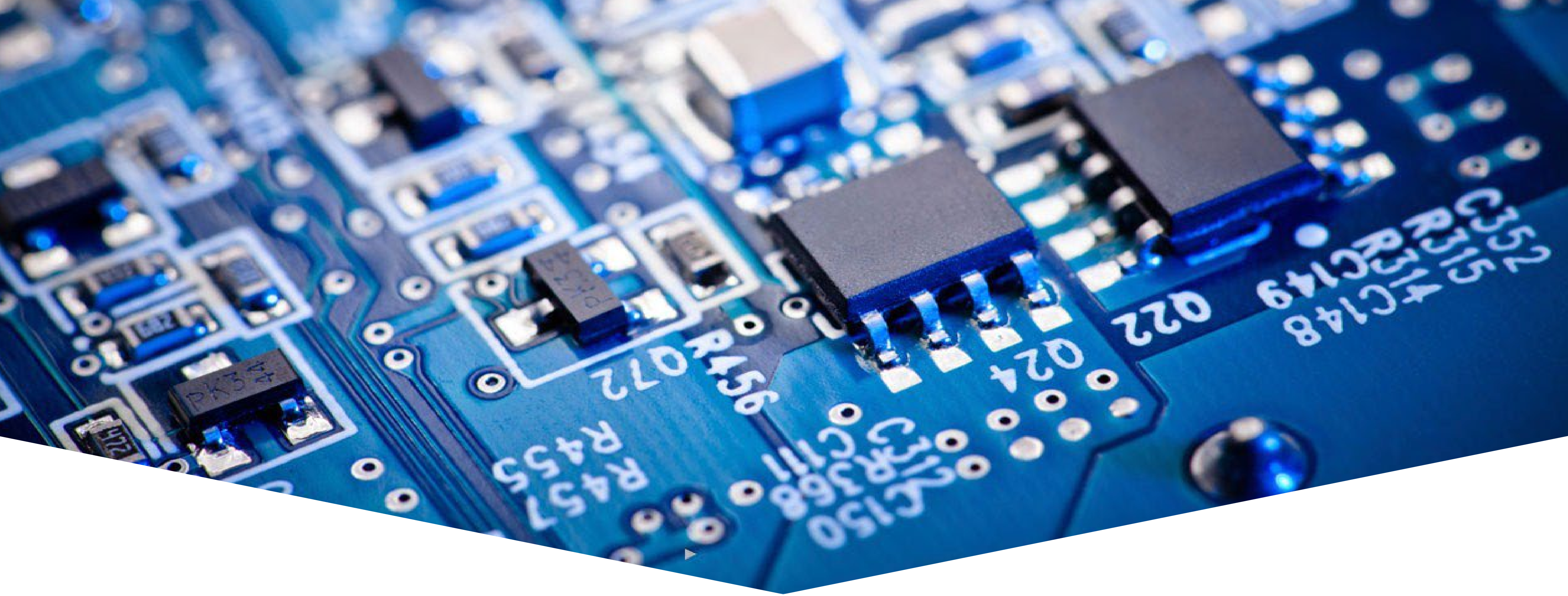


ANALOGE ELEKTRONICA 1

WEEK 7: NEGATIEVE FEEDBACK

Week 7: Leerdoelen

- Principe van negatieve feedback
- Bandwidth extension
- Onderdrukking niet-lineaire vervorming
- Feedback topologieën

Negatieve Feedback

- Tentamenstof:
  - Neamen Hoofdstuk 12: “Feedback & Stability”
- Leerdoelen:
  - de voordelen van negatieve feedback kunnen uitleggen
  - de termen open-loop gain, loop gain en closed-loop gain kunnen uitleggen en deze van een schakeling kunnen uitrekenen
  - de ingangs- en uitgangsimpedantie van een teruggekoppeld systeem kunnen uitrekenen

Negatieve Feedback

- Voordelen:
  1. Stabiliseren van versterking
  2. Verbeteren van frequentieresponsie
  3. Reductie van (niet-lineaire) verstoringen
  4. Verbeteren van ingangs- en uitgangsimpedanties

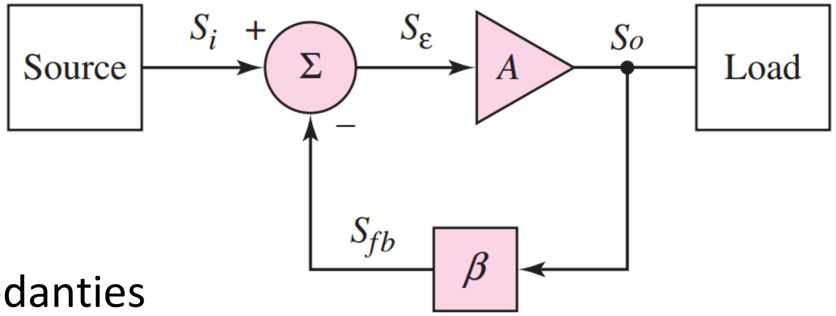


Figure 12.1 Basic configuration of a feedback amplifier

- Nadeel:
  1. Overall versterking wordt minder
  2. Systeem kan instabiel worden voor hogere frequenties

