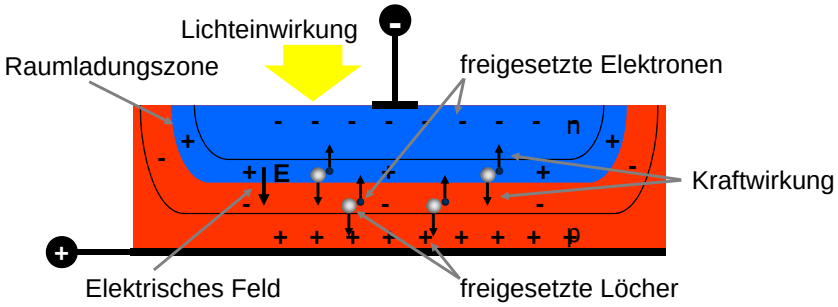
Kapitel 5:
Halbleiter und Unipolare Transistoren

- Optoelektronische Bauelemente
- Unipolare Transistoren
- J-FET Transistor
- MOS-FET Transistor
  - Anreicherungstyp selbst sperrend
  - Verarmungstyp selbst leitend
- MOS-FET
  - Schalter
  - Verstärker
  - Inverter
  - Tristate
  - Transmissionsgatter
- Vergleich Bipolar- und Unipolartechnik
- Anwendungsbeispiele

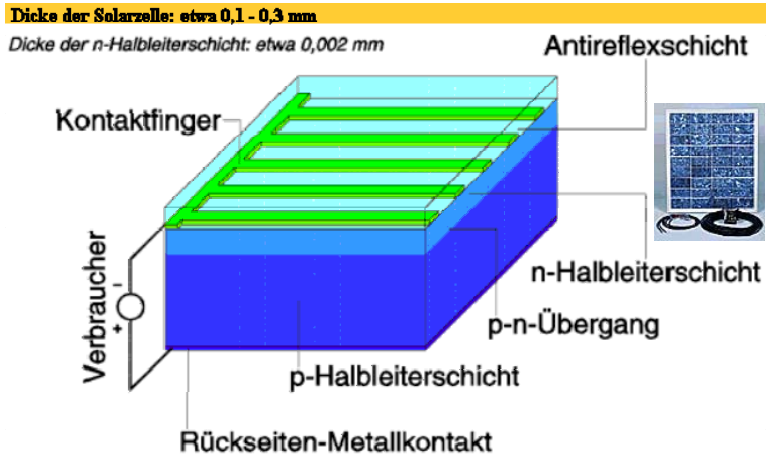
- Solarzelle
- Fotodiode
- Fototransistor
- Leuchtdiode
- Optokoppler

Solarzelle

Durch Lichteinwirkung werden Elektronen in der Raumladungszone von den Atomen freigesetzt und durch das Elektrische Feld in Richtung der negativen Elektrode beschleunigt. Dort bildet sich ein Elektronenüberschuß. Die freigesetzten Löcher wandern in Richtung der positiven Elektrode und bilden dort einen Elektronenmangel.

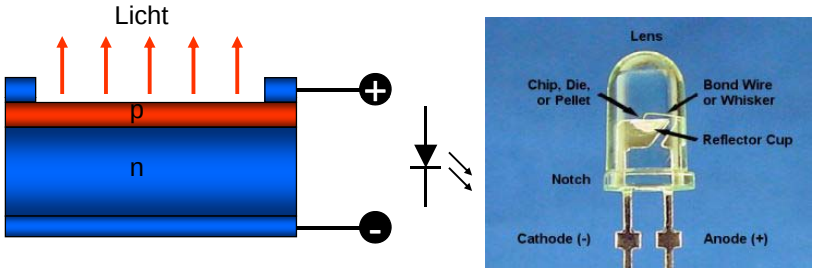


Solarzelle



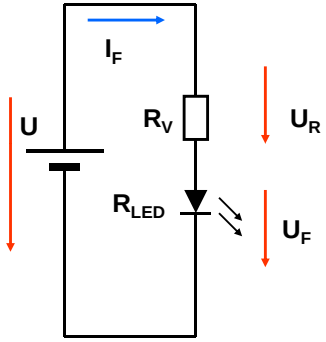
LED Leuchtdiode

Licht emittierende Diode



Die Elektronen wandern von der n-Zone in die p-Zone. Es kommt zu Rekombinationen. Die Elektronen „fallen“ in die Löcher, dabei wird Energie in Form von Licht frei.

LED Leuchtdiode



$$R_{LED} = \frac{U_F}{I_F}$$

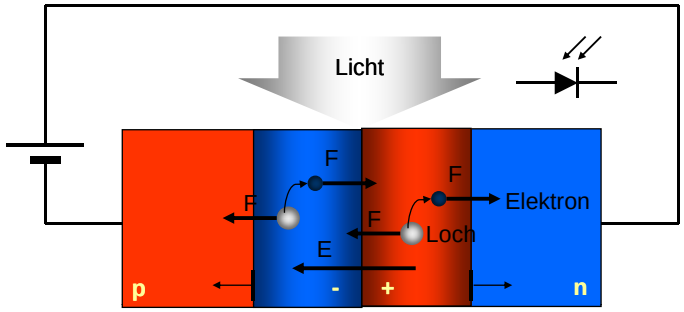
$$U_R = U - U_F$$

$$R_V = \frac{U_R}{I_F} = \frac{U - U_F}{I_F}$$

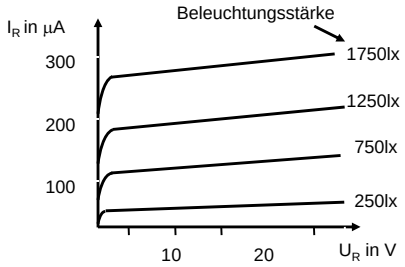
$$R_{V_Beispiel} = \frac{U - U_F}{I_F} = \frac{5V - 1{,}8V}{10mA} = 320\Omega$$

