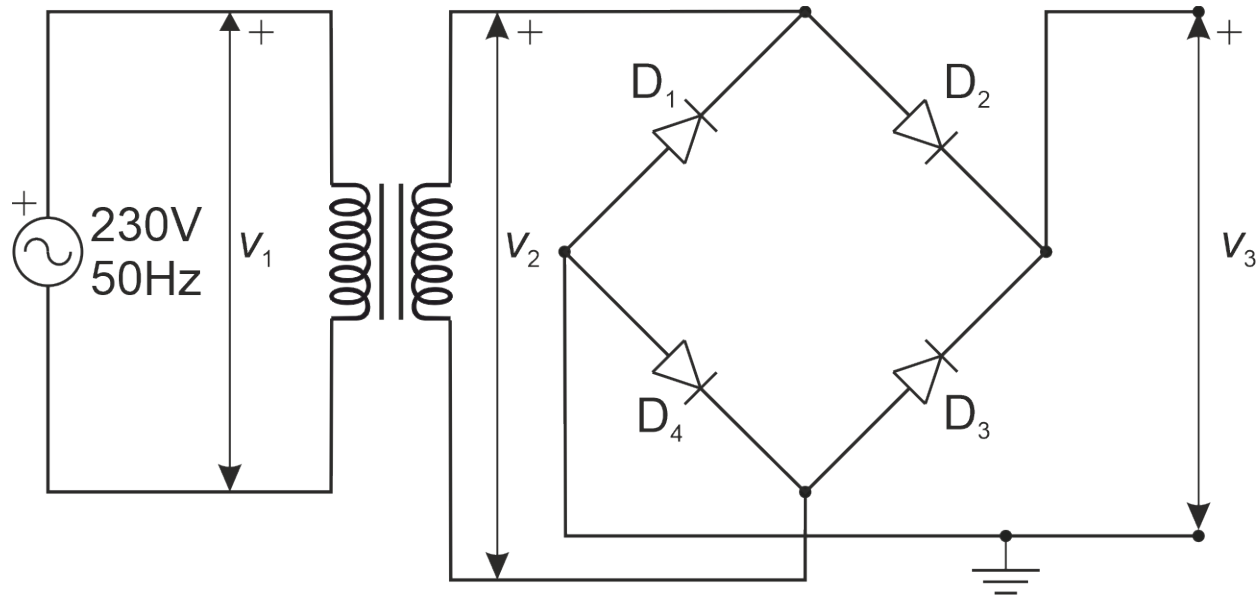


Stabilizzatori i regolatori napona

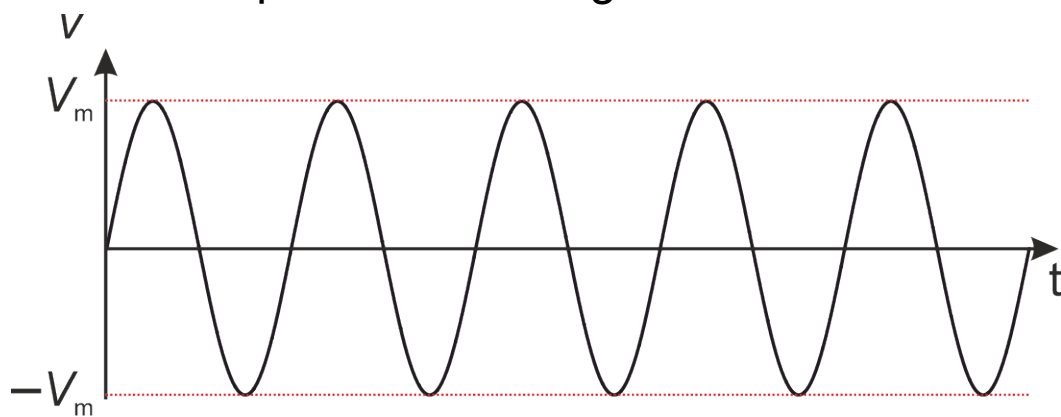
Uvod

- Za funkcionisanje većine elektronskih uređaja potrebni su izvori jednosmernog napona koji generišu stabilan napon čija se vrednost ne menja u vremenu, ne zavisi od fluktuacija napona elektroenergetske mreže niti od otpornosti potrošača.
- Da bi se obezbedile navedene karakteristike, primenjuju se kola za stabilizaciju napona – *stabilizatori napona*. Ukoliko ova kola imaju mogućnost regulacije (podešavanja) izlaznog napona, nazivaju se *naponski regulatori*.

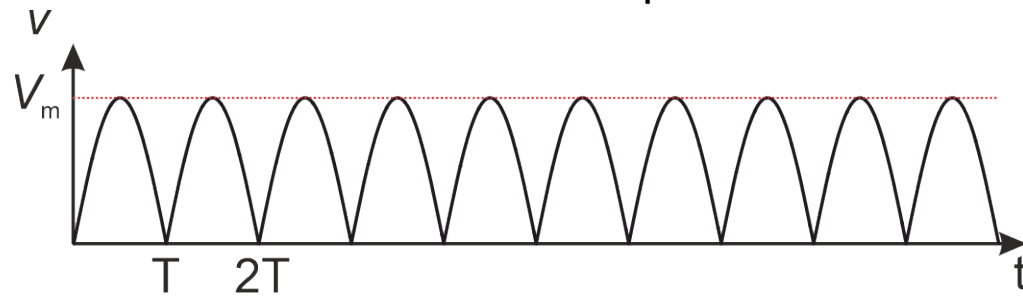
Usmeravanje napona



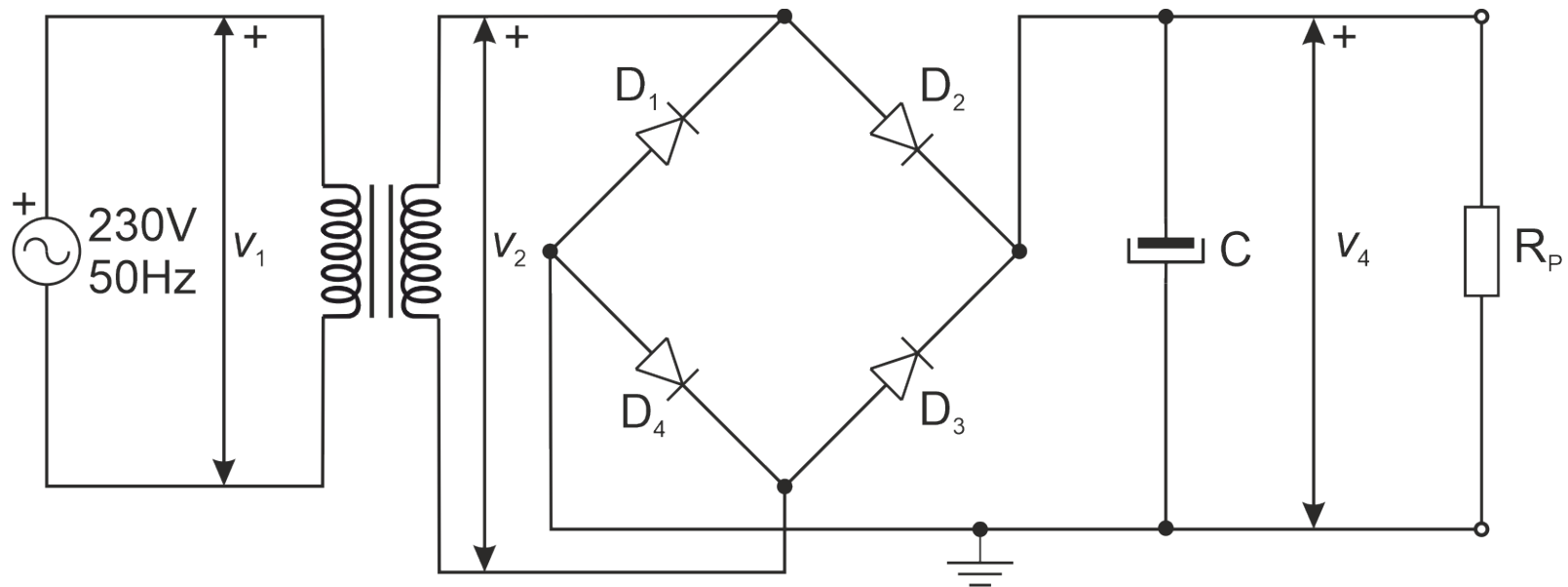
Napon elektroenergetske mreže



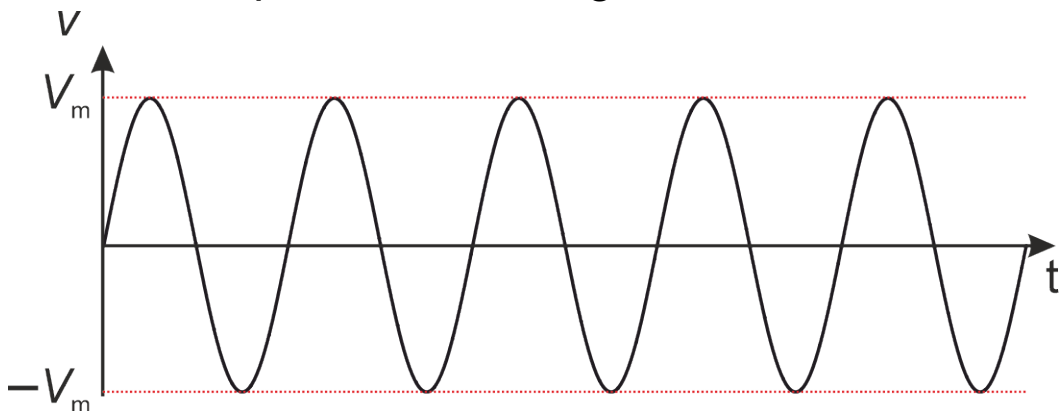
Usmereni napon



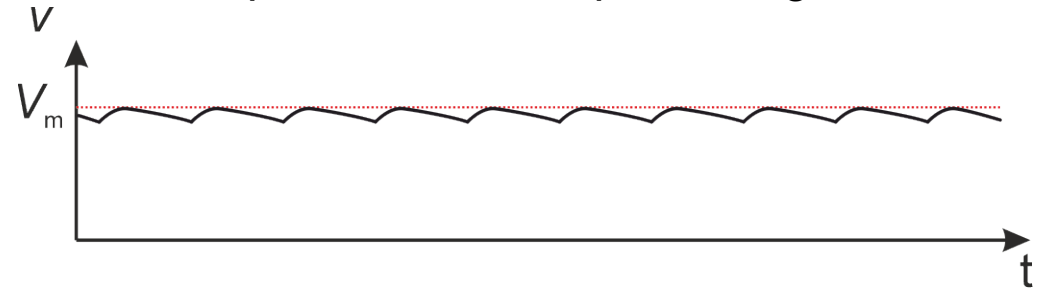
Filtriranje usmerenog napona



Napon elektroenergetske mreže



Napon na izlazu kapacitivnog filtra



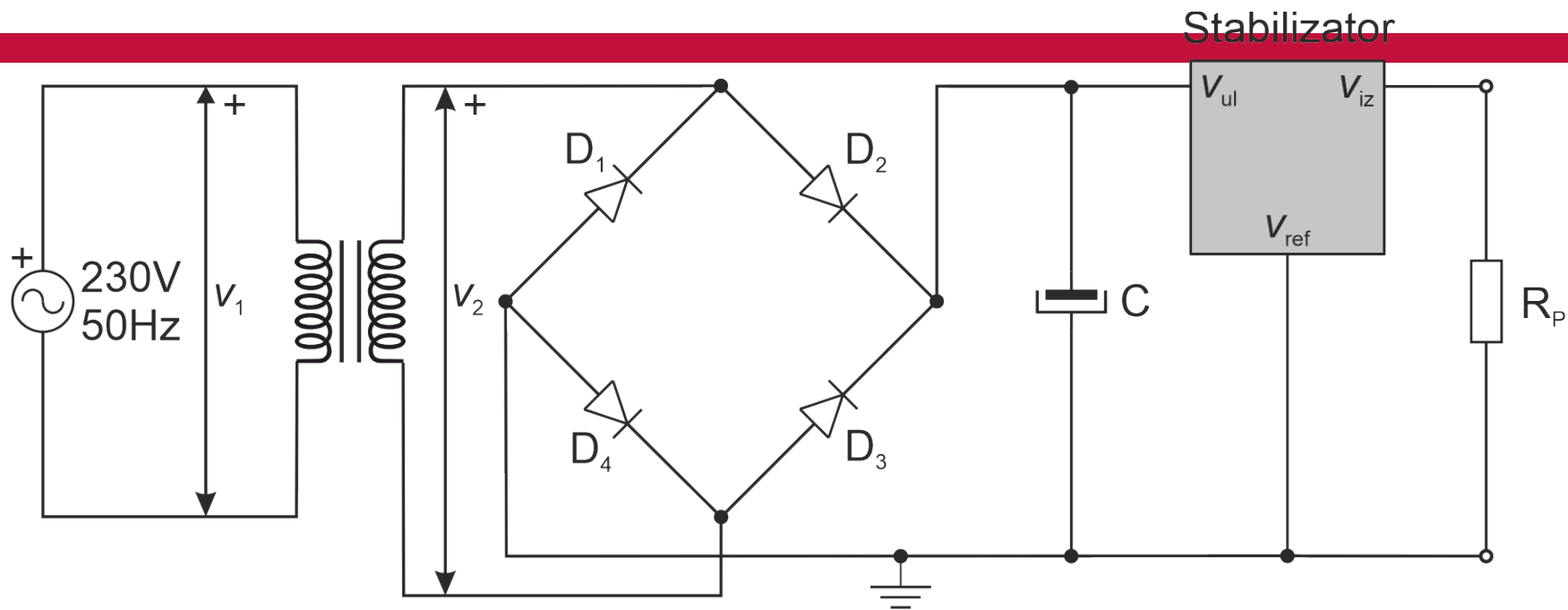
Faktor talasnosti

- Kao mera sadržaja naizmenične komponente u usmerenom naponu, samim tim i mera kvaliteta usmerača, definiše se faktor talasnosti:

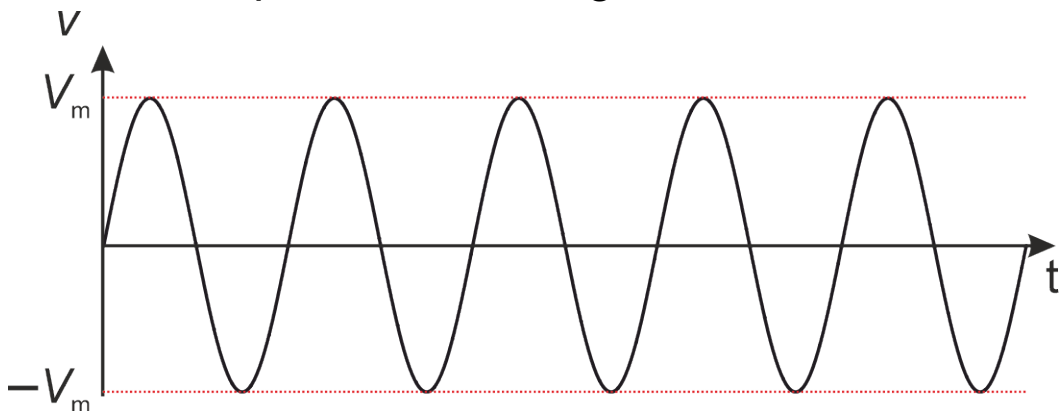
$$\gamma = \frac{\sqrt{V_{\text{ef}}^2 - V_0^2}}{V_0}$$

- Faktor talasnosti je efektivna vrednost naizmenične komponente usmerenog napona bez jednosmerne komponente.
- Detaljna analiza za punotalasni usmerač ($\gamma=0,4835$) je data u prezentaciji **02 PN Spoj, dioda.**

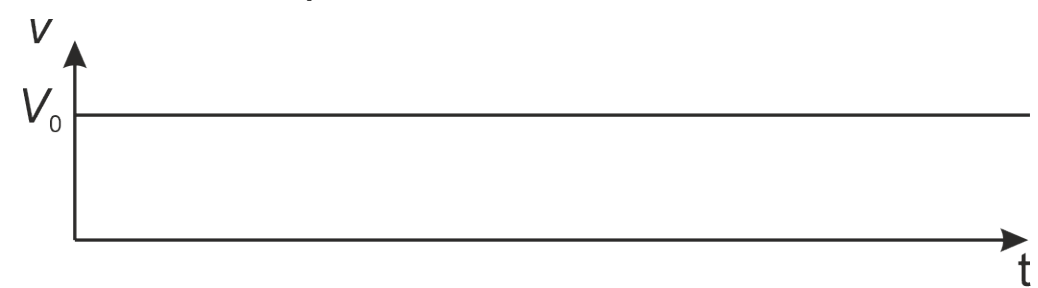
Stabilizacija i regulacija napona



Napon elektroenergetske mreže



Napon na izlazu stabilizatora



Faktor stabilizacije

- Kao mera kvaliteta stabilizatora definiše se faktor stabilizacije:

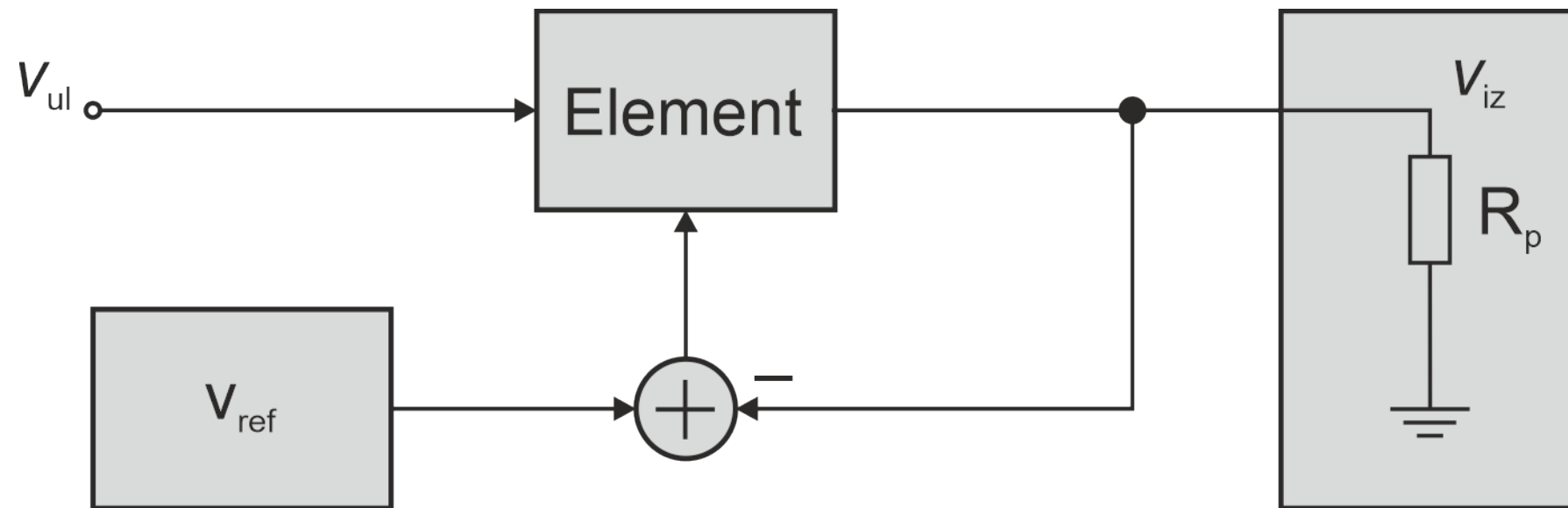
$$S = \frac{\Delta v_{iz}}{\Delta v_{ul}}$$

- Faktor stabilizacije se određuje pri konstantnoj struji potrošača i temperaturi.
- Prilikom izračunavanja faktora stabilizacije, za promene ulaznog i izlaznog napona se uzimaju efektivne vrednosti tih napona.

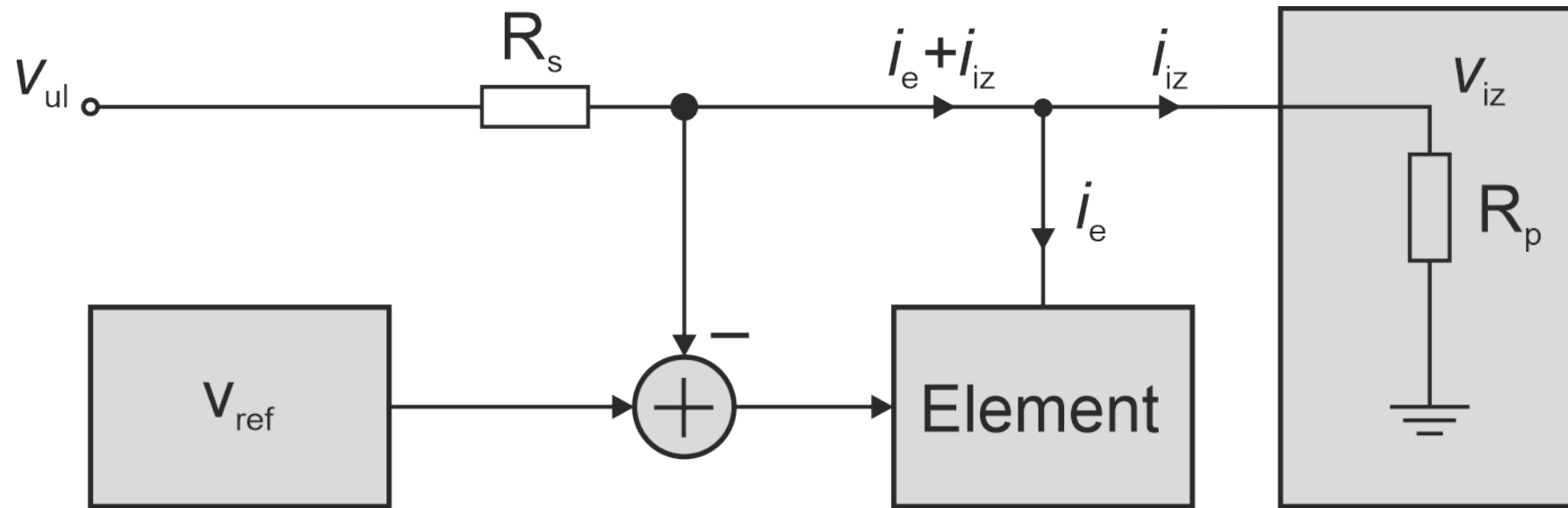
Stabilizatori i regulatori napona

- Regulatori predstavljaju elektronska kola koji služe za stabilizaciju i regulaciju prethodno usmerenog i filtriranog napona.
- Stabilizatori se dele u dve grupe: *linearne* i *prekidačke* (*Switch Mode Power Supplies*). Prekidački stabilizatori i regulatori imaju veliki faktor korisnog dejstva, kod ovih kola aktivni elementi (tranzistori) rade u prekidačkom režimu.
- U kolima linearnih stabilizatora aktivni elementi su u linearnoj oblasti. Stabilizatori su kola sa negativnom povratnom spregom.
- Postoje dve topologije linearnih stabilizatora: sa rednim elementom i sa paralelnim elementom.

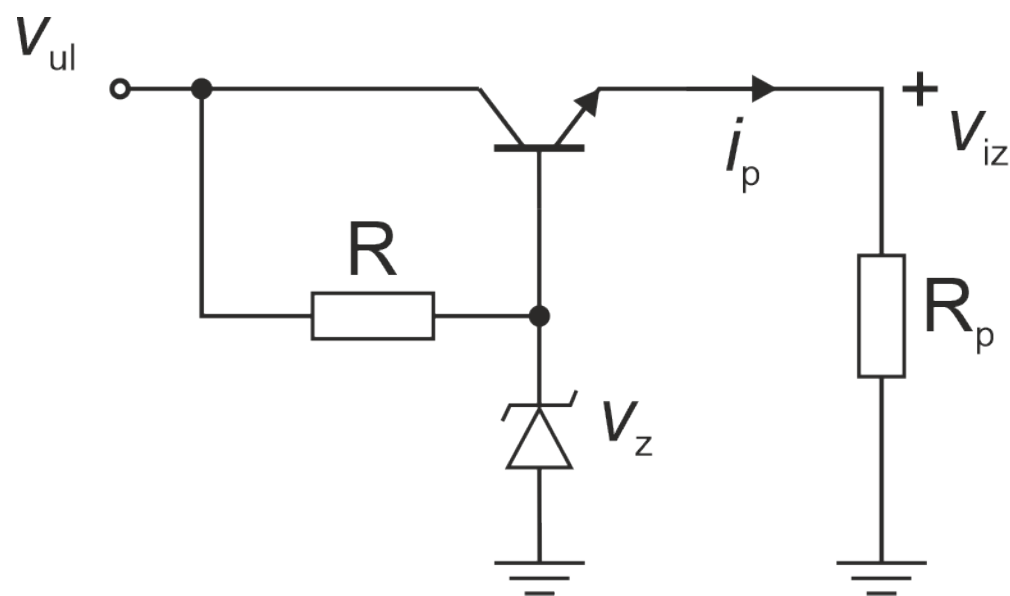
Stabilizatori sa rednim elementom



Stabilizatori sa paralelnim elementom



Stabilizator sa Zener diodom i rednim tranzistorom

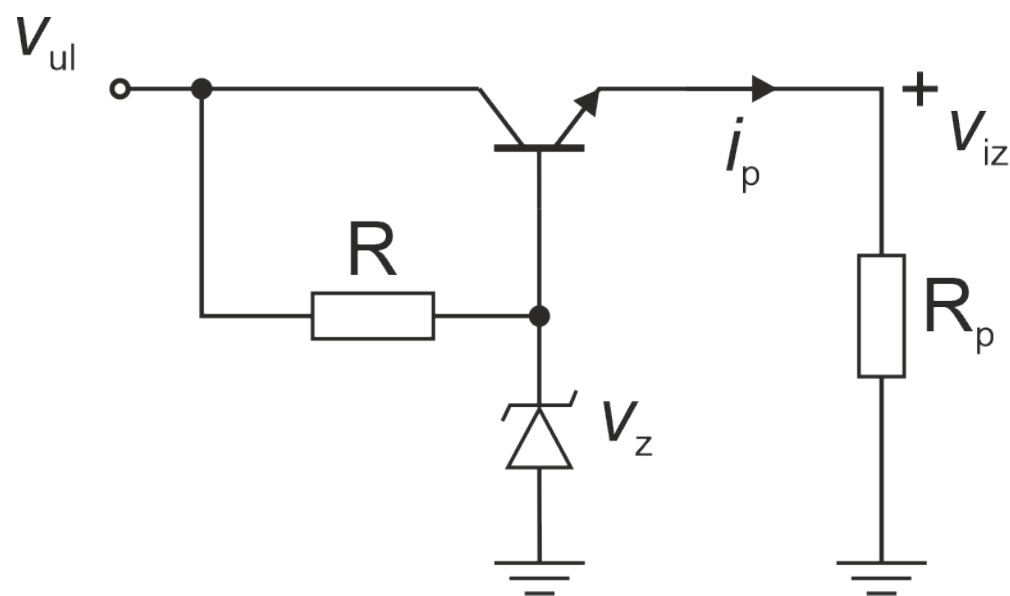


Kolo stabilizatora

- Ukoliko se napon na potrošaču poveća, napon između baze i emitora se smanjuje:
- $$v_{BE} = v_Z - v_{iz}$$
- Smanjenjem napona v_{BE} , smanjuje se emitorska struja koja protiče kroz potrošač R_p , čime se smanjuje napon v_{iz} :

$$i_p = i_E \approx I_S \exp\left(\frac{v_{BE}}{v_T}\right)$$

Stabilizator sa Zener diodom i rednim tranzistorom

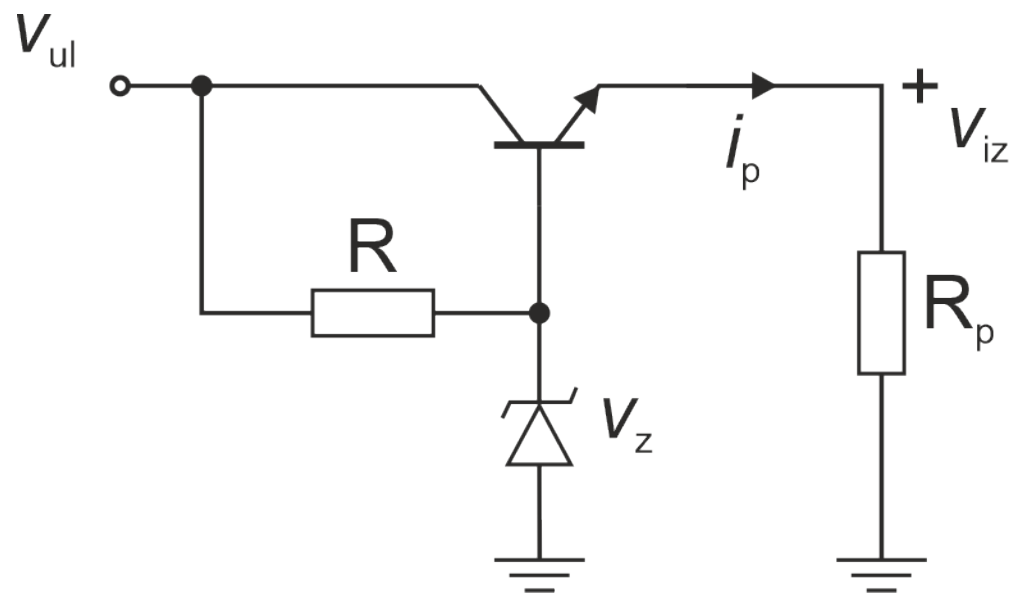


Kolo stabilizatora

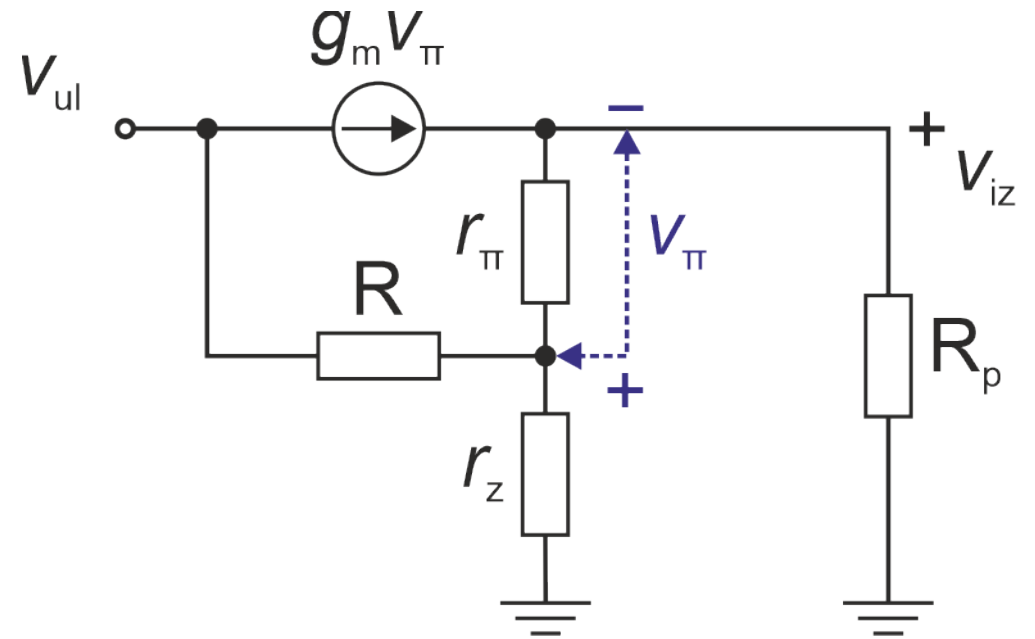
- Prilikom smanjenja napona na potrošaču, napon između baze i emitora se povećava, emitorska struja (potrošača) se povećava, čime povećava izlazni napon.
- Usled negativne povratne sprege, napon na izlazu ostaje konstantan:

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

Stabilizator sa Zener diodom i rednim tranzistorom



Kolo stabilizatora



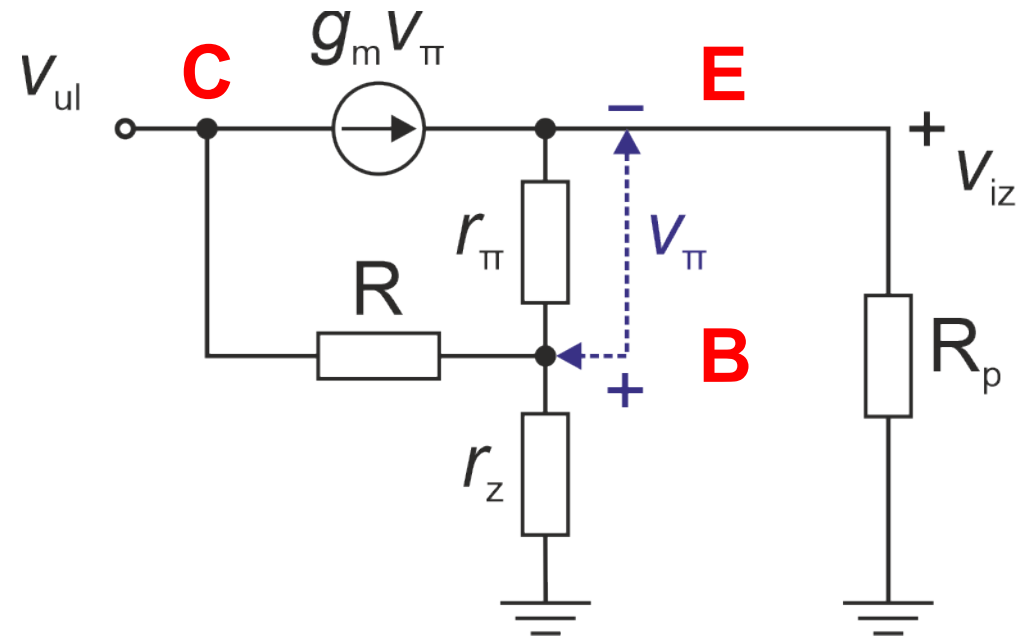
Ekvivalentno kolo

Stabilizator sa Zener diodom i rednim tranzistorom

$$\text{E: } v_{iz} \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{r_\pi} \right) - \frac{v_B}{r_\pi} = g_m v_\pi$$

$$\text{B: } v_B \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r_\pi} + \frac{1}{r_z} \right) - \frac{v_{iz}}{r_\pi} - \frac{v_{ul}}{R} = 0$$

$$v_\pi = v_B - v_{iz}$$

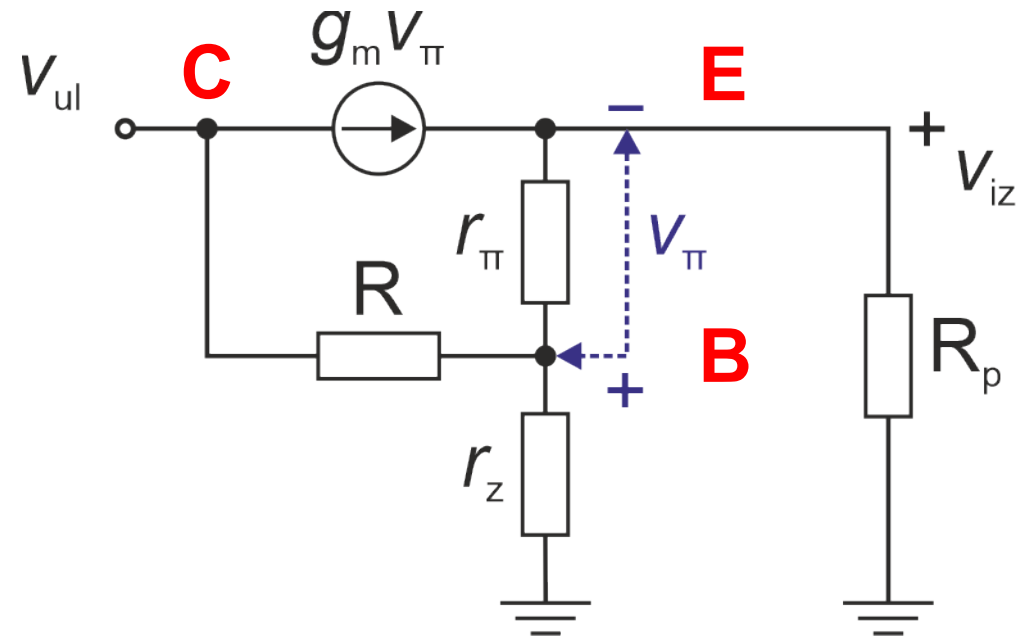


Stabilizator sa Zener diodom i rednim tranzistorom

$$\text{E: } v_{iz} \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{r_\pi} + g_m \right) - v_B \left(\frac{1}{r_\pi} + g_m \right) = 0$$

$$\text{B: } v_B \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r_\pi} + \frac{1}{r_z} \right) - \frac{v_{iz}}{r_\pi} - \frac{v_{ul}}{R} = 0$$

$$v_B = \frac{1/R_p + 1/r_\pi + g_m}{1/r_\pi + g_m} v_{iz} = \left(\frac{1}{1 + \beta} \frac{r_\pi}{R_p} + 1 \right) v_{iz}$$

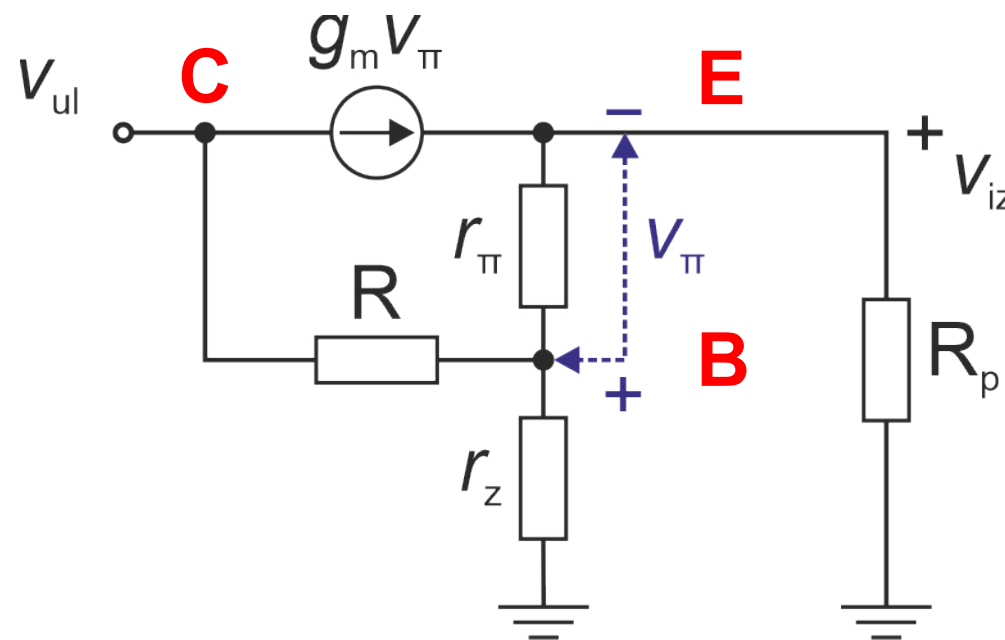


Stabilizator sa Zener diodom i rednim tranzistorom

$$v_{iz} \left(\left(\frac{1}{1+\beta} \frac{r_{\pi}}{R_p} + 1 \right) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r_{\pi}} + \frac{1}{r_z} \right) - \frac{1}{r_{\pi}} \right) = \frac{v_{ul}}{R}$$

$$S = \frac{v_{iz}}{v_{ul}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{1+\beta} \frac{r_{\pi}}{R_p} + 1 \right) \left(\frac{R}{r_z} + \frac{R}{r_{\pi}} + 1 \right) - \frac{R}{r_{\pi}}}$$

$$S = \frac{1}{1 + \frac{1}{1+\beta} \frac{1}{R_p} \left(r_{\pi} + \frac{Rr_{\pi}}{r_z} + R \right) + \frac{R}{r_z}}$$



Stabilizator sa Zener diodom i rednim tranzistorom

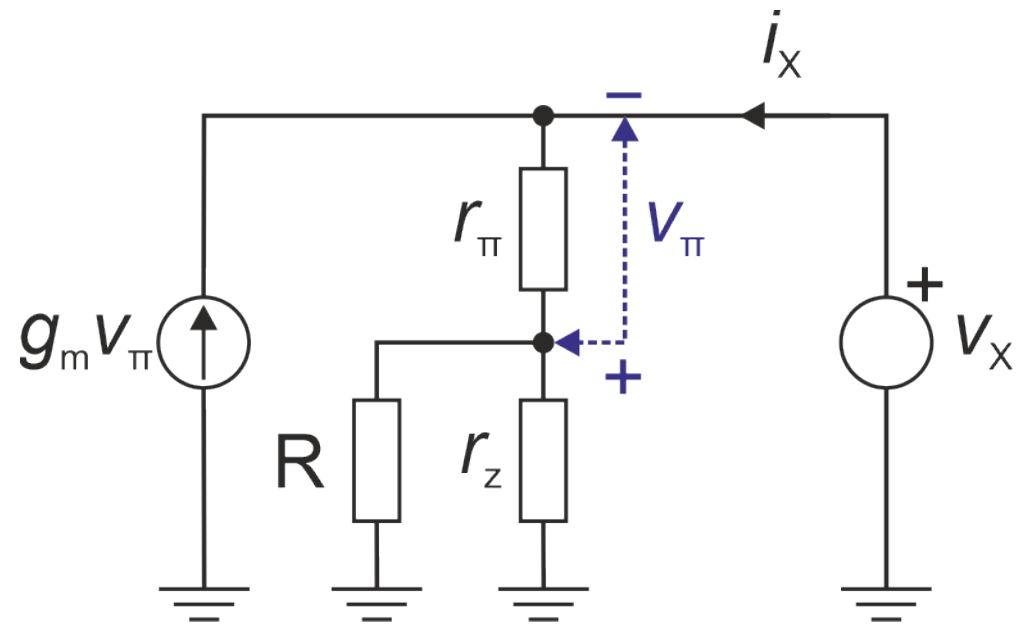
$$R_{iz} = \frac{v_X}{i_X}$$

$$i_X + g_m v_\pi = -\frac{v_\pi}{r_\pi}$$

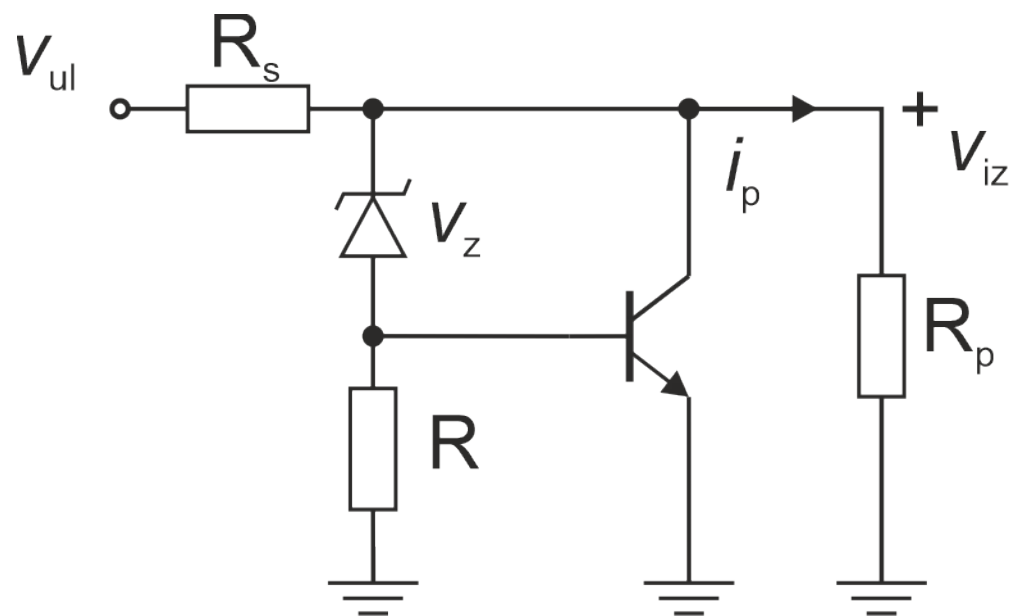
$$i_X + g_m v_\pi = \frac{v_X + v_\pi}{R \parallel r_z}$$

$$v_\pi = -\frac{i_X r_\pi}{1 + \beta}$$

$$\frac{v_X}{i_X} = \frac{R \parallel r_z + r_\pi}{1 + \beta}$$



Stabilizator sa Zener diodom i paralelnim tranzistorom



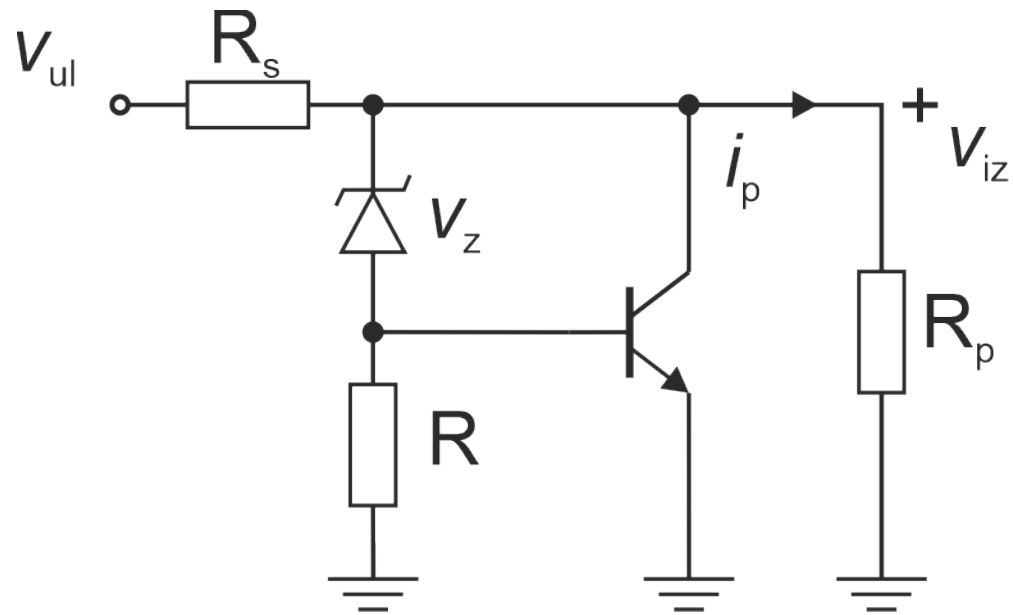
Kolo stabilizatora

- Ukoliko se napon na potrošaču povećava, zbog konstantnog napona na Zener diodi, napon između baze i emitora se povećava:

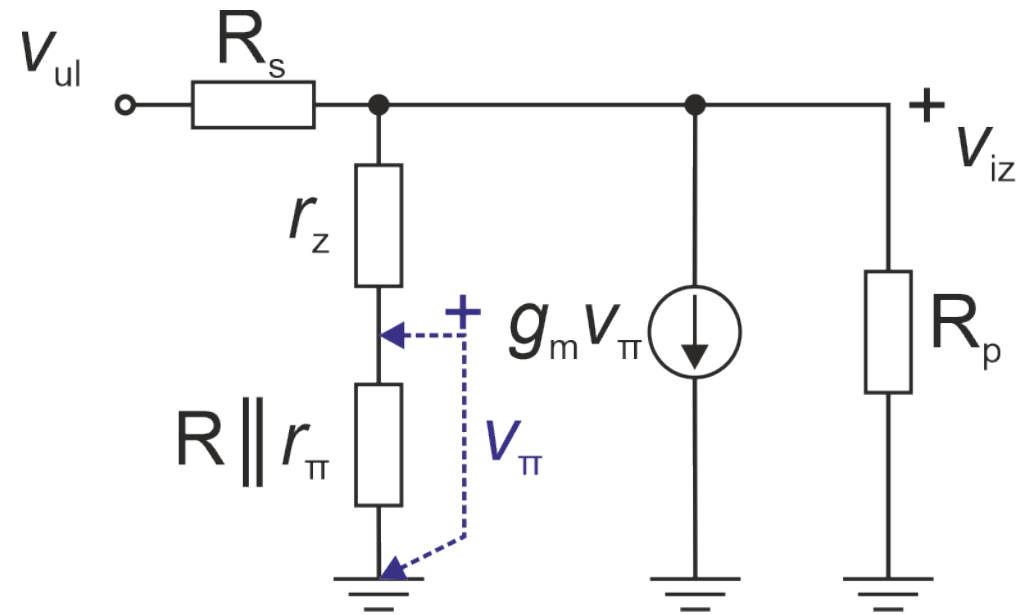
$$v_{BE} = v_{iz} - v_Z$$

- Povećanjem napona v_{BE} se povećava i kolektorska struja, samim tim i pad napona na otporniku R_s .

