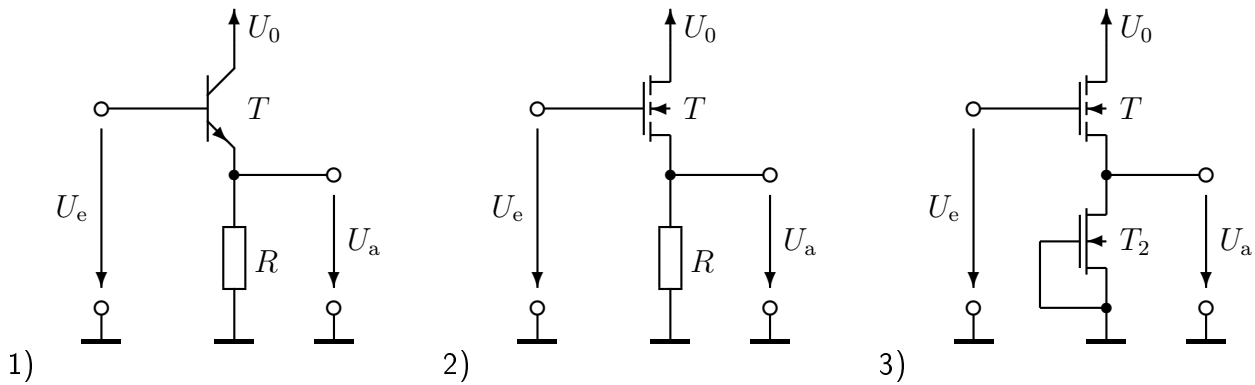


## BEISPIEL 5.1: Sourcefolger



Versorgungsspannung:  $U_0 = 5 \text{ V}$   
 Eingangs-Ruhespannung:  $U_{e0} = 4 \text{ V}$   
 Generator-Innenwiderstand:  $R_G = 1 \text{ k}\Omega$

Kollektor-Ruhestrom:  $I_{C0} = 1 \text{ mA}$   
 Drain-Ruhestrom:  $I_{D0} = 1 \text{ mA}$

*Bipolartransistor:*

Flussspannung:  $U_f = 0,6 \text{ V}$   
 Temperaturspannung:  $U_T = 25 \text{ mV}$   
 Stromverstärkung:  $B = 100$   
 Early-Spannung:  $U_Y = 50 \text{ V}$   
 Restspannung:  $U_{CEsat} = 0,1 \text{ V}$

*MOSFETs:*

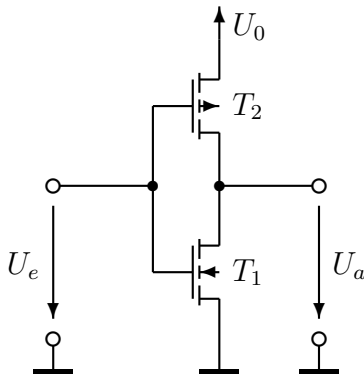
Schwellenspannung  $T$ :  $U_{th} = 1 \text{ V}$   
 Steuerfaktor  $T$ :  $\beta = 2,5 \text{ mA/V}^2$   
 Schwellenspannung  $T_2$ :  $U_{th2} = -1 \text{ V}$   
 Early-Spannung:  $U_Y = 50 \text{ V}$

Lösen Sie für jede der 3 Schaltungen folgende Aufgaben und vergleichen Sie die Ergebnisse:

- Berechnen Sie die Ausgangs-Ruhespannung  $U_{a0}$  und dimensionieren Sie den Widerstand  $R$  bzw. den Steuerfaktor  $\beta_2$  von MOSFET  $T_2$ , sodass sich der Arbeitspunkt einstellt.
- Berechnen Sie unter Berücksichtigung der Early-Leitwerte die Spannungsverstärkung  $v_u$ .
- Berechnen Sie unter Berücksichtigung der Early-Leitwerte den Eingangswiderstand  $r_e$ .
- Berechnen Sie unter Berücksichtigung der Early-Leitwerte den Ausgangswiderstand  $r_a$ .

