

# 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
<a href="#">BC847C</a>	<a href="#">BC857C</a>	SOT23	2 ¢ bei Bürklin	
<a href="#">BC850C</a>	<a href="#">BC860C</a>	SOT23	3 ¢ bei Bürklin	
<a href="#">BCP56</a>	<a href="#">BCP53</a>	SOT223	13 ¢ bei Reichelt	
<a href="#">BC337</a>	<a href="#">BC327</a>	TO92	3 ¢ bei Bürklin	
<a href="#">2N2219</a>	<a href="#">2N2905</a>	TO39	43 ¢ bei Reichelt	mehr Leistung

## Hohe Spannung

Jeweils in komplementären Paaren.

NPN	PNP	max. Spannung	Bauform	Anmerkung
<a href="#">BF820</a>	<a href="#">BF821</a>	300 V	SO23	0.11 € bei Reichelt
<a href="#">MJE340</a>	<a href="#">MJE350</a>	300 V	TO126	Klassiker, 0.26 € bei Reichelt
<a href="#">FZT857</a>	<a href="#">FZT957</a>	300 V	SOT223	0.70 € bei Reichelt und Bürklin
<a href="#">FZT458</a>	<a href="#">FZT558</a>	400 V	SOT223	1.05 € bei Farnell
<a href="#">FMMT458</a>	<a href="#">FMMT558</a>	400 V	SOT23	0.25 € bei Reichelt und Bürklin
<a href="#">FMMT459</a>	<a href="#">FMMT560</a>	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
<a href="#">MPSA18</a>	NPN	TO92	45 V	100 mA	500	1.5 dB
<a href="#">MMBT5089</a>	NPN	SOT23	25 V	50 mA	400	2 dB
<a href="#">BC847C</a>	NPN	SOT23	45 V	100 mA	400	2 dB
<a href="#">BC857C</a>	PNP	SOT23	45 V	100 mA	400	10 dB
<a href="#">MMBT489</a>	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
<a href="#">BDX34C</a>	PNP-Darlington	TO220	100 V	10 A	750	0.40 € bei Reichelt
<a href="#">BDX33C</a>	NPN-Darlington	TO220	100 V	10 A	750	0.30 € bei Reichelt

