

Anhang 1:

Berechnung der Vierpolkonstanten

Die in Abb. 1 dargestellte ZB-Schaltung wurde in Abb. 11 so umgezeichnet, daß nur die für die Vierpoleigenschaften maßgebenden Größen auftreten. Die Leitwerte der Vierpolmatrix ergeben sich nun dadurch, daß jeweils entweder der Ausgang oder der Eingang kurzgeschlossen gedacht wird ($U_1 = 0$ bzw. $U_2 = 0$).

Zunächst ergibt sich bei kurzgeschlossenem Ausgang aus Abb. 11 das Ersatzbild Abb. 12 und damit

$$Y_{11} = G_1 + jg_1 + (1-x)^2 Y_{ga} + x^2 Y_{ak} + x \mathcal{E}.$$

Entsprechend ergibt sich auf der Ausgangsseite bei kurzgeschlossenem Eingang Abb. 13 und die Größe

$$Y_{22} = G_2 + jg_2 + Y_{ga} + Y_{ak}.$$

Um den „Kernleitwert vorwärts“ $Y_{21} = \frac{J_{2k}}{U_1}$ zu berechnen,

benutzen wir nochmals Abbildung 12. Der in der stark gezeichneten Kurzschlußverbindung fließende Strom J_{2k} setzt sich aus drei Komponenten zusammen:

1) fließt in der oberen Masche unter der Wirkung der Teilspannung $(1-x) \cdot U_1$ der Strom $i_1 = -(1-x) Y_{ga} \cdot U_1$

2) fließt entsprechend in der unteren Masche der Strom $i_2 = x Y_{ak} \cdot U_1$

3) fließt die Steilheitseinströmung $i_3 = \mathcal{E} U_1$.

Diese geht trotz der scheinbaren Stromverzweigung voll ein; man darf für sie keinen Spannungsabfall an den Teilimpedanzen des Autotransformators mehr annehmen, da dieser schon in U_1 zu berücksichtigen gewesen wäre. Man muß also jetzt so rechnen, als ob der Quellwiderstand des Generators, der die Eingangsspannung U_1 hervorbringt, Null wäre.

Der gesamte Kurzschlußstrom wird somit

$$J_{2k} = i_1 + i_2 + i_3 = \mathcal{E} U_1 - (1-x) Y_{ga} U_1 + x Y_{ak} U_1$$

und

$$Y_{21} = \mathcal{E} - (1-x) Y_{ga} + x Y_{ak}.$$

Der „Kernleitwert rückwärts“ $Y_{12} = \frac{J_{1k}}{U_2}$ wäre bei einem passiven Vierpol ($\mathcal{E} U_1 = 0$) gleich dem Kernleitwert vorwärts. Da nun Y_{12} für kurzgeschlossenen Eingang ($U_1 = 0$) definiert ist, können wir einen passenden Vergleichsvierpol mit $\mathcal{E} U_1 = 0$ heranziehen, für welchen dann $Y_{21} = -(1-x) Y_{ga} + x Y_{ak}$ wäre. Damit erhalten wir sowohl für diesen Vergleichsvierpol als auch für unsere ZB-Schaltung

$$Y_{12} = -(1-x) Y_{ga} + x Y_{ak}.$$

Da nun $Y_{ga} = j \omega \Delta C_{ga}$ und $Y_{ak} = \mathcal{E} D + j \omega \Delta C_{ak}$,

erhält man

$$Y_{11} = G_1 + jg_1 + (1-x)^2 j \omega \Delta C_{ga} + x^2 (\mathcal{E} D + j \omega \Delta C_{ak}) + x \mathcal{E}$$

$$Y_{12} = -(1-x) j \omega \Delta C_{ga} + x (\mathcal{E} D + j \omega \Delta C_{ak})$$

$$Y_{21} = \mathcal{E} - (1-x) j \omega \Delta C_{ga} + x (\mathcal{E} D + j \omega \Delta C_{ak})$$

$$Y_{22} = G_2 + jg_2 + j \omega \Delta C_{ga} + \mathcal{E} D + j \omega \Delta C_{ak}.$$

