

353 - Feldeffekttransistor

1. Aufgaben

- 1.1 Untersuchen Sie die Funktionsweise eines Feldeffekttransistors als steuerbaren Widerstand.
- 1.2 Bauen Sie einen Wechselspannungsverstärker mit Hilfe eines Feldeffekttransistors auf. Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Spannungsverstärkung vom Arbeitspunkt.
- 1.3 Bauen Sie zwei vorgegebene Schaltungen zur Untersuchung des hochohmigen Eingangs auf.
- 1.4 Schätzen Sie die Gatekapazität eines Feldeffekttransistors experimentell ab.

2. Grundlagen

Stichworte:

Feldeffekttransistor, strom- und spannungsrichtige Messung, Auf- und Entladen eines Kondensators

2.1 Feldeffekttransistoren (FET)

Der FET stellt ein spannungsgesteuertes Bauelement dar. Durch Anlegen einer Gate-Spannung U_G kann der Drain-Source-Kanal verändert werden. Es gibt zahlreiche Formen von FETs. Im Folgenden beschränken wir uns auf den n-Kanal JFET, der im Praktikum verwendet wird.

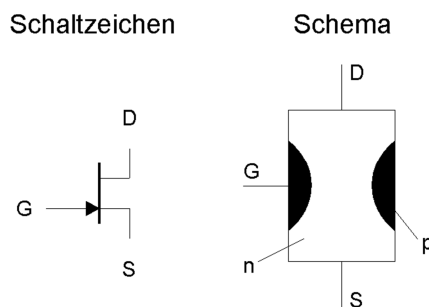


Abb. 1: Schematische Darstellung sowie Schaltzeichen eines n-Kanal JFETs mit den drei Anschlüssen
D – Drain, G – Gate, S – Source

Der FET besteht aus einem n-leitenden Halbleiterkristall, der mit Source (= Quelle) und Drain (= Senke) verbunden ist (siehe Abb. 1). Das Gate besteht aus einem p-leitenden Halbleiter. Bringt man diese beiden Halbleiter zusammen, so rekombinieren die Elektronen und Löcher im Grenzbereich und es bildet sich eine neutrale, nicht leitende Zone aus.

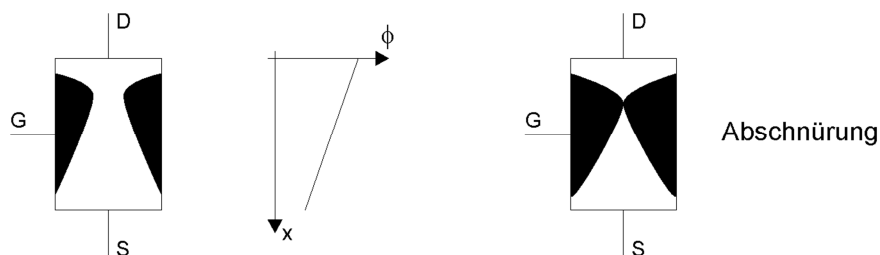


Abb. 2: Zur Entstehung der Selbstabschnürung des FET.

Legt man das Gate auf Masse, so nimmt das elektrische Potential entlang des Kanals linear ab. An jeder Stelle entlang des Kanals bildet sich so eine unterschiedliche Spannung zwischen Kanal und dem Gate aus. Je größer diese Spannung ist, desto größer wird die Sperrschicht. Es ergibt sich ein Verhalten, dass in Abb. 2 dargestellt ist. Erhöht man nun die Drain-Source-Spannung, so kann ein Bereich erreicht werden, bei dem der Querschnitt des Kanals völlig abgeschnürt wird. Man bezeichnet diese Spannung Abschnür- oder pinch-off-Spannung.

Durch Anlegen einer Spannung zwischen dem Gate und dem Drain-Source-Kanal wird die Größe der Sperrschicht beeinflusst. Man kann den Kanal jetzt durch Variation der Gate-Spannung im Querschnitt verändern. Man erhält so einen steuerbaren Widerstand.

