

## Aufgabe 16 - Stromquelle

### Teilaufgabe a - Drainstromgleichung

$$I_D = \frac{\beta}{2} \cdot (U_{GS} - U_{Th})^2 \cdot (1 + \lambda U_{DS})$$

### Teilaufgabe b - Drainstromgleichung in Abhängigkeit von $\frac{W}{L}$

$$I_D = \frac{\beta_0}{2} \cdot (U_{GS} - U_{Th})^2 \cdot (1 + \lambda U_{DS}) \cdot \frac{W}{L}$$

### Teilaufgabe c - Kanalverkürzung

Steigt  $U_{DS}$  über  $U_{DSsat}$ , so führt dies zur Ausdehnung der Drain-Sperrschicht, was den Kanal abschnürt und verkürzt. Die Verkürzung der effektiven Kanallänge führt zu einer Steigerung von

$$\beta = \beta_0 \cdot \frac{W}{L_{eff}}$$

und damit zu einer Steigerung von  $I_D$ . Die Ausgangskennlinie im Sättigungsbereich verlaufen daher nicht ganz waagrecht, sondern  $I_D$  steigt mit  $U_{DS}$  leicht an  $\Rightarrow$  endlicher differentieller Ausgangswiderstand.

### Teilaufgabe d - Transistordimensionierung

#### Transistor 1

$$I_D = \frac{\beta_0}{2} \frac{W}{L} \cdot (U_{GG} - U_{Th})^2$$

$$\frac{W_1}{L_1} = \frac{2I_{D1}}{\beta_0 \cdot (U_{GG} - U_{Th})^2} = 2$$

#### Transistor 2

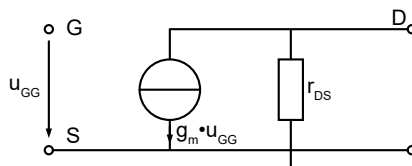
$$\frac{W_2}{L_2} = \frac{2I_{D2}}{\beta_0 \cdot (U_{GG} - U_{Th})^2} = 6$$

#### Transistor 3

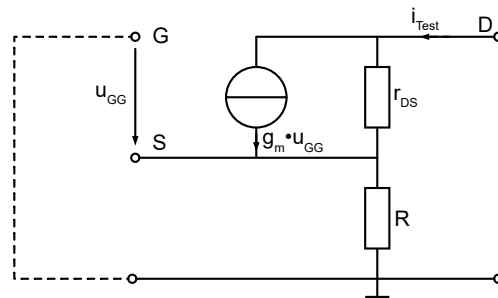
$$I_{D3} = \frac{\beta_0}{2} \frac{W_3}{L_3} \cdot (U_{GG} - R \cdot I_{D3} - U_{Th})^2$$

$$\frac{W_3}{L_3} = \frac{2I_{D3}}{\beta_0 \cdot (U_{GG} - R \cdot I_{D3} - U_{Th})^2} = 16$$

### Teilaufgabe e - Kleinsignalersatzschaltbild von $T_1$



### Teilaufgabe f - Kleinsignalersatzschaltbild von $T_3$



Bei der Stromquelle 3 handelt es sich um eine Widlar-Stromquelle. Der Vorteil dieser Schaltung ist der höhere Innenwiderstand, den diese Stromquelle aufweist. Das Gate-Source-Potential ist in dieser Schaltung nicht konstant, sondern hängt neben der Gatespannung auch vom Spannungsabfall am Widerstand  $R$  ab. Der dabei entstehende Rückkopplungseffekt führt dazu, dass der Quellstrom (Drainstrom) auch bei einer Veränderung des Drain-Potentials möglichst konstant bleibt.

Aufgrund des konstanten Gate-Potentials, kann der Gate-Anschluss im Kleinsignalersatzschaltbild auf Masse gezogen werden. Ein Teststrom führt nun an  $r_{DS}$  zu einem Spannungsabfall von

