

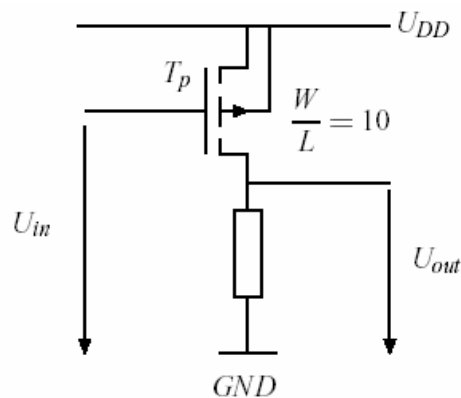
# Elektronik II

## Aufgabe 1: Ausgangskennlinienfeld

- Zeichnen Sie das Ausgangskennlinienfeld eines n-Kanal-MOS-Transistors. Achten Sie auf die Achsen- und Kennlinienbezeichnungen.
- Tragen Sie die Arbeitsbereiche des Transistors ein.
- In welchem Bereich werden MOS-Transistoren in der analogen Schaltungstechnik üblicherweise betrieben? Wieso?
- Können Sie sich eine Anwendung vorstellen, in der man von dieser Gewohnheit abweichen könnte?

## Aufgabe 2: Inverter mit p-Kanal-Transistor

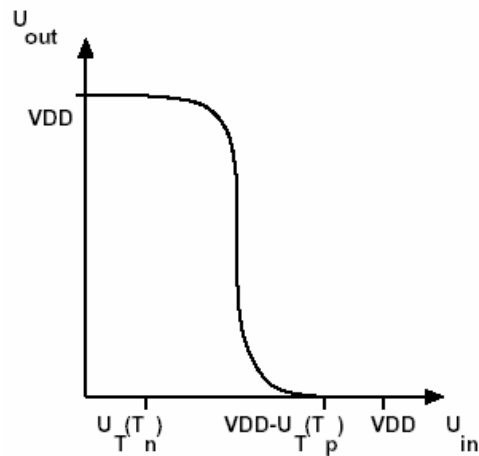
Gegeben sei folgender Inverter:



- Zeichnen Sie für den Transistor  $T_p$   $U_{GS}$ ,  $U_{DS}$  und  $I_D$  ein.
- Geben Sie die Arbeitsbereiche und die entsprechenden Stromgleichungen für den Transistor  $T_p$  an. Führen Sie alle Gleichungen, Ungleichungen und Bedingungen auf die Größen  $U_{in}$ ,  $U_{out}$ ,  $U_{DD}$ ,  $\beta_0$ ,  $\frac{W}{L}$  und  $U_{TP0}$  zurück.
- Berechnen Sie unter Vernachlässigung der Kanallängenmodulation  $U_{in}$  und  $U_{out}$  beim Übergang zwischen Sättigung und linearem Bereich des Transistors bei folgenden Werten:  $U_{TP0} = -1$ ,  $U_{DD} = 5V$ ,  $\beta_{0p} = 16 \frac{\mu A}{V^2}$ ,  $\frac{W}{L} = 10$ ,  $R = 5k\Omega$
- Welche minimale und maximale Spannung kann am Ausgang mit dieser Schaltung erreicht werden, wenn  $U_{in}$  im Bereich von 0 ... 5 V liegt (nur qualitativ, keine Rechnung)? Skizzieren Sie qualitativ die Übertragungskennlinie  $U_{out}$  in Abhängigkeit von  $U_{in}$  für den Bereich 0 ... 5 V.