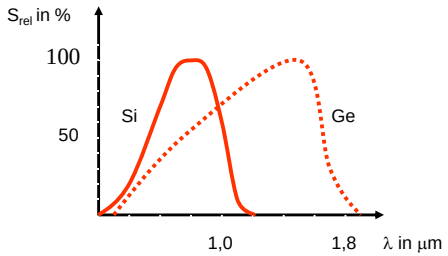
Fotodiode

Eine Fotodiode ist eine Halbleiterdiode deren pn-Übergang dem Licht gut zugänglich ist. Sie wird in Sperrichtung betrieben. Die Größe des Sperrstroms ist linear Abhängig von der Beleuchtungsstärke. Bei Lichteinfall werden Elektronen aus ihren Bindungen gelöst. Es entsteht ein freies Elektron und ein Loch. Die Ladungsträger werden aus der Sperrschicht hinaus beschleunigt.



Fotodiode

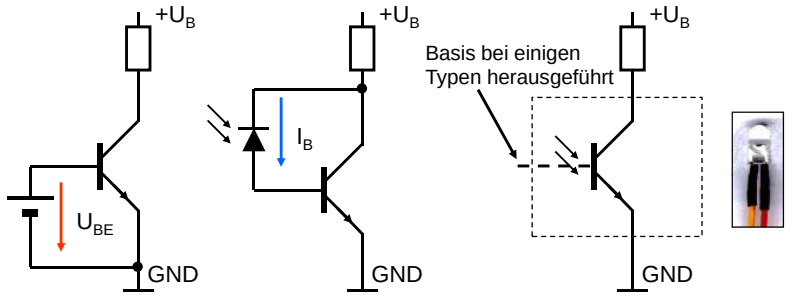




Kennwerte einer Leuchtdiode:

- Fotoempfindlichkeit — E ≈ 120nA/lx
- Wellenlänge der maximalen Empfindlichkeit — λ_{ES} ≈ 0,85 µm
- Grenzfrequenz — f_{gr} ≈ 1 MHz
- Sperrschichtkapazität — C_S ≈ 20..150 pF
- Dunkelstrom — I_d ≈ 500 nA

Fototransistor



Ersatzschaltung des Fototransistors mit einem Fotoelement

Ersatzschaltung des Fototransistors mit einer Fotodiode

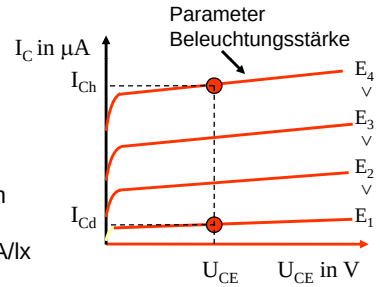
Symbol des Fototransistors

Fototransistor

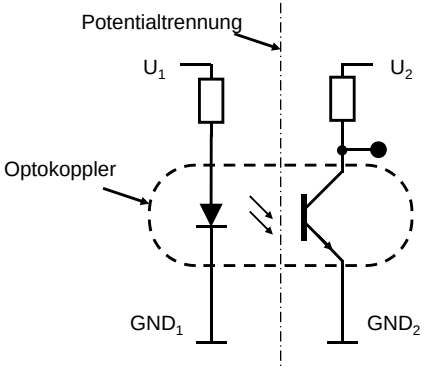
Fototransistoren sind spezielle Transistoren bei denen Licht auf die Kollektor-Basis Sperrschicht fallen kann.
Bei einigen Fototransistoren ist die Basis zur Einstellung des Arbeitspunktes herausgeführt.

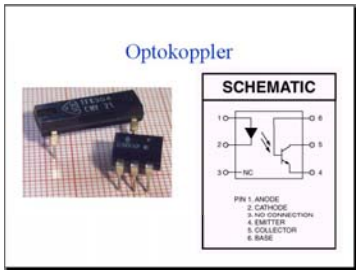
Kenngrößen:

- Kollektorhellstrom $I_{ch} \approx$ ... mA
- Kollektordunkelstrom $I_{cd} \approx$ ... µA
- Wellenlänge der max. Empfindlichkeit $\lambda_{ES} \approx 0{,}8$ µm
- Fotoempfindlichkeit E $\approx 0{,}15$ µA/lx



Optokoppler





Ein Optokoppler in der gezeigten Schaltung wirkt wie ein Negator.
Bei $U_1=U_2=5V$ beträgt die Spannung am Punkt Y Null Volt.