# Hohe Frequenz

Modell	Typ	Bauform	max. Spannung	max. Strom	max Frequenz	hfe	Anmerkung
<a href="#">BFT25A</a>	NPN	SOT23	5 V	6.5 mA	5 GHz	80	Unter anderem für Photodioden-Verstärker <a href="#">PD-Hobbs</a>
<a href="#">BFR92A</a>	NPN	SOT23	15 V	25 mA	5 GHz	90	Wird nicht mehr hergestellt. Wir haben noch einige zig in der SMD-Schublade. Ersatz: <a href="#">BFR106</a>
<a href="#">BFT92</a>	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
ZVN0545A	TO92	450 V	50 $\Omega$	0.090 A	0.75 € bei Bürklin
BSS123	SOT23	100 V	3 $\Omega$	0.15 A	Generischer N-MOSFET, 0.03 €/Stück
BS170	TO92	60 V	2.5 $\Omega$	0.3 A	0.12 € bei Reichelt
BSP299	SOT223	500 V	4 $\Omega$	0.4 A	1.16 € bei Bürklin
STF3LN80K5	TO220	800 V	3.2 $\Omega$	2 A	1 € bei Farnell. Sehr kleine Gate-Kapazität (100 pF)
STD3LN80K5	TO252	800 V	3.2 $\Omega$	2 A	Wie STF3LN80K5, aber in SMD-Bauform
IRFBG30	TO220	1000 V	4 $\Omega$	2 A	0.99 € bei Reichelt und Bürklin
BUZ50A	TO220	1000 V	5 $\Omega$	2.5 A	wird nicht mehr hergestellt. 2 Stück im Schrank
IRLML0060	SOT23	60 V	0.1 $\Omega$	2.7 A	für den Verpolungsschutz. 0.10 € bei TME
IRF720	TO220	400 V	1.8 $\Omega$	3.3 A	0.47 € bei Reichelt
TSM2312	SOT23	20 V	0.033 $\Omega$	5 A	0.10 €/Stück im Hunderterpack bei Schukat
IRFI840	FULLPAK	500 V	0.85 $\Omega$	5 A	Isoliertes TO220, 1.45 € bei Bürklin
PHT8N06LT	SOT223	55 V	0.08 $\Omega$	7.5 A	0.38 € bei Bürklin
MTP3055	TO220	60 V	0.018 $\Omega$	12 A	0.85 € bei Mouser
ZXM64N035L3	TO220	35 V	0.06 $\Omega$	13 A	1 € bei Reichelt und Bürklin
IRFP460	TO247	500 V	0.27 $\Omega$	20 A	3.00 € bei Bürklin
STP35NF10	TO220	100 V	0.035 $\Omega$	40 A	wird nicht mehr hergestellt, einige im Schrank
IRLB8721	TO220	30 V	0.008 $\Omega$	40 A	0.60 € bei Mouser
IXFN60N80P	SOT227	800 V	0.14 $\Omega$	53 A	23 € bei Schukat
NTD4960	TO252	30 V	0.008 $\Omega$	55 A	0.38 € bis 0.24 bei RS
IRLB8743	TO220	30 V	0.003 $\Omega$	78 A	0.71 € bei Mouser
NTD4904	TO252	30 V	0.004 $\Omega$	79 A	0.35 € bei Farnell
IRFP064N	TO247	55 V	0.008 $\Omega$	110 A	1 € bei TME
STE180NE10	SOT227	100 V	0.006 $\Omega$	180 A	30 € bei Bürklin, abgekündigt
FB180SA	SOT227	100 V	0.0065 $\Omega$	180 A	16 € bei Schukat, 31 € bei Farnell
IRLB3813	TO220	30 V	0.002 $\Omega$	190 A	3.35 € bei Farnell
IRFP4004	TO247	40 V	0.0014 $\Omega$	195 A	7 € bei Farnell
IXFN200N10P	SOT227	100 V	0.007 $\Omega$	200 A	23 € bei Farnell
IXFN200N	SOT227	70 V	0.006 $\Omega$	200 A	19 € bei Schukat, 31 € bei Farnell
IXFN420N10T	SOT227	100 V	0.002 $\Omega$	420 A	17.62 € bei Mouser
IRF1324S	D2PAK	25 V	0.001 $\Omega$	429 A	6.56 € bei Farnell

## 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
<a href="#">ZVP0545A</a>	TO92	-450 V	150 Ω	0.045 A	
<a href="#">BSS84</a>	SOT23	-50 V	10 Ω	0.13 A	generischer P-MOSFET, 0.04 €/Stück
<a href="#">BS250P</a>	TO92	-45 V	14 Ω	0.23 A	
<a href="#">BSP317P</a>	SOT223	-250 V	4 Ω	0.43 A	
<a href="#">DN308</a>	SSOT-3	-20 V	0.125 Ω	1.5 A	
<a href="#">TSM2313</a>	SOT23	-20 V	0.07 Ω	3.3 A	
<a href="#">FQP4P40</a>	TO220	-400 V	3.1 Ω	3.5 A	1 € bei RS
<a href="#">IRLML9301</a>	SOT23	-30 V	0.1 Ω	3.6 A	für den Verpolungsschutz. 0.1 € bei TME
<a href="#">IRF9520</a>	TO220	-100V	0.6 Ω	6 A	0.50 € bei Reichelt
<a href="#">MTP2955</a>	TO220	-60 V	0.43 Ω	12 A	Nicht mehr erhältlich. Ein Exemplar in der Schublade
<a href="#">IRF9530</a>	TO220	-100V	0.2 Ω	12 A	0.60 € bei Reichelt
<a href="#">FDD5614P</a>	TO252	-60 V	0.10 Ω	15 A	0.80 € bei Mouser / Farnell / RS
<a href="#">IRFR5505</a>	TO252	-55V	0.11 Ω	18 A	0,40 € bei Reichelt, Schukat, TME
<a href="#">IRFP9140</a>	TO247	-100 V	0,117 Ω	23 A	Gegenstück zum IRFP064
<a href="#">IRF5305</a>	TO220, D2PAK	-55V	0.06 Ω	31 A	0.60 € bei TME
<a href="#">SUD50P04</a>	TO252	-40 V	0.0081 Ω	50 A	1.30 € bis 0.97 € bei RS