Negatieve Feedback - Principe

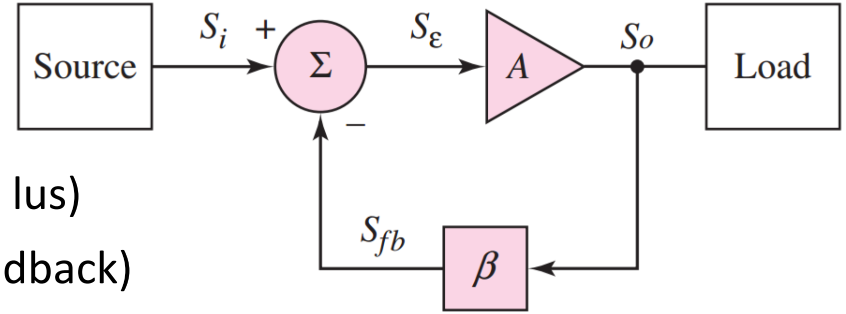


Figure 12.1 Basic configuration of a feedback amplifier

Definities:

A Open-loop gain (zonder feedback)

β Loop gain (versterking in de feedback lus)

A_f Closed-loop gain (versterking met feedback)

Relaties:

$S_0 = A\, S_\varepsilon$, $S_{fb} = \beta\, S_0$, $S_\varepsilon = S_i - S_{fb}$

Gain: $A_f = \frac{S_o}{S_i}$

of in matrix notatie:

$$\begin{pmatrix} 1 & -A & 0 \\ \beta & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_o \\ S_\varepsilon \\ S_{fb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ S_i \end{pmatrix}$$

Negatieve Feedback

Cramer's regel:

$$S_0 = \frac{D_1}{D}\ ; \qquad D = \begin{vmatrix} 1 & -A & 0 \\ \beta & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 1 + \beta\, A\,,$$

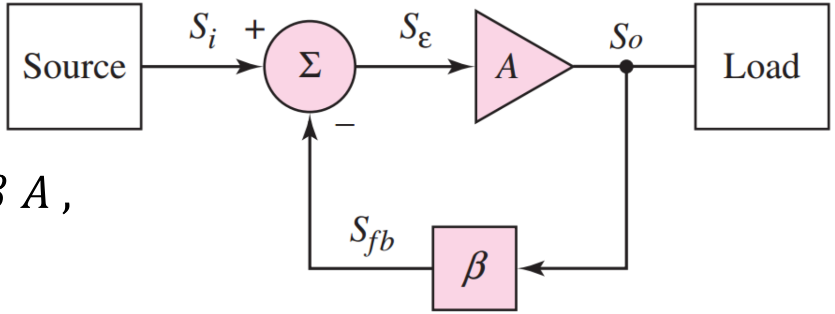


Figure 12.1 Basic configuration of a feedback amplifier

$$A_f = \frac{S_o}{S_i} = \frac{D_1}{S_i\, D}\ ; \qquad D_1 = \begin{vmatrix} 0 & -A & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ S_i & 1 & 1 \end{vmatrix} = A\, S_i$$

Dus de closed-loop gain:

Negatieve Feedback

Een versterker, met een open-loop gain van 500, krijgt negatieve feedback, de closed-loop gain wordt hierdoor 20.

- Bepaal:
  - De feedback gain β.
  - Gain-Sensitivity: Als de open-loop gain van de versterker met 100 % stijgt, hoeveel procent bedraagt dan de stijging van de closed-loop gain?

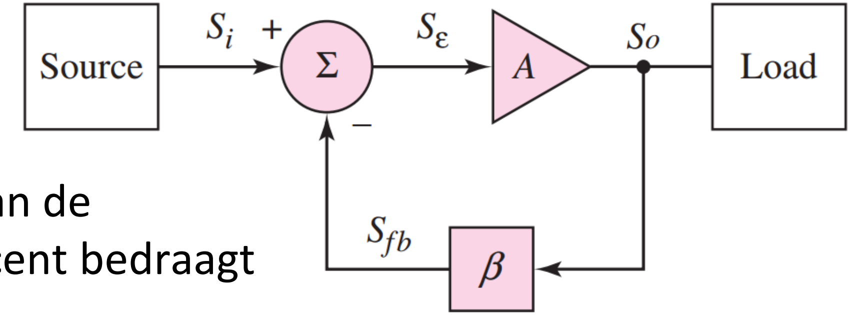


Figure 12.1 Basic configuration of a feedback amplifier

  - Stel we kunnen maximaal een stijging van 1 % van de closed-loop gain toelaten, met hoeveel procent mag de open-loop gain dan maximaal stijgen?