Anhang 2:

Berechnung der Grenzbedingung für Selbstschwingen

In der Grenzbedingung für Selbstschwingen

$$Y_{11} Y_{22} = Y_{12} Y_{21}$$

setzen wir

$$Y_{11} = |Y_{11}| \cdot e^{i\varphi_{11}} = \frac{G_{11}}{\cos \varphi_{11}} \cdot e^{i\varphi_{11}}$$

$$Y_{22} = |Y_{22}| \cdot e^{i\varphi_{22}} = \frac{G_{22}}{\cos \varphi_{22}} \cdot e^{i\varphi_{22}}$$

$$Y_{12} = |Y_{12}| \cdot e^{i\varphi_{12}}$$

$$Y_{21} = |\mathcal{E}| \cdot e^{-i\varphi_s}.$$

Hierin sind φ_{11} und φ_{22} die Phasenwinkel von Y_{11} und Y_{22} , φ_{12} der Phasenwinkel des „Kernleitwertes rückwärts“ und $-\varphi_s$ der Phasenwinkel des „Kernleitwertes vorwärts“ \approx Steilheitsphasenwinkel.

Die obige Grenzbedingung zerfällt nun in eine Amplitudengleichung

$$\frac{G_{11}}{\cos \varphi_{11}} \cdot \frac{G_{22}}{\cos \varphi_{22}} = |Y_{12}| \cdot |\mathcal{E}|$$

und eine Phasengleichung

$$e^{i\varphi_{11}} \cdot e^{i\varphi_{22}} = e^{i\varphi_{12}} \cdot e^{-i\varphi_s},$$

welche beide erfüllt sein müssen.

Aus der letzteren erhält man

$$\varphi_{11} + \varphi_{22} = \varphi_{12} - \varphi_s.$$

Andererseits ergibt sich aus der Amplitudengleichung, daß man mit einem um so kleineren Y_{12} Selbstschwingen erhalten kann, je größer das Produkt $\cos \varphi_{11} \cdot \cos \varphi_{22}$ wird. Um bei festliegender Summe $\varphi_{11} + \varphi_{22}$ die gefährlichsten Verhältnisse zu erhalten, muß man daher den Ausdruck

$$\cos \varphi_{11} \cdot \cos (\varphi_{12} - \varphi_s - \varphi_{11})$$

zum Maximum machen. Dazu muß seine Ableitung nach zu Null werden:

$$\sin \varphi_{11} \cdot \cos (\varphi_{12} - \varphi_s - \varphi_{11}) - \cos \varphi_{11} \cdot \sin (\varphi_{12} - \varphi_s - \varphi_{11}) = 0$$

Diese Gleichung wird für $\varphi_{11} = \varphi_{12} - \varphi_s - \varphi_{11}$

$$\text{oder } \varphi_{11} = \frac{\varphi_{12} - \varphi_s}{2}$$

erfüllt.

Setzt man diesen Wert in die Amplitudengleichung ein, so erhält man die Schwingungsgrenzbedingung für den gefährlichsten Fall:

$$G_{11} G_{22} = |Y_{12}| \cdot |\mathcal{E}| \cdot \cos^2 \frac{\varphi_{12} - \varphi_s}{2}$$

Zusammenstellung der Formelzeichen:

- U_1 = Eingangsspannung, zwischen Gitter und Kathode gerechnet
- U_k = Teilspannung zwischen Kathode und Anzapfpunkt bzw. Masse
- U_2 = Ausgangsspannung, zwischen Anode und Anzapfpunkt bzw. Masse
- x = Anzapfverhältnis (als Spannungsverhältnis $\frac{U_k}{U_1}$)
- G_1 = Wirkleitwert des Eingangskreises einschließlich der Röhre, jedoch ohne Rückkopplung
- g_1 = Blindleitwert des Eingangskreises, ebenso
- G_2 = Wirkleitwert des Ausgangskreises, zwischen Anode und Anzapfpunkt bzw. Masse gerechnet, wie er sich bei „kalter“ bzw. „gesperrter“ Röhre, aber einschließlich der Belastung durch eine nachfolgende, als Verbraucher zu betrachtende Röhrenstufe (Mischstufe) ergibt.
- g_2 = Blindleitwert des Ausgangskreises, ebenso
- $Y_1 = G_1 + jg_1$
- $Y_2 = G_2 + jg_2$
- $\Theta = S \cdot e^{-i\varphi_s}$ = Steilheit der Röhre, welche wegen der nicht mehr zu vernachlässigenden Elektronenlaufzeit einen nachteilenden Phasenwinkel $-\varphi_s$ aufweist.
- D = Durchgriff der Röhre
- C_{ga} = Kapazität Gitter-Anode, einschließlich Fassung und Verdrahtung
- C_{ak} = Kapazität zwischen Anode und Kathode, ebenso
- ΔC_{ga} = Abweichung der Gitter-Anodenkapazität vom ursprünglichen Wert nach einem Röhrenwechsel
- $\Delta C_{ak \max}$ = größte vorkommende Abweichung, ebenso
- ΔC_{ak} = Abweichung d. Anoden-Kathodenkapazität, ebenso
- $\Delta C_{ak \max}$ = größte vorkommende Abweichung, ebenso
- Y_{11} = Eingangsleitwert der allgemeinen Zwischenbasis-Schaltung bei kurzgeschlossenem Ausgang
- Y_{22} = Ausgangsleitwert bei kurzgeschlossenem Eingang
- Y_{12} = Kernleitwert rückwärts
- Y_{21} = Kernleitwert vorwärts
- $G_{11} =$
 $G_{22} =$
 $G_{12} =$
 $G_{21} =$ } entsprechende Wirkleitwerte
- $G_{22 \min}$ = kleinster zulässiger Ausgangsleitwert bei kurzgeschlossenem Eingang für 1,3-fache Schwingsicherheit
- G_A = eingekoppelter Antennen-Wirkleitwert, zwischen Gitter und Kathode gerechnet

- G_1 = Eingangsleitwert bei einem Ausgangsleitwert G_{22} bzw. $G_{22 \min}$
- G_{11} = Ausgangsleitwert bei einem Eingangsleitwert $G_{11} + G_A$
- $R_A = 60 \Omega$ = Antennenwirkwiderstand
- \ddot{u}_A = Antennentransformation = $\frac{U_1}{\text{halbe Antennen-EMK}}$
- \ddot{u}_M = Transformation zum Mischstufengitter = Verhältnis der dem Mischstufengitter zugeführten Spannung zur Spannung U_2
- C_1 = Kapazität im Eingangskreis (einschließlich Röhrenkapazität)
- C_2 = Kapazität des Ausgangskreises, welcher zwischen Anode und Masse liegt
- C_3 = Kapazität des Ausgangskreises, welche zwischen Mischstufengitter und Masse liegt
- φ_{11} = Phasenwinkel von Y_{11}
- φ_{22} = Phasenwinkel von Y_{22}
- φ_{12} = Phasenwinkel von Y_{12}
- ϵ = Schwächungsfaktor für die Oszillatorfrequenz 109 MHz gegenüber der mittleren Empfangsfrequenz (93,8 MHz) infolge der Selektionswirkung der aus der Antenne und dem Eingangskreis der Vorstufe gebildeten Bandfilters.
- Y_{12osc} = Kernleitwert rückwärts für die Oszillatorfrequenz (109 MHz)
- $U_{A \text{ osz}}$ = Oszillator-Störspannung (Grundwelle) auf der Antennenleitung.
- $U_{B \text{ osz}}$ = Oszillator-Störspannung am Brückenpunkt B (Grundwelle)
- J_e = kapazitive oszillatorfrequente Einströmung vom Heizdraht auf die Kathode der Vorstufe

