

Typenübersicht Standard-Typen

3.1.1. Typenübersicht: Transistoren

Typ (P = PNP) (N = NPN)	Kollektor-Basis-Sperrspannung U_{CB0} ; V	Kollektorstrom I_C ; mA	Grenzfrequenz f_T ; MHz	Wärme-widerstand R_{thJU} ; K/W (R_{thJG}); K/W	Gehäuse K = Kühlklotz	Seite	
AC 121	P	20	300	1,5	≤ 300 (50)	TO-1 ähnl.	76
■ AC 127	N	32	500	2,5	≤ 370 (110)	TO-1 ähnl.	83
AC 151 (r)	P	32	200	1,5	≤ 300 (50)	TO-1 ähnl.	87
AC 152	P	32	500	1,5	≤ 300 (50)	TO-1 ähnl.	76
AC 153	P	32	2000	1,5	≤ 300 (40)	TO-1 ähnl.	93
AC 153 K	P	32	2000	1,5	≤ 300 (45) ¹⁾	K	93
AC 162	P	32	200	1,7	≤ 300 (50)	TO-1 ähnl.	99
AC 163	P	32	200	2,3	≤ 300 (50)	TO-1 ähnl.	99
AC 176	N	32	1000	3	≤ 300 (40)	TO-1 ähnl.	106
AC 176 K	N	32	1000	3	≤ 300 (45) ¹⁾	K	106
AC 187 K	N	25	2000	5	≤ 45 ¹⁾	K	108
AC 188 K	P	25	2000	1,5	≤ 45 ¹⁾	K	112
■ AD 130	P	32	3000	0,35	($\leq 1,5$)	TO-3	116
■ AD 131	P	64	3000	0,35	($\leq 1,5$)	TO-3	116
■ AD 132	P	80	3000	0,35	($\leq 1,5$)	TO-3	116
■ AD 133	P	50	15000	0,3	($\leq 1,5$)	TO-41 ähnl.	123
AD 136	P	40	10000	0,3	(≤ 5)	TO-8	128
■ AD 148	P	32	3500	0,45	(≤ 4)	SOT-9	133
■ AD 149	P	50	3500	0,5	(≤ 2)	TO-3	136
■ AD 150	P	32	3500	0,45	(≤ 2)	TO-3	136
AD 161	N	32	3000	3	($\leq 4,5$)	SOT-9	140
AD 162	P	32	3000	1,5	($\leq 4,5$)	SOT-9	146
■ AD 163	P	100	3000	0,35	($\leq 1,5$)	TO-3	116
AF 106	P	25	10	220	≤ 750 (400)	TO-72	151
AF 109 R	P	20	10	280	≤ 750 (400)	TO-72	157

■ Nicht für Neuentwicklung

¹⁾ Wärmewiderstand zwischen Sperrschicht und Kühlblech unter der Befestigungsschraube (R_{thL})

3.1.1. Typenübersicht: Transistoren

Typ (P = PNP) (N = NPN)	Kollektor-Basis-Sperrspannung U_{CB0} ; V (U_{CES}); V	Kollektorstrom I_C ; mA (I_{CM}); mA	Grenzfrequenz f_T ; MHz	Wärme-widerstand R_{thJU} ; K/W (R_{thJG}); K/W	Gehäuse	Seite	
AF 139	P	20	10	550	≤ 750 (400)	TO-72	162
AF 200 U	P	25	10	220	≤ 750 (400)	TO-72	170
AF 201 U	P	25	10	220	≤ 750 (400)	TO-72	170
■ AF 202	P	25	30	210	≤ 450 (200)	TO-72 ähnl.	176
■ AF 202 S	P	32	30	210	≤ 450 (200)	TO-72 ähnl.	176
AF 239	P	(20)	10	700	≤ 750 (400)	TO-72	180
AF 239 S	P	(20)	10	780	≤ 750 (400)	TO-72	186
AF 240	P	(20)	10	500	≤ 750 (400)	TO-72	190
■ AF 279	P	(20)	10	780	≤ 600	TO-50 ähnl.	193
▼ AF 279 S	P	(20)	10	820	≤ 600	TO-50 ähnl.	195
AF 280	P	(20)	10	550	≤ 600	TO-50 ähnl.	197
AF 306	P	25	15	500	≤ 500	TO-92	199
AF 379	P	(20)	20	1250	(≤ 450)	TO-50 ähnl.	201
BC 107	N	(50)	(200)	250	≤ 500 (200)	TO-18	203
BC 108	N	(30)	(200)	250	≤ 500 (200)	TO-18	203
BC 109	N	(30)	50	300	≤ 500 (200)	TO-18	203
BC 110	N	80	50	100	≤ 500 (200)	TO-18	212
BC 121	N	5	75	250	≤ 1000	U 32	214
BC 122	N	30	75	250	≤ 1000	U 32	214
BC 123	N	45	75	250	≤ 1000	U 32	214
BC 140	N	80	1000	50	≤ 200 (35)	TO-39	222
BC 141	N	100	1000	50	≤ 200 (35)	TO-39	222
BC 147	N	(50)	(200)	250	≤ 420	SOT-25	228
BC 148	N	(30)	(200)	250	≤ 420	SOT-25	228
BC 149	N	(30)	30	300	≤ 420	SOT-25	228
BC 157	P	(50)	(200)	130	≤ 420	SOT-25	237

▼ Neuer Typ

■ Nicht für Neuentwicklung

3.1.1. Typenübersicht: Transistoren

Typ (P = PNP) (N = NPN)	Kollektor-Basis-Sperrspannung U_{CBO} ; V (U_{CES}); V	Kollektorstrom I_C ; mA (I_{CM}); mA	Grenzfrequenz f_T ; MHz	Wärme-widerstand R_{thJU} ; K/W (R_{thJG}); K/W	Gehäuse	Seite
BC 158	P (30)	(200)	130	≤ 420	SOT-25	237
BC 159	P (25)	50	130	≤ 420	SOT-25	237
BC 160	P 40	1000	> 50	≤ 200 (35)	TO-39	246
BC 161	P 60	1000	> 50	≤ 200 (35)	TO-39	246
BC 167	N (50)	(200)	250	≤ 420	TO-92	252
BC 168	N (30)	(200)	250	≤ 420	TO-92	252
BC 169	N (30)	50	300	≤ 420	TO-92	252
BC 177	P (50)	(200)	130	≤ 500 (200)	TO-18	261
BC 178	P (30)	(200)	130	≤ 500 (200)	TO-18	261
BC 179	P (25)	50	130	≤ 500 (200)	TO-18	261
BC 182	N 60	200	≥ 150	≤ 420	TO-92	270
BC 201	P 5	75	80	≤ 1000	U 32	277
BC 202	P 30	75	80	≤ 1000	U 32	277
BC 203	P 45	75	80	≤ 1000	U 32	277
BC 212	P 60	200	200	≤ 420	TO-92	285
BC 237	N (50)	(200)	250	≤ 420	TO-92	292
BC 238	N (30)	(200)	250	≤ 420	TO-92	292
BC 239	N (30)	50	300	≤ 420	TO-92	292
BC 257	P (50)	(200)	130	≤ 420	TO-92	300
BC 258	P (30)	(200)	130	≤ 420	TO-92	300
BC 259	P (25)	50	130	≤ 420	TO-92	300
BC 307	P (50)	(200)	130	≤ 420	TO-92	309
BC 308	P (30)	(200)	130	≤ 420	TO-92	309
BC 309	P (25)	50	130	≤ 420	TO-92	309
BC 327	P (50)	800	100	≤ 200	TO-92	317
BC 328	P (30)	800	100	≤ 200	TO-92	317

