

Aufgabe 1: Passive Bauelemente (20 Punkte)

Konstanten: Dielektrizitätskonstante $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$

Gegeben sei der Metall-Kunststoff-Kondensator (MK) aus Abbildung 1.1.

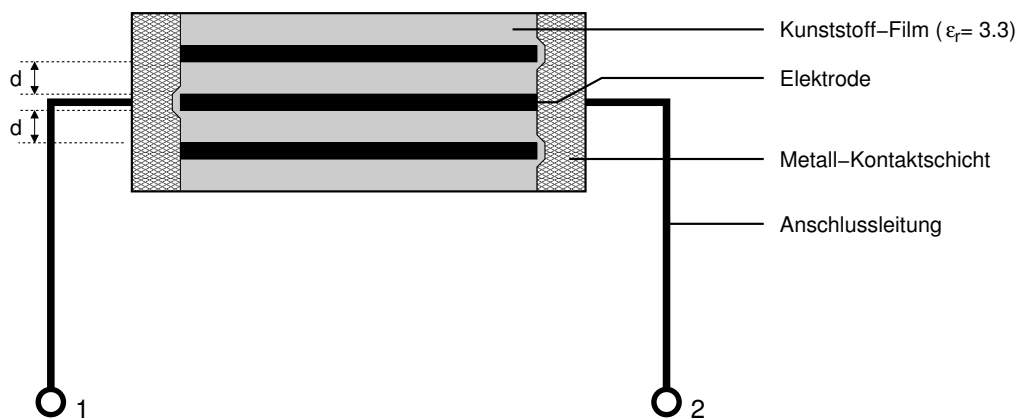


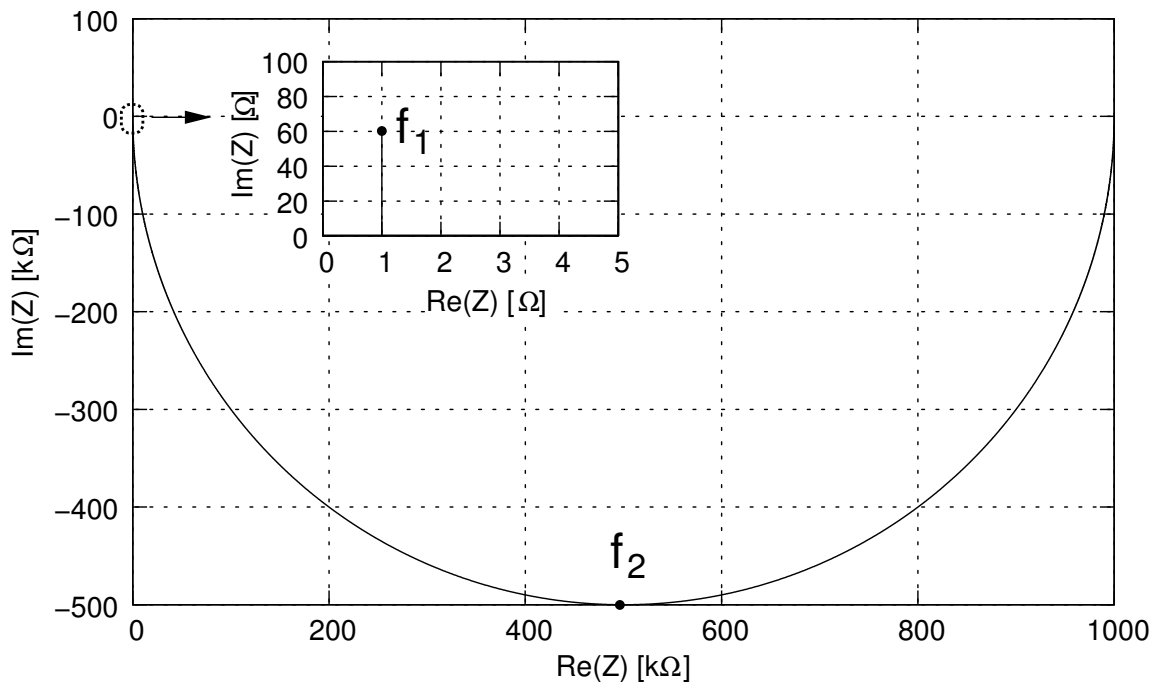
Abb. 1.1: Metall-Kunststoff-Kondensator (MK)

- 1.1 a) Zeichnen Sie das allgemeine Ersatzschaltbild (ESB) eines Kondensators, bestehend aus 6 Elementen und erläutern Sie alle darin enthaltenen Elemente!
- b) Welches ESB-Element ist frequenzabhängig und warum?
- c) Vereinfachen Sie das ESB auf 4 Elemente durch geeignetes Zusammenfassen von Elementen!

Das frequenzabhängige Bauelement aus 1.1b) kann im Folgenden vernachlässigt werden.

1.2 Abbildung 1.2 zeigt den Verlauf der Impedanz-Ortskurve des MK-Kondensators.

- a) Bei hohen und niedrigen Frequenzen sind jeweils ESB-Elemente dominierend. Geben Sie die Elemente an und begründen Sie Ihre Wahl!
- b) Ermitteln Sie die (vier) ESB-Elemente aus der Impedanz-Ortskurve!
Hinweis: Berücksichtigen Sie die Größenordnungen der einzelnen ESB-Elemente und machen Sie ggf. geeignete Näherungen!
- c) In welchem Frequenzbereich verhält sich der Kondensator kapazitiv (keine Näherung, kein Zahlenwert!)?



$$f_1 = 958 \text{ MHz}$$

$$f_2 = 23,4 \text{ Hz}$$

Abb. 1.2: Impedanz-Ortskurve des MK-Kondensators

Im Folgenden wird die Induktivität vernachlässigt. Falls Sie Aufgabe 1.2b) nicht lösen konnten, verwenden Sie $C = 1 \text{ nF}$.

