

A. Abgeleitete Größen einer aktiven Vierpolschaltung

1. In allgemeiner Form

Aus der Grund-Gleichung für den aktiven Vierpol, wie sie in Mth 81/1a angegeben ist, lassen sich folgende charakteristischen Schaltungsgrößen — zunächst in allgemeiner Form — bestimmen:

a) Der Eingangsleitwert eines aktiven Vierpols

$$\mathfrak{I}_1 = \mathfrak{Y}_1 \cdot u_1 + \mathfrak{Y}_2 \cdot u_2 \quad (1)$$

$$\mathfrak{I}_2 = \mathfrak{Y}_3 \cdot u_1 + \mathfrak{Y}_4 \cdot u_2 \quad (2)$$

Dividiert man (1) durch u_1 , so erhält man auf der linken Seite den Eingangsleitwert \mathfrak{Y}_E

$$\frac{\mathfrak{I}_1}{u_1} = \mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{Y}_2 \frac{u_2}{u_1} = \mathfrak{Y}_E \quad (3)$$

In Bild 1 ist der Vierpol am Ausgang zwischen den Klemmen 3 und 4 mit \mathfrak{G}_A belastet. Damit kann auch geschrieben werden

$$-\mathfrak{I}_2 = +u_2 \cdot \mathfrak{G}_A; \quad \mathfrak{I}_2 = -u_2 \cdot \mathfrak{G}_A \quad (4)$$

Setzt man (4) in (2) ein und dividiert mit u_2 , so ergibt sich:

$$\frac{\mathfrak{I}_2}{u_2} = -\frac{u_2 \cdot \mathfrak{G}_A}{u_2} = \frac{\mathfrak{Y}_3 \cdot u_1}{u_2} + \frac{\mathfrak{Y}_4 \cdot u_2}{u_2} \quad (5)$$

Daraus bestimmt sich:

$$\frac{u_2}{u_1} = -\frac{\mathfrak{Y}_3}{\mathfrak{Y}_4 + \mathfrak{G}_A} \quad (6)$$

Einsetzen von (6) in (3) ergibt für den Eingangsleitwert:

$$\mathfrak{Y}_E = \mathfrak{Y}_1 - \frac{\mathfrak{Y}_2 \cdot \mathfrak{Y}_3}{\mathfrak{Y}_4 + \mathfrak{G}_A} \quad (7)$$

b) Der Ausgangsleitwert eines aktiven Vierpols

Nach Bild 2 mißt man nun am Ausgang Strom und Spannung und erhält in der gleichen Weise den Ausgangsleitwert \mathfrak{Y}_A . Für den Strom \mathfrak{I}_1 wird gesetzt:

$$-\mathfrak{I}_1 = +u_1 \cdot \mathfrak{G}_E; \quad \mathfrak{I}_1 = -u_1 \cdot \mathfrak{G}_E \quad (8)$$

Dann folgt:

Aus (2) $\frac{\mathfrak{I}_2}{u_2} = \mathfrak{Y}_3 \cdot \frac{u_1}{u_2} + \mathfrak{Y}_4 \quad (9)$

aus (1) und (8) $\frac{u_1}{u_2} = -\frac{\mathfrak{Y}_2}{\mathfrak{G}_E + \mathfrak{Y}_1} \quad (10)$

und aus (9), (10) $\mathfrak{Y}_A = \frac{\mathfrak{I}_2}{u_2} = \mathfrak{Y}_4 - \frac{\mathfrak{Y}_2 \cdot \mathfrak{Y}_3}{\mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{G}_E} \quad (11)$

Tabelle 1

	\mathfrak{Y}_1	\mathfrak{Y}_2	\mathfrak{Y}_3	\mathfrak{Y}_4
KB	$\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_3$	$-\mathfrak{G}_3$	$-(\mathfrak{G}_3 - S)$	$\mathfrak{G}_2 + \mathfrak{G}_3$
GB	$\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_2 + S$	$-\mathfrak{G}_2$	$-(\mathfrak{G}_2 + S)$	$\mathfrak{G}_2 + \mathfrak{G}_3$
AB	$\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_3$	$-\mathfrak{G}_1$	$-(\mathfrak{G}_1 + S)$	$\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_2 + S$

c) Die Spannungsverstärkung im aktiven Vierpol

Die Spannungsverstärkung \mathfrak{B} ist das komplexe Verhältnis von Ausgangsspannung u_2 zu Eingangsspannung u_1

Nach (6) gilt:

$$\frac{u_2}{u_1} = \mathfrak{B} = -\frac{\mathfrak{Y}_3}{\mathfrak{Y}_4 + \mathfrak{G}_A} \quad (6)$$

Beispiel: Spannungsverstärkung einer Triode in KB-Schaltung. Voraussetzung: $R_A = \infty$; $f \rightarrow 0$ d. h. niedere Frequenzen. Nach Mth 83, Gleichung (9) und (10)

$$\mathfrak{Y}_3 = S - \mathfrak{G}_3$$

$$\mathfrak{Y}_4 = \mathfrak{G}_2 + \mathfrak{G}_3$$

Bild 1. Der Eingangsleitwert eines aktiven Vierpols; \mathfrak{G}_A = Abschlußleitwert am Ausgang

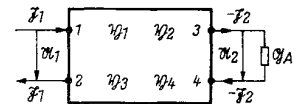
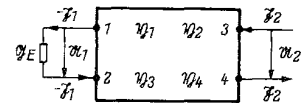


Bild 2. Der Ausgangsleitwert eines aktiven Vierpols; \mathfrak{G}_E = Abschlußleitwert am Eingang



Auf Grund der Voraussetzung ist

$$\mathfrak{G}_A = 0$$

und es kann gesetzt werden

$$\mathfrak{G}_3 = 0; \quad \mathfrak{G}_2 = \frac{1}{R_i}$$

Dann wird:

$$\mathfrak{B} = -\frac{S - \mathfrak{G}_3}{\mathfrak{G}_2 + \mathfrak{G}_3 + \mathfrak{G}_A} = -\frac{S}{1/R_i} = -S \cdot R_i = -\frac{1}{D}$$

d) Die Leistungsverstärkung beim aktiven Vierpol. Die Leistungsverstärkung V_L ist das Verhältnis der abgegebenen oder Nutzleistung N_A zur Eingangsleistung N_E

$$V_L = \frac{N_A}{N_E} \quad (12)$$

Am Eingang steht die Spannung u_1 .

