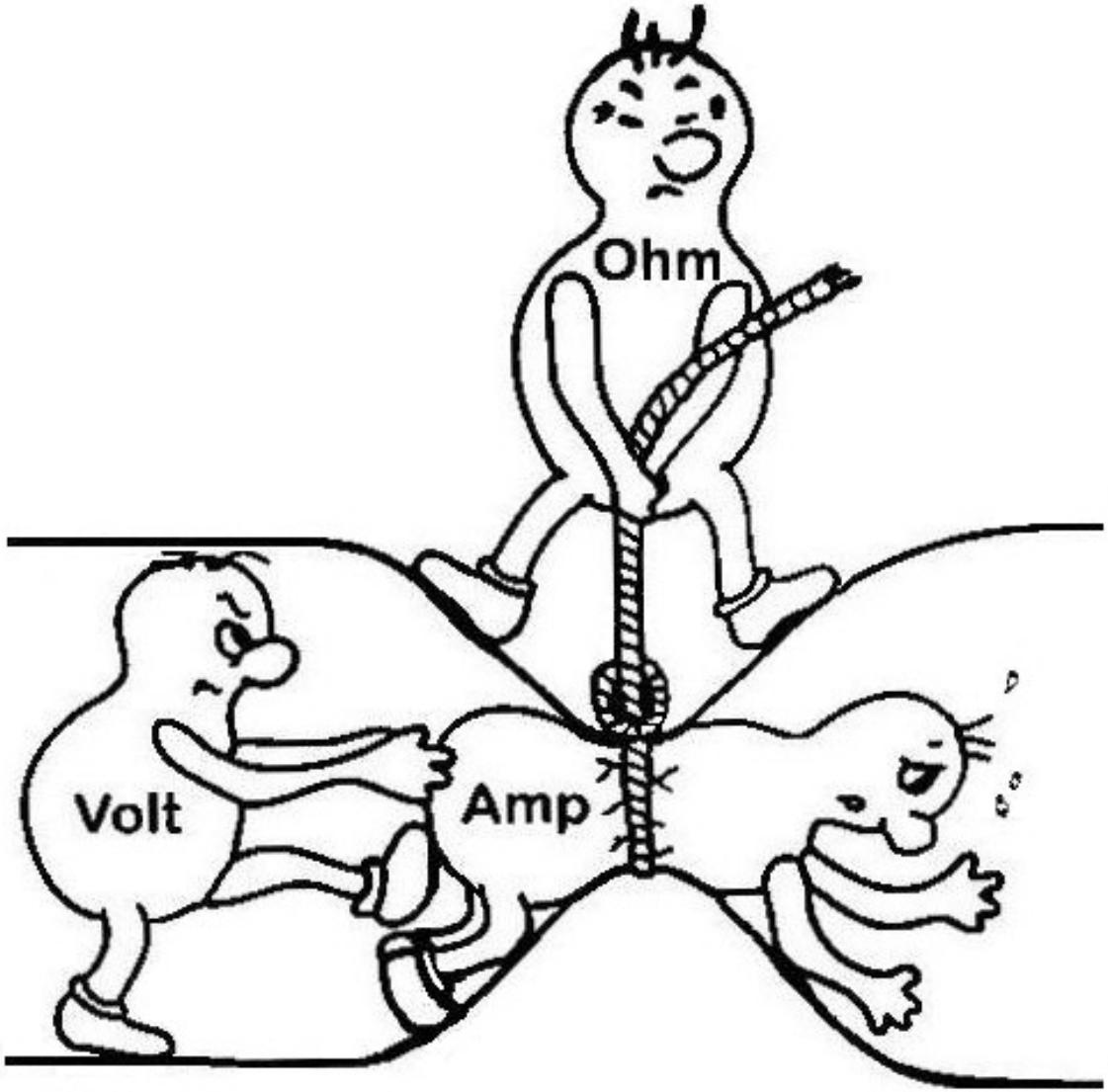
Das Ohmsche Gesetz



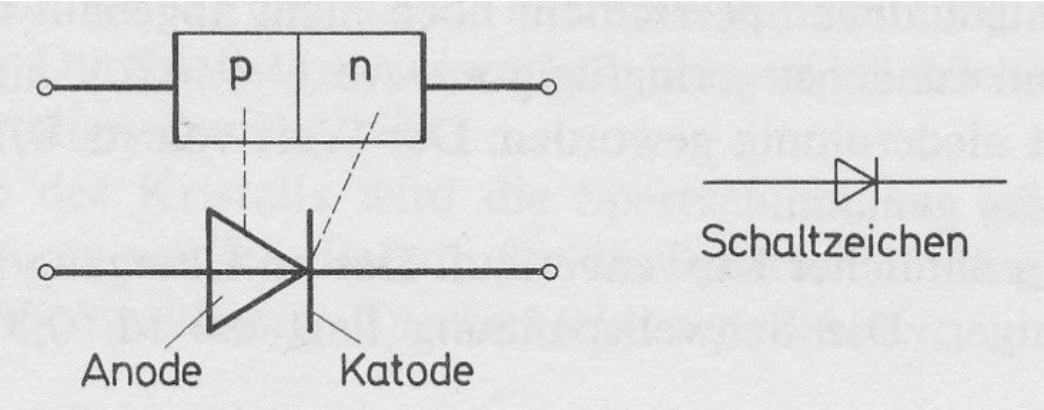
5.3 Transistoren

5.3 Transistoren

Wir unterscheiden bipolare Transistoren und Feldeffekttransistoren.

Heute besprechen wir die bipolaren Transistoren.

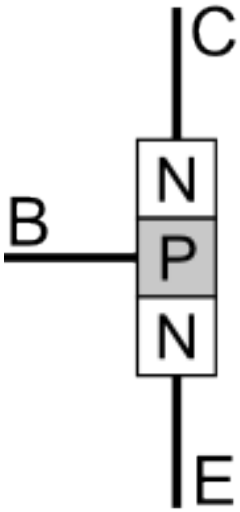
Man kann den Transistor als eine erweiterte Diode betrachten:



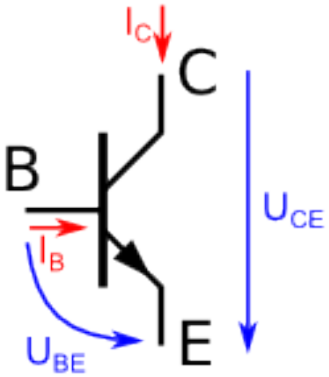
5.3 Transistoren

Wenn man zu einer Diode einen weiter PN-Übergang hinzufügt gibt es 2 Möglichkeiten:

NPN

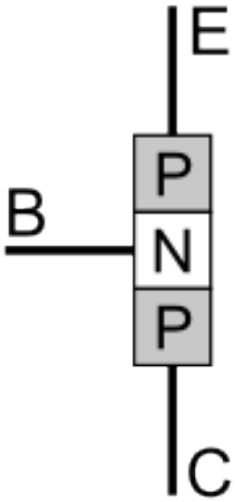


Aufbau

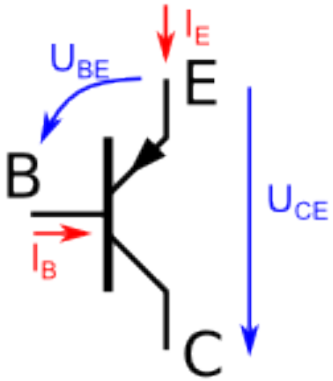


Symbol

PNP



Aufbau

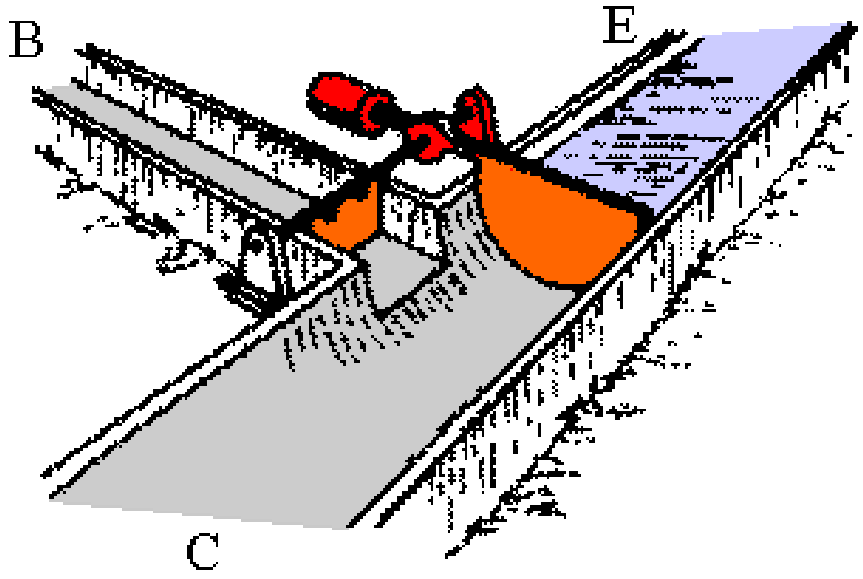


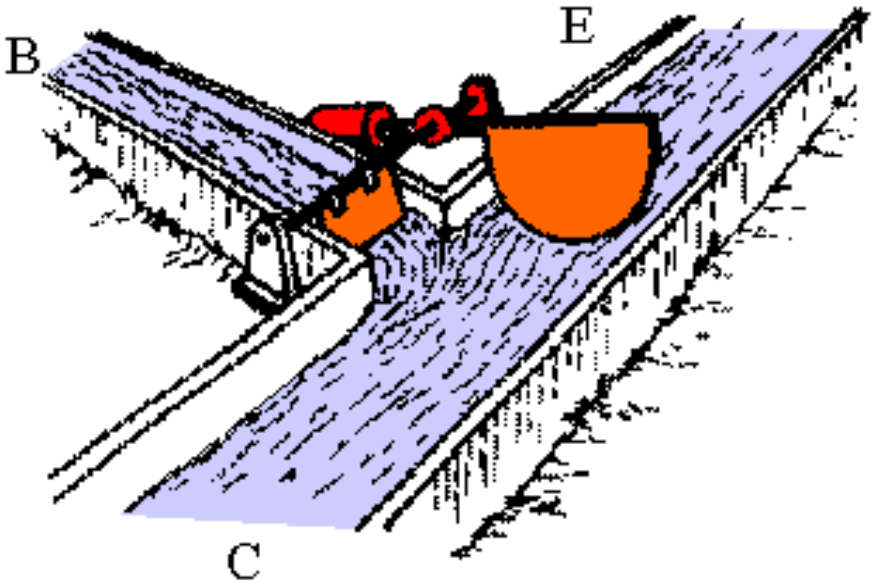
Symbol

5.3 Transistoren

Funktion eines Transistors:

Der Basisstrom steuert den Kollektorstrom.

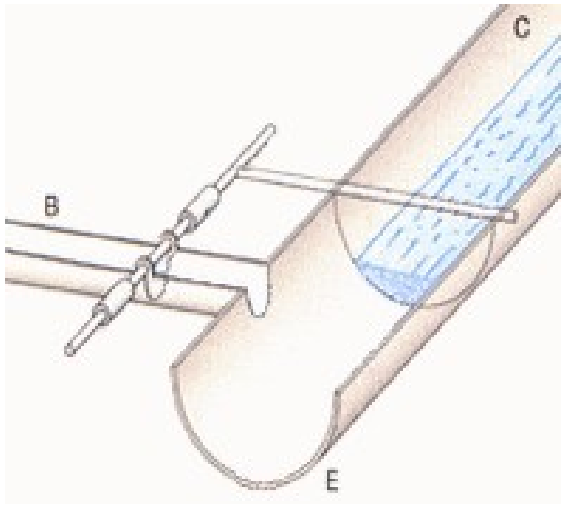


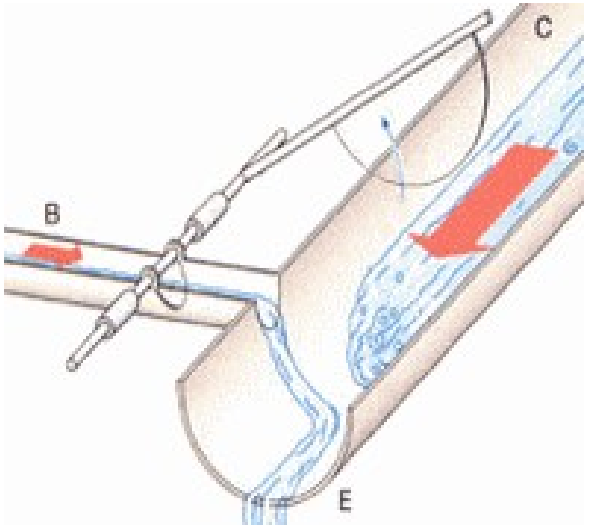


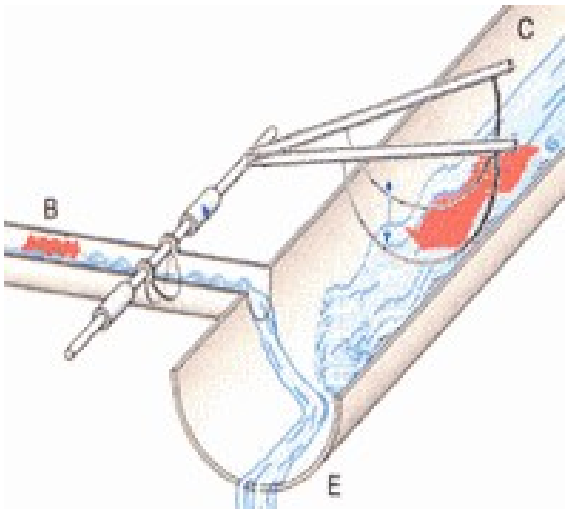
5.3 Transistoren

Funktion eines Transistors:

Der Basisstrom steuert den Kollektorstrom. Er schaltet ihn nicht nur EIN und AUS sondern steuert ihn proportional:







5.3 Transistoren

Wichtige Eigenschaften eines Transistors:

U_{CE} – Maximale Spannung zwischen Kollektor und Emitter

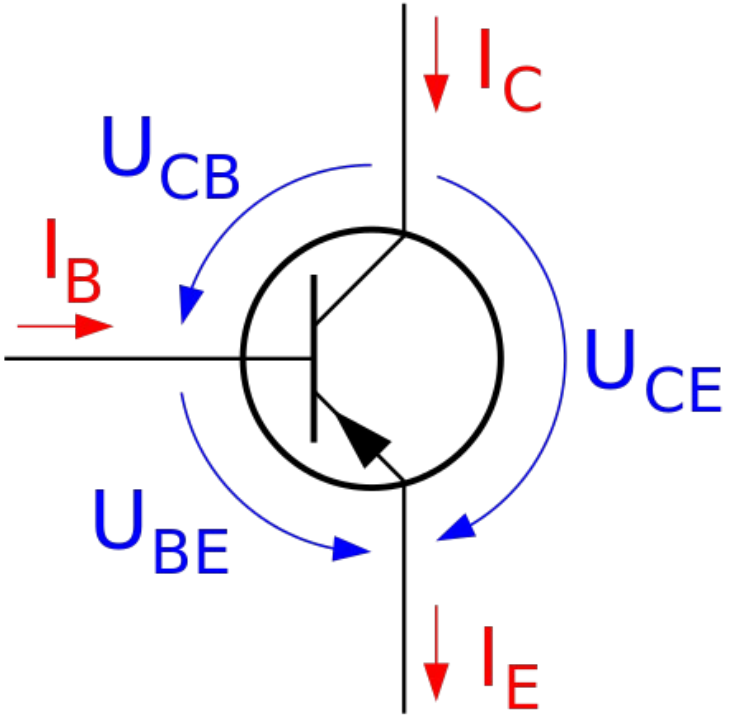
I_C – Maximaler Kollektorstrom

P_{tot} – Maximale Verlustleistung

B – Stromverstärkungsfaktor

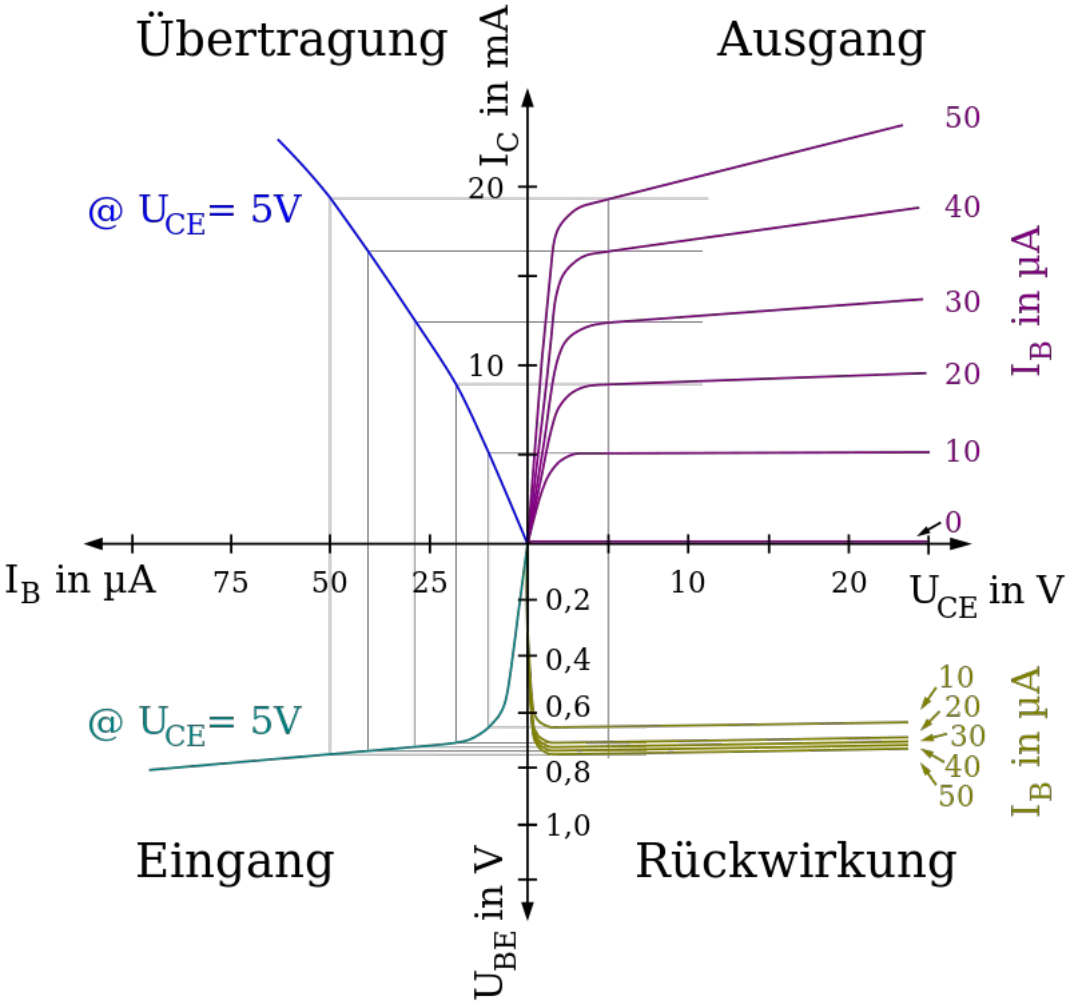
F_t – Transitfrequenz (B = 1)

R_{th} – Thermischer Widerstand



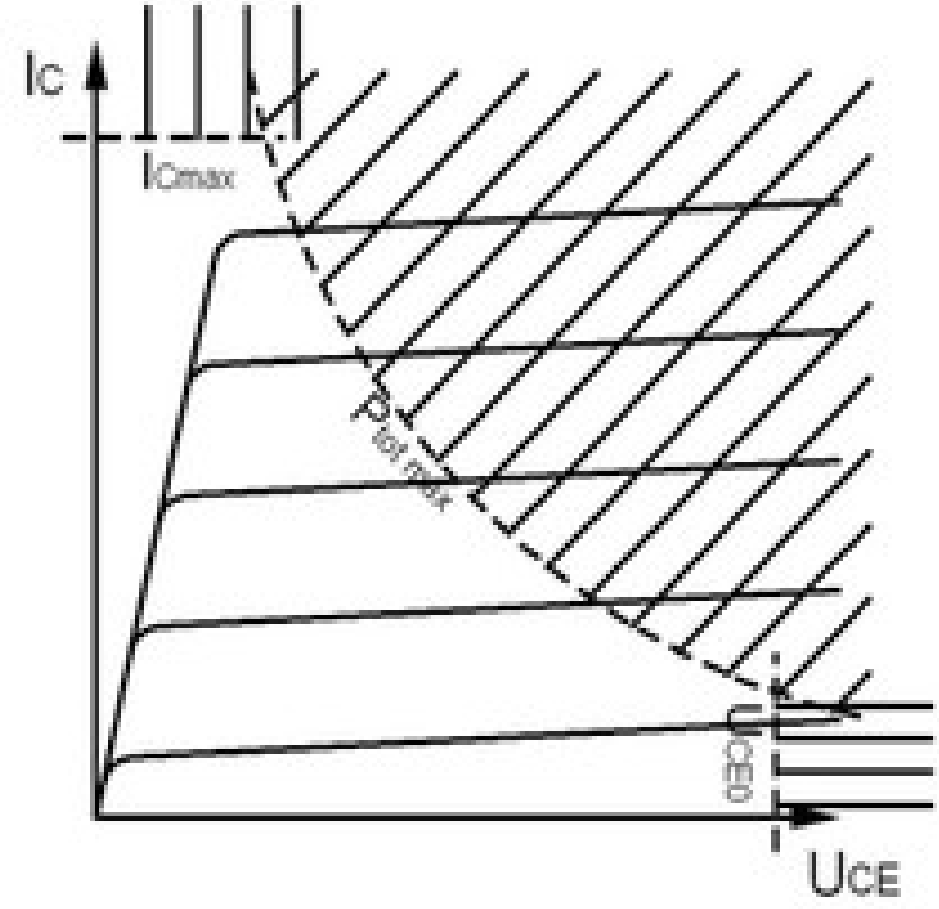
5.3 Transistoren

Übertragungseigenschaften eines Transistors:



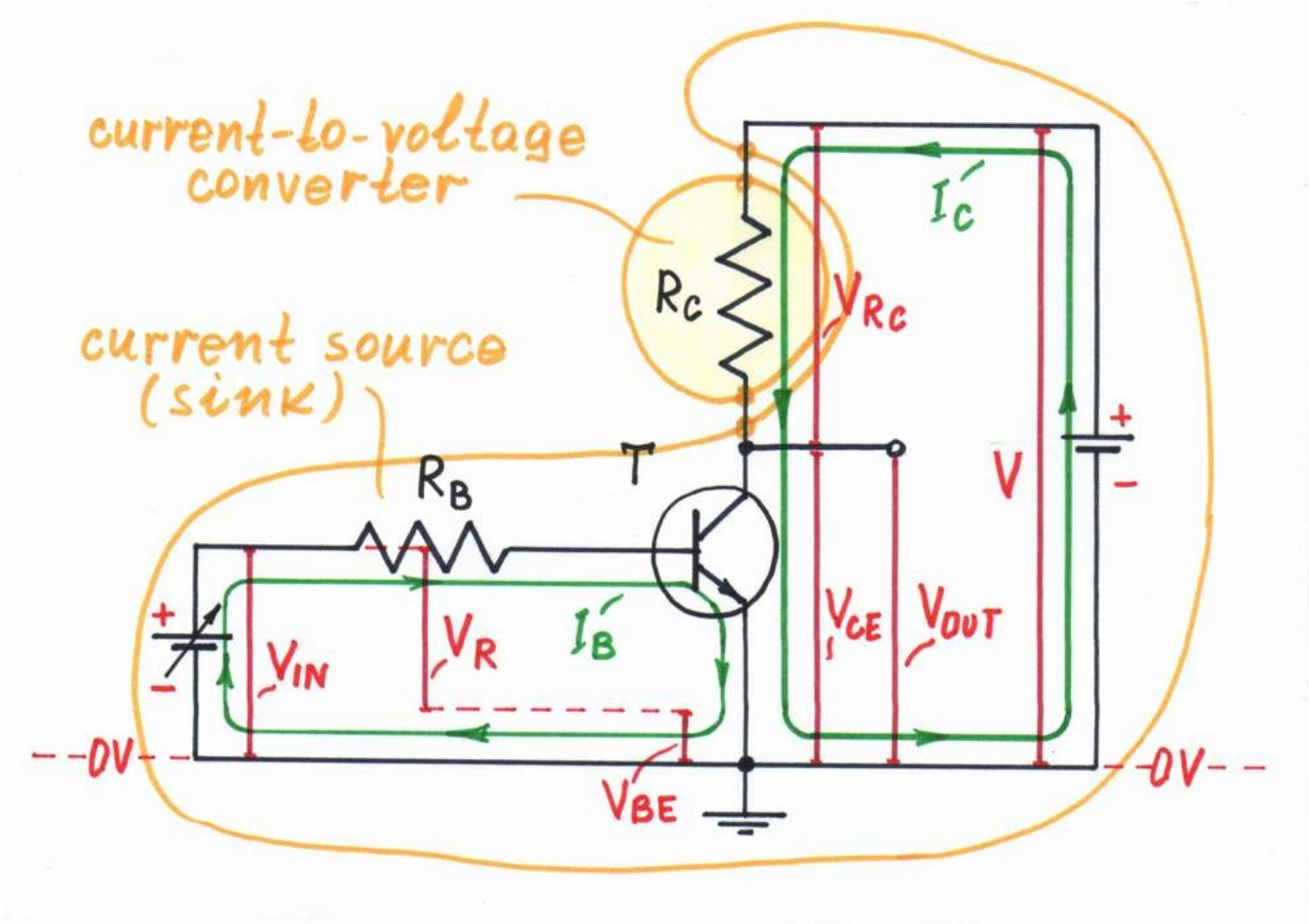
5.3 Transistoren

Arbeitsbereich eines Transistors:



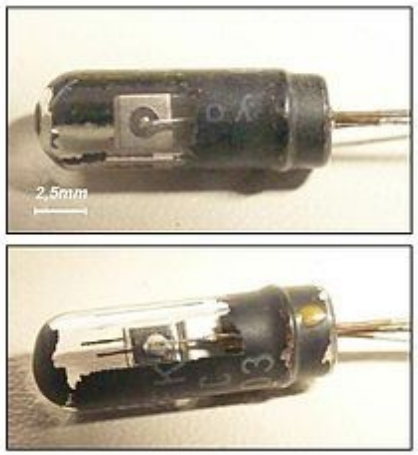
5.3 Transistoren

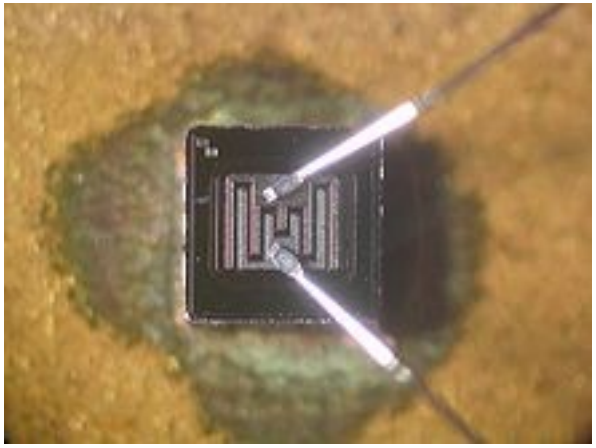
Äußere Beschaltung eines Transistors:

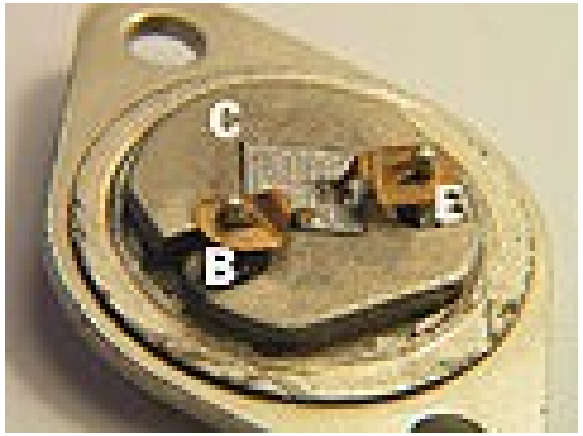


5.3 Transistoren

Gehäuse verschiedener Transistoren:

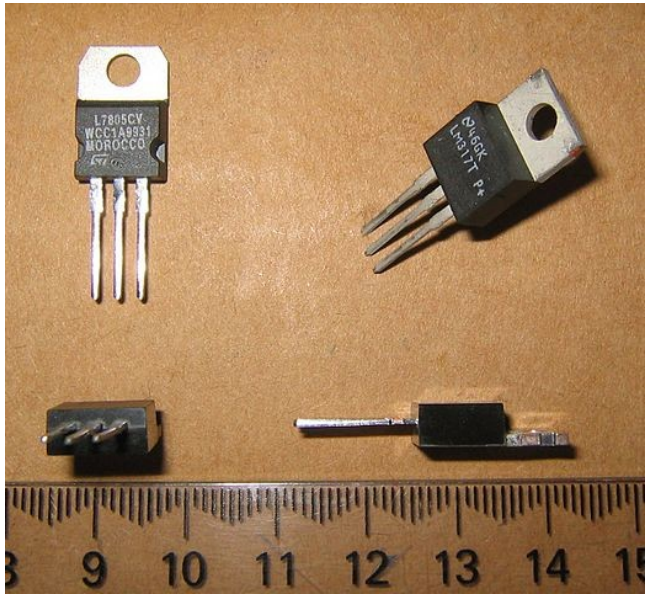


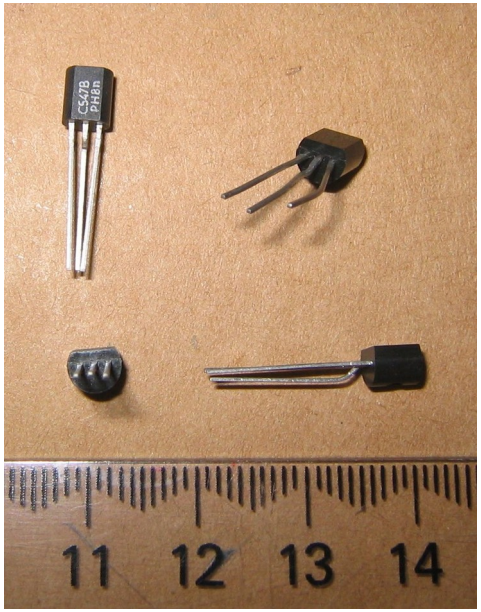




5.3 Transistoren

Gehäuse verschiedener Transistoren:





5.3 Transistoren

Datenblatt einesTransistors:

Amplifier Transistors

NPN Silicon

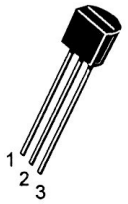
BC546, B
BC547, A, B, C
BC548, A, B, C

MAXIMUM RATINGS

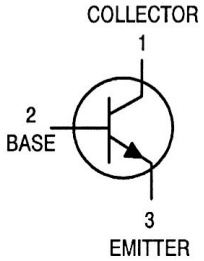
Rating	Symbol	BC546	BC547	BC548	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	65	45	30	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	80	50	30	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EBO}	6.0			Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	100			mAdc
Total Device Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	625 5.0			mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	1.5 12			Watt mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	–55 to +150			°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W



CASE 29–04, STYLE 17
TO–92 (TO–226AA)



5.3 Transistoren

Datenblatt einesTransistors:

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS						
Collector–Emitter Breakdown Voltage (I_C = 1.0 mA, I_B = 0)	BC546	$V_{(BR)CEO}$	65	—	—	V
	BC547		45	—	—	
	BC548		30	—	—	
Collector–Base Breakdown Voltage (I_C = 100 μAdc)	BC546	$V_{(BR)CBO}$	80	—	—	V
	BC547		50	—	—	
	BC548		30	—	—	
Emitter–Base Breakdown Voltage (I_E = 10 μA, I_C = 0)	BC546	$V_{(BR)EBO}$	6.0	—	—	V
	BC547		6.0	—	—	
	BC548		6.0	—	—	
Collector Cutoff Current		I_{CES}				
(V_{CE} = 70 V, V_{BE} = 0)	BC546		—	0.2	15	nA
(V_{CE} = 50 V, V_{BE} = 0)	BC547		—	0.2	15	
(V_{CE} = 35 V, V_{BE} = 0)	BC548		—	0.2	15	
(V_{CE} = 30 V, T_A = 125°C)	BC546/547/548		—	—	4.0	μA

5.3 Transistoren

Datenblatt einesTransistors:

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS						
DC Current Gain		h_{FE}				—
(I_C = 10 μA, V_{CE} = 5.0 V)	BC547A/548A		—	90	—	
	BC546B/547B/548B		—	150	—	
	BC548C		—	270	—	
(I_C = 2.0 mA, V_{CE} = 5.0 V)	BC546		110	—	450	
	BC547		110	—	800	
	BC548		110	—	800	
	BC547A/548A		110	180	220	
	BC546B/547B/548B		200	290	450	
	BC547C/BC548C		420	520	800	
(I_C = 100 mA, V_{CE} = 5.0 V)	BC547A/548A		—	120	—	
	BC546B/547B/548B		—	180	—	
	BC548C		—	300	—	
Collector–Emitter Saturation Voltage		$V_{CE(sat)}$				V
(I_C = 10 mA, I_B = 0.5 mA)			—	0.09	0.25	
(I_C = 100 mA, I_B = 5.0 mA)			—	0.2	0.6	
(I_C = 10 mA, I_B = See Note 1)			—	0.3	0.6	
Base–Emitter Saturation Voltage (I_C = 10 mA, I_B = 0.5 mA)		$V_{BE(sat)}$	—	0.7	—	V
Base–Emitter On Voltage		$V_{BE(on)}$				V
(I_C = 2.0 mA, V_{CE} = 5.0 V)			0.55	—	0.7	
(I_C = 10 mA, V_{CE} = 5.0 V)			—	—	0.77	

5.3 Transistoren

Datenblatt einesTransistors:

SMALL–SIGNAL CHARACTERISTICS

Current–Gain — Bandwidth Product (I_C = 10 mA, V_{CE} = 5.0 V, f = 100 MHz)		f_T				MHz
	BC546		150	300	—	
	BC547		150	300	—	
	BC548		150	300	—	
Output Capacitance (V_{CB} = 10 V, I_C = 0, f = 1.0 MHz)		C_{obo}	—	1.7	4.5	pF
Input Capacitance (V_{EB} = 0.5 V, I_C = 0, f = 1.0 MHz)		C_{ibo}	—	10	—	pF
Small–Signal Current Gain (I_C = 2.0 mA, V_{CE} = 5.0 V, f = 1.0 kHz)		h_{fe}				—
	BC546		125	—	500	
	BC547/548		125	—	900	
	BC547A/548A		125	220	260	
	BC546B/547B/548B		240	330	500	
	BC547C/548C		450	600	900	
Noise Figure (I_C = 0.2 mA, V_{CE} = 5.0 V, R_S = 2 kΩ, f = 1.0 kHz, Δf = 200 Hz)		NF				dB
	BC546		—	2.0	10	
	BC547		—	2.0	10	
	BC548		—	2.0	10	

Note 1: I_B is value for which I_C = 11 mA at V_{CE} = 1.0 V.

