

Transistoren

Die Auswahl an Transistoren ist unglaublich groß. Sie lassen sich zum Glück in Familien einteilen, innerhalb derer die Unterschiede nicht so groß sind. Allerdings unterscheiden sie sich in Preis und Lieferbarkeit zum Teil dramatisch. Deswegen lohnt es sich, für typische Anwendungszwecke jeweils ein Standard-Modell auszusuchen und davon einen kleinen Vorrat im Schrank zu haben.

Kleinsignal-Transistoren

In einigen Veröffentlichungen ist es üblich, die Abkürzungen **TUN**, **TUP**, **DUS**, oder **DUG** zu verwenden, wenn der genaue Typ eines Halbleiters für die Funktion nicht wichtig ist. Die Abkürzungen stehen dabei für:

- TUN: transistor, universal, NPN
- TUP: transistor, universal, PNP
- DUS: diode, universal, silicon
- DUG: diode, universal, germanium

Universelle Kleinsignaltransistoren in komplementären Paaren:

| NPN (TUN) | PNP (TUP) | Bauform | Beschaffung | Bemerkung |
|------------------------|------------------------|---------|-------------------|---------------|
| BC847C | BC857C | SOT23 | 2 ¢ bei Bürklin | |
| BC850C | BC860C | SOT23 | 3 ¢ bei Bürklin | |
| BCP56 | BCP53 | SOT223 | 13 ¢ bei Reichelt | |
| BC337 | BC327 | TO92 | 3 ¢ bei Bürklin | |
| 2N2905 | 2N2219 | TO39 | 43 ¢ bei Reichelt | mehr Leistung |

Hohe Spannung

Jeweils in komplementären Paaren.

| NPN | PNP | max. Spannung | Bauform | Anmerkung |
|-------------------------|-------------------------|---------------|---------|---------------------------------|
| BF820 | BF821 | 300 V | SO23 | 0.11 € bei Reichelt |
| MJE340 | MJE350 | 300 V | TO126 | Klassiker, 0.26 € bei Reichelt |
| FZT857 | FZT957 | 300 V | SOT223 | 0.70 € bei Reichelt und Bürklin |
| FZT558 | FZT458 | 400 V | SOT223 | 1.05 € bei Farnell |
| FMMT558 | FMMT458 | 400 V | SOT23 | 0.25 € bei Reichelt und Bürklin |
| FMMT459 | FMMT560 | 500 V | SO23 | Schwer zu beschaffen |

Hohe Stromverstärkung

Eine wichtige Eigenschaft, in der sich Transistoren unterscheiden, ist die Stromverstärkung (hfe). Das ist der Faktor um den mehr Strom von Emitter nach Kollektor fließt als in die Basis strömt.

| Modell | Typ | Bauform | max. Spannung | max. Strom | min hfe | noise figure |
|--------------------------|-----|---------|---------------|------------|---------|--------------|
| MPSA18 | NPN | TO92 | 45 V | 100 mA | 500 | 1.5 dB |
| MMBT5089 | NPN | SOT23 | 25 V | 50 mA | 400 | 2 dB |
| BC847C | NPN | SOT23 | 45 V | 100 mA | 400 | 2 dB |
| BC857C | PNP | SOT23 | 45 V | 100 mA | 400 | 10 dB |
| MMBT489 | NPN | SOT23 | 30 V | 1 A | 300 | - |

Die Stromverstärkung eines einzelnen Transistors kann technisch bedingt nicht beliebig hohe Werte annehmen. Als Ausweg kann man zwei Transistoren so zusammenschalten, dass der erste Transistor die Basis des zweiten ansteuert. Diese Zusammenschaltung funktioniert dann nach außen wie ein bipolarer Transistor mit einer Stromverstärkung, die sich aus dem Produkt der beiden Einzeltransistoren ergibt. Diese Zusammenschaltung als integriertes Bauteil unter der Bezeichnung [Darlington-Transistor](#) erhältlich.

| Modell | Typ | Bauform | max. Spannung | max. Strom | min hfe | Preis |
|------------------------|----------------|---------|---------------|------------|---------|---------------------|
| BDX34C | NPN-Darlington | TO220 | 100 V | 10 A | 750 | 0.40 € bei Reichelt |
| BDX33C | PNP-Darlington | TO220 | 100 V | 10 A | 750 | 0.30 € bei Reichelt |

