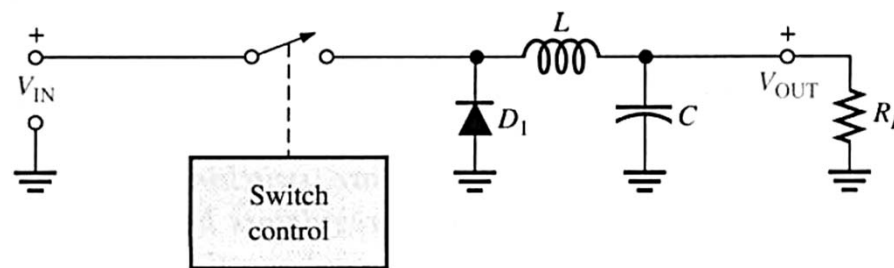
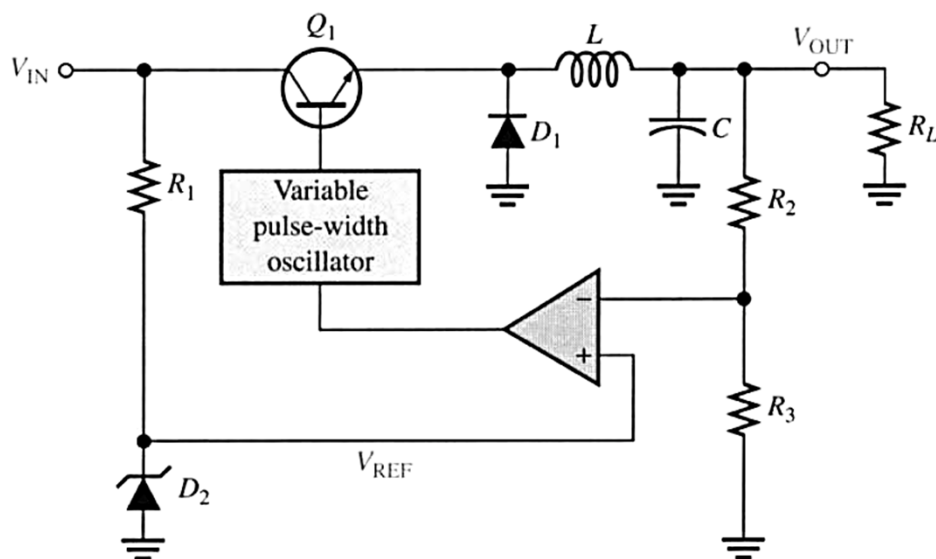
$V_P$  amplituda testerastog napona.

D – faktor ispunje



Izlazni napon je uvek manji od ulaznog napona. Tranzistor Q1 periodično prekida ulazni napon. S obzirom da kontrolni element Q1 menja režime rada između zasićenja i zakočenja snaga disipacije na kontrolnom elementu je relativno mala. LC filter se koristi da usrednji impulse napona. Kapacitivnost u filteru se puni tokom perioda kada je tranzistor Q1 u zasićenju, odnosno prekidač zatvoren,  $t_{on}$ . Uloga induktivnosti je da izravna talasni oblik napona.

