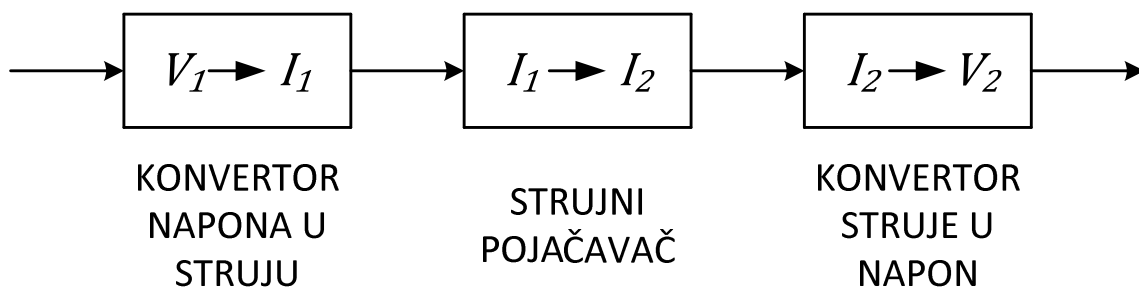


ŠIROKOPOJASNI POJAČAVAČI SA STRUJNIM PROCESIRANJEM

Na najvišim učestanostima (preko 100 MHz) se koriste širokopojasni pojačavači sa strujnim procesiranjem, i pored toga što se primenom negativne povratne sprege postiže veći propusni opseg i veća stabilnost mirne radne tačke (jednosmernih struja i napona), kao i manja nelinearna izobličenja (kod jačih povratnih spreaga). Zbog parazitnih kapacitivnosti se smanjuje jedinična učestanost ω_T pojačavača sa naponskim procesiranjem i javlja se nestabilnost usled faznog pomaka na jediničnoj učestanosti ω_T pojačavača sa naponskim procesiranjem.

Blok šema pojačavača sa strujnim procesiranjem je:

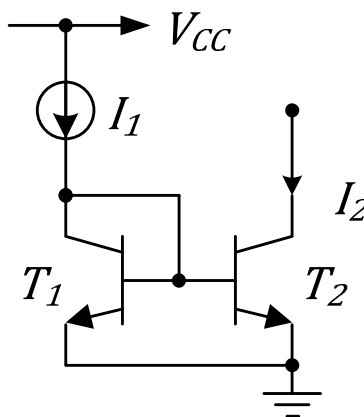


Da bi se smanjio uticaj parazitnih kapacitivnosti na tako visokim učestanostima:

1. konvertuje se napon na krajevima mreže pn spojeva u struju bipolarnih tranzistora
2. pojačava se struja na principu rada strujnog ogledala
3. konvertuje se struja u napon pomoću najobičnijeg otpornika.

POJAČAVAČ SA STRUJNIM OGLEDALOM

Strujni pojačavač sa strujnim ogledalom nema diferencijalni ulaz.



$$V_{BE1} = V_{BE2}$$

$$V_{T1} \ln \frac{I_1}{I_{S1}} = V_{T2} \ln \frac{I_2}{I_{S2}}$$

S obzirom da su tranzistori na približno istoj temperaturi:

$$V_{T1} = V_{T2} = V_T = \frac{kT}{q} \approx 26 \text{ mV (300 K)}$$

$$\frac{I_1}{I_{S1}} = \frac{I_2}{I_{S2}}$$

gde je:

$k = 1.3806505 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} = \text{Bolcmanova konstanta}$

$T = \text{apsolutna temperatura [K]}$

$q = 1.60217653 \cdot 10^{-19} \text{ C} = \text{elementarno naelektrisanje elektrona}$