Ondrukking van niet-lineaire vervorming

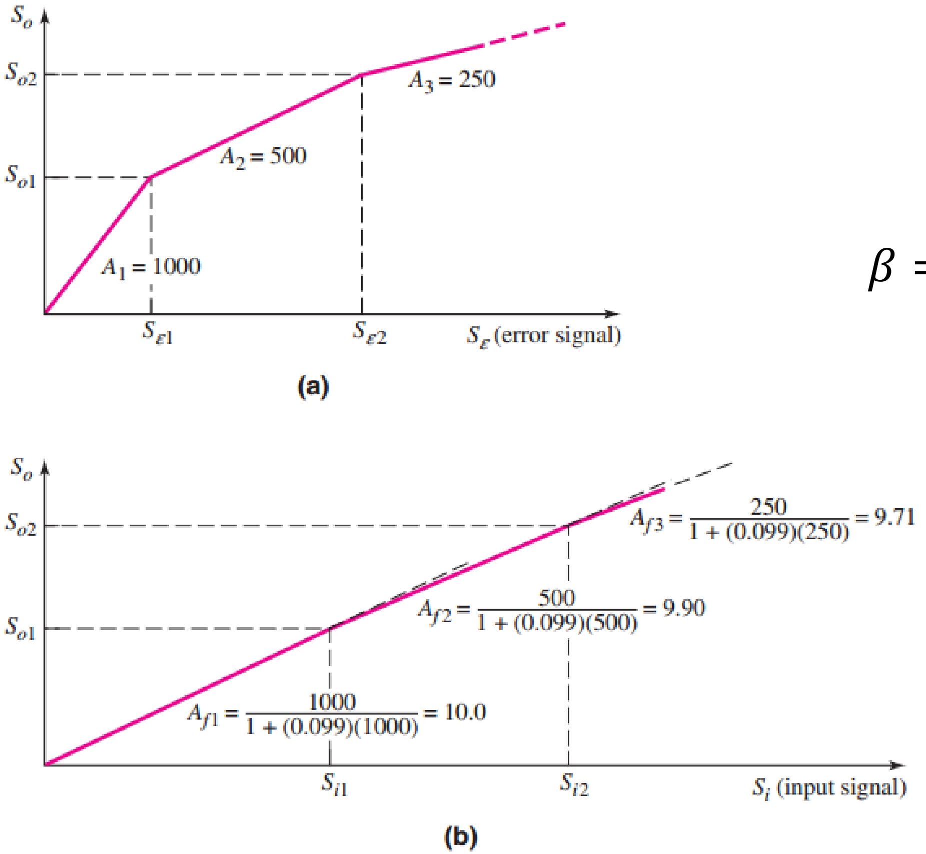


Figure 12.4 (a) Basic amplifier (open-loop) transfer characteristics; (b) closed-loop transfer characteristics

$$\beta = 0.099$$

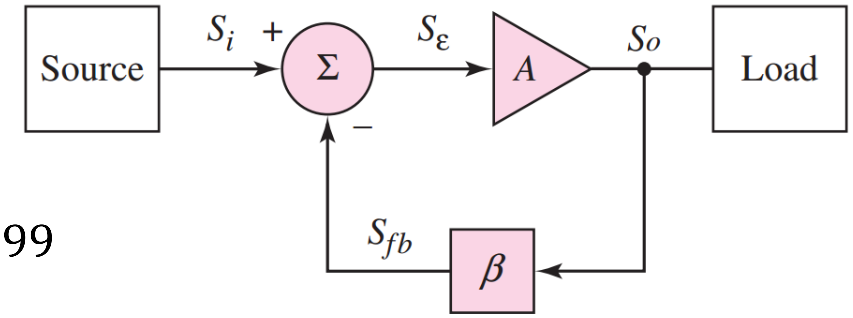


Figure 12.1 Basic configuration of a feedback amplifier

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A}$$

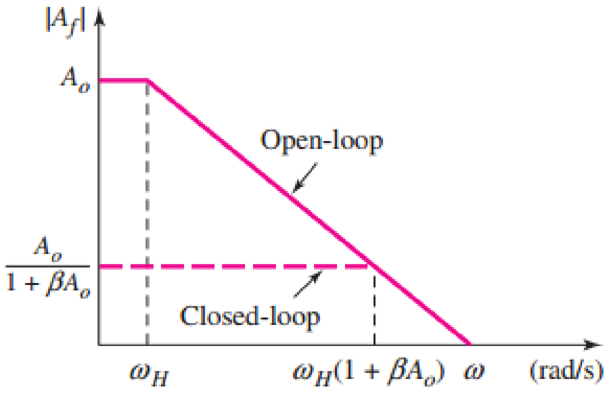
Bandwidth extension

- Frequentie responsie 1e orde amplifier:

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_h}}$$

Midband gain (A_0)

Kantelfrequentie (ω_h)



- De closed-loop gain:

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1+\beta A(s)} = \frac{\frac{A_0}{1+\frac{s}{\omega_h}}}{1+\beta.\frac{A_0}{1+\frac{s}{\omega_h}}} = \frac{A_0}{1+\frac{s}{\omega_h}+\beta.A_0} = \frac{A_0}{1+\beta.A_0}.\frac{1}{1+\frac{s}{\omega_h(1+\beta\,A_0)}}$$

- Conclusie:
  - Closed-loop gain is factor $1+\beta A_0$ <u>kleiner</u> geworden
  - Kantelpunt is factor $1+\beta A_0$ <u>groter</u> geworden: $\omega_{fh} = \omega_h\,(1+\beta A_0)$

Bandwidth extension

- Opgave 12.3:
  - Open-loop gain $A_0 = 10^4$
  - Open-loop bandwidth $f_H = 100$ Hz
  - Closed-loop gain $A_{f(0)} = 50$

- Vraag:
  - Bepaal de bandbreedte van de teruggekoppelde versterker.