Aus u_1 und \mathfrak{Y}_E ergibt sich die Eingangsleistung zu

$$N_E = |u_1|^2 \cdot \mathfrak{Y}_E \quad (13)$$

Da nur der Realteil von \mathfrak{Y}_E Leistung verbraucht, ist anstelle von $\mathfrak{Y}_E = Y_E + jy_E$ nur dieser Wert (Y_E) einzusetzen.

Entsprechend gilt für die Ausgangsseite

$$N_A = |u_2|^2 \cdot \mathfrak{G}_A \quad (14)$$

Aus (10), (12), (13), (14) folgt für die Leistungsverstärkung V_L

$$V_L = \frac{|u_2|^2 \cdot \mathfrak{G}_A}{|u_1|^2 \cdot Y_E} = |\mathfrak{B}|^2 \cdot \frac{\mathfrak{G}_A}{Y_E} \quad (15)$$

Die Leistungsverstärkung ist somit vom Quadrat der Spannungsverstärkung sowie vom Eingangs- und Belastungsleitwert abhängig.

Nur dann, wenn Eingangsleitwert und Belastungsleitwert einander gleich sind, ist die Leistungsverstärkung allein durch das Quadrat der Spannungsverstärkung gegeben.

¹⁾ Bezeichnung des Realteiles. Um nach Möglichkeit Mißverständnisse zu vermeiden, ist für die Kennzeichnung des Realteiles teilweise auch die Schreibweise: Realteil $\Re\{Y\}$ angewendet. Es ist also Y identisch mit Realteil $\Re\{Y\}$.

Mth 84

2. Die abgeleiteten Größen — berechnet für die drei Grundschaltungen.

Durch Einsetzen der in Tabelle I von Mth 83 aufgeführten Vierpolkonstanten in (6), (7), (11) und (15) erhält man spezielle Gleichungen. Mit ihnen lassen sich für die einzelnen Betriebsfälle (KB, GB, AB) direkt die Werte für Eingangs- sowie Ausgangsleitwert, Spannungs- sowie Leistungsverstärkung errechnen.

Als Beispiel sollen für die KB-Schaltung die vier speziellen Gleichungen ermittelt werden.

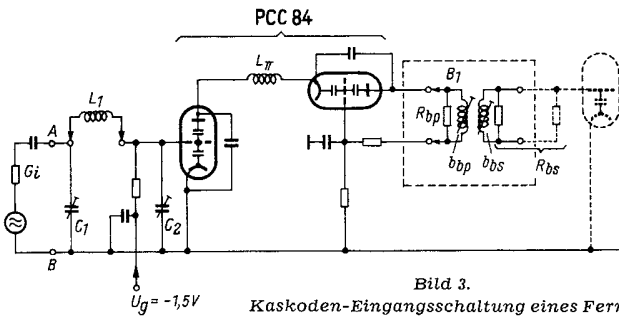


Bild 3.
Kaskoden-Eingangsschaltung eines Fernseh-Empfängers als Berechnungsbeispiel

a) Der Eingangsleitwert für KB-Schaltung
Nach (7) ist:

$$Y_E = Y_1 - \frac{Y_2 \cdot Y_3}{Y_4 + G_A}$$

Nach Tabelle I ist:

$$\begin{aligned} Y_1 &= G_1 + G_3; & Y_2 &= -G_3 \\ Y_3 &= -(G_3 - S); & Y_4 &= G_2 + G_3 \\ Y_E &= G_1 + G_3 - \frac{-G_3 \{ -(G_3 - S) \}}{G_2 + G_3 + G_A} = \\ &= G_1 + \frac{G_3 (G_2 + G_A + S)}{G_2 + G_3 + G_A} \end{aligned}$$

b) Der Ausgangsleitwert für KB-Schaltung
Nach (11) ist:

$$\begin{aligned} Y_A &= Y_4 - \frac{Y_2 \cdot Y_3}{Y_1 + G_E} \\ Y_A &= G_2 + G_3 - \frac{-G_3 \{ -(G_3 - S) \}}{G_1 + G_3 + G_E} \\ Y_A &= G_2 + \frac{G_3 (G_1 + G_E + S)}{G_1 + G_3 + G_E} \end{aligned}$$

c) Die Spannungsverstärkung für KB-Schaltung
Nach (6) ist:

$$\mathfrak{B} = - \frac{Y_3}{Y_4 + G_A}$$

$$\mathfrak{B} = - \frac{-(G_3 - S)}{G_2 + G_3 + G_A}$$

$$\mathfrak{B} = - \frac{S - G_3}{G_2 + G_3 + G_A}$$

d) Die Leistungsverstärkung für KB-Schaltung

Nach (15) ist:

$$V_L = |\mathfrak{B}|^2 \cdot \frac{G_A}{Y_E}$$

$$V_L = \left| \frac{S - G_3}{G_2 + G_3 + G_A} \right|^2 \cdot \frac{G_A}{\text{Realteil} \left\{ G_1 + \frac{G_3 (G_2 + G_A + S)}{G_2 + G_3 + G_A} \right\}}$$

In der gleichen Weise lassen sich die entsprechenden Gleichungen für GB- und AB-Schaltung ausrechnen.

In Tabelle II sind alle diese Formeln übersichtlich zusammengestellt.

B. Berechnungsbeispiel

1. Vorbemerkungen

- Dieses Beispiel soll die Anwendung der Gleichungen von Tabelle II zeigen.
- Gewählt wurde die Kaskoden-Schaltung im Eingang eines Fernseh-Empfängers, bei der die Katodenbasisstufe (KB) nicht neutralisiert ist.
- Es sind zu ermitteln:
Spannungs- und Leistungsverstärkung der einzelnen Stufen, Dimensionierung des Eingangskreises der KB-Stufe, um Anpassung an den Antennenwiderstand zu erhalten, und es ist zu überprüfen, ob die Schaltung trotz fehlender Neutralisation in der KB-Stufe genügend sicher gegen Selbst-erregung ist.
- Es ist mit Absicht eine sehr umfangreiche Aufgabe gewählt, um möglichst viele der in der Vierpolrechnung vorkommenden Teilaufgaben am Beispiel durchrechnen zu können.
- Einzelheiten des Beispiels.
Schaltung nach Bild 3
Röhre: PCC 84
Arbeitsfrequenz 200 MHz