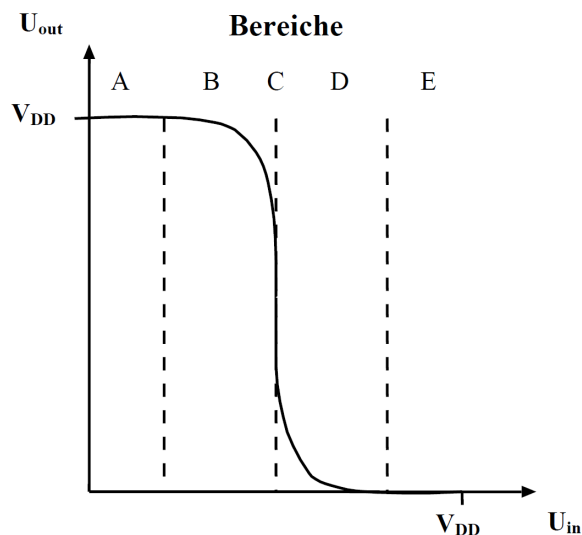
### Aufgabe 3: MOS-Inverter

Gegeben ist folgende Übertragungskennlinie:



- Um welchen MOS-Invertertyp handelt es sich?
- Zeichnen Sie die Schaltung des entsprechenden Inverters. Kennzeichnen Sie Ein- und Ausgang.

### Aufgabe 4: CMOS-Inverter

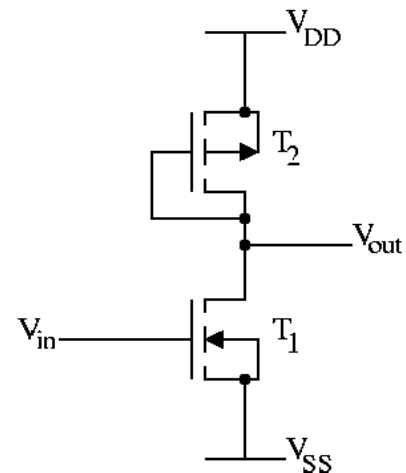


- Um welchen Inverter handelt es sich und skizzieren Sie diesen.
- Beschreiben Sie die Zustände (Sperrbereich, Linearbereich, Sättigungsbereich) der einzelnen Transistoren für die in der Abbildung definierten Bereiche. Geben Sie die zugehörigen Gleichungen für den Transistorstrom  $I_D$  und der Eingangsspannung  $U_{in}$  sowie der Ausgangsspannung  $U_{out}$  an.

- c) Skizzieren Sie den Querstrom  $I_Q$  in Abhängigkeit der Eingangsspannung  $U_{in}$ . Nehmen Sie dazu an, dass der Bereich C bei  $\frac{V_{DD}}{2}$  liegt.
- d) Erweitern Sie Ihre Schaltung um eine kapazitive Last  $C_L$ .
- e) Dimensionieren Sie den Inverter so, dass die steigende und fallende Flanke identische Zeiten benötigen. Leiten Sie Ihr Ergebnis anhand von Gleichungen her. Nehmen Sie für das Verhältnis der beiden Ladungsträgermobilitäten den typischen Wert aus der Vorlesung an. Vereinfachend soll der Betrag der Schwell-Spannung  $U_T$  für alle Transistoren identisch sein.

### Aufgabe 5: Inverter

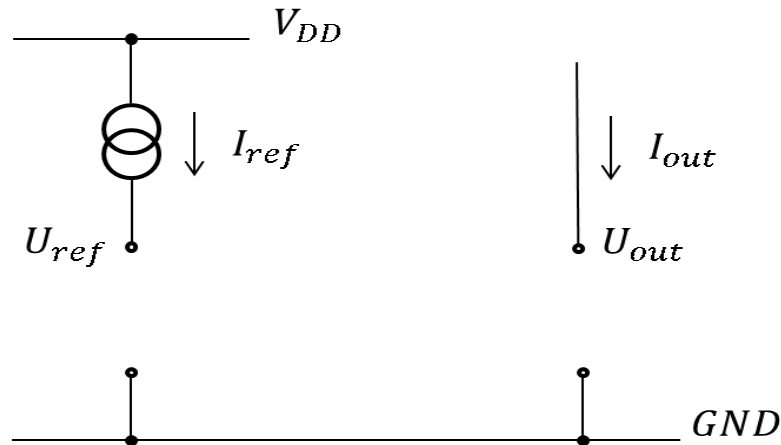
- a) Was für eine Schaltung ist in der nebenstehenden Abbildung dargestellt? Wie ist die Last realisiert?
- b) Anstatt das Großsignalverhalten zu betrachten, sollen mit dieser Schaltung nun analoge Kleinsignale verstärkt werden. In welchem Arbeitsbereich arbeiten die Transistoren sinnvollerweise hierbei? Was ist charakteristisch für diesen Bereich (Gleichungen angeben)? Wieso kommen die anderen Arbeitsbereiche nicht in Frage?



