

# Circuits and Signal Processing

## ET2405-d2

5e college

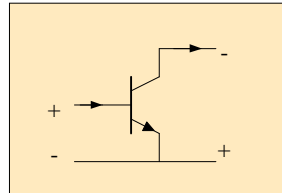
Arie van Staveren en Wouter A. Serdijn

## Leerdoelen

Na afloop van dit college kan je:

- uitleggen waarom de CE en CS trap en hun diff. uitvoering de basisbouwblokken zijn voor nullorsynthese;
- de kettingmatrix bepalen van een samenstelling van basisbouwblokken;
- een nullorimplementatie maken met CE en CS trappen en hun diff. Variant;
- het ruisgedrag van een cascade van tweepoorten bepalen.

## CE, CS als nullor

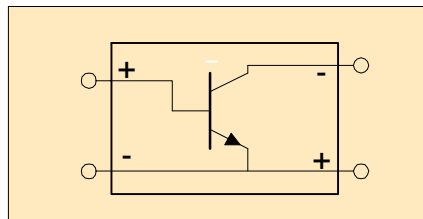


Signaalschema (verondersteld een correcte, niet weergegeven, instelling)

### CE trap : 3 terminals

➔ Beperking voor ontwerp

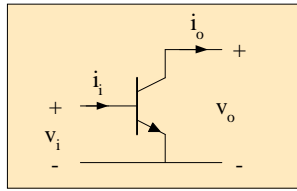
## 1-traps invulling nullor



### Bepaling relatieve polariteit terminals

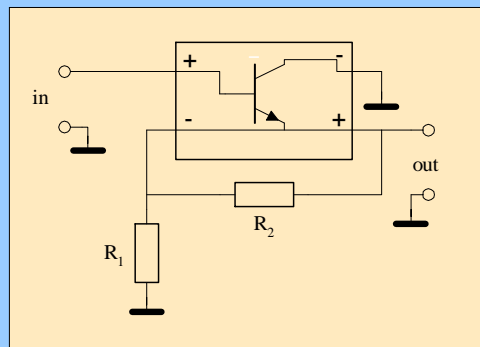
CE trap:

- B ➔ C inversie
- B ➔ E geen-inversie



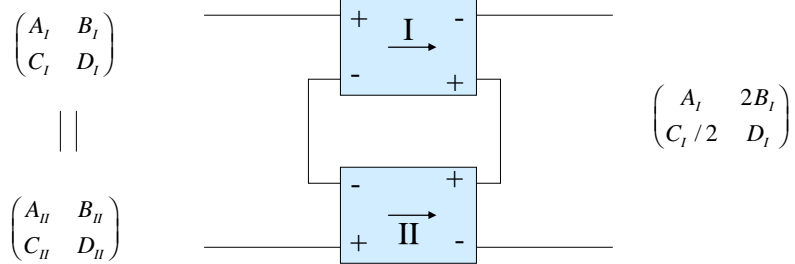
Kettingmatrix:

$$\begin{pmatrix} -\frac{V_T}{V_A} & -\frac{V_T}{I_C} \\ -I_C & -1 \\ \beta_F V_A & \beta_F \end{pmatrix}$$



Is dit een correcte invulling?

## Combineren van CE, CS trappen

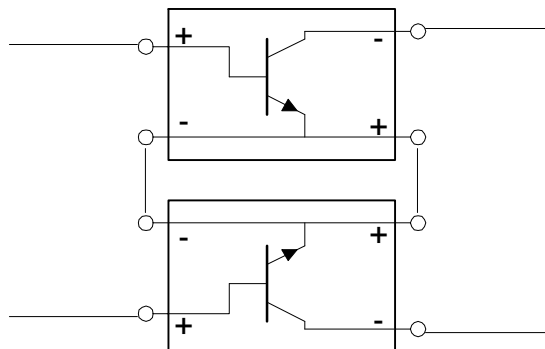


A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

7

## Differential pair / Verschilpaar

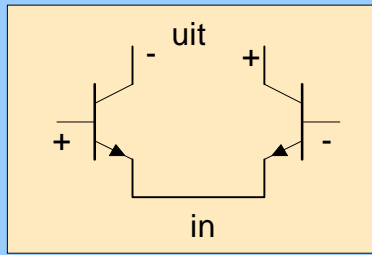


Twee anti-serie geschakelde CE trappen: **4 terminals**

A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

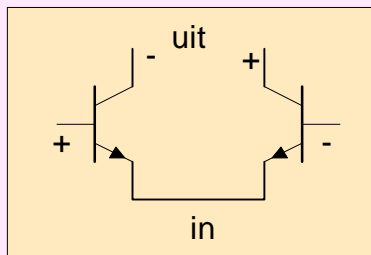
ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

