

ST1-TUTORÜBUNG – LÖSUNG ZU BLATT 11

1. MOSFET & Operationsverstärker

a) Wegen $U_B > 0$ liegt am linken Anschluss des FETs eine positive Knotenspannung an, am rechten Anschluss herrscht Null-Potential (wegen virtueller Masse). Beim n-Kanal-FET muss stets $u_{ds} \geq 0$ gelten. Um dies zu erfüllen, muss links der Drain-Anschluss sein.

b) $i_1 = i_2 + i_d$

c)
$$u_{R2} = u_{R3} + u_{ds} \Rightarrow R_2 i_2 = R_3 i_d + u_{ds} \Rightarrow i_2 = \frac{R_3}{R_2} i_d + \frac{1}{R_2} u_{ds} = \frac{1}{2} i_d + \frac{1}{2R} u_{ds}$$

d)
$$i_1 = i_2 + i_d = \frac{3}{2} i_d + \frac{1}{2R} u_{ds}$$

e)
$$U_B = R_1 i_1 + R_3 i_d + u_{ds} = \frac{3}{2} \cdot 2R i_d + \frac{2R}{2R} u_{ds} + R i_d + u_{ds} = 4R i_d + 2u_{ds} \Rightarrow u_{ds} = \frac{U_B}{2} - 2R i_d$$

f)
$$u_{gs} = u_{st} = 2V$$

$$i_d(u_{ds} = 1V) = \frac{1}{2} \beta (1V)^2 = 1mA$$

$$i_d(u_{ds} = 0,5V) = \beta (1V \cdot 0,5V - \frac{1}{2} (0,5V)^2) = 1mA - \frac{1}{4} mA = 0,75 mA$$

g)
$$u_{ds} = 4V - 0,5 k\Omega \cdot i_d$$

 Sättigungsbereich

h)
$$u_{out} = -R_4 i_d = -500 \Omega \cdot i_d$$

i)
$$i_d|_{AP} = 1mA$$

$$u_{out}|_{AP} = -0,5 k\Omega \cdot 1mA = -0,5V$$

j) Sperrbereich für $u_{st} \leq 1V$

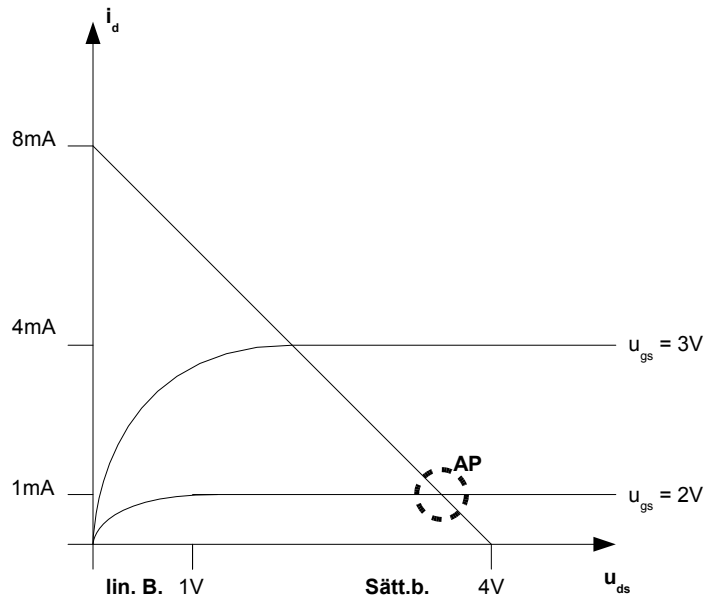
Lin. B. / Sättb.:

$$krit.: u_{ds} = u_{gs} - 1V \Rightarrow i_d = \frac{1}{2} \beta u_{ds}^2$$

$$u_{ds} = \frac{U_B}{2} - 2R i_d \Rightarrow i_d = \frac{U_B}{4R} - \frac{u_{ds}}{2R}$$

$$\frac{1}{2} \beta u_{ds}^2 = \frac{U_B}{4R} - \frac{u_{ds}}{2R} \Rightarrow \beta R u_{ds}^2 + u_{ds} - \frac{U_B}{2} = 0 \Rightarrow \frac{1}{2V} u_{ds}^2 + u_{ds} - 4V = 0$$

$$u_{ds,1/2} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 1}{2V} \cdot 4V}}{\frac{2 \cdot 1}{2V}} = -1V \pm 3V = \begin{cases} 2V \\ -4V \text{ (unmöglich, da stets } u_{ds} \geq 0 \text{ gilt)} \end{cases}$$



$$\Rightarrow u_{ds, krit} = 2V \Rightarrow u_{st, krit} = 3V; \quad i_{d, krit} = \frac{1}{2} \beta u_{ds, krit}^2 = 4mA$$