- 1.3 Berechnen Sie die Fläche der mittleren Elektrode des MK-Kondensators für einen Elektrodenabstand von $d = 1 \text{ }\mu\text{m}$! Vernachlässigen Sie Streukapazitäten (z.B. zur Metall-Kontaktschicht).
- 1.4 a) Leiten Sie einen Ausdruck für die Güte Q des Kondensators her! Berechnen Sie Q bei $f = 1 \text{ kHz}$!
b) Bei welcher Frequenz wird die Güte maximal?
- 1.5 Berechnen Sie den Flächenwiderstand R_F einer Aluminium-Elektrode des MK-Kondensators! Nehmen Sie an, dass die Anschlussleitungen ideal sind und für das Seitenverhältnis einer Elektrode gilt $\ell = 4 \cdot b$. Der von der Metall-Kontaktschicht verursachte Widerstand zwischen der Anschlussleitung und einer Elektrode beträgt $100 \text{ m}\Omega$.

Hinweis: Überlegen Sie sich das Ersatzschaltbild für den MK-Kondensator aus Abbildung 1.1. Falls Sie Aufgabe 1.2b) nicht gelöst haben, verwenden Sie einen Serienwiderstand von $3 \text{ }\Omega$.

Aufgabe 2: pn-Diode (20 Punkte)

Gegeben sei eine Si-pn-Diode, von der folgende Daten bekannt seien:

Dotierung p-Teil	$N_A = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$
Dotierung n-Teil	$N_D = 2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$
Diodenfläche	$A = 10 \times 10 \text{ } \mu\text{m}^2$
Transitzeit	$\tau_T = 2 \text{ ns}$
Sperrschichttemperatur	$T = 300 \text{ K}$
Eigenleitungskonzentration	$n_{i,\text{Si}}(300 \text{ K}) = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$
Dielektrizitätskonstante	$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$
relative Dielektrizitätszahl	$\epsilon_{r,\text{Si}} = 12$
Boltzmann-Konstante	$k_B = 1,39 \cdot 10^{-23} \text{ Ws/K}$
Elementarladung	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Die Diode werde in einer Schaltung nach Abb. 2.1 betrieben.

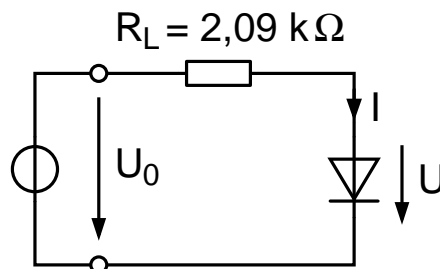


Abb. 2.1: Schaltung mit einer Si-pn-Diode.

- 2.1 Berechnen Sie die Diffusionsspannung U_D !
- 2.2 Geben Sie die Gleichung $I=f(U)$ für die Diodenkennlinie an!
- 2.3 Ermitteln Sie aus der Kennlinie nach Abb. 2.2 den Sperrstrom I_S !
- 2.4 Ermitteln Sie grafisch den Arbeitspunkt der Diode und geben Sie diesen mit Zahlenwerten an, wenn die Spannungsquelle U_0 den Wert 1,2 V hat!
- 2.5 Berechnen Sie die in diesem Arbeitspunkt beiden wichtigsten Kleinsignalparameter der Diode und zeichnen Sie das zugehörige Kleinsignalersatzschaltbild!
- 2.6 Die Diode werde nun aus diesem Arbeitspunkt heraus in Sperrichtung umgeschaltet, indem die Spannungsquelle sprungförmig von +1,2 V auf -5 V verändert wird. Berechnen Sie den Strom durch die Diode unmittelbar nach dem Umschalten!

- 2.7 Bei einer maximalen Feldstärke am pn-Übergang von $E_{\max} = 10^3$ kV/cm bricht die Diode durch. Überprüfen Sie, ob die maximale Feldstärke erreicht wird, wenn sich nach dem Umschalten auf $U_0 = -5$ V stationäre Verhältnisse eingestellt haben.
Hinweis: Überlegen Sie sich den Verlauf der Feldstärke am pn-Übergang!
- 2.8 Erst nach Ablauf von Speicherzeit t_s und Abfallzeit t_f nach dem Umschalten geht die Diode in den sperrenden Zustand über. Berechnen Sie die Abfallzeit t_f ! Schätzen Sie dabei die mittlere Sperrschichtkapazität $\overline{C_{Sp}}$ durch $C_{Sp}|_{U=-5\text{ V}}$ ab!