Man kann die Spannungssteuerung des Drain-Source-Kanals ausnutzen, um einen Wechselspannungsverstärker zu bauen. Man legt hierzu eine Hilfsspannung an den Gate-Anschluss, die die Drain-Source-Spannung im Ruhezustand festlegt. Üblicherweise wird diese auf die halbe Betriebsspannung gelegt, um ein symmetrisches Aussteuerverhalten zu erhalten. Dieser Ruhespannung am Gate überlagert man die kleine zu verstärkende Spannung. Dies hat zur Folge, dass die Drain-Source-Spannung sich entsprechend mit verändert – das Signal wird verstärkt. Um eine Beeinflussung der Signalquelle zu vermeiden, wird das Eingangssignal vielfach über einen Koppelkondensator eingekoppelt. Dieser wirkt für Gleichspannung als Unterbrechung, für Wechselspannung ist er hingegen durchlässig.

2.2 Auf- und Entladevorgänge an einem Kondensator

Wird ein Kondensator über einen Widerstand an eine Spannungsquelle angeschlossen, so lädt sich dieser auf (siehe Abb. 3).

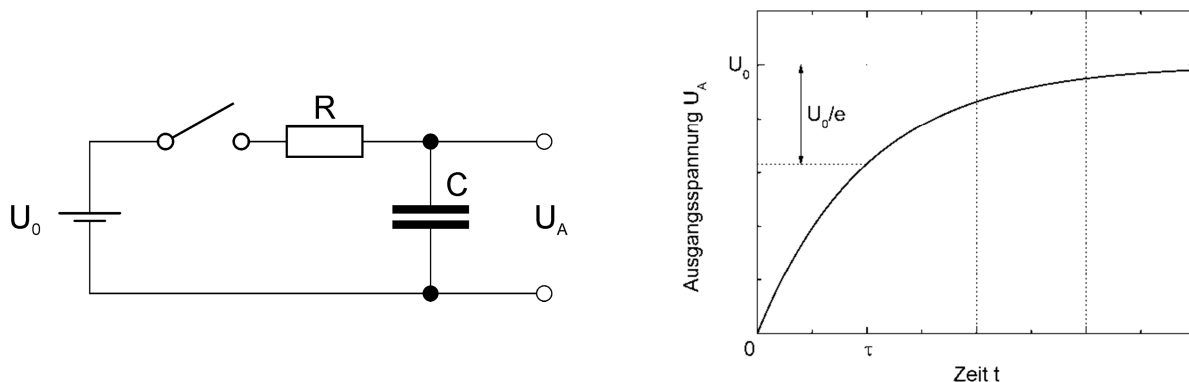


Abb. 3: Aufladen eines Kondensators.

Das zeitliche Verhalten ist durch einen exponentiellen Zusammenhang gegeben:

$$U_A(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Analog ergibt sich beim Schließen des Stromkreises beim Entladen folgender Zusammenhang:

$$U_A(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Die charakteristische Zeit $\tau = RC$ wird Ladezeit genannt. Je größer der Widerstand und der Kondensator sind, desto länger dauert das Auf- und Entladen.

3. Versuchsdurchführung

- 3.1 Untersuchen Sie die Steuerung des Drain-Source-Kanals durch eine Gatespannung. Bauen Sie hierzu die Schaltung aus Abb. 4 auf. Variieren Sie die Gate-Source-Spannung U_{GS} und messen Sie den Drain-Source-Strom I_{DS} sowie die Drain-Source-Spannung U_{DS} . Aus diesen beiden Größen lässt sich der Drain-Source-Widerstand R_{DS} des FETs berechnen. Plotten Sie R_{DS} gegen die Gatespannung U_G . In welchem Bereich liegt ein nahezu linearer Arbeitsbereich vor? Bestimmen Sie die minimale sowie die maximale Kanalleitfähigkeit.