$$u_{DS} = u_D - u_S = r_{DS} \cdot (i_{Test} - g_m \cdot u_S).$$

Damit ergibt sich für  $u_S$

$$u_S = u_D - r_{DS} \cdot (i_{Test} - g_m \cdot u_S)$$

beziehungsweise

$$u_S = R \cdot i_{Test}.$$

Damit ergibt sich für den Ausgangswiderstand

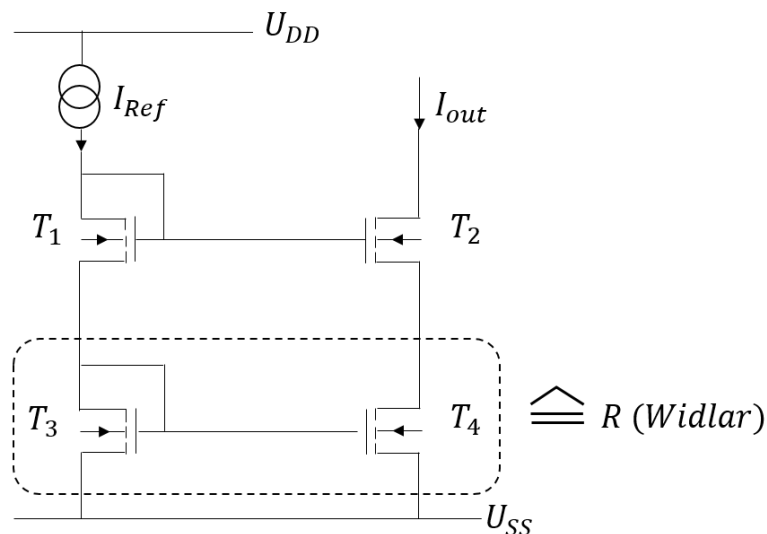
$$u_D - r_{DS} \cdot (i_{Test} - g_m \cdot R \cdot i_{Test}) = R \cdot i_{Test}$$

$$u_D = i_{Test} \cdot (R + r_{DS} + g_m \cdot R \cdot r_{DS})$$

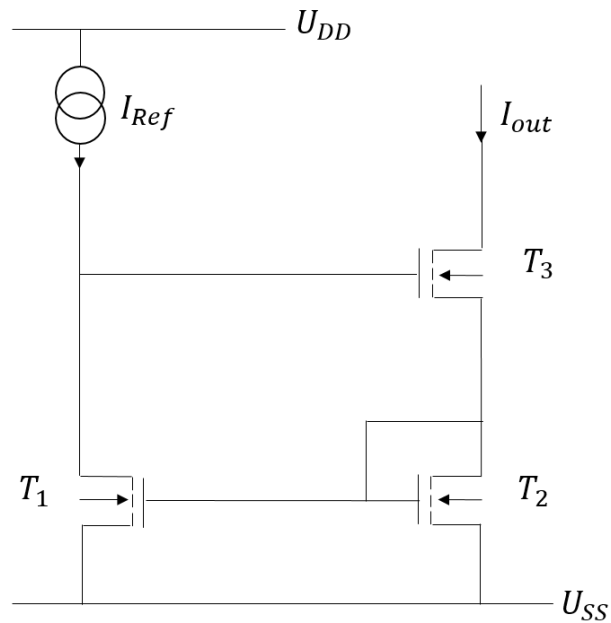
$$R_{aus} = \frac{u_D}{i_{Test}} = R + r_{DS} \cdot (1 + g_m R).$$

### Teilaufgabe g - Weitere Stromquellen

#### Stromspiegel-Kaskode



## Wilson-Stromquelle

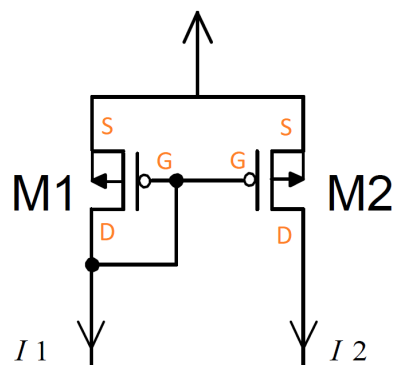


## Aufgabe 17 - Stromquelle

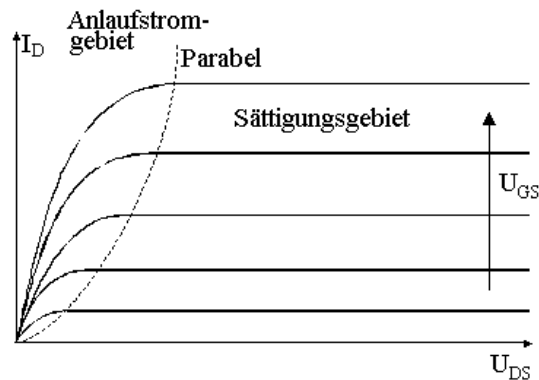
### Teilaufgabe a - Transistortyp

N-Kanal MOSFET enhancement Typ.

### Teilaufgabe b - Stromspiegel mit P-MOS



### Teilaufgabe c - Ausgangskennlinienfeld



### Teilaufgabe d - Arbeitsbereich

Damit der Laststrom möglichst unabhängig von der Ausgangsspannung wird, müssen die Transistoren im Sättigungsbereich arbeiten:

$$I_D = \frac{\beta}{2} (U_{GS} - U_{th})^2 (1 + \lambda U_{DS})$$

### Teilaufgabe e - Schaltungsdimensionierung

#### Transistor 1

$$I_{D1} = \frac{\beta_1}{2} (U_{GG} - U_T)^2$$

$$\beta_1 = \frac{2I_{D1}}{(U_{GG} - U_T)^2} = 500 \frac{\mu A}{V^2}$$

#### Transistor 2

$$I_{D1} = \frac{\beta_2}{2} (U_{GG} - U_T)^2$$

$$\beta_2 = \frac{2I_{D2}}{(U_{GG} - U_T)^2} = \frac{2 \cdot \left(\frac{P_R}{U_R}\right)}{(U_{GG} - U_T)^2} = 1000 \frac{\mu A}{V^2}$$

### Teilaufgabe f - Transistordimensionierung

#### Transistor 1

$$\beta_1 = \beta_0 \cdot \frac{W_1}{L_1}$$

$$\frac{W_1}{L_1} = \frac{\beta_1}{\beta_0} = 2$$

#### Transistor 2

$$\frac{W_2}{L_2} = \frac{\beta_2}{\beta_0} = 4$$

## Teilaufgabe g - Stimmen Arbeitsbereiche überein?

Die Transistoren befinden sich im Sättigungsbereich wenn

$$U_{DS} > U_{DS,sat} = U_{GS} - U_{th}$$

gilt.

