

Unipolar-Transistor, FET, MOSFET

Uebersicht und Kurzrepetition FET/MOSFET (vs. Bipolartransistor)

Inhalt:

- FET/MOSFET anschauliche Betrachtung anhand Modell
- Begriffe
- Uebersicht Kategorien von FETs
- Anwendung MOSFETs
- Steuergrößen, gesteuerte Größen (Steilheit, P_v vs. R_{dson})
- Gehäuseformen
- Demo-Schaltung aufbauen

Achtung, der MOS-Transistor verändert die Welt:

CMOS-Inverter = Grundbausteine der Computer!

Funktionsprinzip FET

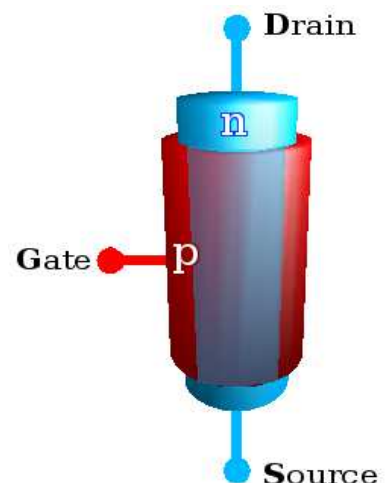
Der FET hat 3 Anschlüsse: Source, Gate und Drain.

Der zu steuernde Strom wird durch den leitenden Kanal (Drain \rightarrow Source) durch ein elektrisches Feld geschickt.

Durch eine angelegte Spannung an der Steuerelektrode (Gate) wird das elektrische Feld und damit der Stromfluss beeinflusst, \rightarrow Feldeffekt.

Bild - Modell des (J-)FETs, siehe „Gartenschlauch-Prinzip“

Bildquelle: www.virtualuniversity.ch



Begriffe

Bipolar-Transistor

Sammelbegriff für den NPN- oder PNP-Transistor, er weist zwei Dotierungen auf, nämlich p- und n-dotierte Halbleitermaterialien.

BJT

Engl. Abkürzung für Bipolar Junction Transistor, bipolarer Transistor

Unipolar-Transistor

Sammelbegriff für den FET. Er weist nur eine Dotierung des stromführenden Teils auf (p- oder n-dotiert, entsprechend dem Kanaltyp).

FET

Feldeffekt-Transistor

MOSFET

Metal-Oxide-Semiconductor-FET, beim MOSFET wird die Isolation zwischen dem Gate und dem Kanal durch eine Oxidschicht des Siliziums oder des Metalls, aus dem die Gate-Elektrode besteht, gebildet (sehr guter Isolator!).

IG-FET = MOSFET

Insulated-**G**ate-FET, Isolier-Gate-FET ist ein anderer Ausdruck für MOSFET.

JFET

Beim Junction-FET wird die Isolation zwischen dem Gate und dem Kanal durch eine Sperrschicht gebildet (die Gate-Source-Strecke bildet eine in Sperrrichtung betriebene Diode).