	Schaltung 1	Schaltung 2	Schaltung 3
$R$ bzw. $\beta_2$			
$1/g_m$			
$1/g_{CE}$ bzw. $1/g_{DS}$			
$U_{a0}$			
$v_u$			
$r_e$			
$r_a$			

## BEISPIEL 5.2: CMOS-Inverter



Versorgungsspannung:  $U_0 = 5 \text{ V}$

Schwellenspannungen:  $U_{th1} = \overline{U}_{th2} = 1 \text{ V}$

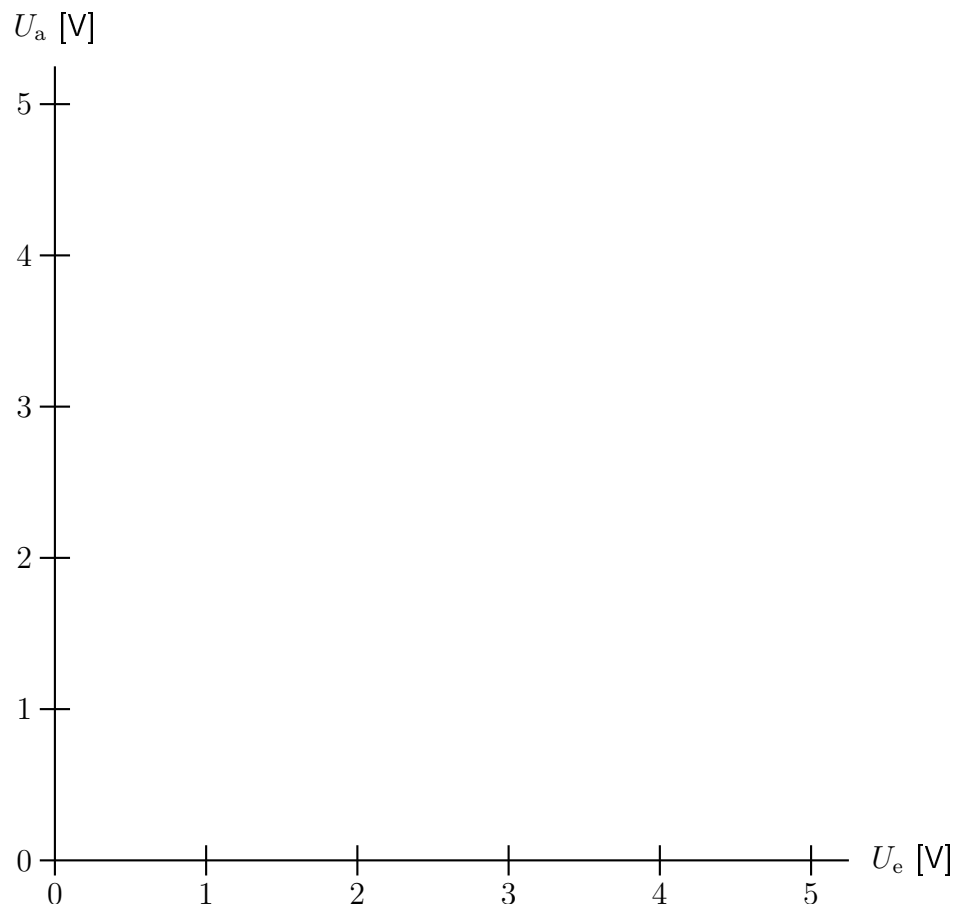
Steuerfaktoren:  $\beta_1 = \beta_2 = 0,25 \text{ mA/V}^2$

Der CMOS-Inverter ist das einfachste logische Glied in CMOS-Technologie.

Ermitteln Sie die Übertragungskennlinie  $U_a(U_e)$

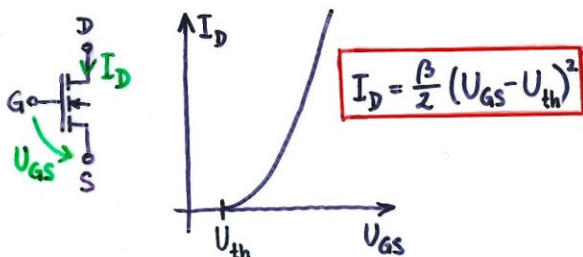
- (a) in jenen Bereichen, in denen jeweils einer der Transistoren sperrt.
- (b) in jenem Bereich, in dem beide Transistoren im Stromquellenbereich arbeiten.
- (c) in jenen Bereichen, in denen jeweils ein Transistor im Stromquellenbereich und der andere im Ohmschen Bereich arbeitet.

*Hinweis:* Die einzelnen Bereiche der Kennlinie gehen stetig mit stetigen Tangenten ineinander über.



