

Leistungsschalttransistoren SU 189, SU 190, SU 186 bis SU 188, SU 377 bis SU 380 und SU 111

Teil 1

Ing. LUTZ EHRHARDT

Mitteilung aus dem VEB Mikroelektronik „Karl Liebknecht“ Stahnsdorf

In einer neuen Generation von Si-npn-Leistungsschalttransistoren bilden die Transistoren der Typenreihe SU 186 bis SU 190 den Grundstein. Sie sind gekennzeichnet durch eine Mehrfach-Epitaxie-Struktur mit sehr kurzen Schaltzeiten, großer Robustheit, niedrigen U_{CEsat} -Werten und hervorragender Festigkeit gegenüber dem zweiten Durchbruch. Mit einem neuen Passivierungsverfahren wird eine ausgezeichnete Heißsperrstabilität bei extrem niedrigen Restströmen erreicht. Zunächst werden die Typen SU 189 und SU 190 vorgestellt. Weiter folgen die Transistoren SU 186 bis SU 188, die Typenreihe SU 377 bis SU 380 im Plastgehäuse TO-220 mit einem Sättigungsstrom von $I_{Csat} = 2,5$ A sowie der vorzugsweise für elektronische Batteriezündanlagen entwickelte Darlingtont transistor SU 111. Alle diese Bauelemente können zuverlässig in leistungsfähigen Schaltungen, wenn niedrige Schaltverluste und große Robustheit gefordert werden, eingesetzt werden.

Die nachstehend genannten wichtigsten Daten aus den Erzeugnisstandards und den sie ergänzenden Informationsblättern, wie auch alle nichtgenannten, wurden auf der Grundlage des Standards TGL 24 247 (Transistoren, Allgemeine Technische Bedingungen) festgelegt. Eine sichere und ökonomische Projektierung von Halbleiterschaltungen setzt eine hinreichend genaue Kenntnis der verwendeten Halbleiterbauelemente voraus. Hierzu sind weiter folgende technische Unterlagen erforderlich:

- TGL 32 377/01 Bauelemente der bis 02: Elektronik
- TGL 42 777: Erzeugnisstandard SU 189, SU 190
- TGL 42 076: Erzeugnisstandard SU 186 bis SU 188

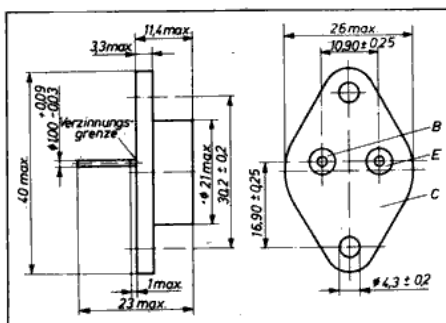


Bild 1: Maße und Anschlußbelegung

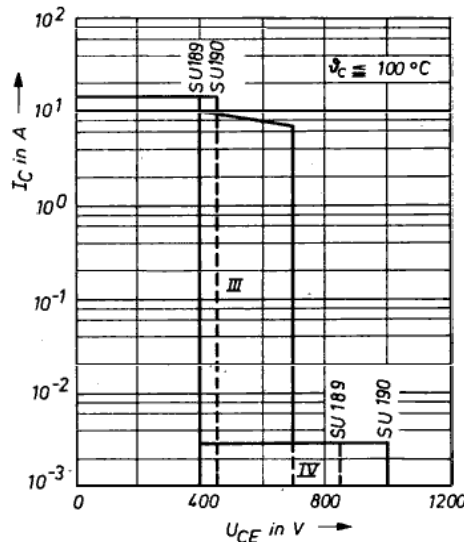


Bild 2: Höchstzulässiger Arbeitsbereich. Rechts: I - Gleichstrom; II - rechteckförmige periodische bzw. Einzelimpulse ($t \leq 0,01$) Links: III - Periodisches Einschalten $t \leq 0,25 \mu s$, $R_{BE} \leq 10 \Omega$; IV - Periodisches Ausschalten ($U_{BE} < 0$), $I_C/I_B \geq 5$, $t \leq 2$ ms

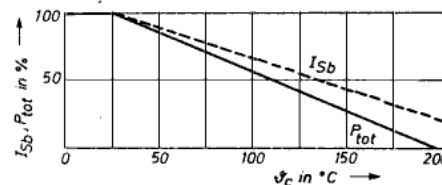
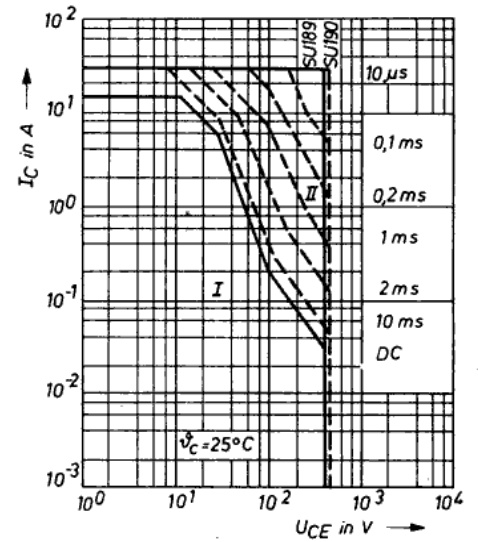


Bild 3: P_{tot} bzw. $I_{SB} = f(\theta_c)$

Tafel 1: Grenzwerte der Leistungsschalttransistoren SU 189 und SU 190 (gültig für den Betriebstemperaturbereich)

	SU 190	SU 189
Kollektor-Basis-Spannung U_{CB0} in V	1 000	850
Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE0} in V	450	400
Kollektorstrom I_C in A	15	
Kollektorspitzenstrom I_{CM} in A	30	
Basisstrom I_B in A	4,0	
Basispitzenstrom I_{BM} in A	20	
Negativer Basisstrom $-I_B$ in A	0,1	
Negativer Basispitzenstrom $-I_{BM}$ in A	10	
Gesamtverlustleistung P_{tot} in W bei $\theta_c \leq 25^\circ C$	175	
Sperrschichttemperatur θ_j in $^\circ C$	200	
Betriebstemperatur θ_a in $^\circ C$	125	



Tafel 2: Kennwerte der Leistungsschalttransistoren SU 189 und SU 190 ($\theta_c = 25^\circ C - 5 K$)