$A_{E1} = \text{površina baza-emiter spoja tranzistora } T_1$

$A_{E2} = \text{površina baza-emiter spoja tranzistora } T_2$

$I_{S1} = \text{inverzna struja zasićenja proporcionalna } A_{E1}$

$I_{S2} = \text{inverzna struja zasićenja proporcionalna } A_{E2}$

$$\frac{I_1}{A_{E1}} = \frac{I_2}{A_{E2}}$$

$$I_2 = I_1 \frac{A_{E2}}{A_{E1}}$$

$$A_{E2} = n A_{E1}$$

$$I_2 = n I_1$$

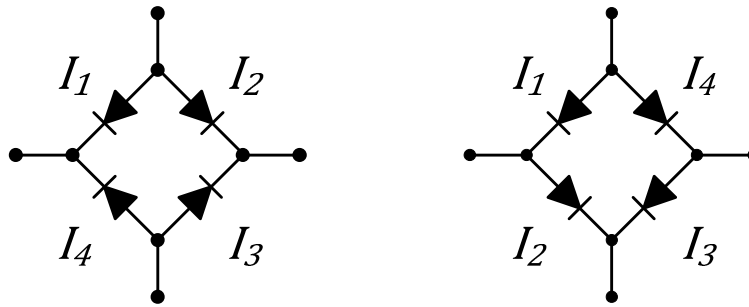
Dakle, strujno pojačanje pojačavača sa strujnim ogledalom je određeno odnosom površina baza-emiter spojeva tranzistora u strujnom ogledalu.

S obzirom da je koeficijent strujnog pojačanja β bipolarnih tranzistora ograničen, umesto prostih strujnih ogledala se mogu koristiti složeniji strujni izvori, kao što je, na primer, Wilson-ov strujni izvor.

Kaskadnim vezivanjem ovakvih strujnih pojačavačkih stepena može se dobiti strujni pojačavač sa širinom propusnog opsega koja zavisi samo od jedinične učestanosti ω_T samih tranzistora od kojih se sastoji takav pojačavač.

TRANSLINEARNI PRINCIP

Primenjuje se na konture sa pn spojevima:



Ako postoje dve konture po naponima:

1. CW (Clock Wise) u smeru kazaljke na satu
2. CCW (Counter Clock Wise) u smeru suprotnom kazaljci na satu

onda važi da su u jednom i drugom smeru iste:

1. Sume napona
2. Proizvodi gustina struja.

$$\sum_{CW} V_k = \sum_{CCW} V_j$$

$$\sum_{CW} V_T \ln \frac{I_k}{I_{Sk}} = \sum_{CCW} V_T \ln \frac{I_j}{I_{Sj}}$$

$$\ln \prod_{CW} \frac{I_k}{I_{Sk}} = \ln \prod_{CCW} \frac{I_j}{I_{Sj}}$$

$$\prod_{CW} \frac{I_k}{I_{Sk}} = \prod_{CCW} \frac{I_j}{I_{Sj}}$$

Imajući u vidu da su inverzne struje zasićenja proporcionalne površinama baza-emitor spojeva tranzistora:

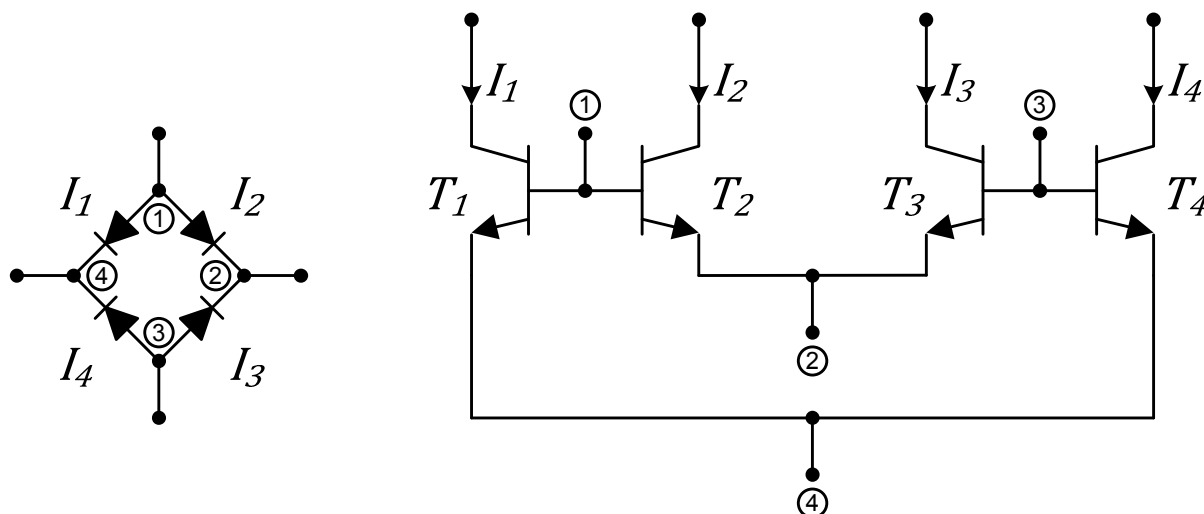
$$\prod_{CW} \frac{I_k}{A_k} = \prod_{CCW} \frac{I_j}{A_j}$$

$$\prod_{CW} J_k = \prod_{CCW} J_j$$

Postoje dve osnovne šeme za vezu između struja kod kojih se može primeniti translinearni princip i koje su simetrične, jer se u većini slučajeva zahteva pojačanje diferencijalnog signala.

A ŠEMA – ALTERNATE

A šema je sa naizmeničnim rasporedom pn spojeva.



Primenom translienarnog principa za tranzistore na istoj temperaturi i istih karakteristika (jednakih površina baza-emiter spojeva) se dobija:

$$I_1 \cdot I_3 = I_2 \cdot I_4$$

Do identičnog rezultata se dolazi i na uobičajen način za tranzistore na istoj temperaturi:

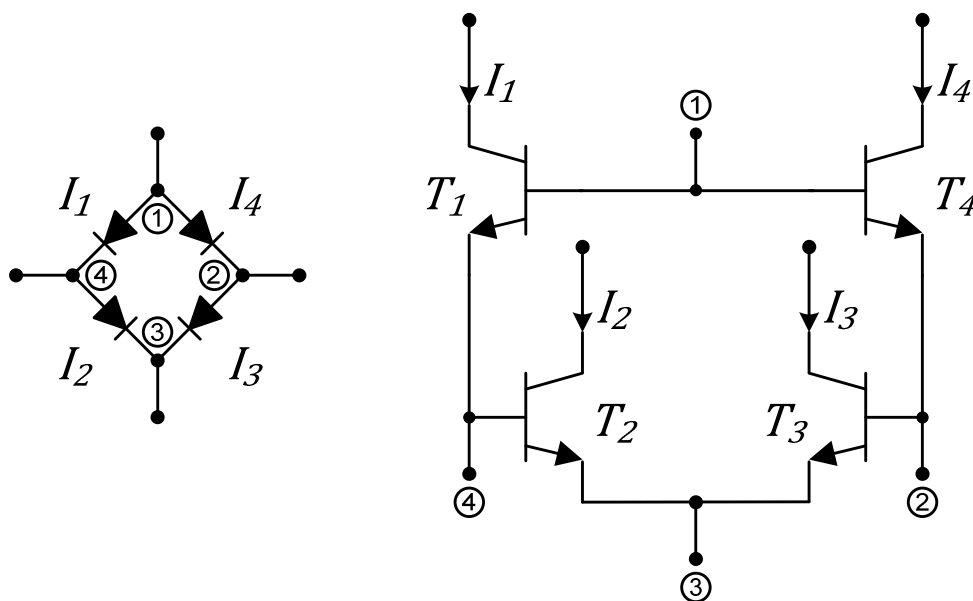
$$\begin{aligned}
 V_{BE1} - V_{BE4} + V_{BE3} - V_{BE2} &= 0 \\
 V_T \ln \frac{I_1}{I_{S1}} - V_T \ln \frac{I_4}{I_{S4}} + V_T \ln \frac{I_3}{I_{S3}} - V_T \ln \frac{I_2}{I_{S2}} &= 0 \\
 \ln \frac{I_1 I_3}{I_{S1} I_{S3}} &= \ln \frac{I_2 I_4}{I_{S2} I_{S4}} \\
 \frac{I_1 I_3}{I_{S1} I_{S3}} &= \frac{I_2 I_4}{I_{S2} I_{S4}}
 \end{aligned}$$

