

E23 Feldeffekttransistor

Grundlagen

Bei Feldeffekttransistoren (FET) kann der Widerstand eines Stromkanals in einem Halbleiterkristall zwischen Source S und Drain D durch ein elektrisches Feld gesteuert werden. Dieses wird durch Anlegen einer Spannung zwischen Gate und Bulk erzeugt.¹

Zum Stromtransport trägt nur eine Ladungsträgersorte bei, weshalb FET auch Unipolartransistoren genannt werden. Da die Gate-Source-Strecke in Sperrrichtung betrieben wird und das Gate oft durch eine Oxidschicht vom Halbleiterkristall getrennt ist, ist der Eingangswiderstand h_{11} praktisch unendlich groß.

Er liegt im Bereich von $10^{10} \Omega$ bis $10^{15} \Omega$. Diese Eigenschaft und die Möglichkeit der Steuerung des ohmschen Widerstandes ermöglichen die Realisierung von Schaltungen mit Eigenschaften, die mit Bipolartransistoren nicht erreicht werden können. Darüber hinaus eignen sich FET-Strukturen hervorragend zur Herstellung integrierter Schaltungen. Trotz anderer Wirkungsweise von Feldeffekttransistoren können diese vereinfacht analog zu den Bipolartransistoren behandelt werden. Dem Emitter- bzw. Kollektoranschluss entspricht der Source- bzw. Drainanschluss. Anstelle des Basisanschlusses tritt das Gate.

Im Folgenden wird die der Emitterschaltung entsprechende Sourceschaltung mit einem n-Kanal-Sperrschicht-FET betrachtet.

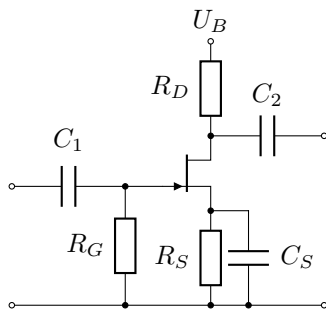


Abbildung 1: Verstärkerschaltung mit n-Kanal FET in Sourceschaltung

Zur Beschreibung des FET sowie zur Dimensionierung von Schaltungen wird das Kennlinienfeld benötigt.

Wegen des praktisch nicht vorhandenen Gatestroms macht die Darstellung der Eingangskennlinien $I_D(I_G)$ und $U_{GS}(I_G)$ ² keinen Sinn. Man benutzt stattdessen die Abhängigkeit

¹Meist ist der Bulk-Anschluss im Innern des Transistors mit Source verbunden und nicht getrennt herausgeführt.

²Diese entsprechen den Kennlinien $I_C(I_B)$ und $U_{BE}(I_B)$ beim Bipolartransistor.

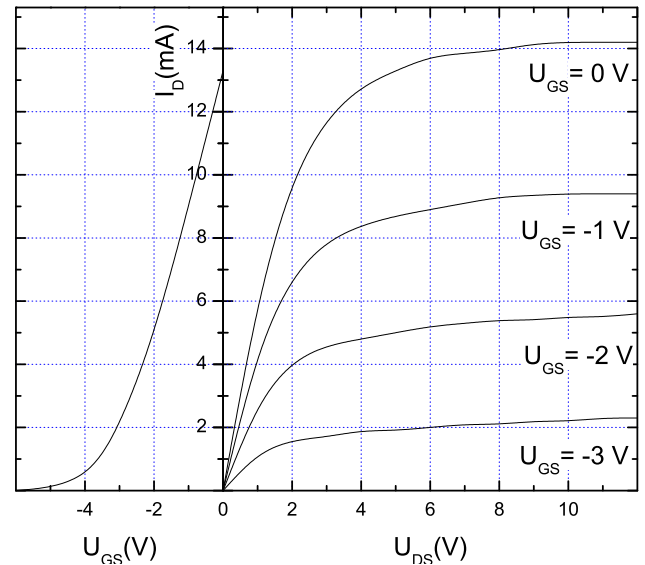


Abbildung 2: Kennlinienfeld eines n-Kanal-Sperrschicht-FET BF245

$I_D(U_{GS})$. Der Anstieg dieser Kennlinie

$$S = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} \quad (1)$$

ist die Steilheit des FET. Dieser entspricht beim Bipolartransistor der Quotient $\frac{h_{21}}{h_{11}}$.