5.3 Transistoren

Datenblatt einesTransistors:

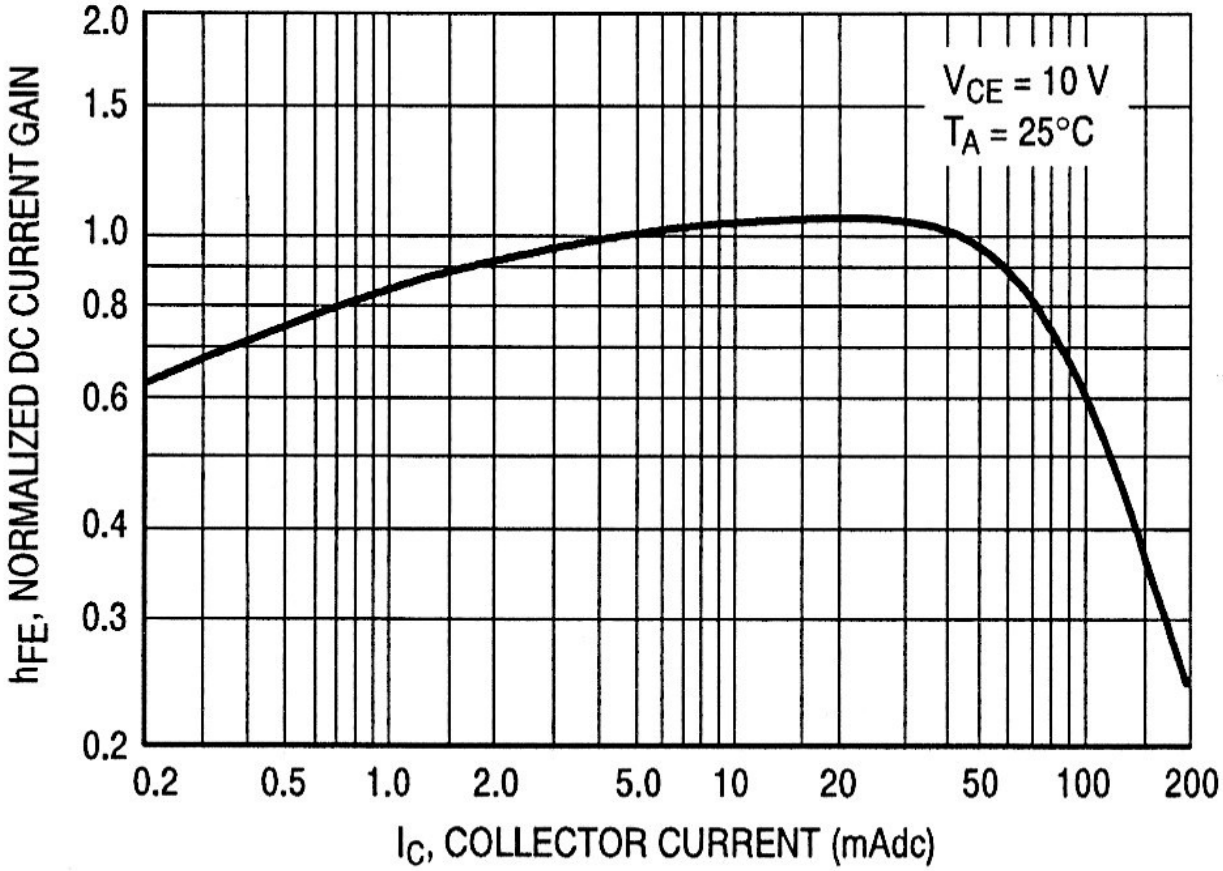


Figure 1. Normalized DC Current Gain

5.3 Transistoren

Datenblatt einesTransistors:

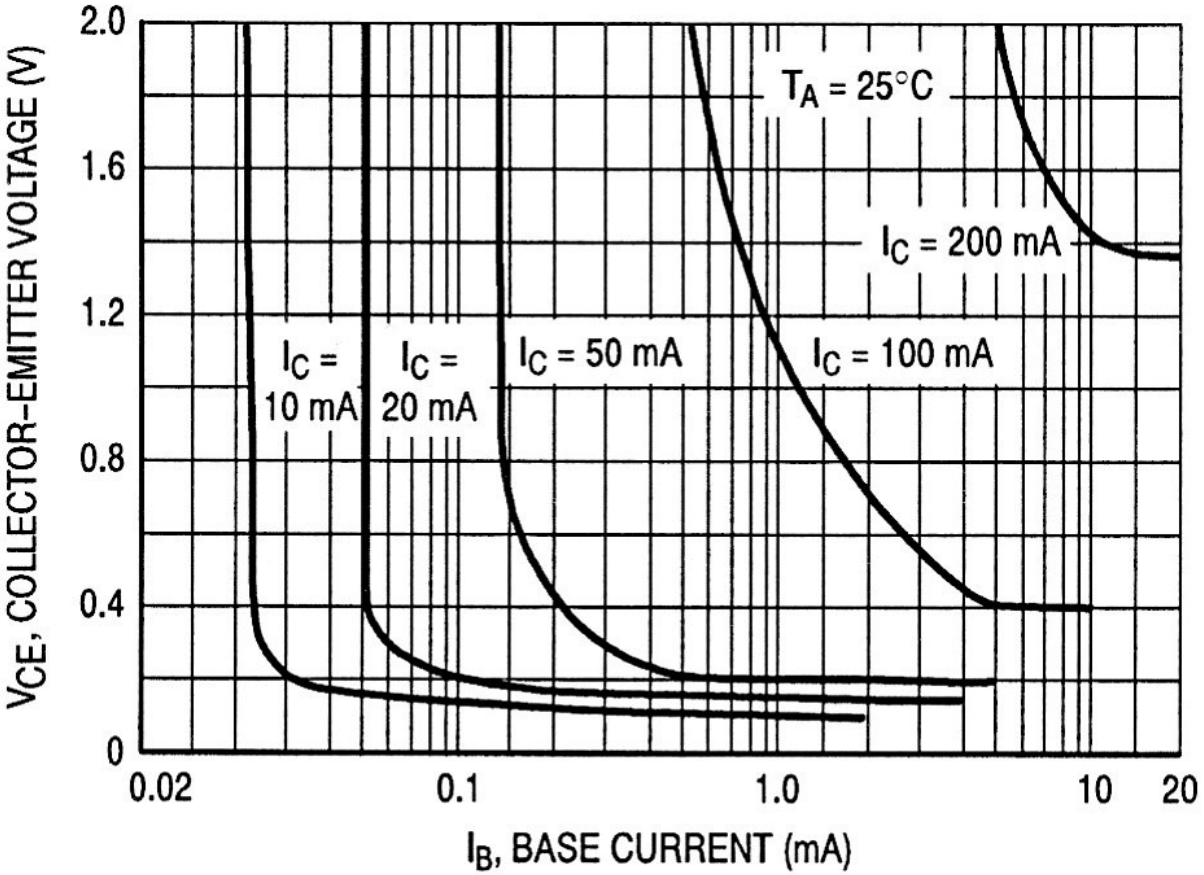


Figure 3. Collector Saturation Region

5.3 Transistoren

Datenblatt eines Transistors:

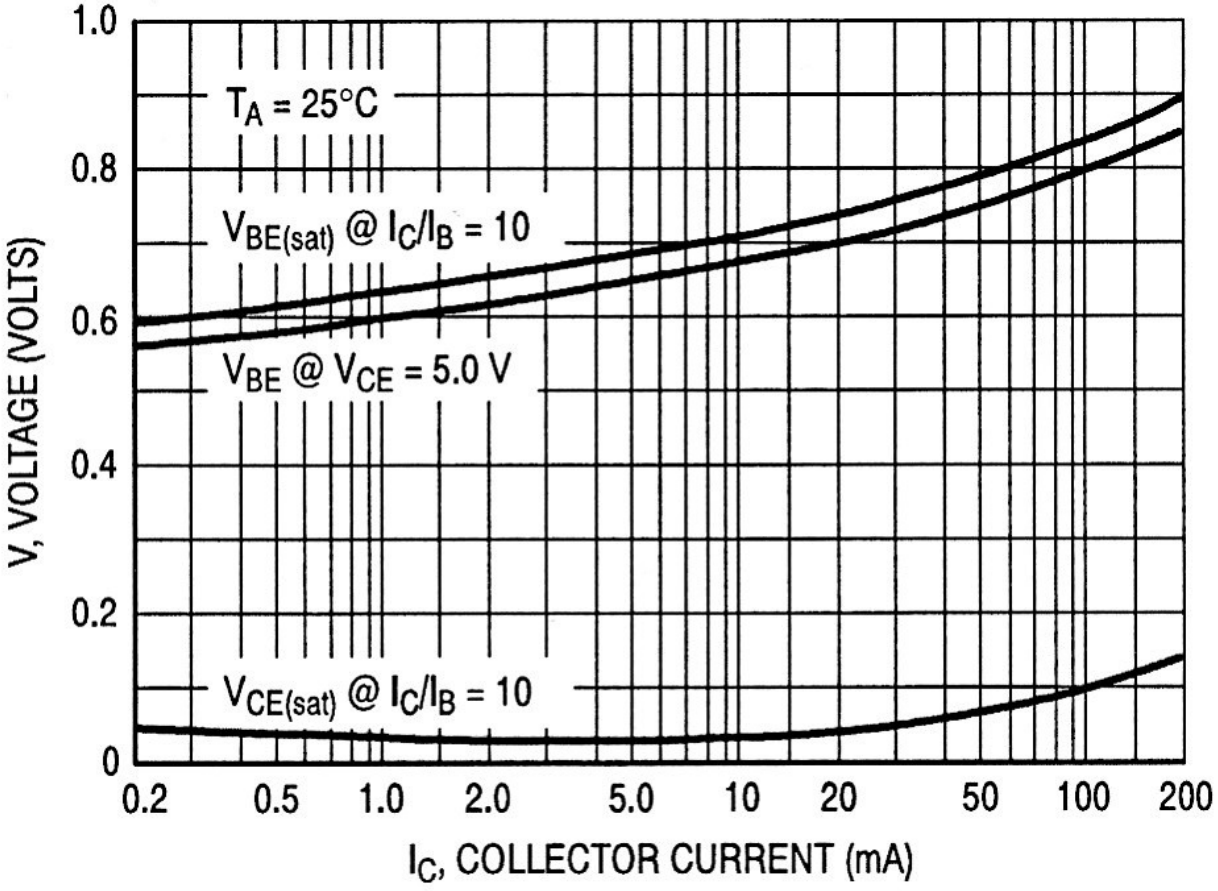


Figure 8. "On" Voltage

5.3 Transistoren

Bezeichnung von Halbleitern:

Pro-Electron-Norm / EECA

Bedeutung des 1. Zeichens

1. Zeichen	Bedeutung
A	Germanium
B	Silizium
C	Galliumarsenid
D	Keramik
R	Cadmiumsulfid

5.3 Transistoren

Bezeichnung von Halbleitern:

Pro-Electron-Norm / EECA

Bedeutung des 2. Zeichens

2. Zeichen	Bedeutung	Wärmewiderstand Sperrschicht-Gehäuse R_{thJG}
A	Diode	
B	Kapazitätsdiode	
C	Tonfrequenz-Transistor	> 15 K/W
D	Leistungs-Tonfrequenz-Transistor	< 15 K/W
E	Tunneldiode	
F	HF-Transistor	> 15 K/W
G	Hybride	
H	Diode magnetfeldabhängig	
K	HF-Transistor	> 15 K/W
L	Leistungs-HF-Transistor	< 15 K/W
M	Mischer	
N	Optokoppler	
P	Strahlungsempfänger	Phototransistor, Photodiode,
Q	Strahlungserzeuger	LED, Laser-Diode,
R	Thyristor oder Triac	kleine Leistung

5.3 Transistoren

Bezeichnung von Halbleitern:

Pro-Electron-Norm / EECA

Bedeutung des 2. Zeichens

2. Zeichen	Bedeutung	Wärmewiderstand Sperrschicht-Gehäuse R_{thJG}
S	Schalttransistor	> 15 K/W
T	Thyristor oder Triac	
U	Leistungs-Schalttransistor	< 15 K/W
V	Antenne	
W	Oberflächenwellenbauteil	
X	Diode	
Y	Diode	
Z	Z-Diode	

5.3 Transistoren

Bezeichnung von Halbleitern:

JEDEC EIA370B:

Diese amerikanische Norm ist nur als Mitglied der JEDEC zu bekommen. Ich habe auch sonst keine konkreten Informationen im Internet gefunden. Bekannt ist:

1Nxxxx – Dioden

2Nxxxx - Transistoren

5.3 Transistoren

Der Transistor als Schalter:

Die Ansprüche an einen Transistor als Schalter unterscheiden sich von denen eines Transistors als Linearverstärker.

Beim Schalttransistor unterscheiden wir 3 Zustände:

Ausgeschaltet

Eingeschaltet

Umschaltvorgang

5.3 Transistoren

Der ausgeschaltete – gesperrte - Transistor:

Kollektor-Emitter-Durchbruchspannung

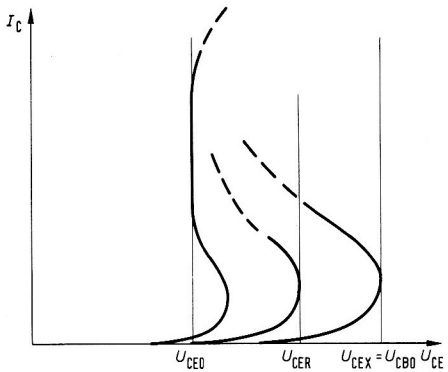
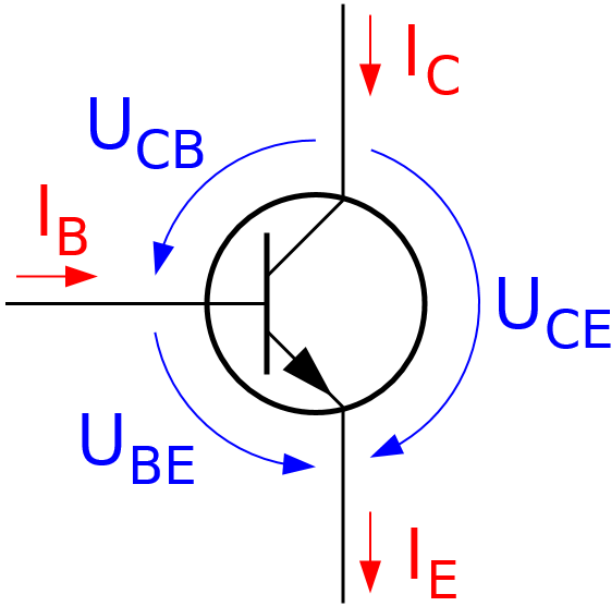


Bild 4.2 Durchbruchverhalten eines dreifach diffundierten Transistors bei unterschiedlicher Beschaltung der Basis-Emitter-Strecke
U_{CEOsus} Kollektor-Emitter-Durchbruchspannung bei offener Basis
U_{CER} Durchbruchspannung mit Widerstandsbeschaltung
U_{CEX} Durchbruchspannung mit negativer Basis



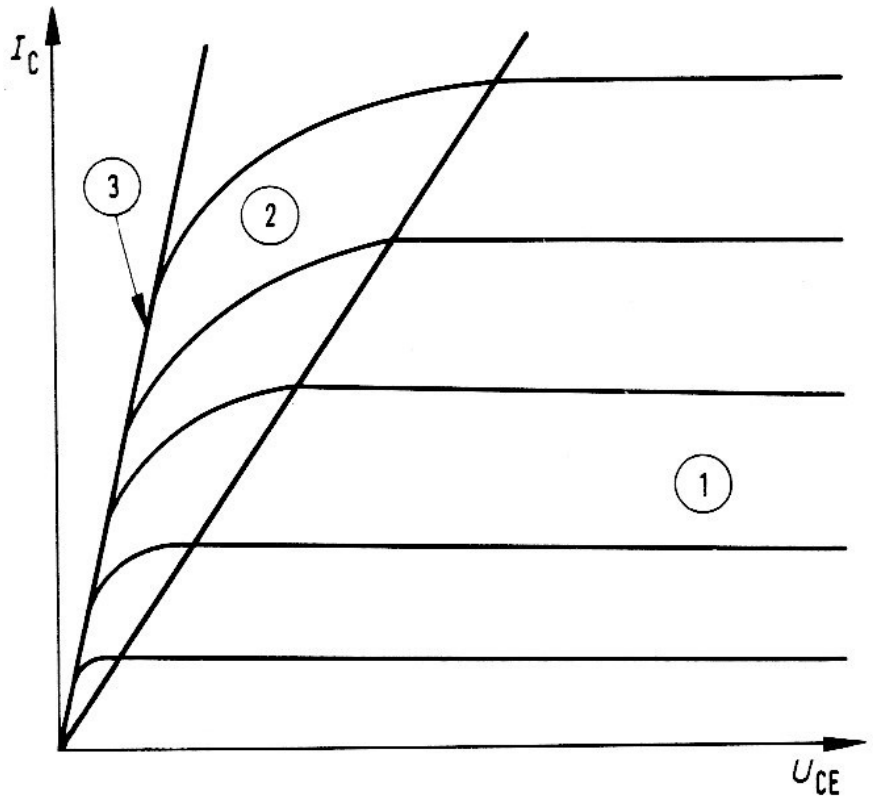
Kollektor-Emitter-Reststrom

Auch der Reststrom ist von der Beschaltung der Basis abhängig.