Ako su upotrebljeni tranzistori istih karakteristika (jednakih površina baza-emiter spojeva):

$$\begin{aligned}
 I_{S1} = I_{S2} = I_{S3} = I_{S4} &= I_S \\
 I_1 I_3 &= I_2 I_4
 \end{aligned}$$

B ŠEMA – BALANCED

B šema je sa balansiranim rasporedom pn spojeva.



Primenom translienarnog principa za tranzistore na istoj temperaturi i istih karakteristika (jednakih površina baza-emiter spojeva) se dobija:

$$I_1 \cdot I_2 = I_3 \cdot I_4$$

Do identičnog rezultata se dolazi i na uobičajen način za tranzistore na istoj temperaturi:

$$V_{BE1} + V_{BE2} - V_{BE3} - V_{BE4} = 0$$

$$V_T \ln \frac{I_1}{I_{S1}} + V_T \ln \frac{I_2}{I_{S2}} - V_T \ln \frac{I_3}{I_{S3}} - V_T \ln \frac{I_4}{I_{S4}} = 0$$

$$\ln \frac{I_1 I_2}{I_{S1} I_{S2}} = \ln \frac{I_3 I_4}{I_{S3} I_{S4}}$$

$$\frac{I_1 I_2}{I_{S1} I_{S2}} = \frac{I_3 I_4}{I_{S3} I_{S4}}$$

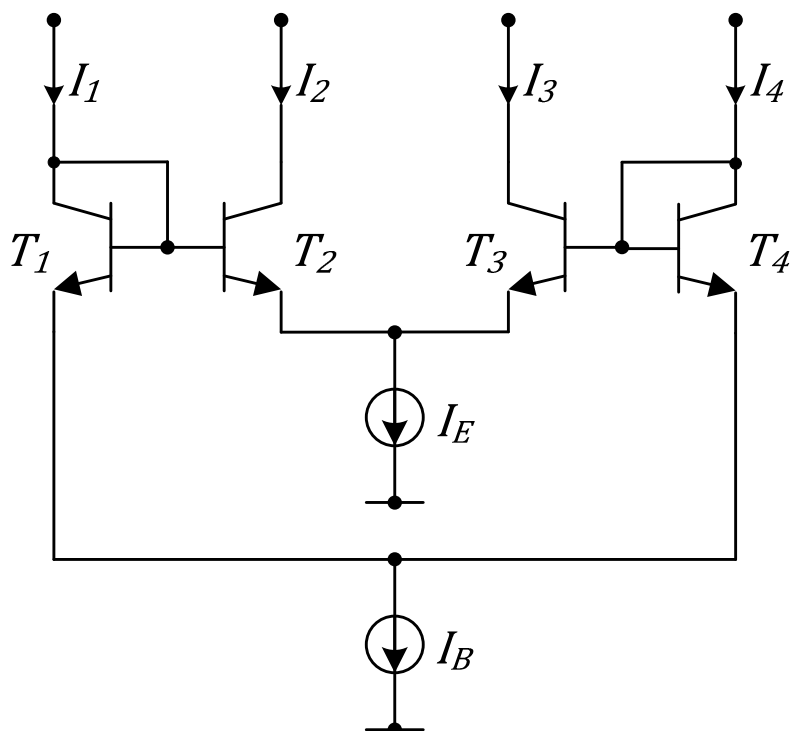
Ako su upotrebljeni tranzistori istih karakteristika (jednakih površina baza-emiter spojeva):

$$I_{S1} = I_{S2} = I_{S3} = I_{S4} = I_S$$

$$I_1 I_2 = I_3 I_4$$

GILBERTOV STRUJNI POJAČAVAČ

Šema Gilbertovog strujnog pojačavača je tipa A.



