



VALVO**brief**

HERAUSGEGEBEN VON DER
VALVO GMBH HAMBURG 1

BAUELEMENTE UND BAUSTEINE FÜR DIE ELEKTRONIK

NF-Verstärker mit den neuen Transistoren AC 125, AC 126, AC 128

Die neuen NF-Transistoren haben ein Metallgehäuse der Standardbauform TO 1. Die Anschlußdrähte sind auf das Rastergrundmaß für gedruckte Schaltungen von 2,54 mm abgestimmt. Der Endstufentransistor AC 128 bietet mit seiner weitgehenden Stromunabhängigkeit der Gleichstromverstärkung B (Bild 1) und seiner Grenzfrequenz $f_\beta \geq 10$ kHz die Voraussetzungen für eine gute Wiedergabequalität.

1. Treiber- und Endstufe

Bild 2 zeigt den Schaltplan der beiden Stufen. Der Arbeitspunkt der Endstufe wird in bekannter Weise durch einen Spannungsteiler eingestellt, der in Verbindung mit den Emitterwiderständen R_9, R_{10} die notwendige Stabilisierung bewirkt. Die thermische Stabilität wird überdies durch den NTC-Widerstand R_8 erhöht.

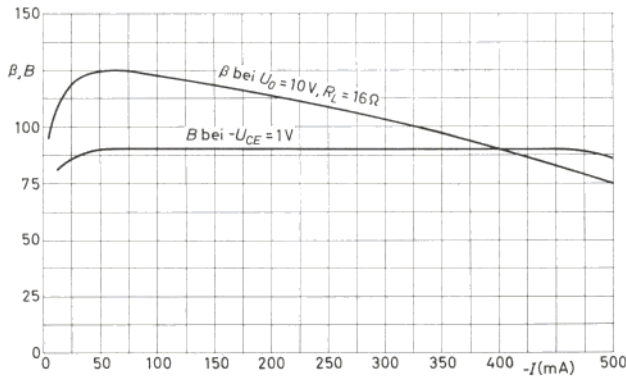


Bild 1. Stromverstärkung als Funktion des Kollektorstromes beim Transistor AC 128

Die mit den neuen Transistoren erzielbaren Verstärkungen erlauben in vielen Fällen eine direkte Aussteuerung des zweistufigen NF-Verstärkers (Treiber- und Endstufe nach Abschn. 1.) vom AM- oder FM-Demodulator. Anderenfalls kann noch eine Vorstufe (Abschn. 2.) eingefügt werden.

Die Möglichkeiten, die die gute Konstanz der Gleichstromverstärkung des AC 128 zur Verminderung der Verzerrungen bietet, lassen sich nur bei weitgehender Stromsteuerung der Endstufe voll ausnutzen. Da der Ausgangswiderstand des im A-Betrieb arbeitenden Treibertransistors mit wachsendem Ruhestrom I_{01} ab-

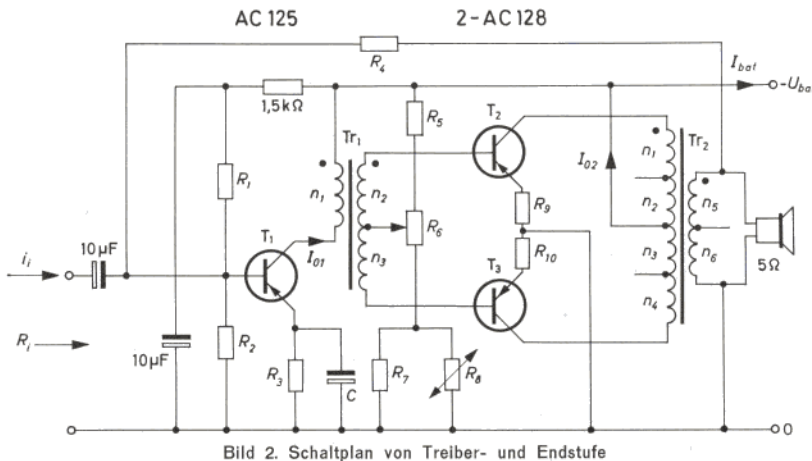
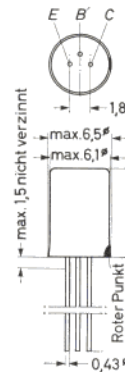