Hohe Frequenz

| Modell | Typ | Bauform | max. Spannung | max. Strom | max Frequenz | hfe | Anmerkung |
|------------------------|-----|---------|---------------|------------|--------------|-----|---|
| BFT25A | NPN | SOT23 | 5 V | 6.5 mA | 5 GHz | 80 | Unter anderem für Photodioden-Verstärker PD-Hobbs |
| BFR92A | NPN | SOT23 | 15 V | 25 mA | 5 GHz | 90 | Wird nicht mehr hergestellt. Wir haben noch einige zig in der SMD-Schublade. Ersatz: BFR106 |
| BFT92 | PNP | SOT23 | -15 V | 25 mA | 5 GHz | 80 | Das Gegenstück zum BFR92A |

FETs

MOSFET, N-Kanal

Ob ein MOSFET sich für eine bestimmte Anwendung eignet, entscheidet sich meist an der Spannung und dem geforderten Strom. Wenn der Transistor nicht rein digital betrieben werden soll, ist außerdem die maximale Verlustleistung wichtig. Die wird meist durch die Bauform bestimmt und reicht von 0.3 W für SOT23 bis 600 W für SOT227. (Die Tabelle ist sortierbar durch Klick auf den jeweiligen Spaltenkopf)

| Typ | Bauform | max. Spannung | min. Widerstand | max. Strom | Anmerkung/Beschaffung |
|-----------------------------|---------|---------------|-----------------|------------|--|
| TSM2312 | SOT23 | 20 V | 0.033 Ω | 5 A | 0.10 €/Stück im Hunderterpack bei Schukat |
| IRF1324S | D2PAK | 25 V | 0.001 Ω | 429 A | 6.56 € bei Farnell |
| IRLB3813 | TO220 | 30 V | 0.002 Ω | 190 A | 3.35 € bei Farnell |
| STP35NF10 | TO220 | 100 V | 0.035 Ω | 40 A | wird nicht mehr hergestellt, einige im Schrank |
| IXFN420N10T | SOT227 | 100 V | 0.002 Ω | 420 A | 17.62 € bei Mouser |
| IXFN60N80P | SOT227 | 800 V | 0.14 Ω | 53 A | 23 € bei Schukat |
| IRLB8743 | TO220 | 30 V | 0.003 Ω | 78 A | 0.71 € bei Mouser |
| NTD4904 | TO252 | 30 V | 0.004 Ω | 89 A | 0.35 € bei Farnell |
| STE180NE10 | SOT227 | 100 V | 0.006 Ω | 180 A | 30 € bei Bürklin, abgekündigt |
| IXFN200N10P | SOT227 | 100 V | 0.007 Ω | 200 A | 23 € bei Farnell |
| IRFP064N | TO247 | 55 V | 0.008 Ω | 110 A | 1 € bei TME |
| NTD4960 | TO252 | 30 V | 0.008 Ω | 55 A | 0.38 € bis 0.24 bei RS |
| IRLB8721 | TO220 | 30 V | 0.008 Ω | 40 A | 0.60 € bei Mouser |
| IRFP4004 | TO247 | 40 V | 0.0014 Ω | 195 A | 7 € bei Farnell |
| MTP3055 | TO220 | 60 V | 0.018 Ω | 12 A | 0.85 € bei Mouser |
| PHT8N06LT | SOT223 | 55 V | 0.08 Ω | 7.5 A | 0.38 € bei Bürklin |
| ZXM64N035L3 | TO220 | 35 V | 0.06 Ω | 13 A | 1 € bei Reichelt und Bürklin |
| BS170 | TO92 | 60 V | 2.5 Ω | 0.3 A | 0.12 € bei Reichelt |
| IXFN200N | SOT227 | 70 V | 0.006 Ω | 200 A | 19 € bei Schukat, 31 € bei Farnell |
| FB180SA | SOT227 | 100 V | 0.0065 Ω | 180 A | 16 € bei Schukat, 31 € bei Farnell |
| BSS123 | SOT23 | 100 V | 3 Ω | 0.15 A | 0.03 €/Stück bei Schukat |
| IRLML0060 | SOT23 | 60 V | 0.1 Ω | 2.7 A | für den Verpolungsschutz. 0.10 € bei TME |
| IRF720 | TO220 | 400 V | 1.8 Ω | 3.3 A | 0.47 € bei Reichelt |
| ZVN0545A | TO92 | 450 V | 50 Ω | 0.090 A | 0.75 € bei Bürklin |
| IRFI840 | FULLPAK | 500 V | 0.85 Ω | 5 A | Isoliertes TO220, 1.45 € bei Bürklin |
| IRFP460 | TO247 | 500 V | 0.27 Ω | 20 A | 3.00 € bei Bürklin |
| BSP299 | SOT223 | 800 V | 4 Ω | 0.4 A | 1.16 € bei Bürklin |
| STF3LN80K5 | TO220 | 800 V | 3.2 Ω | 2 A | 1 € bei Farnell. Sehr kleine Gate-Kapazität (100 pF) |
| STD3LN80K5 | TO252 | 800 V | 3.2 Ω | 2 A | Wie STF3LN80K5, aber in SMD-Bauform |
| BUZ50A | TO220 | 1000 V | 5 Ω | 2.5 A | wird nicht mehr hergestellt. 2 Stück im Schrank |
| IRFBG30 | TO220 | 1000 V | 4 Ω | 2 A | 0.99 € bei Reichelt und Bürklin |