Wichtige Röhrendaten:

$$\begin{aligned} U_{a1} &= U_{a2} = 90 \text{ V} \\ U_g &= -1,5 \text{ V} \\ I_{a1} &= I_{a2} = 12 \text{ mA} \\ S &= 6 \text{ mA/V (statische Steilheit, d. h. bei niederen Frequenzen)} \\ \mu &= 24 \end{aligned}$$

Kapazitäten:

System I (KB)	System II (GB)
$C_{gI} = 2,3 \text{ pF}$	$C_{aII/kII} = 0,16 \text{ pF}$
$C_{aI/gI} = 1,2 \text{ pF}$	$C_{kII/gII+f+s} = 4,5 \text{ pF}$
$C_{aI/kI+f+gII+s} = 1,2 \text{ pF}$	$C_{aII/gII+f+s} = 2,5 \text{ pF}$

Tabelle II

Schal-tung	Eingangsleitwert	Ausgangsleitwert	Spannungsverstärkung	Leistungsverstärkung
	$Y_E = Y_1 - \frac{Y_2 \cdot Y_3}{Y_4 + G_A}$	$Y_A = Y_4 - \frac{Y_2 \cdot Y_3}{Y_1 + G_E}$	$\mathfrak{B} = - \frac{Y_3}{Y_4 + G_A}$	$V_L = \mathfrak{B} ^2 \cdot \frac{G_A}{Y_E}$
KB	$G_1 + \frac{G_3 (G_2 + G_A + S)}{G_2 + G_3 + G_A}$	$G_2 + \frac{G_3 (G_1 + G_E + S)}{G_1 + G_3 + G_E}$	$-\frac{S - G_3}{G_2 + G_3 + G_A}$	$\left \frac{S - G_3}{G_2 + G_3 + G_A} \right ^2 \cdot \frac{G_A}{\text{Realteil} [Y_E]}$
GB	$G_1 + S + \frac{G_2 (G_3 + G_A - S)}{G_2 + G_3 + G_A}$	$G_3 + \frac{G_2 (G_1 + G_E)}{G_1 + G_2 + G_E + S}$	$+\frac{S + G_2}{G_2 + G_3 + G_A}$	$\left \frac{S + G_2}{G_2 + G_3 + G_A} \right ^2 \cdot \frac{G_A}{\text{Realteil} [Y_E]}$
AB	$G_3 + \frac{G_1 (G_2 + G_A)}{G_1 + G_2 + G_A + S}$	$G_2 + S + \frac{G_1 (G_3 + G_E - S)}{G_1 + G_3 + G_E}$	$+\frac{S + G_1}{S + G_1 + G_2 + G_A}$	$\left \frac{S + G_1}{S + G_1 + G_2 + G_A} \right ^2 \cdot \frac{G_A}{\text{Realteil} [Y_E]}$

Wichtige Schaltungsdaten:

Bandfilter B_I

Primärseite:

Bandbreite $b_{bp} = 2 \text{ MHz}$
 Gesamte Kapazität (Röhren-, Schalt- und Spulenkapazität) $C_{bp} = 16,0 \text{ pF}$
 Parallel-Ersatzwiderstand $R_{bp} = 5 \text{ k}\Omega$

Sekundärseite:

Bandbreite $b_{bs} = 6 \text{ MHz}$
 Gesamte Kapazität $c_{bs} = 16,0 \text{ pF}$
 Parallel-Ersatzwiderstand (Röhreneingangswiderstand eingerechnet) $R_{bs} = 1,7 \text{ k}\Omega$

Übertragungswiderstand

bei einem Filter mit Kreisen verschiedener Bandbreite

$$R_{\bar{u}} = \sqrt{R_{bp} \cdot R_{bs}} \cdot \frac{n}{1+n^2} = \sqrt{5 \cdot 1,7} \cdot \frac{1,75}{1+1,75^2} = 1,26 \text{ k}\Omega$$

Für die hier angenommene Einsättlung von 10% beträgt $n = 1,75$.

Eingangswiderstand im abgestimmten Zustand

$$Z_{b1} = \frac{R_{bp}}{1+n^2} = \frac{5}{1+1,75^2} = 1,23 \text{ k}\Omega$$

$$G_{b1} = 0,815 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

π -Glieder (zwischen KB- und GB-Stufe)

Die Induktivität $L_{\pi} = 0,2 \mu\text{H}$
 mit einer Dämpfung $d_{L,\pi} = \frac{1}{40}$

Trimmerkapazität C_2 (zum Ausgleich der Streuungen der Eingangskapazität) = 3 pF

Vernachlässigung der Katodeninduktivität L_k

In Mth 83, Bild 9, ist die Katodeninduktivität L_k eingezeichnet. Im vorliegenden Beispiel wurde aber aus Vereinfachungsgründen $L_k = 0$ gesetzt.

Bild 4. Der Eingangsleitwert der GB-Stufe wird gebildet aus:

- G_{el} (elektronischer Eingangsleitwert)
- C_{el} (Raumladungskapazität)
- C_{gk} (Kapazität Gitter/Katode)

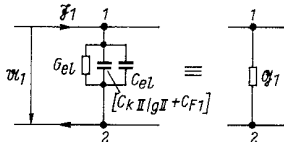
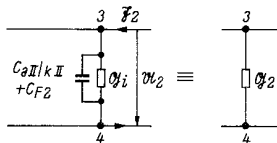


Bild 5. Der Leitwert zwischen Anode und Katode der GB-Stufe wird gebildet aus:

- G_i (innerer Leitwert = $\mathcal{E} \cdot D$)
- C_{ak} (Kapazität Gitter/Katode)



Steilheit der PCC 84 — eine komplexe Größe

Bei der Arbeitsfrequenz von 200 MHz ist bei der PCC 84 die Steilheit nicht mehr phasenrein. Sie enthält vielmehr auch eine induktive Komponente. Deshalb ist in dem folgenden Beispiel \mathcal{E} anstelle von S gesetzt.

