

## ST1-TUTORÜBUNG – LÖSUNG ZU BLATT 9

### 1. Feldeffekttransistor als Schalter

n-Kanal Enhancement FET:  $U_{th} > 0V, u_{ds} \geq 0V$

a) *Idealerweise* verhält sich der FET wie ein Schalter.

**1. Fall:** Leerlauf, also  $i_d = i_R = 0A$  und damit  $u_R = 0V$ .

**2. Fall:** Kurzschluss, also  $u_{ds} = 0V$  und damit  $u_R = u_1$ .

b)  $u_1 > 0$  und sowohl FET als auch  $R_L$  passiv  $\Rightarrow u_{12} \geq 0$ .

$u_{12} \geq 0V \Rightarrow$  Links Drain und rechts Source, da  $u_{ds} \stackrel{!}{\geq} 0V$

$u_{gs} - U_{th} = u_{Steuer} - u_R - U_{th} = u_{Steuer} - U_{th} = -U_{th} < 0 \Rightarrow$  Sperrbereich

c)  $u_{ds} = u_1 - u_2$

$u_{gs} = U_B - u_2$

d) Bereich:  $u_{gs} - U_{th} = U_B - u_2 - U_{th} > 0V$  ?

Wäre  $u_2 > U_B - U_{th} > 0V$ , so wäre  $i_d = 0A$  und damit  $u_R = u_2 = 0V$ .

Widerspruch  $\Rightarrow$  kein Sperrbereich möglich.

Sowohl FET als auch  $R_L$  passiv  $\Rightarrow u_1 > 0$  teilt sich auf  $u_{12} \geq 0$  und  $u_2 \geq 0$  auf.

$u_1 \approx 0 \Rightarrow u_2 \approx 0 \Rightarrow u_{gs} - U_{th} = U_B - U_{th} \gg 0$   $\left. \begin{array}{l} u_1 \approx 0 \Rightarrow u_{ds} \approx 0 \\ u_2 \approx 0 \Rightarrow u_{gs} - U_{th} = U_B - U_{th} \gg 0 \end{array} \right\} u_{gs} - U_{th} > u_{ds} \Rightarrow$  linearer Bereich

$u_1 \approx U_B: u_{gs} - U_{th} < u_{ds}$ , da  $U_B - u_2 - U_{th} < U_B - u_2 \Rightarrow$  Sättigungsbereich

Übergang bei  $u_{gs} - U_{th} = u_{ds}$ , also

$$U_B - u_2 - U_{th} = u_{1krit} - u_2$$

$$u_{1krit} = U_B - U_{th}$$

e)  $u_1 > u_{1krit}$ , also Sättigungsbereich:

$$i_d = \frac{1}{2} \beta (u_{gs} - U_{th})^2 = \frac{1}{2} \beta (U_B - u_2 - U_{th})^2 = \frac{u_2}{R_L}$$

$u_2$  hängt nur von  $\beta, U_B, U_{th}, R_L$  ab, ist also unabhängig von  $u_1$ .

Damit wird  $u_2 = u_R = u_1$  – wie in a) gefordert – *nicht* erreicht.

f)  $\frac{u_2}{R_L} = \frac{1}{2} \beta (U_B - u_2 - U_{th})^2$

Die linke Seite geht für  $R_L \rightarrow \infty$  gegen 0, d.h. Ausdruck  $(U_B - u_2 - U_{th})^2$  ebenfalls. Im

Grenzfall gilt  $U_B - u_{2max} - U_{th} = 0V$ , d.h.  $u_{2max} = U_B - U_{th}$

p-Kanal Enhancement FET:  $U_{th} < 0V, u_{ds} \leq 0V$

g)  $u_{12} \geq 0V$  (wie oben)  $\Rightarrow$  Links Source und rechts Drain, da  $u_{ds} \stackrel{!}{\leq} 0V$

Nun Bereich:  $U_{th} - u_{gs} = U_{th} - U_B + u_1 < 0V \Rightarrow$  Sperrbereich

h)  $u_{ds} = u_2 - u_1$

$u_{gs} = -u_1$

- i)  $U_{th} - u_{gs} = U_{th} + u_1 < 0V \Rightarrow$  Sperrbereich
- j) Nun ist  $U_{th} - u_{gs} = U_{th} + u_1 > 0V \Rightarrow$  linearer Bereich oder Sättigungsbereich  
 Übergang erfolgt bei  $U_{th} - u_{gs} = -u_{ds}$ . Mit h) folgt:

$$u_{2krit} = -U_{th}$$

Nun Berechnung von  $u_{1krit}$ :

$$i_d = -\frac{1}{2} \beta (u_{gs} - U_{th})^2 = -\frac{u_{2krit}^2}{R_L} \text{ mit } u_{gs} = -u_{1krit} \text{ und } u_{2krit} = -U_{th} \text{ folgt:}$$

$$\frac{1}{2} \beta (u_{1krit} + U_{th})^2 = -\frac{U_{th}^2}{R_L}$$

$$u_{1krit} = -U_{th} \pm \sqrt{-\frac{2U_{th}}{\beta R_L}}$$

Wegen  $u_1 > |U_{th}|$  (und  $U_{th} < 0V$ ) gilt damit:

$$u_{1krit} = -U_{th} + \sqrt{-\frac{2U_{th}}{\beta R_L}}$$

- k) Siehe Diagramm (gestrichelte Linie).