MOSFET, P-Kanal

Die Herstellung von P-MOSFETs stößt schneller an technologische Grenzen als bei N-MOSFETs. Das erklärt die geringe Auswahl an Modellen für besonders viel Strom, oder besonders hohe Spannung. Wenn es sich einrichten lässt, sollte man daher P-Kanal MOSFETs in Schaltungen für Hochspannung

oder große Leistung vermeiden.

| Typ | Bauform | max. Spannung | min. Widerstand | max. Strom | Kommentar |
|---------------------------|--------------|---------------|-----------------|------------|--|
| DN308 | SSOT-3 | -20 V | 0.125 Ω | 1.5 A | |
| TSM2313 | SOT23 | -20 V | 0.07 Ω | 3.3 A | |
| SUD50P04 | TO252 | -40 V | 0.0081 Ω | 50 A | 1.30 € bis 0.97 € bei RS |
| IRFP9140 | TO247 | -100 V | 0,117 Ω | 23 A | Gegenstück zum IRFP064 |
| BS250P | TO92 | -45 V | 14 Ω | 0.23 A | |
| IRLML9301 | SOT23 | -30 V | 0.1 Ω | 3.6 A | für den Verpolungsschutz. 0.1 € bei TME |
| BSS84 | SOT23 | -50 V | 10 Ω | 0.13 A | |
| FDD5614P | TO252 | -60 V | 0.10 Ω | 15 A | 0.80 € bei Mouser / Farnell / RS |
| MTP2955 | TO220 | -60 V | 0.43 Ω | 12 A | Nicht mehr erhältlich. Ein Exemplar in der Schublade |
| IRF9530 | TO220 | -100V | 0.2 Ω | 12 A | 0.60 € bei Reichelt |
| IRF5305 | TO220, D2PAK | -55V | 0.06 Ω | 31 A | 0.60 € bei TME |
| IRF9520 | TO220 | -100V | 0.6 Ω | 6 A | 0.50 € bei Reichelt |
| BSP317P | SOT223 | -250 V | 4 Ω | 0.43 A | |
| FQP4P40 | TO220 | -400 V | 3.1 Ω | 3.5 A | 1 € bei RS |
| ZVP0545A | TO92 | -450 V | 150 Ω | 0.045 A | |
| IRFR5505 | TO252 | -55V | 0.11 Ω | 18 A | 0,40 € bei Reichelt, Schukat, TME |

JFET, N-Kanal

JFETs funktionieren aus Sicht der Gate-Spannung anders herum als MOSFETs. Das heißt, sie sind leitend ohne Spannung am Gate und sperren bei voller Ansteuerung. Die überwiegende Mehrheit der J-FETs ist wegen ihres vergleichsweise hohen Restwiderstands nur für kleine Ströme geeignet. Es gibt Ausnahmen, die allerdings ihren Exotenstatus durch Preise jenseits von 20 EUR/Stck anzeigen.