# STEUERKENNLINIE IM STROMQUELLENBEREICH

## nMOS - Transistor



Schwellspannung  $U_{th}$  technol. einstellbar  
Arbeitspunkt auf quadrat. Kennlinie

Steilheit:  $g_m = \sqrt{2\beta I_D}$  (geringer)

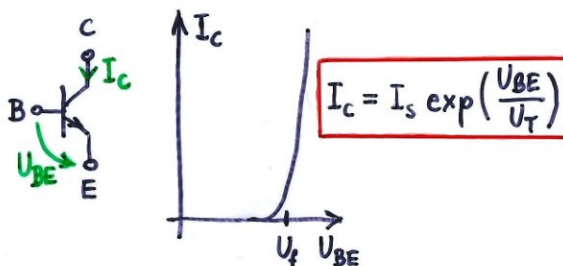
Gatestrom:  $\approx 0$

Kleinsignalverhalten: FET kann wie Bipolartransistor mit  $B \rightarrow \infty$  und anderem Wert von  $g_m$  behandelt werden

$U_{th} > 0$  ... Selbstsperrender nMOSFET

$U_{th} < 0$  ... Selbstleitender nMOSFET

## Bipolartransistor



Flußspannung  $U_f$  durch Physik vorgegeben ( $\sim 0.6V$ )  
Meist kann mit festem  $U_f$  gerechnet werden

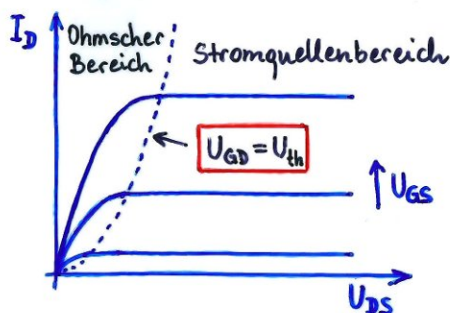
Steilheit:  $g_m = \frac{I_C}{U_T}$  (größer)

Basisstrom:  $I_B = I_C / B$  ( $B \approx 100$ )

## ARBEITSBEREICHE

Voraussetzung:  $U_{DS} \geq 0$  sonst  $D \leftrightarrow S$

	$U_{GS} > U_{th}$	$U_{GS} < U_{th}$
$U_{GD} > U_{th}$	<u>Ohmscher Bereich</u>	-
$U_{GD} < U_{th}$	<u>Stromquellenbereich</u>	<u>sperrt</u>



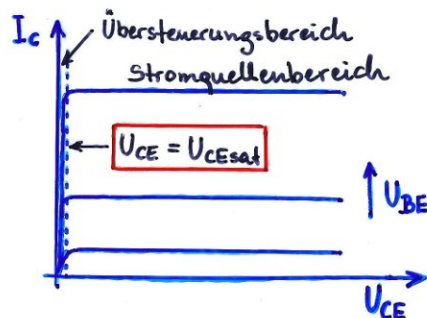
Ohmscher B.:  $I_D = \beta \cdot \left[ (U_{GS} - U_{th}) \cdot U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right]$

Stromqu.-B.:  $I_D = \frac{\beta}{2} (U_{GS} - U_{th})^2$

Ausgangsleitwert im Strq.B:  $g_{DS} = \frac{I_{D0}}{U_y}$

Voraussetzung:  $U_{CE} \geq 0$  sonst  $C \leftrightarrow E$

	$U_{BE} \approx U_f$	$U_{BE} \ll U_f$
$U_{CE} \approx U_{CEsat}$	<u>Übersteuerungsbereich</u>	<u>sperrt</u>
$U_{CE} > U_{CEsat}$	<u>Stromquellenbereich</u>	<u>sperrt</u>