Bild 2. Schaltplan von Treiber- und Endstufe

VALVO AC 128

GERMANIUM - p-n-p - NF-
TRANSISTOR für Endstufen, als
Transistorpaar für Gegentakt-B-Schaltungen



Abmessungen in mm:
Gehäuse: Metall (~TO-1)
Rotor Punkt: Kollektorseite

Wärmewiderstand:
 $K_G \leq 0,05$ grad/mW
 $K_I \leq 0,3$ grad/mW (ohne
Kühlschelle)

Absolute Grenzwerte:

- $-U_{CB} = \text{max. } 32 \text{ V}$
- $-U_{CE} = \text{max. } 32 \text{ V}^1)$
- $-U_{EB} = \text{max. } 10 \text{ V}$
- $-I_C = \text{max. } 500 \text{ mA}$
- $-i_{CM} = \text{max. } 600 \text{ mA}$
- $-I_B = \text{max. } 20 \text{ mA}$
- $P = \text{max. } 550 \text{ mW}^2)$
- $\vartheta_j = \text{max. } 90 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\vartheta_s = \text{max. } 75 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\vartheta_s = \text{min. } -55 \text{ }^\circ\text{C}$

Kennwerte:

- ($\vartheta_j = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, sofern nicht anders angegeben)
- Kollektor-Reststrom bei $-U_{CB} = 10 \text{ V}$: $-I_{CB0} \leq 10 \text{ } \mu\text{A}$
- Kollektor-Rests Spannung bei $-I_C = 500 \text{ mA}^3)$: $-U_{CE0} \leq 0,5 \text{ V}$
- Basisspannung bei $U_{CB} = 0, I_E = 50 \text{ mA}$: $-U_{BE} \leq 300 \text{ mV}$
- $U_{CB} = 0, I_E = 300 \text{ mA}$: $-U_{BE} \leq 450 \text{ mV}$
- Gleichstromverstärkung bei $U_{CB} = 0, I_E = 50 \text{ mA}$: $B = 90 (55 \dots 175)$
- $U_{CB} = 0, I_E = 300 \text{ mA}$: $B = 90 (60 \dots 175)$
- Grenzfrequenz bei $-U_{CB} = 2 \text{ V}, I_E = 2 \text{ mA}$: $f_\beta = 15 (\geq 10) \text{ kHz}$

- ¹⁾ bei $R_{BE} \leq 500 \text{ } \Omega$
- ²⁾ gesamte Verlustleistung; $\vartheta_{j \text{ max}}$ darf hierbei nicht überschritten werden
- ³⁾ für die Kennlinie, die bei gleichem Basisstrom durch den Kennlinienpunkt $-I_C = 550 \text{ mA}, -U_{CE} = 1 \text{ V}$ geht

Tabelle 1: Stückliste zu Bild 2:

U_{bat}	6	9	12/14 ¹⁾	V
R_1	22	39	56	k Ω
R_2	6,8	8,2	8,2	k Ω
R_3	220	470	470	Ω
R_4	220	330	470	k Ω
R_5	1,2	1,8	6,8	k Ω
R_6	25	10	20	Ω
R_7	47	47	100	Ω
R_8	NTC 50 Ω		NTC 130 Ω	²⁾
$R_9 = R_{10}$	0,8	1,2	1,8	Ω
C	200	100	100	μF

¹⁾ $U_{bat} = 14 \text{ V}$ bei Speisung aus einer Kraftwagenbatterie

²⁾ B 8 320 01 P/... E

VALVO AC 125

GERMANIUM - p-n-p - NF-TRANSISTOR
für Vor- und Treiberstufen

Abmessungen und Ansicht wie AC 128

Gehäuse: Metall (~ T0-1)

Roter Punkt: Kollektorseite

Wärmewiderstand:

$K_f \leq 0,3 \text{ grad/mW}$ (ohne Kühlschelle)

Absolute Grenzwerte:

$-U_{CB} = \text{max. } 32 \text{ V}$ $P = \text{max. } 500 \text{ mW}^2)$
 $-U_{CE} = \text{max. } 32 \text{ V}^1)$ $\beta_j = \text{max. } 75^\circ \text{C}$
 $-U_{EB} = \text{max. } 10 \text{ V}$ $\beta_s = \text{max. } +75^\circ \text{C}$
 $-I_C = \text{max. } 100 \text{ mA}$ $\beta_s = \text{min. } -55^\circ \text{C}$
 $-I_B = \text{max. } 5 \text{ mA}$

Kennwerte:

($\beta_j = 25^\circ \text{C}$, sofern nicht anders angegeben)

Kollektor-Reststrom bei

$-U_{CB} = 10 \text{ V}$: $-I_{CB0} \leq 10 \text{ } \mu\text{A}$

Basisspannung bei

$-U_{CB} = 5 \text{ V}$, $I_E = 2 \text{ mA}$: $-U_{BE} = 105 \text{ mV}$

$-U_{CB} = 0$, $I_E = 100 \text{ mA}$: $-U_{BE} \leq 0,4 \text{ V}$

Gleichstromverstärkung bei

$-U_{CB} = 5 \text{ V}$, $I_E = 2 \text{ mA}$: $B = 100 (\geq 50)$

$-U_{CB} = 0$, $I_E = 50 \text{ mA}$: $B = 95$

$-U_{CB} = 0$, $I_E = 100 \text{ mA}$: $B = 80$

Grenzfrequenz bei

$-U_{CB} = 2 \text{ V}$, $I_E = 10 \text{ mA}$: $f_\beta = 17 (\geq 10) \text{ kHz}$

Rauschzahl bei

$-U_{CB} = 5 \text{ V}$, $I_E = 0,5 \text{ mA}$, $R_g = 500 \text{ } \Omega$,

$B = 200 \text{ Hz}$, $f = 1 \text{ kHz}$: $F = 4 (\leq 10) \text{ dB}$

Dynamische Kennwerte:

(bei $-U_{CB} = 5 \text{ V}$, $I_E = 2 \text{ mA}$, $f = 1 \text{ kHz}$)

$h_{11e} = 1,7 (1,1 \dots 2,5) \text{ k}\Omega$

$h_{12e} = 6,5 \cdot 10^{-4} (\leq 8,5 \cdot 10^{-4})$

$h_{21e} = 125 (80 \dots 170)$

$h_{22e} = 80 (\leq 110) \text{ } \mu\text{S}$

VALVO AC 126

GERMANIUM - p-n-p - NF-TRANSISTOR
für Vor- und Treiberstufen

Abmessungen und Ansicht wie AC 128

Gehäuse: Metall (~ T0-1)

Roter Punkt: Kollektorseite

Wärmewiderstand:

$K_f \leq 0,3 \text{ grad/mW}$ (ohne Kühlschelle)

Absolute Grenzwerte:

Die gleichen Werte wie beim AC 125

Kennwerte:

($\beta_j = 25^\circ \text{C}$, sofern nicht anders angegeben)

Kollektor-Reststrom bei

$-U_{CB} = 10 \text{ V}$: $-I_{CB0} \leq 10 \text{ } \mu\text{A}$

Basisspannung bei

$-U_{CB} = 5 \text{ V}$, $I_E = 2 \text{ mA}$: $-U_{BE} = 105 \text{ mV}$

$-U_{CB} = 0$, $I_E = 100 \text{ mA}$: $-U_{BE} \leq 0,4 \text{ V}$

Gleichstromverstärkung bei

$-U_{CB} = 5 \text{ V}$, $I_E = 2 \text{ mA}$: $B = 140 (\geq 65)$

$-U_{CB} = 0$, $I_E = 50 \text{ mA}$: $B = 135$

$-U_{CB} = 0$, $I_E = 100 \text{ mA}$: $B = 105$

Grenzfrequenz bei

$-U_{CB} = 2 \text{ V}$, $I_E = 10 \text{ mA}$: $f_\beta = 17 (\geq 10) \text{ kHz}$