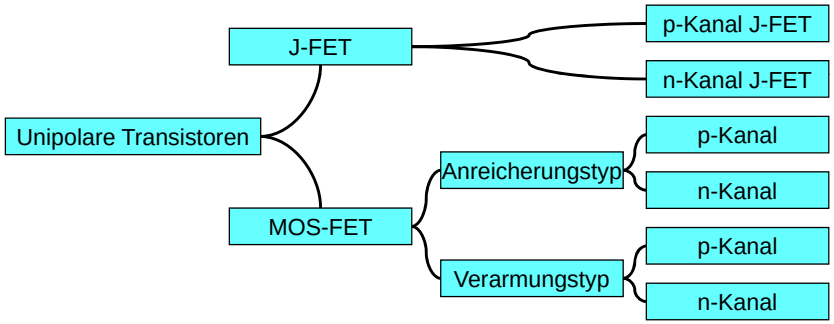
Unipolare Transistoren

J-FET
Sperrschicht-Feldeffekttransistoren (J-FET)
J - Junction – Sperrschicht
FET - Feld-Effekt-Transistor

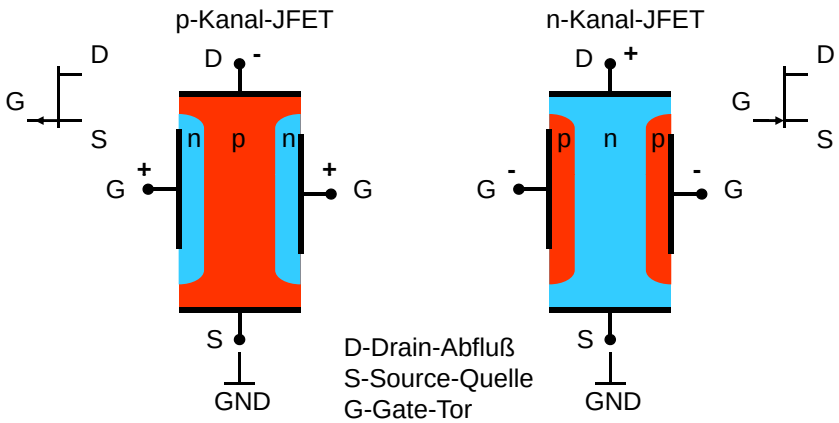
MOS-FET
Metalloxid-Feldeffekttransistoren (IG-FET)
MOS - Metall-Oxide-Semiconductor
IG - Insulated Gate

Unipolare Transistoren

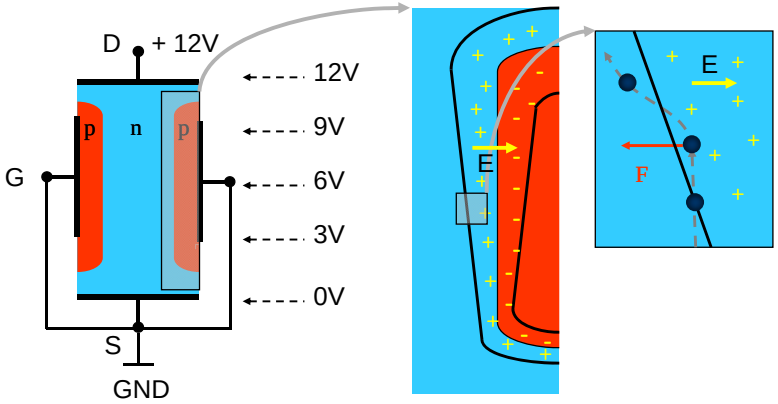
Bei Unipolaren Transistoren werden die pn-Übergänge nur in einer Polarität genutzt.