Stabilizator sa Zener diodom i paralelnim tranzistorom



Kolo stabilizatora



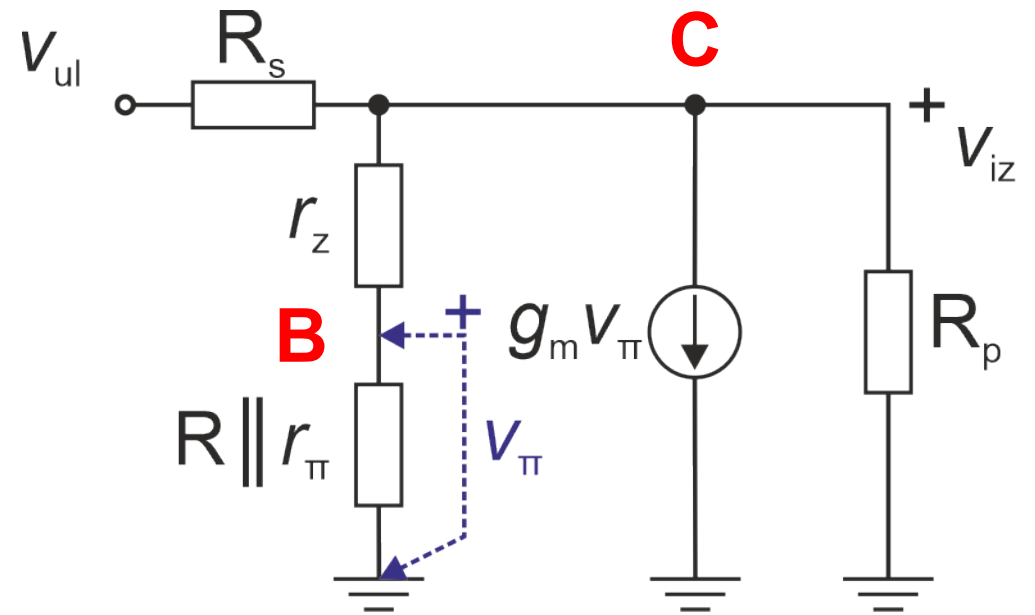
Ekvivalentno kolo

Stabilizator sa Zener diodom i paralelnim tranzistorom

$$\text{B: } v_{\pi} = \frac{R \parallel r_{\pi}}{r_z + R \parallel r_{\pi}} v_{iz}$$

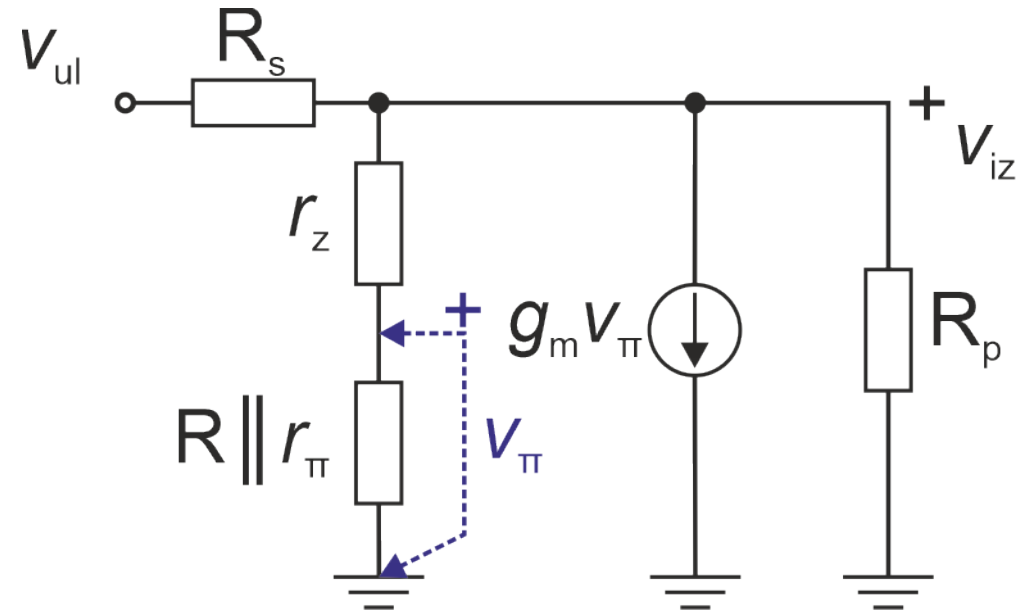
$$\text{C: } v_{iz} \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{r_z + R \parallel r_{\pi}} + \frac{1}{R_S} \right) - \frac{v_{ul}}{R_S} = -g_m v_{\pi}$$

$$v_{iz} \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_S} + \frac{1 + g_m R \parallel r_{\pi}}{r_z + R \parallel r_{\pi}} \right) = \frac{v_{ul}}{R_S}$$



Stabilizator sa Zener diodom i paralelnim tranzistorom

$$S = \frac{v_{iz}}{v_{ul}} = \frac{1}{1 + \frac{R_S}{R_p} + \frac{R_S (1 + g_m R \parallel r_\pi)}{r_z + R \parallel r_\pi}}$$

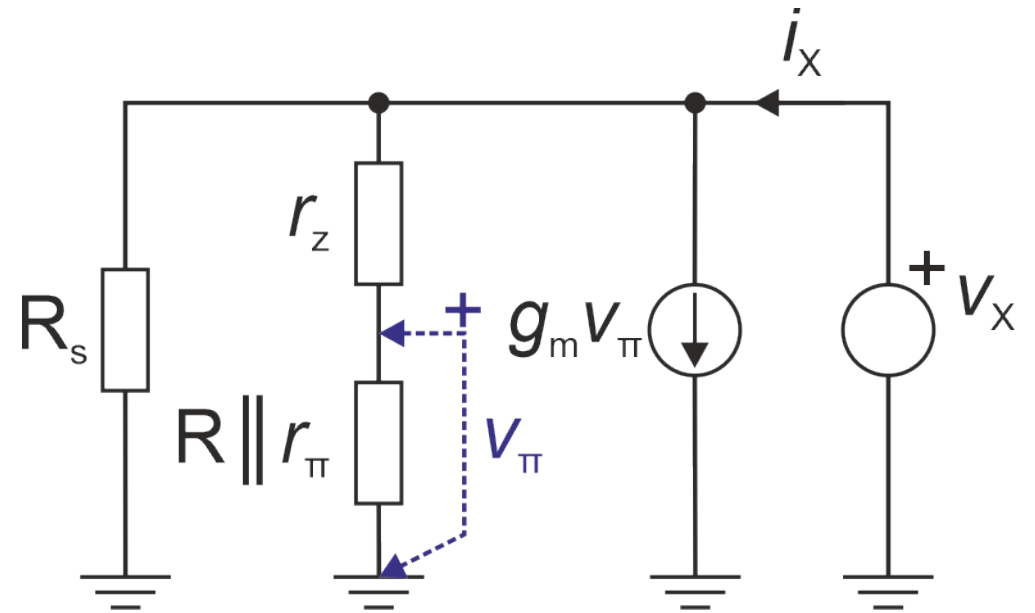


Stabilizator sa Zener diodom i paralelnim tranzistorom

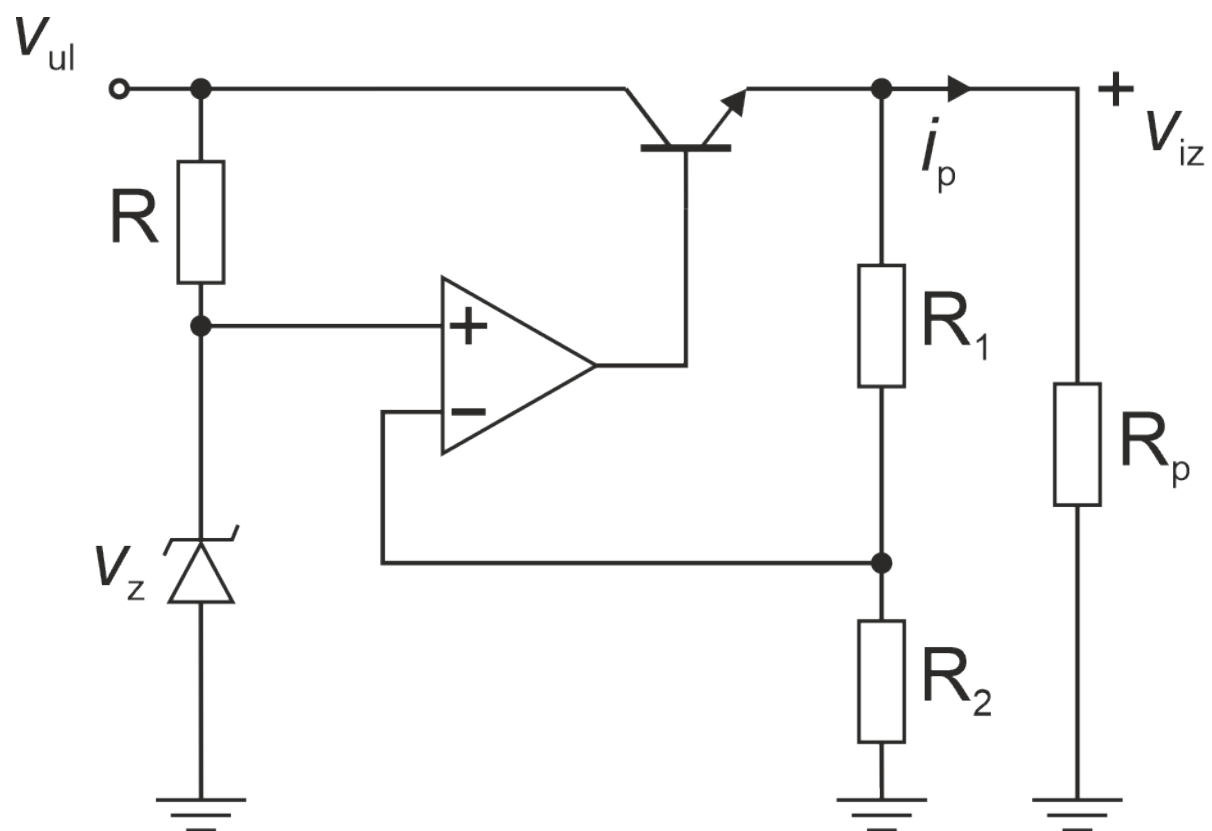
$$v_{\pi} = \frac{R \parallel r_{\pi}}{r_z + R \parallel r_{\pi}} v_{iz}$$

$$i_X = g_m v_{\pi} + \frac{v_X}{R_S \parallel (r_z + R \parallel r_{\pi})}$$

$$R_{iz} = \frac{v_X}{i_X} = \frac{R_S (r_z + R \parallel r_{\pi})}{R_S + r_z + R \parallel r_{\pi} + g_m R_S R \parallel r_{\pi}}$$



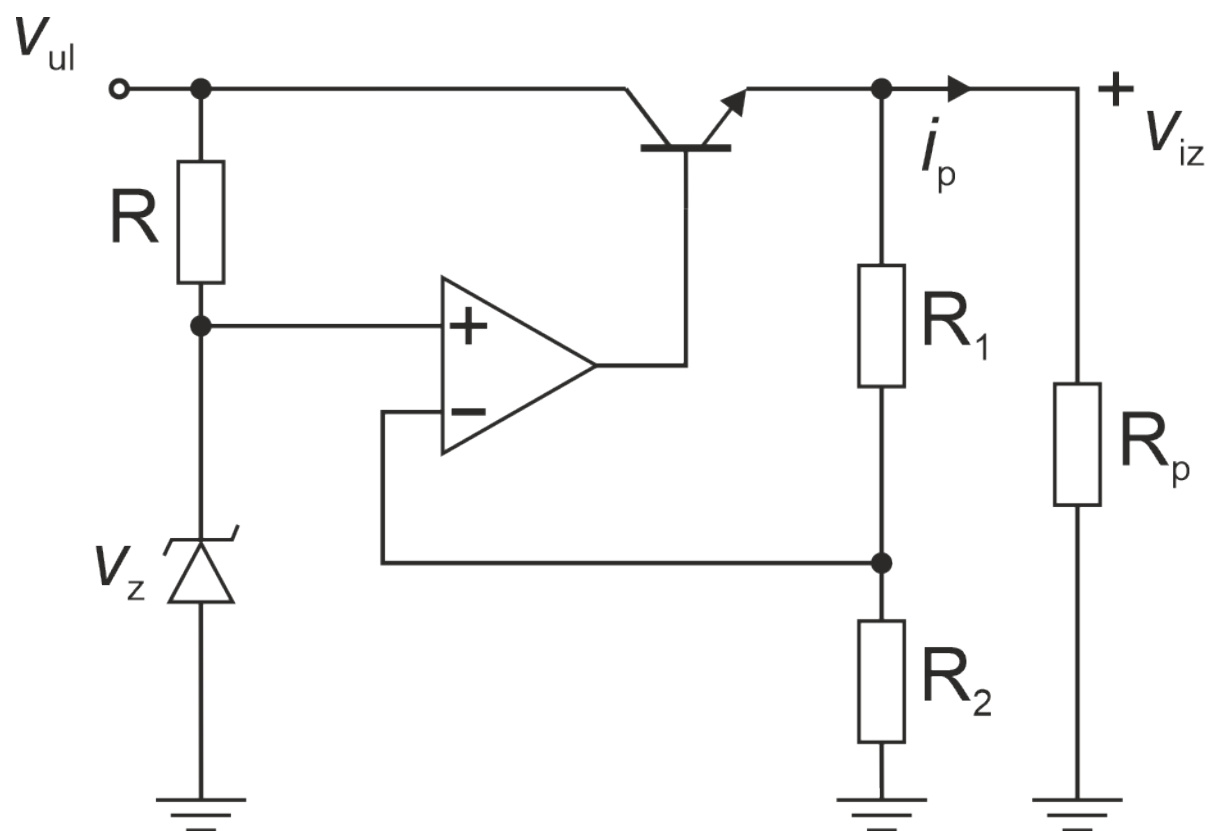
Stabilizator sa pojačavačem i rednim tranzistorom



Kolo stabilizatora

- Povratna sprega se ostvaruje preko operacionog pojačavača, koji radi kao komparator napona.
- Pri povećanju (smanjenju) napona na izlazu, preko razdelnika napona R_1 i R_2 se povećava (smanjuje) napon na invertujućem ulazu, što dovodi do smanjenja (povećanja) napona na izlazu OP, odnosno na bazi tranzistora.