Genau wie bei den MOSFETs gibt es JFETs ebenfalls in Ausführungen mit N-Kanal und mit P-Kanal. Dabei sind J-FETs mit N-Kanal deutlich üblicher. Diese sperren bei einer negativen Spannung zwischen Gate und Source.

| Typ | Bauform | max. Spannung | min. Widerstand | max. Strom | Anmerkung |
|-------------------------|---------|---------------|-----------------|------------|---|
| BF245B | TO92 | 30 V | 150 Ω | 10 mA | für hohe Frequenzen |
| BFR30 | SOT23 | 25 V | 40 Ω | 10 mA | |
| 2N4117A | TO206 | 40 V | 10 Ω | 0.1 mA | extrem kleiner Leckstrom, 15 € bei Mouser |
| PN4117A | TO92 | 40 V | 10 Ω | 0.1 mA | Alternative zu 2N4117A, 4 € bei Mouser |

| Typ | Bauform | max. Spannung | min. Widerstand | max. Strom | Anmerkung |
|--------------------------|---------|---------------|-----------------|------------|--|
| MMBF4117 | SOT23 | 40 V | | 0.6 mA | sehr kleiner Leckstrom, 0.46 EUR bei Mouser, abgekündigt seit Oktober 2019, einige Exemplare in der "Schublade". |
| BF862 | SOT23 | 20 V | | 25 mA | besonders wenig Rauschen |
| MMBFJ113 | SOT23 | 35 V | 100 Ω | 50 mA | 0.07 € bei TME |

Der extrem geringe Leckstrom macht die 2N4117A zum traditionellen Mittel der Wahl für kapazitive Sensoren. Die nächstbeste Wahl ist ein MMBF4117.

JFET, P-Kanal

Die grundsätzlichen Eigenschaften der JFETs mit P-Kanal ähneln denen von JFETs mit N-Kanal, nur dass alle Spannungen das entgegengesetzte Vorzeichen haben. Sie sperren also wenn das Gate eine positive Spannung relativ zu Source aufweist.

| Typ | Bauform | max. Spannung | min. Widerstand | max. Strom | Anmerkung |
|------------------------------|---------|---------------|-----------------|------------|-------------------|
| MMBFJ177LT1G | SO23 | 30 V | 300 Ω | 60 mA | 0.30 € bei TME |
| J176 | TO92 | 30 V | 300 Ω | 60 mA | 0.50 € bei Mouser |

IGBTs

Wenn besonders viel Strom geschaltet werden muss, eignen sich [IGBTs](#). Das sind bipolare Transistoren, deren Basis mit einem isolierten Gate angesprochen wird (**I**nulated **G**ate **B**ipolar **T**ransistor). In gewisser Weise sind es also Kreuzungen zwischen bipolaren Transistoren und MOSFETs. Die [App-Note 983](#) von IRF stellt die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Bauteilklassen zusammen. Zwischen Emitter und Kollektor fällt auch bei voller Durchschaltung immer eine Spannung zwischen 1.5 V und 3 V ab. Das bedeutet für hohe Ströme eine entsprechend hohe Verlustleistung. Daher sind für IGBT Bauformen sinnvoll, die gut Wärme an einen Kühlkörper abführen können.

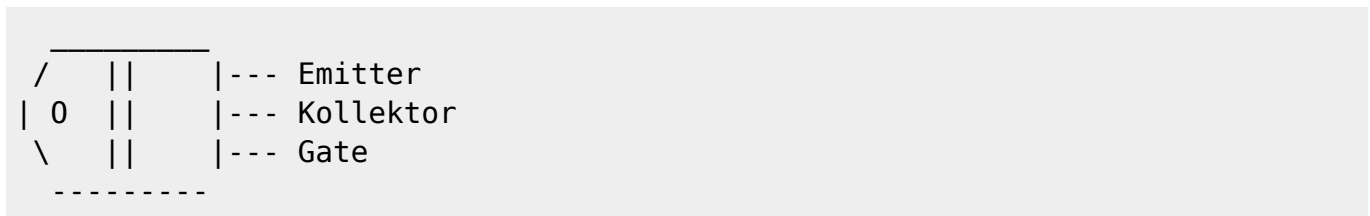
Ein anderer Unterschied zu MOSFETs besteht darin, dass es bei IGBTs keine [Inversdiode](#) gibt. Stattdessen zeigen sie bei verkehrter Polung einen Durchbruch bei einer Spannung, die je nach Modell zwischen 10 V und 50 V liegt.