8



$$\begin{pmatrix} -\frac{V_T}{V_A} & \frac{2V_T}{I_C} \\ -I_C & -1 \\ \frac{2\beta_F V_A}{\beta_F} & \beta_F \end{pmatrix}$$

Hoe is gedrag identiek te krijgen aan gedrag van CE trap?

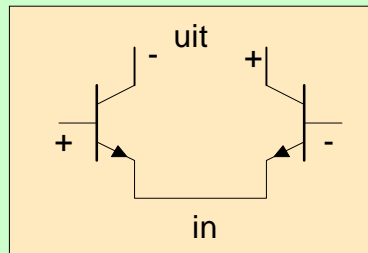


$$\begin{pmatrix} -\frac{V_T}{V_A} & \frac{2V_T}{I_C} \\ -I_C & -1 \\ \frac{2\beta_F V_A}{\beta_F} & \beta_F \end{pmatrix}$$

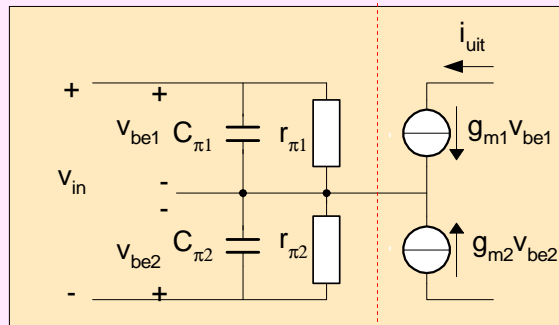
Verdubbel de instelstromen:

$$\begin{pmatrix} -\frac{V_T}{V_A} & \frac{2V_T}{2I_C} \\ -2I_C & -1 \\ \frac{2\beta_F V_A}{\beta_F} & \beta_F \end{pmatrix}$$

# Klein-sigitaal gedrag



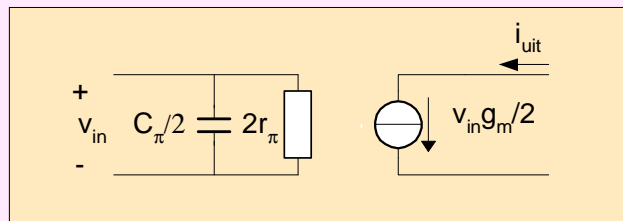
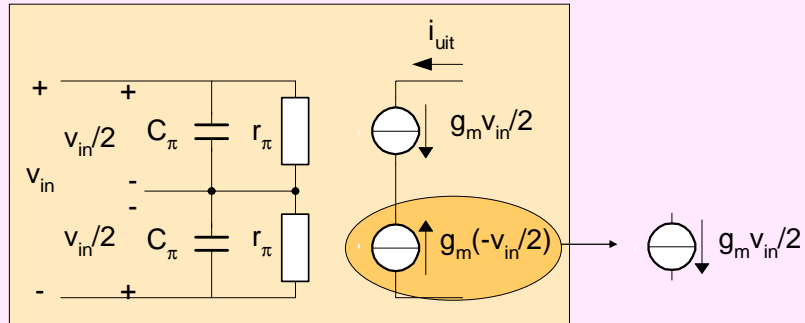
Bepaal kleinsignalschema van de differential pair uitgaande van de CE trap  
(Beide transistoren zijn gelijk)