Stabilizator sa pojačavačem i rednim tranzistorom

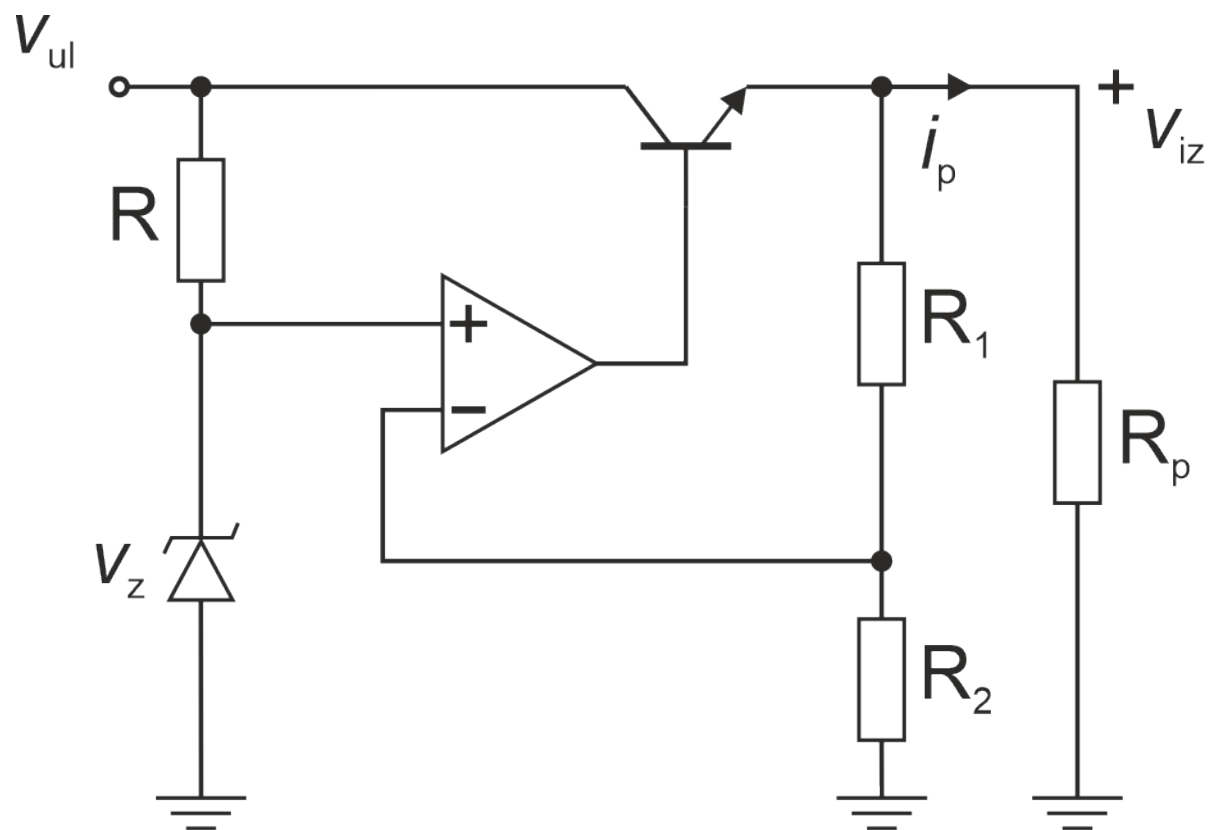


Kolo stabilizatora

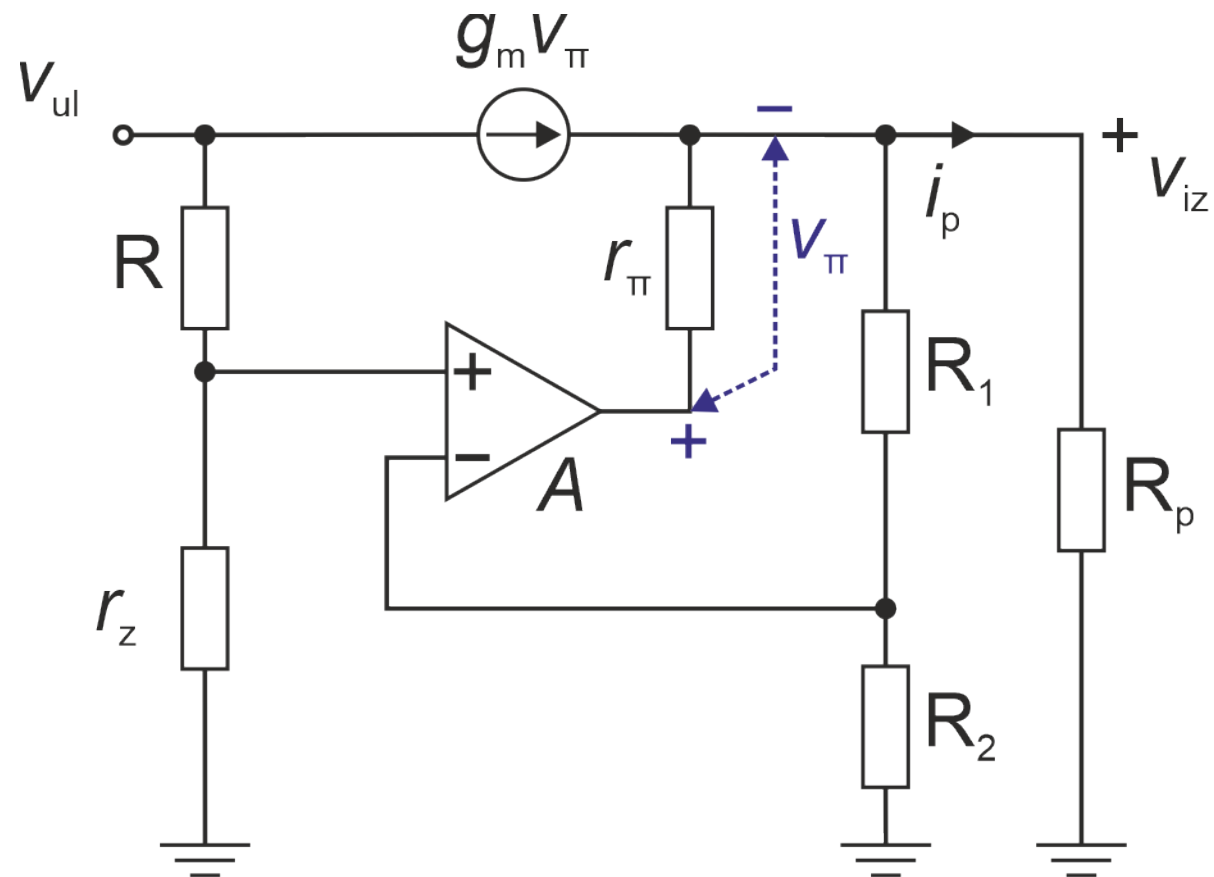
- Napon između baze i emitora V_{BE} je relativno konstantan, tako da izlazni napon prati smanjenje (povećanje) napona na bazi.
- Ukoliko je operacioni pojačavač idealan, naponi na ulazima su jednaki ($v_+ = v_- = v_z$), tako da je

$$v_{iz} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) v_z$$

Stabilizator sa pojačavačem i rednim tranzistorom



Kolo stabilizatora



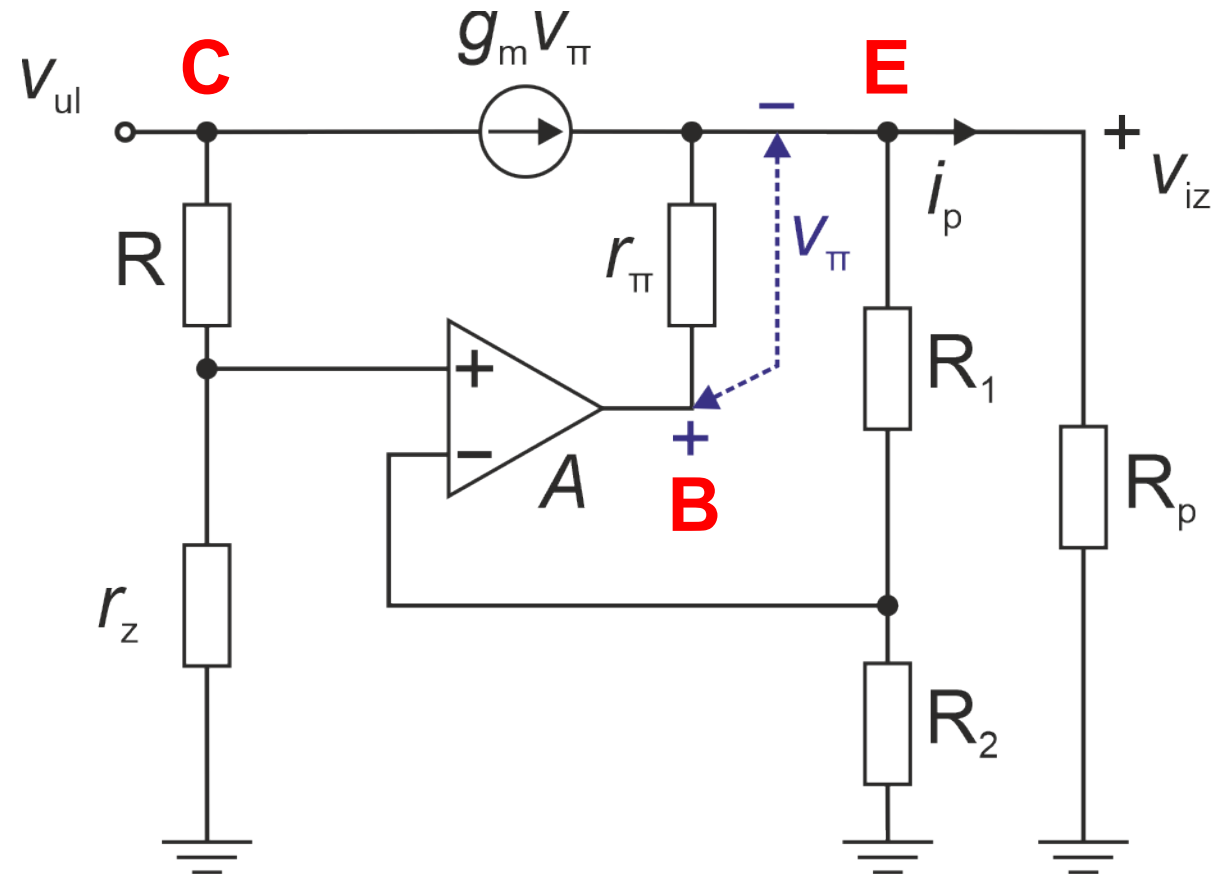
Ekvivalentno kolo

Stabilizator sa pojačavačem i rednim tranzistorom

$$\text{B: } v_B = A \left(\frac{r_z}{R + r_z} v_{ul} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{iz} \right)$$

$$\text{E: } v_{iz} \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{r_\pi} \right) - \frac{v_B}{r_\pi} = g_m v_\pi$$

$$v_\pi = v_B - v_{iz}$$



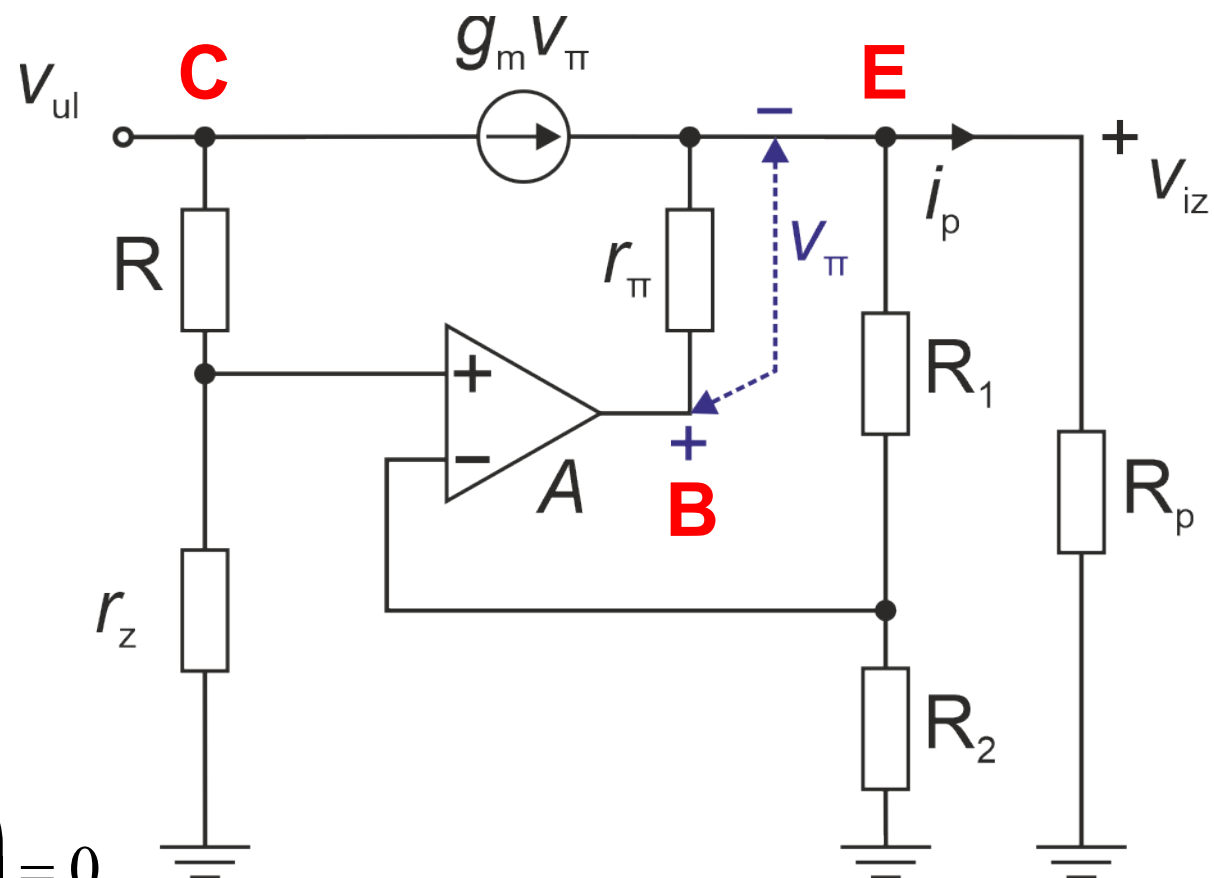
Stabilizator sa pojačavačem i rednim tranzistorom

$$\text{B: } v_B = A \left(\frac{r_z}{R + r_z} v_{ul} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{iz} \right)$$

$$\text{E: } v_{iz} \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{r_\pi} \right) - \frac{v_B}{r_\pi} = g_m v_\pi$$

$$v_\pi = v_B - v_{iz}$$

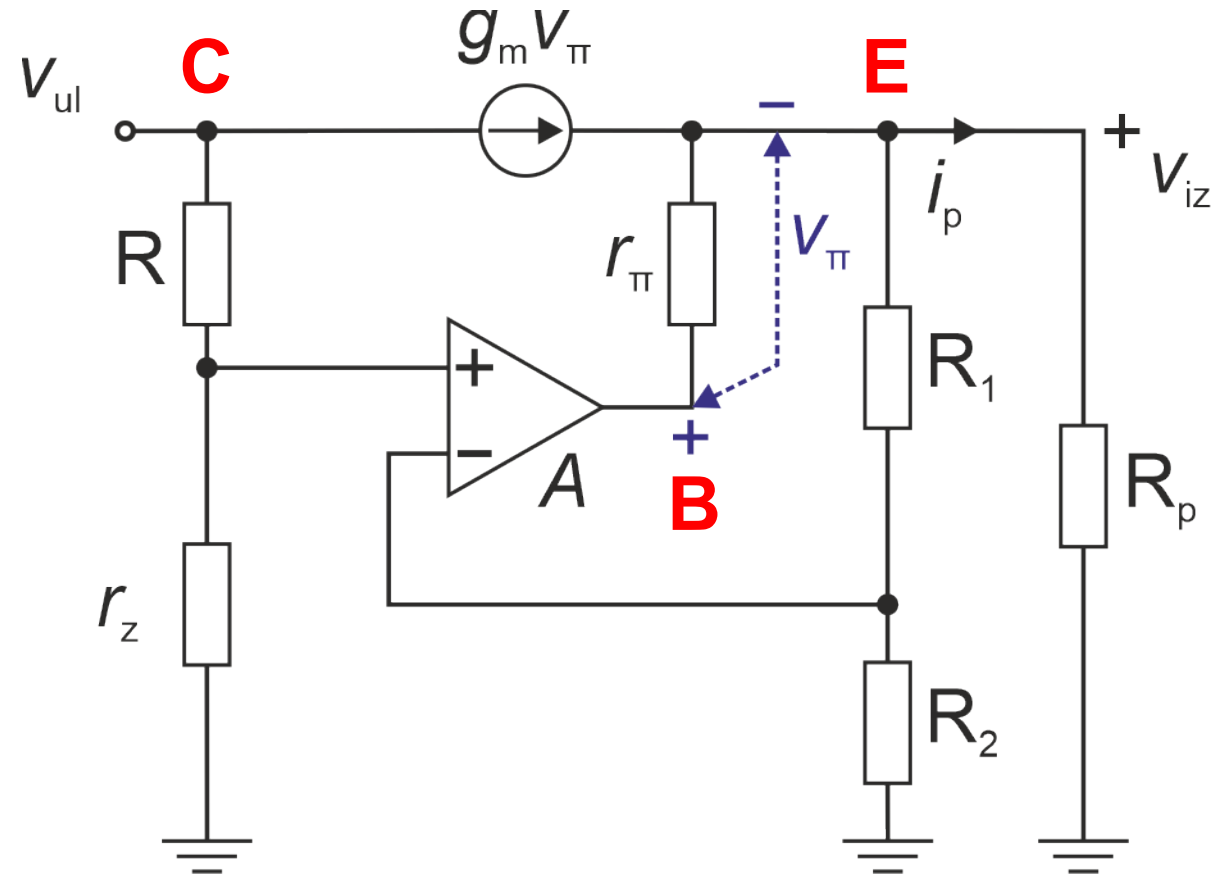
$$v_{iz} \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{r_\pi} + g_m \right) - v_B \left(\frac{1}{r_\pi} + g_m \right) = 0$$



Stabilizator sa pojačavačem i rednim tranzistorom

$$\frac{v_{iz}}{R_p \parallel (R_1 + R_2) \parallel r_\pi / 1 + \beta} = v_B \frac{1 + \beta}{r_\pi}$$

$$\left(\frac{1}{R_p \parallel (R_1 + R_2) \parallel r_\pi / 1 + \beta} + \frac{A(1 + \beta)R_2}{r_\pi (R_1 + R_2)} \right) v_{iz} = \frac{A(1 + \beta)r_z}{r_\pi (R + r_z)} v_{ul}$$