Zusammenfassung:

Eine vergleichende Betrachtung der allgemeinen Zwischenbasis-Schaltung mit ihren beiden Grenzfällen: Kathodenbasis-Schaltung ($x = 0$) und Gitterbasis-Schaltung ($x = 1$) ergibt, daß man — für 1,3-fache Schwingsicherheit bei herausgezogener Antenne und bei festgehaltener Bandbreite des Ausgangskreises — die höchste stabile Gesamtverstärkung bei mittleren x -Werten von $x = 0,2 \dots 0,7$ erhält, während die Verstärkung der KB- und der GB-Schaltung merklich schlechter sind. Bei der letzten beruht dies darauf, daß der grundsätzlich erzielbare hohe Ausgangswiderstand aus Gründen der Gleichlaufsischerheit nicht ausgenutzt werden kann. Auch mit Rücksicht auf die Oszillator-Störstrahlung erweist sich die ZB-Schaltung mit $x \approx 0,2$ als günstigste.

Dr. R. Cantz

Daten: $S = 6 \text{ mS}$; $\varphi_s = 10^\circ$; $D = 0,0175$; $G_1 = 0,2 \text{ mS}$
 $G_A = 0,9 \text{ mS}$; $C_2 = 6,5 \text{ pF}$; $C_2^0 = 16 \text{ pF}$; $C_3 = 25 \text{ pF}$.

Berechnungsformeln: $G_{11} = 0,2 + 6 \cdot x + 0,1 \cdot x^2$; $G_{12} = 0,105 \cdot x$;
 $G_{21} \approx 6$; $|Y_{12}| = \sqrt{G_{12}^2 + g_{12}^2}$

Tabelle 1 mit $g_{12} = \sqrt{0,0936 \cdot x^2 - 0,18 x + 0,09}$

x	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1
G_{11}	0,20	0,80	1,40	2,01	3,22	4,45	6,30
G_{12}	0	0,0105	0,0210	0,0315	0,0525	0,0735	0,105
g_{12}^2	0,09	0,0729	0,0577	0,0444	0,0234	0,0099	0,0036
G_{12}^2	0	0,0001	0,0004	0,0010	0,0028	0,0054	0,0111
$ Y_{12} ^2$	0,09	0,0730	0,0581	0,0454	0,0262	0,0143	0,0146
$ Y_{12} $	0,300	0,270	0,241	0,213	0,162	0,1195	0,121
g_{12}	0,300	0,270	0,240	0,211	0,153	0,0995	0,060
φ_{12}	90°	88°	86°	81°	71°	54°	30°
$\frac{\varphi_{12} - \varphi_s}{2}$	40°	39°	38°	36°	31°	22°	10°
$G_{22 \text{ min}}$	6,9	1,58	0,83	0,544	0,29	0,181	(0,145) 0,170
G_2	6,8	1,47	0,72	0,439	0,185	0,076	(0,040) 0,065
G_1	0,20	0,76	1,25	1,66	2,13	2,01	(1,97) 2,60
G_{11}	6,9	1,54	0,77	0,479	0,213	0,098	(0,057) 0,0825
V_R	0,87	3,80	7,23	11,02	20,7	33,2	(41,3) 35,3
\ddot{u}_A	7,05	4,66	3,60	3,02	2,56	2,66	(2,70) 2,22
\ddot{u}_M	6,55	3,06	2,14	1,66	1,04	0,602	(0,326) 0,515
V	40	54	56	55,5	55	53	(36,5) 40,4
V^0			53	53	52		

Weitere Formeln: $G_1 = G_{11} - \frac{6 \cdot G_{12}}{G_{22 \min}}$; $G_{11} = G_{22 \min} - \frac{6 \cdot G_{12}}{G_{11} + 0,9}$

$G_{22 \min} = \frac{6 \cdot |Y_{12}|}{G_{11}} \cdot 1,3 \cdot \cos^2 \frac{\varphi_{12} - \varphi_s}{2}$; $\operatorname{tg} \varphi_{12} = \frac{g_{12}}{0,105 \cdot x}$

$\ddot{u}_A = \frac{7,75}{G_1 + 0,9}$; $\ddot{u}_M = 2,5 \sqrt{G_{11} - 0,04}$ $G_2 = G_{22 \min} - 0,105$.