Snede  $\Rightarrow i=0$

$$g_{m1}v_{be1} = -g_{m2}v_{be2} \Rightarrow v_{be1} = -v_{be2}$$

$$\text{Gelijke instelling : } I_{C1} = I_{C2} \Rightarrow \begin{cases} g_{m1} = g_{m2} = g_m \\ C_{\pi1} = C_{\pi2} = C_{\pi} \\ r_{\pi1} = r_{\pi2} = r_{\pi} \end{cases}$$

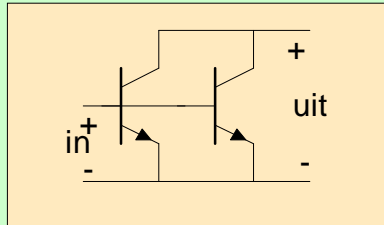


$$p = \frac{-1}{2\pi \cdot 2r_\pi \frac{C_\pi}{2}} = \frac{-1}{2\pi r_\pi C_\pi} \Rightarrow \text{= pool CE trap}$$

$$g_{m\text{-differential-pair}} = \frac{g_{m\text{-CE-trap}}}{2} \Rightarrow g_m \text{ gehalveerd}$$

Hoe de  $g_m$  weer te verdubbelen?

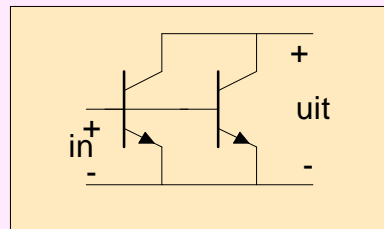
## Parallelschakeling (I)



Bereken wat de kettingmatrix wordt van deze combinatie

Wanneer de kettingmatrix van de CE trap is:  $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$

$$\begin{pmatrix} v_i \\ i_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_o \\ i_o \end{pmatrix}$$



Voor zelfde  $v_{in}$  dubbele  $i_{uit}$

„  $v_{in}$  zelfde  $v_{uit}$

„  $i_{in}$  zelfde  $i_{uit}$

„  $i_{in}$  halve  $v_{uit}$



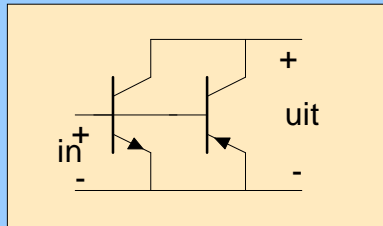
$$\begin{pmatrix} A & B/2 \\ 2C & D \end{pmatrix}$$

Schaling van transistoren



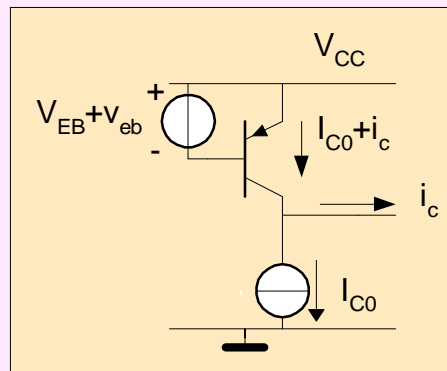
## Parallelschakeling (II)