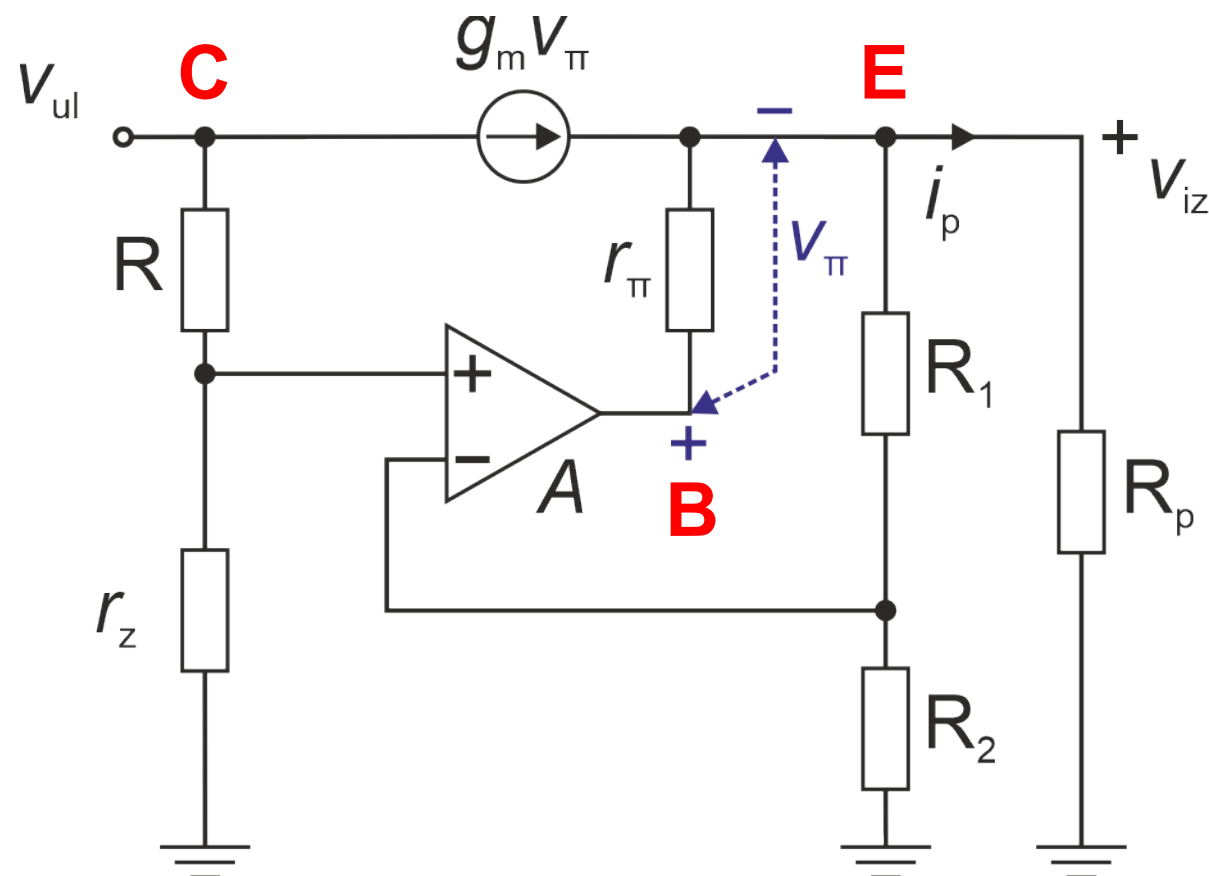


Stabilizator sa pojačavačem i rednim tranzistorom

$$S = \frac{v_{iz}}{v_{ul}} = \frac{1}{R_p \parallel (R_1 + R_2) \parallel r_\pi / 1 + \beta} + \frac{A(1 + \beta)R_2}{r_\pi (R_1 + R_2)} \frac{A(1 + \beta)r_z}{r_\pi (R + r_z)}$$

- Za idealni operacioni pojačavač:

$$S = \frac{R_2 (R + r_z)}{r_z (R_1 + R_2)}$$



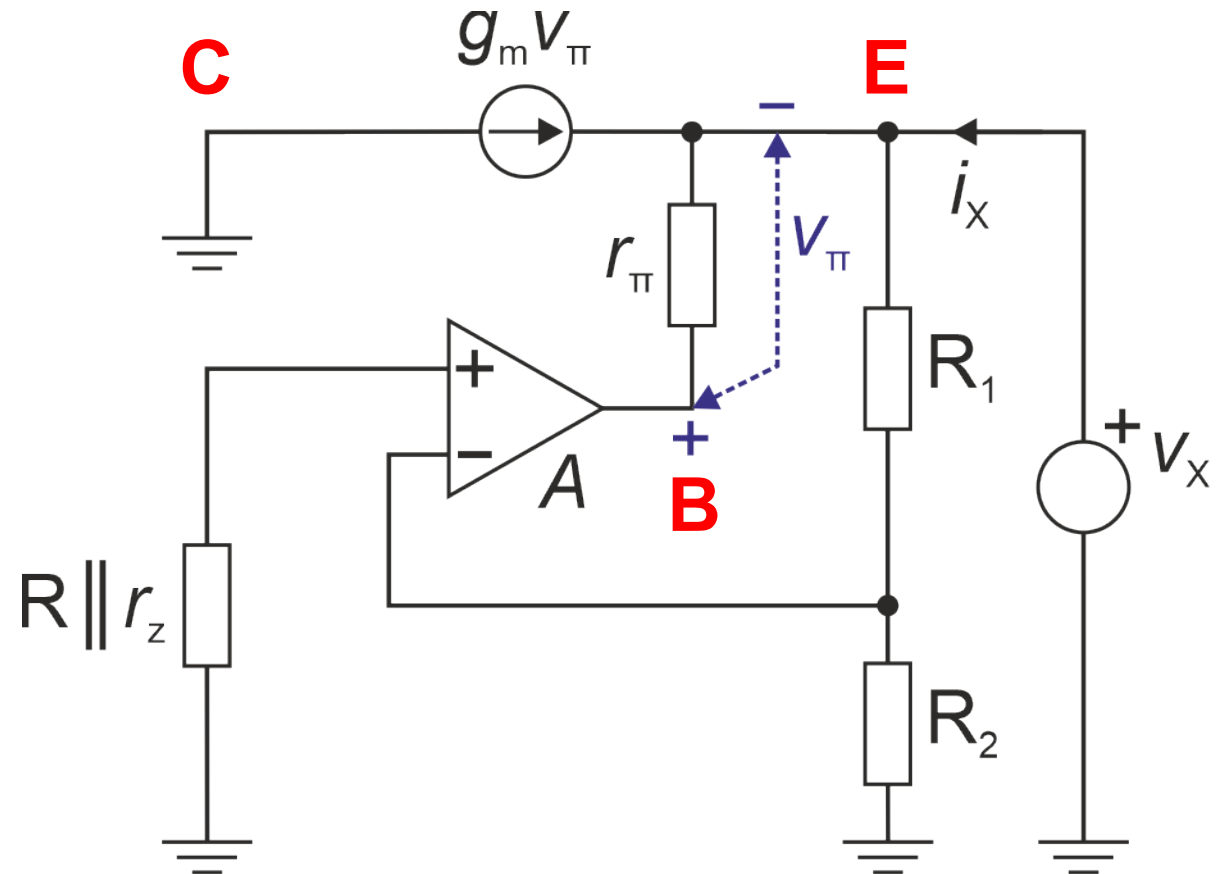
Stabilizator sa pojačavačem i rednim tranzistorom

$$\text{B: } v_B = -A \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_X$$

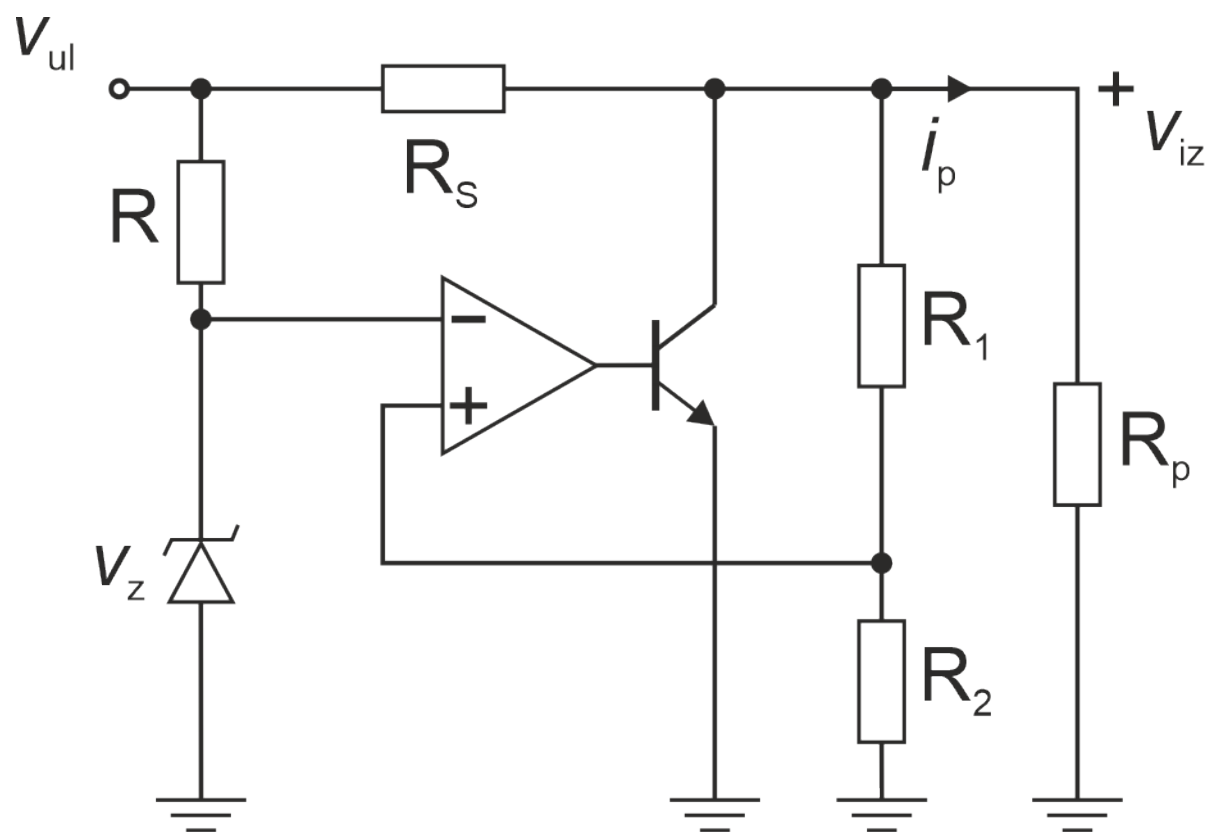
$$\text{E: } v_X \left(\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{r_\pi} \right) - \frac{v_B}{r_\pi} = i_X + g_m v_\pi$$

$$v_\pi = v_B - v_X$$

$$R_{iz} = \frac{v_X}{i_X} = \frac{R_1 + R_2}{1 + \frac{1+\beta}{r_\pi} (R_1 + (1+A)R_2)}$$



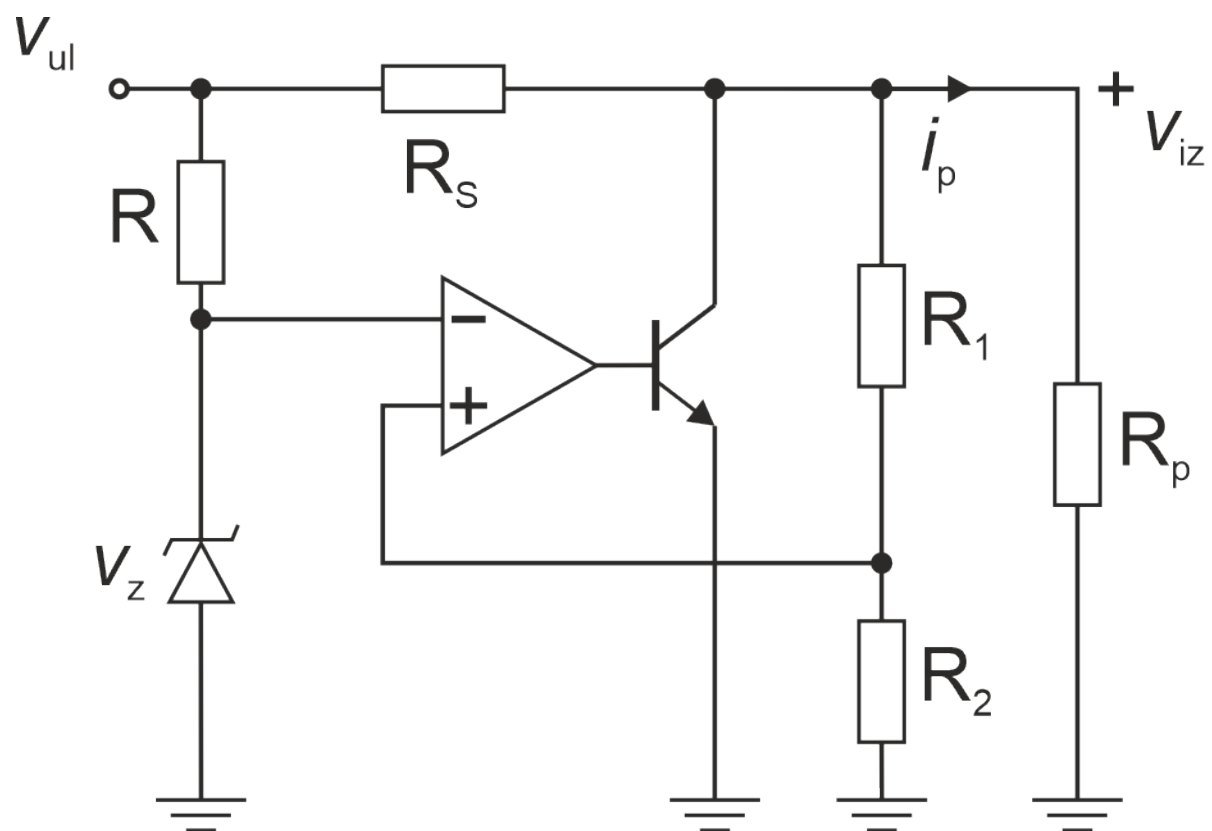
Stabilizator sa pojačavačem i paralelnim tranzistorom



Kolo stabilizatora

- Povratna sprega se ostvaruje preko operacionog pojačavača, koji radi kao komparator napona.
- Pri povećanju (smanjenju) napona na izlazu, preko razdelnika napona R_1 i R_2 se povećava (smanjuje) napon na invertujućem ulazu, što dovodi do smanjenja (povećanja) napona na izlazu OP, odnosno na bazi tranzistora.