- c) Dimensionieren Sie die Schaltung so dass sich für eine Eingangsspannung von  $V_{in} = 2,5V$  eine Ausgangsspannung von ebenfalls  $V_{out} = 2,5V$  einstellt. Beachten Sie hierbei folgende Vorgaben:  
 $V_{DD} = 5V, V_{SS} = 0V, V_{in} = 2,5V, V_{out} = 2,5V, I_{Dn} = |I_{Dp}| = 200\mu A, V_{Tn} = |V_{Tp}| = 1V, \beta_{0n} = 50 \frac{\mu A}{V^2}, \beta_{0p} = 15 \frac{\mu A}{V^2}, \lambda = 0$ .
- d) Durch eine Abweichung im Herstellungs-Prozess vergrößert sich  $\beta_{0p}$ . Wie ändert sich hierdurch die Ausgangsspannung? Begründen Sie, nicht nur mathematisch!

### Aufgabe 6: Grundsaltung MOS-Stromspiegel

- a) Ergänzen Sie die Schaltung mit einem Stromspiegel aus MOS-Transistoren. Bezeichnen Sie die Bauelemente, die Ströme und die Spannungen.

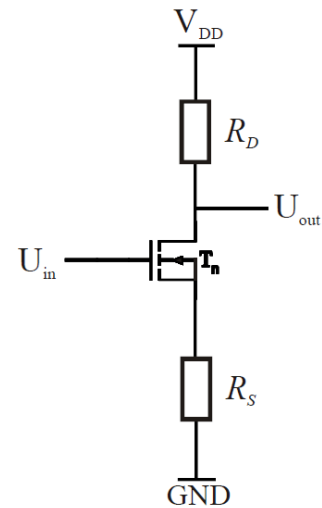


- b) Stellen Sie für obige Schaltung die Stromgleichungen für  $I_{ref}$  und  $I_{out}$  in Funktion von  $\beta$ ,  $U_{GS}$  und  $U_{Th}$  auf.  $U_{Th}$  sei für alle Transistoren identisch. Berechnen Sie  $I_{out}$  in Funktion von  $I_{ref}$  und  $\beta$ .
- c) Stellen Sie die Gleichungen für  $I_{ref}$  und  $I_{out}$  unter Berücksichtigung der Kanallängenmodulation  $\lambda$  auf.
- d) Wie wirken sich Unterschiede in den Spannungen  $U_{ref}$  und  $U_{out}$  der Schaltung auf das Verhältnis der Ströme  $I_{ref}$  und  $I_{out}$  aus?  $\beta$  und  $\lambda$  der Transistoren sind als gleich anzunehmen.
- e) Welche Ausgangsgröße soll beim Stromspiegel einen möglichst großen Wert aufweisen und in welcher Größenordnung liegen die realen und die idealen Werte?
- f) Durch welche Maßnahmen kann die Stromspiegelschaltung in ihrer Wirkungsweise verbessert werden? Nennen Sie zwei Möglichkeiten und skizzieren Sie die Schaltungen.