Rauschzahl bei

$-U_{CB} = 5 \text{ V}$, $I_E = 0,5 \text{ mA}$, $R_g = 500 \text{ } \Omega$,

$B = 200 \text{ Hz}$, $f = 1 \text{ kHz}$: $F = 4 (\leq 10) \text{ dB}$

Dynamische Kennwerte:

(bei $-U_{CB} = 5 \text{ V}$, $I_E = 2 \text{ mA}$, $f = 1 \text{ kHz}$)

$h_{11e} = 2,4 (1,7 \dots 3,8) \text{ k}\Omega$

$h_{12e} = 8 \cdot 10^{-4} (\leq 13 \cdot 10^{-4})$

$h_{21e} = 180 (130 \dots 300)$

$h_{22e} = 100 (\leq 170) \text{ } \mu\text{S}$

¹⁾ bei $R_{BE} \leq 1 \text{ k}\Omega$

²⁾ gesamte Verlustleistung;

$\beta_{j \text{ max}}$ darf hierbei nicht überschritten werden

Tabelle 2: Daten der Treibertransformatoren Tr_1

U_{bat}	6 V	9 V	12/14 V
Kern	EI 30 Permenorm 3601 k 1 wechselseitige Schichtg.		EI 42 Dyn. Bl. IV/0,35 wechselseitige Schichtg.
n_1	800 Wdgn. 0,11 CuL	900 Wdgn. 0,10 CuL	1750 Wdgn. 0,13 CuL
$n_2 = n_3$	364 Wdgn. 0,17 CuL	257 Wdgn. 0,19 CuL	500 Wdgn. 0,17 CuL
r_1	76 Ω	100 Ω	160 Ω
$r_2 = r_3$	18 Ω	10 Ω	34 Ω
L_1	2,6 H	3,2 H	3,5 H

Tabelle 3: Daten der Ausgangstransformatoren Tr_2

U_{bat}	6 V	9 V	12/14 V
Kern	EI 30 Permenorm 3601 k 1 wechselseitige Schichtg.		EI 42 Dyn. IV/0,35 wechselseitige Schichtg.
$n_1 = n_2 = n_3 = n_4$	40 Wdgn. 0,37 CuL	43 Wdgn. 0,37 CuL	105 Wdgn. 0,3 CuL
$n_5 = n_6$	34 Wdgn. 0,45 CuL	27 Wdgn. 0,48 CuL	43 Wdgn. 0,5 CuL
$r_{(1+2)} = r_{(3+4)}$	0,7 Ω	0,8 Ω	4 Ω
$r_{(5+6)}$	0,45 Ω	0,5 Ω	0,6 Ω
$L_{(1+2)} = L_{(3+4)}$	40 mH	60 mH	180 mH
η	86 %	88 %	82 %

nimmt, wird man daher I_{O1} möglichst klein wählen. Andererseits muß I_{O1} mindestens so groß sein, daß bei Vollaussteuerung der Treiberstufe die für $P_{O \text{ max}}$ erforderliche Steuerleistung an die Endstufe abgegeben werden kann. Durch diese Bedingung liegt nicht nur I_{O1} (Tabelle 4), sondern auch das Übersetzungsverhältnis des Treibertransformators und damit der Quellenwiderstand für die Aussteuerung der Endstufe fest.

Tabelle 4: Wichtige Daten der Schaltung

U_{bat}	6 V	9 V	12 V	
$P_{O \text{ max}}^1)$	1,5	2	1,75 (2,4) ²⁾	W
I_{O1}	4,7	3,0	3,0	mA
I_{O2} ²⁾	6	6	6	mA
R_i	0,6	0,8	0,7	k Ω
bei $P_{O \text{ max}}$:				
I_{bat}	390	325	210 (245) ²⁾	mA
$-i_{CM}$ ³⁾	600	500	320 (375) ²⁾	mA
$I_{i \text{ off}}$	35	19	13	μA
v ⁴⁾	63	68	71	dB
k_{ges} ⁵⁾	4	4	3,7 (4) ²⁾	%
f_u ⁶⁾	65	95	35	Hz
f_o ⁶⁾	26	20	28	kHz
bei $P_o = 50 \text{ mW}$:				
$I_{i \text{ off}}$	5	3	2	μA