	SU 190	SU 189
Kollektor-Emitter-Reststrom I_{CER} in mA bei $R_{BE} \leq 10 \Omega$		
$U_{CE} = 1 000$ V	$\leq 1,0$	
$U_{CE} = 850$ V		$\leq 1,0$
Kollektor-Emitter-Durchbruchspannung $U_{(BR)CEO}$ in V bei $I_C = 0,2$ A	≥ 450	≥ 400
Emitter-Basis-Durchbruchspannung $U_{(BR)EBO}$ in V bei $I_E = 10$ mA	≥ 10	
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung U_{CEsat} in V $I_C = 8,0$ A; $I_B = 1,6$ A	$\leq 1,5$	
$I_C = 10$ A; $I_B = 2,0$ A		$\leq 1,5$
Basis-Emitter-Sättigungsspannung U_{BEsat} in V $I_C = 8,0$ A; $I_B = 1,6$ A	$\leq 1,6$	
$I_C = 10$ A; $I_B = 2,0$ A		$\leq 1,6$
Abfallzeit des Kollektorstromes t_f in μs $I_C = 8,0$ A; $I_B = -I_B = 1,6$ A	$\leq 0,8$	
$I_C = 10$ A; $I_B = -I_B = 2,0$ A		$\leq 0,8$
Speicherzeit des Kollektorstromes t_s in μs $I_C = 8,0$ A; $I_B = -I_B = 1,6$ A	$\leq 3,0$	
$I_C = 10$ A; $I_B = -I_B = 2,0$ A		$\leq 3,0$
Innere Wärmewiderstand R_{thjc} in K/W	$\leq 1,0$	

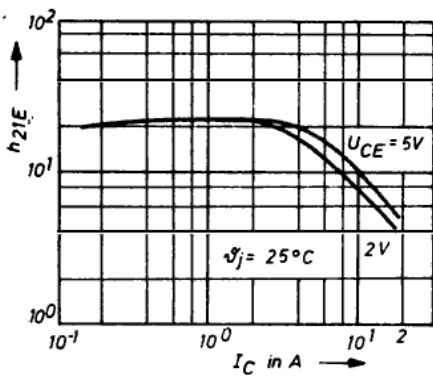


Bild 4: $h_{21E} = f(I_C; U_{CE})$, typischer Verlauf

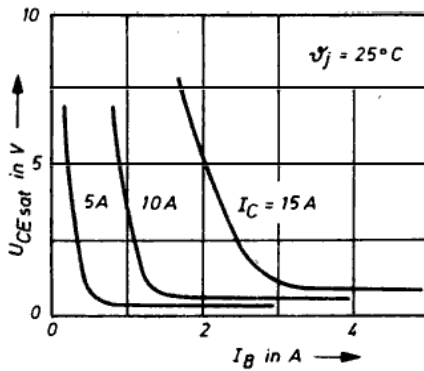


Bild 5: $U_{CEsat} = f(I_B)$, typischer Verlauf

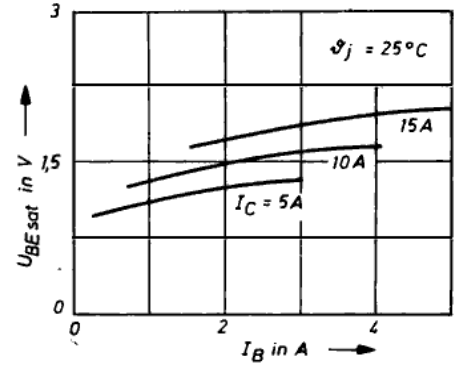


Bild 6: $U_{BEsat} = f(I_B)$, typischer Verlauf

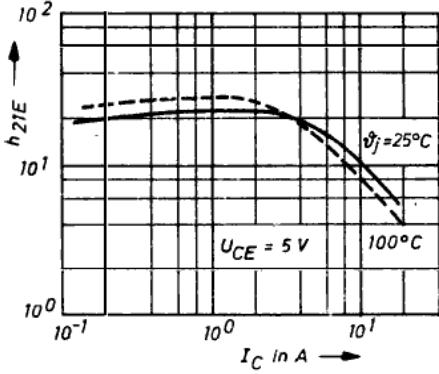


Bild 7: $h_{21E} = f(I_C; \vartheta_j)$, typischer Verlauf

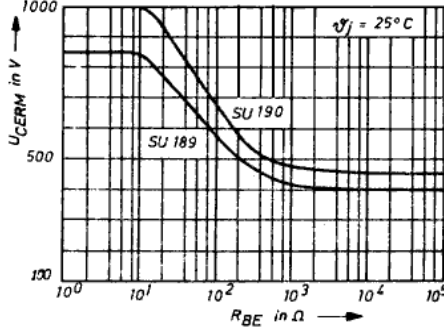


Bild 8: $U_{CERM} = f(R_{BE})$

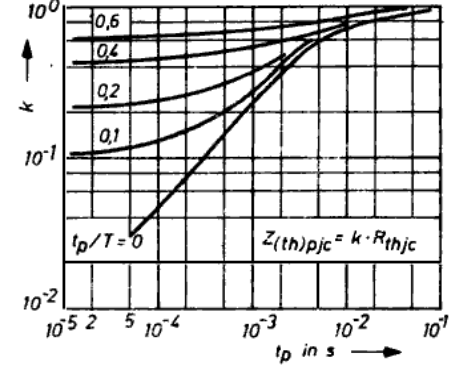


Bild 9: $Z_{(th)DJE} = f(t_p) = k R_{thjc}$

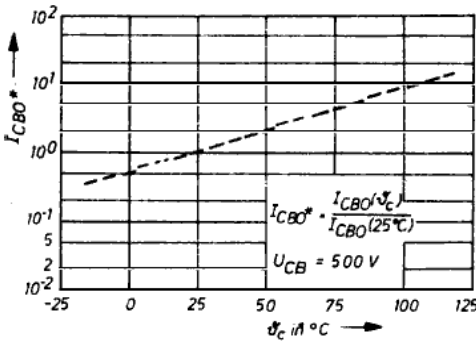


Bild 10: $I_{CBO} = f(\theta_c)$

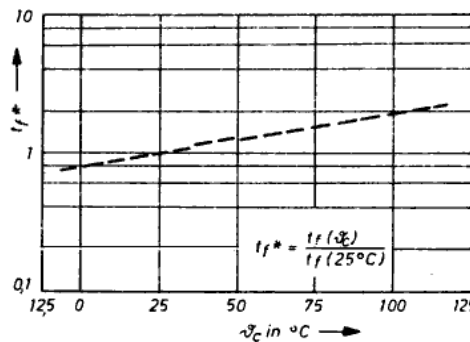


Bild 11: $t_r = f(\theta_c)$

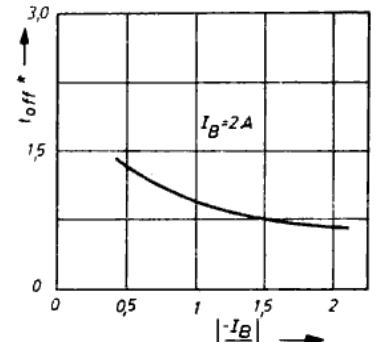


Bild 12: $t_{off} = f(-I_B/I_B)$

- TGL 42 778: Erzeugnisstandard SU 377 bis SU 380
- TGL 42 779: Erzeugnisstandard SU 111

Diese werden ergänzt durch: Allgemeine Anwendungshinweise, Einbau- und Löt-vorschriften für Halbleiterbauelemente des VEB Mikroelektronik „Karl Liebknecht“ Stahnsdorf.