PNP parallel NPN

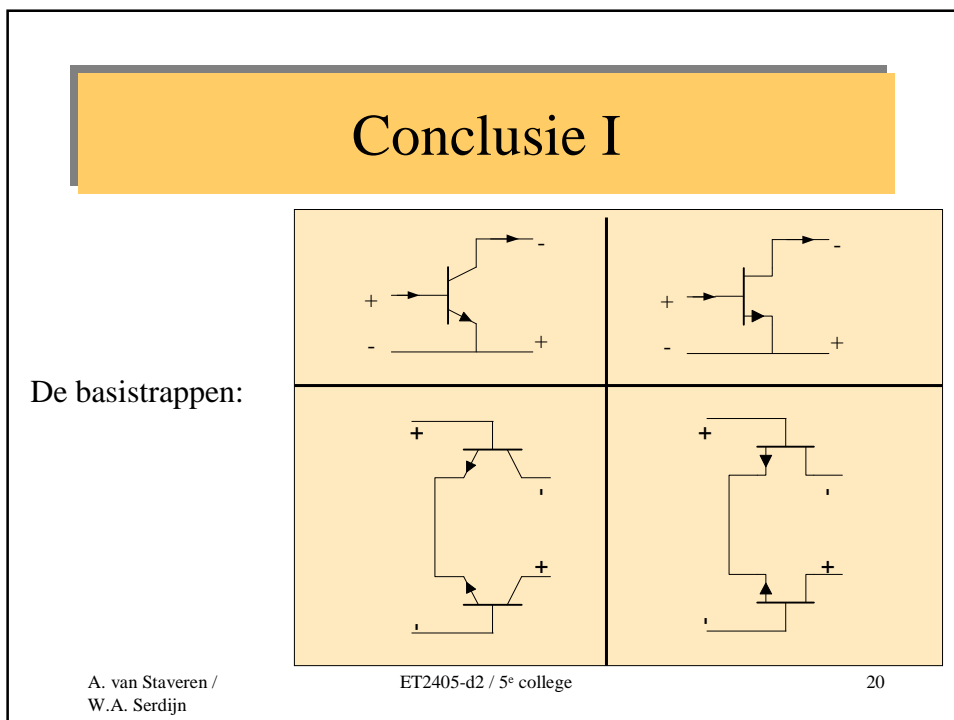
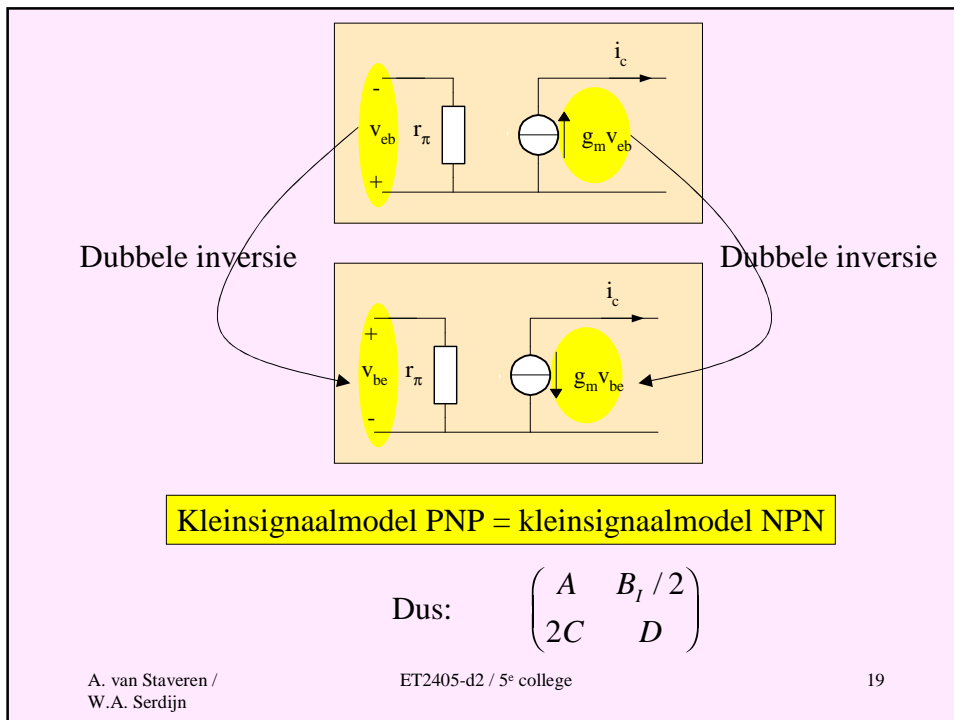


Let op!  
Signaalschema

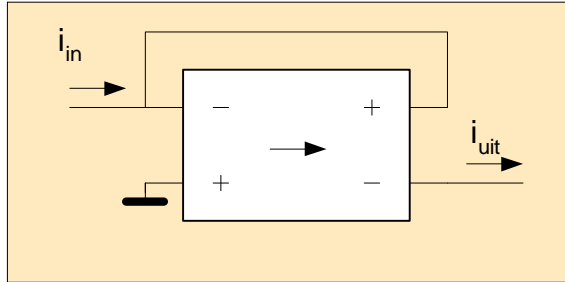
Wat is de kettingmatrix van deze combinatie als:  $\begin{pmatrix} A_N & B_N \\ C_N & D_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_P & B_P \\ C_P & D_P \end{pmatrix}$



