

Elo2

Bipo

	Aktiver Betrieb	Sättigungsbetrieb
DC-Ersatzschaltung	<p>$I_B = 0 A \quad V_{BE} = 0.7V$</p>	<p>$V_{BE} = 0.7 V \quad V_{CEsat} = 0.2 V$</p>
Anwendung	Verstärker	Schalter
V_{CE}	$\geq V_{BE} \approx 0.7V$	$< V_{BE} \approx 0.7V$ $V_{CEsat} \approx 0.2V$ Temperaturdrift $\frac{dV_{CE}}{dT} = 0.3 \dots 1mV/K$
I_C	$I_C = B \cdot I_b$ bzw. $i_c = \beta \cdot i_b$	von C und E Beschaltung abhängig
$m = \frac{B \cdot I_B}{I_C} \approx \frac{\beta \cdot I_B}{I_C}$	$m = 1$ Transistor ist nicht übersteuert	$m > 1$ Transistor ist übersteuert (gesättigt)
$r_{CE} = \frac{dV_{CE}}{dI_C}$	$\rightarrow \infty \Omega$ (tendenzieller Wert)	$\rightarrow 0 \Omega$ (tendenzieller Wert)
Kleinsignal Ersatzschaltung		keine

Basisstromgleichung

$$I_B = \frac{I_S}{\beta_F} \cdot \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_{temp}}} - 1 \right) \approx \frac{I_S}{\beta_F} \cdot \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_{temp}}} \right)$$

$$V_{BE} = V_{temp} \cdot \ln \left(\frac{\beta_F \cdot I_{BE}}{I_S} \right)$$

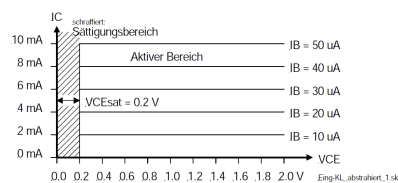
$k = 1.38 \dots 10^{-23} \text{ Ws/K}$ (Boltzmannkonstante)
 $T = \text{Temperatur in Kelvin}$ (absolute Temperatur)
 $q = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ (Elementarladung)
 $I_S = 10^{-17} \dots 10^{-15} \text{ A}$ (Sättigungsstrom)

Sättigungsgrenze

Bei Kleinsignaltransistoren $V_{CEsat} \approx 0.2V$

$V_{CE} \geq V_{CEsat}$: Der Transistor ist im Aktiven Bereich

$i_c = \beta \cdot i_b$ ist im Sättigungsbetrieb **ungültig**

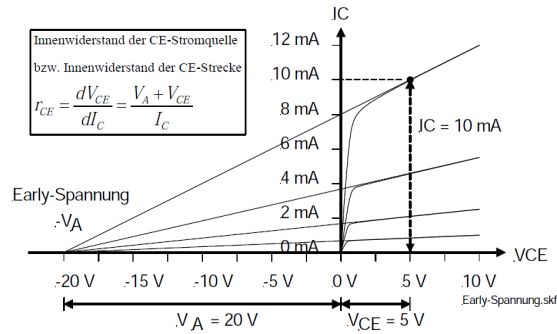


Diode

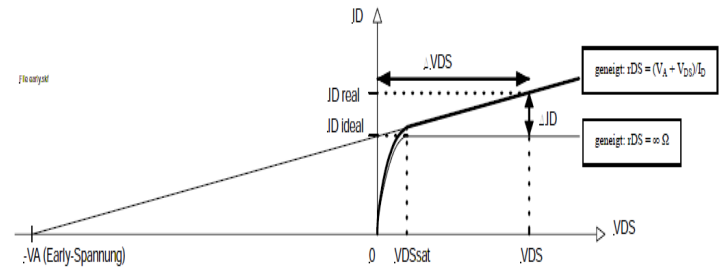
Temperaturdrift Diodenflussspannung $-2 \frac{V}{K}$ Differentieller Diodenwiderstand $26 \frac{mV}{I_d}$

Early Spannung

Bipo



FET



Early-Spannung $V_A = 100V$ wenn keine weiteren Angaben

Kleinsignal Ersatzelemente

Symbol	Bezeichnung	Berechnung
$r_{B'E}$	BE-Widerstand	$r_{B'E} = (\beta + 1) \cdot r_E$
r_{CE}	CE-Widerstand	$r_{CE} = \frac{V_A}{I_C}$ $r_{CE} = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}$
g_m	Steilheit, Transkonduktanz	$g_m = \frac{1}{r_E} = \frac{I_E}{V_{temp}} = \frac{(\beta + 1)}{r_{B'E}}$
r_E	innerer Emitterwiderstand	$r_E = \frac{1}{g_m} = \frac{V_{temp}}{I_C}$