Leistungsschalttransistoren SU 189 und SU 190

Das TO-3-Metallgehäuse der Si-npn-Leistungsschalttransistoren SU 189 und SU 190 ist galvanisch verzinkt (TGL 11 811) und besitzt eine Masse von ≤ 22 g. Bild 1 zeigt die Maße und die Anschlußbelegung der Transistoren, Bild 2 den höchstzulässigen Arbeitsbereich. Über die elektrischen und thermischen Eigenschaften geben die Tafeln 1 und 2 Aufschluß. In Tafel 3 sind die Löt-eigenschaften, die mechanische Festigkeit und die klimatische Beständigkeit der Leistungsschalttransistoren zusammengefaßt. Sie gilt gleichzeitig für die Typen SU 186 bis SU 188, SU 377 bis SU 380 und SU 111.

Tafel 3: Löt-eigenschaften, mechanische Festigkeit und klimatische Beständigkeit der Leistungsschalttransistoren SU 189, SU 190, SU 186 bis SU 188, SU 377 bis SU 380 und SU 111

Lötbedingungen	TGL 32 377/02
Lötbarkeit der Anschlüsse	TGL 200-0053/04
Schwingungsfestigkeit	Fc 10/500-0,75/100-30/3
Stoßfestigkeit	Eb 6-150/12000/3
konstante Beschleunigung	490 ms ⁻²
Zugfestigkeit der Anschlüsse	20 N ¹⁾
schneller Temperaturwechsel	-25...55 °C ²⁾
feuchte Wärme, TGL 9206/01, Ca	21 Tage

Eine Torsionsbeanspruchung der Anschlüsse ist nicht zulässig. Sie dürfen jedoch dreimal um 20°³⁾ gebogen werden. Dabei ist das Gehäuse vor Biege- und Zugbeanspruchung zu schützen!

- ¹⁾ SU 377 bis SU 380: 5 N
- ²⁾ SU 111: -40...55 °C
- ³⁾ SU 377 bis SU 380 nur einmal

Prospektmaterial

über die Literatur des
VEB VERLAG TECHNIK

fordern Sie bitte bei Ihrem
Buchhändler an

Leistungsschalttransistoren SU 189, SU 190, SU 186 bis SU 188, SU 377 bis SU 380 und SU 111

Teil 2 und Schluß

Ing. LUTZ EHRHARDT

Mitteilung aus dem VEB Mikroelektronik „Karl Liebknecht“ Stahnsdorf

Leistungsschalttransistoren SU 186 bis SU 188

Das galvanisch verzinnte TO-3-Metallgehäuse der Si-npn-Leistungsschalttransistoren SU 186 bis SU 188 besitzt eine Masse ≤ 22 g. Bild 13 zeigt die Abmessungen und die Anschlußbelegung der Transistoren, Bild 14 den höchstzulässigen Arbeitsbereich. Über die elektrischen und thermischen Eigenschaften geben die Tafeln 4 und 5 Auskunft.

Leistungsschalttransistoren SU 377 bis SU 380

Das Plastikgehäuse mit metallischem Montageflansch der Bauform TO-220 der Si-npn-Leistungsschalttransistoren SU 377 bis SU 380 besitzt eine Masse $\leq 2,5$ g. Bild 25 zeigt die Maße und die Anschlußbelegung der Transistoren, die Bilder 26 und 27 zeigen den höchstzulässigen Ar-

beitsbereich. Die elektrischen und thermischen Eigenschaften sind in den Tafeln 6 und 7 enthalten.

Darlingtonleistungstransistor SU 111

Das galvanisch verzinnte TO-3-Metallgehäuse des Si-npn-Darlingtonleistungstransistors SU 111 besitzt eine Masse ≤ 15 g. Bild 38 zeigt die Abmessungen und die Anschlußbelegung des Transistors, Bild 39 den höchstzulässigen Arbeitsbereich und Bild 40 die Innenschaltung. Über die elektrischen und thermischen Eigenschaften geben die Tafeln 8 und 9 Auskunft.

Basisansteuerung und Schutz von Leistungsschalttransistoren mit integrierten Ansteuerschaltkreisen

Für den Teil der im VEB Kombinat Mikroelektronik produzierten Transistortypen, der vorrangig in der industriellen Elektronik zum Einsatz kam, wurde die Basisansteuerung bisher mit diskreten Treiberstufen oder seltener unter Verwendung von geeigneten analogen Schaltkreisen der Konsumgüterelektronik realisiert.

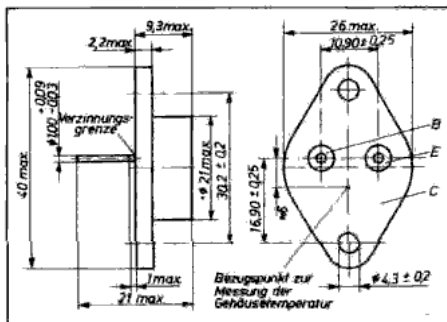


Bild 13: Maße und Anschlußbelegung

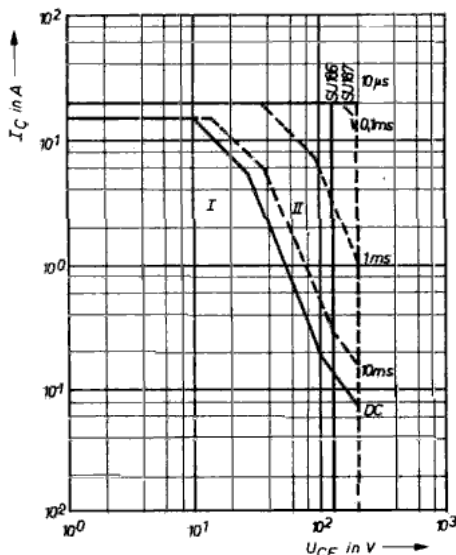


Bild 14: Höchstzulässiger Arbeitsbereich

Rechts: I – Gleichstrom; II – rechteckförmige periodische bzw. Einzelimpulse ($\tau \leq 0,01$) SU 186, SU 187
Links: I – Gleichstrom; II – rechteckförmige periodische bzw. Einzelimpulse ($\tau \leq 0,01$) SU 188