5.3 Transistoren

Der durchgeschaltete – leitende - Transistor:

Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung



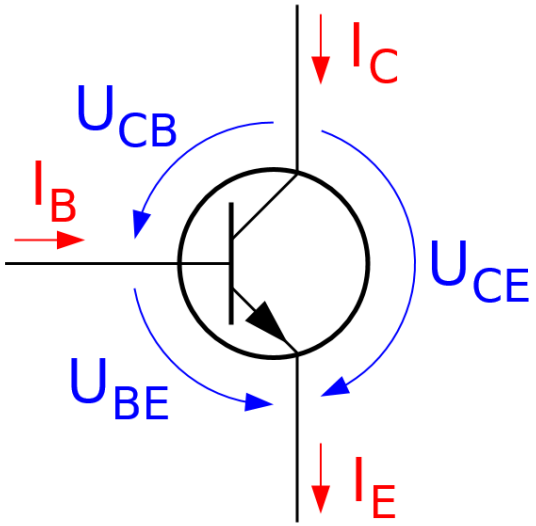
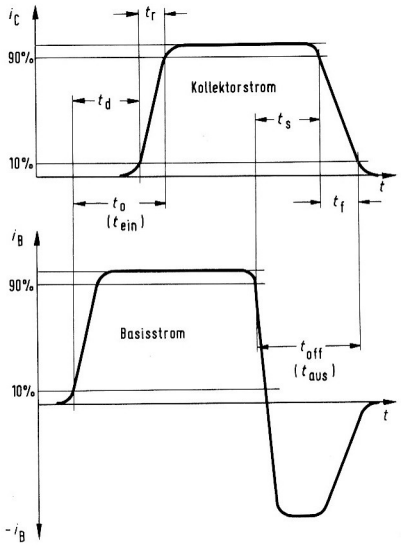


Bild 4.3 Das U_{CE}-I_C-Kennlinienfeld eines Leistungstransistors; ① linearer Bereich, ② Bereich der Quasi-Sättigung, ③ Bereich der Sättigung

5.3 Transistoren

Der schaltende Transistor:



Umschaltzeit

Bild 4.5 Schaltzeiten von Leistungstransistoren

U_{CE}-I_C-Verlauf

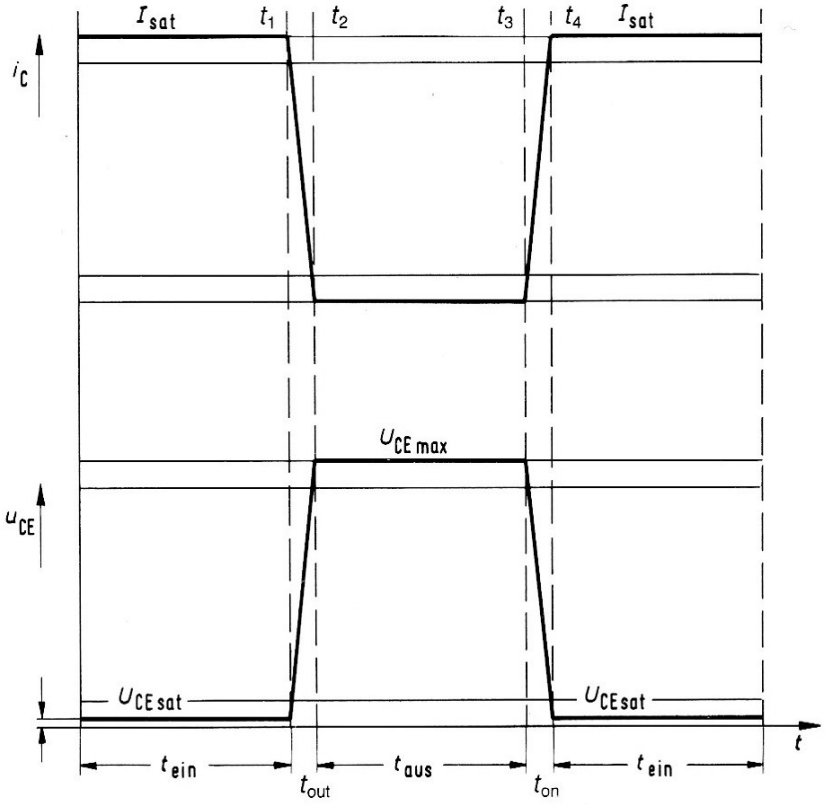


Bild 4.6 Vereinfachtes Schema der Schaltphasen eines Transistors

5.3 Transistoren

Der schaltende Transistor:

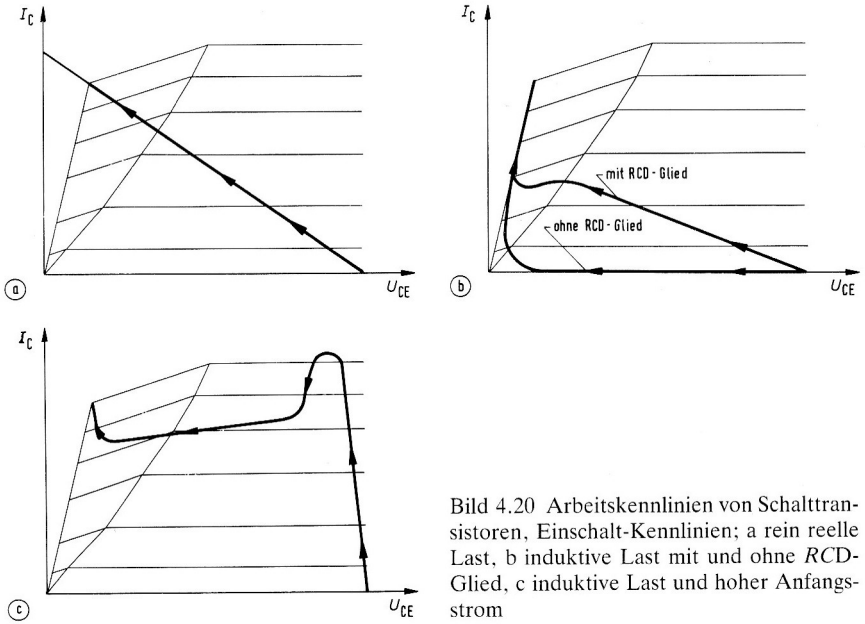


Bild 4.20 Arbeitskennlinien von Schalttransistoren, Einschalt-Kennlinien; a rein reelle Last, b induktive Last mit und ohne *RC*D-Glied, c induktive Last und hoher Anfangsstrom