3.1.1. Typenübersicht: Transistoren

Typ (P = PNP) (N = NPN)	Kollektor-Basis-Sperrspannung U_{CBO} ; V (U_{CES}); V	Kollektorstrom I_C ; mA (I_{CM}); mA	Grenzfrequenz f_T ; MHz	Wärme-widerstand R_{thJU} ; K/W (R_{thJG}); K/W	Gehäuse	Seite
BC 337	N (50)	800	100	≤ 200	TO-92	322
BC 338	N (30)	800	100	≤ 200	TO-92	322
BC 413	N 45	100	250	≤ 420	TO-92	327
BC 414	N 50	100	250	≤ 420	TO-92	327
BC 415	P 45	100	200	≤ 400	TO-92	335
BC 416	P 50	100	200	≤ 400	TO-92	335
▼ BC 546	N 80	100	300	≤ 250	TO-92	343
▼ BC 547	N 50	100	300	≤ 250	TO-92	343
▼ BC 548	N 30	100	300	≤ 250	TO-92	343
▼ BC 549	N 30	100	300	≤ 250	TO-92	349
▼ BC 550	N 50	100	300	≤ 250	TO-92	349
▼ BC 556	P 80	100	150	≤ 250	TO-92	355
▼ BC 557	P 50	100	150	≤ 250	TO-92	355
▼ BC 558	P 30	100	150	≤ 250	TO-92	355
▼ BC 559	P 30	100	300	≤ 250	TO-92	361
▼ BC 560	P 50	100	300	≤ 250	TO-92	361
BD 109	N 60	3000	> 30	(≤ 7)	SOT-9	367
BD 130	N 100	15000	1,1	($\leq 1,5$)	TO-3	372
BD 135	N 45	1500	> 50	≤ 110 (8,4)	TO-126	377
BD 136	P 45	1500	> 75	≤ 110 (8,4)	TO-126	382
BD 137	N 60	1500	> 50	≤ 110 (8,4)	TO-126	377
BD 138	P 60	1500	> 75	≤ 110 (8,4)	TO-126	382
BD 139	N 100 ¹⁾	1500	> 50	≤ 110 (8,4)	TO-126	377
BD 140	P 100 ¹⁾	1500	> 75	< 110 (8,4)	TO-126	382
▼ BD 433	N 22	4000	> 3	< 100	TO-126	387
▼ BD 434	P 22	4000	> 3	< 100	TO-126	392

¹⁾ U_{CER} ▼ Neuer Typ

3.1.1. Typenübersicht: Transistoren

Typ (P = PNP) (N = NPN)	Kollektor-Basis-Sperrspannung U_{CBO} ; V	Kollektorstrom I_C ; A (I_{CM}); A	Grenzfrequenz f_T ; MHz	Wärme-widerstand R_{thJU} ; K/W	Gehäuse	Seite
▼ BD 435	N 32	4000	> 3	< 100	TO-126	387
▼ BD 436	P 32	4000	< 3	< 100	TO-126	392
▼ BD 437	N 45	4000	> 3	< 100	TO-126	387
▼ BD 438	P 45	4000	> 3	< 100	TO-126	392
▼ BD 439	N 60	4000	> 3	< 100	TO-126	387
▼ BD 440	P 60	4000	> 3	< 100	TO-126	392
▼ BD 441	N 80	4000	> 3	< 100	TO-126	387
▼ BD 442	P 80	4000	> 3	< 100	TO-126	392
▼ BD 643¹⁾	N 45	8 (15)	> 1	< 80	TOP-66	397
▼ BD 644¹⁾	P 45	8 (-15)	> 1	< 80	TOP-66	401
▼ BD 645¹⁾	N 60	8 (15)	> 1	< 80	TOP-66	397
▼ BD 646¹⁾	P 60	8 (-15)	> 1	< 80	TOP-66	401
▼ BD 647¹⁾	N 80	8 (15)	> 1	< 80	TOP-66	397
▼ BD 648¹⁾	P 80	8 (-15)	> 1	< 80	TOP-66	401
▼ BD 649¹⁾	N 100	8 (15)	> 1	< 80	TOP-66	397
▼ BD 650¹⁾	P 100	8 (-15)	> 1	< 80	TOP-66	401
▼ BD 675¹⁾	N 45	4 (7)	> 1	< 100	TOP-66	405
▼ BD 676¹⁾	P 45	4 (-7)	> 1	< 100	TOP-66	409
▼ BD 677¹⁾	N 60	4 (7)	> 1	< 100	TOP-66	405
▼ BD 678¹⁾	P 60	4 (-7)	> 1	< 100	TOP-66	409
▼ BD 679¹⁾	N 80	4 (7)	> 1	< 100	TOP-66	405
▼ BD 680¹⁾	P 80	4 (-7)	> 1	< 100	TOP-66	409
BF 194	N 30	30	260	≤ 450	SOT-25	413
BF 195	N 30	30	200	≤ 450	SOT-25	413
BF 198	N 40	25	400	≤ 420	TO-92	421
BF 199	N 40	25	550	≤ 420	TO-92	426

▼ Neuer Typ

¹⁾ Darlington Transistoren mit Stromverstärkung B = 750 bis 2000.

3.1.1. Typenübersicht: Transistoren

Typ (P = PNP) (N = NPN)	Kollektor-Basis-Sperrspannung U_{CBO} ; V (U_{CES}); V	Kollektorstrom I_C ; mA (I_{CM}); mA	Grenzfrequenz f_T ; MHz	Wärme-widerstand R_{thJU} ; K/W (R_{thJG}); K/W	Gehäuse	Seite
BF 240	N 40	25	400	≤ 420	TO-92	430
BF 241	N 40	25	400	≤ 420	TO-92	430
BF 254	N 30	30	260	≤ 450	TO-92	432
BF 255	N 30	30	200	≤ 450	TO-92	432
BF 324	P 30	25	350	≤ 420	TO-92	435
† BF 362	N 30	20	800	≤ 580	TO-50 ähnl.	439
† BF 363	N 30	20	800	≤ 580	TO-50 ähnl.	439
BF 450	P 40	25	325	≤ 660	TO-92	441
BF 451	P 40	25	325	≤ 660	TO-92	441
BF 457	N 160	100	90	(≤ 104 (10))	TO-126	446
BF 458	N 250	100	90	(≤ 104 (10))	TO-126	446
BF 459	N 300	100	90	(≤ 104 (10))	TO-126	446
BU 110	N (330)	10 000	25	(≤ 1,66)	TO-3 ähnl.	450
BU 111	N (400)	6000	20	(≤ 2)	TO-3	453
BU 114	N (250)	6000	20	(≤ 2)	TO-3	453
† BU 126	N 750 ¹⁾	3000	> 8	(≤ 2,5)	TO-3	457
† BU 208	N (1500)	5000	—	(≤ 1,6)	TO-3	460
† BU 310	N 160 ¹⁾	6000	25	(≤ 3)	TO-3	463
† BU 311	N 200 ¹⁾	6000	25	(≤ 3)	TO-3	463
† BU 312	N 280 ¹⁾	6000	25	(≤ 3)	TO-3	463

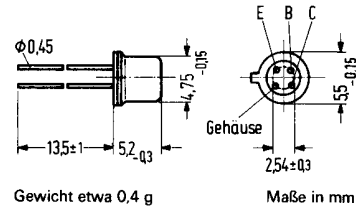
¹⁾ U_{CES}

▼ Neuer Typ

für UHF-Vorstufen bis 900 MHz

AF 239 ist ein PNP-Germanium-Transistor in Mesa-Technik im Gehäuse 18 A 4 DIN 41876 (TO-72). Die Anschlüsse sind vom Gehäuse elektrisch isoliert.