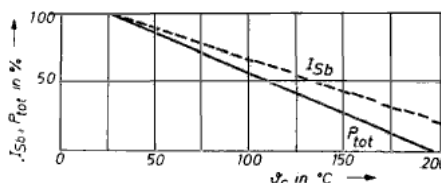


Bild 15: P_{tot} bzw. $I_{Sb} = f(\theta_{CE})$

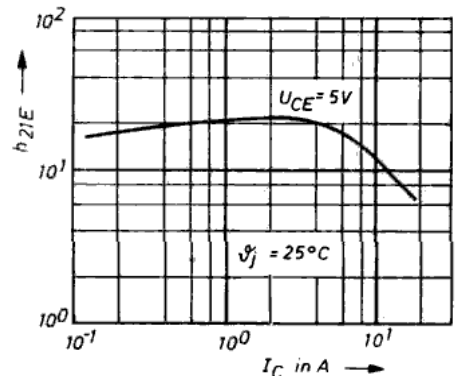
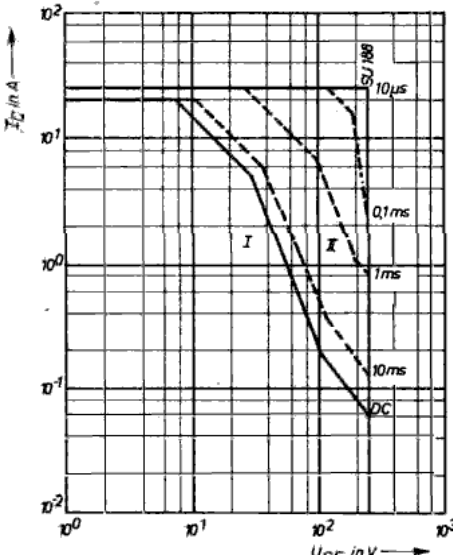