2. Die Gitterbasisstufe

a) Der Eingangsleitwert $\mathfrak{Y}_{E(GB)}$

Nach Tabelle II ist:

$$\mathfrak{Y}_{E(GB)} = \mathcal{G}_1 + \mathcal{E} + \frac{\mathcal{G}_2 (\mathcal{G}_3 + \mathcal{G}_A - \mathcal{E})}{\mathcal{G}_2 + \mathcal{G}_3 + \mathcal{G}_A} = \mathcal{G}_1 + \mathcal{E} + \mathcal{G}_2 \left(1 - \frac{\mathcal{E} + \mathcal{G}_2}{\mathcal{G}_A + \mathcal{G}_3 + \mathcal{G}_2} \right) \quad (21)$$

Hierin ist:

\mathcal{G}_1 = komplexer Leitwert zwischen Gitter und Katode (Bild 4)

$\mathcal{G}_1 = G_{el} + j\omega C_{el} + j\omega (C_{kII/gII} + C_{F1})$

$G_{el} = \text{Elektronischer Eingangsleitwert} = 0,11 \text{ mA/V}$

$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 200 \cdot 10^6 = 12,56 \cdot 10^8$

$C_{el} = \text{Raumladungskapazität} = 1,1 \text{ pF}$

$C_{kII/gII} = 4,5 \text{ pF}$

$C_{F1} = \text{Fassungskapazität (kII/gII)} = 1,5 \text{ pF}$

$\mathcal{G}_1 = 0,11 \cdot 10^{-3} + j 12,56 \cdot 10^8 (1,1 + 4,5 + 1,5) \cdot 10^{-12} = (0,11 + j \cdot 8,9) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$

$\mathcal{G}_2 = \text{komplexer Leitwert zwischen Anode und Katode (Bild 5)}$

$\mathcal{G}_2 = \mathcal{G}_i + j\omega C_{aII/kII} + j\omega C_{F2}$

$\mathcal{G}_i = \mathcal{E} \cdot D = \text{komplexer innerer Leitwert}$

$C_{aII/kII} = 0,16 \text{ pF}$

$C_{F2} = 0,1 \text{ pF} = \text{Fassungskapazität (aII/kII)}$

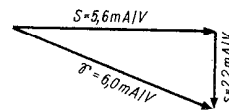
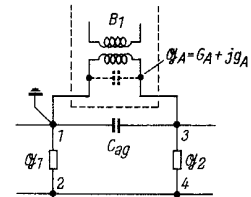


Bild 6. Darstellung der komplexen Steilheit mit ihrer Real- und Blindkomponente



Rechts: Bild 7. Die Belastung der GB-Stufe durch das Bandfilter B_I. Im Fall der Abstimmung (Resonanz) müssen sich die Blindkomponenten aufheben

$\mathcal{E} = S + js = (5,6 - j 2,2) \text{ mA/V} = \text{komplexe Steilheit (Bild 6)}$

$D = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{24}$

$\mathcal{G}_2 = \frac{5,6 \cdot 10^{-3}}{24} - j \frac{2,2 \cdot 10^{-3}}{24} + j \cdot 12,56 \cdot 10^8 \cdot (0,16 + 0,1) \cdot 10^{-12}$

$= 0,233 - j \cdot 0,092 + j \cdot 0,327 = (0,233 + j 0,235) \frac{\text{mA}}{\text{V}}$

$\mathcal{G}_3 = \text{komplexer Leitwert zwischen Anode und Gitter}$

$\mathcal{G}_3 = j\omega C_{aII/gII} = j \cdot 12,56 \cdot 2,5 \cdot 10^8 \cdot 10^{-12} = j \cdot 3,14 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$

$\mathcal{G}_A(GB) = \text{komplexer Belastungsleitwert des GB-Röhrensystems am Ausgang.}$

Für das abgestimmte Bandfilter B_I muß die Summe der Blindkomponenten zwischen Anode und Gitter gleich Null sein (Bild 7).

$$-jg_A = jg_3 + i \left(\frac{g_2 \cdot g_1}{g_2 + g_1} \right) \approx jg_3 + jg_2 = j(3,14 + 0,24) \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$jg_A = -j 3,4 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$G_A = \text{Eingangsleitwert von } B_1 = G_{b1} = 0,815 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$\mathcal{G}_A(GB) = G_A + jg_A = (0,815 - j 3,4) \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

Damit sind alle Werte bestimmt, um den Eingangswiderstand der GB-Stufe auszurechnen.

$$\begin{aligned} \mathfrak{Y}_{E(GB)} &= 0,11 + j \cdot 8,9 + 5,6 - j \cdot 2,2 + (0,233 + j 0,235) \cdot \left(1 - \frac{5,6 - j 2,2 + 0,233 + j 0,235}{0,815 - j 3,4 + j 3,14 + 0,233 + j 0,235} \right) \\ &= 5,71 + j 6,7 + (0,233 + j 0,235) \cdot \left(1 - \frac{5,83 - j 1,97}{1,05} \right) \\ &= 5,71 + j 6,7 - 1,50 - j \cdot 0,64 = (4,21 + j 6,06) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right] \end{aligned}$$

Mth 84

b) Die Spannungsverstärkung $\mathfrak{B}_{(GB)}$

Nach Tabelle II ist:

$$\mathfrak{B} = \frac{\mathcal{E} + \mathcal{G}_2}{\mathcal{G}_2 + \mathcal{G}_3 + \mathcal{G}_A} = \frac{5,6 - j \cdot 2,2 + 0,233 + j \cdot 0,235}{0,233 + j \cdot 0,235 + j \cdot 3,14 + 0,815 - j \cdot 3,4} = \frac{5,83 - j \cdot 1,97}{1,05} = 5,55 - j \cdot 1,87 = 5,86 \cdot e^{j(-19^\circ)}$$

c) Die Leistungsverstärkung $\mathfrak{B}_{L(GB)}$

Nach Tabelle II ist:

$$V_L = |\mathfrak{B}|^2 \cdot \frac{G_A}{\text{Realteil}[\mathfrak{Y}_{E(GB)}]} = 5,86^2 \cdot \frac{0,815}{4,21} = 6,6 = 8,2 \text{ dB}$$

d) Der Ausgangsleitwert \mathfrak{Y}_A kann erst berechnet werden, wenn der Abschlußleitwert \mathcal{G}_E am Eingang der GB-Stufe (Bild 8) bekannt ist. Dieser wird aber erst bei der Durchrechnung der KB-Stufe gefunden.

3. Das π -Glied

a) Die Schaltelemente des π -Gliedes

Zwischen die KB- und die GB-Stufe ist das π -Glied — ein passiver, linearer Vierpol — geschaltet (Bild 9). Dieser Vierpol enthält nur ein Schaltelement L_π . Die zwischen 1,2 und 3,4 liegenden Kapazitäten sind in die KB- bzw. GB-Stufe einbezogen.