Typ	Bestellnummer
AF 239	Q60106-X239



Grenzdaten

Kollektor-Emitter-Spannung	$-U_{CEO}$	15	V
Kollektor-Emitter-Spannung	$-U_{CES}$	20	V
Emitter-Basis-Spannung	$-U_{EBO}$	0,3	V
Kollektorstrom	$-I_C$	10	mA
Emitterstrom	I_E	11	mA
Basisstrom	$-I_B$	1	mA
Sperrschichttemperatur	T_j	90	°C
Lagertemperatur	T_s	-30 bis +75	°C
Gesamtverlustleistung ($T_U = 45^\circ\text{C}$)	P_{tot}	60	mW

Wärmewiderstand

Kollektorsperrschicht – Luft	R_{thJU}	≤ 750	K/W
Kollektorsperrschicht – Transistorgehäuse	R_{thJG}	≤ 400	K/W

Statische Kenndaten ($T_U = 25^\circ\text{C}$)

Für folgende Arbeitspunkte gilt:

$-U_{CE}$ V	$-I_C$ mA	$-I_B$ μA	B I_C/I_B	$-U_{BE}$ mV
10	2	40	50 (> 10)	350
5	5	120	42	400

Kollektor-Emitter-Reststrom ($-U_{CES} = 20\text{ V}$)	$-I_{CES}$	0,5 (< 8)	μA
Kollektor-Emitter-Reststrom ($-U_{CEO} = 15\text{ V}$)	$-I_{CEO}$	< 500	μA
Emitter-Basis-Reststrom ($-U_{EBO} = 0,3\text{ V}$)	$-I_{EBO}$	< 100	μA

Dynamische Kenndaten ($T_U = 25^\circ\text{C}$)

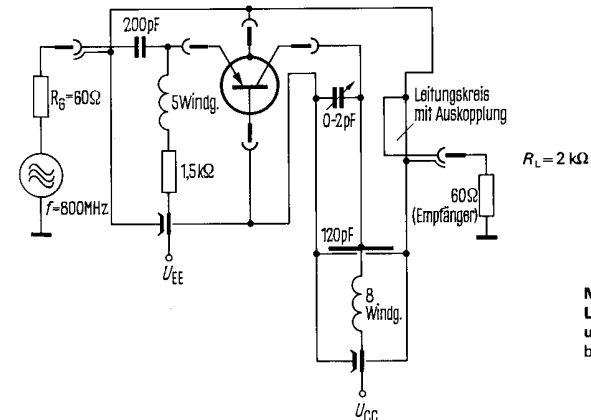
Transitfrequenz ($-I_C = 2\text{ mA}$; $-U_{CE} = 10\text{ V}$; $f = 100\text{ MHz}$) f_T	700	MHz
Kurzschluß-Rückwirkungs-Kapazität ($-I_C = 2\text{ mA}$; $-U_{CE} = 10\text{ V}$; $f = 450\text{ kHz}$) $-C_{12e}$	0,23	pF

Arbeitspunkt: $-I_C = 2\text{ mA}$; $-U_{CB} = 10\text{ V}$

Leistungsverstärkung in Basisschaltung ($f = 800\text{ MHz}$; $R_L = 500\ \Omega$)	V_{pb}	11,5 (> 9)	dB
($f = 800\text{ MHz}$; $R_L = 2\text{ k}\Omega$)	V_{pb}	14,5 (> 11,5)	dB
($f = 900\text{ MHz}$; $R_L = 500\ \Omega$)	V_{pb}	10,5 ($\geq 8,5$)	dB
($f = 900\text{ MHz}$; $R_L = 2\text{ k}\Omega$)	V_{pb}	12,5	dB
Rauschmaß ($f = 800\text{ MHz}$; $R_G = 60\ \Omega$)	F	5 (< 6)	dB
($f = 900\text{ MHz}$; $R_G = 60\ \Omega$)	F	6 (< 7)	dB

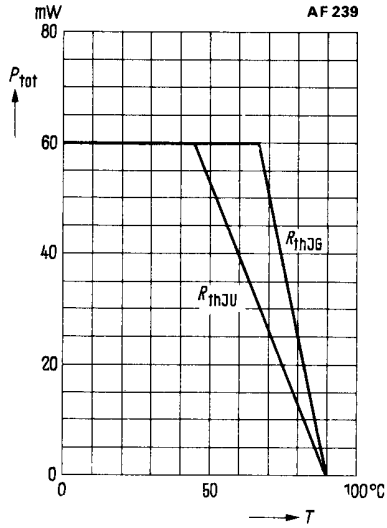
Vierpoldaten ($-I_C = 2\text{ mA}$; $-U_{CE} = 10\text{ V}$; Meßebene 5 mm unter Gehäuseboden)

$f = 200\text{ MHz}$			
$g_{11b} = 45\text{ mS}$	$ y_{12b} = 0,09\text{ mS}$	$ y_{21b} = 52\text{ mS}$	$g_{22b} = 0,05\text{ mS}$
$b_{11b} = -29\text{ mS}$	$\varphi_{12b} = -90^\circ$	$\varphi_{21b} = 135^\circ$	$b_{22b} = 1,6\text{ mS}$
$f = 800\text{ MHz}$			
$g_{11b} = 2\text{ mS}$	$ y_{12b} = 0,38\text{ mS}$	$ y_{21b} = 20\text{ mS}$	$g_{22b} = 0,5\text{ mS}$
$-b_{11b} = 17,5\text{ mS}$	$\varphi_{12b} = -100^\circ$	$\varphi_{21b} = 37^\circ$	$b_{22b} = 6,3\text{ mS}$

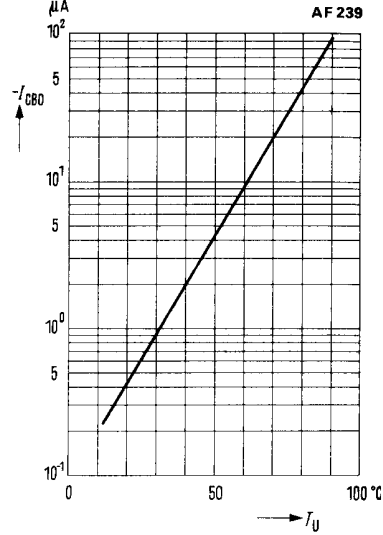


Meßschaltung für Leistungsverstärkung und Rauschen bei $f = 800\text{ MHz}$

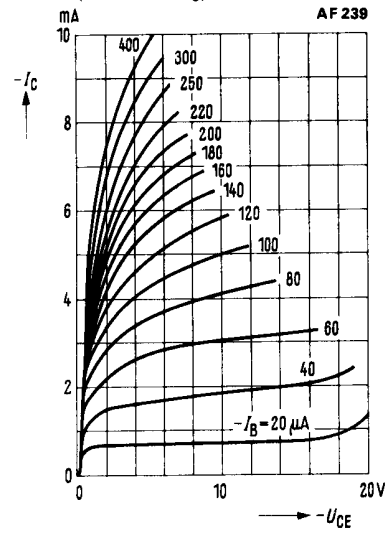
Temperaturabhängigkeit der zulässigen Gesamtverlustleistung
 $P_{tot} = f(T)$; R_{th} = Parameter



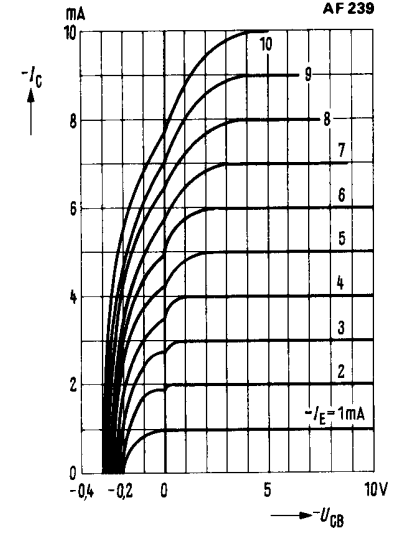
Temperaturabhängigkeit des Reststromes $I_{CBO} = f(T_U)$
 $-U_{CBO} = 20 V$



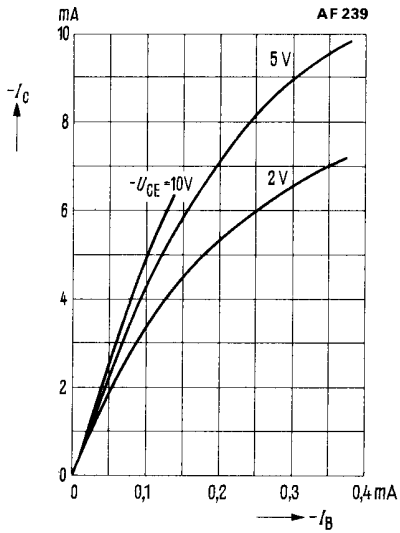
Ausgangskennlinien $I_C = f(U_{CE})$
 $I_B = \text{Parameter}$
 (Emitterschaltung)