### Aufgabe 7: Analoge Schaltung

Geben sei folgende Schaltung:

$$\begin{aligned}
 V_{DD} &= 5V \\
 U_{Th0n} &= 1V \\
 \beta_{0n} &= \frac{100\mu A}{V^2} \\
 \lambda_n &= 0,1V^{-1} \\
 R_S &= 40k\Omega \\
 R_D &= 100k\Omega
 \end{aligned}$$



- Dimensionieren Sie den Transistor so dass der Arbeitspunkt ( $U_{in} = 2,5V$ ,  $U_{out} = 2,5V$ ) eingestellt wird. Welche Spannung fällt über dem Widerstand  $R_S$  ab? (die Kanallängenmodulation  $\lambda$  kann bei dieser Dimensionierung vernachlässigt werden)
- Skizzieren Sie das Kleinsignal-ESB für die Schaltung. (Die Kapazitäten sind nicht zu berücksichtigen)
- Berechnen Sie die Kleinsignalparameter des Transistors ( $g_m$ ,  $g_{DS}$ ).
- Berechnen Sie den Wert der Verstärkung der Schaltung.

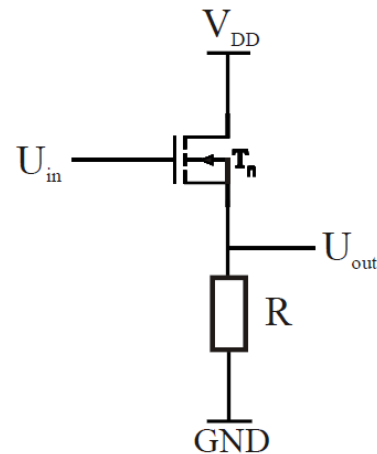
### Aufgabe 8: Verlustleistung beim CMOS-Inverter

Aus welchen Anteilen setzt sich die Verlustleistung eines CMOS-Inverters zusammen und welche Effekte lassen diese sich jeweils zurückführen?

### Aufgabe 9: Source-Folger

Gegeben sei folgende Schaltung:

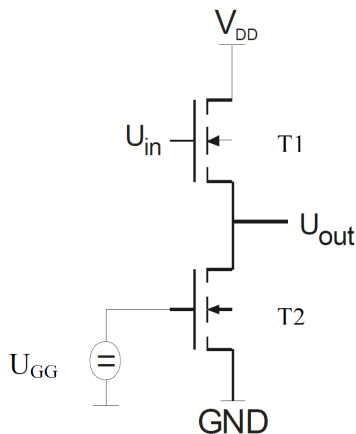
$$\begin{aligned} V_{DD} &= 5V \\ U_{TH0n} &= 1V \\ \beta_{0n} &= \frac{125\mu A}{V^2} \\ \lambda_n &= 0,1 V^{-1} \\ W &= 8\mu m \\ L &= 2\mu m \end{aligned}$$



- Dimensionieren Sie die gegebene Schaltung, so dass der Arbeitspunkt ( $U_{in} = 4V, U_{out} = 2,5V$ ) eingestellt wird. (die Kanallängenmodulation  $\lambda$  kann bei dieser Berechnung vernachlässigt werden)
- Skizzieren Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung. (Die Kapazitäten sind nicht zu berücksichtigen)
- Berechnen Sie die Kleinsignalparameter des Transistors ( $g_m, g_{DS}$ ).
- Berechnen Sie den Wert der Verstärkung der Schaltung.

### Aufgabe 10: Analog Schaltung

Gegeben sei folgende Schaltung:



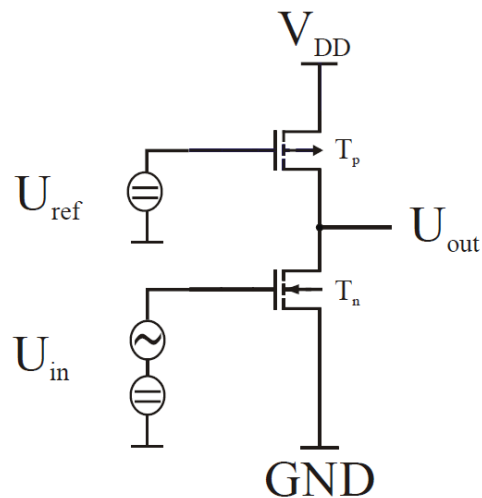
$$\begin{aligned} V_{DD} &= 5V \\ U_{T0n} &= 1V \\ \frac{W_n}{L_n} &= \frac{10}{1} \\ \beta_{0n} &= 60 \frac{\mu A}{V^2} \\ \lambda_n &= 10^{-4} \frac{1}{V} \end{aligned}$$

- Bestimmen Sie die minimale und maximale Ausgangsspannung, bei der die Transistoren im Sättigungsbereich arbeiten.
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung.
- Bestimmen Sie die Transkonduktanz und die Leitwerte der Transistoren im Arbeitspunkt  $U_{in} = 4V, U_{out} = 2,5V, U_{GG} = 1,5V$ .