## 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
<a href="#">2N4117A</a>	TO206	40 V	10 Ω	0.1 mA	extrem kleiner Leckstrom, 15 € bei Mouser
<a href="#">PN4117A</a>	TO92	40 V	10 Ω	0.1 mA	Alternative zu 2N4117A, 4 € bei Mouser
<a href="#">MMBF4117</a>	SOT23	40 V		0.6 mA	sehr kleiner Leckstrom, 0.46 EUR bei Mouser, abgekündigt seit Oktober 2019, einige Exemplare in der "Schublade".

Typ	Bauform	max. Spannung	min. Widerstand	max. Strom	Anmerkung
<a href="#">BF245B</a>	TO92	30 V	150 $\Omega$	10 mA	für hohe Frequenzen
<a href="#">BFR30</a>	SOT23	25 V	20 $\Omega$	10 mA	
<a href="#">BF862</a>	SOT23	20 V		25 mA	besonders wenig Rauschen
<a href="#">MMBFJ113</a>	SOT23	35 V	100 $\Omega$	50 mA	

Der extreme 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
<a href="#">MMBFJ177LT1G</a>	SO23	30 V	300 $\Omega$	60 mA	0.30 € bei TME
<a href="#">J176</a>	TO92	30 V	300 $\Omega$	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**nsulated **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.

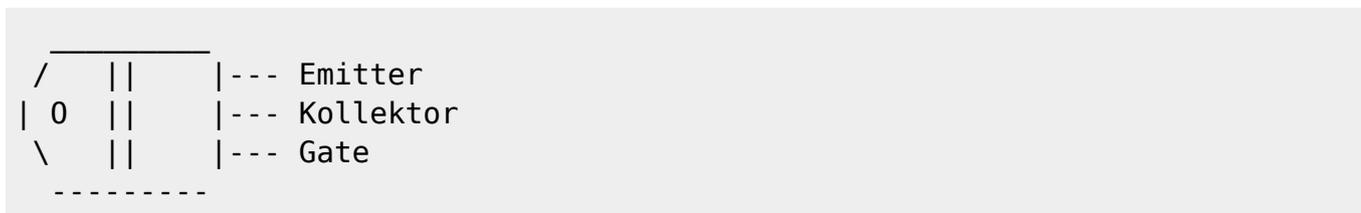
- Beim Magnesium-Experiment ist für die Umpolung der Fallen-Spulen ein Modul mit sechs IGBTs verbaut, die 450 A schalten können:

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 <sub>CE</sub>	max. Strom	max. Leistung	Kommentar
<a href="#">STGW19</a>	TO247	600 V	2.5 V	42 A	140 W	Freilaufdiode integriert, Farnell einzeln 2.50 €
<a href="#">IRG4PH50U</a>	TO220	600 V	2.9 V	45 A	200 W	erhältlich bei Schukat, oder Reichelt für etwa 3.60 €
<a href="#">HGTG12N60A4</a>	TO247	600 V	2.7 V	54 A	167 W	erhältlich bei Farnell ab 4.00 €
<a href="#">IKW30N60T</a>	TO247	600 V	2.05 V	60 A	187 W	Freilaufdiode integriert, Farnell einzeln 6.40 €
<a href="#">STGW39</a>	TO247	600 V	2.5 V	80 A	250 W	Freilaufdiode integriert, Farnell einzeln 6.80 €
<a href="#">CM300DY-24NF</a>	Klotz	1200 V	2.0 V	300 A	1130 W	Zwei IGBTs in einem Gehäuse, etwa 300 €
<a href="#">CM600HA-24H</a>	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>

Last update: **2025/05/30 17:09**