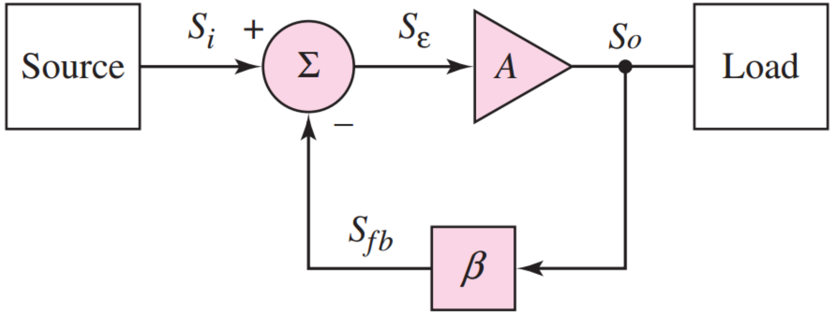


Figure 12.1 Basic configuration of a feedback amplifier

Negatieve Feedback

Open-loop gain: A

Transfer functie: $\mathrm{T} = \beta A$

Loop gain: β

Closed-loop gain: A_f

$$A_f = \frac{A}{1+T} = \frac{A}{1+\beta A}$$

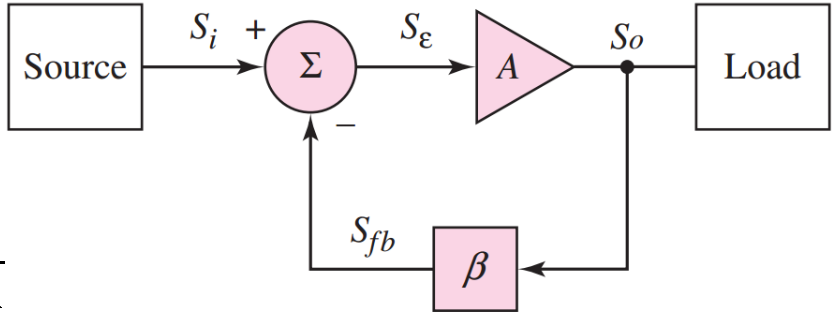


Figure 12.1 Basic configuration of a feedback amplifier

Open-loop kantelpunt: f_H

Closed-loop kantelpunt: f_{fH}

Bandwidth extension:

$$f_{fH} = (1+\beta A) f_H$$

$$A_f\, f_{fH} = A\, f_H$$

Negatieve Feedback opgaven

TYU 12.1:

- Closed-loop gain $A_f(0) = 50$
- Feedback transfer function $\beta = 0.019$
- Q) Bepaal de open-loop gain

TYU 12.2:

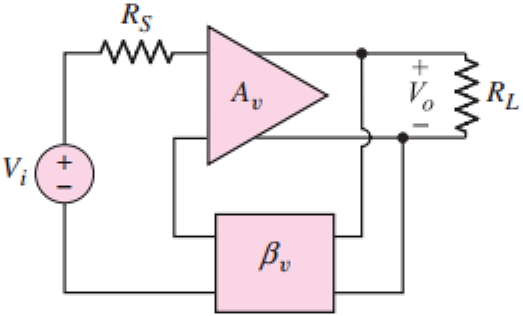
- $A = 5x10^5$, $A_f = 100$
- Maximale verandering in A_f is ± 0.001 %
- Q) Wat is de maximale toegestane verandering (%) in A?

TYU 12.3:

- Open-loop gain $A = 5x10^5$, Open-loop -3 dB frequentie = 6 Hz
- Q) Required closed-loop bandwidth f = 200 kHz. Wat is $A_f(0)$?