Dann ist

$$\left. \begin{aligned} g_1(\pi) &= 0 \\ g_2(\pi) &= 0 \\ g_3(\pi) &= -j \frac{1}{\omega L_\pi} \end{aligned} \right\} \text{Mth 81/3 a Tabelle 3 a}$$

$\mathcal{G}_A(\pi)$ [d. h. Belastungsleitwert des π -Gliedes] = $\mathfrak{Y}_{E(GB)}$
[d. h. Eingangsleitwert der GB-Stufe]

b) Eingangsleitwert des π -Gliedes. $\mathfrak{Y}_E(\pi)$

Nach Tabelle II ist:

$$\mathfrak{Y}_E = \mathfrak{Y}_1 - \frac{\mathfrak{Y}_2 \cdot \mathfrak{Y}_3}{\mathfrak{Y}_4 + \mathcal{G}_A} = g_3 - \frac{(-g_3)(-g_3)}{g_3 + \mathcal{G}_A} = \frac{g_3 \cdot \mathcal{G}_A}{g_3 + \mathcal{G}_A} \quad (22)$$

Nach Mth 81/3 a Tabelle 3 a ist:

$$\begin{aligned} \mathfrak{Y}_1 &= g_1 + g_3 = -j \frac{1}{\omega L_\pi} \\ \mathfrak{Y}_2 &= \mathfrak{Y}_3 = -g_3 = +j \frac{1}{\omega L_\pi} \\ \mathfrak{Y}_4 &= g_2 + g_3 = -j \frac{1}{\omega L_\pi} \end{aligned}$$

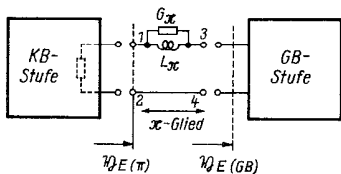


Bild 9. Das π -Glied zwischen KB- und GB-Stufe. Den Abschlußleitwert des π -Gliedes auf der Ausgangsseite bildet $\mathfrak{Y}_{E(GB)}$

Die Gleichung 22 hat den Charakter einer Gleichung für zwei in Reihe geschaltete Leitwerte. Das bestätigt auch Bild 9.

Mit Rücksicht auf den großen Realteil von $\mathfrak{Y}_{E(GB)}$ kann L_π — bei einem gegebenen Dämpfungsfaktor $d = \frac{1}{40}$ — als verlustfrei angenommen werden.

Somit ergibt sich:

$$\mathfrak{Y}_E(\pi) = \frac{-j \frac{1}{\omega L_\pi} \cdot \mathfrak{Y}_{E(GB)}}{-j \frac{1}{\omega L_\pi} + \mathfrak{Y}_{E(GB)}} = \frac{-j 4 \cdot (4,21 + j 6,06)}{-j 4 + 4,21 + j 6,06} \cdot \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

$$\omega L_\pi = 12,56 \cdot 10^8 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} = 251,2 \Omega$$

$$-j \frac{1}{\omega L_\pi} = -j 4 \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

Die Gleichung für $\mathfrak{Y}_{E(\pi)}$ läßt sich am einfachsten berechnen, wenn Mth 41/2, Abschnitt D 5, zu Grunde gelegt wird.

$$z_1 \cdot z_2 = r_1 \cdot r_2 \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

$$\varphi_1 \text{ von } -j 4 = -90^\circ$$

$$\varphi_2 \text{ von } (4,21 + j 6,06) = 55^\circ 10'$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 \sim -35^\circ$$

$$r_1 = 4$$

$$r_2 = \sqrt{4,21^2 + 6,06^2} = 7,4$$

$$z_1 \cdot z_2 = 29,6 \cdot e^{j(-35^\circ)}$$

$$z_1 + z_2 = 4,21 + j 6,06 - j 4 = 4,21 + j 2,06 = 4,69 \cdot e^{j 26^\circ}$$

$$\frac{z_1 \cdot z_2}{z_1 + z_2} = \frac{29,6 \cdot e^{j(-35^\circ)}}{4,69 \cdot e^{j 26^\circ}} = 6,3 e^{j(-61^\circ)} = 3,06 - j 5,5$$

$$\mathfrak{Y}_{E(\pi)} = (3,06 - j 5,5) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

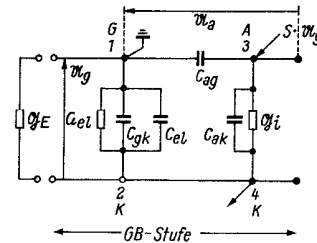


Bild 8. Die GB-Stufe und der ihr zugehörige Abschlußleitwert auf der Eingangsseite

4. Die Katodenbasisstufe

a) Die Spannungsverstärkung $\mathfrak{B}_{(KB)}$

Nach Tabelle II ist:

$$\mathfrak{B}_{(KB)} = - \frac{\mathcal{E} - \mathcal{G}_3}{\mathcal{G}_2 + \mathcal{G}_3 + \mathcal{G}_A}$$

Darin ist:

$$\mathcal{E} = (5,6 - j 2,2) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

$$\mathcal{G}_2 = \frac{S + j s}{\mu} + j \omega C_{a1/k1} + j \omega C_{F3} \quad (\text{vgl. Bild 5})$$

$$C_{F3} = 1,3 \text{ pF (Fassungskapazität)}$$

$$\mathcal{G}_2 = \frac{5,6 \cdot 10^{-3}}{24} - j \frac{2,2 \cdot 10^{-3}}{24} + j 12,56 \cdot 10^8 (1,2 + 1,3) \cdot 10^{-12}$$

$$\mathcal{G}_2 = (0,233 - j 0,092 + j 3,14) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

$$\mathcal{G}_3 = j \omega (C_{a1/g1} + C_{F4})$$

$$C_{F4} = 0,8 \text{ pF (Fassungskapazität)}$$

$$\mathcal{G}_3 = j \cdot 12,56 \cdot 10^8 (1,2 + 0,8) \cdot 10^{-12}$$

$$\mathcal{G}_3 = j 2,51 \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

$$\mathcal{G}_A = \mathfrak{Y}_{E(\pi)} = (3,06 - j 5,5) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