Bild 16: $h_{21E} = f(I_C)$, typischer Verlauf

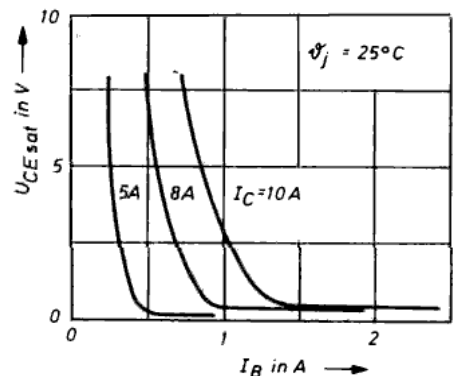


Bild 17: $U_{CE,sat} = f(I_B)$, typischer Verlauf

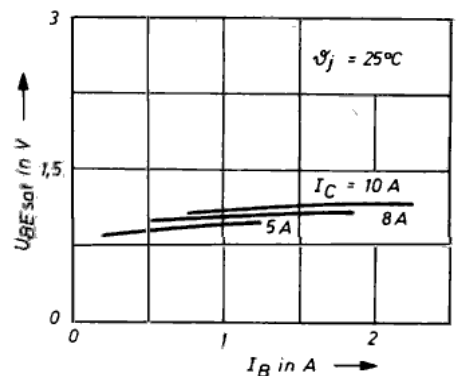


Bild 18: $U_{BE,sat} = f(I_B)$, typischer Verlauf

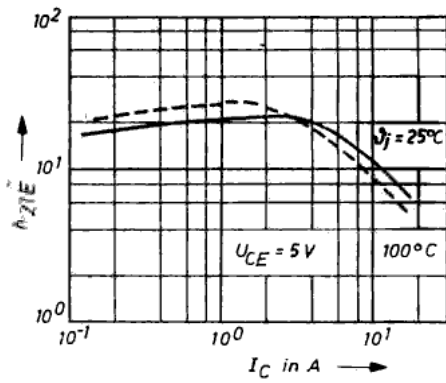


Bild 19: $h_{21E} = f(I_C; \psi_j)$, typischer Verlauf

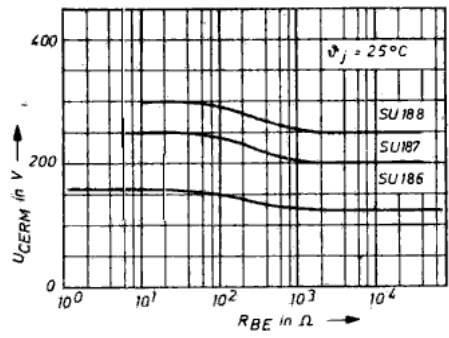


Bild 20: $U_{CERM} = f(R_{BE})$

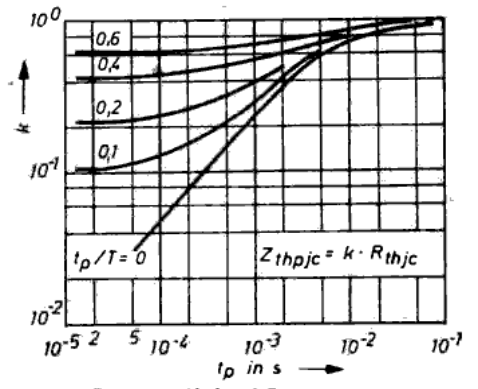


Bild 21: $Z_{th(j)c} = f(t_p) = k \cdot R_{th(j)c}$

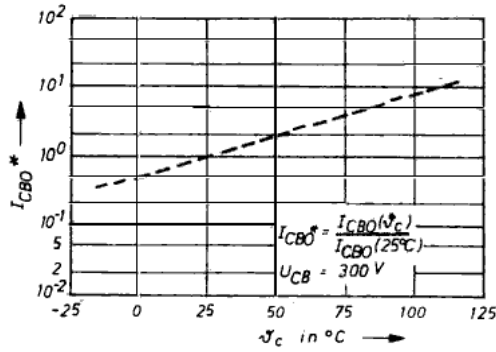


Bild 22: $I_{CBO} = f(\psi_C)$

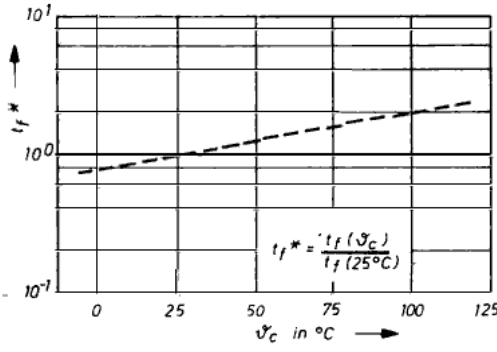


Bild 23: $t_r = f(\psi_C)$

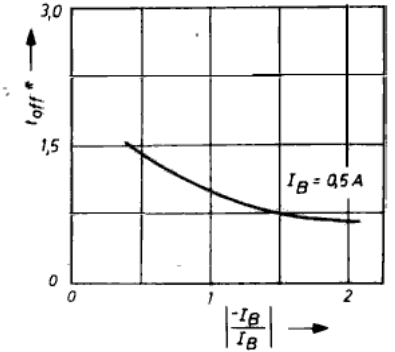


Bild 24: $I_{off} = f(|-I_B|/I_B)$

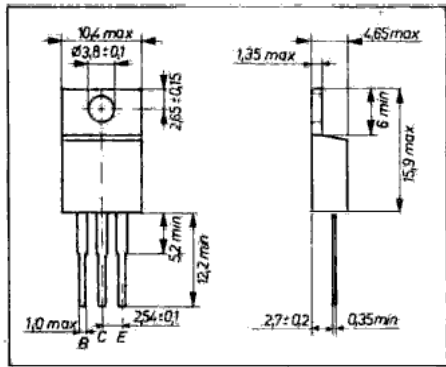


Bild 25: Maße und Anschlußbelegung

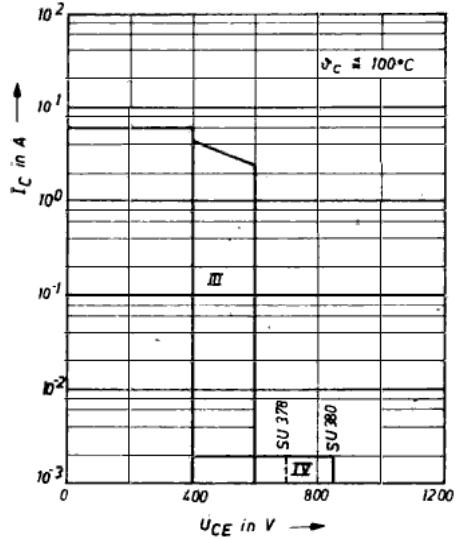


Bild 26: Höchstzulässiger Arbeitsbereich SU 378 und SU 380. Rechts: I - Gleichstrom; II - rechteckförmige periodische bzw. Einzelimpulse ($r \leq 0,01$), links: III - periodisches Einschalten $t \leq 0,25 \mu\text{s}$, $R_{BE} \leq 100 \Omega$; IV - periodisches Ausschalten ($U_{BE} < 0$) $I_C/I_B \geq 3$; $I_H = -I_B$; $t \leq 2 \text{ ms}$

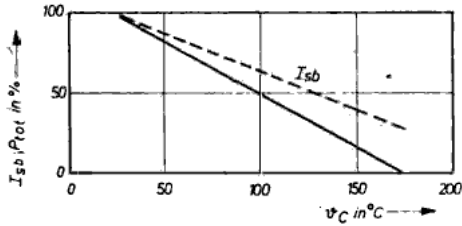
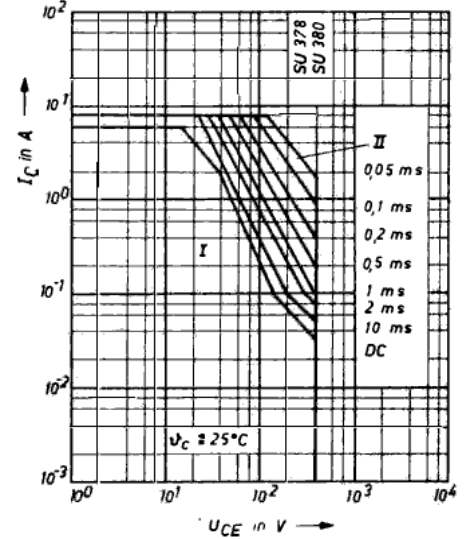


Bild 28: P_{tot} bzw. $I_{sb} = f(\psi_C)$

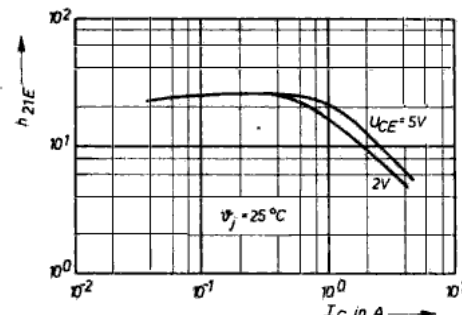


Bild 29: $h_{21E} = f(I_C; U_{CE})$, typischer Verlauf

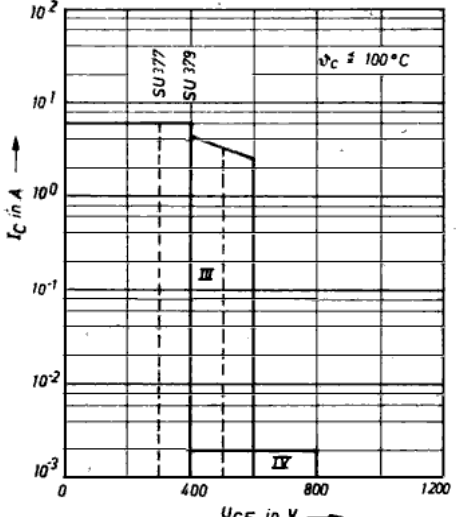
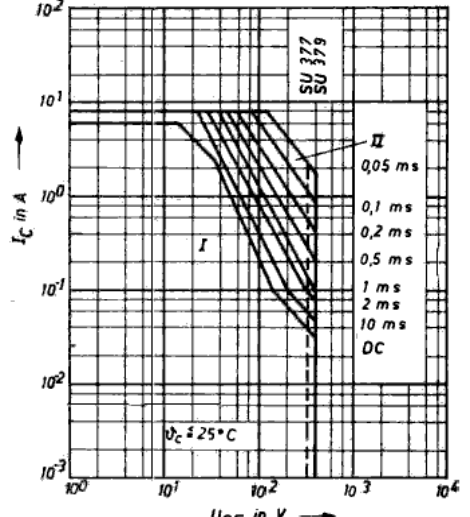


Bild 27: Höchstzulässiger Arbeitsbereich SU 377 und SU 379. Rechts: I - Gleichstrom; II - rechteckförmige periodische bzw. Einzelimpulse ($r \leq 0,01$), links: III - periodisches Einschalten $t \leq 0,25 \mu\text{s}$, $R_{BE} \leq 100 \Omega$; IV - periodisches Ausschalten ($U_{BE} < 0$) $I_C/I_B \geq 3$; $I_H = -I_B$; $t \leq 2 \text{ ms}$



Tafel 4: Grenzwerte der Leistungsschalttransistoren SU 186 bis SU 188 (gültig für den Betriebstemperaturbereich)

	SU 188	SU 187	SU 186 L	SU 186
Kollektor-Basis-Spannung U_{CBO} in V	300	250	160	160
Kollektor-Emitter-Spannung U_{CEO} in V	250	200	125	125
Kollektorstrom I_C in A	20	15	20	15
Kollektorspitzenstrom I_{CM} in A	25	20	25	20
Basisstrom I_B in A	4,0	4,0	6,0	6,0
Basispitzenstrom I_{BM} in A	6,0	6,0	9,0	9,0
negativer Basisstrom $-I_B$ in A			0,1	
negativer Basispitzenstrom $-I_{BM}$ in A			10	
Gesamtverlustleistung P_{tot} in W bei $\vartheta_c \leq 25^\circ C$			150	
Sperrschichttemperatur ϑ_j in $^\circ C$			200	
Betriebstemperatur ϑ_a in $^\circ C$			125	