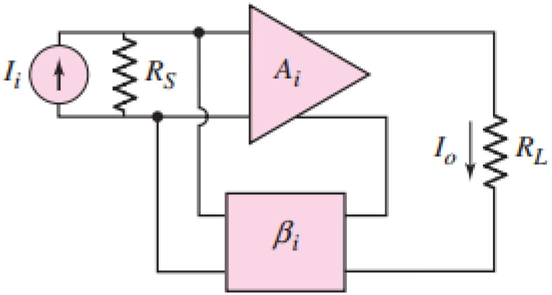
Feedback topologieën

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i}$$



(a) Series–shunt

Voltage amplifier

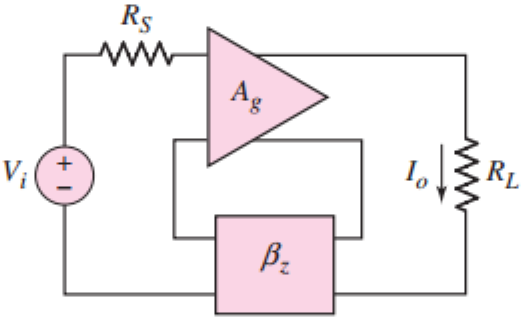


(b) Shunt–series

Current amplifier

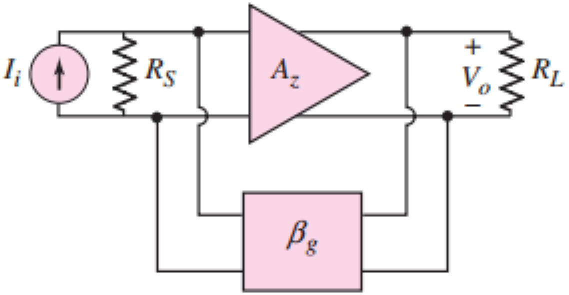
$$A_{if} = \frac{I_o}{I_i}$$

$$Y_f = \frac{I_o}{V_i}$$



(c) Series–series

Transconductance amplifier



(d) Shunt–shunt

Transresistance amplifier

$$Z_f = \frac{V_o}{I_i}$$

Series-shunt topologie

Dit is een voorbeeld van een feedback systeem:

$$\begin{pmatrix} 1 & -A_v & 0 \\ \beta_v & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_o \\ V_\varepsilon \\ V_{fb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ V_i \end{pmatrix}$$

$$V_0 = \frac{D_1}{D} = \frac{\begin{vmatrix} 0 & -A_v & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ V_i & 1 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & -A_v & 0 \\ \beta_v & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}} = \frac{V_i A_v}{1 + \beta_v\, A_v}$$

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v}{1 + \beta_v\, A_v}$$

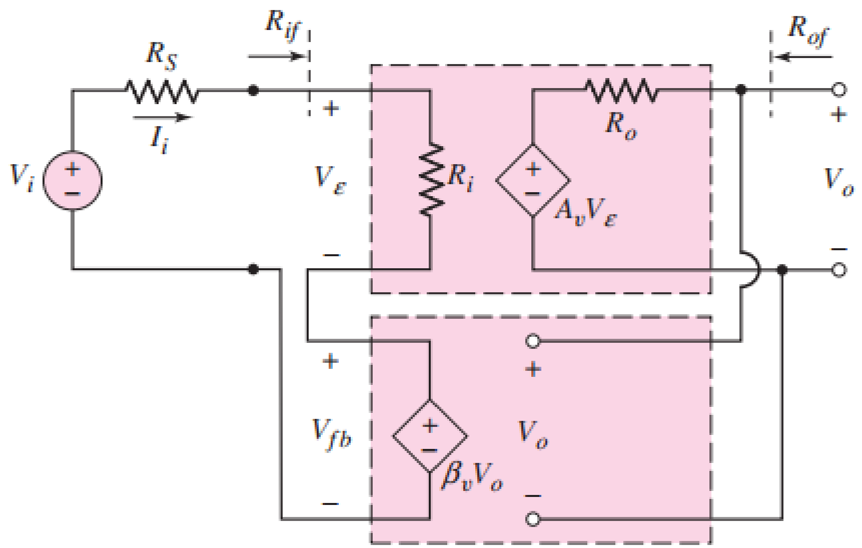


Figure 12.6 Ideal series–shunt feedback topology

Series-shunt topologie - ingangsimpedantie

Ingangsimpedantie met feedback R_{if}:

$$R_{if} = \frac{V_i}{I_i} \quad , \qquad I_i = \frac{V_\varepsilon}{R_i}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & -A_v & 0 \\ \beta_v & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_o \\ V_\varepsilon \\ V_{fb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ V_i \end{pmatrix}$$

$$V_\varepsilon = \frac{D_2}{D} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \beta_v & 0 & -1 \\ 0 & V_i & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & -A_v & 0 \\ \beta_v & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}} = \frac{V_i}{1 + \beta_v\, A_v} \, ,$$