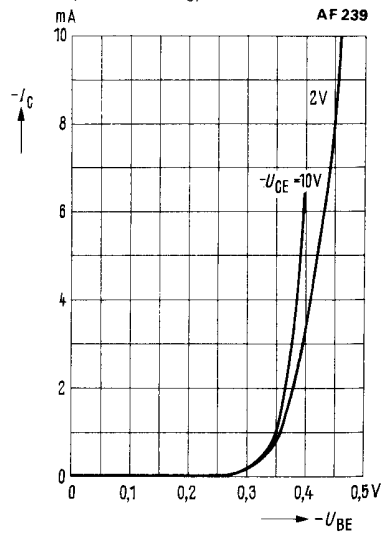
Ausgangskennlinien $I_C = f(U_{CE})$
 $I_E = \text{Parameter}$
 (Basisschaltung)



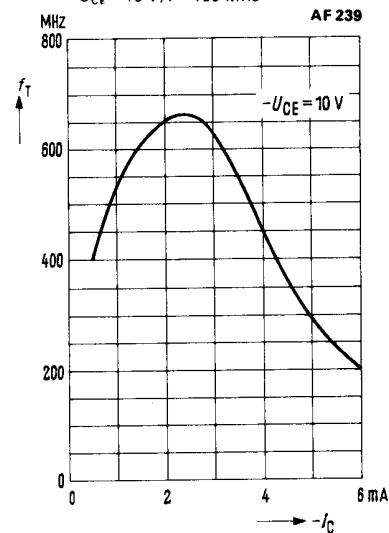
Kollektorstrom $I_C = f(I_B)$
 $U_{CE} = \text{Parameter}$
 (Emitterschaltung)



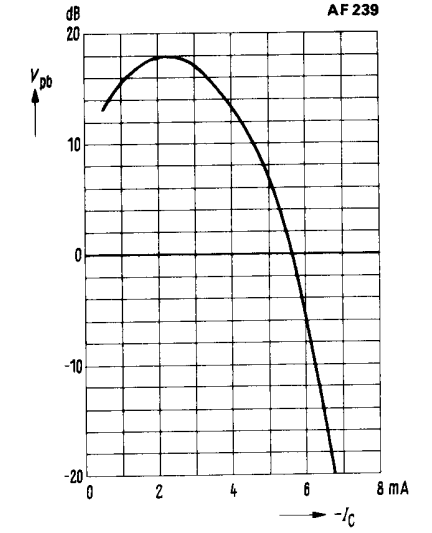
Kollektorstrom $I_C = f(U_{BE})$
 $U_{CE} = \text{Parameter}$
 (Emitterschaltung)



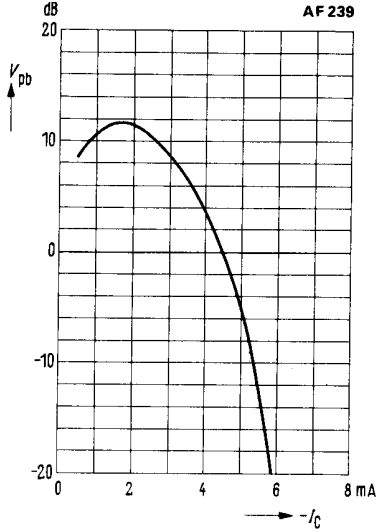
Transitfrequenz $f_T = f(I_C)$
 $-U_{CE} = 10 V$; $f = 100 \text{ MHz}$



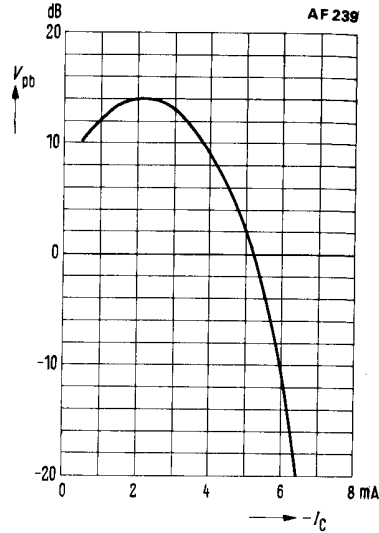
Leistungsverstärkung $V_{pb} = f(I_C)$
 $f = 500 \text{ MHz}$; $-U_{Batt} = 10 V$; $R_v = 1 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ (Basisschaltung)



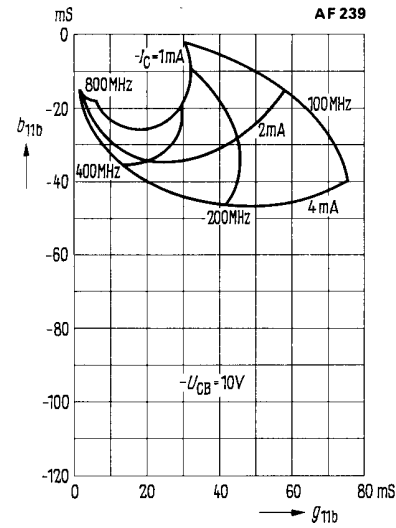
Leistungsverstärkung $V_{db} = f(I_C)$
 $f = 800 \text{ MHz}$; $-U_{Batt} = 10 \text{ V}$; $R_V = 1 \text{ k}\Omega$;
 $R_L = 500 \Omega$; (Basisschaltung)



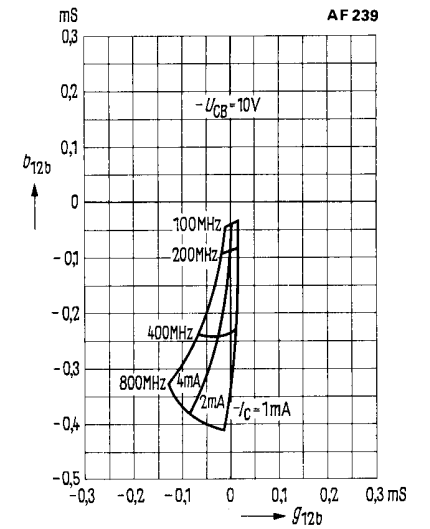
Leistungsverstärkung $V_{db} = f(I_C)$
 $f = 800 \text{ MHz}$; $-U_{Batt} = 10 \text{ V}$; $R_V = 1 \text{ k}\Omega$;
 $R_L = 2 \text{ k}\Omega$; (Basisschaltung)



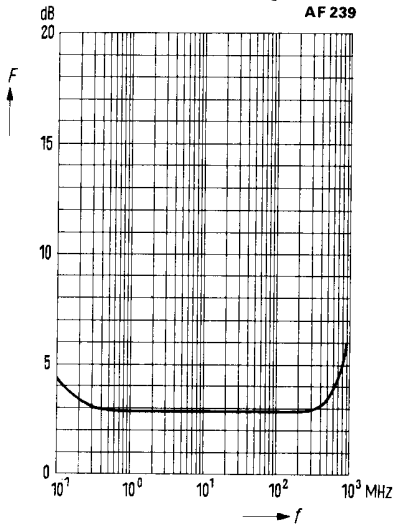
Eingangsleitwert Y_{11b}
 $-U_{CB} = 10 \text{ V}$ (Basisschaltung)
 Meßebeine 5 mm unter Gehäuseboden