### Aufgabe 11: Analog-Inverter

Gegeben sei die folgende Schaltung:

$$\begin{aligned}
 V_{DD} &= 5V \\
 U_{TH0n} &= 1V \\
 U_{TH0p} &= -1V \\
 \frac{W_n}{L_n} &= \frac{10}{1} \\
 \frac{W_p}{L_p} &= \frac{30}{1} \\
 \beta_{0n} &= \frac{60\mu A}{V^2} \\
 \beta_{0p} &= \frac{20\mu A}{V^2} \\
 \lambda_n = \lambda_p &= 10^{-4} \frac{1}{V}
 \end{aligned}$$

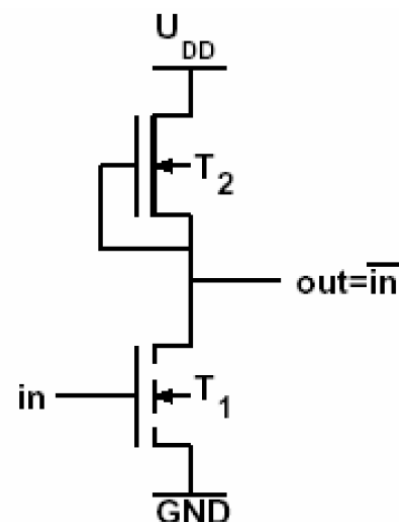


- Bestimmen Sie die minimale und maximale Ausgangsspannung, bei der die Transistoren in Sättigung arbeiten.
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Schaltung.
- Bestimmen Sie die Transkonduktanz und die Leitwerte der Transistoren im Arbeitspunkt  $U_{in} = 2V, U_{out} = 2,5V$ .
- Berechnen Sie die Verstärkung der Schaltung im Arbeitspunkt.

### Aufgabe 12: MOS-Inverter

Geben sei ein NMOS-Inverter mit einem NMOS-Verarmungstyp als Last. Dabei gelten für die Transistoren:  $U_{TH1} = |U_{TH2}| = 1V, \beta_{N1} = \beta_{N2}, U_{DD} = 5V$  (Substrat-Effekt soll vernachlässigt werden)

- An welchem Anschluss ( $U_{DD}, out, GND$ ) befinden sich bei den n-Kanal-Transistoren  $T_1$  und  $T_2$  Source bzw. Drain? Kennzeichnen Sie Source und Drain der Transistoren in der Abbildung. Begründen Sie kurz Ihre Wahl.
- Welche Arbeitsbereiche durchlaufen  $T_1$  bzw.  $T_2$  für  $U_{in} = 0V \dots U_{DD}$ ? Geben Sie jeweils die entsprechenden Stromgleichungen für jeden einzelnen der Transistoren an. Setzen Sie dabei für  $U_{GS}$  und  $U_{DS}$  die entsprechenden Potentiale  $U_{in}, U_{out}$  bzw.  $U_{DD}$  aus der angegebenen Schaltung ein! ( $\lambda = 0$ )
- Wie groß ist  $U_{out}$  bei  $U_{in} = 0V$ ?
- Berechnen Sie aus den Stromgleichungen der beiden Transistoren unter Vernachlässigung der Kanallängenmodulation ( $\lambda = 0$ ) den Wert von  $U_{out}$  bei  $U_{in} = 5V$  unter der Annahme
  - $T_1$  befindet sich in linearen Bereich, und
  - $T_2$  befindet sich im Sättigungsbereich.



e) Skizzieren Sie – anhand der beiden berechneten Punkte- qualitativ die Übertragungskennlinie  $U_{out}$  in Abhängigkeit von  $U_{in}$  für den Bereich  $U_{in} = 0 \dots 5V$ ! Kennzeichnen Sie dabei den Punkt  $U_{in} = U_{TH1}$ !