¹⁾ gemessen auf der Primärseite von Tr_2

²⁾ Ruhestrom beider Endtransistoren (einstellbar mit R_e)

³⁾ Kollektorstromamplitude eines Endstufentransistors

⁴⁾ $v = 10 \log \frac{P_o}{I_{i \text{ off}}^2 R_i}$ dB

⁵⁾ $f = 1 \text{ kHz}$, i_i sinusförmig

⁶⁾ 3 dB - Abfall von v gegenüber v bei 1 kHz

⁷⁾ die eingeklammerten Werte gelten bei $U_{bat} = 14 \text{ V}$

1.1. Klirrfaktor

Zur Verringerung der Verzerrungen bei kleinen Aussteuerungen wird mit R_e ein bestimmter Ruhestrom eingestellt. Er beträgt für T_2 und T_3 gemeinsam in allen drei Schaltungsausführungen $I_{O2} = 6 \text{ mA}$. Der Klirrfaktor bei Leistungen unter 0,1 W läßt sich etwa auf die Hälfte herabdrücken (Bild 3), wenn man einen Ruhestrom von $I_{O2} = 12 \text{ mA}$ einstellt.

Die Frequenzabhängigkeit des Klirrfaktors zeigt Bild 4. Der ansteigende Ast läßt sich auch bei der 9 V-Ausführung zu tieferen Frequenzen hin verschieben, wenn man größere Transformatoren verwendet (vgl. Abschn. 1.2.).

Die Klirrfaktormessungen wurden mit einem Transistorpaar 2-AC 128 von etwa mittlerer Stromverstärkung durchgeführt, bei dem das Stromverstärkungsmaximum (vgl. Bild 1) mit $\beta_{max} = 130$ bei $-I_C \approx 70 \text{ mA}$ lag. Dabei zeigte sich, daß k_{ges} fast allein durch die dritte Harmonische bestimmt wird. Lediglich bei Ausgangsleistungen zwischen 100 und 300 mW, wo der Teilkirrfaktor k_3 etwa sein Minimum hat, wirken sich andere Harmonische, hauptsächlich die zweite, aus.

Geradzählige Harmonische, insbesondere die zweite, entstehen sowohl in der Treiber- als auch in der Endstufe. In der Treiberstufe wird die