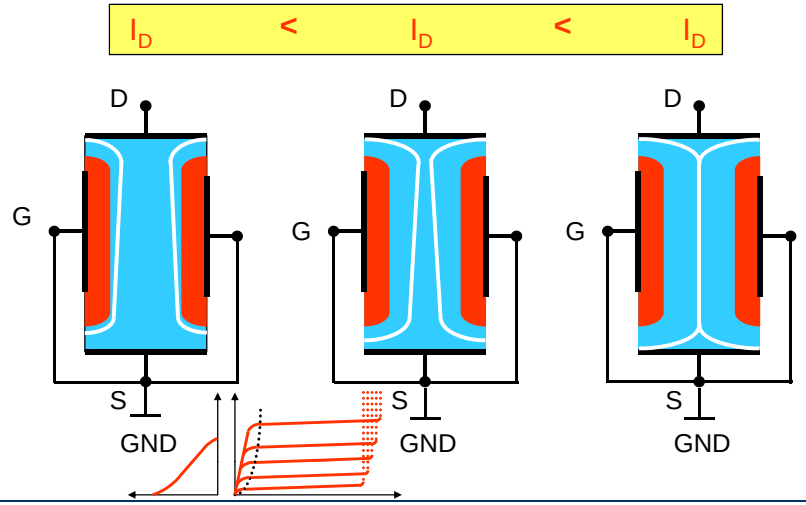
J-FET
Transistor



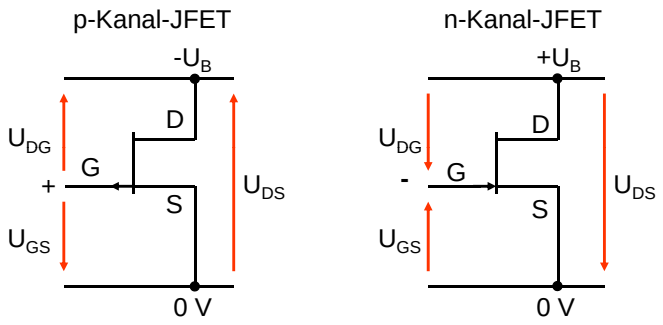
J-FET
Sperrschichten



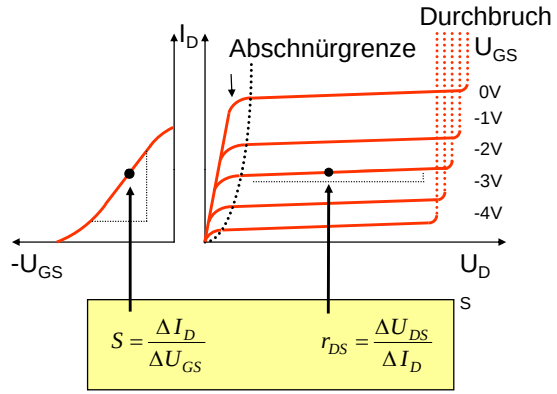
J-FET
Sperrschichten



J-FET
Anschlussbelegung

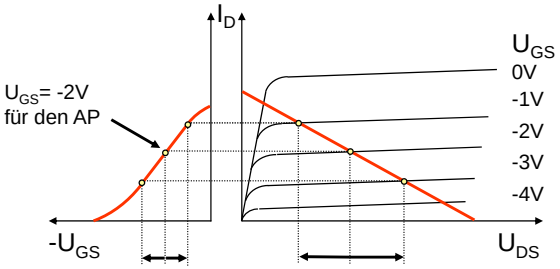


J-FET
Kennlinien



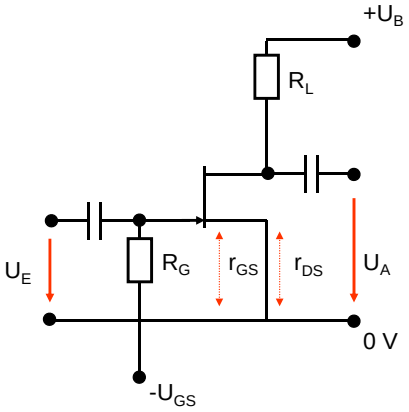
$$S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \qquad r_{DS} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D}$$

J-FET
Kennlinien Verstärker



$$\hat{u}_{GS} \qquad V_u = \frac{\hat{u}_{DS}}{\hat{u}_{GS}} \qquad \hat{u}_{DS}$$

J-FET
Verstärker



J-FET
Parameter

Steilheit

$$S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \qquad S = 3 - 10\frac{mA}{V}$$

Differentieller Ausgangswiderstand

$$r_{DS} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} \qquad r_{DS} = 80 - 200k\Omega$$

Differentieller Eingangswiderstand

$$r_{GS} \approx 10^{10} - 10^{14}\Omega$$

Strom über die Sperrschichten

$$I_{Sperr} \approx 5\text{-}20nA$$

J-FET
Parameter

Spannungsverstärkung

$$V_u = S \cdot \frac{R_L \cdot r_{DS}}{R_L + r_{DS}}$$

Eingangswiderstand

$$r_e = \frac{R_L \cdot r_{GS}}{R_L + r_{GS}}$$

Ausgangswiderstand

$$r_a = \frac{R_L \cdot r_{DS}}{R_L + r_{DS}}$$

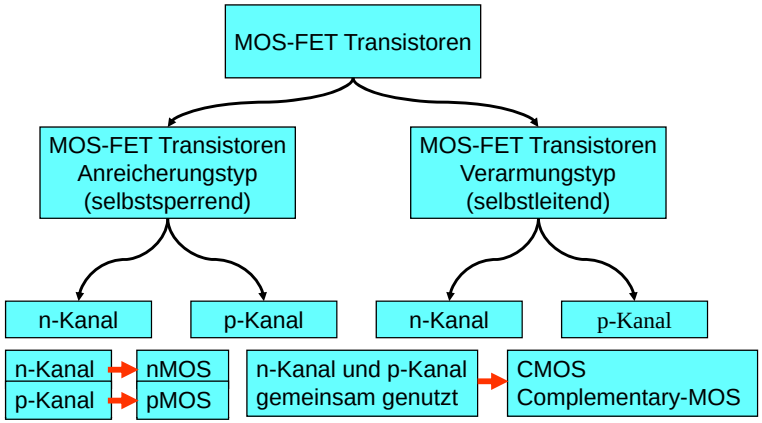
Verlustleistung

$$P_{tot} = U_{DS} \cdot I_D$$

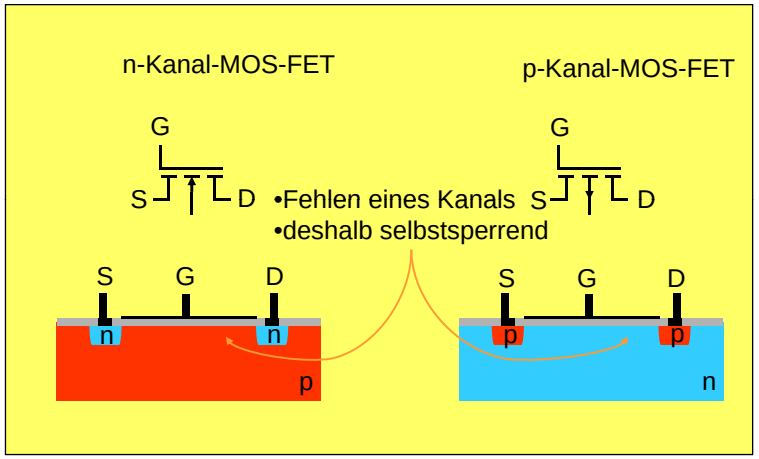
J-FET
Grenzwerte

$$U_{DS\max} \approx 30V$$
$$U_{GS\max} \approx -8V$$
$$I_{D\max} \approx 20mA$$
$$P_{tot} \approx 200mW$$
$$T \approx 135^{\circ}C$$