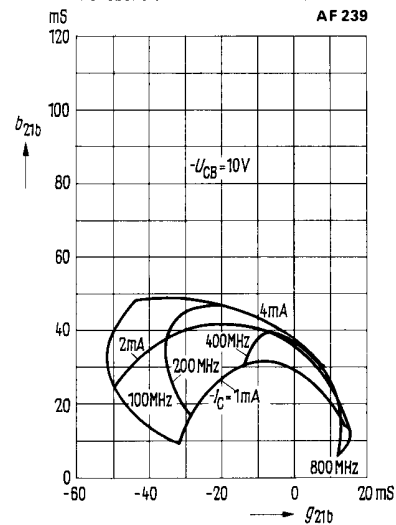
Rückwärtssteilheit Y_{12b}
 $-U_{CB} = 10 \text{ V}$ (Basisschaltung)
 Meßebeine 5 mm unter Gehäuseboden



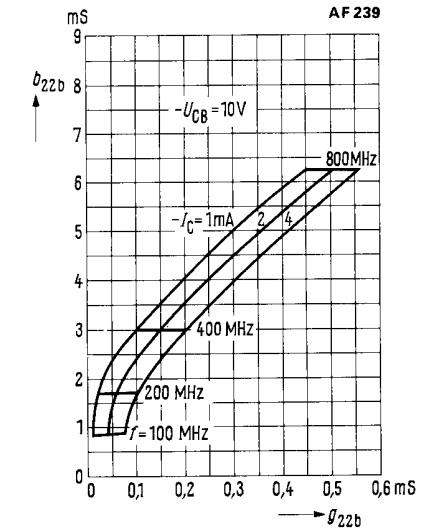
Frequenzabhängigkeit des Rauschens $F = f(f)$
 $-U_{CB} = 10 \text{ V}$; $-I_C = 2 \text{ mA}$; $R_G = 60 \Omega$



Vorwärtssteilheit Y_{21b}
 $-U_{CB} = 10 \text{ V}$ (Basisschaltung)
 Meßebeine 5 mm unter Gehäuseboden



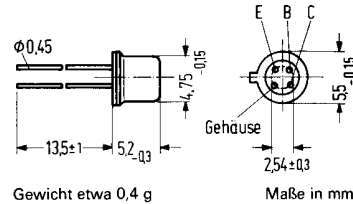
Ausgangsleitwert Y_{22b}
 $-U_{CB} = 10 \text{ V}$ (Basisschaltung)
 Meßebeine 5 mm unter Gehäuseboden



für Vor-, Misch- und Oszillatorstufen bis 900 MHz

AF 239 S ist ein PNP-Germanium-Transistor in Mesa-Technik im Gehäuse 18 A 4 DIN 41 876 (TO-72). Die Anschlüsse sind vom Gehäuse elektrisch isoliert.

Typ	Bestellnummer
AF 239 S	Q62701-F51



Grenzdaten

Kollektor-Emitter-Spannung	$-U_{CEO}$	15	V
Kollektor-Emitter-Spannung	$-U_{CES}$	20	V
Emitter-Basis-Spannung	$-U_{EBO}$	0,3	V
Kollektorstrom	$-I_C$	10	mA
Emitterstrom	I_E	11	mA
Basisstrom	$-I_B$	1	mA
Sperrschichttemperatur	T_j	90	°C
Lagertemperatur	T_s	-30 bis +75	°C
Gesamtverlustleistung ($T_U \leq 45^\circ\text{C}$)	P_{tot}	60	mW

Wärmewiderstand

Kollektorsperrschicht – Luft	R_{thJU}	≤ 750	K/W
Kollektorsperrschicht – Transistorgehäuse	R_{thJG}	≤ 400	K/W

Statische Kenndaten ($T_U = 25^\circ\text{C}$)

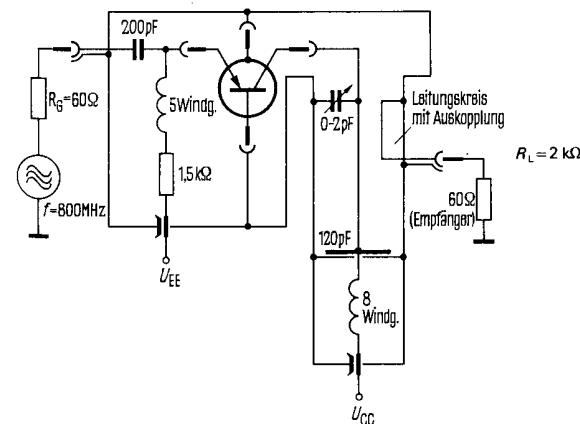
$-U_{CE}$ V	$-I_C$ mA	$-I_B$ μA	B I_C/I_B	$-U_{BE}$ mV
10	2	40	50 (> 10)	350
5	5	110	45	400

Kollektor-Emitter-Reststrom ($-U_{CES} = 20\text{ V}$)	$-I_{CES}$	0,5 (< 8)	μA
Kollektor-Emitter-Reststrom ($-U_{CEO} = 15\text{ V}$)	$-I_{CEO}$	< 500	μA
Emitter-Basis-Reststrom ($-U_{EBO} = 0,3\text{ V}$)	$-I_{EBO}$	< 100	μA

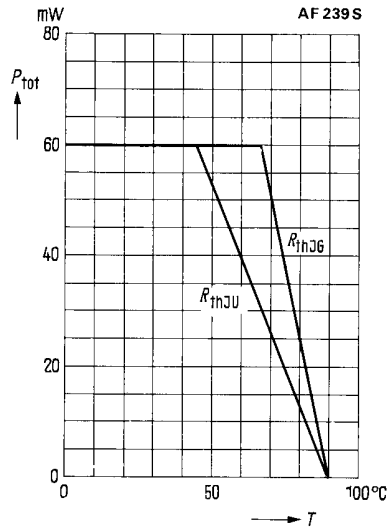
Dynamische Kenndaten ($T_U = 25^\circ\text{C}$)

Transitfrequenz ($-I_C = 2\text{ mA}$; $-U_{CE} = 10\text{ V}$; $f = 100\text{ MHz}$) f_T	780	MHz
Kurzschluß-Rückwirkungs-Kapazität ($-I_C = 2\text{ mA}$; $-U_{CE} = 10\text{ V}$; $f = 450\text{ kHz}$)	$-C_{12e}$	0,2 pF
Arbeitspunkt: $-I_C = 2\text{ mA}$; $-U_{CE} = 10\text{ V}$		
Leistungsverstärkung in Basisschaltung ($f = 800\text{ MHz}$; $R_L = 500\ \Omega$)	V_{pb}	12,5 dB
($f = 800\text{ MHz}$; $R_L = 2\text{ k}\Omega$)	V_{pb}	15 (> 12,5) dB
($f = 900\text{ MHz}$; $R_L = 500\ \Omega$)	V_{pb}	12 dB
Rauschmaß ($f = 800\text{ MHz}$; $R_G = 60\ \Omega$)	F	< 5 dB
($f = 900\text{ MHz}$; $R_G = 60\ \Omega$)	F	< 6 dB

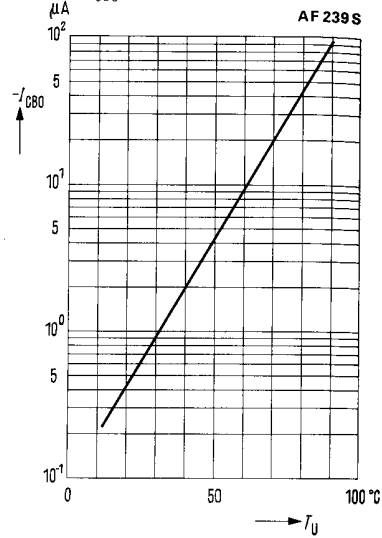
Meßschaltung für Leistungsverstärkung und Rauschen bei $f = 800\text{ MHz}$



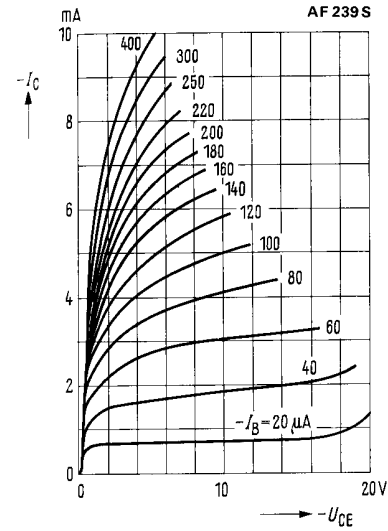
Temperaturabhängigkeit der zulässigen Gesamtverlustleistung
 $P_{tot} = f(T)$; R_{th} = Parameter