$$R_{if} = \frac{V_i}{I_i} = (1 + \beta_v\, A_v) R_i$$

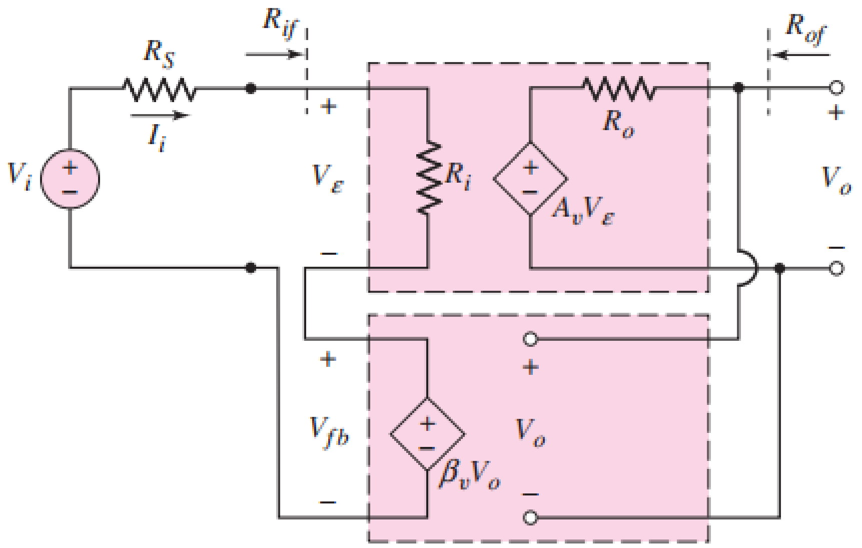


Figure 12.6 Ideal series–shunt feedback topology

Series-Shunt topologie - uitgangsimpedantie

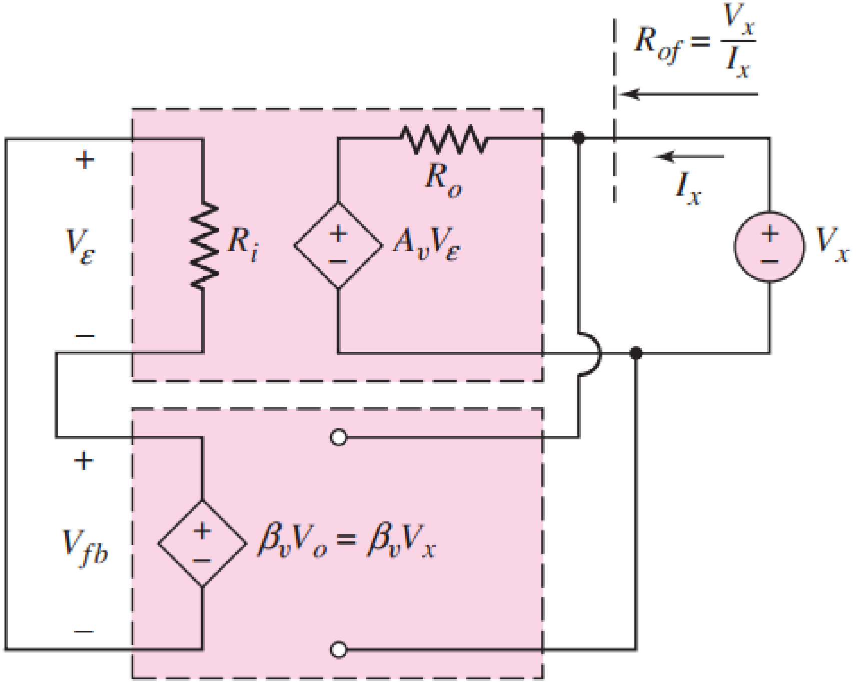
Om de uitgangsimpedantie $R_{of} = \frac{V_x}{I_x}$ te bereken:

1. sluit ingang kort (zet spanningsbron uit)
2. zet een testspanning V_x op de uitgang

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -\beta_v & 0 & 1 \\ 1 & -A_v & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_x \\ V_\varepsilon \\ V_{fb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ I_x R_o \end{pmatrix}$$

$$V_x = \frac{D_1}{D} = \frac{\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ I_x R_o & -A_v & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -\beta_v & 0 & 1 \\ 1 & -A_v & 0 \end{vmatrix}} = \frac{I_x R_o}{1 + \beta_v\, A_v}$$

$$R_{of} = \frac{V_x}{I_x} = \frac{R_o}{1 + \beta_v\, A_v}$$



Series-shunt topologie - samenvatting

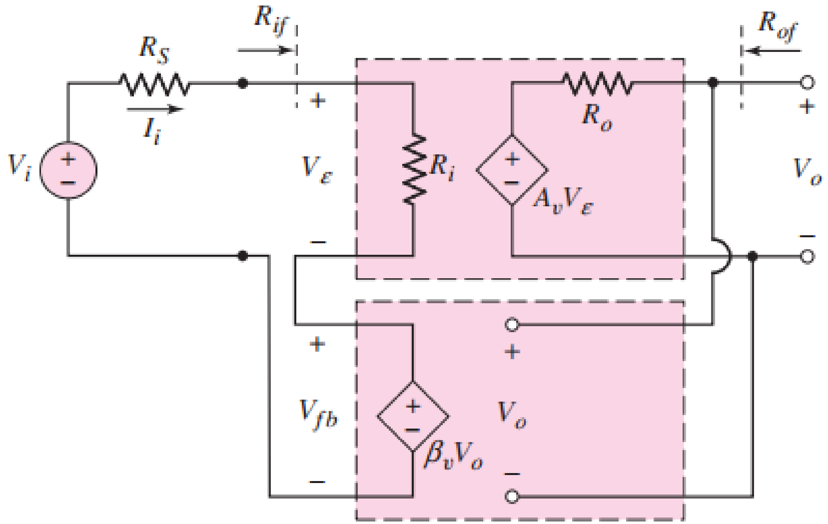


Figure 12.6 Ideal series–shunt feedback topology

- Series-shunt = voltage amplifier:
  - Source-signal: voltage
  - Output-signal: voltage
- Versterking:
  - wordt stabieler (gewenst!)