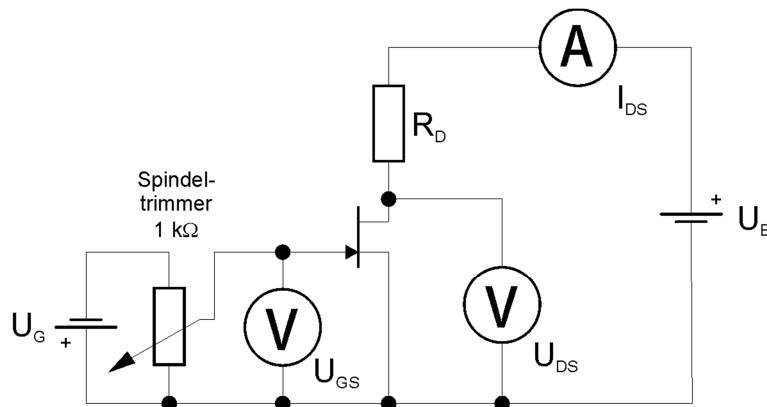


Abb. 4: Schaltung zur Untersuchung der Steuerung des Drain-Source-Kanals ($R_D = 1 \text{ k}\Omega$, $U_B = 10 \text{ V}$, $U_G = 1 \text{ V}$).

Beachten Sie die Polarität von U_G !

- 3.2 Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 5 auf. Verwenden Sie als Signalquelle den Hameg-Frequenzgenerator. Stellen Sie mit Hilfe des Offsetreglers am Generator (1x -20dB Abschwächung verwenden!) die Drain-Source-Spannung auf $U_B/2$ ein (Festlegung des Arbeitspunktes). Stellen Sie nun am Generator eine sinusförmige Spannung mit einer Frequenz im Bereich von 10 bis 50 kHz an und beobachten Sie das Ausgangssignal am Oszilloskop. Bestimmen Sie die maximale Eingangsspannung, bei der keine Verzerrung des Sinussignals auftritt. Wie groß ist die Spannungsverstärkung des Verstärkers? Welche Aufgabe hat der Kondensator C? Vergleichen Sie hierzu das Signal am Ausgang mit dem am Drain-Eingang des JFET.

Ändern Sie nun den Ruhearbeitspunkt durch Variation der Offsetspannung U_{E0} am Generator auf $1/4U_B$ sowie $3/4U_B$. Wie groß darf jetzt die maximale Eingangsspannung werden, um unverzerrt verstärkt zu werden? Wodurch wird die Verzerrung hervorgerufen?

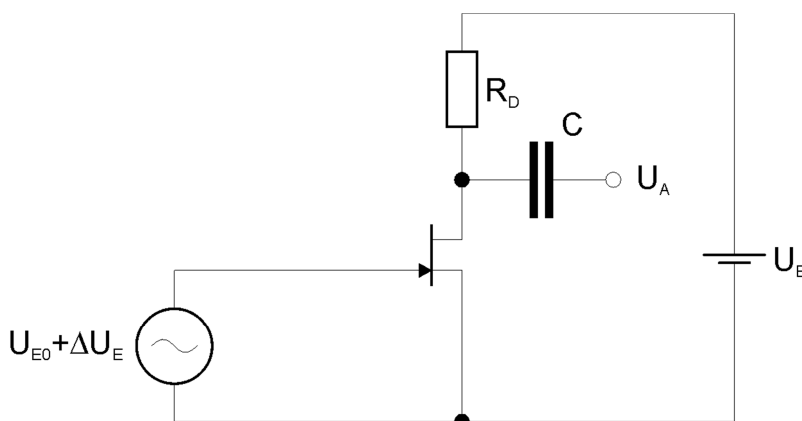


Abb. 5: Schaltung zur Verstärkung kleiner Wechsellspannungssignale mit einem JFET ($C = 100 \text{ nF}$, $R_D = 1 \text{ k}\Omega$, $U_B = 10 \text{ V}$). Die Eingangsspannung $U_{E0} + \Delta U_E$ wird durch den Hameg-Frequenzgenerator bereitgestellt.

- 3.3 Benutzen Sie nun die FET-Schaltung mit offenem Gate-Anschluss (siehe Abb. 6 links). Zeigen Sie die Ausgangsspannung am Oszilloskop an. Berühren Sie nun den Gate-Anschluss. Beschreiben Sie ihre Beobachtung. Wodurch können Sie den Zustand umschalten?

