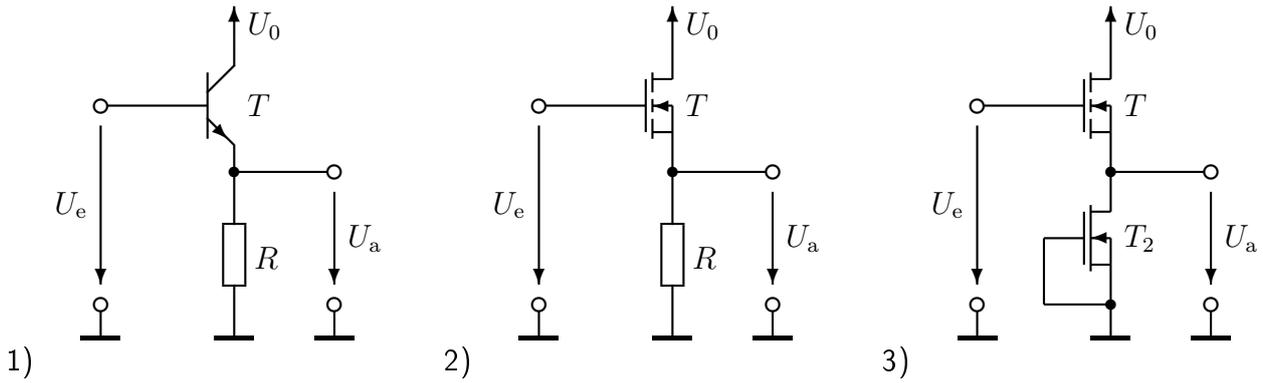


BEISPIEL 5.1: Sourcefolger



Versorgungsspannung: $U_0 = 5 \text{ V}$
 Eingangsruespannung: $U_{e0} = 4 \text{ V}$
 GeneratorInnenwiderstand: $R_G = 1 \text{ k}\Omega$

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:

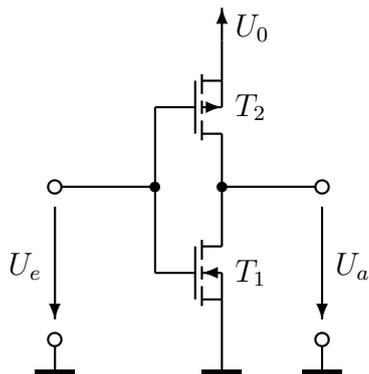
Schwellesspannung T : $U_{th} = 1 \text{ V}$
 Steuerfaktor T : $\beta = 2,5 \text{ mA/V}^2$
 Schwellesspannung T_2 : $U_{th2} = -1 \text{ V}$
 Early-Spannung: $U_Y = 50 \text{ V}$

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

- Berechnen Sie die Ausgangsruespannung U_{a0} und dimensionieren Sie den Widerstand R bzw. den Steuerfaktor β_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. β_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: $U_0 = 5 \text{ V}$