$$V_{out} = \left( \frac{t_{on}}{T} \right) \cdot V_{in}$$



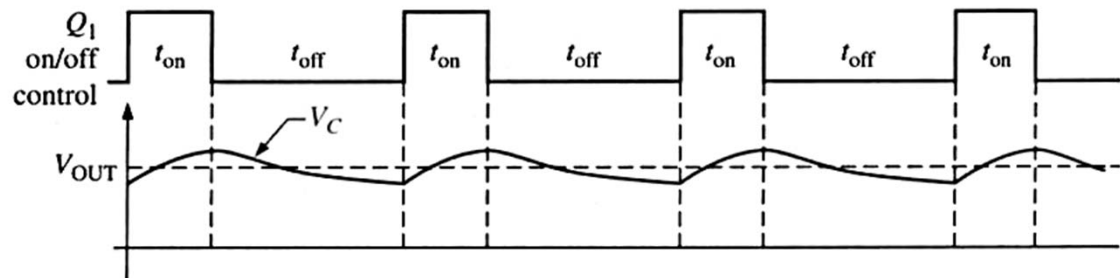
# Prekidački spustač napona

## ▪ Konfiguracija sa spuštanjem napona

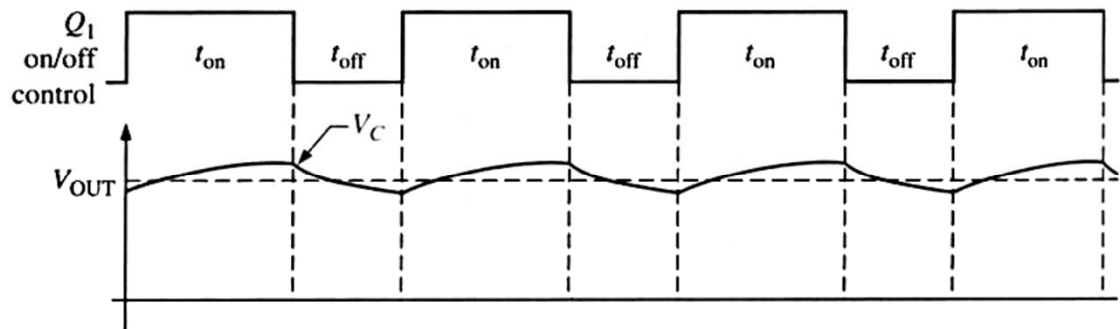
Vrednost izlaznog napona može se podestiti menjanjem odnosa vremenskih perioda  $t_{on}$  i  $t_{off}$ .

$$V_{out} = \left( \frac{t_{on}}{T} \right) \cdot V_{in}$$

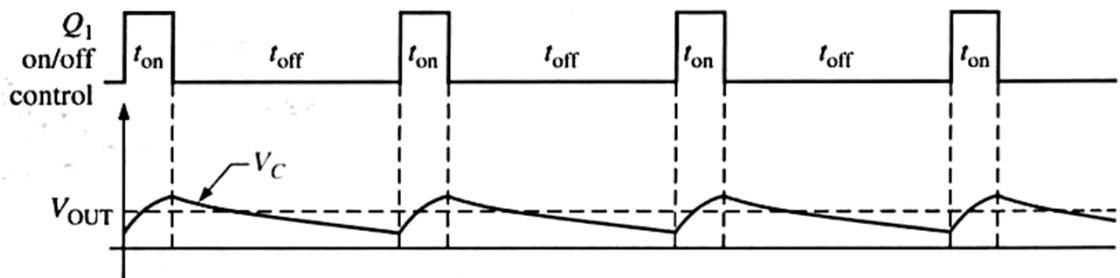
$$T = t_{on} + t_{off}$$



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



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

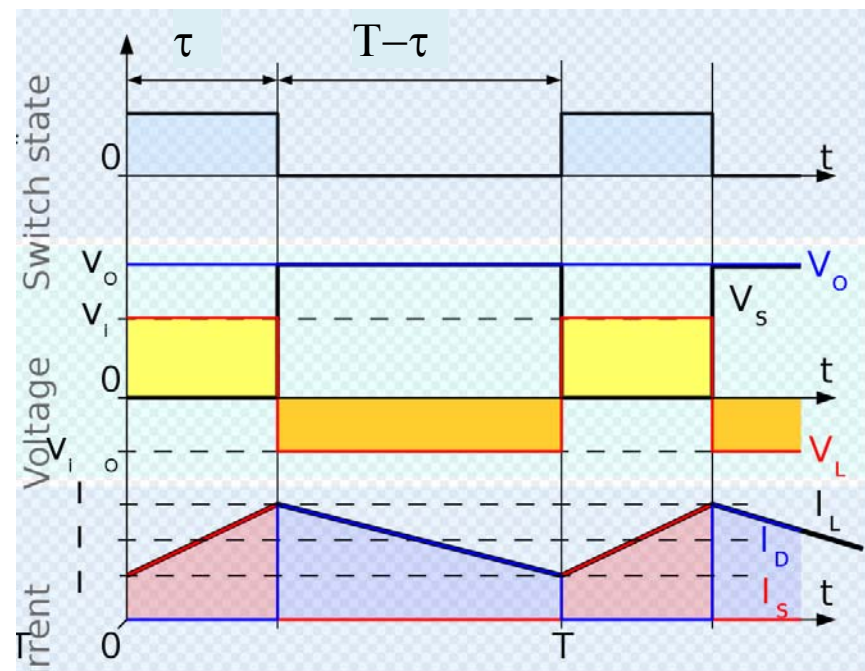
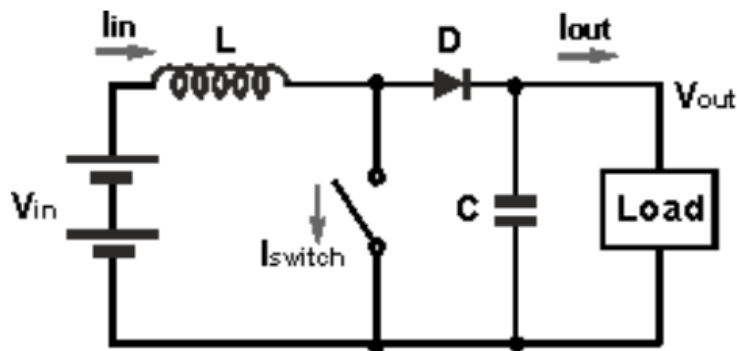


(c) Decrease the duty cycle and  $V_{OUT}$  decreases.

