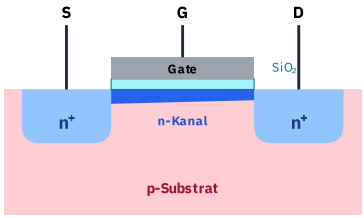
Feldeffekttransistor und IC

FET unipolar und spannungsgesteuert · MOSFET-Aufbau · Schaltzeichen · Gate-Teiler · R_DSon · IC und MMIC · R_BIAS



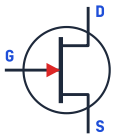
N-Kanal-MOSFET: positive U_{GS} zieht Elektronen unter das isolierende Oxid, ein n-Kanal verbindet Source und Drain. Kein Gatestrom.

Feldeffekttransistor (FET)

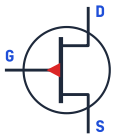
- **Unipolar:** nur eine Ladungsträgersorte (N-Kanal Elektronen, P-Kanal Löcher). Bipolar sind nur NPN und PNP.
- Anschlüsse **Source** (Quelle), **Drain** (Abfluss), **Gate** (Steuerung).
- **Spannungsgesteuert:** U_{GS} steuert den Kanal, es fließt kein Gatestrom. Der Bipolartransistor ist stromgesteuert.
- Prüfung: „U_{GS} steuert den Widerstand des Kanals zwischen Source und Drain“ (streng bei kleiner U_{DS}).

Typen und Symbolregeln

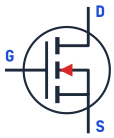
- **Sperrschicht-FET:** Gate = pn-Übergang (JFET) oder Schottky (MESFET), immer selbstleitend.
- **Isolierschicht-FET (MOSFET):** Gate durch Oxid isoliert, selbstsperrend (Anreicherung) oder selbstleitend (Verarmung). Häufigster Transistor überhaupt.
- **Pfeil zum Kanal = N-Kanal**, weg = P-Kanal. JFET: Pfeil am Gate. MOSFET: Pfeil am Bulk.
- **Kanal durchgehend = selbstleitend**, drei Striche = selbstsperrend.



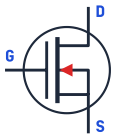
N-JFET, selbstleitend



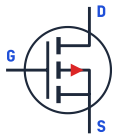
P-JFET, selbstleitend



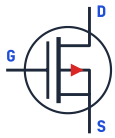
N-MOSFET, selbstsperrend



N-MOSFET, selbstleitend



P-MOSFET, selbstsperrend



P-MOSFET, selbstleitend

Spannungsteiler am Gate

Kein Gatestrom, der Teiler ist unbelastet: **$U_{GS} = U_B \cdot R2 / (R1 + R2)$**. Was im Drain hängt (R3), zählt nicht.

44 V, R1 = 10 kΩ, R2 = 1 kΩ: 44 V · 1/11 = **4 V** (nicht 8 V mit R3, nicht 4,4 V mit R2/R1).

Für 2,8 V: R2 = 10 kΩ · 2,8 / 41,2 ≈ **680 Ω**.

R_{DSon}: Verluste beim Schalten

Voll durchgesteuert wirkt der MOSFET wie ein kleiner Widerstand. **$P = I^2 \cdot R_{DSon}$**.

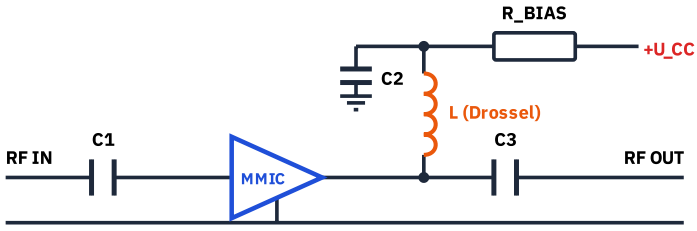
25 A, 4 mΩ: 625 · 0,004 = **2,5 W**. I · R = 0,1 V ist die Spannung, keine Leistung. Doppelter Strom, vierfache Wärme.

MOSFETs sind empfindlich gegen statische Aufladung (dünnes Gateoxid): Erdungsarmband, leitender Schaumstoff.