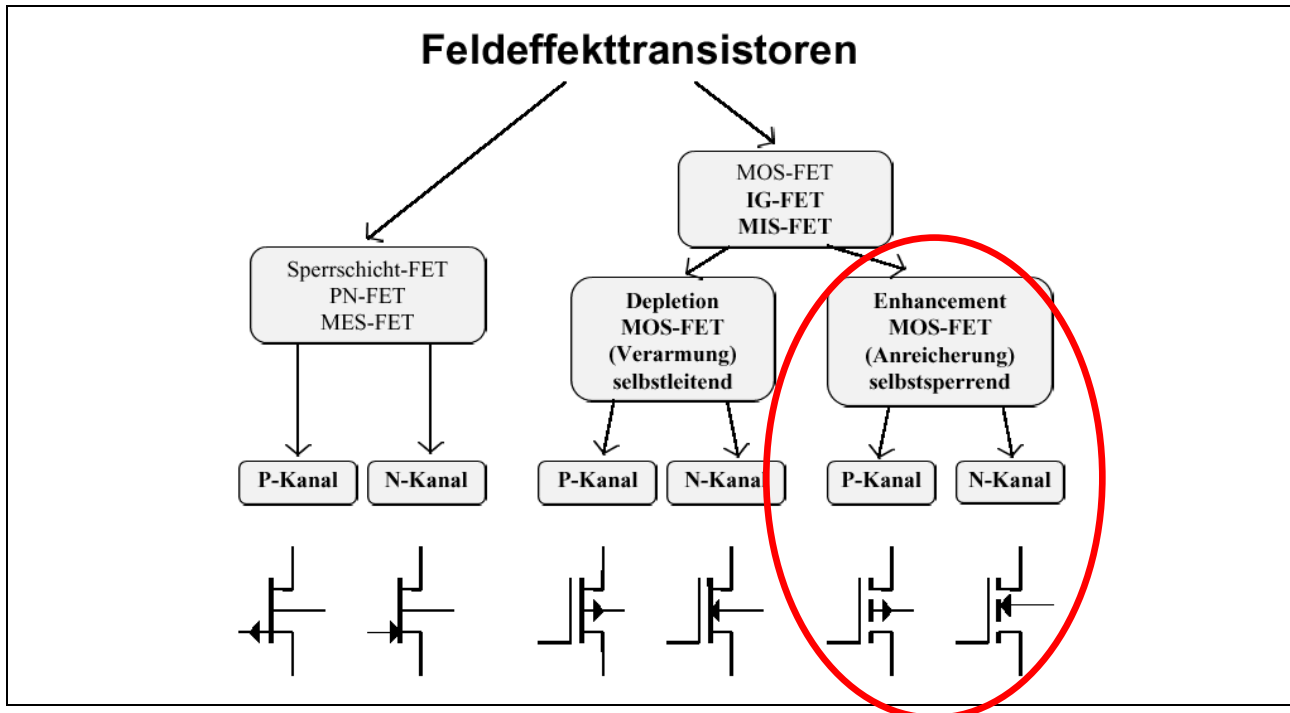
Body-Diode

nennt man die parasitäre Diode zwischen Drain und Source des MOSFETs. Sie ist ein ungewolltes "Nebenprodukt" des Herstellungsprozesses, kann aber schaltungstechnisch genutzt werden, z.B. als Freilaufdiode in H-Brücken.

Abschnürspannung, Pinch-Off Voltage

Grenzwert der Drain-Source-Spannung des FETs der zur Sättigung führt. Unterhalb dieser Grenze verhält sich der FET wie ein ohmscher Widerstand, oberhalb wie eine Konstantstromquelle.

FET-Kategorien



FET-Anwendungen

Wichtig: MOSFET als digitaler Schalter und Verstärker

- Leistungsschalter, Leistungsverstärker, PWM-Motortreiber, DC-DC-Wandler, Audioendstufen
- **CMOS**-Logikfamilien 74HCxxx, CD4xxx, Speicherbausteine, Mikrocontroller, Prozessoren etc.

CMOS = Complementary MOS: ein P- und ein N-Kanal-MOSFET zur Inverterschaltung kombiniert (einer von beiden ist jeweils leitend). Der CMOS-Inverter ist ein Grundelement der CMOS-Logik-ICs, Prozessoren, Speicher etc.

Vorteile des CMOS-IC gegenüber TTL-IC: P_v statisch gegen Null (keine Ruhe- und Basisströme!), Chipfläche klein, einfache Chipherstellung, hohe Integrationsdichte

Bei einigen MOSFET-Typen sind Drain- und Source-Anschlüsse vertauschbar, angewendet z.B. beim bidirektionalen Logikpegel-Wandler 3.3V - 5V.

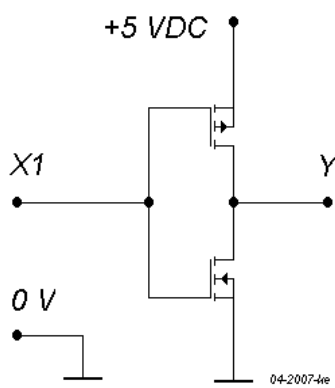
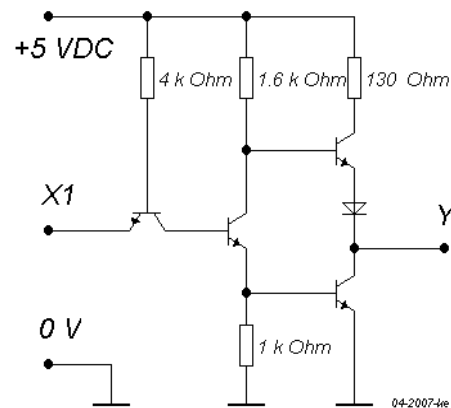


Bild - CMOS-Inverter (CMOS-Logik)



Zum Vergleich: TTL-Inverter (bipolare Logik)

Weniger wichtig: JFET N-Kanal

- Vorverstärker (hochohmiger Eingang!), Hochfrequenzverstärker
- analoge ICs, z.B. Opamps mit JFET-Eingang, Analog-Schalter, Stromquellen u.a.