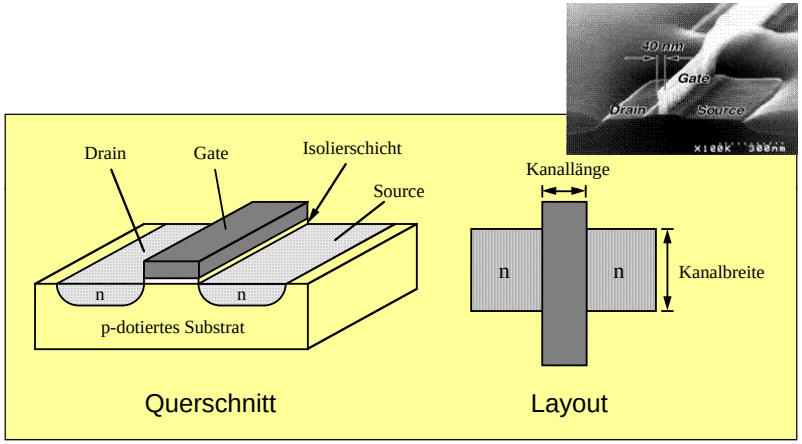
MOS-FET
Transistoren



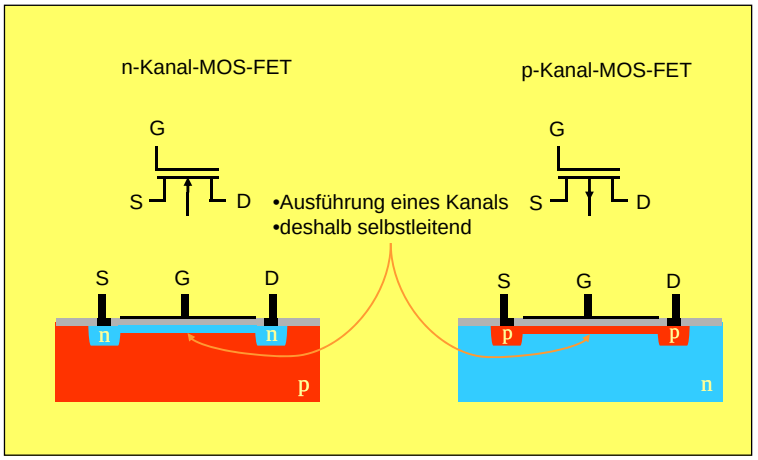
MOS-FET
Anreicherungstyp selbst sperrend



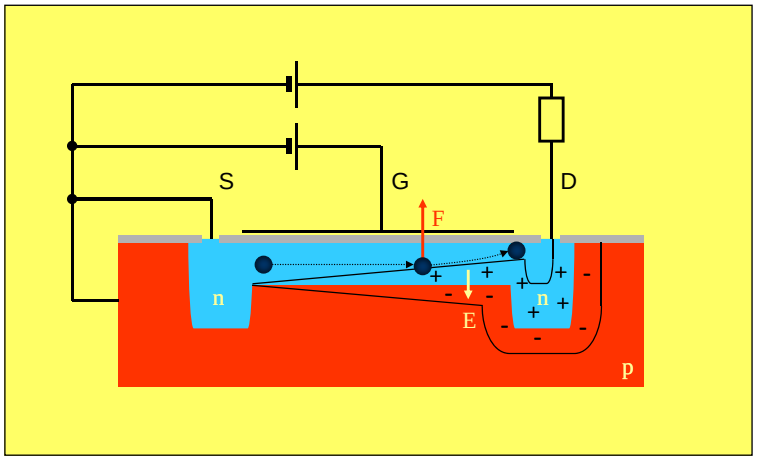
MOSFET
n-Kanal



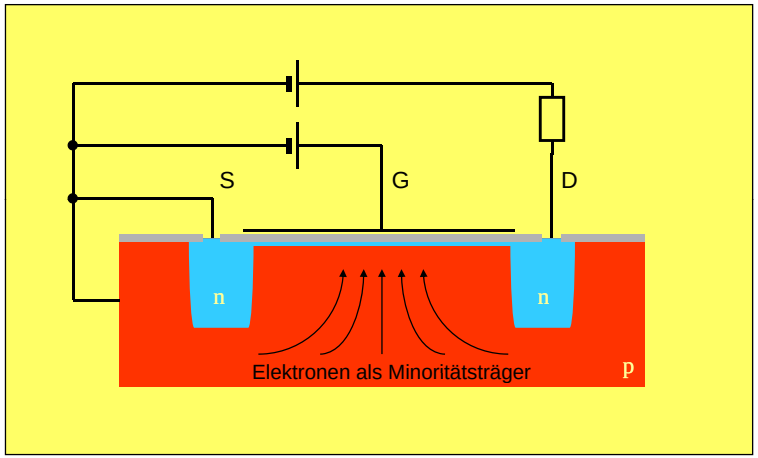
MOS-FET
Verarmungstyp selbst leitend



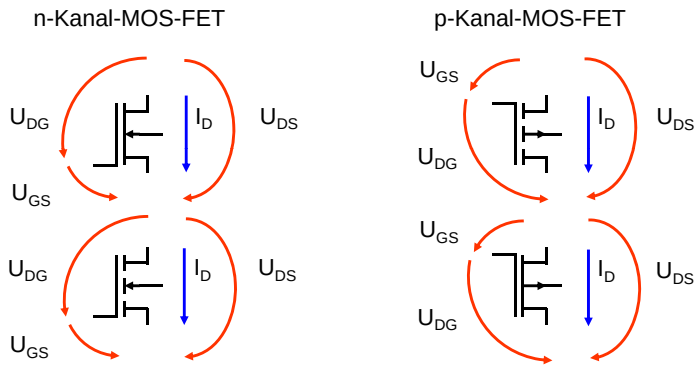
MOS-FET
Sperrschichten (n-Kanal Verarmungstyp, selbst leitend)