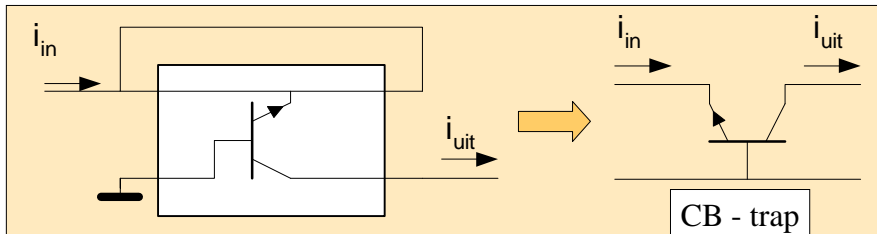
$$I_C = I_S \exp\left(\frac{qV_{EB}}{kT}\right) \Rightarrow \left. \frac{dI_C}{dV_{EB}} \right|_{I_{C0}} \Rightarrow i_c = g_m v_{eb} \quad \left( g_m = \frac{qI_{C0}}{kT} \right)$$



# Stroomvolger



Eéntraps invulling



$$\begin{pmatrix} -\frac{V_T}{V_A} & -\frac{V_T}{I_C} \\ -I_C & -1 \\ \beta_F V_A & \beta_F \end{pmatrix} \text{ CE trap}$$

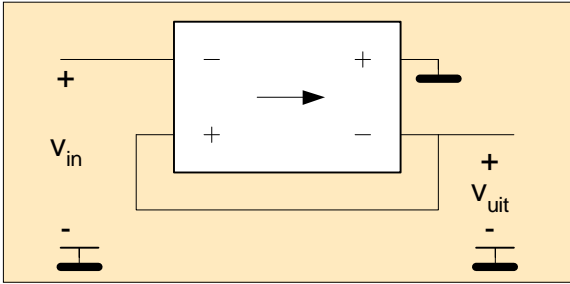
Lokale tegenkoppeling



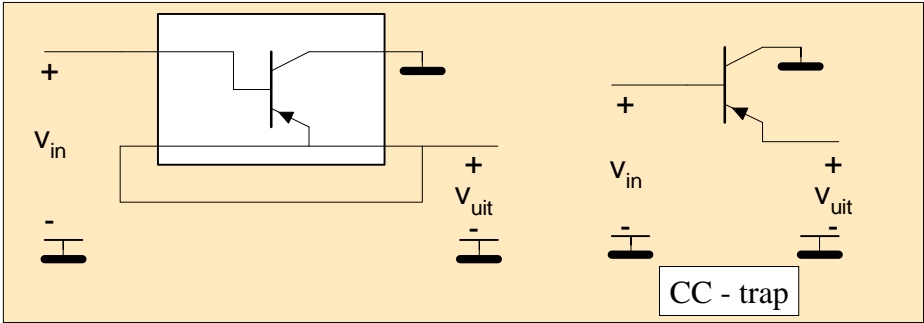
$$\begin{pmatrix} \frac{V_T}{V_A} & \frac{V_T}{I_C} \\ I_C & 1 \\ \beta_F V_A & \end{pmatrix}$$

Gebruik CB trap alleen  
wanneer een stroomvolger  
nodig is  
b.v. voor buffering

# Spanningsvolger



Eéntraps invulling



$$\begin{pmatrix} -\frac{V_T}{V_A} & -\frac{V_T}{V_A} \\ -I_C & -1 \\ \frac{\beta_F V_A}{\beta_F} & \beta_F \end{pmatrix} \text{ CE trap}$$

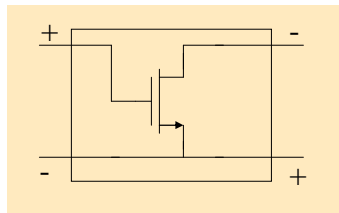


$$\begin{pmatrix} 1 & \frac{V_T}{I_C} \\ \frac{I_C}{\beta_F V_A} & \beta_f \end{pmatrix}$$