Spannungssteuerung und Verstärkung beim FET

Der FET ist ein **spannungsgesteuertes Verstärker**-Bauteil.

Die Gate-Source-Spannung steuert den Kanalstrom (Stromfluss Drain-Source).

Der **Gate-Eingang ist sehr hochohmig**, der Strom im Gate geht gegen Null.

Unangenehmer Nebeneffekt: die hochohmige Gate-Isolierschicht ist **ESD-gefährdet!**

Zum Vergleich: Beim Bipolar-Transistor, dessen Basisstrom den Kollektor-Emitter-Strom steuert, ist der Basis-Eingang (Basis-Emitter-Strecke) relativ niederohmig, einige Kiloohm.

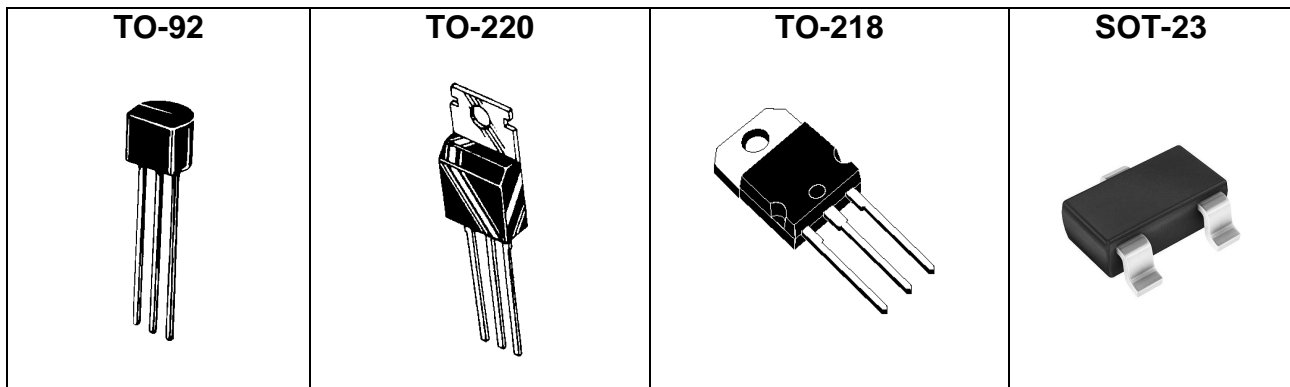
Die Verstärkung des FETs wird durch den Zusammenhang zwischen dem Kanalstrom I_D und der Steuerspannung U_{GS} angegeben. Der Faktor, der die beiden Größen verbindet, heisst Steilheit.

Steilheit (Verstärkung): $S = \Delta I_{DS} / \Delta U_{GS}$ (mA/V)
 (Vergleich Bipolar-Transistor: Stromverstärkung Beta oder $B = I_C / I_B$)

Einschaltwiderstand Drain-Source: R_{DSON} , möglichst klein, weil der FET oft als Schalter verwendet wird, $\rightarrow P_v$ klein.

Praktische Einschalt-Werte liegen im Milliohm-Bereich (bei Power-MOSFETs) bis zu einigen Ohm oder sogar Kiloohm bei FETs als Logikschalter.

Gehäuse



*Bild - Gehäuseformen für diskrete MOS-Transistoren,
 Pinouts müssen dem jeweiligen Datenblatt entnommen werden*