Also: Sperrb. für $u_{st} \leq 1V$; Sättb. für $1V < u_{st} \leq 3V$; lin. B. für $3V < u_{st}$

k)

$$u_{st} \leq 1V: \quad u_{out} = -2 R i_d = 0$$

$$1V < u_{st} \leq 3V: \quad u_{out} = -2 R \frac{\beta}{2} (u_{st} - 1V)^2 = -\frac{1}{2} kVA^{-1} \cdot 1mA V^{-2} (u_{st} - 1V)^2 = -\frac{1}{2} (u_{st} - 1V)^2 V^{-1}$$

$$3V < u_{st}: \quad u_{out} = -2 R \beta \left((u_{st} - 1V) u_{ds} - \frac{1}{2} u_{ds}^2 \right); \quad u_{ds} = \frac{U_B}{2} - 2 R i_d = \frac{U_B}{2} + u_{out} = 4V + u_{out}$$

$$\Rightarrow u_{out} = -1 V^{-1} \left((u_{st} - 1V)(4V + u_{out}) - \frac{1}{2} (4V + u_{out})^2 \right)$$

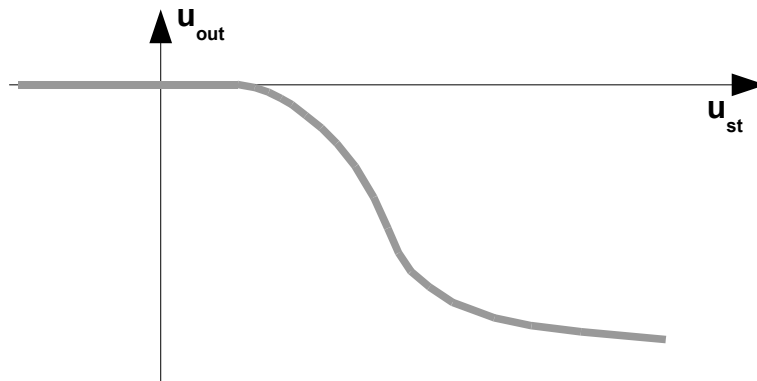
$$\Rightarrow u_{out} \cdot (-1V) = (u_{st} - 1V) 4V + (u_{st} - 1V) u_{out} - \frac{1}{2} (16V^2 + 8V \cdot u_{out} + u_{out}^2)$$

$$\Rightarrow -1V \cdot u_{out} = 4V \cdot u_{st} - 4V^2 + u_{st} \cdot u_{out} - 1V \cdot u_{out} - 8V^2 - 4V \cdot u_{out} - \frac{1}{2} u_{out}^2$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} u_{out}^2 + 4V \cdot u_{out} - u_{st} \cdot u_{out} - 4V \cdot u_{st} + 12V^2 = 0$$

$$u_{st} \rightarrow \infty: \quad \frac{0,5 u_{out}^2}{u_{st}} + \frac{4V \cdot u_{out}}{u_{st}} - u_{out} - 4V + \frac{12V^2}{u_{st}} = 0 \xrightarrow{u_{st} \rightarrow \infty} -u_{out} - 4V = 0 \Rightarrow u_{out} = -4V$$

- l) (Wichtig ist, dass folgende Elemente in der Skizze zu erkennen sind: Achsenbeschriftung u_{st} und u_{out} , $u_{out} = 0$ für negative und kleine u_{st} (Sperrb.), dann negativer, parabelförmiger Verlauf (Sättb.) und schließlich asymptotische Annäherung an negativen Grenzwert (lin. B.). Exakter Verlauf für lin. B. ist nicht wichtig, da aus der Gleichung nicht direkt offensichtlich.)



2. Wahr oder falsch?

- Wahr. Die Ausgangsspannung ist konstant U_{Sat} .
- Falsch. Die Kennlinie einer idealen Diode ist stückweise linear, die eines pn-Übergangs ist exponentiell.
- Falsch. Beim p-Kanal-Enhancement-FET ist $U_{TH} < 0$.
- Falsch. Er ist antireziprok. Reziprok ist z.B. der ideale Übertrager.
- Wahr.
- Falsch. Sie ist stromgesteuert. Eine konstante Spannung kann keinen eindeutigen Arbeitspunkt festlegen.

nur zur Info: exakter Plot der Übertragungskennlinie (Aufg. 11):