Tabelle 2 mit $g_{12} = \sqrt{0,1125 \cdot x^2 - 0,18 x + 0,09}$

x	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1
G_{11}	0,20	0,80	1,40	2,01	3,22	4,45	6,30
G_{12}	0	0,0105	0,0210	0,0315	0,0525	0,0735	0,105
g_{12}^2	0,09	0,0731	0,0585	0,0461	0,0281	0,0191	0,0225
G_{12}^2	0	0,0001	0,0004	0,0010	0,0028	0,0054	0,0111
$ Y_{12} ^2$	0,09	0,0732	0,0589	0,0471	0,0309	0,0245	0,0336
$ Y_{12} $	0,300	0,271	0,242	0,217	0,176	0,1565	0,183
g_{12}	0,300	0,271	0,242	0,215	0,168	0,138	0,150
φ_{12}	90°	88°	86°	82°	73°	62°	55°
$\frac{\varphi_{11} - \varphi_s}{2}$	40°	39°	38°	36°	31°	26°	22°
$G_{22 \min}$	6,9	1,59	0,84	0,55	0,32	0,22	0,195
G_2	6,8	1,48	0,735	0,445	0,215	0,115	0,090
G_1	0,20	0,76	1,25	1,67	2,23	2,45	3,1
G_{11}	6,9	1,55	0,785	0,495	0,24	0,14	0,11
V_R	0,87	3,77	7,15	10,9	18,75	27,25	30,75
\ddot{u}_A	7,05	4,67	3,60	3,01	2,48	2,31	1,94
\ddot{u}_M	6,55	3,07	2,16	1,68	1,12	0,79	0,66
V	40	54	56	55	52	50	39