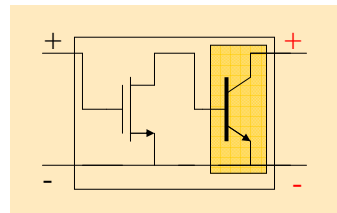
Gebruik CC trap alleen  
wanneer een spannings-  
volger nodig is  
b.v. voor buffering

# Meerdere trappen

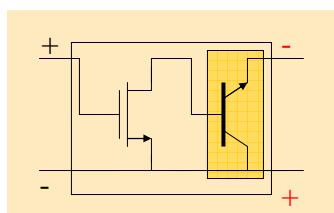
(Uitgangspunt)



1-trap



2-traps, verkeerde polariteit!



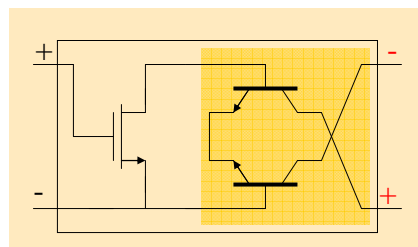
2-traps met CC-stage?

- Polariteit o.k.
- Maar .....

CC-trap  $A=1$ :

- Uitgangsspanning ook aan de uitgang van de voorgaande trap → extra vervorming

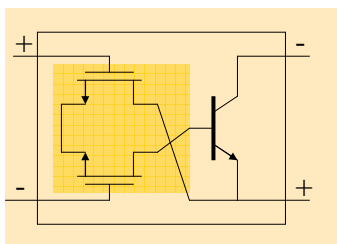
Gebruik een differential pair !



2-traps

- polariteit : o.k.
- Ketting parameters : o.k.

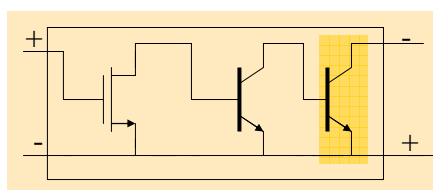
Maar ook .....



A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

29



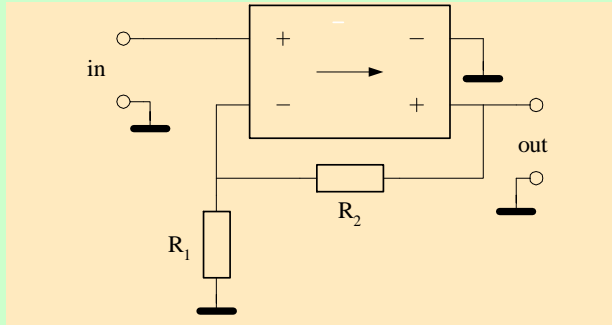
3-traps

A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

30

# Oefening

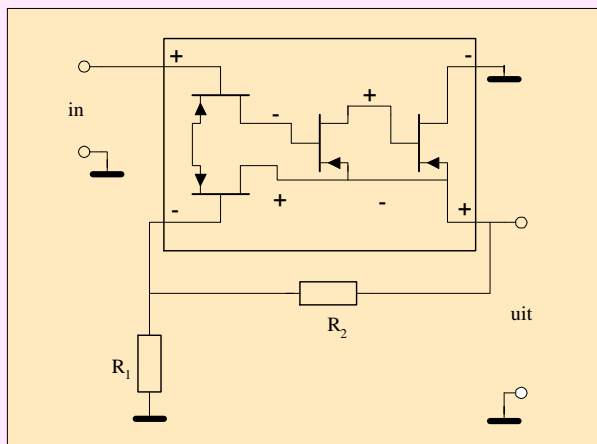


Geef een 3-traps invulling van de nullor, gebruik JFETS

A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

31



4-terminal nullor invulling nodig  
 → minstens 1 trap een 4-terminal trap

A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

32



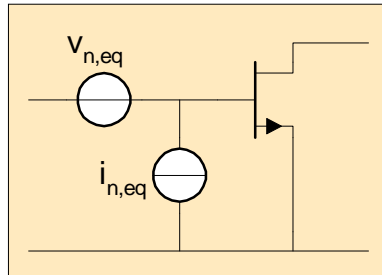
## Ruis in actieve elementen

Elk actief element heeft ruis:

- shot noise (hagelruis)
- thermische ruis

Modelleer met 2 ruisbronnen:

- $-V_{n,eq}$
- $-i_{n,eq}$

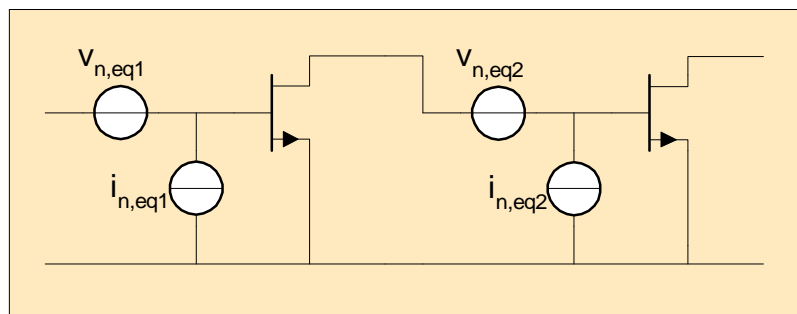


A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

33

## Cascade van trappen



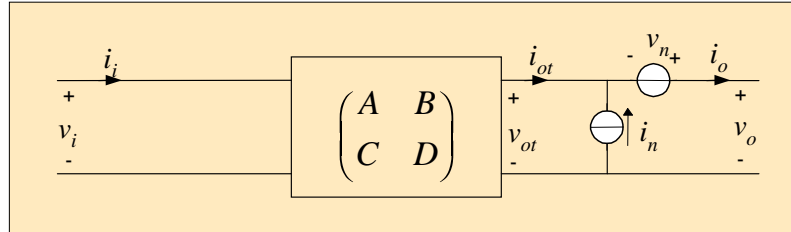
Wat is het effect van de ruis van de tweede trap?

A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

34

# Tweepoort-transformatie



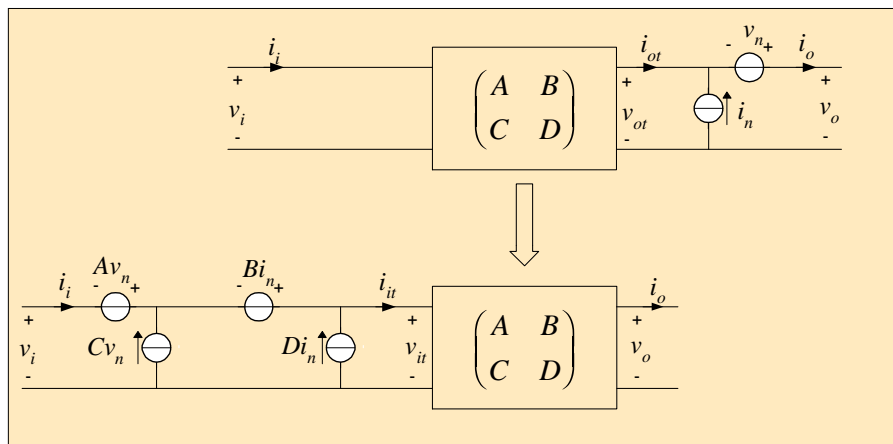
$$\begin{pmatrix} v_i \\ i_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{ot} \\ i_{ot} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_o - v_n \\ i_o - i_n \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} v_i + Av_n + Bi_n \\ i_i + Cv_n + Di_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_o \\ i_o \end{pmatrix}$$

A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

35

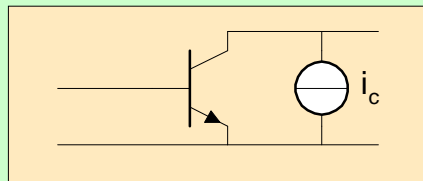


A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

36

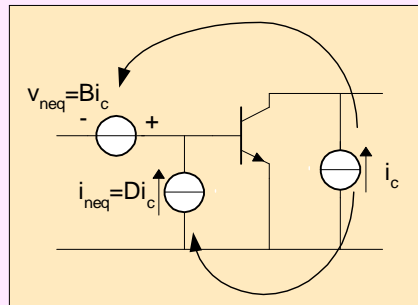
# Oefening



$$\begin{pmatrix} \frac{V_T}{V_A} & -\frac{V_T}{I_C} \\ -\frac{I_C}{\beta_F V_A} & -\frac{1}{\beta_F} \end{pmatrix}$$