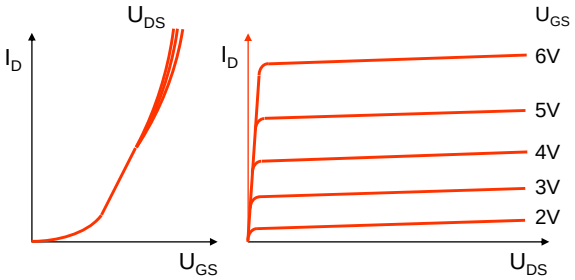
MOS-FET
Sperrschichten (n-Kanal Anreicherungstyp, selbst sperrend)



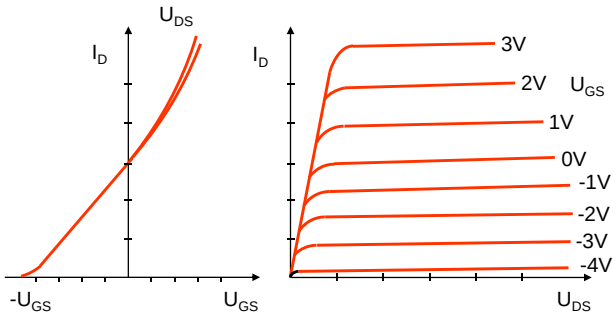
MOS-FET
Anschlussbelegung



MOS-FET
Kennlinie Anreicherungstyp n-Kanal



MOS-FET
Kennlinie Verarmungstyp n-Kanal



MOS-FET
Parameter

Steilheit

$$S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \qquad S = 5-12\frac{mA}{V}$$

Ausgangswiderstand

$$r_{DS} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta I_D} \qquad r_{DS} = 10-50k\Omega$$

Eingangswiderstand

$$r_{GS} \approx 10^{14}\Omega \qquad C_{GS} \approx 2-5pF$$

Gateleckstrom

$$I_{GSS} \approx 0{,}1\text{-}10pA$$

MOS-FET
Parameter

Spannungsverstärkung

$$V_u = S \cdot \frac{R_L \cdot r_{DS}}{R_L + r_{DS}}$$

Verlustleistung

$$P_{tot} = U_{DS} \cdot I_D$$

Durchlaßwiderstand ON

$$R_{DS_ON} \approx 200\Omega$$

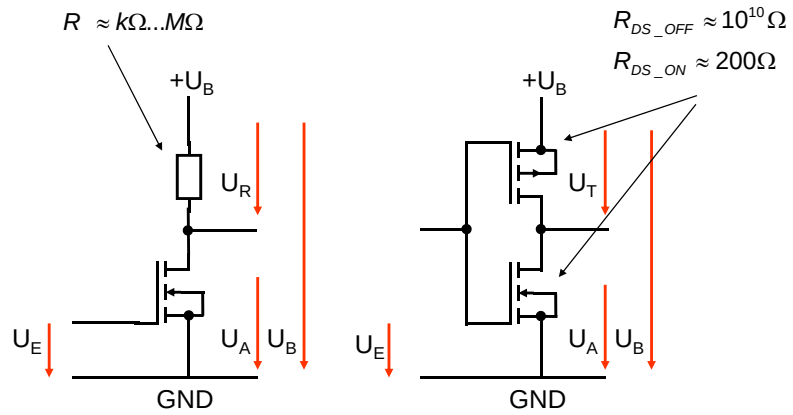
Durchlaßwiderstand OFF

$$R_{DS_OFF} \approx 10^{10}\Omega$$

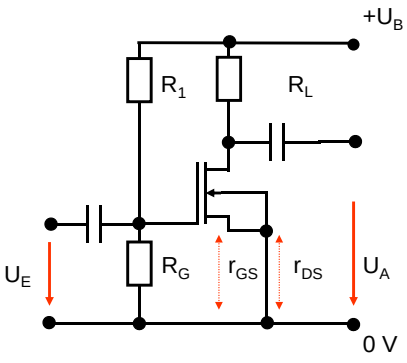
MOS-FET
Grenzwerte

$$U_{DS\max} \approx 35V$$
$$U_{GS\max} \approx \pm 10V$$
$$I_{D\max} \approx 50mA$$
$$P_{tot} \approx 150mW$$
$$T \approx 135^{\circ}C$$