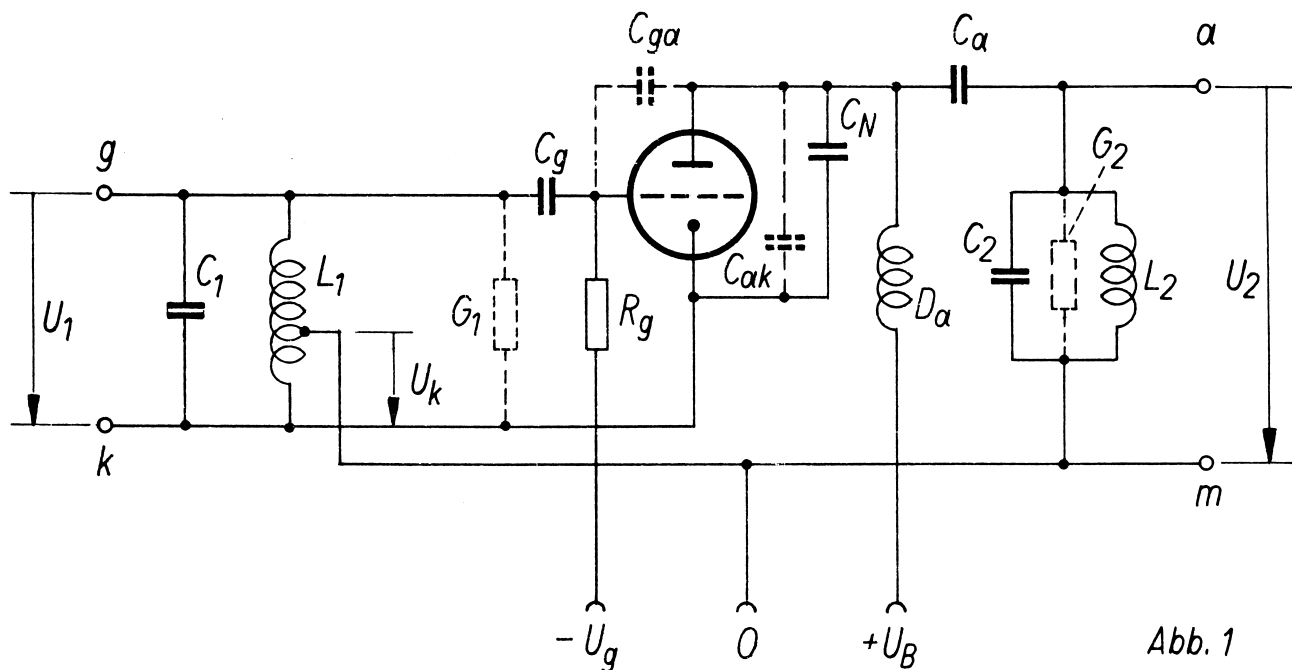


Abb. 1

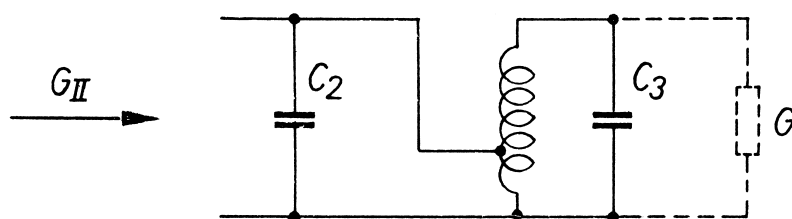


Abb. 2