#### Aufgabe 13: Differenzstufe

- Welche sinnvollen Möglichkeiten haben Sie, das Bulk der Transistoren anzuschließen? Wodurch unterscheiden sich diese Möglichkeiten und was ist die Folge?
- Erklären Sie kurz anhand der Differenzverstärkung  $A_{DM} \approx -g_m \cdot R_{out}$  sowie dem Ausgangskennlinienfeld eines MOS-Transistors, warum man darauf bedacht ist, die Transistoren T1 und T2 in Sättigung zu betreiben!
- Skizzieren Sie den Strom  $\frac{I_{D1}}{I_{SS}}$  über  $\Delta U_i = V_{G1} - V_{G2}$  und erklären Sie die einzelnen Bereiche der Kennlinie! Gehen Sie bei Ihrer Erklärung davon aus, dass  $\Delta V_{G1} = -\Delta V_{G2}$  ist.

#### Aufgabe 14: Common Mode Range (CMR)

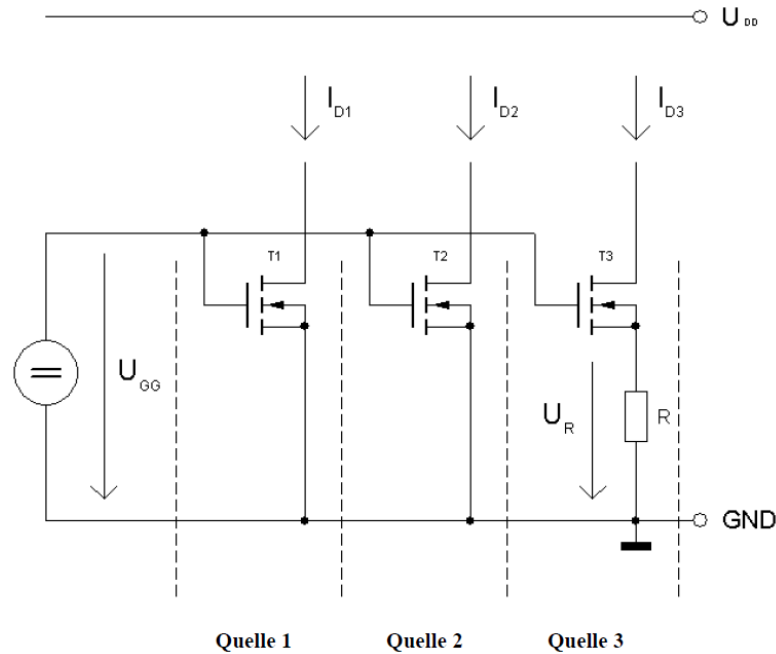
- Was versteht man unter dem Common Mode Range einer Differenzstufe?
- Was kennzeichnet eine ideale Stromquelle? Beachten Sie bei Ihrer Erklärung eine mögliche Potentialschwankung am Knoten  $N_1$ !
- Erklären Sie anschaulich, wodurch die obere und untere Grenze des CMR festgelegt sind! Gehen Sie dabei von einer idealen Stromquelle aus! Was folgt aufgrund dieser Annahme?
- In der Realität kann die Stromquelle durch einen einfachen Stromspiegel realisiert werden. Was ändert sich hierdurch am CMR?

#### Aufgabe 15: Kleinsignalverhalten

- Wie und warum kann man die Differenzstufe zur Berechnung der Kleinsignaldifferenzverstärkung vereinfachen? Beachten Sie bei Ihrer Erklärung einen Innenwiderstand  $R_{SS}$  der Stromquelle, der parallel zu  $I_{SS}$  geschaltet ist!
- Stellen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild zur Berechnung der Differenzverstärkung auf!
- Leiten Sie schließlich anhand des Kleinsignalersatzschaltbildes die Differenzverstärkung her!