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v}{1 + \beta_v\, A_v}$$

- Ingangsimpedantie:
  - wordt groter (gewenst!)

$$R_{if} = \frac{V_i}{I_i} = R_i\,(1 + \beta_v\, A_v)$$

- Uitgangsimpedantie:
  - wordt lager (gewenst!)

$$R_{of} = \frac{V_x}{I_x} = \frac{R_o}{1 + \beta_v\, A_v}$$

HOGESCHOOL ROTTERDAM

Shunt-series topologie

- Shunt-series = current amplifier:
  - Source-signal: current
  - Output-signal: current
- Bepaal de versterking met feedback
- Bepaal de ingangsimpedantie
- Bepaal de uitgangsimpedantie
- Leg uit waarom de resultaten gewenst zijn

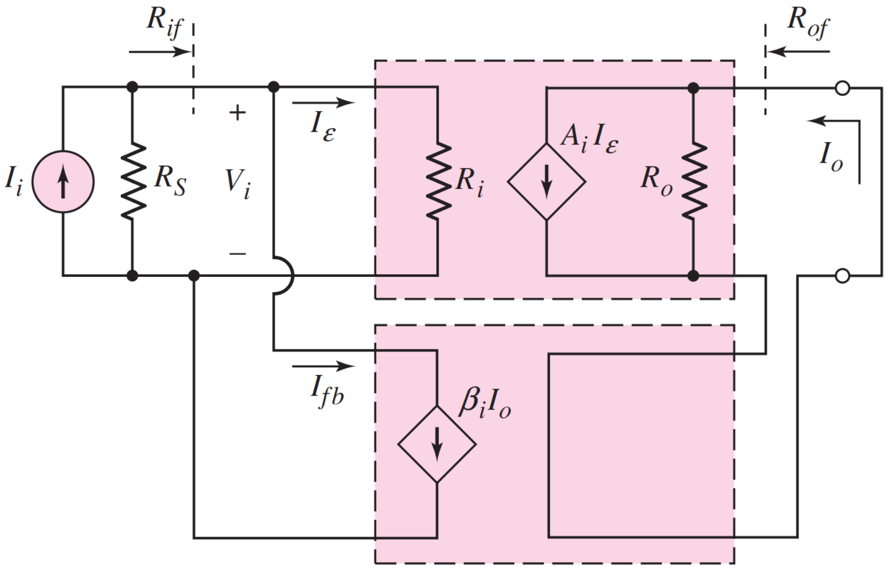


Figure 12.9 Ideal shunt–series feedback topology

Shunt-series topologie

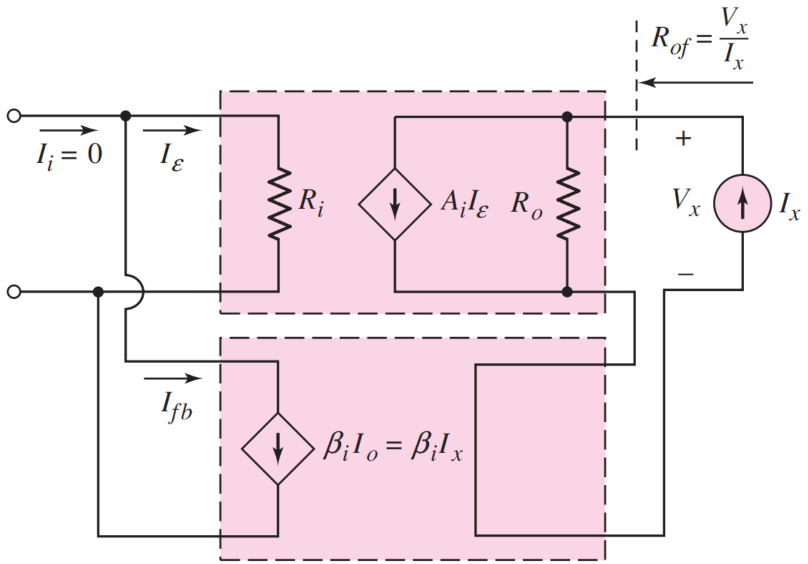


Figure 12.10 Ideal shunt–series feedback configuration for determining output resistance

- Hint voor de uitgangsimpedantie:
  - Zet de ingangsstroom $I_i = 0$: open klem
  - Zet een spanningsbron V_x op de uitgang
  - Bepaal de spanning V_x over deze stroomsbron
  - Bereken $R_{of} = \frac{V_x}{I_x}$

Series-series topologie

- Series-series = transconductor amplifier:
  - Source-signal: voltage
  - Output-signal: current
- Bepaal de versterking met feedback
- Bepaal de ingangsimpedantie
- Bepaal de uitgangsimpedantie
- Leg uit waarom de resultaten gewenst zijn