Stabilizator sa pojačavačem i paralelnim tranzistorom

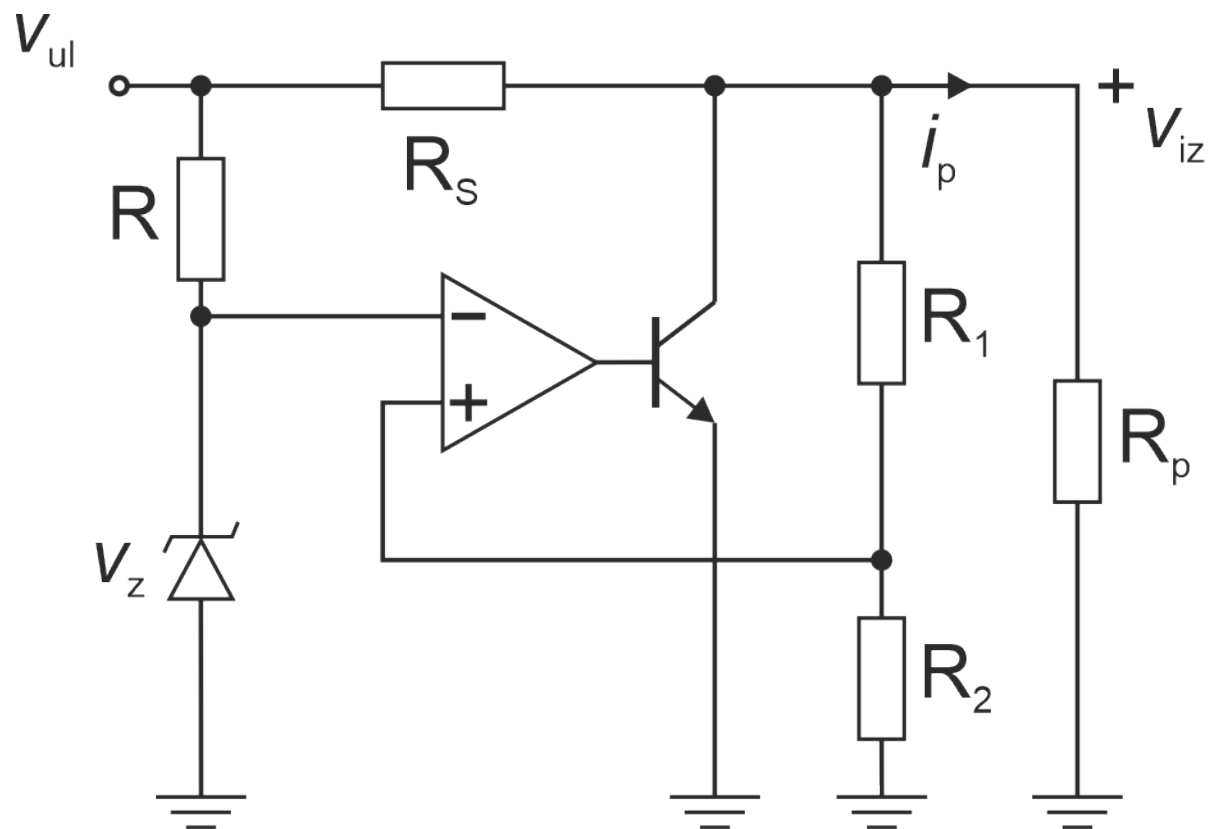


Kolo stabilizatora

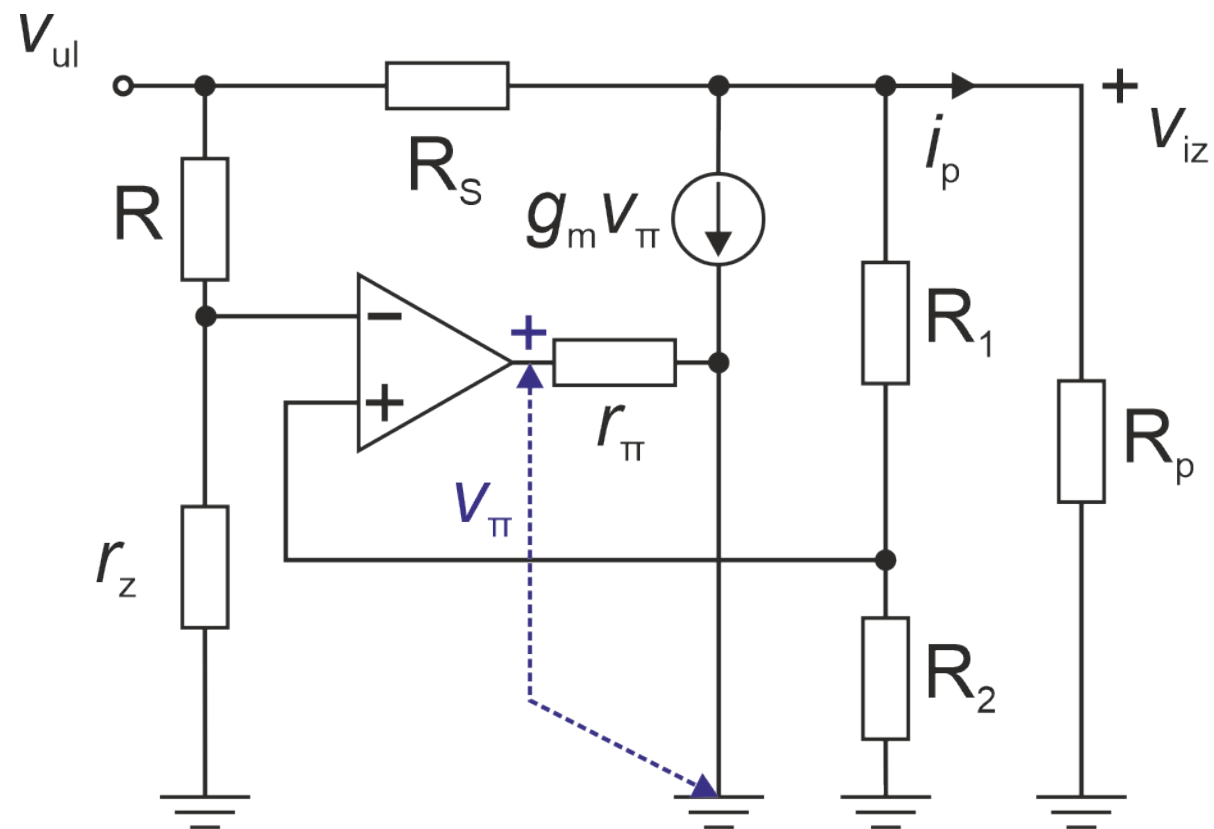
- Smanjenje (povećanje) napona između baze i emitora v_{BE} dovodi do smanjenja (povećanja) kolektorske struje, odnosno pada napona na otporniku R_s .
- Ukoliko je operacioni pojačavač idealan, naponi na ulazima su jednaki ($v_+ = v_- = v_z$), tako da je

$$v_{iz} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) v_z$$

Stabilizator sa pojačavačem i paralelnim tranzistorom



Kolo stabilizatora



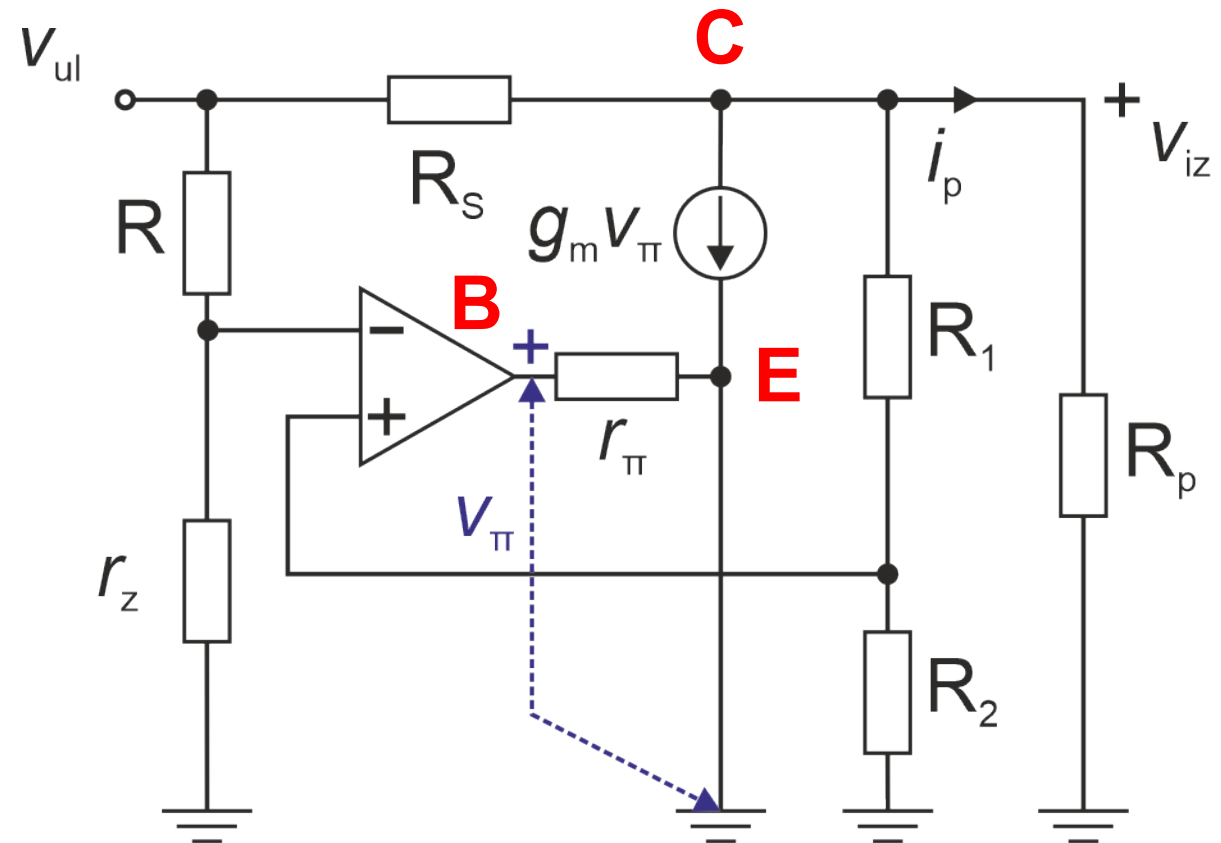
Ekvivalentno kolo

Stabilizator sa pojačavačem i paralelnim tranzistorom

$$\text{B: } v_B = v_\pi = A \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{iz} - \frac{r_z}{R + r_z} v_{ul} \right)$$

$$\text{C: } v_{iz} \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_1 + R_2} \right) - \frac{v_{ul}}{R_s} = -g_m v_\pi$$

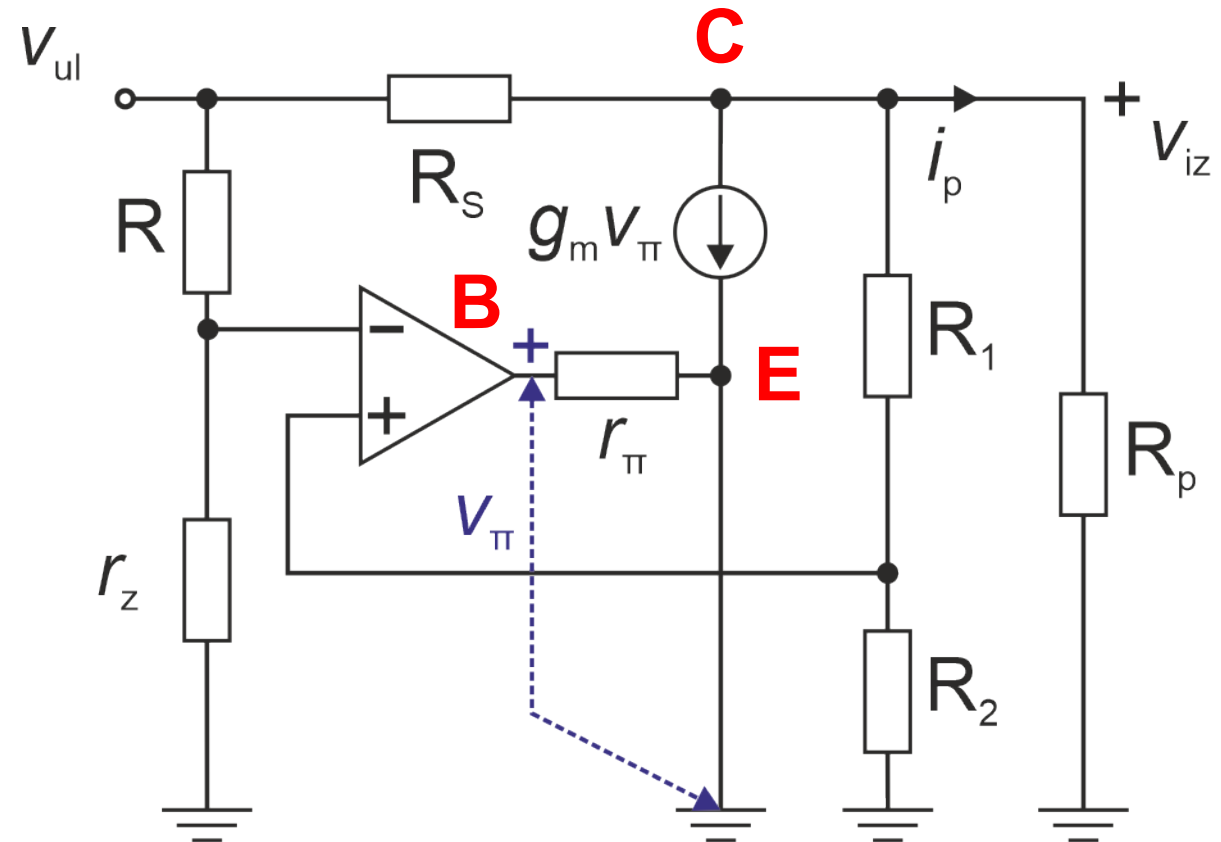
$$S = \frac{v_{iz}}{v_{ul}} = \frac{\frac{1}{R_s} + \frac{A g_m r_z}{R + r_z}}{\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_s} + \frac{1 + A g_m R_2}{R_1 + R_2}}$$



Stabilizator sa pojačavačem i paralelnim tranzistorom

- Za idealni operacioni pojačavač:

$$S = \frac{r_z (R_1 + R_2)}{R_2 (R + r_z)}$$

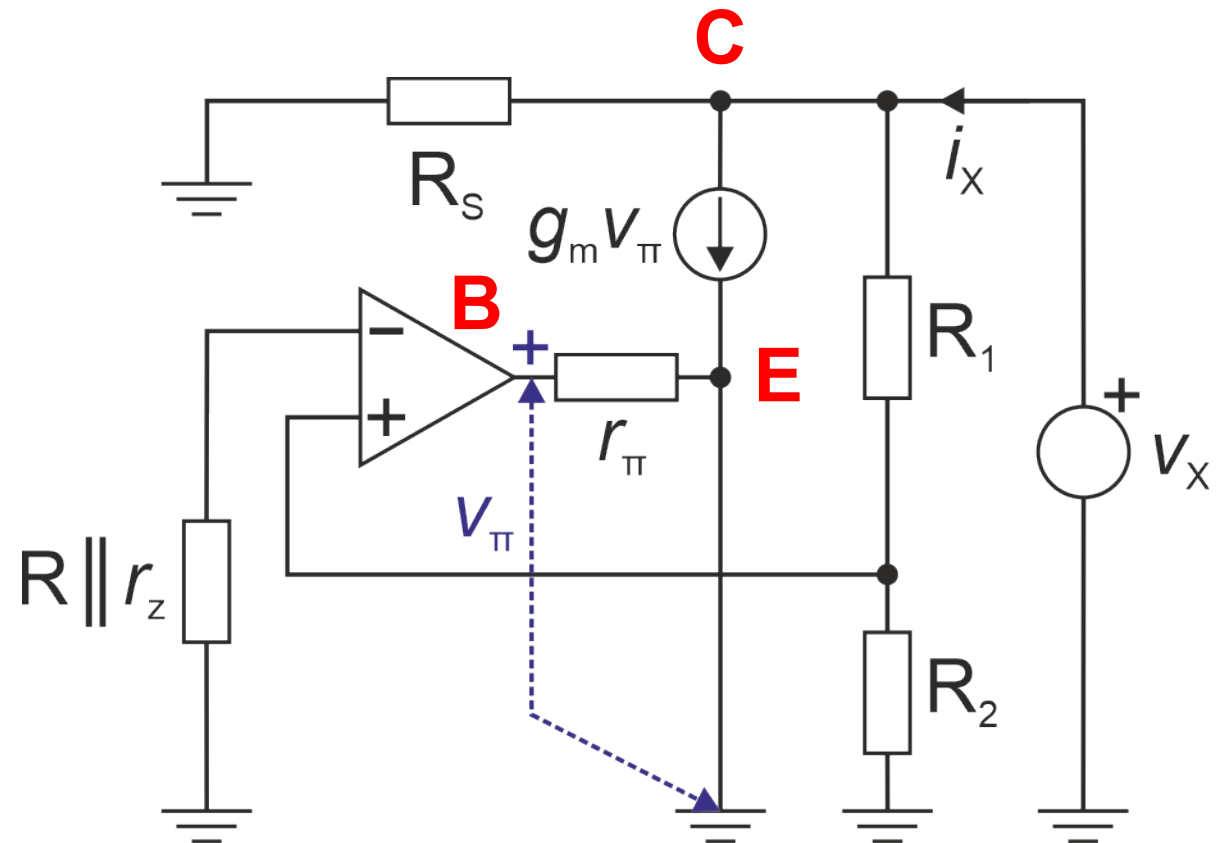


Stabilizator sa pojačavačem i paralelnim tranzistorom

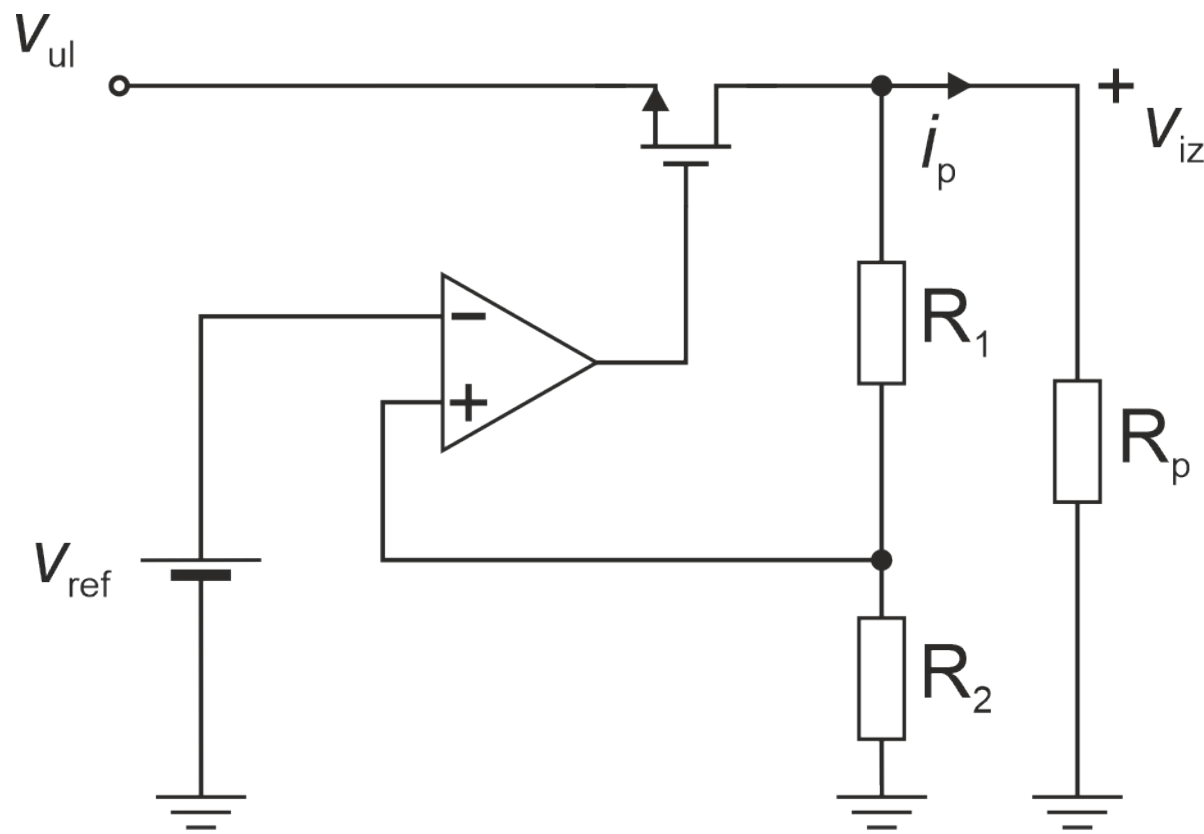
$$\text{B: } v_{\pi} = A \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_X$$

$$\text{C: } v_X \left(\frac{1}{R_S} + \frac{1}{R_1 + R_2} \right) = i_X - g_m v_{\pi}$$

$$R_{iz} = \frac{v_X}{i_X} = \frac{1}{\frac{1}{R_S} + \frac{1 + Ag_m R_2}{R_1 + R_2}}$$