Mit diesen Werten ergibt sich für $\mathfrak{B}_{(KB)}$

$$\mathfrak{B}_{(KB)} = - \frac{5,6 - j 2,2 - j 2,51}{0,233 + j 3,05 + j 2,51 + 3,06 - j 5,5} = - \frac{5,6 - j 4,71}{3,29} = - 1,7 + j 1,43 = 2,25 \cdot e^{j(140^\circ)}$$

b) Der Eingangsleitwert $\mathfrak{Y}_E (KB)$ einer Katodenbasisstufe

Nach Tabelle II ist:

$$\mathfrak{Y}_E (KB) = \mathfrak{G}_1 + \frac{\mathfrak{G}_3 (\mathfrak{G}_2 + \mathfrak{G}_A + \mathfrak{C})}{\mathfrak{G}_2 + \mathfrak{G}_3 + \mathfrak{G}_A} = \mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_3 \left(1 + \frac{\mathfrak{C} - \mathfrak{G}_3}{\mathfrak{G}_2 + \mathfrak{G}_3 + \mathfrak{G}_A} \right)$$

$$\mathfrak{Y}_E (KB) = \mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_3 (1 - \mathfrak{B})$$

Darin ist:

$$\mathfrak{G}_1 = G_{el} + j\omega (C_{el} + C_{gk} + C_{F1}) \text{ (vgl. Bild 4)}$$

G_{el} und C_{el} siehe Bild 2a

$$C_{F1} = 1,3 \text{ pF (Fassungskapazität)}$$

$$\mathfrak{G}_1 = 0,11 \cdot 10^{-3} + j 12,56 \cdot 10^8 (1,1 + 2,3 + 1,3) \cdot 10^{-12}$$

$$= (0,11 + j \cdot 5,9) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

$$\mathfrak{Y}_E (KB) = 0,11 + j \cdot 5,9 + j 2,51 (1 + 1,7 - j 1,43)$$

$$= (3,69 + j 12,65) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

Es zeigt sich also, daß die vorgegebene Schaltung keine Schwingneigung besitzt, sondern im Gegenteil der Eingangskreis elektronisch stark bedämpft wird.

Wird die KB-Stufe neutralisiert, dann ist $\mathfrak{G}_3 = 0$ und es ergibt sich für

$$\mathfrak{Y}_E (KB \text{ neutralisiert}) = \mathfrak{G}_1 = (0,11 + j 5,9) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

c) Die Leistungsverstärkung V_L

Nach Tabelle II ist:

$$V_L (KB) = |\mathfrak{B} (KB)|^2 \cdot \frac{G_A}{\text{Realteil } [\mathfrak{Y}_E]}$$

$$V_L (KB) = |2,22|^2 \cdot \frac{3,06}{3,69} = 4,93 \cdot \frac{3,06}{3,69} = 4,1$$

$$V_L (KB) = 4,1 = 6,1 \text{ dB}$$

5. Berechnung der Eingangsschaltung (ES)

Am Eingang der KB-Stufe — zwischen Gitter und Katode — erscheint der Eingangsleitwert $\mathfrak{Y}_E (KB)$. Es ist die Aufgabe zu lösen, ihn mittels eines π -Gliedes an einem Generator oder eine Antenne mit einem $R_i = 60$ anzupassen; d. h. die Generatorbelastung muß reell und genau so groß sein wie R_i .

a) Der Eingangsleitwert $\mathfrak{Y}_E (ES)$

In Bild 10 ist der passive Vierpol dargestellt

$$\mathfrak{Y}_E (ES) = \mathfrak{Y}_1 - \frac{\mathfrak{Y}_2 \cdot \mathfrak{Y}_3}{\mathfrak{Y}_4 + \mathfrak{G}_A} \quad (24)$$

Hierin ist:

$$g_1 (ES) = j\omega C_1$$

$$g_2 (ES) = j\omega C_2 = j \cdot 3,8 \cdot \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

$$g_3 (ES) = -j \frac{1}{\omega L_1}$$

$$\mathfrak{G}_A = \mathfrak{Y}_E (KB)$$

Setzt man diese Werte in (24) ein, so erhält man:

$$\mathfrak{Y}_E (ES) = g_1 + g_3 \frac{g_2 + \mathfrak{G}_A}{g_2 + g_3 + \mathfrak{G}_A}$$

und nach einer weiteren Umformung

$$= g_1 + g_3 \left(1 + \frac{-g_3}{g_2 + g_3 + \mathfrak{G}_A} \right) = j\omega C_1 - j \frac{1}{\omega L_1} \left(1 + \frac{j \frac{1}{\omega L_1}}{j\omega C_2 - j \frac{1}{\omega L_1} + \mathfrak{G}_A} \right) \quad (25)$$

$$= j\omega C_1 - j \frac{1}{\omega L_1} + \frac{1}{j\omega C_2 \cdot \omega^2 L_1^2 - j\omega L_1 + \mathfrak{G}_A \cdot \omega^2 L_1^2}$$

Aus der gestellten Forderung nach Anpassung ergeben sich zwei Gleichungen:

$$G_E (ES) = G_i = \frac{1}{60} = 16,7 \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right] \quad (26)$$

$$ig_E (ES) = 0 \quad (27)$$

Zur Ermittlung von L_1 und C_1 wird zunächst Gleichung 25 in Real- und Imaginärteil aufgespalten. Gleichzeitig werden die Zahlenwerte eingesetzt.

$$\mathfrak{Y}_E (ES) = j\omega C_1 - j \frac{1}{\omega L_1} + \frac{1}{j \cdot 3,8 \cdot \omega^2 L_1^2 - j\omega L_1 + 3,69 \cdot \omega^2 L_1^2 + j 12,65 \omega^2 L_1^2} \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

$$\mathfrak{Y}_E (ES) = j\omega C_1 - j \frac{1}{\omega L_1} + \frac{3,69 \cdot \omega^2 L_1^2 - j (3,8 \omega^2 L_1^2 + 12,65 \omega^2 L_1^2 - \omega L_1)}{(3,69 \cdot \omega^2 L_1^2)^2 + (3,8 \omega^2 L_1^2 + 12,65 \omega^2 L_1^2 - \omega L_1)^2} \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

Mit Hilfe der Bedingungsgleichungen (26) und (27) ergibt sich nun

$$16,7 \cdot 10^{-3} = G_E (ES) = \frac{3,69 \cdot 10^{-3} \cdot \omega^2 L_1^2}{(3,69 \cdot 10^{-3} \omega^2 L_1^2)^2 + (16,5 \cdot 10^{-3} \omega^2 L_1^2 - \omega L_1)^2} \quad (28)$$

$$0 = ig_E (ES) = j\omega C_1 - j \frac{1}{\omega L_1} - j \frac{(16,5 \cdot 10^{-3} \cdot \omega^2 L_1^2 - \omega L_1)}{(3,69 \cdot 10^{-3} \omega^2 L_1^2)^2 + (16,5 \cdot 10^{-3} \omega^2 L_1^2 - \omega L_1)^2} \quad (29)$$