Integrierte Schaltung (IC)

Komplexe Schaltung auf **einem Halbleitersubstrat**. Keine ICs: vergossene Einzelbauteile, SMD-Miniaturschaltung, zusammengeschaltete Baugruppen.

Aus Österreich: „TinyWhisper“ (JKU Linz mit Uni Würzburg), Kurzwellensender als ein Chip, 130-nm-CMOS, 2 × 2 mm, RISC-V und IQ-Modulator, WSPR auf 80/40/20/10 m.



Pin 1 Eingang, 3 Ausgang, 2/4 Masse

MMIC-Grundschaltung: C1/C3 sperren Gleichspannung, Versorgung über R_{BIAS} und HF-Drossel auf den Ausgang, C2 blockt HF ab. Drossel + C2 = Bias-T.

MMIC und R_{BIAS}

Monolithic Microwave IC: **aktive und passive Bauteile auf einem Substrat**, Ein- und Ausgang **etwa 50 Ω**, breitbandig hohe Verstärkung mit wenigen Bauteilen. Ab 0 Hz verstärkt er nicht (Koppel-C).

$R_{BIAS} = (U_{CC} - U_D) / I_D \cdot P_D = U_D \cdot I_D$

13,5 V · 4 V · 10 mA	**9,5 V / 10 mA = 950 Ω**
13,8 V · 4 V · 15 mA	**653 Ω → Normwert 680 Ω**
9 V · 4 V · 470 Ω	**I_D = 10,6 mA, P_D ≈ 43 mW**

Häufige Fehler: U_D nicht abziehen (1350 Ω), Leistung im Widerstand statt im MMIC (53 mW) oder die Gesamtleistung (96 mW).

Quellen: Grundlagen der Halbleiterbauelemente; Rechenbeispiele selbst nachgerechnet; E12-Reihe nach IEC 60063; TinyWhisper: github.com/iic-jku/TinyWhisper; Idee nach 50ohm.de (Transistor II, Integrierte Schaltkreise). Angaben ohne Gewähr.
Online mit Übungen: amateurfunk-oe.at/lernmaterial/fet-und-ic/

Stand November 2026

ÜBUNGSBOGEN

Quiz: Feldeffekttransistor und IC

Name: _____

Kreuzen Sie jeweils die richtige Antwort an. Die Lösungen stehen unten auf der Seite.

Ergebnis: ____ / 12

1. Wie wird ein Feldeffekttransistor (FET) gesteuert?

- ☐ **A** stromgesteuert, über einen Gatestrom
- ☐ **B** spannungsgesteuert, über U_GS
- ☐ **C** optisch gesteuert
- ☐ **D** leistungsgesteuert

2. Wie steuert ein FET den Strom zwischen Drain und Source?

- ☐ **A** U_GS verändert den Widerstand des Kanals.
- ☐ **B** Der Gatestrom wird im Kanal verstärkt.
- ☐ **C** Der Gatestrom verändert den Kanalwiderstand.
- ☐ **D** U_GS treibt einen Gatestrom in den Kanal.

3. JFET-Schaltzeichen: Anschluss 1 oben, 2 unten, 3 links mit Pfeil. Wie heißen sie?

- ☐ **A** 1 Anode, 2 Kathode, 3 Gate
- ☐ **B** 1 Drain, 2 Source, 3 Gate
- ☐ **C** 1 Kollektor, 2 Emitter, 3 Basis
- ☐ **D** 1 Source, 2 Drain, 3 Gate

4. Sperrschicht-FET, der Gatepfeil zeigt zum Kanal hin. Was ist das?

- ☐ **A** selbstleitender N-Kanal-JFET
- ☐ **B** selbstleitender P-Kanal-JFET
- ☐ **C** selbstsperrender P-Kanal-JFET
- ☐ **D** selbstsperrender N-Kanal-JFET