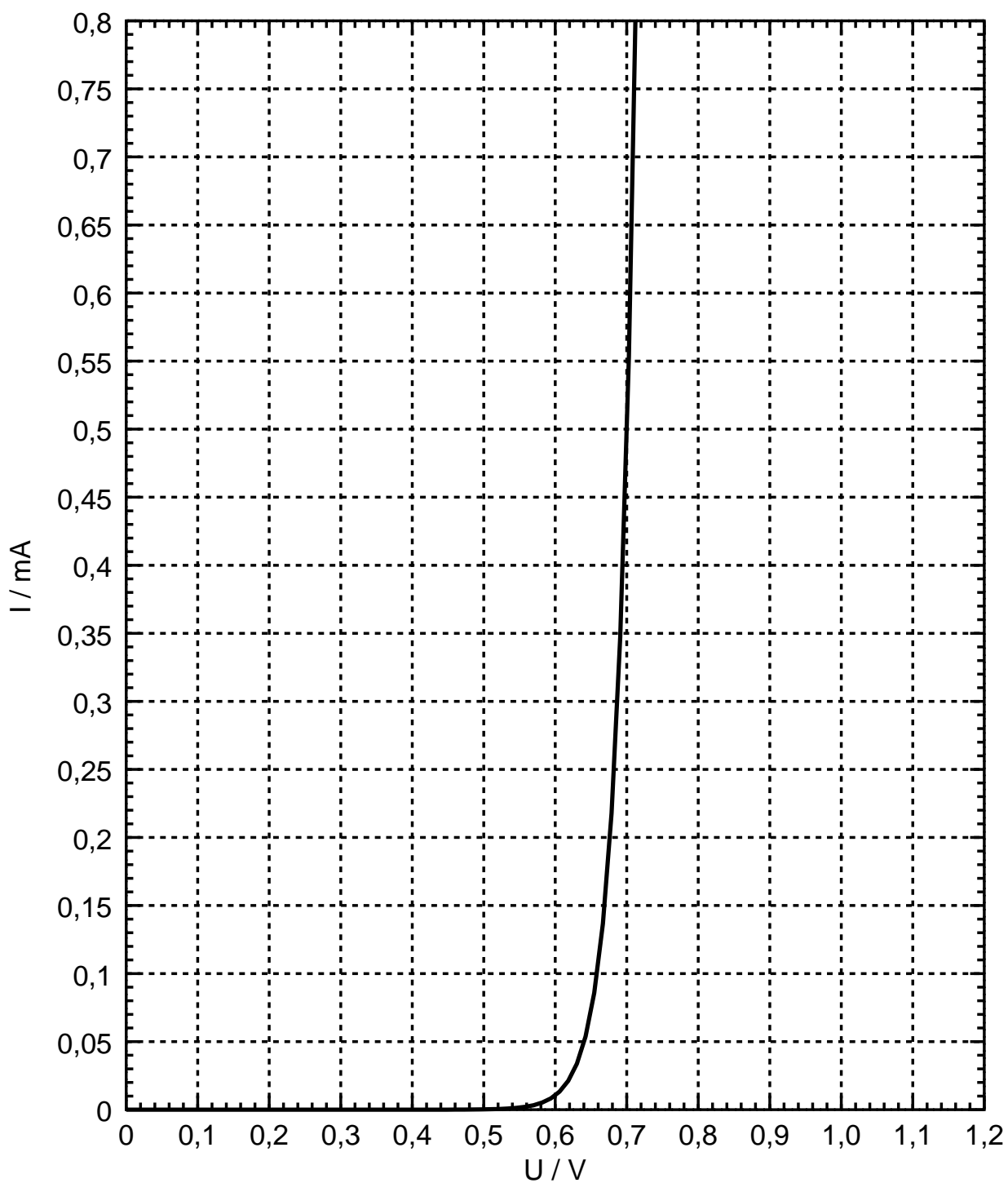


Abb. 2.2: Kennlinie der Si-pn-Diode.

Aufgabe 3: Bipolar-Transistor (20 Punkte)

Gegeben sei ein npn-Bipolartransistor mit den folgenden Parametern:

Stromverstärkung im Normalbetrieb	$B_N = 200$
Stromverstärkung im Inversbetrieb	$B_I = 20$
Transportsättigungsstrom	$I_S = 10^{-16} \text{ A}$
Basisbahnwiderstand	$R_B \approx 0$
Temperaturspannung	$U_T = 26 \text{ mV}$
Transitzeit	$\tau_{T0} = 10 \text{ ps}$

- 3.1 Zeichnen Sie das Transportmodell für einen npn-Bipolar-Transistor und geben Sie die Formel für den Transportstrom an!
- 3.2 Wie lautet die Gleichung für den Basisstrom I_B nach dem Transportmodell?
- 3.3 Leiten Sie aus der Gleichung des Basisstroms einen Ausdruck für die Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE,sat}$ her, die die Grenze zwischen dem normal-aktiven und den Sättigungsbereich bildet! Wie groß ist $U_{CE,sat}$ für den oben gegebenen Transistor bei einem Basisstrom von $I_B = 10 \mu\text{A}$?

Hinweis: Die Grenze zum Sättigungsbereich sei durch $U_{bc} = 0$ definiert.

- 3.4 Wie verändert sich das Modell, wenn anstelle des npn- ein pnp-Transistor gegeben ist? Zeichnen Sie auch für diesen Transistortyp das Transportmodell und geben Sie eine Formel für den Transportstrom an!

Hinweis: Achten Sie darauf, dass das Vorzeichen Ihrer Transportstromgleichung und die eingetragene Stromquellenrichtung insgesamt die korrekte Stromrichtung ergeben!

Nun werde der oben gegebene npn-Transistor wie in Abb. 3.1 dargestellt als Diode verschaltet.

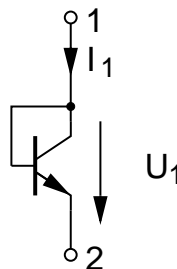


Abb. 3.1:

- 3.5 Wie lautet die Gleichung für den Strom I_1 als Funktion der Spannung U_1 und der Transportmodellkenngrößen?
- 3.6 Wie groß ist der Sperrsättigungsstrom $I_{S,D}$ der Diode?
- 3.7 Zeichnen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Schaltung nach Abb. 3.1 für $U_1 > 0$ unter Benutzung des Giacoletto-Ersatzschaltbildes! Bezeichnen Sie die verwendeten Ersatzschaltbild-Elemente!
- 3.8 Drücken Sie den Kleinsignal-Leitwert G_D der Diodenschaltung als Funktion der Ersatzschaltbildelemente des Giacoletto-Ersatzschaltbildes aus! Berechnen Sie den Wert von G_D für $I_1 = 1 \text{ mA}$, wenn der Ausgangsleitwert des Transistors vernachlässigbar klein ist!
- 3.9 Wie groß ist die Diffusionskapazität C_D der Diode?
- 3.10 Berechnen Sie die 3dB-Grenzfrequenz f_g der Diode!