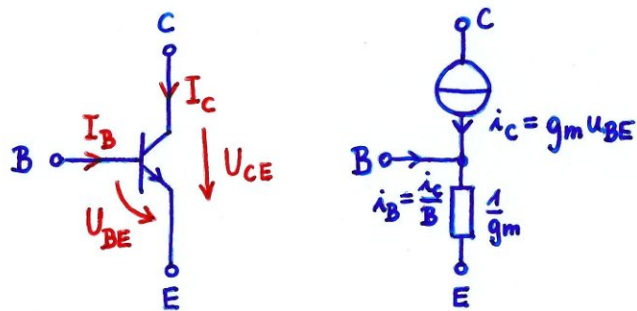


Übersteuerungsbereich:  $U_{BE} \approx U_f, U_{CE} \approx U_{CEsat}$

Stromquellenbereich:  $U_{BE} \approx U_f, I_B = I_C / B$

Ausgangsleitwert im Strq.B:  $g_{CE} = \frac{I_{C0}}{U_y}$

## nnp - TRANSISTOR



Stromquellenbereich:  $U_{CE} > U_{CEsat} (\approx 0,2V)$

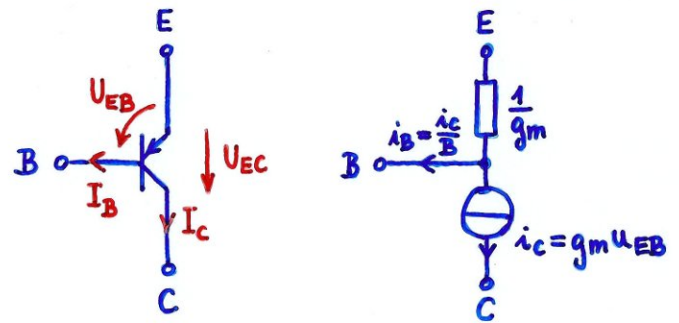
$$I_C = I_S \cdot \exp\left(\frac{U_{BE}}{U_T}\right)$$

$$U_{BE} \approx U_f (\approx 0,6V)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$g_m = \frac{I_C}{U_T}$$

## pnp - TRANSISTOR



Stromquellenbereich:  $U_{EC} > U_{ECsat} (\approx 0,2V)$

$$I_C = I_S \cdot \exp\left(\frac{U_{EB}}{U_T}\right)$$

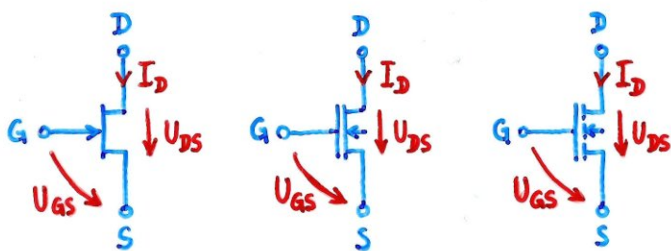
$$U_{EB} \approx U_f (\approx 0,6V)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$g_m = \frac{I_C}{U_T}$$

**REGEL**: npn  $\rightarrow$  pnp: Alle Bezugsrichtungen für Ströme und Spannungen umdrehen  
 $\Rightarrow$  Beziehungen bleiben gleich

## n-Kanal FET



n-Kanal JFET

selbstleit. nMOS

selbstsp. nMOS

Sperrbereich:  $U_{GS} < U_{th}$

Ohmscher Bereich:  $U_{GS} > U_{th}$ ,  $U_{GD} > U_{th}$

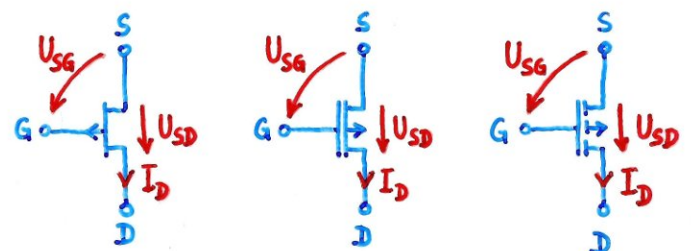
$$I_D = \beta \left[ (U_{GS} - U_{th}) U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right]$$

Stromquellenbereich:  $U_{GS} > U_{th}$ ,  $U_{GD} < U_{th}$

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

$$g_m = \sqrt{2\beta I_D}$$

## p-Kanal FET



p-Kanal JFET

selbstleit. pMOS

selbstsp. pMOS

Sperrbereich:  $U_{SG} < \bar{U}_{th}$

Ohmscher Bereich:  $U_{SG} > \bar{U}_{th}$ ,  $U_{DG} > \bar{U}_{th}$

$$I_D = \beta \left[ (U_{SG} - \bar{U}_{th}) U_{SD} - \frac{1}{2} U_{SD}^2 \right]$$

Stromquellenbereich:  $U_{SG} > \bar{U}_{th}$ ,  $U_{DG} < \bar{U}_{th}$

$$I_D = \frac{\beta}{2} (U_{SG} - \bar{U}_{th})^2$$

$$g_m = \sqrt{2\beta I_D}$$

**ACHTUNG**: allg. gebräuchliche Definition der  
 Schwellspannung:  $U_{th} = -\bar{U}_{th}$