Bild 3a

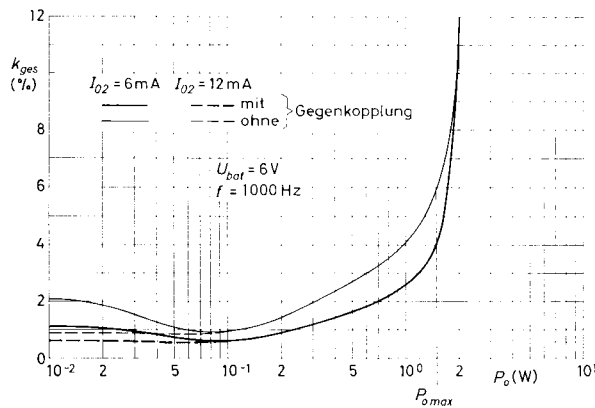


Bild 3b

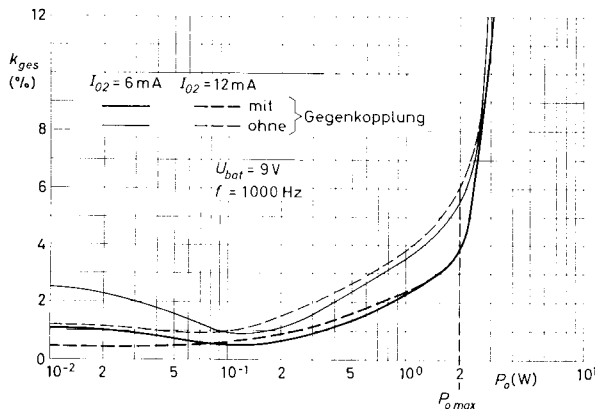


Bild 3c

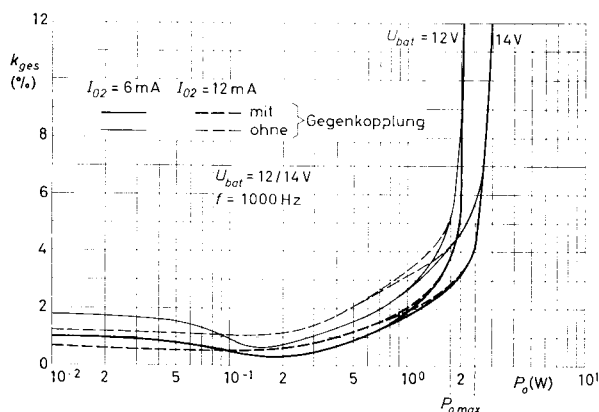


Bild 3. Klirrfaktor als Funktion der Ausgangsleistung

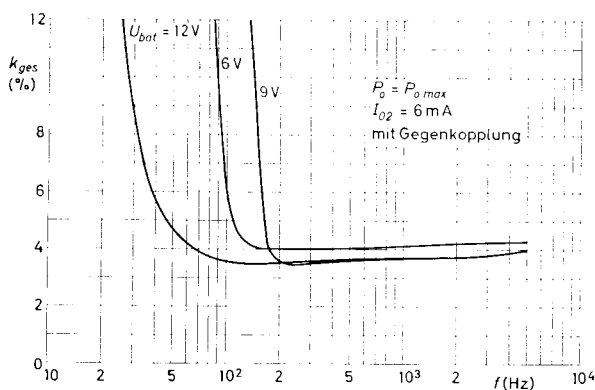


Bild 4. Klirrfaktor als Funktion der Frequenz

Entstehung durch den stromabhängigen Anteil $1/h_{22}$ des Ausgangswiderstandes begünstigt; je niedriger dieser ist, um so mehr beeinträchtigt er die sinusförmige Stromsteuerung des parallel zu ihm liegenden

Lastwiderstandes der Treiberstufe. Mit Rücksicht auf die erforderliche Steuerleistung (vgl. Abschnitt 1.) läßt sich $1/h_{22}$ jedoch nicht so groß gegenüber dem Lastwiderstand machen, wie es für ein möglichst kleines k_2

wünschenswert wäre. Der beschriebene Einfluß wirkt sich am stärksten aus, wenn die Endtransistoren eine hohe Stromverstärkung und somit einen großen Eingangswiderstand haben.

Der k_2 -Anteil der Endstufe entsteht hauptsächlich durch Ungleichheiten der Endtransistoren, die sich im gesamten Aussteuerungsbereich nicht vollkommen vermeiden lassen. Je nach Art der Paarungsunsymmetrie können sich die k_2 -Anteile von Treiber- und Endstufe addieren oder (teilweise) kompensieren; so kann z. B. k_2 infolge unvollkommener Paarung bei kleinen Ausgangsleistungen 2 bis 3% betragen und mit zunehmender Aussteuerung auf $< 1\%$ abnehmen, weil dann die Treiberstufe merkliche (kompensierende) k_2 -Anteile liefert. In einem solchen Fall erhält man durch Vertauschen der Endtransistoren ein mit der Aussteuerung ansteigendes k_2 , weil sich nun die Anteile von Treiber- und Endstufe addieren.