Aufgabe 4: MOSFET (20 Punkte)

4.1 Gegeben sei ein n-Kanal MOSFET, bei dem die Kanallängenmodulation nicht zu vernachlässigen ist und zu welchem folgende Materialkonstanten und Kenndaten bekannt sind:

Elektronenbeweglichkeit	$\mu_n = 1500 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$
Dielektrizitätskonstante des Vakuums	$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$
Relative Dielektrizitätskonstante	$\epsilon_{r,\text{OX}} = 3,92$
Weite	$W = 20 \mu\text{m}$
Länge	$L = 120 \text{ nm}$
Oxiddicke	$t_{\text{OX}} = 5 \text{ nm}$
Schwellspannung	$U_{\text{th}} = 200 \text{ mV}$
Gate-Source-Spannung	$U_{\text{GS}} = 400 \text{ mV}$
Kanallängenmodulation	$\lambda = 0,1 \text{ V}^{-1}$

- a) Berechnen Sie die Transistorkenngröße k !
- b) Berechnen Sie den Abschnürpunkt $U_{\text{DS,sat}}$!
- c) Zeichnen Sie in Abb. 4.1 die Ausgangskennlinie für U_{DS} zwischen 0 und 2 V!

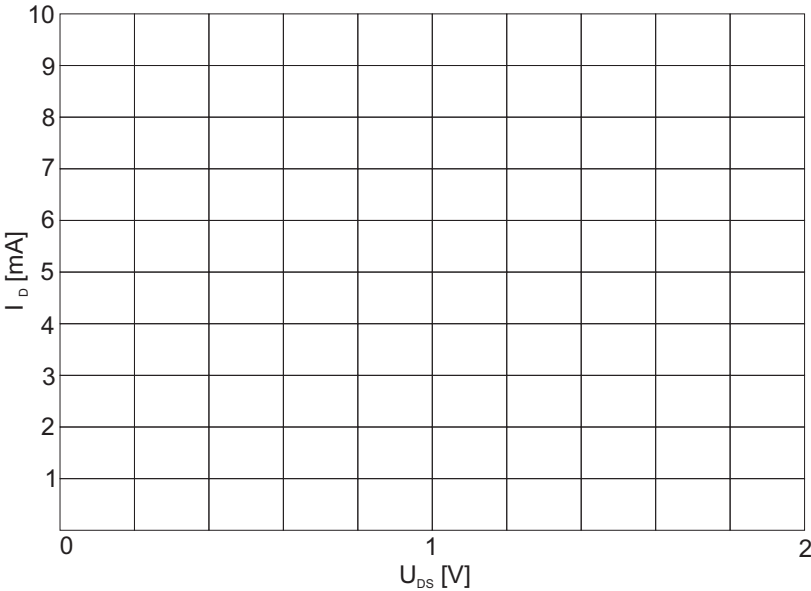


Abb. 4.1: Kennlinie eines MOSFET

- 4.2 Gegeben sei nun der Querschnitt eines Transistors in Abbildung 4.2. In den folgenden Aufgabenteilen ist die Kanallängenmodulation zu vernachlässigen!

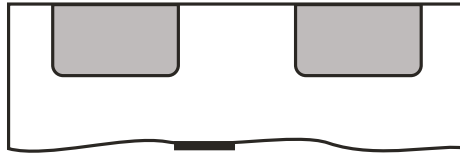


Abb. 4.2: Querschnitt eines integrierten MOSFET

- a) Ergänzen Sie in Abb. 4.2 den Querschnitt zu einem p-Kanal-MOSFET! Definieren Sie alle nötigen Dotierungen und kennzeichnen Sie in Ihrer Zeichnung die Überlappkapazitäten!
- b) Welche Ladungsträger (Elektronen oder Löcher) sind bei diesem Bauelement (Abb. 4.2) für den Stromtransport verantwortlich?
- 4.3 Der obige p-Kanal-Transistor soll zu einer Sourceschaltung ergänzt werden. Zusätzlich soll gelten:

Versorgungsspannungen	$U_0 = 1,5 \text{ V}$ und $U_{\text{GND}} = 0 \text{ V}$
Schwellspannung	$U_{\text{th}} = -300 \text{ mV}$
Transistorkenngröße	$k = 100 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$
Lastwiderstand	$R = 500 \Omega$

- a) Zeichnen Sie die Gesamtschaltung mit korrektem Transistorschaltsymbol und kennzeichnen Sie die Spannungen U_0 , U_{GND} , U_E und U_A , den Drainstrom I_D sowie die Anschlussbezeichnungen des Transistors (S, G, D, B)!
- Hinweis:** Schließen Sie auch das Bulk korrekt an!
- b) Welches Vorzeichen haben U_{GS} , U_{DS} , I_D und g_m ?
- Hinweis:** Beachten Sie bei der Betrachtung von g_m sowohl die Definition der Steuersteilheit als auch die Vorzeichen der vorkommenden Spannungen.
- c) Zeichnen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Gesamtschaltung (einschließlich aller Kapazitäten)!
- Hinweis:** Ein Notieren der wichtigsten Zusammenhänge bzgl. des Drainstroms, der Steuersteilheit und der Spannungen kann hilfreich sein.
- d) Die Gate-Source-Spannung für den Arbeitspunkt betrage nun -500 mV . Parasitäre Kapazitäten können in diesem und nächsten Aufgabenteil vernachlässigt werden. Berechnen Sie, wie groß der Drainstrom durch den Transistor ist und überprüfen Sie, ob Sie die Formel für den richtigen Arbeitsbereich des Transistors verwendet haben!
- e) Welche Kleinsignalverstärkung weist die Schaltung im Arbeitspunkt nach 4.3 d) auf?