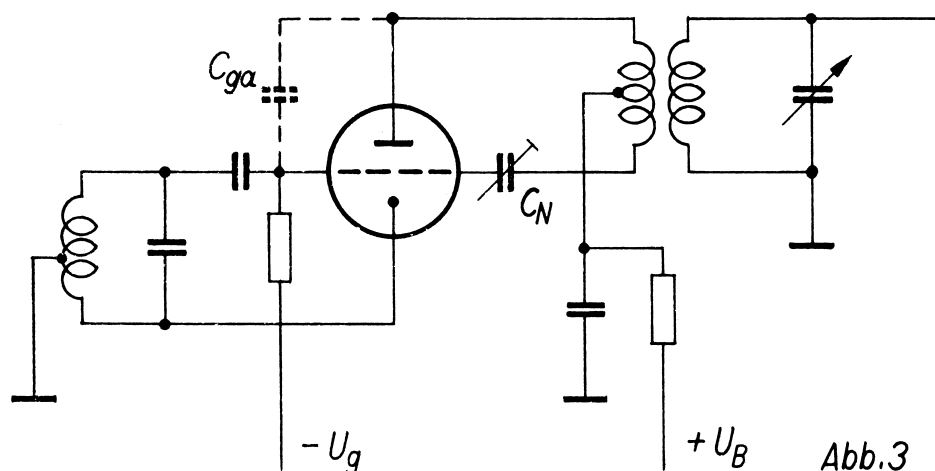


Abb. 3

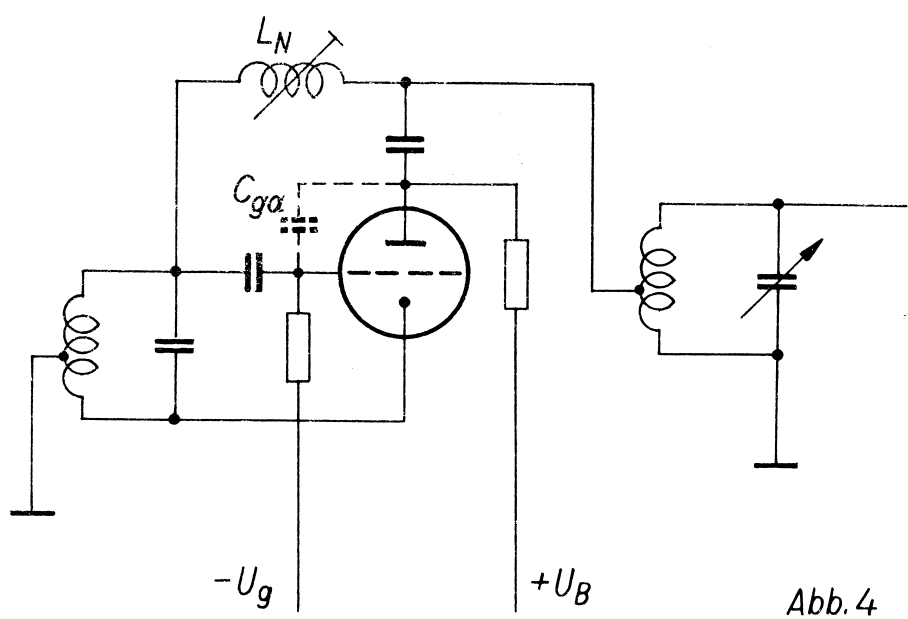


Abb. 4

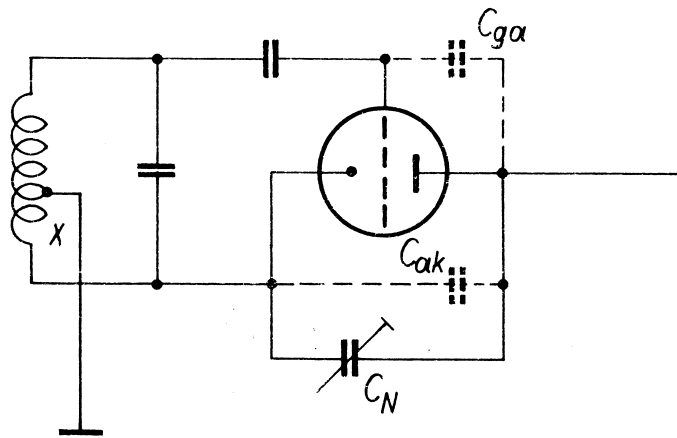