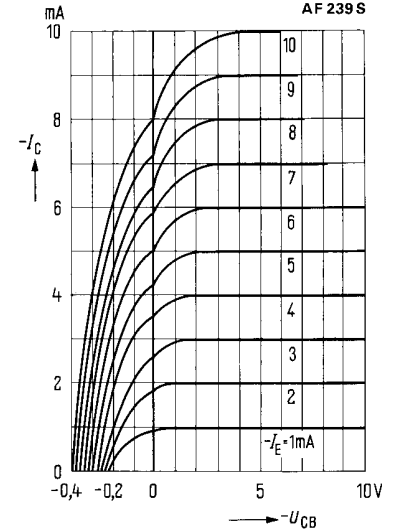
Temperaturabhängigkeit des Reststromes $I_{CBO} = f(T_U)$
 $-U_{CBO} = 20 V$



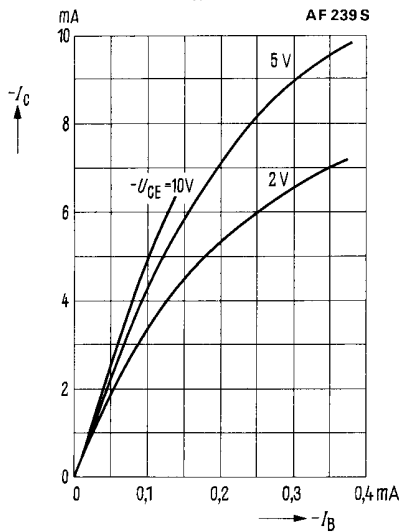
Ausgangskennlinien $I_C = f(U_{CE})$
 $I_B = \text{Parameter}$
 (Emitterschaltung)



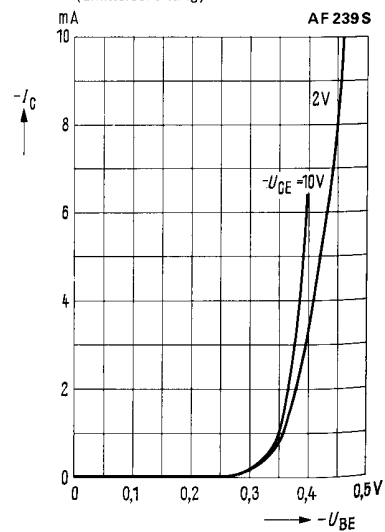
Ausgangskennlinien $I_C = f(U_{CE})$
 $I_E = \text{Parameter}$
 (Basisschaltung)



Kollektorstrom $I_C = f(I_B)$
 $U_{CE} = \text{Parameter}$
 (Emitterschaltung)

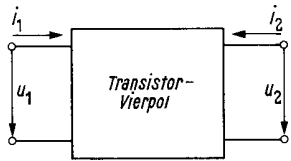


Kollektorstrom $I_C = f(U_{BE})$
 $U_{CE} = \text{Parameter}$
 (Emitterschaltung)



2.5.6. Der Transistor als linearer Vierpol

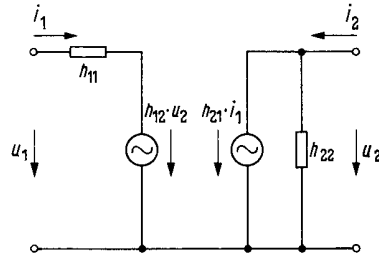
Beschreibung des Transistors mit h -Parametern im Niederfrequenzbereich.
Die h - oder Hybridparameter werden in der Regel als reelle Größen angegeben.



$$u_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot u_2$$

$$i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot u_2$$

$h_{11} = \left(\frac{u_1}{i_1} \right)_{u_2=0}$	Kurzschluß- Eingangswiderstand	$h_{12} = \left(\frac{u_1}{u_2} \right)_{i_1=0}$	Leerlauf- Spannungsrückwirkung
$h_{21} = \left(\frac{i_2}{i_1} \right)_{u_2=0}$	Kurzschluß- Vorwärtsstromver- stärkung	$h_{22} = \left(\frac{i_2}{u_2} \right)_{i_1=0}$	Leerlauf- Ausgangsleitwert



Zusammenhang zwischen den h -Parametern in Basis- und Emitterschaltung

$$\begin{pmatrix} h_{11b} & h_{12b} \\ h_{21b} & h_{22b} \end{pmatrix} = \frac{1}{1 + h_{21e} - h_{12e} + \Delta h_e} \begin{pmatrix} h_{11e} & -(h_{12e} - \Delta h_e) \\ -(h_{21e} + \Delta h_e) & h_{22e} \end{pmatrix}$$

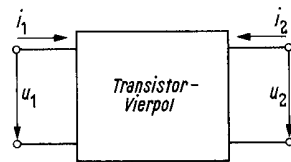
$$\begin{pmatrix} h_{11b} & h_{12b} \\ h_{21b} & h_{22b} \end{pmatrix} \approx \frac{1}{1 + h_{21e}} \begin{pmatrix} h_{11e} & -(h_{12e} - \Delta h_e) \\ -h_{21e} & h_{22e} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} h_{11e} & h_{12e} \\ h_{21e} & h_{22e} \end{pmatrix} = \frac{1}{1 + h_{21b} - h_{12b} + \Delta h_b} \begin{pmatrix} h_{11b} & -(h_{12b} - \Delta h_b) \\ -(h_{21b} + \Delta h_b) & h_{22b} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} h_{11e} & h_{12e} \\ h_{21e} & h_{22e} \end{pmatrix} \approx \frac{1}{1 + h_{21b}} \begin{pmatrix} h_{11b} & -(h_{12b} - \Delta h_b) \\ -h_{21b} & h_{22b} \end{pmatrix}$$

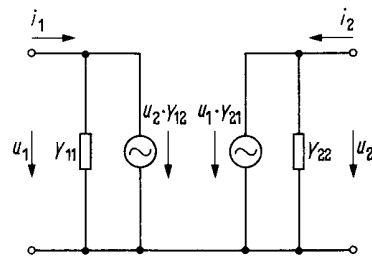
$$\Delta h = h_{11} \cdot h_{22} - h_{12} \cdot h_{21}$$

Beschreibung des Transistors mit y -Parametern im Hochfrequenzbereich.
Die y - oder Leitwertparameter werden in der Regel als komplexe Größen angegeben.



$$i_1 = y_{11} \cdot u_1 + y_{12} \cdot u_2$$

$$i_2 = y_{21} \cdot u_1 + y_{22} \cdot u_2$$



$y_{11} = g_{11} + jb_{11} = \left(\frac{i_1}{u_1} \right)_{u_2=0}$	Kurzschluß- Eingangsleitwert
$y_{12} = g_{12} + jb_{12} = \left(\frac{i_1}{u_2} \right)_{u_1=0}$	Kurzschluß- Rückwärtssteilheit
$y_{21} = g_{21} + jb_{21} = \left(\frac{i_2}{u_1} \right)_{u_2=0}$	Kurzschluß- Vorwärtssteilheit
$y_{22} = g_{22} + jb_{22} = \left(\frac{i_2}{u_2} \right)_{u_1=0}$	Kurzschluß- Ausgangsleitwert

Zusammenhang zwischen den y -Parametern in Basis- und Emitterschaltung

$$\begin{pmatrix} Y_{11b} & Y_{12b} \\ Y_{21b} & Y_{22b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11e} + Y_{12e} + Y_{21e} + Y_{22e} & -(Y_{12e} + Y_{22e}) \\ -(Y_{21e} + Y_{22e}) & Y_{22e} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Y_{11e} & Y_{12e} \\ Y_{21e} & Y_{22e} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11b} + Y_{12b} + Y_{21b} + Y_{22b} & -(Y_{12b} + Y_{22b}) \\ -(Y_{21b} + Y_{22b}) & Y_{22b} \end{pmatrix}$$