Aufgabe 1: Passive Bauelemente (20 Punkte)

1.1 a) s. Abb. 1.1

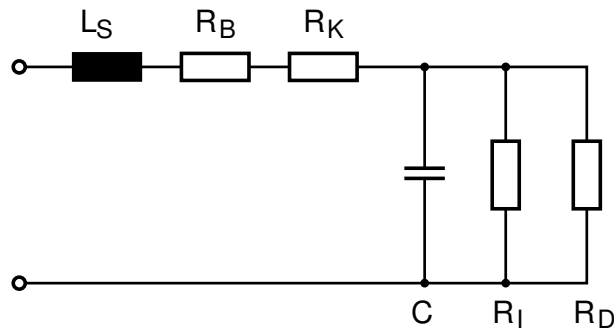


Abb. 1.1: Vollständiges ESB des eines Kondensators

- L_S Serieninduktivität: Der Stromfluss durch den Kapazitätsbelag erzeugt ein magnetisches Feld.
- R_K Kontaktwiderstand
- R_B Bahnwiderstand
- C Kapazität
- R_D dielektrischer Verlustwiderstand
- R_I Isolationswiderstand

b) Der dielektrische Verlustwiderstand ist frequenzabhängig. Das mit der Frequenz variierende elektrische Feld führt zur Drehung des Polarisationsvektors der elektrischen Dipole. Mit steigenden Frequenzen können die Dipole aufgrund ihrer Trägheit dem E-Feld nicht mehr folgen, was zu einer Phasenverschiebung zwischen dem Polarisationsvektor und E-Feld-Vektor führt \Rightarrow komplexes ϵ_R

c) s. Abb. 1.3

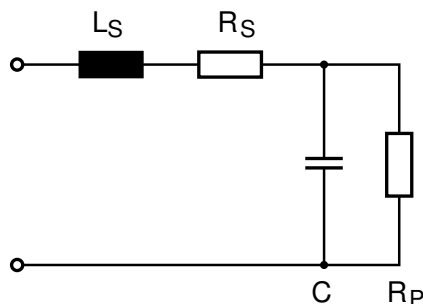


Abb. 1.2: Vereinfachtes ESB eines Kondensators

1.2 a)

$$Z = j\omega L + R_S + \frac{R_P(1 - j\omega C R_P)}{1 + \omega^2 C^2 R_P^2}$$

$$\omega \rightarrow 0 : Z \cong R_P$$

$$\omega \rightarrow \infty : Z \cong j\omega L_S + R_S$$

b)

$$R_S = 1 \Omega \quad R_P = 1 M\Omega$$

$$2\pi f_1 L = 60 \Omega \Rightarrow L = 10 \text{ nH}$$

$$2\pi f_2 = \frac{1}{R_P C} \Rightarrow C = 6,8 \text{ nF}$$

c)

$$\omega_{R,P}^2 = \frac{C R_P^2 - L_S}{C^2 R_P^2 L_S}$$

$$\omega_{R,P} : \text{Phasen-Resonanz-Frequenz}$$

Der Kondensator verhält sich für $f < f_{R,P}$ kapazitiv.

1.3

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2A}{d}$$

$$A = 116,4 \mu\text{m}^2 \quad (17,1 \mu\text{m}^2 \text{ für } C = 1 \text{ nF})$$

1.4 a)

$$Z = \frac{R_S + R_P + \omega^2 C^2 R_P^2 R_S - j\omega C R_P^2}{1 + \omega^2 C^2 R_P^2}$$

$$Q = \frac{\text{Im}Z}{\text{Re}Z} = \frac{\omega C R_P^2}{R_S + R_P + \omega^2 C^2 R_P^2 R_S}$$

$$Q|_{f=1\text{kHz}} = 42,6 \quad (6,28 \text{ für } C = 1 \text{ nF})$$

b)

$$\frac{dQ}{d\omega} \stackrel{!}{=} 0$$

$$\omega = \frac{1}{R_P C} \sqrt{\frac{R_S + R_P}{R_S}}$$

$$f = 23,4 \text{ kHz} \quad (3,44 \text{ kHz für } C = 1 \text{ nF})$$

1.5

$$R_S = \frac{3}{2}R_K + \frac{3}{2}R_B$$

$$\Rightarrow R_B = \frac{2}{3}R_S - R_K = 0,57 \Omega$$

$$R_F = R_B \frac{b}{\ell} = \frac{1}{4} \cdot R_B = 143 \text{ m}\Omega/\square \quad (475 \text{ m}\Omega/\square \text{ f\"ur } R_S = 3 \Omega)$$

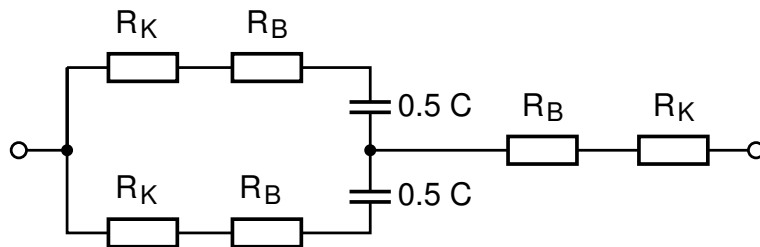


Abb. 1.3: ESB des MK-Kondensators

Aufgabe 2: pn-Diode (20 Punkte)

2.1

$$U_D = U_T \cdot \ln \frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} = 26 \text{ mV} \cdot \ln \frac{2 \cdot 10^{32}}{1,5^2 \cdot 10^{20}} = 0,715 \text{ V}$$

2.2

$$I = I_S \cdot \left[\exp \left(\frac{U}{U_T} \right) - 1 \right]$$

2.3

$$\ln \left(\frac{I_S}{\mu\text{A}} \right) = \ln \left(\frac{I}{\mu\text{A}} \right) - \frac{U}{U_T} = \ln(250) - \frac{680}{26} \Rightarrow I_S \approx 1 \text{ fA}$$

2.4 s. Abb. 2.1

2.5 Kleinsignalersatzschaltbild: s. Abb. 2.2

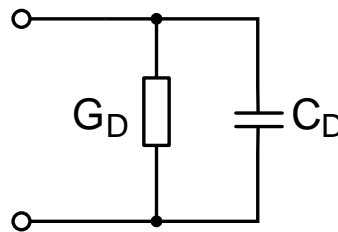


Abb. 2.2: Kleinsignalersatzschaltbild der Si-pn-Diode.