Aus (28) folgt $\omega L_1 = 82,7 \Omega$

$$L_1 = 0,066 \mu\text{H}$$

und aus (29) $\omega C_1 = 31,6 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$

$$C_1 = 25,2 \text{ pF.}$$

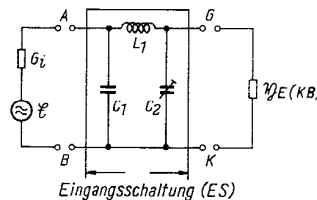


Bild 10. Die Eingangsschaltung (ES) als passiver Vierpol. Der Abschlußleitwert auf der Eingangsseite ist G_i . Der Abschlußleitwert auf der Ausgangsseite ist $\mathfrak{Y}_E (KB)$

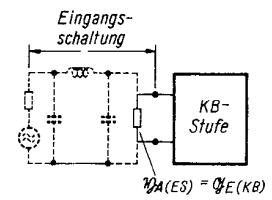


Bild 11. Der Abschlußleitwert der KB-Stufe auf der Eingangsseite ist durch $\mathfrak{Y}_A (ES) = \mathfrak{Y}_E (KB)$ gegeben

Als Probe setzt man die aus Gleichung (28) und (29) gewonnenen Werte in Gleichung (25) ein. Es ergibt sich:

$$\mathfrak{Y}_E (ES) = j \cdot 0,0316 - j \frac{1}{82,7} \left(1 + \frac{j \frac{1}{82,7}}{j 0,0038 - j \frac{1}{82,7} + 0,00369 + j 0,0127} \right) = j 0,0316 - j 0,0316 + 16,4 \cdot 10^{-3} = (j \cdot 0 + 16,4 \cdot 10^{-3}) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

Die berechnete Dimensionierung erfüllt die erforderliche Leistungsanpassung an den Generator mit $R_i = 60 \Omega$.

b) Der Ausgangsleitwert $\mathfrak{Y}_A (ES)$ (Bild 11)

Zur Berechnung des Ausgangsleitwertes der KB-Stufe muß bekannt sein, wie der Eingang dieser Stufe belastet ist ($\mathfrak{G}_E (KB)$). Nach Bild 11 ist $\mathfrak{G}_E (KB)$ gleich dem Ausgangsleitwert der Eingangsschaltung ($\mathfrak{Y}_A (ES)$).

Es ist also $\mathfrak{Y}_A (ES)$ zu bestimmen.

Ein allgemeiner Satz sagt nun: herrscht an den Punkten AB (Bild 10) Leistungsanpassung, dann besteht diese auch an den Punkten GK (Bild 10), wenn die Transformation allein mit Blindwiderständen erfolgt.

Nach Bild 12 muß also sein:

$\mathfrak{Y}_A (ES)$ konjugiert komplex zu $\mathfrak{Y}_E (KB)$

$$\mathfrak{Y}_A (ES) = \mathfrak{Y}_E^* (KB) = (3,69 - j 12,65) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right], \quad (30)$$

denn nur dann ist Leistungsanpassung vorhanden.

Auch dies kann durch eine Kontrollrechnung überprüft werden.

Für \mathfrak{Y}_A gilt (nach Mth 81) $\mathfrak{Y}_A = \mathfrak{Y}_2 \cdot \mathfrak{Y}_3 / (\mathfrak{Y}_1 + \mathfrak{G}_E)$

Mit Hilfe der Werte der Eingangsschaltung ergibt sich

Mth 84

$$\mathfrak{Y}_A = \mathfrak{g}_2 + \mathfrak{g}_3 - \frac{(-\mathfrak{g}_3)^2}{\mathfrak{g}_1 + \mathfrak{g}_3 + \mathfrak{G}_E}$$

$$\mathfrak{Y}_A = j\omega C_2 - j \frac{1}{\omega L_1} - \frac{\left(j \frac{1}{\omega L_1}\right)^2}{j\omega C_1 - j \frac{1}{\omega L_1} + G_i}$$

$$\mathfrak{Y}_A (ES) = j 3,8 + 3,69 - j 12,4 = (3,69 - j 12,4) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

Die Übereinstimmung mit Gleichung 10 ist gegeben.

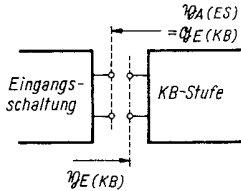


Bild 12. Bei Leistungsanpassung am Eingang der KB-Stufe muß $\mathfrak{Y}_A (ES)$ konjugiert komplex zu $\mathfrak{Y}_E (KB)$ sein

$$(a - jb) \quad (a + jb)$$

$$(3,69 - j 12,6) \quad (3,69 + j 12,6)$$

6. Der Ausgangsleitwert $\mathfrak{Y}_A (KB)$ der Kathodenbasisstufe

Nach Tabelle II ist:

$$\mathfrak{Y}_A (KB) = \mathfrak{G}_2 + \frac{\mathfrak{G}_3 (\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_E + \mathfrak{G})}{\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_3 + \mathfrak{G}_E} =$$

$$= \mathfrak{G}_2 + \mathfrak{G}_3 \left(1 + \frac{\mathfrak{G} - \mathfrak{G}_3}{\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_3 + \mathfrak{G}_E} \right)$$

Die Zahlenwerte können den Abschnitten 4a, b und 5b entnommen werden.

$$\mathfrak{Y}_A (KB) = 0,233 + j 3,05 + j 2,51 \cdot \left(1 + \frac{5,6 - j 2,2 - j 2,51}{0,11 + j 5,9 + j 2,51 + 3,69 - j 12,6} \right)$$

$$\mathfrak{Y}_A (KB) = (-0,22 + j 8,7) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

Der Ausgangsleitwert $\mathfrak{Y}_A (KB)$ hat eine negative Realkomponente. Das bedeutet eine entdämpfende Wirkung durch den Ausgangsleitwert der KB-Stufe.

7. Der Ausgangsleitwert $\mathfrak{Y}_A (GB)$ der Gitterbasisstufe

Unter 2d wurde bereits darauf hingewiesen, daß der Ausgangsleitwert der GB-Stufe erst bestimmt werden kann, wenn derjenige der KB-Stufe bekannt ist.