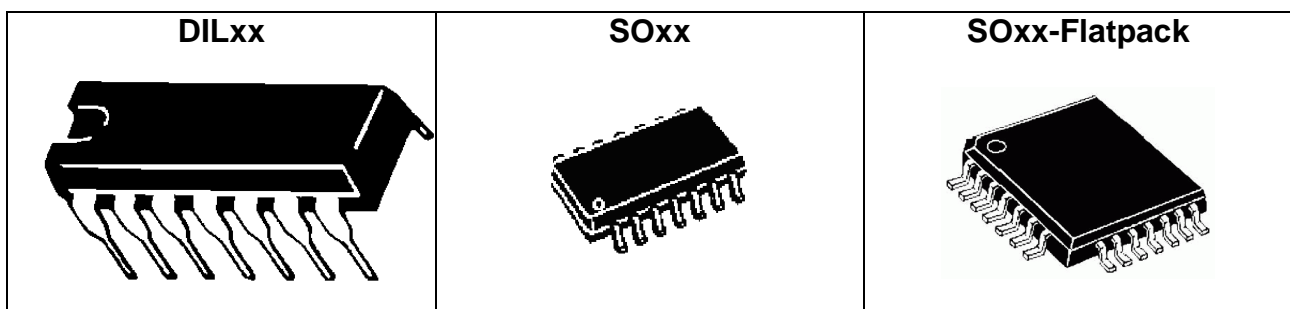


Bild - CMOS-IC-Beispielgehäuse für Logikbausteine, Speicher, Mikrocontroller etc.

Praxis-Beispiele, Demo-Schaltungen

Baue nebenstehende Schaltung auf ein Steckbrett auf.

Nach dem Aufladen von C1 bleibt die LED auch bei offenem Eingang leuchtend.

Im Gate-Anschluss fließt praktisch kein Strom, daher entlädt sich C1 nur sehr langsam (Ladung in C1 bleibt lange erhalten, → grosse Zeitkonstante).

Achtung ESD-Schäden am FET vermeiden!

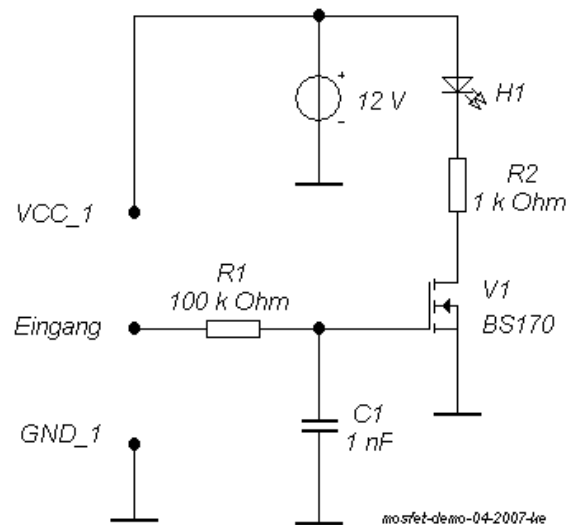


Bild und Demoaufbau - MOSFET BS170 als Schalter

Beschreibe anhand des Schemas (Sichworte) wie die nebenstehende Schaltung funktioniert.

Baue dann die Schaltung auf ein Steckbrett auf und verifiziere deine Annahmen.

Achtung ESD-Schäden am FET vermeiden!

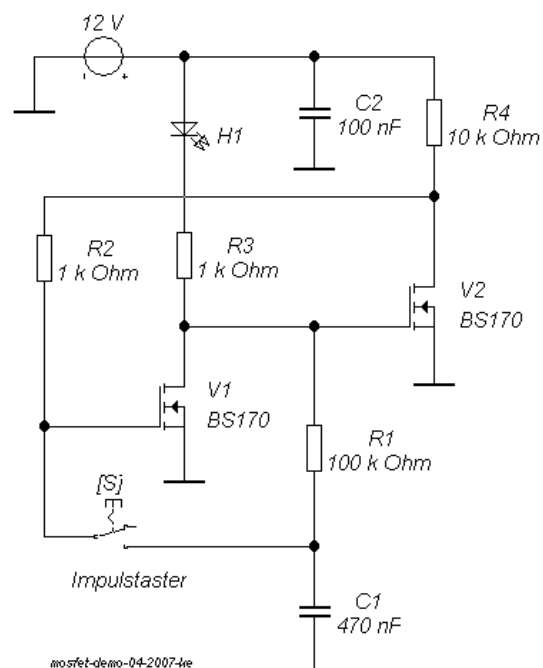


Bild und Demoaufbau - MOSFET BS170 als Schalter

Bücher:

Tietze, Schenk: Halbleiterschaltungstechnik, Springer Verlag

Hering, Bressler, Gutekunst: Elektronik für Ingenieure, Springer Verlag

Horowitz, Hill: The Art of Electronics, Cambridge University Press