Schwelligenspannungen: $U_{\text{th1}} = \bar{U}_{\text{th2}} = 1 \text{ V}$

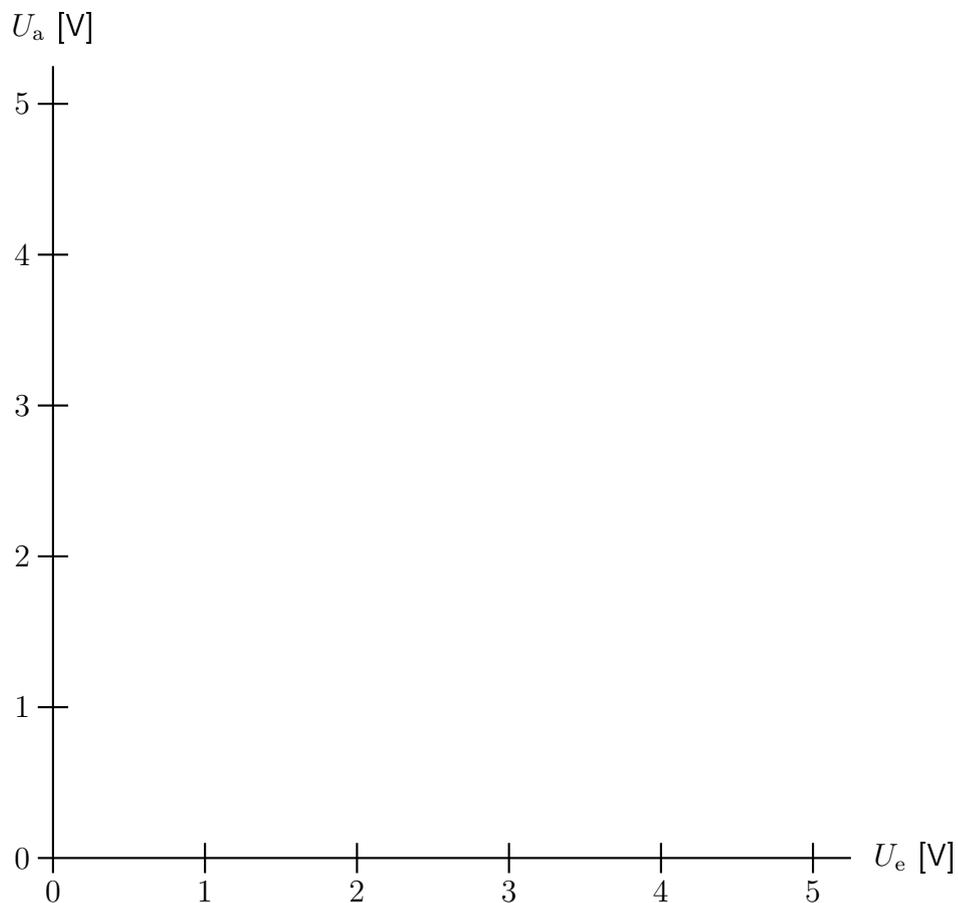
Steuerfaktoren: $\beta_1 = \beta_2 = 0,25 \text{ mA/V}^2$

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

Ermitteln Sie die Übertragungskennlinie $U_a(U_e)$

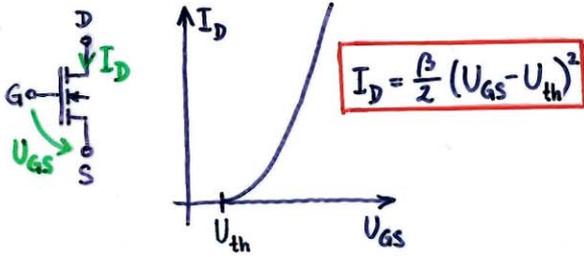
- in jenen Bereichen, in denen jeweils einer der Transistoren sperrt.
- in jenem Bereich, in dem beide Transistoren im Stromquellenbereich arbeiten.
- in jenen Bereichen, in denen jeweils ein Transistor im Stromquellenbereich und der andere im Ohmschen Bereich arbeitet.

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



STUERKENNLINIE IM STROMQUELLENBEREICH

nMOS - Transistor



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

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

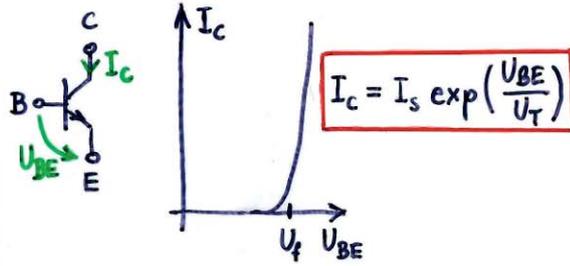
Gatestrom: ≈ 0

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 ($\approx 0.6V$)
Meist kann mit festem U_f gerechnet werden