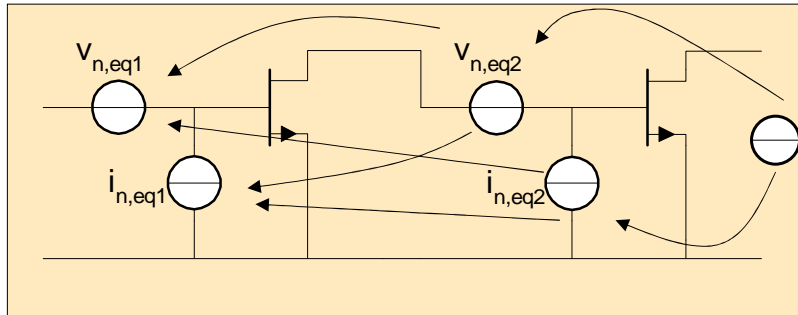
Gegeven ruisbron aan de uitgang van een bipolaire transistor:  
 $i_c$  met vermogensdichtheidsspectrum  $S_{i_c} = 2qI_C$

Bepaal equivalente bronnen en hun vermogensdichtheidsspectrum



$$\begin{aligned} S_{v_{neq}} &= B^2 S_{i_c} = \left( -\frac{V_T}{I_C} \right)^2 2qI_C = \frac{2qV_T^2}{I_C} = \frac{2qV_T}{I_C} \frac{kT}{q} = \\ &= \frac{4kT}{g_m / 2} = 4kTr_e / 2 \end{aligned}$$

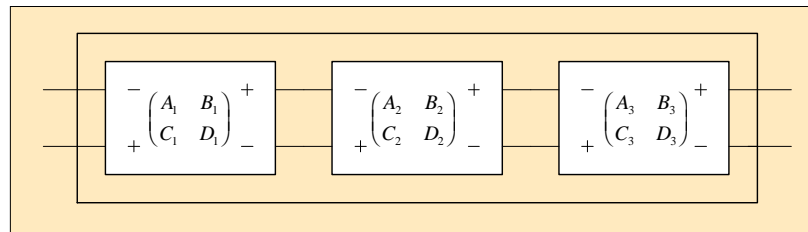
$$S_{i_{neq}} = D^2 S_{i_c} = \left( -\frac{1}{\beta_f} \right)^2 2qI_C = \frac{2qI_C}{\beta_f^2} = \frac{2qI_B}{\beta_f}$$



Dus wanneer A,B,C,D van de eerste trap klein dan ruis tweede en opvolgende trappen verwaarloosbaar!

➔ Eerste trap bepaalt ruisgedrag

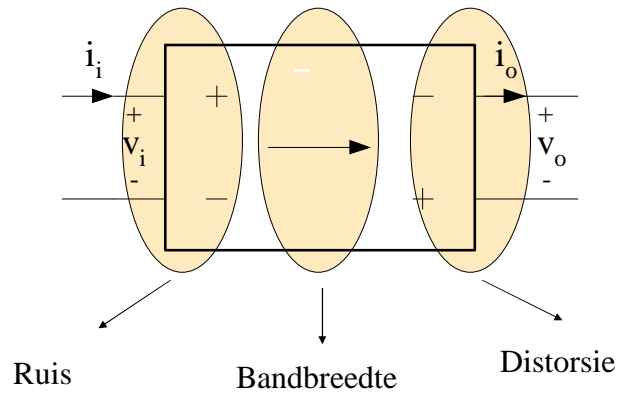
## Clipping distorsie



Wanneer  $A_3, B_3, C_3$  en  $D_3$  klein dan clipping distorsie allen bij de uitgangstrap!

## Conclusie II

Alle trappen met kleine kettingparameters (CE, CS en Diff.) dan:



A. van Staveren /  
W.A. Serdijn

ET2405-d2 / 5<sup>e</sup> college

41