5. MOSFET-Schaltzeichen mit drei Kanalstrichen, Pfeil zum Kanal hin. Was ist das?

- ☐ **A** selbstleitender N-Kanal-MOSFET
- ☐ **B** selbstleitender P-Kanal-MOSFET
- ☐ **C** selbstsperrender N-Kanal-MOSFET
- ☐ **D** selbstsperrender P-Kanal-MOSFET

6. U_B = 44 V, Gate-Teiler R1 = 10 kΩ (oben), R2 = 1 kΩ (unten), im Drain R3 = 2,2 kΩ. Wie groß ist U_GS?

- ☐ **A** 8 V
- ☐ **B** 4,4 V
- ☐ **C** 0,7 V
- ☐ **D** 4 V

7. U_B = 44 V, R1 = 10 kΩ. Welcher R2 ergibt U_GS = 2,8 V?

- ☐ **A** etwa 820 Ω
- ☐ **B** etwa 68 Ω
- ☐ **C** etwa 680 Ω
- ☐ **D** etwa 1,4 kΩ

8. Ein durchgesteuerter MOSFET hat R_DSon = 4 mΩ und führt 25 A. Welche Verlustleistung entsteht?

- ☐ **A** 6,25 W
- ☐ **B** 1 W
- ☐ **C** 0,1 W
- ☐ **D** 2,5 W

9. Was ist ein MMIC?

- ☐ **A** Einzelbauteile, gemeinsam in Harz vergossen
- ☐ **B** ein IC mit aktiven und passiven Bauteilen auf einem Substrat
- ☐ **C** ein IC nur mit aktiven Bauteilen, passive sitzen außen
- ☐ **D** SMD-Einzelbauteile auf einer kleinen Leiterplatte

10. Was ist typisch für einen MMIC-Verstärker?

- ☐ **A** etwa 50 Ω an Ein- und Ausgang, breitbandig
- ☐ **B** hoher Eingangs-, niedriger Ausgangswiderstand
- ☐ **C** Verstärkung ab 0 Hz konstant
- ☐ **D** schmalbandig, Impedanzen einstellbar

11. MMIC mit U_D = 4 V und I_D = 15 mA an 13,8 V. Welcher Normwert für R_BIAS?

- ☐ **A** 270 Ω
- ☐ **B** 680 Ω
- ☐ **C** 560 Ω
- ☐ **D** 820 Ω

12. U_CC = 9 V, R_BIAS = 470 Ω, U_D = 4 V. Welche Wärmeleistung entsteht im MMIC?

- ☐ **A** etwa 53 mW
- ☐ **B** etwa 96 mW
- ☐ **C** etwa 43 mW
- ☐ **D** etwa 34 mW

LÖSUNGEN

1 **B** · Kein Gatestrom: U_GS steuert den Kanal.
2 **A** · Es fließt kein Gatestrom.
3 **B** · Beim JFET sitzt der Pfeil am Gate.
4 **A** · Pfeil zum Kanal = N, JFETs sind selbstleitend.
5 **C** · Drei Striche = selbstsperrend, Pfeil hin = N.
6 **D** · 44 V · 1 kΩ / 11 kΩ = 4 V, R3 zählt nicht.
7 **C** · R2 = 10 kΩ · 2,8 / 41,2 ≈ 680 Ω.
8 **D** · P = I² · R = 625 · 0,004 Ω = 2,5 W.
9 **B** · Monolithisch: alles auf einem Stück Halbleiter.
10 **A** · Feste 50 Ω, hohe Verstärkung, wenige Bauteile.
11 **B** · 9,8 V / 15 mA ≈ 653 Ω, nächster E12-Wert 680 Ω.
12 **C** · I_D = 5 V / 470 Ω ≈ 10,6 mA, P_D = 4 V · I_D ≈ 43 mW.

Quellen: Grundlagen der Halbleiterbauelemente; Rechenbeispiele selbst nachgerechnet; E12-Reihe nach IEC 60063; TinyWhisper: github.com/iic-jku/TinyWhisper; Idee nach 50ohm.de (Transistor II, Integrierte Schaltkreise). Angaben ohne Gewähr.
Online mit Übungen: amateurfunk-oe.at/lernmaterial/fet-und-ic/

Stand November 2026