Tafel 5: Kennwerte der Leistungsschalttransistoren SU 186 bis SU 188 ($\vartheta_c = 25^\circ C - 5 K$)

	SU 188	SU 187	SU 186 L	SU 186
Kollektor-Emitter-Reststrom I_{CEX} in mA bei $U_{BE} = -2 V$; $U_{CE} = U_{CBO}$			$\leq 1,0$	
Kollektor-Emitter-Durchbruchspannung $U_{(BR)CEO}$ in V bei $I_C = 0,1 A$	≥ 250	≥ 200	≥ 125	≥ 125
Emitter-Basis-Durchbruchspannung $U_{(BR)EBO}$ in V bei $I_E = 10 mA$		$\geq 7,0$		
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung U_{CEsat} in V bei $I_C = 10 A$; $I_B = 1,25 A$	$\leq 1,5$			
bei $I_C = 8,0 A$; $I_B = 0,8 A$		$\leq 1,6$		
bei $I_C = 15 A$; $I_B = 1,5 A$			$\leq 1,5$	
bei $I_C = 5,0 A$; $I_B = 0,5 A$				$\leq 1,5$
Basis-Emitter-Sättigungsspannung U_{BEsat} in V bei $I_C = I_{Csat}$; $I_B = I_{Bsat}$		$\leq 2,0$		
Abfallzeit des Kollektorstromes t_f in μs bei $I_C = I_{Csat}$; $I_B = 1,25 A$	$\leq 0,7$			
bei $I_B = 2,5 A$; $I_B = 0,8 A$		$\leq 0,8$		
bei $-I_B = 1,6 A$; $I_B = 1,5 A$			$\leq 0,7$	
bei $-I_B = 3,0 A$; $I_B = 0,5 A$				$\leq 1,0$
bei $-I_B = 1,0 A$				
Innerer Widerstand R_{thj} in K/W		$\leq 1,17$		

Tafel 6: Grenzwerte der Leistungstransistoren SU 377 bis SU 380 (gültig für den Betriebstemperaturbereich)

	SU 380	SU 379	SU 378	SU 377
Kollektor-Basis-Spannung U_{CBO} in V	850	800	700	600
Kollektor-Emitter-Spannung U_{CEO} in V	400	400	400	300
Kollektorstrom I_C in A		6,0		
Kollektorspitzenstrom I_{CM} in A		8,0		
Basisstrom I_B in A		2,0		
Basispitzenstrom I_{BM} in A		4,0		
negativer Basisstrom $-I_B$ in A		0,1		
negativer Basispitzenstrom $-I_{BM}$ in A		2,0		
Gesamtverlustleistung P_{tot} in W bei $\vartheta_c \leq 25^\circ C$		85		
Sperrschichttemperatur ϑ_j in $^\circ C$		175		
Betriebstemperatur ϑ_a in $^\circ C$		100		

Tafel 7: Kennwerte der Leistungsschalttransistoren SU 377 bis SU 380 ($\vartheta_c = 25^\circ C - 5 K$)

	SU 380	SU 379	SU 378	SU 377
Kollektor-Emitter-Reststrom I_{CEX} in mA bei $U_{BE} = -2 V$; $U_{CE} = U_{CBO}$			$\leq 0,3$	
Kollektor-Emitter-Durchbruchspannung $U_{(BR)CEO}$ in V bei $I_C = 0,2 A$	≥ 400	≥ 400	≥ 400	≥ 300
Emitter-Basis-Durchbruchspannung $U_{(BR)EBO}$ in V bei $I_E = 10 mA$		$\geq 7,0$		
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung U_{CEsat} in V bei $I_C = 2,5 A$; $I_B = 0,5 A$	$\leq 1,5$		$\leq 1,5$	$\leq 1,5$
bei $I_C = 1,0 A$; $I_B = 0,2 A$		$\leq 1,0$		
Basis-Emitter-Sättigungsspannung U_{BEsat} in V bei $I_C = I_{Csat}$; $I_B = I_{Bsat}$	$\leq 1,3$	$\leq 1,1$	$\leq 1,3$	$\leq 1,3$
Abfallzeit des Kollektorstromes t_f in μs bei $I_C = I_{Csat}$; $I_B = 0,5 A$	$\leq 0,8$		$\leq 0,8$	$\leq 0,8$
bei $-I_B = 1,0 A$; $I_B = 0,2 A$		$\leq 3,0$		
bei $-I_B = 0,4 A$				
innerer Widerstand R_{thj} in K/W		$\leq 1,76$		

Tafel 8: Grenzwerte des Darlingtonsleistungstransistors SU 111 (gültig für den Betriebstemperaturbereich)

Kollektor-Basis-Spannung U_{CBO} in V	450
Kollektor-Emitter-Spannung U_{CESM} in V	450
Kollektor-Emitter-Spannung U_{CEO} in V	400
Kollektorstrom I_C in A	10
Kollektorspitzenstrom I_{CM} in A	15
Basisstrom I_B in A	2,5
Basispitzenstrom I_{BM} in A	5,0
Gesamtverlustleistung P_{tot} in W bei $\vartheta_c \leq 25^\circ C$	120
Sperrschichttemperatur ϑ_j in $^\circ C$	175
Betriebstemperatur ϑ_a in $^\circ C$	125

Tafel 9: Kennwerte des Darlingtonsleistungstransistors SU 111 ($\vartheta_c = 25^\circ C - 5 K$)

Kollektor-Emitter-Reststrom I_{CES} in mA bei $U_{BE} = 0$; $U_{CE} = 450 V$	$\leq 1,0$
Emitter-Basis-Reststrom I_{EBO} in mA bei $I_C = 0$; $U_{BE} = -5 V$	≤ 100
Kollektor-Emitter-Durchbruchspannung $U_{(BR)CEO}$ in V bei $I_C = 0,1 A$	≥ 400
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung U_{CEsat} in V bei $I_C = 7,0 A$; $I_B = 0,14 A$	$\leq 1,8$
Basis-Emitter-Sättigungsspannung U_{BEsat} in V bei $I_C = 7,0 A$; $I_B = 0,14 A$	$\leq 2,5$
Kollektor-Basis-Stromverhältnis h_{21E} bei $U_{CE} = 5,0 V$; $I_C = 3,0 A$	≥ 200
Durchlaßspannung der Freilaufdiode U_F in V bei $I_F = 7 A$	$\leq 3,0$
innerer Widerstand R_{thj} in K/W	$\leq 1,25$