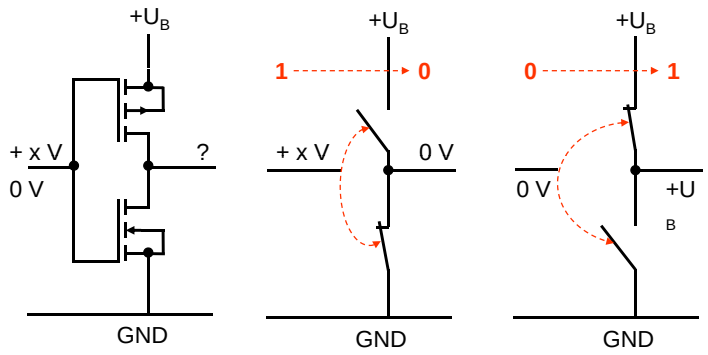
MOS-FET
Schalter



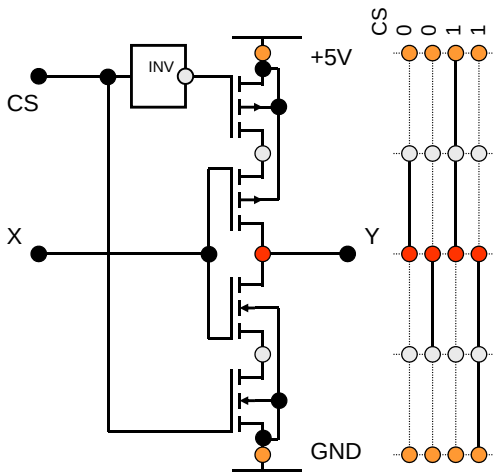
MOS-FET
Verstärker



MOS-FET
Inverter



MOS-FET
Tristate

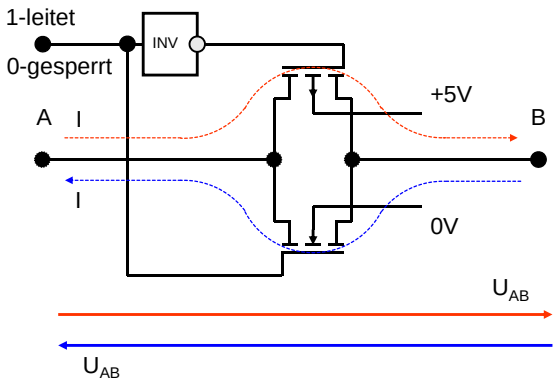


Transistor leitet

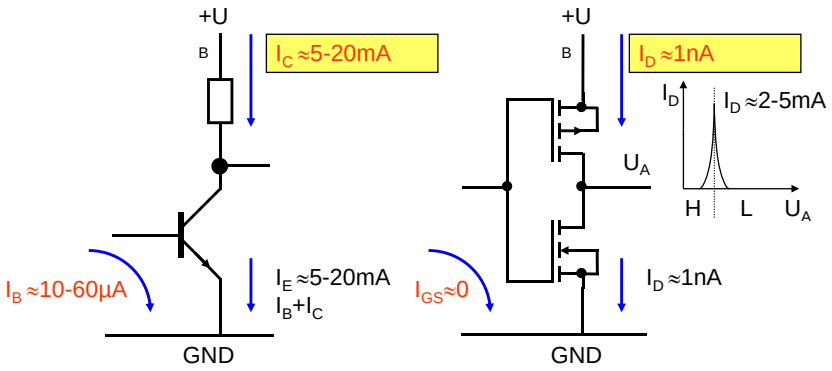
CS	X	Y
0	0	x
0	1	x
1	0	1
1	1	0

X steht für hochohmig.
Die äußeren Transistoren sperren - sind also hochohmig

MOS-FET
Transmissionsgatter



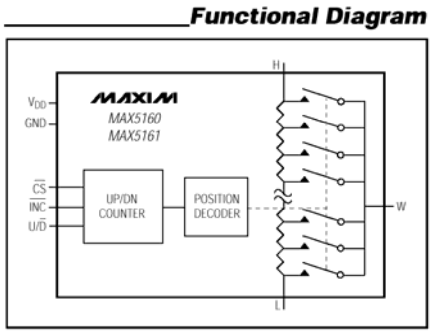
Transistorschalter
npn-Transistor und MOS-FET im Vergleich



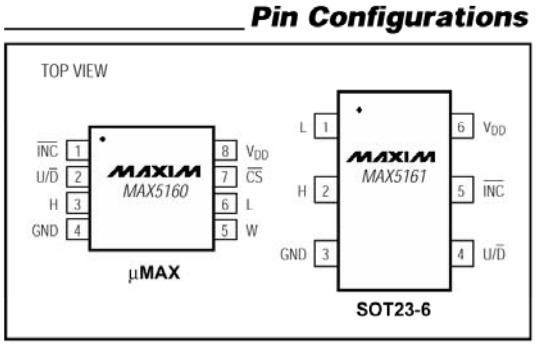
MOS-FET
Anwendungsgebiete

- Logikschaltkreise
- Operationsverstärker
- Analogschalter
- Analogmultiplexer
- Halbleiterrelais

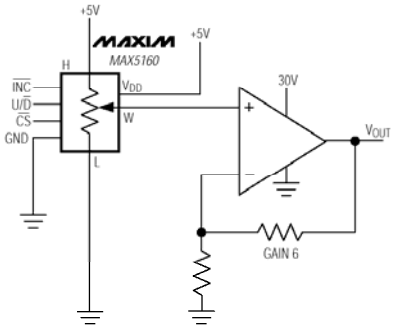
Digitales Potentiometer
Innenschaltung



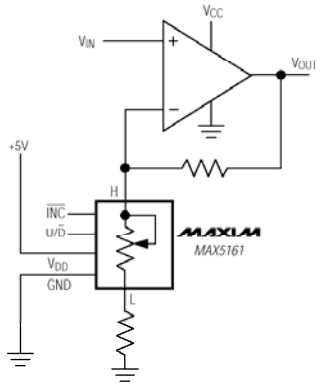
Digitales Potentiometer
Anschlußbelegung