Struje strujnih izvora u diferencijalnim pojačavačima se razdeljuju na tranzistore:

$$I_1 + I_4 = I_B$$

$$I_1 = xI_B$$

$$I_4 = (1 - x)I_B$$

$$I_2 + I_3 = I_E$$

$$I_2 = yI_E$$

$$I_3 = (1 - y)I_E$$

Primenom transliernog principa za jednake površine baza-emiter spojeva tranzistora se dobija:

$$I_1 \cdot I_3 = I_2 \cdot I_4$$

Do identičnog rezultata se dolazi i na uobičajen način:

$$V_{BE1} - V_{BE4} + V_{BE3} - V_{BE2} = 0$$

$$V_T \ln \frac{I_1}{I_{S1}} - V_T \ln \frac{I_4}{I_{S4}} + V_T \ln \frac{I_3}{I_{S3}} - V_T \ln \frac{I_2}{I_{S2}} = 0$$

$$\ln \frac{I_1 I_3}{I_{S1} I_{S3}} = \ln \frac{I_2 I_4}{I_{S2} I_{S4}}$$

$$\frac{I_1 I_3}{I_{S1} I_{S3}} = \frac{I_2 I_4}{I_{S2} I_{S4}}$$

TRANZISTORI ISTIH KARAKTERISTIKA

Ako su upotrebljeni tranzistori istih karakteristika (jednakih površina baza-emiter spojeva):

$$I_{S1} = I_{S2} = I_{S3} = I_{S4} = I_S$$

$$I_1 I_3 = I_2 I_4$$

Zamenom izraza za struje u prethodnu jednačinu se dobija:

$$x I_B (1 - y) I_E = y I_E (1 - x) I_B$$

$$x(1 - y) = y(1 - x)$$

$$x - xy = y - yx$$

$$x = y$$

Pojačanje Gilbertovog strujnog pojačavača je:

$$A_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{y I_E}{x I_B}$$

$$A_i = \frac{I_E}{I_B}$$

TRANZISTORI RAZLIČITIH KARAKTERISTIKA

Ako su upotrebljeni tranzistori različitih karakteristika (različitih površina baza-emiter spojeva):

$$I_{S1} \neq I_{S2} \neq I_{S3} \neq I_{S4}$$

$$I_{S1} I_{S3} \neq I_{S2} I_{S4}$$

$$\frac{I_{S2} I_{S4}}{I_{S1} I_{S3}} = \gamma = \text{const}$$

$$I_1 I_3 \frac{I_{S2} I_{S4}}{I_{S1} I_{S3}} = I_2 I_4$$

$$I_2 I_4 = \gamma I_1 I_3$$

Zamenom izraza za struje u prethodnu jednačinu se dobija:

$$y I_E (1 - x) I_B = \gamma x I_B (1 - y) I_E$$

$$y(1 - x) = \gamma x(1 - y)$$

$$y - yx = \gamma x - \gamma xy$$

$$y(1 - x + \gamma x) = \gamma x$$

$$y = \frac{\gamma x}{1 + x(\gamma - 1)}$$

$$\frac{y}{x} = \frac{\gamma}{1 + x(\gamma - 1)}$$

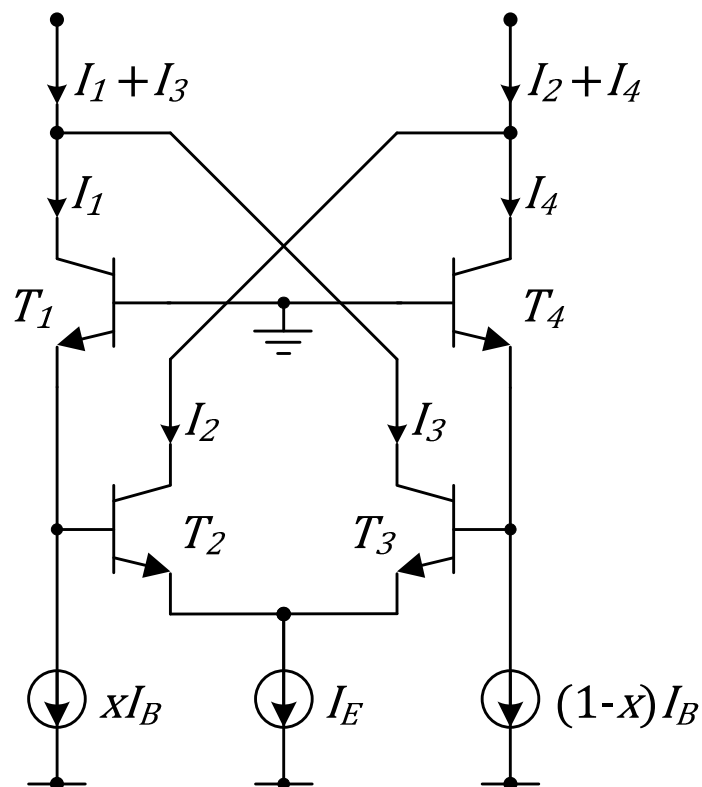
Pojačanje Gilbertovog strujnog pojačavača zavisi od parametra x :

$$A_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{y I_E}{x I_B}$$

$$A_i = \frac{\gamma}{1 + x(\gamma - 1)} \frac{I_E}{I_B}$$

GILBERTOVA POJAČAVAČKA ĆELIJA

Šema Gilbertove pojačavačke ćelije je tipa B.



Struje strujnih izvora u diferencijalnim pojačavačima se razdeljuju na tranzistore:

$$I_1 + I_4 = I_B$$

$$I_1 = x I_B$$

$$I_4 = (1 - x)I_B$$

$$I_2 + I_3 = I_E$$

$$I_2 = (1 - y)I_E$$

$$I_3 = yI_E$$

Primenom translienarnog principa za jednake površine baza-emiter spojeva tranzistora se dobija:

$$I_1 \cdot I_2 = I_3 \cdot I_4$$

Do identičnog rezultata se dolazi i na uobičajen način:

$$\begin{aligned} V_{BE1} + V_{BE2} - V_{BE3} - V_{BE4} &= 0 \\ V_T \ln \frac{I_1}{I_{S1}} + V_T \ln \frac{I_2}{I_{S2}} - V_T \ln \frac{I_3}{I_{S3}} - V_T \ln \frac{I_4}{I_{S4}} &= 0 \\ \ln \frac{I_1 I_2}{I_{S1} I_{S2}} &= \ln \frac{I_3 I_4}{I_{S3} I_{S4}} \\ \frac{I_1 I_2}{I_{S1} I_{S2}} &= \frac{I_3 I_4}{I_{S3} I_{S4}} \end{aligned}$$