# Prekidački podizač napona (step-up switching regulator)

Kada se prekidač zatvori magnetno polje na induktivnosti poraste naglo i napon na kalemu brzo dostigne vrednost ulaznog napona  $V_{in}$ . Tokom vremena ovaj napon opada. Što je duži vremenski interval u toku koga je prekidač zatvoren napon na kalemu će se više smanjiti.

Kada se prekidač otvori magnetno polje naglo opada i polaritet napona na kalemu se menja. Napon na kalemu se pridodaje ulaznom naponu. Tada je dioda direktno polarisana i kondenzator počinje da se puni. Na izlazu se dobija veći napon nego na ulazu jer se ulaznom naponu pridodaje napon na kalemu.



# Prekidački podizač napona (step-up switching regulator)

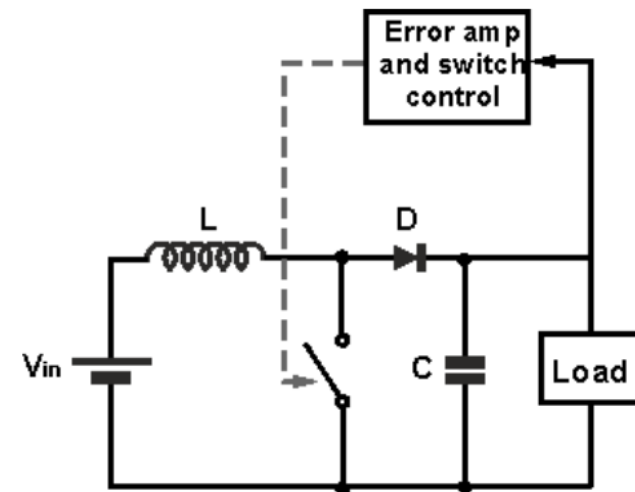
Za podešavanje perioda vremena u toku koga je prekidač zatvoren najčešće se primenjuje imulsno širinska modulacija. Što je kraći period u toku koga je prekidač zatvoren,  $\tau$ , veći je napon na klemu a samim tim je veća vrednost izlaznog napona. Kada napon na izlazu padne ispod zadate vrednosti primenom kontrolne logike smanjuje se period vremena u toku koga je prekidač uključen. U suprotnom ukoliko je izlazni napon veći od zadate vrednosti kontrolna logika povećava period vremena u toku koga je prekidač zatvoren. Izlazni napon je obrnuto srazmeran **faktoru ispune (duty cycle)**.

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

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

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

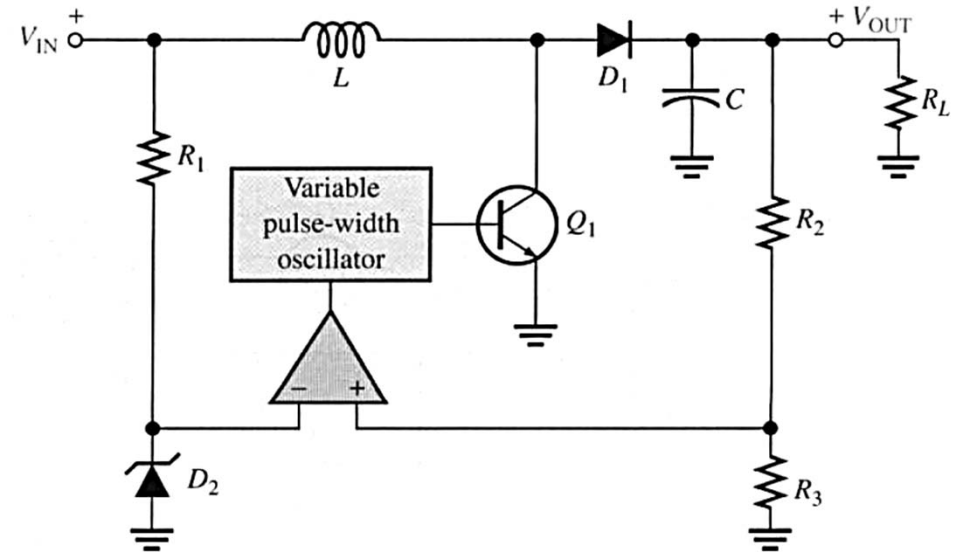
$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{T}{T - \tau} = V_{in} \cdot \frac{1}{1 - D}$$