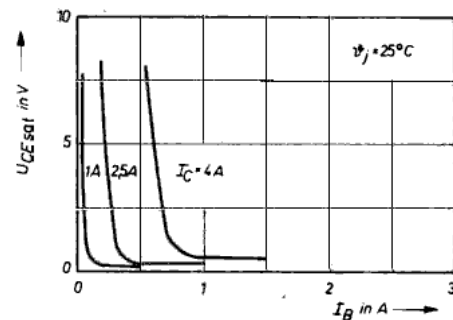


Bild 30: $U_{CEsat} = f(I_B)$, typischer Verlauf

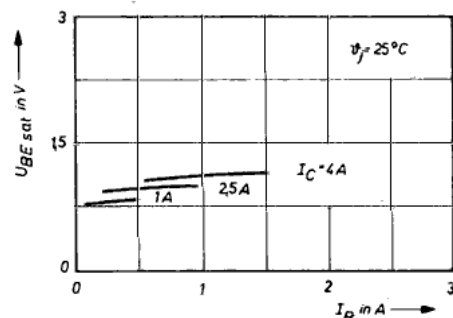


Bild 31: $U_{BEsat} = f(I_B)$, typischer Verlauf

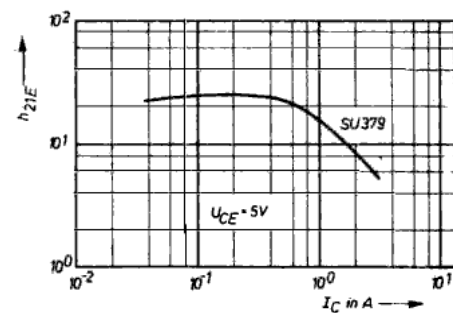


Bild 32: $h_{21E} = f(I_C)$, typischer Verlauf SU 379

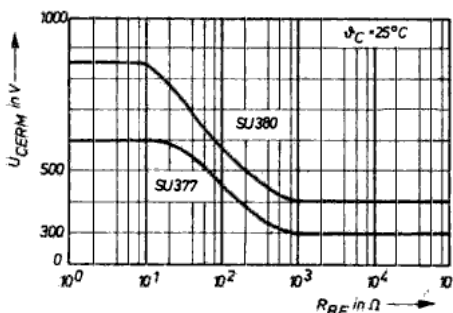


Bild 33: $U_{CERM} = f(R_{BE})$

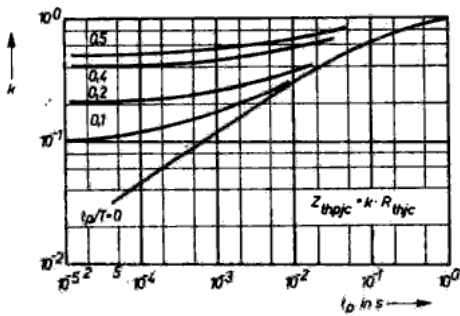


Bild 34: $Z_{(th)j(c)} = f(t_p) = k R_{thj(c)}$

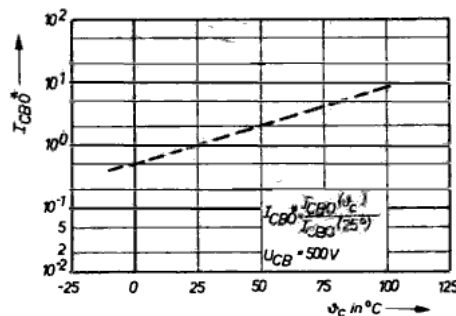


Bild 35: $I_{CBO} = f(\theta_c)$

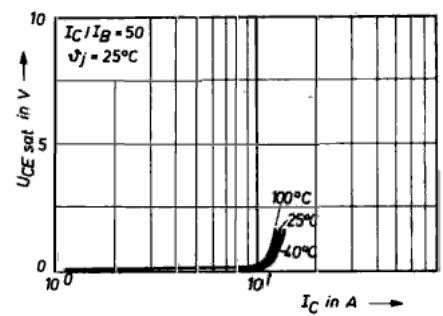


Bild 43: $U_{CE sat} = f(I_C; \theta_j)$, typischer Verlauf

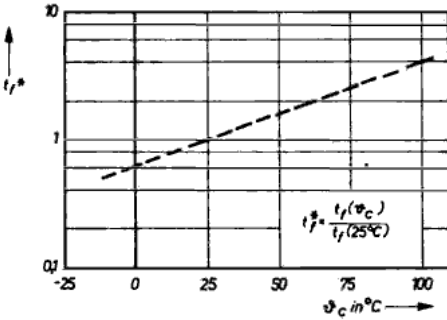


Bild 36: $t_r = f(\theta_c)$

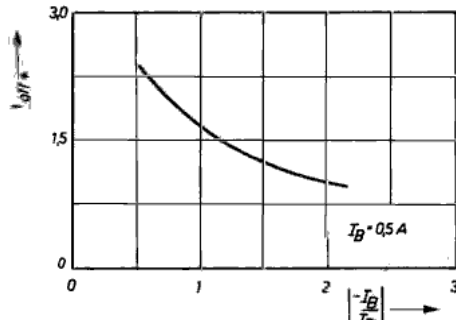


Bild 37: $t_{err} = f(-I_C/I_B)$

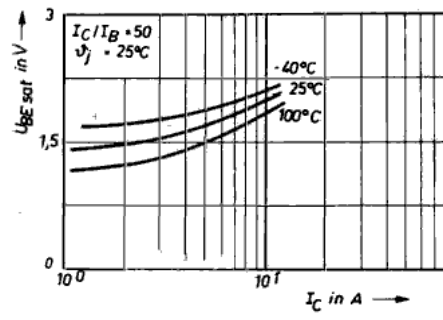


Bild 44: $U_{BE sat} = f(I_C; \theta_j)$, typischer Verlauf

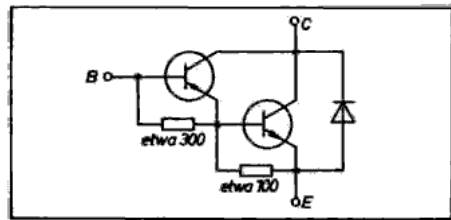
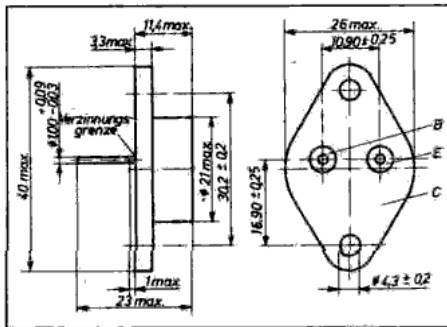