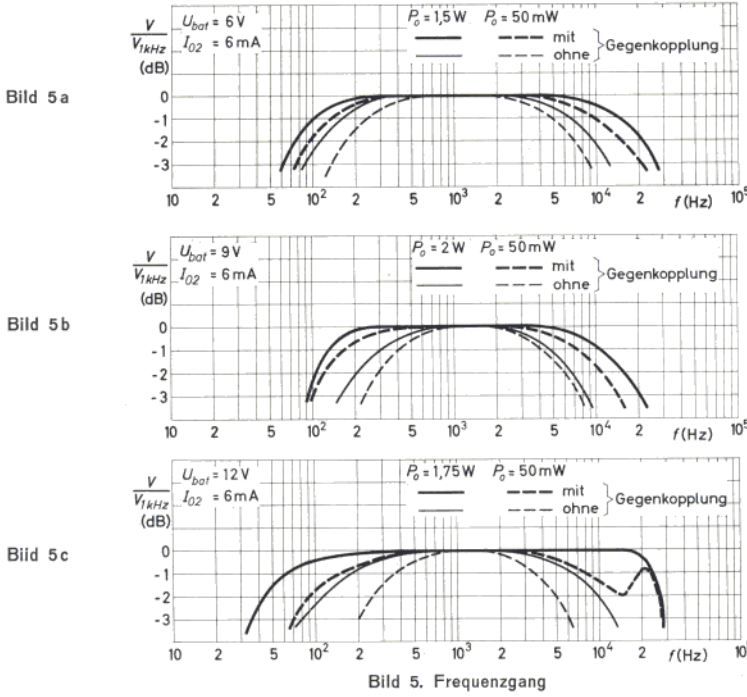
1.2. Frequenzgang

Der Frequenzgang der Verstärkung ist in Bild 5 wiedergegeben. Den Messungen lag auch hier wieder das bereits oben erwähnte Transistorpaar mit mittlerer Stromverstärkung zugrunde. Bei sehr niedriger bzw. sehr hoher Stromverstärkung erhält man, sofern man ohne Gegenkopplung arbeitet, merklich bessere bzw. schlechtere Frequenzgänge. Unter der Wirkung der Gegenkopplung über R_f schrumpfen jedoch diese Einflüsse auf das Frequenzverhalten bis auf unwesentliche Differenzen zusammen.

Außerdem ist der Frequenzgang von der Aussteuerung abhängig. Wie man in Bild 5 erkennt, ergibt sich bei der maximalen Ausgangsleistung $P_{o,max}$ für alle drei Ausführungen ein günstigeres Frequenzverhalten als bei 50 mW Ausgangsleistung. Bei der 9V-Ausführung ist die untere Grenzfrequenz am größten. Sie läßt sich jedoch durch Verwendung größerer Transformatoren (z. B. EI 42, Dyn. Bl. IV) erniedrigen (z. B. auf 40 Hz), falls darauf mehr Wert gelegt wird als auf die gewichts- und raumsparende Bauweise mit den hier vorgeschlagenen Permenorm-Kernen EI 30.



Die VALVO GmbH übernimmt keinerlei Gewähr, daß die Angaben in den „VALVO-Briefen“ frei von Patentrechten Dritter sind. Ratschläge in den „VALVO-Briefen“ sind unverbindliche und keine Haftung begründende Empfehlungen. Kostenloser Bezug der „VALVO-Briefe“ und Verkauf der VALVO-Röhren nur durch den Fachhandel. Nachdruck, auch auszugsweise, ist nicht gestattet.



1.3. Ausgangsleistung

Der maximal zulässige Scheitelwert des Kollektorstromes beim AC 128 beträgt $-i_{CM} = \max. 600 \text{ mA}$. Dieser Wert wird jedoch nur bei der 6V-Ausführung ausgenutzt, wobei eine Ausgangsleistung von 1,5 W erzielt wird. Bei 9 V Batteriespannung wird mit $-i_{CM} = 500 \text{ mA}$ bereits eine befriedigende Ausgangsleistung (2 W) erzielt.

Bei der 12/14 V-Ausführung muß beachtet werden, daß bei $U_{bat} = 14 \text{ V}$ der Grenzwert der Transistor-Verlustleistung $P = \max. 550 \text{ mW}$ nicht überschritten wird. Aufgrund dieser Bedingung ergibt sich der Wert $-i_{CM} = 375 \text{ mA}$, womit man $P_{o max} = 2,4 \text{ W}$ erhält. Unter Beibehaltung der so getroffenen Dimensionierung liegen dann bei $U_{bat} = 12 \text{ V}$ die Werte für $-i_{CM}$ und $P_{o max}$ entsprechend niedriger (vgl. Tabelle 4).

Die je Endtransistor maximal auftretende Verlustleistung (bei etwa

U_{bat} V	P_{max} mW	$\vartheta_{ugh max}$ bei	
		$K_{ges} \leq 90 \text{ grd/W}$ °C	$K_{ges} \leq 70 \text{ grd/W}$ °C
6	400	55	60
9	490	45	55
14	550	40	50

K_{ges} ist der Wärmewiderstand eines Transistors zwischen Sperrschicht und umgebender Luft.