- l)  $u_{R_L} = u_2 = u_{ds} + u_1 = u_{ds} + u_B \Rightarrow u_{ds} = u_{R_L} - U_B; \quad i_d = -i_{R_L}$

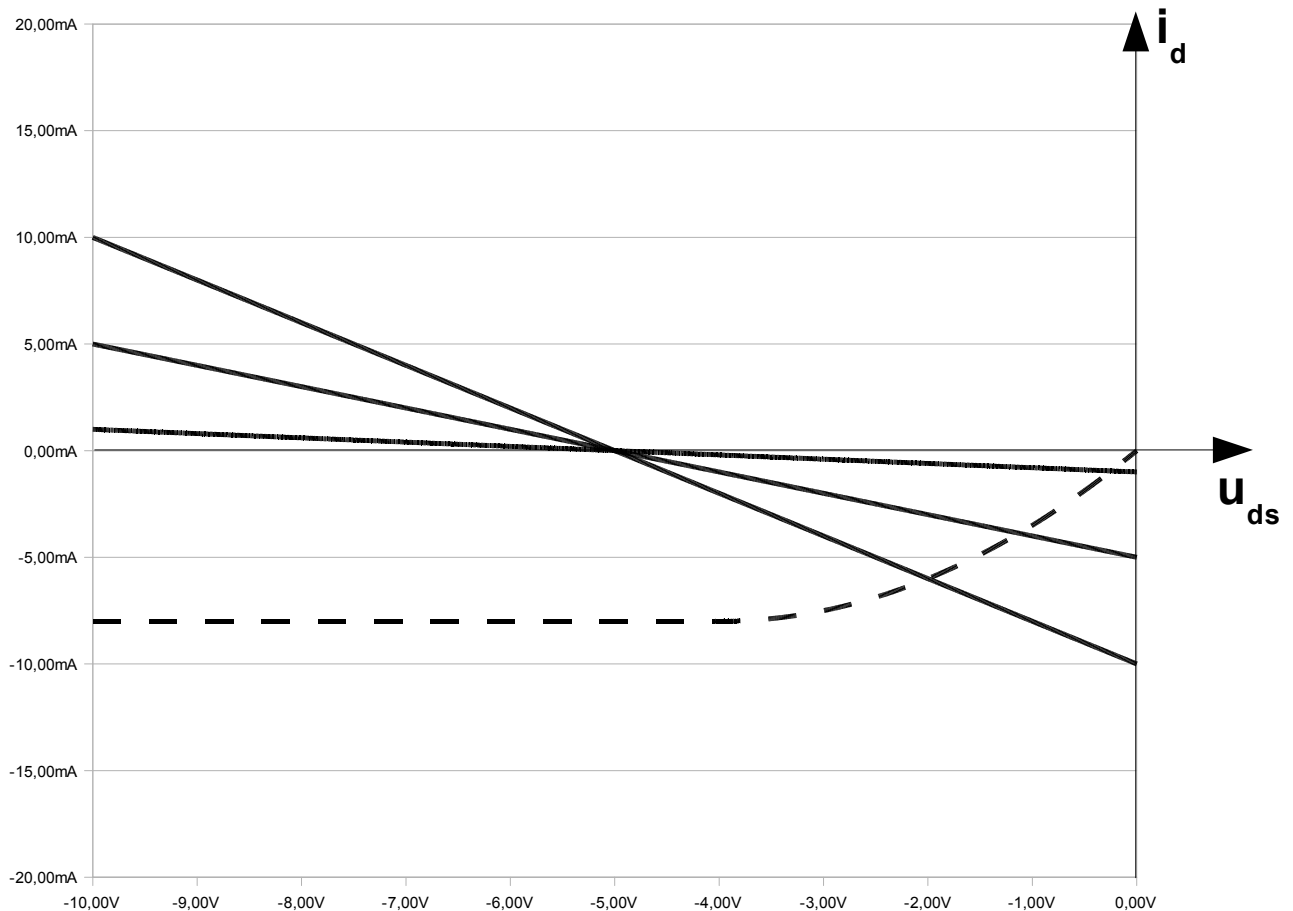
Die Kennlinie muss also um  $U_B$  nach links verschoben und an der  $u$ -Achse gespiegelt werden.

- m) Siehe Diagramm (durchgezogene Linien).

- n) In allen drei Fällen im linearen Bereich (ersichtlich aus den Schnittpunkten in der Skizze).

- o) Laut Skizze geht  $u_{ds}$  für große  $R_L$  gegen 0. Somit gilt:  $u_{R_L} = u_2 = u_1 - u_{DS} \rightarrow u_1$ .

Die Funktion als Schalter wird also zumindest für diesen Fall optimal erfüllt.



**2. Wahr oder falsch?**

- a) Wahr, denn der NIK spiegelt bei geeignet gewähltem  $k$  die Kennlinie eines an ihm angeschlossenen Eintors an der  $u$ - oder  $i$ -Achse.
- b) Falsch, die Kettenmatrix ist das Produkt der beiden Kettenmatrizen.
- c) Falsch, anders als beim FET ist das Schaltbild des Bipolartransistors nicht symmetrisch. Der Emitter befindet sich auf der Pfeilseite.
- d) Wahr. Die Kennlinie geht durch den Ursprung.
- e) Wahr. Dies ergibt sich aus den zueinander punktsymmetrischen Beschreibungsgleichungen.