$$G_D = \frac{I}{U_T} = \frac{0,25 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 9,615 \text{ mS}$$

$$C_D = \tau_T \cdot G_D = 2 \text{ ns} \cdot \frac{I}{U_T} = 2 \text{ ns} \cdot 9,615 \text{ mS} = 19,23 \text{ pF}$$

2.6

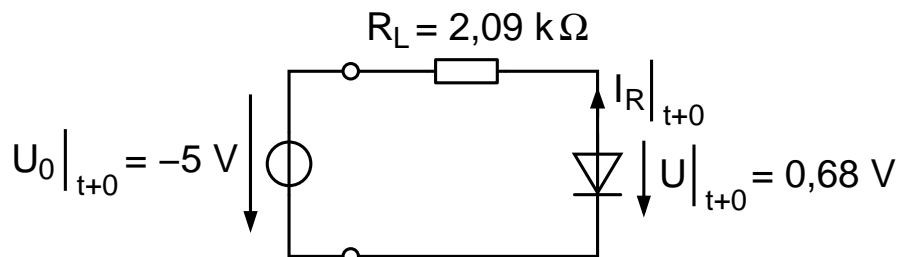


Abb. 2.3: Si-pn-Diode unmittelbar nach dem Umschalten in Sperrrichtung.

$$I_R \Big|_{t=0} = \frac{5 \text{ V} + 0,68 \text{ V}}{2,09 \text{ k}\Omega} = 2,72 \text{ mA}$$

2.7 Im eingeschwungenen Zustand ist:

$$U \Big|_{t \rightarrow \infty} = -5 \text{ V}$$

und

$$U_D - U = \frac{1}{2} \cdot E_{\max} \cdot W$$

$$\Rightarrow E_{\max} = \frac{2 \cdot (U_D - U)}{W}$$

$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_r}{e} (U_D - U) \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right)}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot 12 \text{ As/Vcm}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}} (0,715 + 5) \text{ V} \left(\frac{1}{1 \cdot 10^{16}} + \frac{1}{2 \cdot 10^{16}} \right) \text{ cm}^3}$$

$$= 10,67 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 1,067 \text{ }\mu\text{m}$$

$$E_{\max} = \frac{2 \cdot (0,715 + 5) \text{ V}}{1,067 \cdot 10^{-4} \text{ cm}} = 10,7 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 107 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

$$E_{\max} < 10^6 \frac{\text{V}}{\text{cm}}, \text{ d.h. kein Durchbruch}$$

2.8

$$t_f \approx \ln(10) \cdot R_L \cdot C_{sp}$$

$$\approx 2,3 \cdot 2,09 \text{ k}\Omega \cdot C_{sp}$$

$$\approx 2,3 \cdot 2,09 \cdot 10^3 \Omega \cdot \frac{\epsilon_0 \epsilon_{r,\text{Si}} A}{W|_{-5 \text{ V}}}$$

$$\approx 2,3 \cdot 2,09 \cdot 10^3 \Omega \cdot \frac{8,854 \cdot 10^{-14} \cdot 12 \text{ As/Vcm} \cdot 100 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2}{1,07 \cdot 10^{-4} \text{ cm}}$$

$$t_f \approx 47,7 \text{ ps}$$

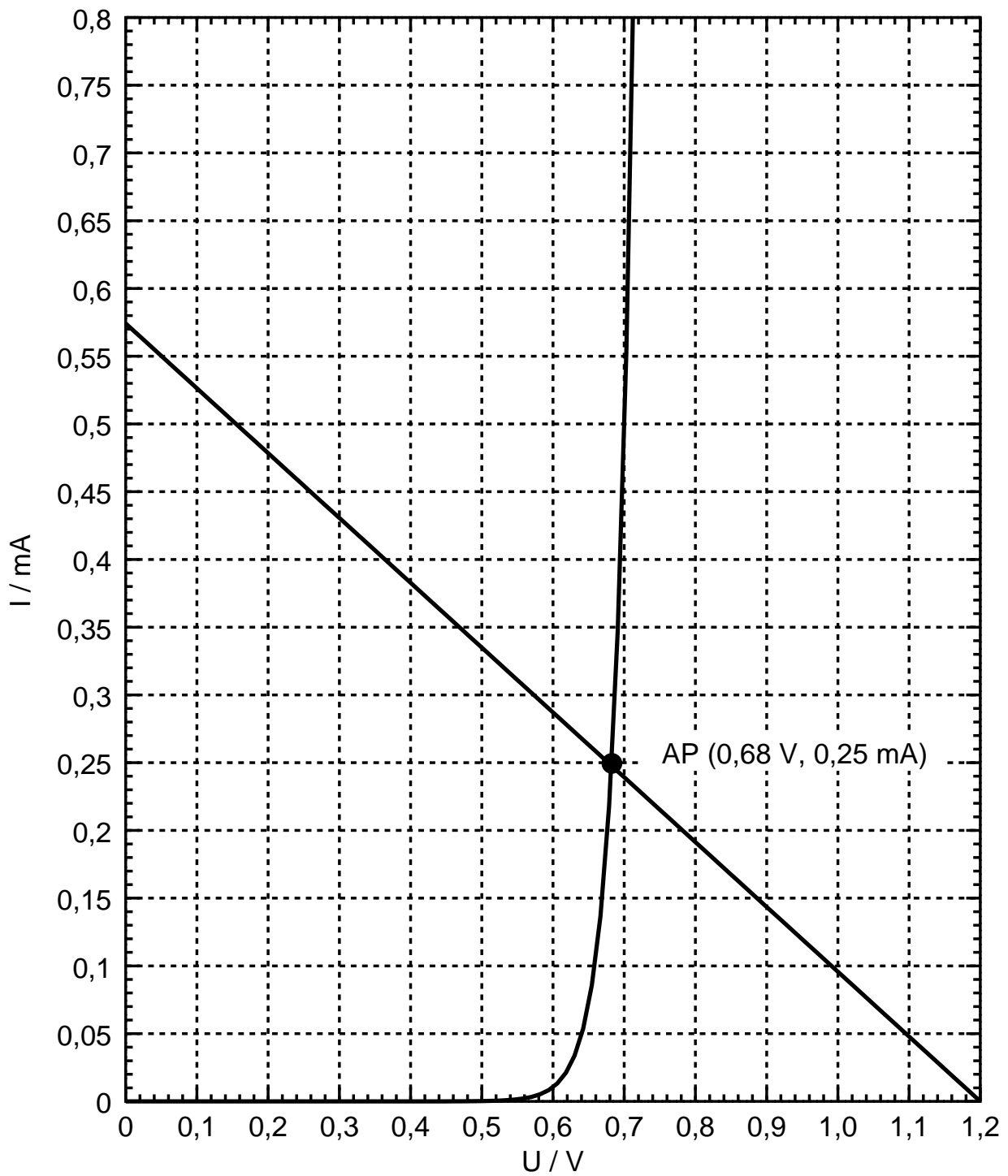
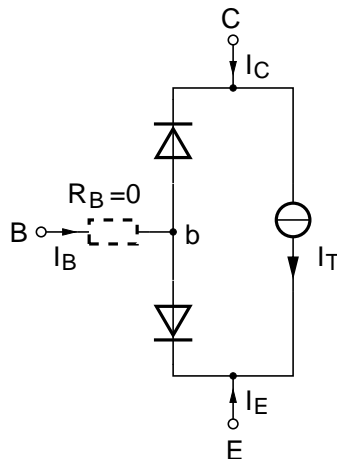