TRANZISTORI IDENTIČNIH KARAKTERISTIKA

Ako su upotrebljeni tranzistori istih karakteristika (istih površina baza-emiter spojeva):

$$I_{S1} = I_{S2} = I_{S3} = I_{S4} = I_S$$

$$I_1 I_2 = I_3 I_4$$

Zamenom izraza za struje u prethodnu jednačinu se dobija:

$$xI_B(1 - y)I_E = yI_E(1 - x)I_B$$

$$x(1 - y) = y(1 - x)$$

$$x - xy = y - yx$$

$$x = y$$

Pojačanje Gilbertove pojačavačke ćelije je veće od pojačanja Gilbertovog strujnog pojačavača:

$$A_i = \frac{I_1 + I_3}{I_1} = 1 + \frac{I_3}{I_1} = 1 + \frac{yI_E}{xI_B}$$

$$A_i = 1 + \frac{I_E}{I_B}$$

Izlazne struje su:

$$I_1 + I_3 = xI_B + yI_E = x(I_B + I_E)$$

$$I_2 + I_4 = (1 - y)I_E + (1 - x)I_B = (1 - x)(I_B + I_E)$$

Dakle, nakon pojačanja je odnos struja ostao isti kao pre pojačanja. Usled ove osobine se Gilbertove pojačavačke ćelije mogu kaskadno povezivati radi dobijanja velikih strujnih pojačanja.

NAPONSKI POJAČAVAČ SA DVE KASKADNO POVEZANE GILBERTOVE POJAČAVAČKE ĆELIJE

Na ulazu pojačavača se pojačava diferencijalni signal.

$$v_U = v_1 - v_2$$

Ulazni konvertor napona u struju pretvara ulazni napon v_U u struje i_1 i i_2 .

$$v_1 = v_{BE1} + R_E i_1 - R_E i_2 - v_{BE2} + v_2$$

$$v_U = v_1 - v_2 = v_{BE1} - v_{BE2} + R_E i_1 - R_E i_2$$

$$v_{BE1} \approx v_{BE2}$$

$$v_U = v_1 - v_2 = R_E(i_1 - i_2)$$

$$i_1 - i_2 = \frac{v_U}{R_E}$$

$$i_1 + i_2 = I_B$$

$$2i_1 = I_B + \frac{v_U}{R_E}$$

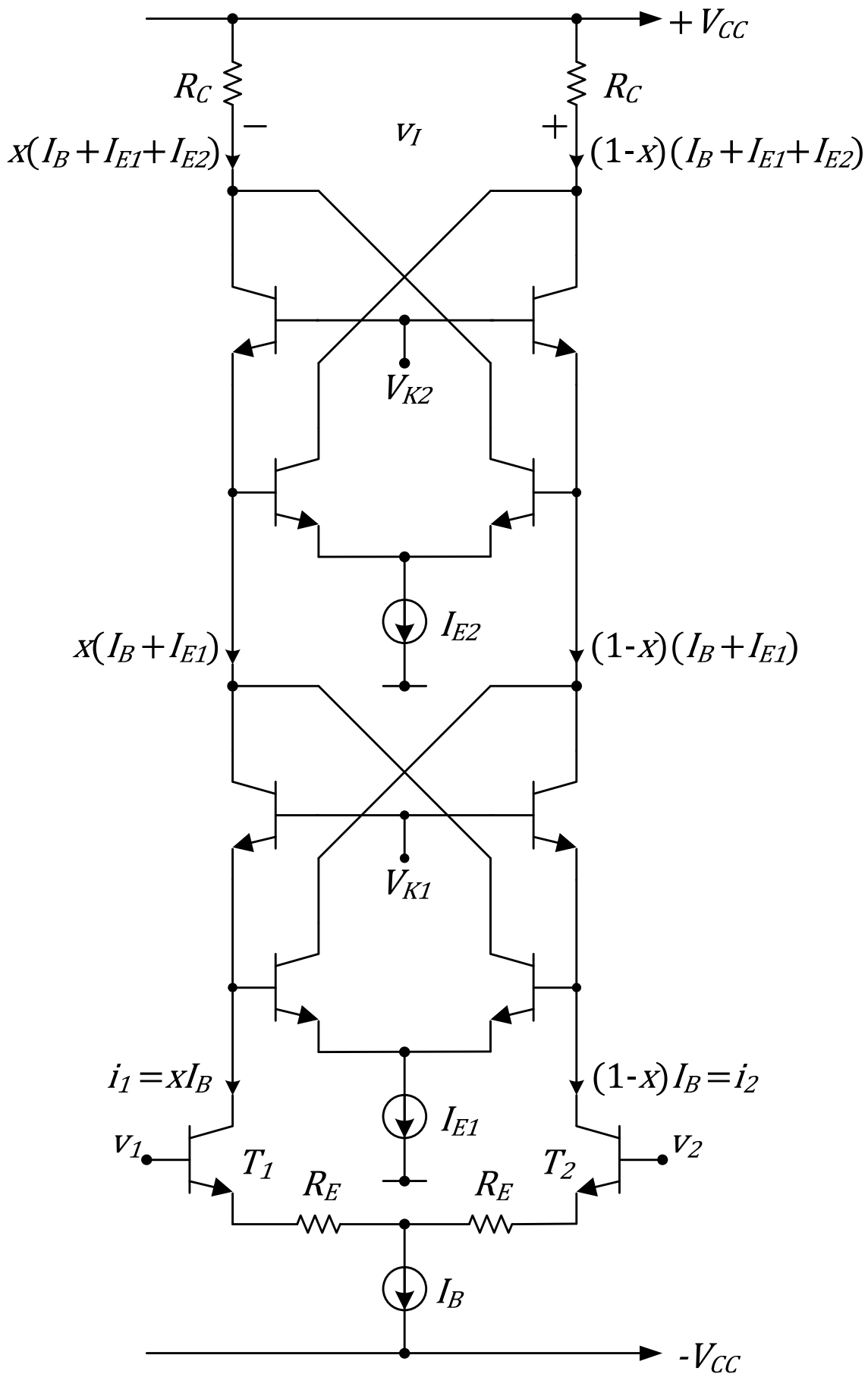
$$i_1 = \frac{1}{2} \left(I_B + \frac{v_U}{R_E} \right) = xI_B$$