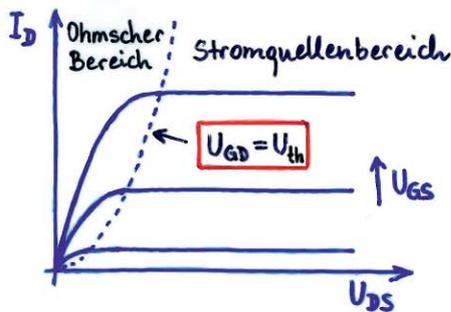
Steilheit: $g_m = \frac{I_C}{U_T}$ (größer)

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>



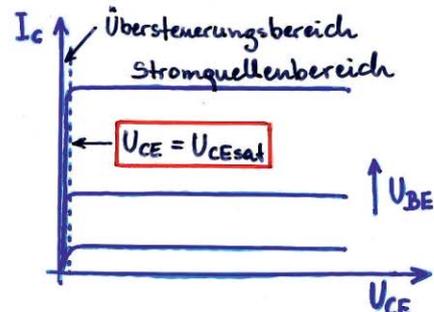
Ohmscher B.: $I_D = \beta \cdot \left[(U_{GS} - U_{th}) \cdot U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right]$

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>

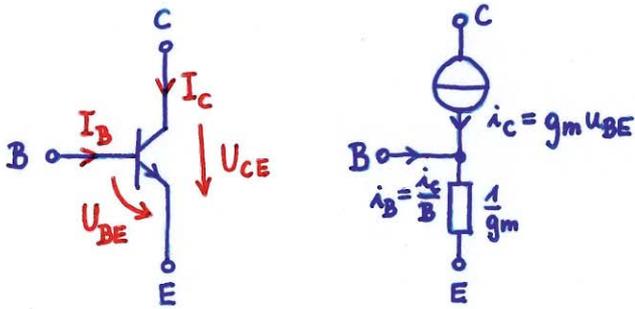


Übersteuerungsbereich: $U_{BE} \approx U_f, U_{CE} \approx U_{CEsat}$

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

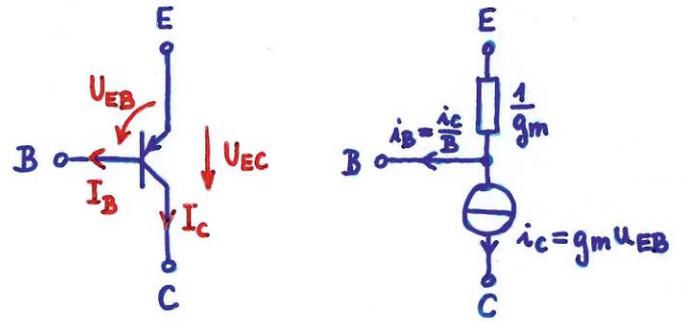
$$I_C = I_S \cdot \exp\left(\frac{U_{BE}}{U_T}\right)$$

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

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

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

pnp - TRANSISTOR



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

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

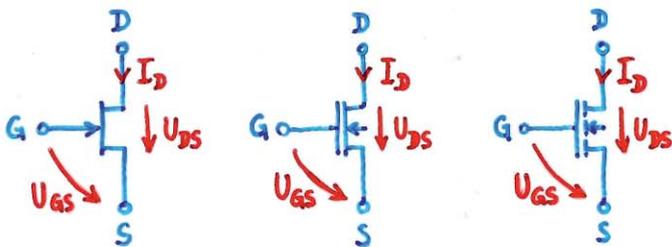
$$U_{EB} \approx U_f (\approx 0,6V)$$

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

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

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

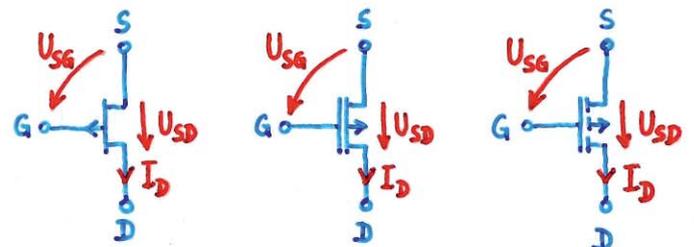
Ohmscher Bereich: $U_{GS} > U_{th}$, $U_{GD} > U_{th}$

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

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

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

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

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

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