**T1**

$$U_{DS} = U_{DD} - U_F > U_{GG} - U_T$$

$$9,3V > 2V$$

Damit befindet sich T1 im Sättigungsbereich.

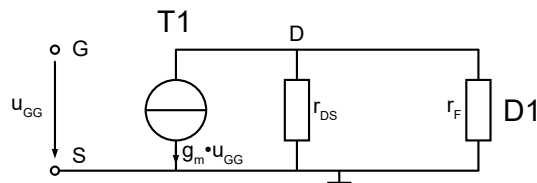
**T2**

$$U_{DD} - U_R > U_{GG} - U_T$$

$$5V > 2V$$

Damit befindet sich T2 im Sättigungsbereich.

## Teilaufgabe h - Kleinsignalersatzschaltbild und $r_{out1}$



## Teilaufgabe i - Verbesserung der Stromquelle 2

Ein zusätzlicher Widerstand  $R_S$  zwischen Source und Masse führt zu einem stabileren Ausgangsstrom. Der dabei entstehende Rückkopplungseffekt führt dazu, dass der Quellstrom auch bei einer Veränderung des Drain-Potentials möglichst konstant bleibt. Diese Schaltungsvariante nennt sich Widlar-Stromquelle.

## Aufgabe 18 - Schaltbare Stromquelle

### Teilaufgabe a - Stromgleichung

$$I_D = \frac{\beta_0}{2} \cdot \frac{W}{L} (U_{GS} - U_{th})^2 (1 + \lambda U_{DS})$$

### Teilaufgabe b - Kanalverkürzung

Steigt  $U_{DS}$  über  $U_{DSsat}$ , so führt dies zur Ausdehnung der Drain-Sperrschicht, was den Kanal abschnürt und verkürzt. Die Verkürzung der effektiven Kanallänge führt zu einer Steigerung von

$$\beta = \beta_0 \cdot \frac{W}{L_{eff}}$$

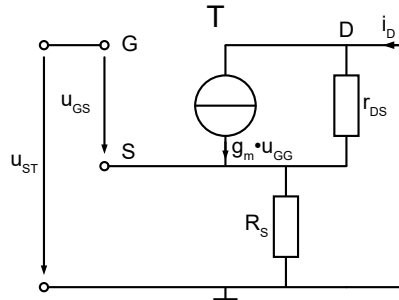
und damit zu einer Steigerung von  $I_D$ . Die Ausgangskennlinie im Sättigungsbereich verlaufen daher nicht ganz waagrecht, sondern  $I_D$  steigt mit  $U_{DS}$  leicht an  $\Rightarrow$  endlicher differentieller Ausgangswiderstand.

### Teilaufgabe c - Transistordimensionierung

$$I_D = \frac{\beta_0}{2} \cdot \frac{W}{L} (U_{ST} - R_S I_D - U_T)^2$$

$$\frac{W}{L} = \frac{2 \cdot I_D}{\beta_0 (U_{ST} - R_S I_D - U_T)^2} = 0,73$$

### Teilaufgabe d - Kleinsignalersatzschaltbild



### Teilaufgabe e - Ausgangswiderstand

Zur Herleitung des Ausgangswiderstands bitte Teilaufgabe f von Aufgabe 16 ansehen:

$$R_{aus} = R_S + r_{DS} \cdot (1 + g_m R_S) = 400,5 k\Omega$$

### Teilaufgabe f - Schaltungsvariante

Das Gate-Source-Potential ist in dieser Schaltung nicht konstant, sondern hängt neben der Gatespannung auch vom Spannungsabfall am Widerstand  $R_S$  ab. Der dabei entstehende Rückkopplungseffekt führt dazu, dass der Quellstrom (Drainstrom) auch bei einer Veränderung des Drain-Potentials möglichst konstant bleibt. Diese Schaltungsvariante nennt sich Widlar-Stromquelle.

### Teilaufgabe g - Gateansteuerung

Das Gate eines MOSFETs kann näherungsweise als stromlos betrachtet werden. Lediglich beim Umladen der Gatekapazitäten fließt ein elektrischer Strom. Ebendiese Kapazitäten führen dazu, dass das Gatepotential beim einem geöffneten Schalter  $S_1$  unverändert bleibt und der Transistor weiterhin leitet.