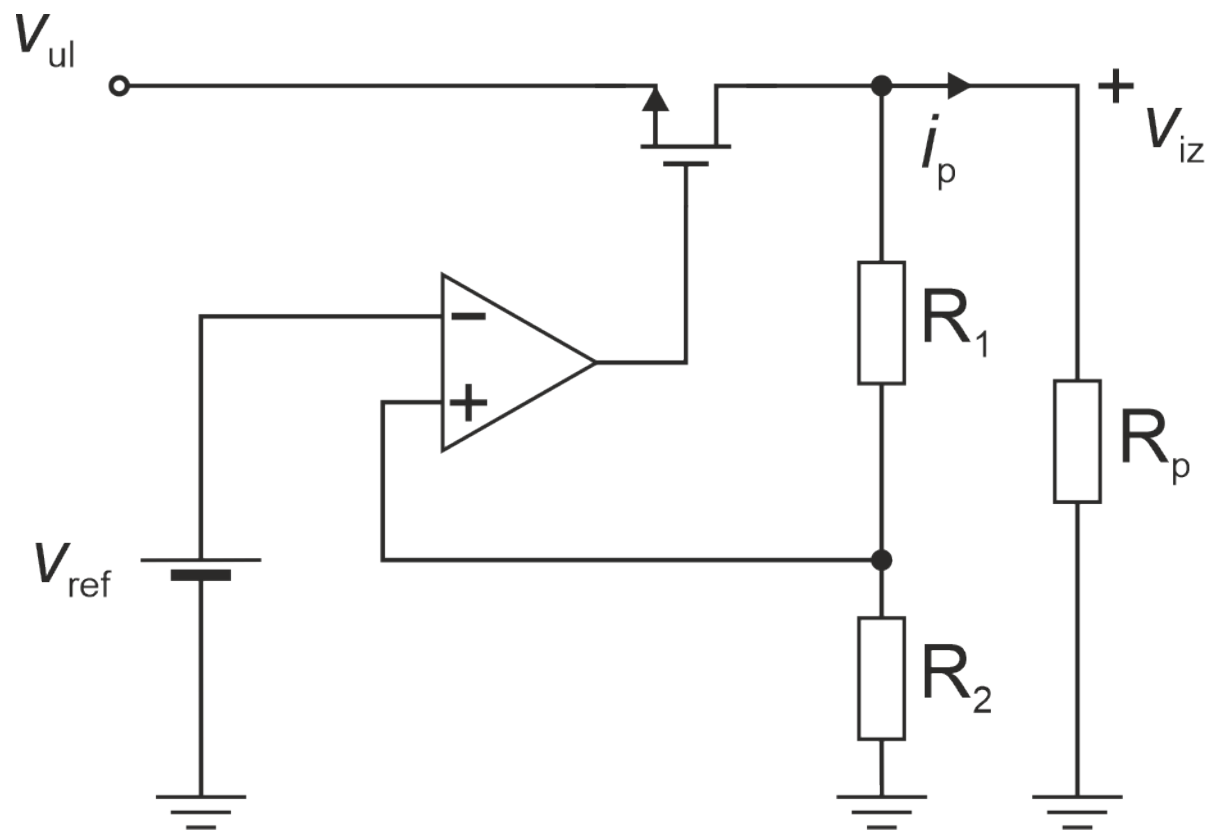
Low-dropout stabilizator napona



Kolo stabilizatora

- Low-dropout stabilizator napona obezbeđuje malu razliku napona na ulazu i izlazu. Razlika napona između drejna i sorsa (izlaza i ulaza) može biti relativno mala pri velikim strujama kanala.
- Realizuje se u integrisanoj CMOS tehnologiji.
- Referentni napon v_{ref} se obezbeđuje stabilnim integrisanom *bandgap* izvorom.

Low-dropout stabilizator napona

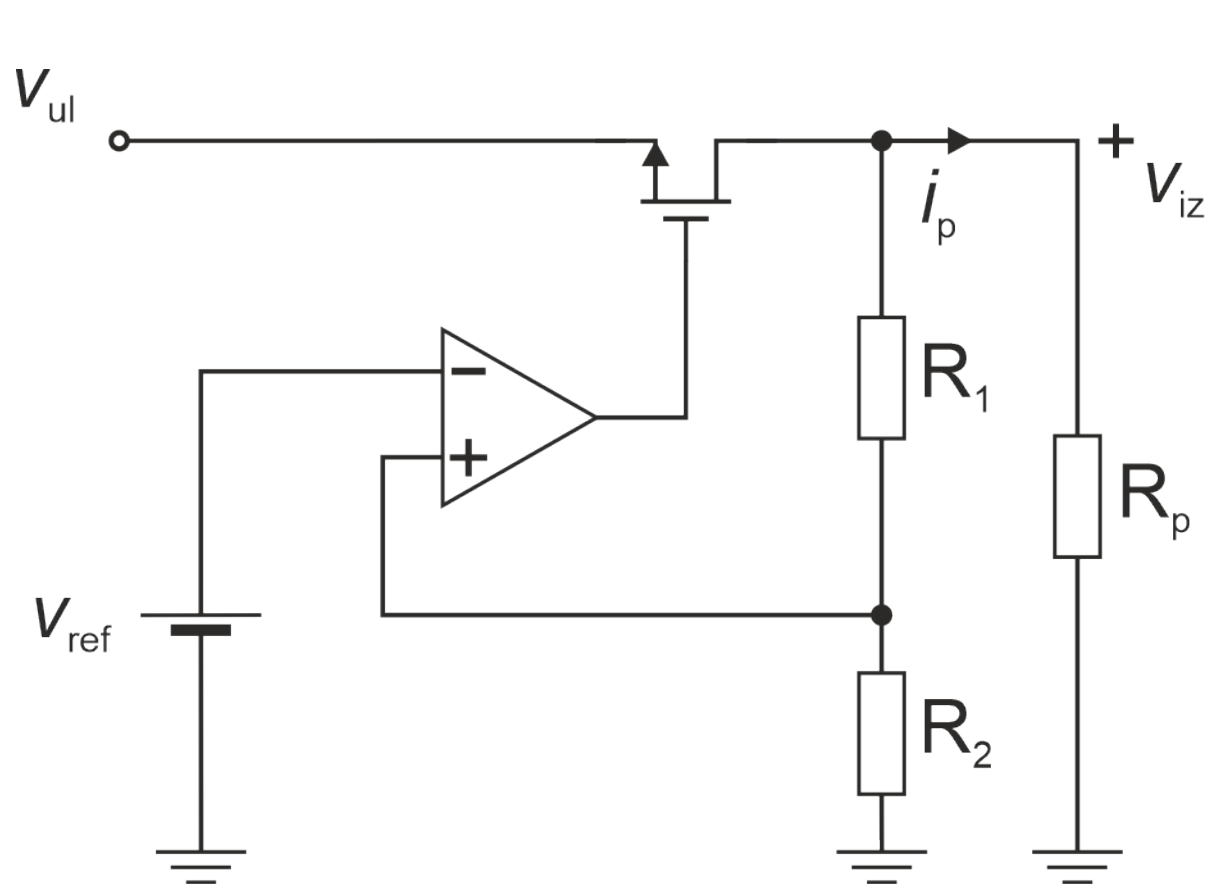


Kolo stabilizatora

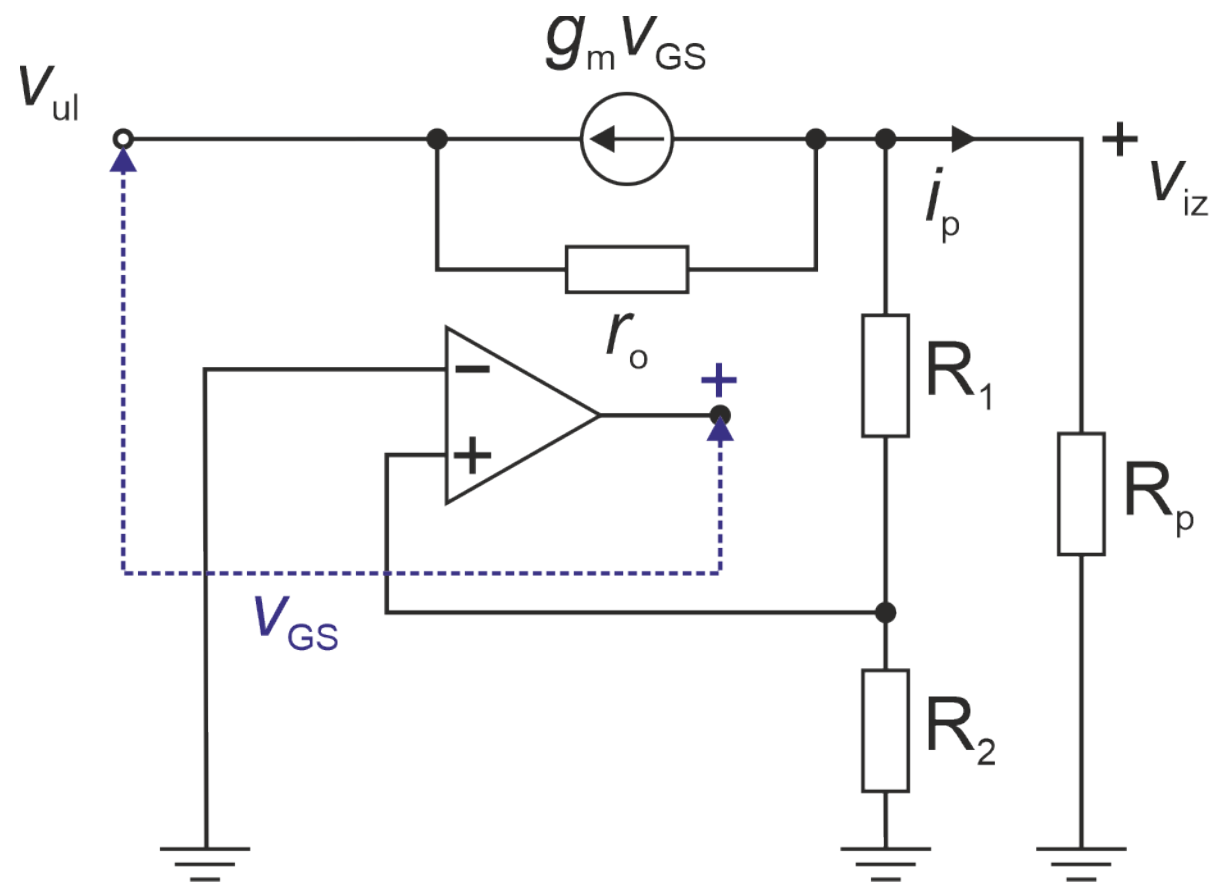
- Ukoliko je operacioni pojačavač idealan, naponi na ulazima su jednaki ($v_+ = v_- = v_{\text{ref}}$), tako da je

$$v_{\text{iz}} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) v_{\text{ref}}$$

Low-dropout stabilizator napona



Kolo stabilizatora



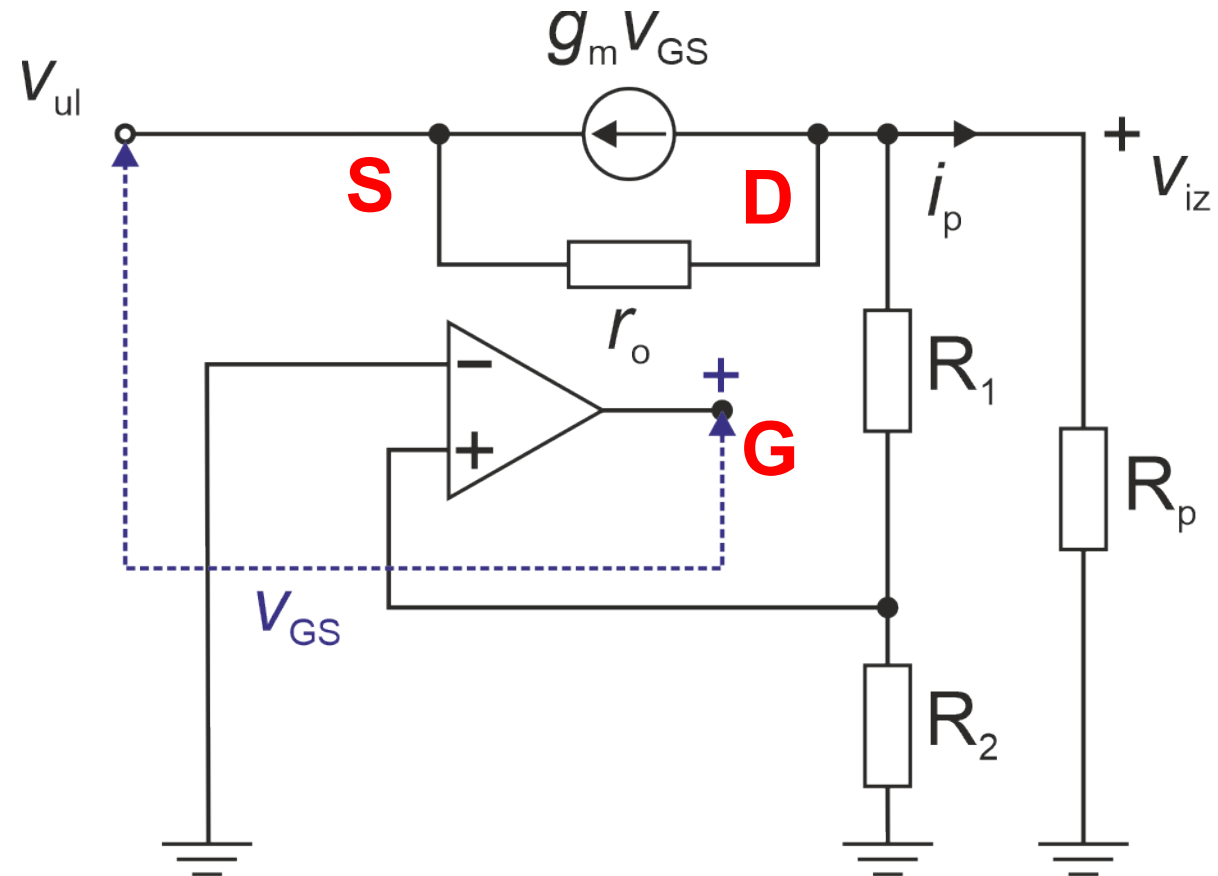
Ekvivalentno kolo

Low-dropout stabilizator napona

$$D: v_{iz} \left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{r_o} \right) - \frac{v_{ul}}{r_o} = -g_m v_{GS}$$

$$v_{GS} = v_G - v_S = \frac{AR_2}{R_1 + R_2} v_{iz} - v_{ul}$$

$$S = \frac{v_{iz}}{v_{ul}} = \frac{\frac{1}{r_o} + g_m}{\frac{1}{R_p} + \frac{1 + Ag_m R_2}{R_1 + R_2} + \frac{1}{r_o}}$$



Low-dropout stabilizator napona

$$D: v_X \left(\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{r_o} \right) = i_X - g_m v_{GS}$$

$$v_{GS} = \frac{AR_2}{R_1 + R_2} v_X$$

$$R_{iz} = \frac{v_X}{i_X} = \frac{r_o (R_1 + R_2)}{r_o (1 + Ag_m R_2) + R_1 + R_2}$$