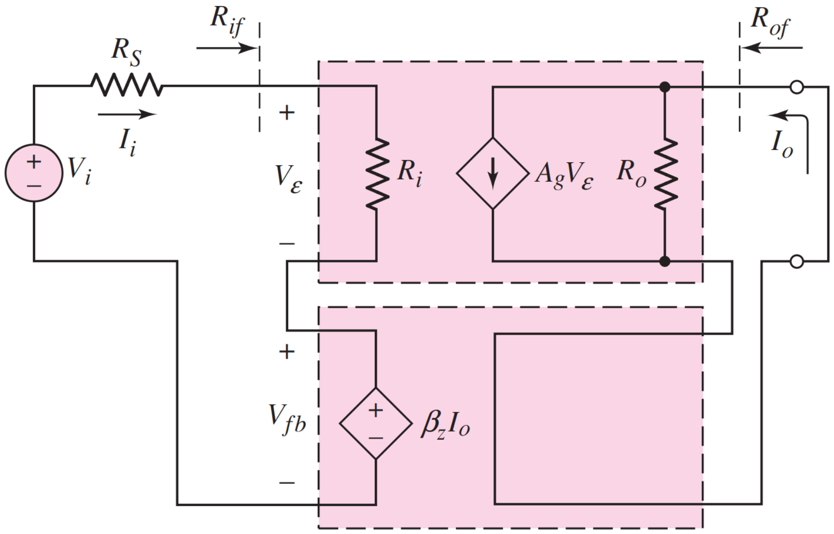


Figure 12.12 Ideal series–series feedback topology

Shunt-shunt topologie

- Shunt-shunt = transresistor amplifier:
  - Source-signal: current
  - Output-signal: voltage
- Bepaal de versterking met feedback
- Bepaal de ingangsimpedantie
- Bepaal de uitgangsimpedantie
- Leg uit waarom de resultaten gewenst zijn

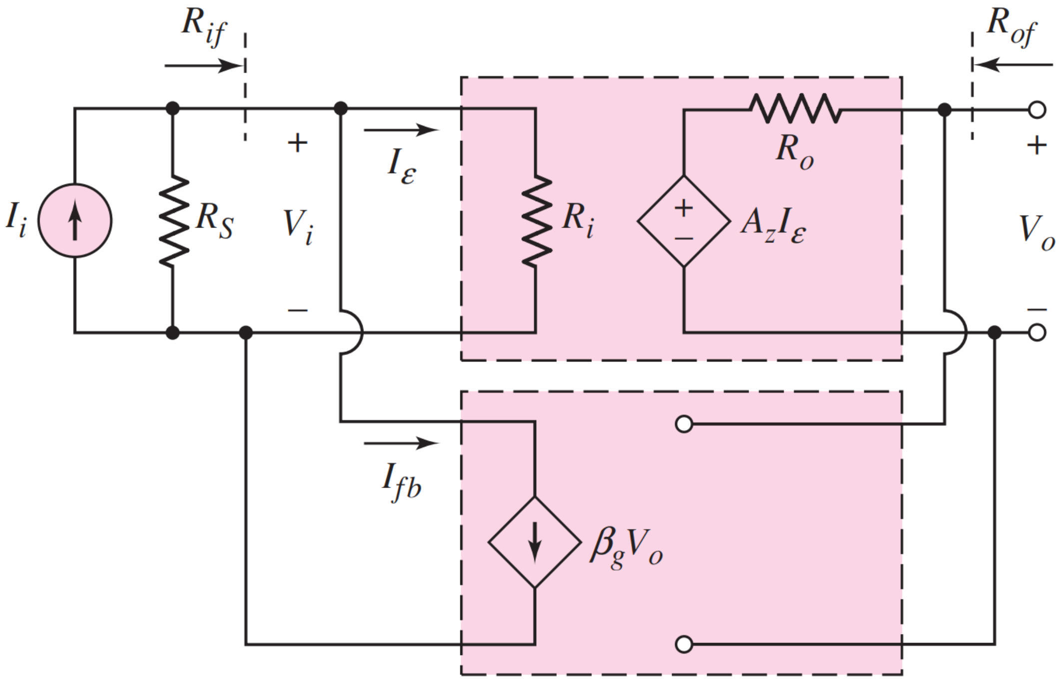


Figure 12.14 Ideal shunt–shunt feedback topology

Samenvatting feedback topologieën

Table 12.1 Summary results of feedback amplifier functions for the ideal feedback circuit

Feedback amplifier	Source signal	Output signal	Transfer function	Input resistance	Output resistance
Series–shunt (voltage amplifier)	Voltage	Voltage	$A_{vf} = \dfrac{V_o}{V_i} = \dfrac{A_v}{(1 + \beta_v A_v)}$	$R_i(1 + \beta_v A_v)$	$\dfrac{R_o}{(1 + \beta_v A_v)}$
Shunt–series (current amplifier)	Current	Current	$A_{if} = \dfrac{I_o}{I_i} = \dfrac{A_i}{(1 + \beta_i A_i)}$	$\dfrac{R_i}{(1 + \beta_i A_i)}$	$R_o(1 + \beta_i A_i)$
Series–series (transconductance amplifier)	Voltage	Current	$A_{gf} = \dfrac{I_o}{V_i} = \dfrac{A_g}{(1 + \beta_z A_g)}$	$R_i(1 + \beta_z A_g)$	$R_o(1 + \beta_z A_g)$
Shunt–shunt (transresistance amplifier)	Current	Voltage	$A_{zf} = \dfrac{V_o}{I_i} = \dfrac{A_z}{(1 + \beta_g A_z)}$	$\dfrac{R_i}{(1 + \beta_g A_z)}$	$\dfrac{R_o}{(1 + \beta_g A_z)}$

Nazorg

Behandeld is:

Boek Neamen, Paragraaf 12.1 t/m 12.7

Maak de volgende opgaven:

12.1 t/m 12.11, 12.13, 12.15

12.16, 12.17, 12.20, 12.21, 12.24, 12.25, 12.28, 12.29

12.35, 12.45, 12.55, 12.62

Voor volgende week:

Voorbereiden op het tentamen