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 BROKEN-LINK:TUN, TUP, DUS, oder DUGLINK-BROKEN 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	
2N2219	2N2905	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
FZT458	FZT558	400 V	SOT223	1.05 € bei Farnell
FMMT458	FMMT558	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	PNP-Darlington	TO220	100 V	10 A	750	0.40 € bei Reichelt
BDX33C	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
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 bestimte 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 wichtg. 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
BROKEN-LINK:STP35NF10LINK-BROKEN	TO220	100 V	0.035 Ω	40 A	wird nicht mehr hergestellt, einige im Schrank
BROKEN-LINK:IXFN420N10TLINK-BROKEN	SOT227	100 V	0.002 Ω	420 A	17.62 € bei Mouser
BROKEN-LINK:IXFN60N80PLINK-BROKEN	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
BROKEN-LINK:IXFN200N10P LINK-BROKEN	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
BROKEN-LINK:PHT8N06LTLINK-BROKEN	SOT223	55 V	0.08 Ω	7.5 A	0.38 € bei Bürklin
BROKEN-LINK:ZXM64N035L3LINK-BROKEN	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
BROKEN-LINK:IXFN200NLINK-BROKEN	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	Generischer N-MOSFET, 0.03 €/Stück
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
BROKEN-LINK:ZVN0545ALINK-BROKEN	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
BROKEN-LINK:IRFP460LINK-BROKEN	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
BROKEN-LINK:BS250PLINK-BROKEN	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	generischer P-MOSFET, 0.04 €/Stück
BROKEN-LINK:FDD5614PLINK-BROKEN	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
BROKEN-LINK:ZVP0545ALINK-BROKEN	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	20 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
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	

Der extre m 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**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 bsteht 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:

```
  _________
 /   ||    |--- Emitter
| O  ||    |--- Kollektor
 \   ||    |--- Gate
  ---------
```

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=1723025164

Last update: **2024/08/07 10:06**