Der Strom beruht in IGBTs wahlweise auf Löcherleitung (P-Kanal), oder auf beweglichen Elektronen (N-Kanal). Außerdem kann der Kanal bei am Gate angelegter Spannung öffnen, oder sperren. Daraus ergeben sich im Prinzip vier unterschiedliche Funktionsmuster. Ähnlich wie bei MOSFETs werden für Leistungsanwendungen aber nahezu ausschließlich öffnende N-Kanal Komponenten angeboten. Das heißt, ein typischer IGBT wird zwischen Kollektor und Emitter leitend, wenn an das Gate eine positive Spannung gegenüber dem Emitter anliegt.

- Beim Magnesium-Experiment ist für die Umpolung der Fallen-Spulen ein Modul mit sechs IGBTs verbaut, die 450 A schalten können: [SemiX453GD176HDc](#)
- Bis etwa 70 A gibt es ein breites Angebot an einzelnen IGBTs in den Bauformen TO220 und TO247. Bei Quantus werden mit diesen Bauteilen die 40 A einer Magnetspule von Helmholtz- in Anti-Helmholtz-Konfiguration umgepolt.

| Typ | Bauform | max. Spannung | max. V _{CE} | max. Strom | max. Leistung | Kommentar |
|------------------------------|---------|---------------|----------------------|------------|---------------|---|
| IRG4PH50U | TO220 | 600 V | 2.9 V | 45 A | 200 W | erhältlich bei Schukat, oder Reichelt für etwa 3.60 € |
| HGTG12N60A4 | TO247 | 600 V | 2.7 V | 54 A | 167 W | erhältlich bei Farnell ab 4.00 € |
| STGW39 | TO247 | 600 V | 2.5 V | 80 A | 250 W | Freilaufdiode integriert, Farnell einzeln 6.80 € |
| STGW19 | TO247 | 600 V | 2.5 V | 42 A | 140 W | Freilaufdiode integriert, Farnell einzeln 2.50 € |
| IKW30N60T | TO247 | 600 V | 2.05 V | 60 A | 187 W | Freilaufdiode integriert, Farnell einzeln 6.40 € |
| CM300DY-24NF | Klotz | 1200 V | 2.0 V | 300 A | 1130 W | Zwei IGBTs in einem Gehäuse, etwa 300 € |
| CM600HA-24H | Klotz | 1200 V | 2.1 V | 600 A | 3670 W | Einige im Lager der ElektronIQ, etwa 200 € |

Einige Datenblätter von IGBTs im Gehäuse TO220, oder TO247 schweigen sich über die Pinbelegung aus. Offenbar gibt es letztlich nur eine Belegung, die für diese Bauteile üblich ist:



IGBTs haben einige Eigenheiten. Dazu gehört eine recht große Kapazität am Gate, parasitäre Induktivitäten und das nichtlineare Verhalten der Body-Diode. Diese Abweichungen vom Ideal fallen besonders dann auf, wenn die IGBTs große Ströme schnell schalten sollen. Dann treten leicht Oszillationen auf, die die Funktion der Schaltung in Frage stellen. Das kann man in den Griff bekommen, indem man ein Netzwerk aus Kondensatoren, Widerständen und Dioden zwischen Emitter und Kollektor schaltet. Dieses Netzwerk heißt "Snubber". Es dient dazu, unerwünschte Spannungen abzuleiten.

Ärgerlicherweise gibt es kein universell anwendbares Snubber-Netzwerk. Es muss grob zur jeweiligen Anwendung passen. Hinweise zur Auslegung des Snubbers gibt es von Mitsubishi in einem informativen Dokument mit dem Titel "[General Considerations for IGBT and Intelligent Power Modules](#)". Dort wird auch auf Probleme eingegangen, die mit der Masse und der Abwärme auftreten können.

From:

<https://elektroniq.iqo.uni-hannover.de/> - **ElektronIQ**

Permanent link:

<https://elektroniq.iqo.uni-hannover.de/doku.php?id=bauteil:transistoren&rev=1626474330>

Last update: **2021/07/17 00:25**