# Prekidački podizač napona (step-up switching regulator)

## Konfiguracija sa podizanjem napona

- Za vreme dok je tranzistor  $Q_1$  u zasićenju (zatvoren prekidač) napon na induktivnosti raste i dioda  $D_1$  je inverzno polarisana.
- U trenutku kada tranzistor  $Q_1$  pređe u režim zakočenja (otvoren prekidač) induktivnost  $L$  postaje inverzno polarisana i dioda  $D_1$  postaje direktno polarisana. Započinje proces punjenja kondenzatora  $C$ .
- Ulaznom naponu se pridodaje napon na kalemu tako da izlazni napon može biti veći od ulaznog napona.



# 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.

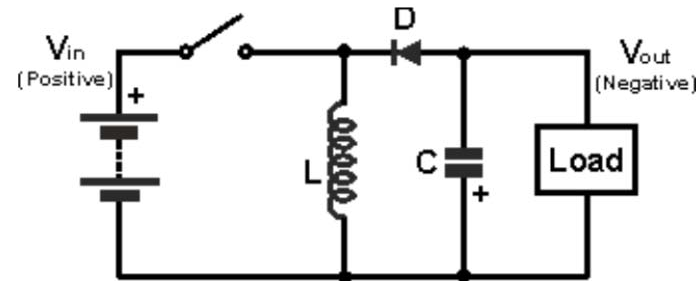
Kada se prekidač otvori napon na kalemu menja polaritet. Dioda postaje direktno polarisana i kroz nju teče struja koja prazni kondenzator.

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

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

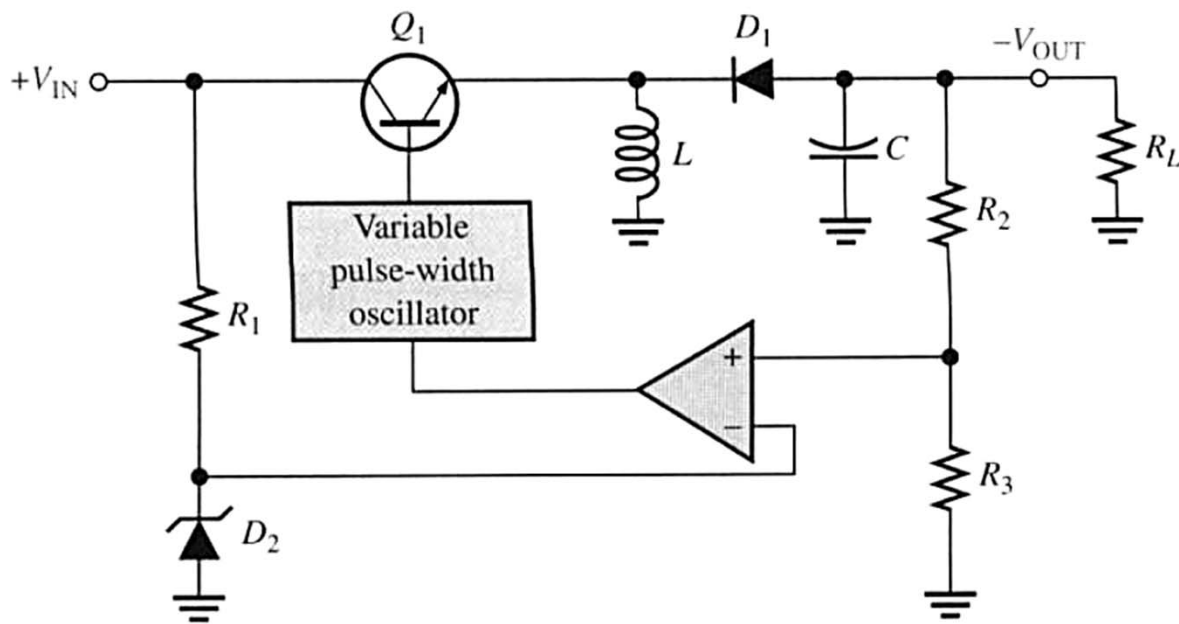
$$V_{in} \cdot \tau = -V_{out} \cdot (T - \tau)$$