$$x = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{v_U}{R_E I_B} \right)$$

$$2i_2 = I_B - \frac{v_U}{R_E}$$

$$i_2 = \frac{1}{2} \left(I_B - \frac{v_U}{R_E} \right) = (1 - x)I_B$$

Šema naponskog pojačavača sa dve kaskadno povezane Gilbertove pojačavačke ćelije je:



Izlazni konvertor struje u napon je:

$$v_I = V_{CC} - R_C(1 - x)(I_B + I_{E1} + I_{E2}) - [V_{CC} - R_C x(I_B + I_{E1} + I_{E2})]$$

$$v_I = V_{CC} + R_C(x - 1)(I_B + I_{E1} + I_{E2}) - V_{CC} + R_C x(I_B + I_{E1} + I_{E2})$$

$$v_I = R_C(2x - 1)(I_B + I_{E1} + I_{E2})$$

$$x = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{v_U}{R_E I_B} \right)$$

$$2x = 1 + \frac{v_U}{R_E I_B}$$

$$2x - 1 = \frac{v_U}{R_E I_B}$$

$$v_I = R_C \frac{v_U}{R_E I_B} (I_B + I_{E1} + I_{E2})$$

$$v_I = \frac{R_C I_B + I_{E1} + I_{E2}}{R_E I_B} v_U$$

$$v_I = \frac{R_C}{R_E} \left(1 + \frac{I_{E1} + I_{E2}}{I_B} \right) v_U$$

$$A_n = \frac{v_I}{v_U} = \frac{R_C}{R_E} \left(1 + \frac{I_{E1} + I_{E2}}{I_B} \right)$$

Naponsko pojačanje u uopštem slučaju više kaskadno povezanih Gilbertovih pojačavačkih ćelija je:

$$A_n = \frac{v_I}{v_U} = \frac{R_C}{R_E} \left(1 + \frac{\sum_i I_{Ei}}{I_B} \right)$$