Abb. 2.1: Kennlinie der Si-pn-Diode.

Aufgabe 3: Bipolar-Transistor (20 Punkte)

3.1



$$I_T = I_S \left(e^{\frac{U_{bE}}{U_T}} - e^{\frac{U_{bC}}{U_T}} \right)$$

3.2

$$I_B = \frac{I_S}{B_N} \left[e^{\frac{U_{bE}}{U_T}} - 1 \right] + \frac{I_S}{B_I} \left[e^{\frac{U_{bC}}{U_T}} - 1 \right]$$

3.3 Bei beginnender Sättigung ist $U_{bC} = 0$ und dadurch gilt $U_{bE} = U_{CE,sat}$. Daraus folgt für den Basisstrom:

$$I_B = \frac{I_S}{B_N} \left[e^{\frac{U_{CE,sat}}{U_T}} - 1 \right]$$

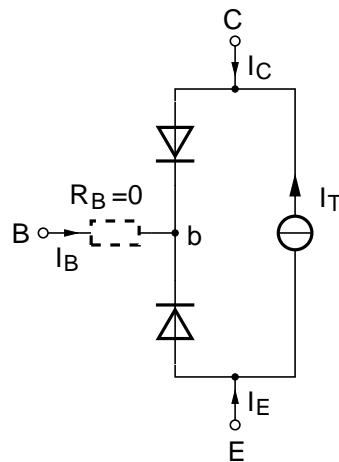
$$\Leftrightarrow \frac{I_B \cdot B_N}{I_S} = e^{\frac{U_{CE,sat}}{U_T}} - 1$$

$$\Leftrightarrow \ln \left(\frac{I_B \cdot B_N}{I_S} + 1 \right) = \frac{U_{CE,sat}}{U_T}$$

$$\Leftrightarrow U_{CE,sat} = U_T \cdot \ln \left(\frac{I_B \cdot B_N}{I_S} + 1 \right)$$

$$U_{CE,sat}|_{I_B=10\mu A} = 0,796 \text{ V}$$

3.4



$$I_T = I_S \left(e^{\frac{-U_{bE}}{U_T}} - e^{\frac{-U_{bC}}{U_T}} \right), \quad \text{mit } I_S > 0$$

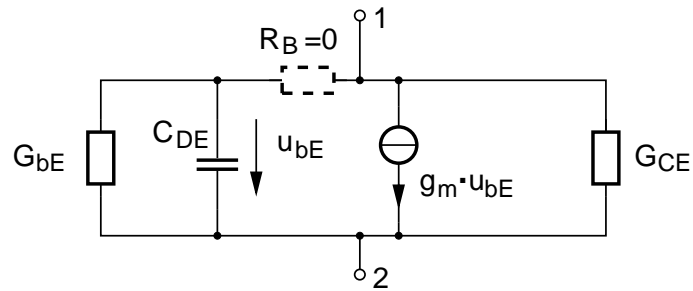
3.5

$$\begin{aligned} I_1 &= I_B|_{U_{bC}=0} + I_C|_{U_{bC}=0} \\ &= \frac{I_S}{B_N} \left(e^{\frac{U_1}{U_T}} - 1 \right) + I_S \left(e^{\frac{U_1}{U_T}} - 1 \right) \\ &= I_S \left(\frac{1}{B_N} + 1 \right) \left(e^{\frac{U_1}{U_T}} - 1 \right) \end{aligned}$$

3.6

$$I_{S,D} = I_S \left(\frac{1}{B_N} + 1 \right) = 1,005 \cdot 10^{-16} \text{ A}$$

3.7



G_{bE}	Eingangsleitwert
C_{DE}	Diffusionskapazität
g_m	Steuersteilheit
G_{CE}	Ausgangsleitwert
(R_B)	Basisbahnwiderstand)

3.8

$$G_D = G_{bE} + g_m + G_{CE}$$

$$G_{bE} = \frac{I_B}{U_T} = \frac{I_1}{(B_N + 1) \cdot U_T} = 191 \mu\text{S}$$

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = \frac{B_N \cdot I_1}{(B_N + 1) \cdot U_T} = 38,27 \text{ mS}$$

$$\Rightarrow G_D = 38,46 \text{ mS}$$

alternativ:

$$G_D = \frac{I_1}{U_T} = 38,46 \text{ mS}$$

3.9

$$C_D = \tau_{T0} \cdot g_m = 382,7 \text{ fF}$$

3.10

$$f_g = \frac{\omega_g}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{G_D}{C_{DE}} = 16,00 \text{ GHz}$$