H-Parameter

Physikalisches Ersatzelement der Kleinsignal-Ersatzschaltung	h-Parameter (amerikanisch) für Emitterschaltung	h-Parameter (europäisch) für Emitterschaltung	Einheit	Messbedingungen
r_{BE}	h_{ie} Input Parameter	h_{11e}	Ω	$\frac{v_1}{i_1}$ ($v_2=0$)
β	h_{fe} forward transfer parameter	h_{21e}	1	$\frac{i_2}{i_1}$ ($v_2=0$)
$\frac{1}{r_{CE}}$	h_{oe} output parameter	h_{22e}	Ω^{-1}	$\frac{i_2}{v_2}$ ($i_1=0$)
$\approx C_{CB'} \cdot C_{B'E} \rightarrow 0$	h_{re} reverse transfer parameter	h_{12e}	1	$\frac{v_2}{v_1}$ ($i_1=0$)

Invertierender Verstärker

$$A_{CL} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{R_F}{R_1}$$

$$r_{out} \approx 0 \quad r_{in} = R_1$$

Nicht invertierender Verstärker

$$A_{CL} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_F + R_1}{R_1} = \frac{R_F}{R_1} + 1$$

FET

Normsymbole				Nicht genormte FET Symbole	
Leitungstyp	Bipolar	MOS selbstleitend	MOS selbstsperrend	MOS selbstleitend	MOS selbstsperrend
NPN N-Kanal					
PNP P-Kanal					

Wichtige Formel für die Gleichstromdimensionierung

$$V_{DSsat} \approx V_{GS} - V_T = \sqrt{\frac{2 \cdot I_D}{k \cdot (1 + \lambda V_{DS})}}$$

Widerstandsbetrieb (ungesättigter Betrieb)	Stromquellenbetrieb (gesättigter Betrieb)
$V_{DS} < V_{DSsat}$ Widerstand r_{DS} wird durch V_{GS} gesteuert. Besonders linear bei $V_{DS} = 0$ (r_{DS0})	$V_{DS} \geq V_{DSsat}$ Durch V_{GS} gesteuerte Stromquelle mit hohem Innenwiderstand r_{DS}
$r_{DS} = \frac{dV_{DS}}{dI_D} = \frac{1}{K[(V_{GS} - V_T) - V_{DS}](1 + \lambda V_{DS})}$ $r_{DS0} = \frac{1}{K(V_{GS} - V_T)}$ wenn $V_{DS,DC} = 0$	$r_{DS} = \frac{V_A + V_{DS}}{I_D}$ $r_{DS} \approx \frac{V_A}{I_D}$ wenn $V_A \gg V_{DS}$ $r_{DS} = \frac{dV_{DS}}{dI_D} \approx \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D}$
$I_D = k \left[(V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \cdot (1 + \lambda V_{DS})$	$I_D = \frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS})$ $k = \frac{2 \cdot I_D}{(V_{GS} - V_T)^2}$
$k = \frac{I_D}{(V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2}}$	$g_m = \frac{dI_D}{dV_{GS}} = k(V_{GS} - V_T)(1 + \lambda V_{DS}) = \sqrt{2 \cdot I_D \cdot k(1 + \lambda V_{DS})}$
I_D Drainstrom V_{GS} Gate-Source-Spannung V_{DS} Drain-Source-Spannung	V_T Schwellenspannung (threshold voltage) k Transkonduktanzparameter $\frac{A}{V^2}$ λ Lambda-Faktor (kehrwert der Early-Spannung)

MOSFET

$k = k' \frac{W}{L} = \mu C_{ox} \frac{W}{L}$	k' normierter Transkonduktanzparameter C_{ox} Kapazität zwischen Gate und Kanal W Breite des Kanals	μ Ladungsträgerbeweglichkeit L Länge des Kanals
---	---	--

JFET

$k = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{V_T^2}$	I_{DSS} Drainstrom bei $V_{GS} = 0$ (Kurzschluss zwischen Gate und Source)
-------------------------------------	--

Ersatzschaltung

Pi	T

Kanalgeometrie

Serieschaltung zweier identischer MOS-Transistoren neue Kanallänge bei n-Transistoren $L_{neu} = n \cdot L$	Parallelschaltung zweier identischer MOS-Transistoren neue Kanalbreite bei n-Transistoren $W_{neu} = n \cdot W$