Digitales Potentiometer
LCD Spannungsversorgung

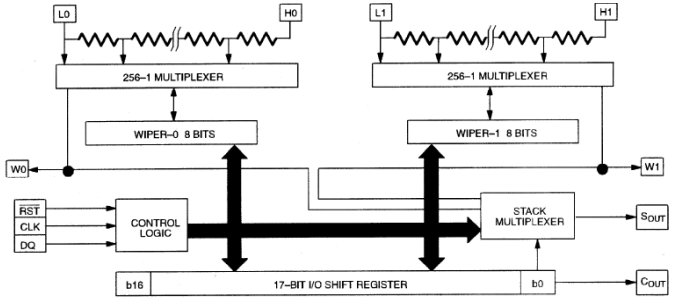


Digitales Potentiometer
Verstärkungssteuerung

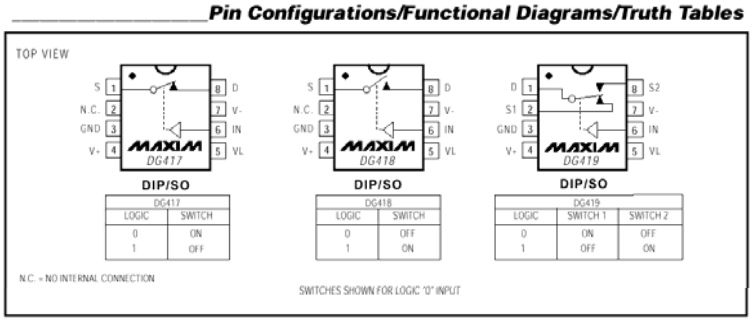


Digitales Potentiometer
Tandem Regler

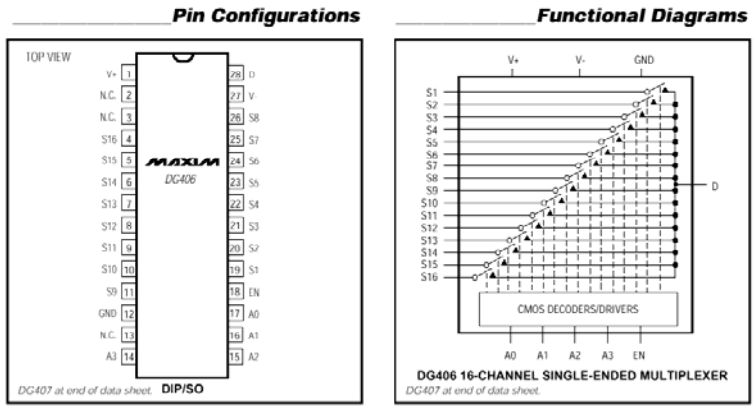
DS1868 BLOCK DIAGRAM Figure 1



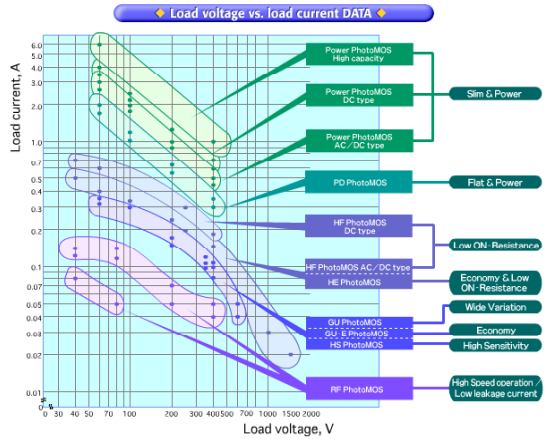
Analogschalter



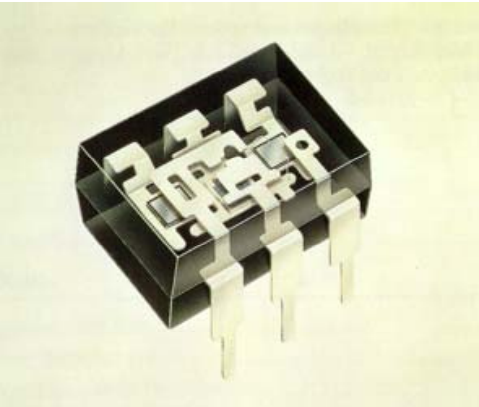
Analogmultiplexer



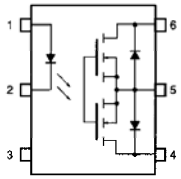
Halbleiterrelais



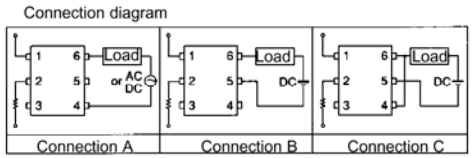
Halbleiterrelais



Halbleiterrelais



1: Anode
2: Cathode
4: Drain D1
5: Source
6: Drain D2



Schaltvermögen
I=120mA
U=350VAC

Anwendungsbereites Wissen

- Anwendung und Nutzung von
  - Leuchtdiode
  - Fototransistor
  - Optokoppler
- Aufbau, Funktion und Kennlinien von
  - J-FET Transistor
  - MOS-FET Transistor
    - Anreicherungstyp selbst sperrend
    - Verarmungstyp selbst leitend
    - Kennlinienfeld
- Grundschaltungen
  - Schalter
  - Verstärker
  - Inverter
  - Tristate
  - Transmissionsgatter