Berechnungshinweise bei Verwendung der h - bzw. y -Parameter

Zusammenhang zwischen den h - und y -Parametern

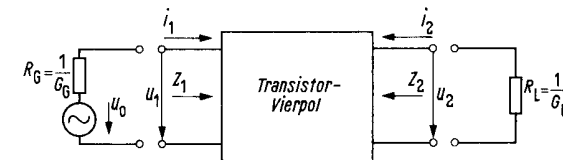
$$h_{11} = \frac{1}{y_{11}} \quad h_{21} = \frac{y_{21}}{y_{11}} \quad y_{11} = \frac{1}{h_{11}} \quad y_{21} = \frac{h_{21}}{h_{11}}$$

$$h_{12} = -\frac{y_{12}}{y_{11}} \quad h_{22} = \frac{\Delta y}{y_{11}} \quad y_{12} = -\frac{h_{12}}{h_{11}} \quad y_{22} = \frac{\Delta h}{h_{11}}$$

$$\Delta h = h_{11} \cdot h_{22} - h_{12} \cdot h_{21} = \frac{y_{22}}{y_{11}} \quad \Delta y = y_{11} \cdot y_{22} - y_{12} \cdot y_{21} = \frac{h_{22}}{h_{11}}$$

$$u_1 = u_0 - i_1 \cdot R_G$$

$$u_2 = -i_2 \cdot R_L$$



Eingangswiderstand	$Z_1 = \frac{u_1}{i_1} = \frac{h_{11} + \Delta h \cdot R_L}{1 + h_{22} \cdot R_L} = \frac{1 + y_{22} \cdot R_L}{y_{11} + \Delta y \cdot R_L}$
Ausgangswiderstand	$Z_2 = \frac{u_2}{i_2} = \frac{h_{11} + R_G}{\Delta h + h_{22} \cdot R_G} = \frac{1 + y_{11} \cdot R_G}{y_{22} + \Delta y \cdot R_G}$
Stromverstärkung	$\frac{i_2}{i_1} = \frac{h_{21}}{1 + h_{22} \cdot R_L} = \frac{y_{21}}{y_{11} + \Delta y \cdot R_L}$
Spannungsverstärkung	$\frac{u_2}{u_1} = \frac{-h_{21} \cdot R_L}{h_{11} + \Delta h \cdot R_L} = \frac{-y_{21} \cdot R_L}{1 + y_{22} \cdot R_L}$

Leistungsübertragungsfaktor, V_p

$$V_p = \frac{u_2 \cdot i_2}{u_1 \cdot i_1} = \frac{|h_{21}|^2 \cdot R_L}{(1 + h_{22} \cdot R_L)(h_{11} + \Delta h \cdot R_L)} = \frac{|y_{21}|^2 \cdot R_L}{(1 + y_{22} \cdot R_L)(y_{11} + \Delta y \cdot R_L)}$$

Übertragungsfaktor bei Anpassung am Eingang, V_{pmax}

$$V_{pmax} = \frac{4 \cdot h_{21} \cdot R_G \cdot R_L}{[(1 + h_{22} \cdot R_L) \cdot R_G + h_{11} + \Delta h \cdot R_L]^2} = \frac{4 \cdot y_{21} \cdot R_G \cdot R_L}{[(y_{11} + \Delta y \cdot R_L) \cdot R_G + 1 + y_{22} \cdot R_L]^2}$$

Übertragungsfaktor bei Anpassung am Ein- und Ausgang, V_{popt}

$$V_{popt} = \left(\frac{h_{21}}{\sqrt{\Delta h} \sqrt{h_{11} \cdot h_{22}}} \right)^2 = \left(\frac{y_{21}}{\sqrt{\Delta y} \sqrt{y_{11} \cdot y_{22}}} \right)^2 \text{ mit } R_{Gopt}, R_{Lopt}$$

$$R_{Gopt} = Z_1 = \sqrt{\frac{h_{11}}{h_{22}} \cdot \Delta h} = \sqrt{\frac{y_{22}}{y_{11}} \cdot \frac{1}{\Delta y}}; \quad R_{Lopt} = Z_2 = \sqrt{\frac{h_{11}}{h_{22}} \cdot \frac{1}{\Delta h}} = \sqrt{\frac{y_{11}}{y_{22}} \cdot \frac{1}{\Delta y}}$$

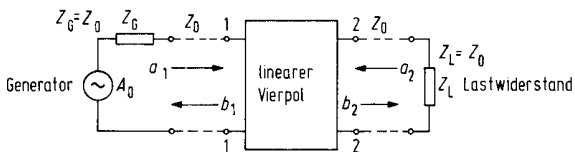
Für $\left[\rho + \frac{\sigma^2}{4} \right] > 1$ gibt es keine Anpassung.

$\rho = \text{Realteil von } \frac{y_{12} y_{21}}{g_{11} g_{22}}$

$\sigma = \text{Imaginärteil von } \frac{y_{12} y_{21}}{g_{11} g_{22}}$

Beschreibung des Transistors mit S-Parametern im Hochfrequenzbereich

Die S- oder Streuparameter werden als komplexe Größen unter Bezug auf den Wellenwiderstand Z_0 des Meßsystems angegeben.



Darstellung der Messung s_{11} , s_{21} mit $a_2 = 0$; Zur Messung s_{22} , s_{12} ($a_1 = 0$) werden Generator- und Lastzweig vertauscht.

$$\begin{aligned} b_1 &= s_{11} a_1 + s_{12} a_2 \\ b_2 &= s_{21} a_1 + s_{22} a_2 \end{aligned}$$

Zulaufende Wellen
Ablaufende Wellen

Eingang	Ausgang
a_1	a_2
b_1	b_2

$$s_{11} = S_{11} e^{j\varphi_{11}} = \left(\frac{b_1}{a_1} \right)_{a_2=0}$$

$$s_{12} = S_{12} e^{j\varphi_{21}} = \left(\frac{b_1}{a_2} \right)_{a_1=0}$$

$$s_{22} = S_{22} e^{j\varphi_{22}} = \left(\frac{b_2}{a_2} \right)_{a_1=0}$$

$$s_{21} = S_{21} e^{j\varphi_{12}} = \left(\frac{b_2}{a_1} \right)_{a_2=0}$$

Dabei sind: s_{11} Eingangsreflexionsfaktor,
 s_{22} Ausgangsreflexionsfaktor,

s_{21} Vorwärtsübertragungsfaktor,
 s_{12} Rückwärtsübertragungsfaktor.

Berechnungshinweise bei Verwendung der S-Parameter

Eingangsreflexionsfaktor bei beliebigem Abschluß Z_L

$$s'_{11} = s_{11} + \frac{s_{12} s_{21} \Gamma_L}{1 - s_{22} \Gamma_L}$$

Γ_L ist der Reflexionsfaktor von Z_L bezogen auf Z_0

Ausgangsreflexionsfaktor bei beliebigem Abschluß Z_G

$$s'_{22} = s_{22} + \frac{s_{12} s_{21} \Gamma_G}{1 - s_{11} \Gamma_G}$$

Γ_G ist der Reflexionsfaktor von Z_G , bezogen auf Z_0

Spannungsverstärkung

$$V_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{s_{21} (1 + \Gamma_L)}{(1 - s_{22} \Gamma_L) (1 + s'_{11})}$$

bei beliebigem Abschluß Z_G und Z_L

Stabilitätsfaktor

$$K = \frac{1 + |D|^2 - |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2}{2 |s_{12} s_{21}|}$$

Maximal verfügbare Leistungsverstärkung ($K > 1$)

$$V_{pmax} = \left| \frac{s_{21}}{s_{12}} (K + \sqrt{K^2 - 1}) \right| \quad \text{für positive } B_1$$

$$V_{pmax} = \left| \frac{s_{21}}{s_{12}} (K - \sqrt{K^2 - 1}) \right| \quad \text{für negative } B_1$$

Anpassungsbedingungen für V_{pmax} :

$$\begin{aligned} \Gamma_G &= M^* \left[\frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|M|^2}}{2|M|^2} \right] \\ \Gamma_L &= N^* \left[\frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|N|^2}}{2|N|^2} \right] \end{aligned}$$

mit $B_1 = 1 + |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 - |D|^2$;

$M = s_{11} - D s_{22}^*$;

$B_2 = 1 + |s_{22}|^2 - |s_{11}|^2 - |D|^2$;

$N = s_{22} - D s_{11}^*$;

$D = s_{11} s_{22} - s_{12} s_{21}$.