Aufgabe 4: MOSFET (20 Punkte)

- 4.1 a) $k=173,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$.
- b) $U_{\text{DS,sat}} = 200 \text{ mV}$.
- c) $I_{\text{D}}(U_{\text{DS,sat}}) = \frac{k}{2}(U_{\text{GS}} - U_{\text{th}})^2(1 + \lambda U_{\text{DS,sat}}) = 3,54 \text{ mA}$
 $I_{\text{D}}(U_{\text{DS}} = 2\text{V}) = \frac{k}{2}(U_{\text{GS}} - U_{\text{th}})^2(1 + \lambda U_{\text{DS}}) = 4,16 \text{ mA}$

Zeichnung siehe Abb. 4.1.

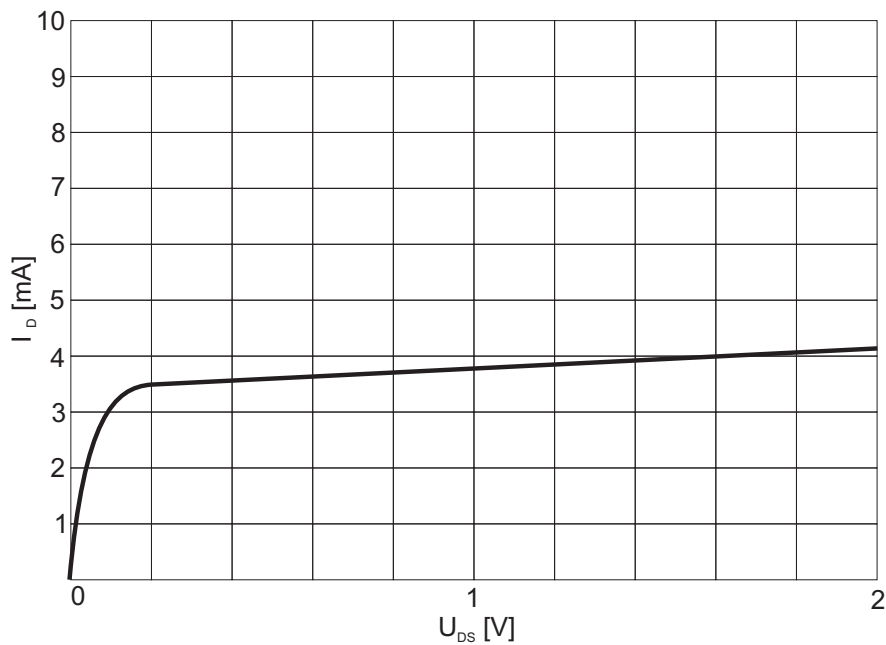


Abb. 4.1: Kennlinie eines MOSFET

- 4.2 a) Siehe Abb. 4.2.
- b) Löcher.
- 4.3 a) Siehe Abb. 4.2.
- b) U_{GS} : negativ, U_{DS} : negativ, I_{D} : negativ und g_{m} : positiv.
- c) Siehe Abb. 4.3

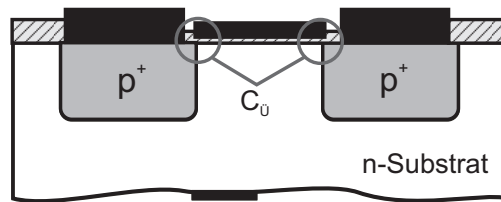


Abb. 4.2: Querschnitt eines integrierten MOSFET

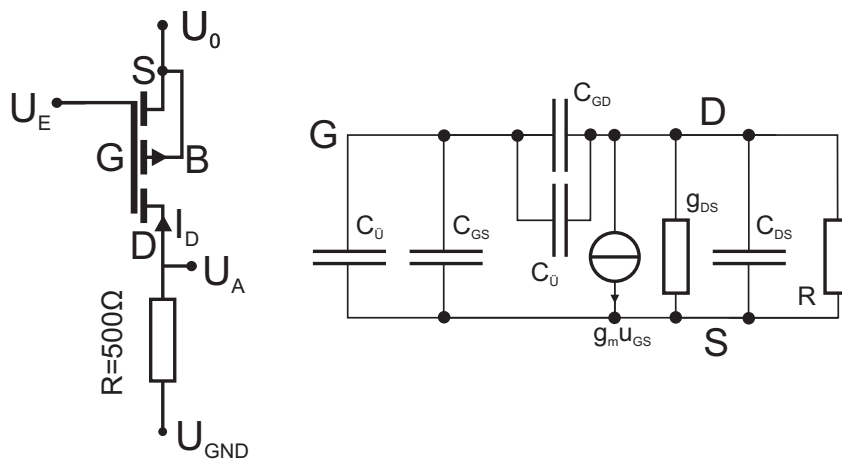


Abb. 4.3: Gesamtschaltung / Kleinsignalersatzschaltbild

- d) $I_D = -\frac{k}{2}(U_{GS} - U_{th})^2 = -2 \text{ mA} \Rightarrow U_{DS} = -U_0 - 500\Omega(-2 \text{ mA}) = -500 \text{ mV}$
 $|U_{DS,sat}| = 200 \text{ mV} < |U_{DS}| \Rightarrow$ Annahme Abschnürbereich ist OK
(Bei Annahme, der Transistor befinde sich im Ohmschen Bereich, ergibt sich für den Drainstrom eine quadratische Gleichung mit offensichtlich positiven Lösungen. Dies macht einerseits physikalisch keinen Sinn, andererseits ergibt die Überprüfung auf $|U_{DS}| > |U_{DS,sat}|$ einen Widerspruch.)
- e) $V = -g_m R_L = k(U_{GS} - U_{th})R_L = -10$