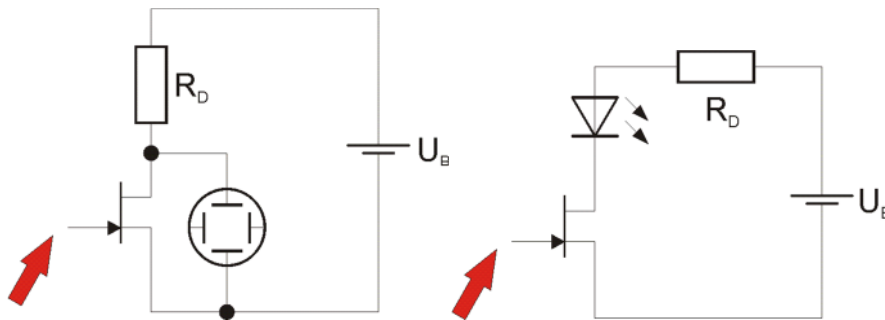


Abb. 6: Schaltungen zur Demonstration des hochohmigen Eingangs.
 $R_D = 1 \text{ k}\Omega$, $U_B = 10 \text{ V}$.

Ersetzen Sie nun den Drain-Widerstand durch eine *Reihenschaltung* von R_D mit einer Leuchtdiode (siehe Abb. 6 rechts). Berühren Sie erneut den Gateanschluss und Beobachten Sie die Leuchtdiode. Schließen Sie ein kurzes isoliertes Kabel an das Gate an. Bringen Sie die Leuchtdiode danach wieder in den ausgeschalteten Zustand. Berühren Sie nun die Kabelisolation und warten Sie einige Sekunden. Diskutieren Sie Ihre Beobachtungen.

- 3.4 Zur Abschätzung der Gate-Kapazität laden Sie diese durch einen Taster auf und entladen Sie durch einen großen Widerstand (typ. $1 \text{ G}\Omega$). Verwenden Sie hierzu die Schaltung aus Abb. 7. Benutzen Sie die Speicherfunktion des Oszilloskops zur Aufzeichnung der Entladekurve am Drain-Source-Kanal (Einzel-Triggerung, fallende Flanke). Rechnen Sie die Drain-Source-Spannung mit Hilfe der Ergebnisse aus Aufgabe 1.1 in die Gate-Source-Spannung um. Plotten Sie $U_G(t)$ und bestimmen Sie daraus die Größenordnung der Gate-Kapazität.

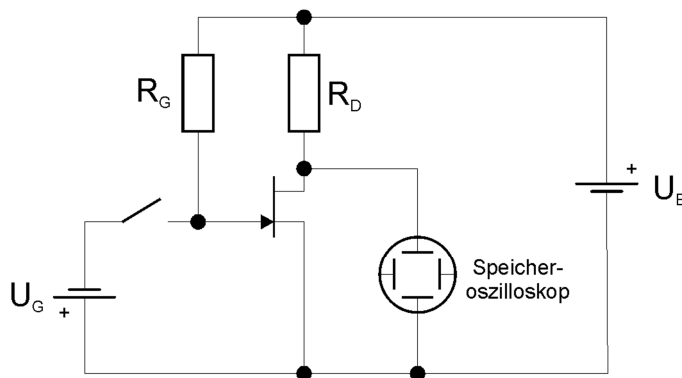


Abb. 7: Schaltung zur Bestimmung der Gate-Kapazität ($R_D = 1 \text{ k}\Omega$, $R_G = 1 \text{ G}\Omega$, $U_B = 10 \text{ V}$, $U_G = 1 \text{ V}$).

Beachten Sie die Polarität von U_G !

Literatur:

H. Hinsch, *Elektronik: Ein Werkzeug für Naturwissenschaftler*, Springer Berlin 1996.
 U. Tietze, C. Schenk, E. Gamm, *Halbleiter-Schaltungstechnik*, Springer Berlin 2009.