Unilaterale Leistungsverstärkung ($s_{12} = 0$)

$$V_{pU} = V_{p0} \cdot V_{p1} \cdot V_{p2} \quad ; \quad V_{p0} = |s_{21}|^2 \quad ; \quad V_{p1} = \frac{1 - |\Gamma_G|^2}{|1 - s_{11} \Gamma_G|^2} \quad ; \quad V_{p2} = \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - s_{22} \Gamma_L|^2}$$

Optimale Leistungsverstärkung ($s_{12} = 0$; Anpassung)

$$V_{popt} = \frac{|s_{21}|^2}{|(1 - |s_{11}|^2)(1 - |s_{22}|^2)|} = V_{p0} V_{p1max} V_{p2max}$$

Anpassungsbedingungen für V_{popt} : $\Gamma_G = s_{11}^*$ und $\Gamma_L = s_{22}^*$.

Zusammenhang zwischen den S-Parametern und den y-Parametern

$$s_{11} = \frac{(1 - y_{11})(1 + y_{22}) + y_{12} y_{21}}{(1 + y_{11})(1 + y_{22}) - y_{12} y_{21}}$$

$$y_{11} = \frac{(1 + s_{22})(1 - s_{11}) + s_{12} s_{21}}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12} s_{21}}$$

$$s_{12} = \frac{-2y_{12}}{(1 + y_{11})(1 + y_{22}) - y_{12} y_{21}}$$

$$y_{12} = \frac{-2s_{12}}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12} s_{21}}$$

$$s_{21} = \frac{-2y_{21}}{(1 + y_{11})(1 + y_{22}) - y_{12} y_{21}}$$

$$y_{21} = \frac{-2s_{21}}{(1 + s_{11})(1 + s_{22}) - s_{12} s_{21}}$$

$$s_{22} = \frac{(1 + y_{11})(1 - y_{22}) + y_{12} y_{21}}{(1 + y_{11})(1 + y_{22}) - y_{12} y_{21}}$$

$$y_{22} = \frac{(1 + s_{11})(1 - s_{22}) + s_{12} s_{21}}{(1 + s_{22})(1 + s_{11}) - s_{12} s_{21}}$$

Die y-Parameter in diesen Formeln sind auf Z_0 normiert.

Die wahren Werte y sind $y_{ik} = y'_{ik} \cdot Z_0$; $i, k = 1, 2$

Zusammenhang zwischen den S-Parametern und den h-Parametern

$$s_{11} = \frac{(h'_{11}-1)(h'_{22}+1) - h'_{12}h'_{21}}{(h'_{11}+1)(h'_{22}+1) - h'_{12}h'_{21}} \quad h'_{11} = \frac{(1+s_{11})(1+s_{22}) - s_{12}s_{21}}{(1-s_{11})(1+s_{22}) + s_{12}s_{21}}$$

$$s_{12} = \frac{2h'_{12}}{(h'_{11}+1)(h'_{22}+1) - h'_{12}h'_{21}} \quad h'_{12} = \frac{2s_{12}}{(1-s_{11})(1+s_{22}) + s_{12}s_{21}}$$

$$s_{21} = \frac{-2h'_{21}}{(h'_{11}+1)(h'_{22}+1) - h'_{12}h'_{21}} \quad h'_{21} = \frac{-2s_{21}}{(1-s_{11})(1+s_{22}) + s_{12}s_{21}}$$

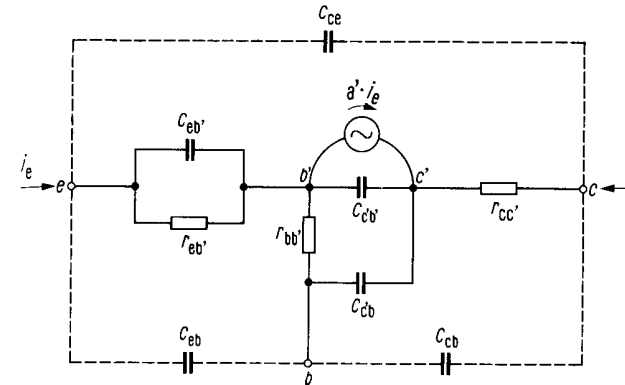
$$s_{22} = \frac{(1+h'_{11})(1-h'_{22}) + h'_{12}h'_{21}}{(h'_{11}+1)(h'_{22}+1) - h'_{12}h'_{21}} \quad h'_{22} = \frac{(1-s_{22})(1-s_{11}) - s_{12}s_{21}}{(1-s_{11})(1+s_{22}) + s_{12}s_{21}}$$

Die h-Parameter in diesen Formeln sind auf Z_0 normiert.
Die wahren Werte h sind:

$$h_{11} = h'_{11} Z_0; \quad h_{12} = h'_{12}; \quad h_{21} = h'_{21}; \quad h_{22} = \frac{h'_{22}}{Z_0}$$

Hochfrequenz-T-Ersatzschaltbild eines Transistors (Basisschaltung)

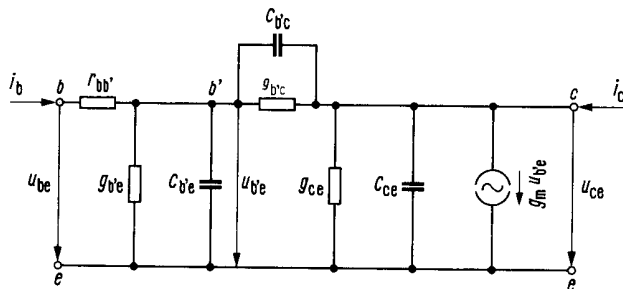
Dieses Ersatzschaltbild ist nicht für die Anwendung im Niederfrequenzbereich geeignet



2.5.7. Physikalische Ersatzschaltbilder von Transistoren

Neben der Beschreibung der Eigenschaften eines Transistors durch die Vierpolparameter (formale Ersatzschaltbilder) gibt es die Darstellung in Form von physikalischen Ersatzschaltbildern. In den Kenndaten sind gelegentlich Elemente dieser Ersatzschaltungen angegeben.

π -Ersatzschaltbild eines Transistors (nach Giacoletto; Emitterschaltung)



Es gilt näherungsweise

$$g_{b'e} = \frac{1}{r_e \beta_0}$$

$$C_{b'e} = \frac{1}{r_e 2\pi f_T}$$

$$g_m = 1/r_e$$

$$g_{b'c} \text{ und } g_{c'e} \approx \sigma$$

$$r_e = U_T / I_E$$

$$U_T = 26 \text{ mV}$$

Zusammenhang zwischen den γ -Parametern und den Elementen des π -Ersatzschaltbildes

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11e} & \gamma_{12e} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22e} \end{pmatrix} = \frac{1}{M} \begin{pmatrix} Y_{b'c} + Y_{b'e} & -Y_{b'c} \\ g_m - Y_{b'c} & (Y_{b'c} + Y_{c'e}) M + r_{bb'} Y_{b'c} (g_m - Y_{b'c}) \end{pmatrix}$$

$$Y_{b'c} = g_{b'c} + j\omega C_{b'c} \quad Y_{c'e} = g_{c'e} + j\omega C_{c'e}$$

$$Y_{b'e} = g_{b'e} + j\omega C_{b'e} \quad M = 1 + (Y_{b'c} + Y_{b'e}) r_{bb'}$$