Für den Kleinsignalbetrieb wird der Arbeitspunkt im Sättigungsbereich des Drainstroms gewählt. Die Dimensionierung der Verstärkerschaltung erfolgt analog zur Vorgehensweise beim Bipolartransistor. Da jedoch U_{GS} negativ sein muss, kann der Arbeitspunkt nicht mit einem Spannungsteiler aus der Betriebsspannung gewonnen werden. Vielmehr wird das Gatepotenzial mit dem fast beliebig hochohmigen Widerstand R_G auf Massepotenzial gelegt. Der Spannungsabfall über dem Sourcewiderstand R_S legt dann allein U_{GS} fest und ist somit unbedingt erforderlich. Gleichzeitig sorgt er durch Gegenkopplung für eine Stabilisierung der Schaltung. Für eine hohe Wechselspannungsverstärkung kann er mit einem Kondensator überbrückt werden.

Bei kleinen positiven wie negativen U_{DS} ist I_D annähernd proportional zu U_{DS} , es liegt ohmsches Verhalten vor. Der Kehrwert des Anstiegs der Kennlinie $I_D(U_{DS})$ ist der Kanalwiderstand. Durch Vorgabe der Gatespannung U_{GS} kann dieser über mehrere Größenordnungen eingestellt werden. Für Anwendungen besonders interessant ist, dass die Transistorstrecke Drain-Source prinzipiell beliebige Widerstände in völlig anderen elektrischen Schaltungen ersetzen kann. Als Beispiel ist in der Abbildung 3 ein einfacher Spannungsteiler dargestellt. Setzt man einen solchen Spannungsteiler bei-

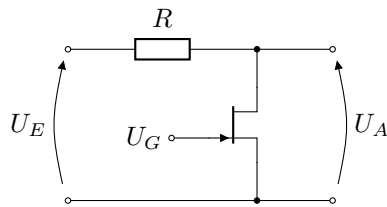


Abbildung 3: Spannungsteiler mit FET

spielsweise im Gegenkopplungsweig einer OPV-Schaltung ein, erhält man einen Verstärker mit spannungsgesteuerter Verstärkung, wie er für viele Mess- und Regelungsanwendungen benötigt wird.

Versuchsvorbereitung

- Aufbau von Unipolartransistoren
- Skizzieren Sie die Symbole und Eingangskennlinienfelder $I_D(U_{GS})$ der verschiedenen FET-Typen jeweils für n- und p-Kanal. (Sperrschicht-FET (JFET), Isolierschicht-FET (MISFET oder MOSFET) selbstleitend und selbstsperrend)
- Begründen Sie, warum der Quotient $\frac{h_{21}}{h_{11}}$ der Steilheit entspricht!
- Stellen Sie Berechnungsformeln für den Ein- und Ausgangswiderstand sowie für die Spannungsverstärkung der Sourceschaltung auf. Gehen Sie von den entsprechenden Formeln der Emitterschaltung des Bipolartransistors aus.
- Legen Sie anhand der Abbildung 2 eine geeignete Arbeitsgerade und einen geeigneten Arbeitspunkt fest. Dimensionieren Sie die Schaltung in Abbildung 1 für eine untere Grenzfrequenz von 50 Hz. Der Lastwiderstand beträgt 10 k Ω .

Aufgaben

- Messen und zeichnen Sie die Steuerkennlinie $I_D(U_{GS})$. Bestimmen Sie die Steilheit des verwendeten FET.
- Messen Sie das Ausgangskennlinienfeld $I_D(U_{DS})$ für verschiedene U_{GS} .
Untersuchen Sie insbesondere den linearen Bereich bei kleinen positiven und negativen U_{DS} .
- Bauen Sie den Wechselspannungsverstärker nach Abbildung 1 auf.
Korrigieren Sie nötigenfalls Ihre berechneten Werte unter Zuhilfenahme der konkret gemessenen Kennlinienfelder. Überprüfen Sie die Funktion der Schaltung. Messen Sie den Arbeitspunkt, die Verstärkung, die Grenzfrequenzen und die Ein- und Ausgangswiderstände.
- Messen Sie die Spannungsverstärkung ohne C_S . Vergleichen Sie mit dem zu erwartenden Wert.
- Zeichnen Sie logarithmisch den Kanalwiderstand in Abhängigkeit der Gatespannung.

- Bauen Sie einen spannungsgesteuerten Spannungsteiler nach Abbildung 3 mit einem Regelumfang von ca. 40 dB auf. Überprüfen Sie sein Verhalten.
- Bauen Sie eine nichtinvertierende OPV Verstärkerschaltung auf. Wandeln Sie diese so ab, dass deren Verstärkung durch Anlegen einer variablen Spannung geregelt werden kann. Überprüfen Sie die Funktion der Schaltung.