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



## ▪ Konfiguracija sa invertujući naponom

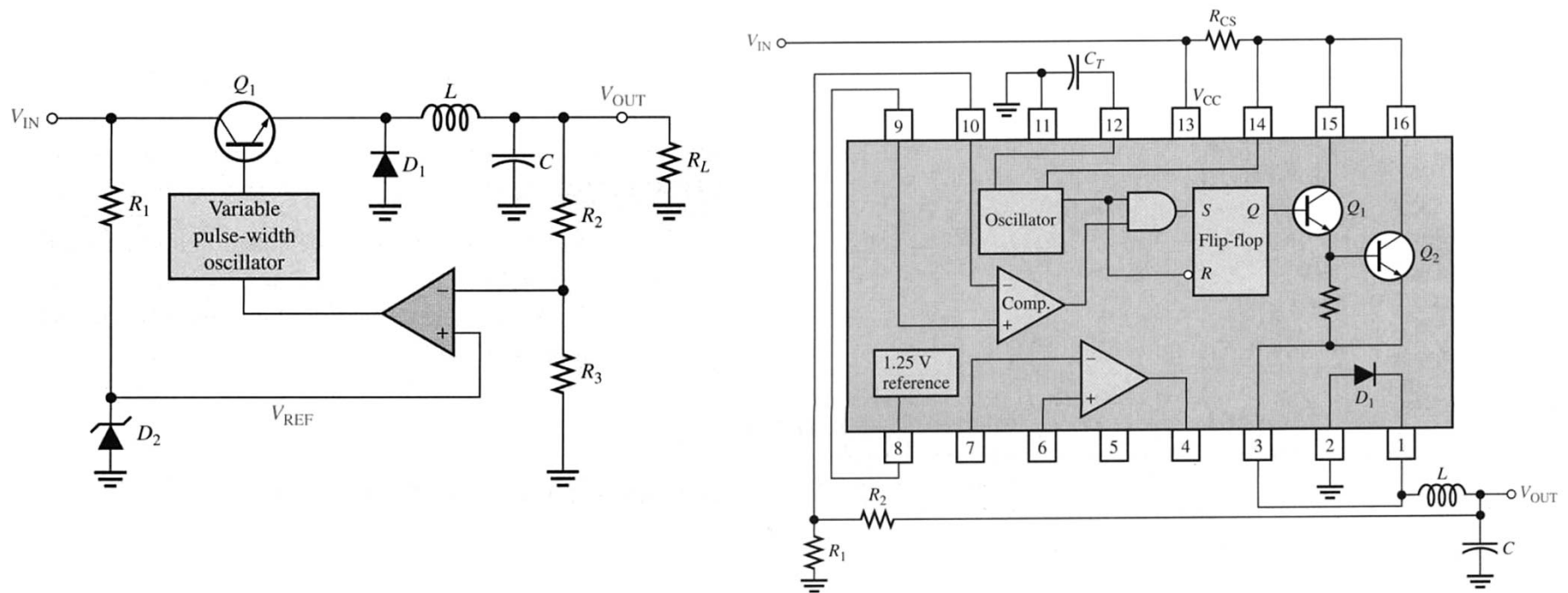
- Ova konfiguracija proizvodi na izlazu napon koji je suprotnog znaka od ulaznog napona.
- Dok je  $Q_1$  u zasićenju napon na kalemu poraste na vrednost  $V_{in}$  i pri tome je dioda  $D_1$  inverzno polarisana.
- Nakon što tranzistor promeni režim rada i predje u zakočenje magnetno polje kroz kalem opada i napon na kalemu promeni polaritet. Dioda postane direktno polarisana i kroz nju teče struja. Ova struja ima takav smer da stvara na kondenzatoru napon suprotnog znaka od ulaznog napona.





## ▪ Integrirani stabilizator napona

- Jedan od značajnih predstavnika prekidačkih stabilizatora je integrirano kolo 78S40. Kapacitivnost  $C_T$  kontroliše frekvenciju oscilovanja. Na slici je prikazana primena kola 78S40 u konfiguraciji sa spuštanjem napona.



## Integrirani stabilizatori napona

### Osnovna pitanja

1. Integrirana kola stabilizatora napona sa fiksnim i promenjivim naponom i njihov način vezivanja u kolu. (4-10).
2. Osobine prekidačkih stabilizatora napona, klasifikacija, princip rada (principijelna šema). (25,26,27)

### Ostala pitanja

4. Strujna zaštita primenom ograničavača struje.
5. Fold-back strujna zaštita.
6. Izvor referentnog napona za polarizaciju u klasi AB.
7. Izvor referentnog napona na bazi energetskog procepa.
8. Impulsno širinska modulacija.
9. Prekidački podizač napona (principijelna šema, princip rada, izraz za izlazni napon)
10. Prekidački spuštač napona (principijelna šema, princip rada, izraz za izlazni napon)
11. Prekidački obrtač napona (principijelna šema, princip rada, izraz za izlazni napon)