Bild 39: Innenschaltung des Transistors

Bild 38: Maße und Anschlußbelegung

Bild 45: $h_{21E} = f(I_C; \theta_j)$, typischer Verlauf

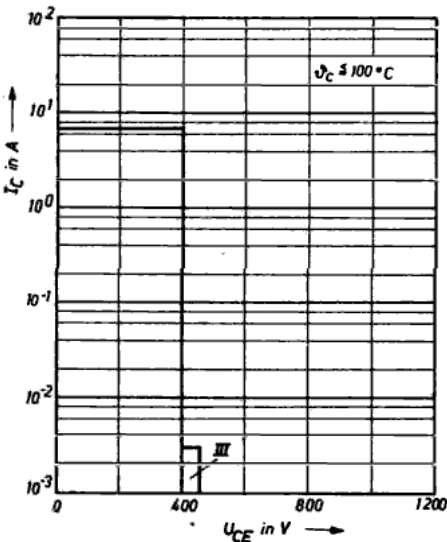
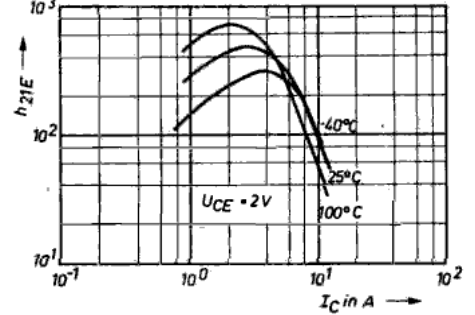


Bild 40: Höchstzulässiger Arbeitsbereich

Rechts: I - Gleichstrom; II - rechteckförmige periodische bzw. Einzelimpulse ($\tau \leq 0,01$)
Links: III - periodisches Ausschalten ($U_{BE} < 0$), $I_C/I_B \geq 10$; $t \leq 2$ ms

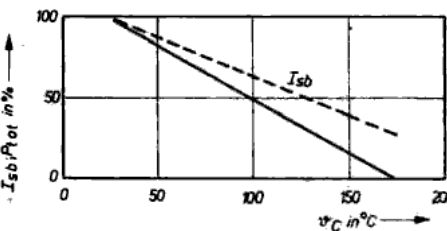
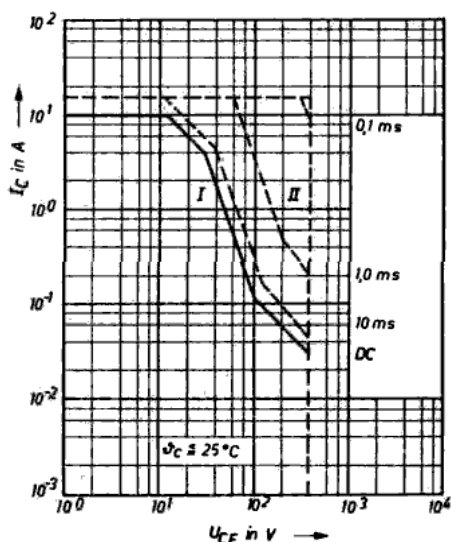


Bild 41: P_{tot} bzw. $I_B = f(\theta_c)$

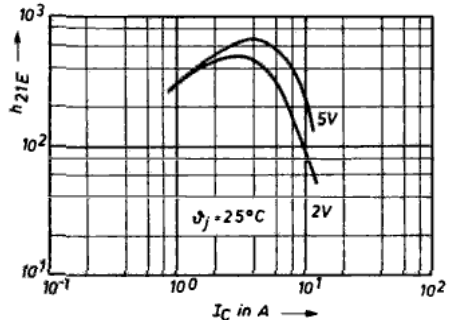


Bild 42: $h_{21E} = f(I_C; U_{CE})$, typischer Verlauf

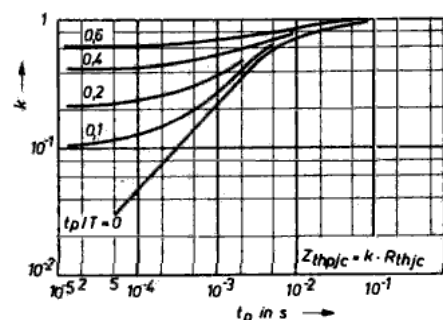


Bild 46: $Z_{(th)j(c)} = f(t_p) = k R_{thj(c)}$

Integrierte Schaltkreise, die diesen Forderungen gerecht werden und gleichzeitig eine problemlose Ansteuerung ermöglichen, sind bereits erhältlich. Im VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder wurde der integrierte Schaltkreis B 4002 D entwickelt. Er ist der Ansteuerungsschaltung für Leistungstransistoren UAA 4002 DP der Firma Thomson-EFCIS äquivalent.

Die B 4002 D gestattet bei minimaler externer Beschaltung die Realisierung nachstehender Funktionen:

- direkte Ansteuerung des Leistungstransistors
- automatische Anpassung des Basisstromes
- Überwachung der Sättigungsspannung
- momentane Strombegrenzung
- thermischer Überlastungsschutz.

Leistungsschalttransistoren SU 189, SU 190, SU 186 bis SU 188, SU 377 bis SU 380 und SU 111

Fortsetzung der Halbleiterinformationen 225 aus Heft 5/1986

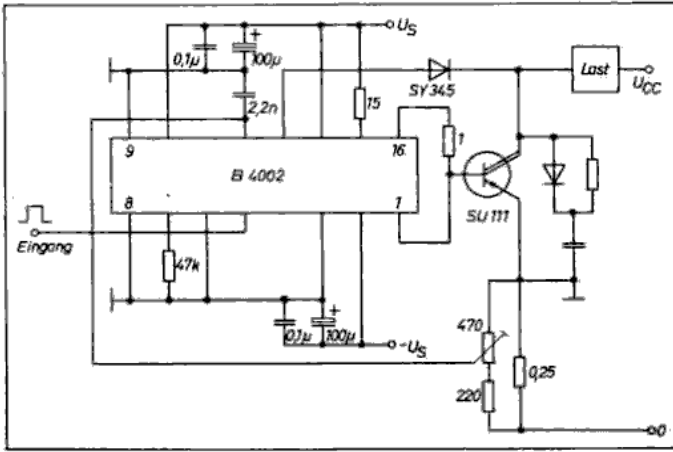


Bild 49: Minimalvariante zum Schalten von 7 A/400 V mit dem SU 111

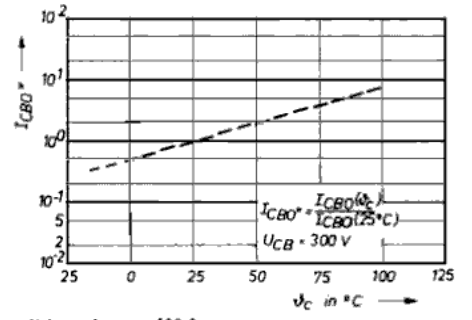


Bild 47: $I_{CBO} = f(\theta_C)$

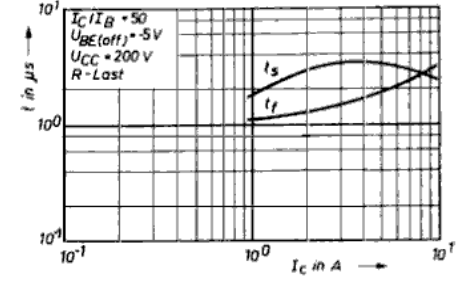


Bild 48: t_s bzw. $t_f = f(I_C)$, typischer Verlauf