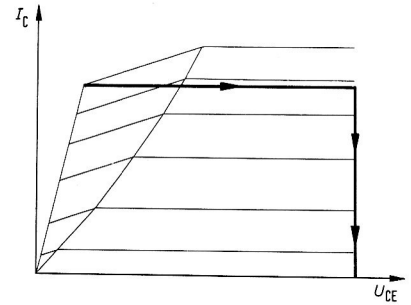
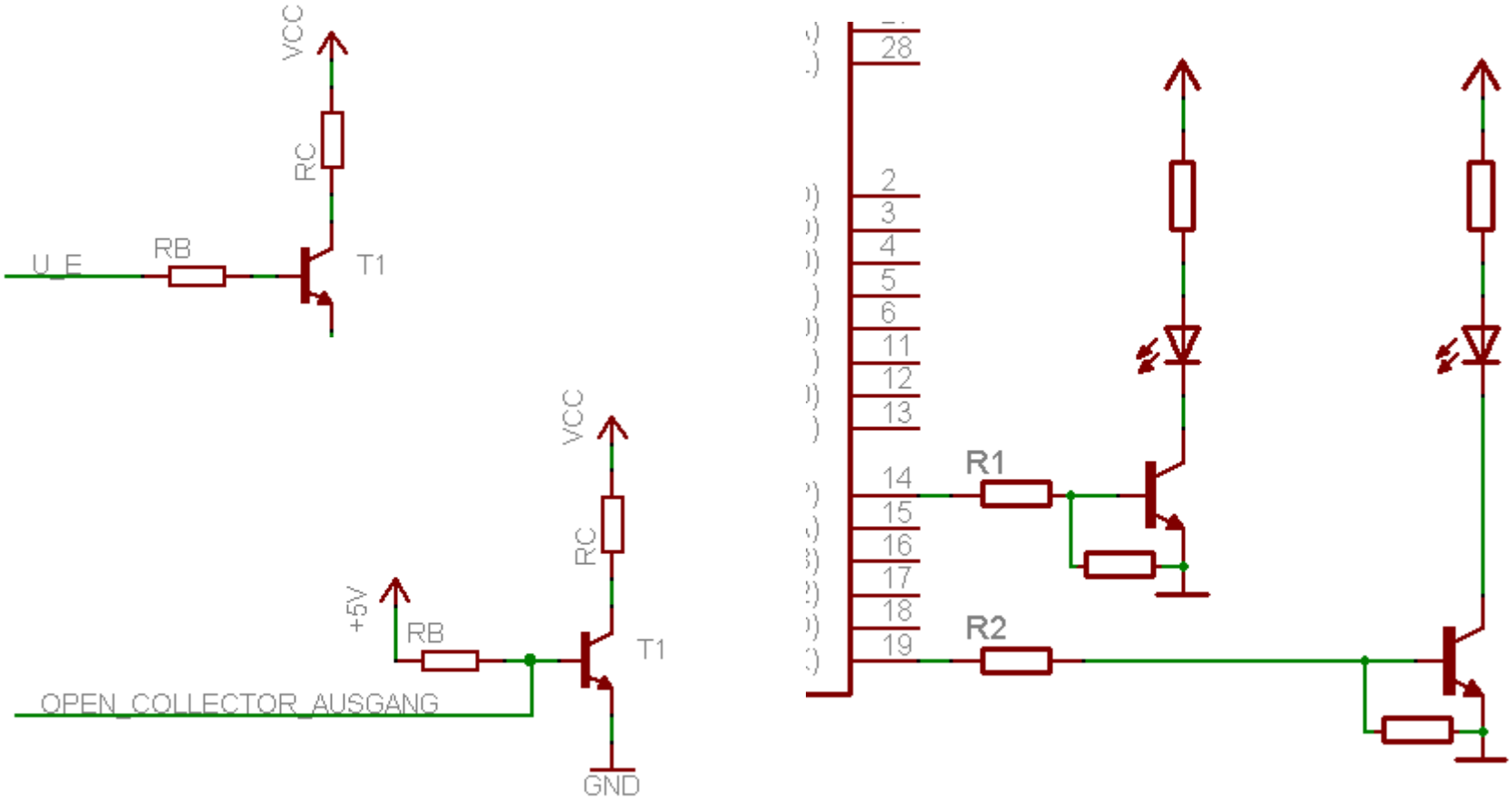


Bild 4.21 Arbeitskennlinien von Schalttransistoren, Ausschalt-Kennlinie bei induktiver Last

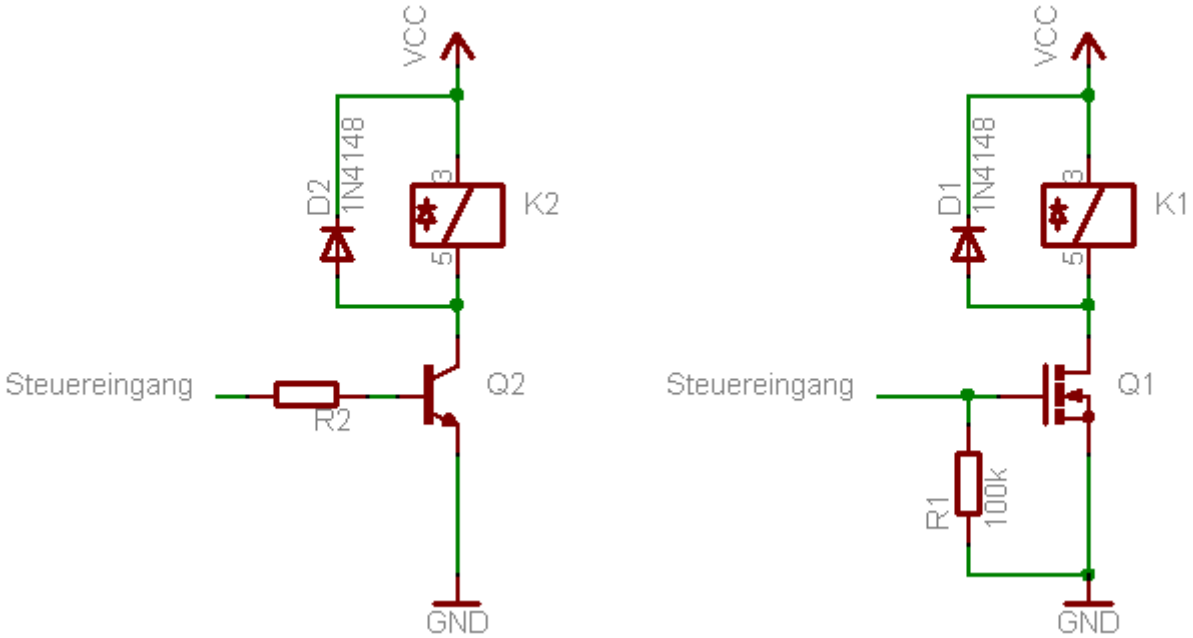
5.3 Transistoren

Der beschaltete Schalttransistor:



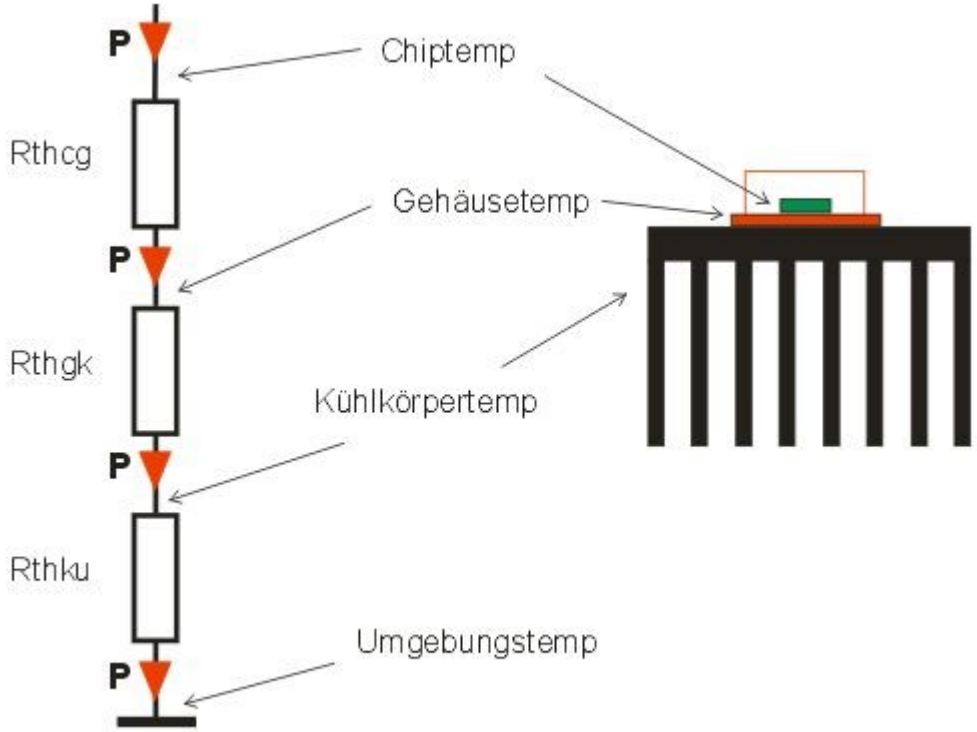
5.3 Transistoren

Der beschaltete Schalttransistor:



5.3 Transistoren

Kühlkörperberechnung:



Kühlkörperberechnung (für den statischen Fall) es gibt drei thermische Übergangswiderstände:
- Wärmewiderstand Chip-Gehäuse (Rthjc)
- Wärmewiderstand Gehäuse-Kühlkörper
- Wärmewiderstand Kühlkörper

Bei mehreren Transistoren auf einem Kühlkörper hat man praktisch eine Parallelschaltung der ersten beiden Widerstände

Als Wärmewiderstand Gehäuse-Kühlkörper kann man etwa einsetzen:
- Glimmerscheibe 0,3 [°C/W]
- Silikonscheibe 0,3 [°C/W]
- Wärmeleitpaste 0,1 [°C/W]

Die maximale statisch erreichte Chip-Temperatur kann nun errechnet werden:
Temp = P *(Rthcg + Rthgk)/Anzahl + P * Rthku + Umgebungstemperatur

http://stegem.de/Elektronik/Kuehlkoerper/

Links

http://www.dieelektronikerseite.de/index.htm

http://elektroniktutor.de/index.html

http://www.domnick-elektronik.de/index.htm

http://www.elektronik-kompendium.de/