0,6 bis 0,7facher Vollaussteuerung) ist in vorstehender Tabelle angeführt, aus der auch die bei gegebenen Wärmewiderständen maximal zulässigen Umgebungstemperaturen hervorgehen.

Bei Montage des Transistors mit einer Kühlschelle auf 0,5 bis 1 mm dickem Aluminiumblech betragen die erforderlichen Kühlflächen
 $F_{Ch} \geq 12,5 \text{ cm}^2$ bei $K_{ges} \leq 90 \text{ grd/W}$
 $F_{Ch} \geq 35 \text{ cm}^2$ bei $K_{ges} \leq 70 \text{ grd/W}$

1.4. Verstärkung, Gegenkopplung

Mit den in Tabelle 4 angegebenen Werten für den Eingangsstrom i_i und dem Eingangswiderstand R_i ergibt sich für Treiber- und Endstufe zusammen je nach Speisespannung eine Leistungsverstärkung (mit Gegenkopplung) zwischen 63 und 71 dB. Die über R_d bewirkte Gegenkopplung beträgt bei allen 3 Ausführungen etwa 3 dB, d. h. der Eingangswiderstand R_i des Verstärkers wird durch R_d etwa auf die Hälfte (gegenüber dem Fall $R_d \rightarrow \infty$) herabgesetzt.

2. Vorstufe

Vor die Treiberstufe von Bild 2 kann, falls erforderlich, noch eine Vorstufe nach Bild 6 gesetzt werden. Die Verstärkung dieser Stufe läßt sich am

zweckmäßigsten durch die Steilheit $s = i_{oK} / u_G$ ausdrücken, wobei u_G die Quellenspannung und i_{oK} den Ausgangskurzschlußstrom darstellt. Bei Verwendung von Transistoren mit mittleren Kennwerten ist

$s = 6,4 \text{ mA/V}$ für $R_G = 5 \text{ k}\Omega$
 $s = 8,3 \text{ mA/V}$ für $R_G = 2 \text{ k}\Omega$ (z. B. Diodendemodulator mit angeschlossenem Lautstärkereger)

Der Eingangswiderstand der Treiberstufe ist so klein, daß praktisch der gesamte Strom i_{oK} als Treiber-Eingangsstrom i_i zur Verfügung steht; der Quellenspannungsbedarf für eine bestimmte Ausgangsleistung P_o (Tabelle 4) ergibt sich daher einfach zu $u_G = i_i / s$; das jeweilige i_i entnimmt man aus Tabelle 4.

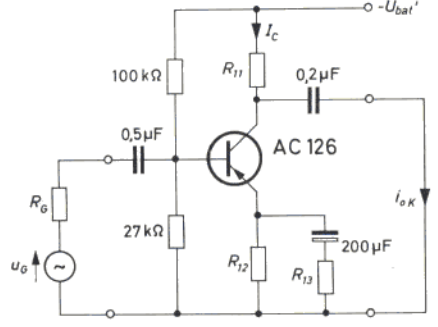


Bild 6. Vorstufe

Tabelle 5: Daten der Vorstufe

U_{bat}	4	5	7	V
R_{11}	4,7	5,6	6,8	kΩ
R_{12}	1,8	1,8	2,2	kΩ
R_{13}	33	47	56	Ω
$-I_C$	0,4	0,5	0,6	mA

Durch den Widerstand R_{13} wird eine gewisse Wechselstromgegenkopplung bewirkt, so daß Exemplarstreuungen der Transistorkennwerte nur geringen Einfluß auf die Steilheit haben. Die Gegenkopplung erhöht außerdem den Eingangswiderstand der Stufe, der somit 8,2 kΩ beträgt. Die Speisespannung U_{bat} ist mit Rücksicht auf noch einzufügende Siebwiderstände etwas kleiner als die Batteriespannungen von Treiber- und Endstufe gewählt.

Die Vorstufe kann auch an einen Kristalltonabnehmer angeschlossen werden, wenn zwischen Tonabnehmer und 5 kΩ-Lautstärkereger ein Serienwiderstand geeigneter Größe (z. B. 330 kΩ) geschaltet wird.