Der in 6. berechnete Wert $\mathfrak{Y}_A (KB)$ verkörpert aber noch nicht den Abschlußleitwert $\mathfrak{G}_E (GB)$ am Eingang der GB-Stufe, da ein Transformationsglied (π -Filter) zwischengeschaltet ist (Bild 13).

Bei der nun folgenden Umrechnung kann die Dämpfung des π -Gliedes nicht vernachlässigt werden, da $\mathfrak{Y}_A (KB)$ entdämpfend wirkt.

$L_\pi = 0,2 \mu\text{H}$ sowie $d_{1,\pi} = 1/40$ ergibt

$$\mathfrak{G}_\pi = -j \frac{1}{\omega L_\pi} (1 + j d_{1,\pi})$$

$$\mathfrak{G}_\pi = -j 4 \left(1 + j \frac{1}{40} \right) = (0,1 - j 4) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

Entsprechend Bild 13 ergibt sich der gesuchte Leitwert $\mathfrak{G}_E (GB)$ aus der Serienschaltung:

$$\mathfrak{Y}_A (KB); \mathfrak{G}_\pi$$

$$\mathfrak{G}_E (GB) = \frac{\mathfrak{G}_\pi \cdot \mathfrak{Y}_A (KB)}{\mathfrak{G}_\pi + \mathfrak{Y}_A (KB)}$$

$$= \frac{(0,1 - j 4) (-0,22 + j 8,7)}{0,1 - j 4 - 0,22 + j 8,7} = (0,18 - j 7,4) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

Für den Ausgangsleitwert $\mathfrak{Y}_A (GB)$ ist nach Tabelle II einzusetzen:

$$\mathfrak{Y}_A (GB) = \mathfrak{G}_3 + \frac{\mathfrak{G}_2 (\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_E)}{\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_2 + \mathfrak{G}_E + \mathfrak{G}}$$

Mit den Werten aus den Abschnitten 2 und 7 ergibt sich dann:

$$\mathfrak{Y}_A (GB) = j 3,14 + \frac{(0,233 + j 0,235) (0,11 + j 8,9 + 0,18 - j 7,4)}{0,11 + j 8,9 + 0,233 + j 0,235 + 0,18 - j 7,4 + 5,6 - j 2,2}$$

$$\mathfrak{Y}_A (GB) = (-0,051 + j 3,2) \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

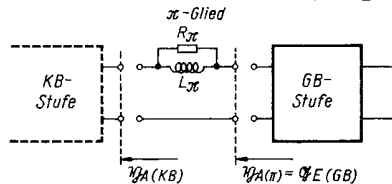


Bild 13. Zur Berechnung von $\mathfrak{Y}_A (GB)$ ist der Abschlußleitwert am Eingang der GB-Stufe $\mathfrak{G}_E (GB)$ erforderlich. Es wird aus $\mathfrak{Y}_A (KB)$ unter Berücksichtigung der durch das π -Glied bewirkten Transformation gewonnen

Der Ausgangsleitwert $\mathfrak{Y}_A (GB)$ hat in diesem Beispiel einen kleinen negativen Realteil, so daß das angeschlossene Bandfilter ein wenig entdämpft wird. Diese Entdämpfung geschieht über die Kapazität (Anode — Katode). Im allgemeinen zeigt die Gitterbasisstufe in Verbindung mit der Kathodenbasisstufe einen kleinen reellen Ausgangsleitwert, so daß die aus zwei Trioden bestehende Kaskoden-Schaltung als eine Pentode angesehen werden kann.

Zum Schluß noch eine Kontrolle über die Abstimmung des Hf-Bandfilters an der Anode der Gitterbasisstufe. Damit Resonanz herrscht, müssen die Blindleitwerte zwischen Anode und Katode Null sein, d. h. die Summe aus $\mathfrak{Y}_A (GB) + \mathfrak{G}_A (GB)$ muß reell sein.

$$\mathfrak{Y}_A (GB) + \mathfrak{G}_A (GB) = j 3,2 - 0,051 + 0,815 - j 3,4 \approx 0,76 \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

In der Tabelle III sind alle wesentlichen Ergebnisse der Kaskoden-Stufe für 200 MHz nochmals zusammengestellt.

Tabelle III

Alle Werte in mA/V					
Eingangsleitwert	$G_i = 16,7$	$\mathfrak{Y}_E (ES) = 16,4$	$\mathfrak{Y}_E (KB) = 3,69 + j 12,65$	$\mathfrak{Y}_E (\pi) = 3,06 - j 5,5$	$\mathfrak{Y}_E (GB) = 4,21 + j 6,06$
Ausgangsleitwert		$\mathfrak{Y}_A (ES) = 3,69 - j 12,6$	$\mathfrak{Y}_A (KB) = -0,22 + j 8,7$	$\mathfrak{Y}_A (\pi) = \mathfrak{G}_E (GB)$	$\mathfrak{Y}_A (GB) = -0,051 + j 3,2$
Spannungsverstärkung		$\mathfrak{B} (ES) = 2,2 e^{j(-140^\circ)}$	$\mathfrak{B} (KB) = 2,25 e^{j(140^\circ)}$	$\mathfrak{B} (\pi) = 0,92 e^{j(-116,5^\circ)}$	$\mathfrak{B} (GB) = 5,86 \cdot e^{j(-19^\circ)}$
Leistungsverstärkung		$V_L (ES) \approx 1$	$V_L (KB) = 6,1 \text{ dB}$	$V_L (\pi) \approx 1$	$V_L (GB) = 8,2 \text{ dB}$
Abschlußleitwert am Ausgang	$\mathfrak{Y}_E (ES)$	$\mathfrak{G}_A (ES) = \mathfrak{Y}_E (KB)$	$\mathfrak{G}_A (KB) = \mathfrak{Y}_E (\pi)$	$\mathfrak{G}_A (\pi) = \mathfrak{Y}_E (GB)$	$\mathfrak{G}_A (GB) = 0,815 - j 3,4$
Abschlußleitwert am Eingang		$\mathfrak{G}_E (ES) = G_i$	$\mathfrak{G}_E (KB) = \mathfrak{Y}_A (ES)$	$\mathfrak{G}_E (\pi) = \mathfrak{Y}_A (KB)$	$\mathfrak{G}_E (GB) = 0,18 - j 7,4$