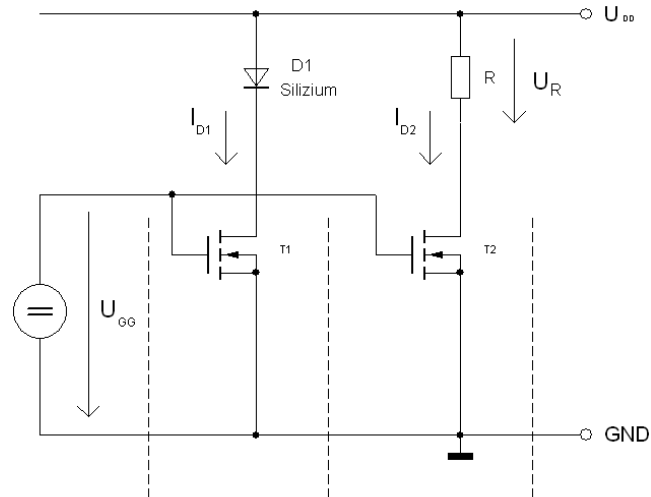
Aufgabe 16: Stromquelle  
Gegeben sei folgende Schaltung:



- Geben Sie die Drainstromgleichung mit Berücksichtigung der Kanalverkürzung für einen MOS-Transistor in Sättigung an.
- Geben Sie die obige Gleichung in Funktion des  $\frac{W}{L}$  Verhältnisses an.
- Beschreiben Sie kurz den Effekt der Kanalverkürzung.
- Die Schaltung soll wie folgt dimensioniert werden:  
 $I_1 = 1mA$      $I_2 = 3mA$      $I_3 = 2mA$      $R = 500 \Omega$   
 $U_T = 1V$      $U_{GG} = 3V$      $\beta_0 = 250 \frac{\mu A}{V^2}$ ,  $\lambda$  kann vernachlässigt werden.  
 Berechnen Sie hierfür die nötigen  $\frac{W}{L}$ -Verhältnisse der einzelnen Transistoren.
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild von Quelle 1 und bestimmen Sie  $r_{out1}$ .
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild von Quelle 3. Wie wird die Stromquelle 3 bezeichnet? Welchen Vorteil weist die Quelle 3 gegenüber Quelle 1 auf und worauf beruht dieser Effekt?
- Nennen Sie eine weitere Schaltungsvariante für Stromquellen mit hohem Ausgangswiderstand.

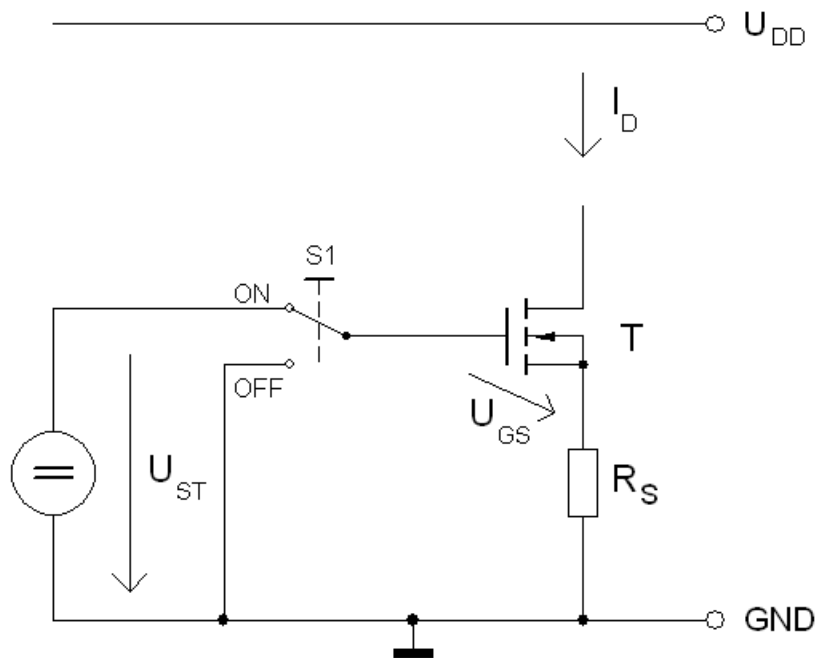
### Aufgabe 17: Stromquelle

Gegeben sei folgende Schaltung:



- Um welchen Typ von Transistor handelt es sich bei  $T_1$  und  $T_2$ ?
- Zeichnen Sie einen Stromspiegel mit p-Kanal enhancement Transistoren und beschriften Sie die Anschlüsse.
- Skizzieren Sie das Ausgangskennlinienfeld eines n-Kanal enhancement Transistors und beschriften Sie die Koordinatenachsen.
- In welchem Arbeitsbereich sollen die Transistoren  $T_1$  und  $T_2$  arbeiten? Geben Sie die Drainstromgleichungen mit Berücksichtigung der Kanalverkürzung für diesen Arbeitsbereich an.
- Dimensionierung der obigen Schaltung unter Vernachlässigung von  $\lambda$ . Vorgaben:  
 $U_{DD} = 10V$     $U_T = 1V$     $U_R = 5V$     $U_{DD} = 10V$     $P_R = 10mW$   
 $U_{GG} = 3V$     $\beta_0 = 250 \frac{\mu A}{V^2}$     $I_{D1} = 1mA$   
 Berechnen Sie mit den Vorgaben das  $\beta$  der Transistoren  $T_1$  und  $T_2$ .
- Berechnen Sie das  $\frac{W}{L}$ -Verhältnis der Transistoren.
- Stimmen die im Aufgabenteil d) angenommenen Arbeitsbereiche mit den im Aufgabenteil e) berechneten überein?
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild von Quelle 1 und bestimmen Sie  $r_{out1}$ .
- Welche schaltungstechnische Ergänzung führt zu einer erhöhten Stabilität des Ausgangsstroms in Quelle 2 und wie wird diese Schaltungsvariante genannt? Führt diese Maßnahme unter Beibehaltung der obigen Dimensionierung zu einer Vergrößerung oder Verringerung des Drainstromes  $I_{D2}$ ?

Aufgabe 18: Schaltbare Stromquelle  
Gegeben sei folgende Schaltung:



- Bei der obigen Schaltung handelt es sich um eine schaltbare Stromquelle mit n-Kanal MOSFET-Transistor, der in Sättigung betrieben wird. Wie lautet die Gleichung für den Drainstrom eines Transistor T unter Berücksichtigung der Kanalverkürzung. (Geben Sie die Gleichung für den Drainstrom des Transistors T in Funktion des  $\frac{W}{L}$ -Verhältnisses an)
- Welchen Einfluss hat der Effekt der Kanalverkürzung auf das Verhalten der obigen Schaltung (Schalterstellung  $S_1 = ON$ )?
- Dimensionieren Sie das  $\frac{W}{L}$ -Verhältnis des Transistors T für folgende Werte:  
 $I_D = 1mA$      $R_S = 500 \Omega$   
 $U_T = 1,2V$      $U_{ST} = 5V$      $\beta_0 250 \frac{\mu A}{V^2}$     ( $\lambda$  kann vernachlässigt werden)
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der obigen Schaltung.
- Bestimmen Sie ausgehend vom Kleinsignalersatzschaltbild den Ausgangswiderstand  $R_{out}$  am Drainanschluss des Transistors T (für den Transistor T gilt im Arbeitspunkt:  $g_M = 2mS$ ,  $r_{DS} = 200k\Omega$ ).
- Welche Funktion erfüllt der Widerstand  $R_S$  und wie wird diese Schaltungsvariante bezeichnet.
- Weshalb muss zum Ausschalten der Stromquelle der Schalteranschluss von  $S_1$  nach GND gelegt werden und darf nicht offen gelassen werden?