Abb. 5

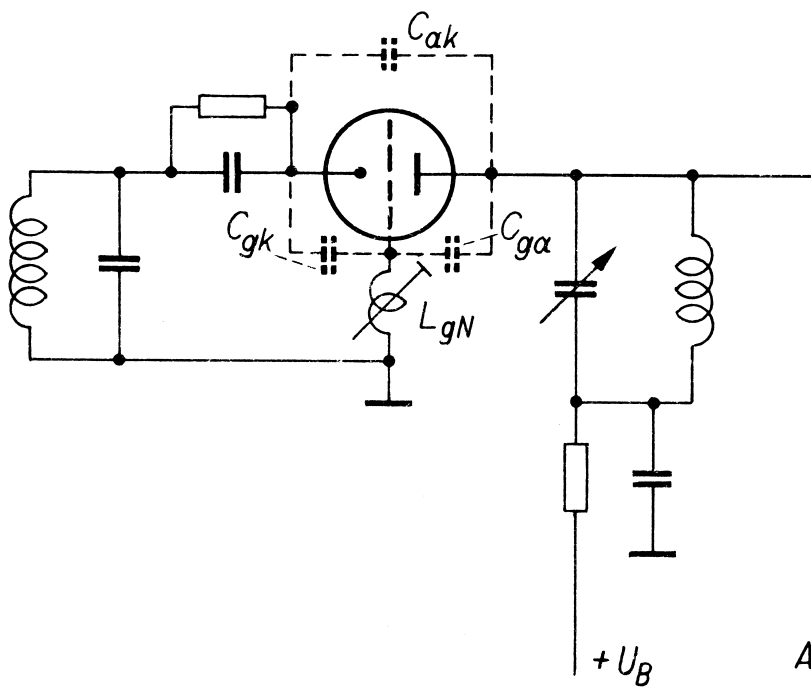


Abb. 6

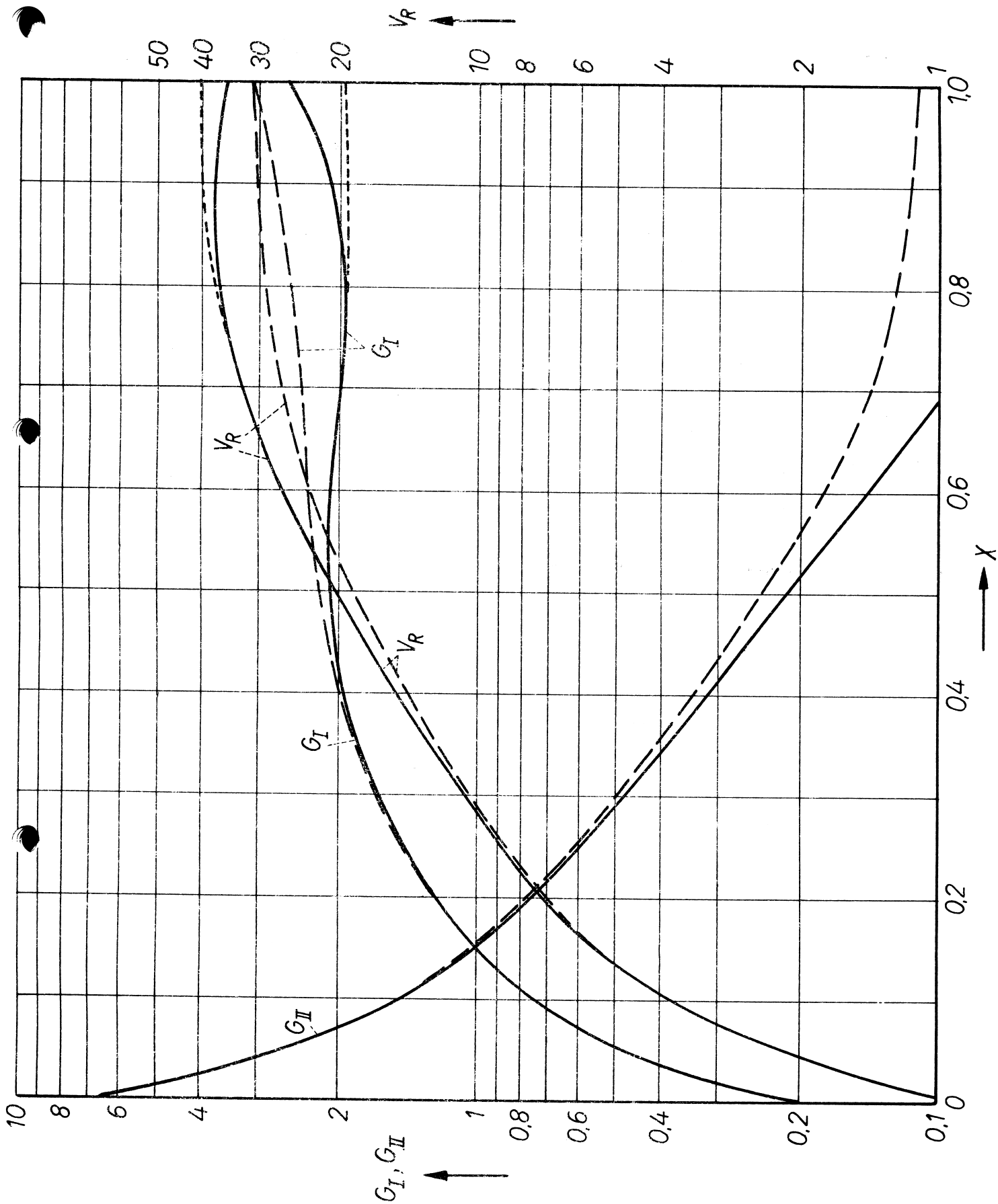


Abb. 7

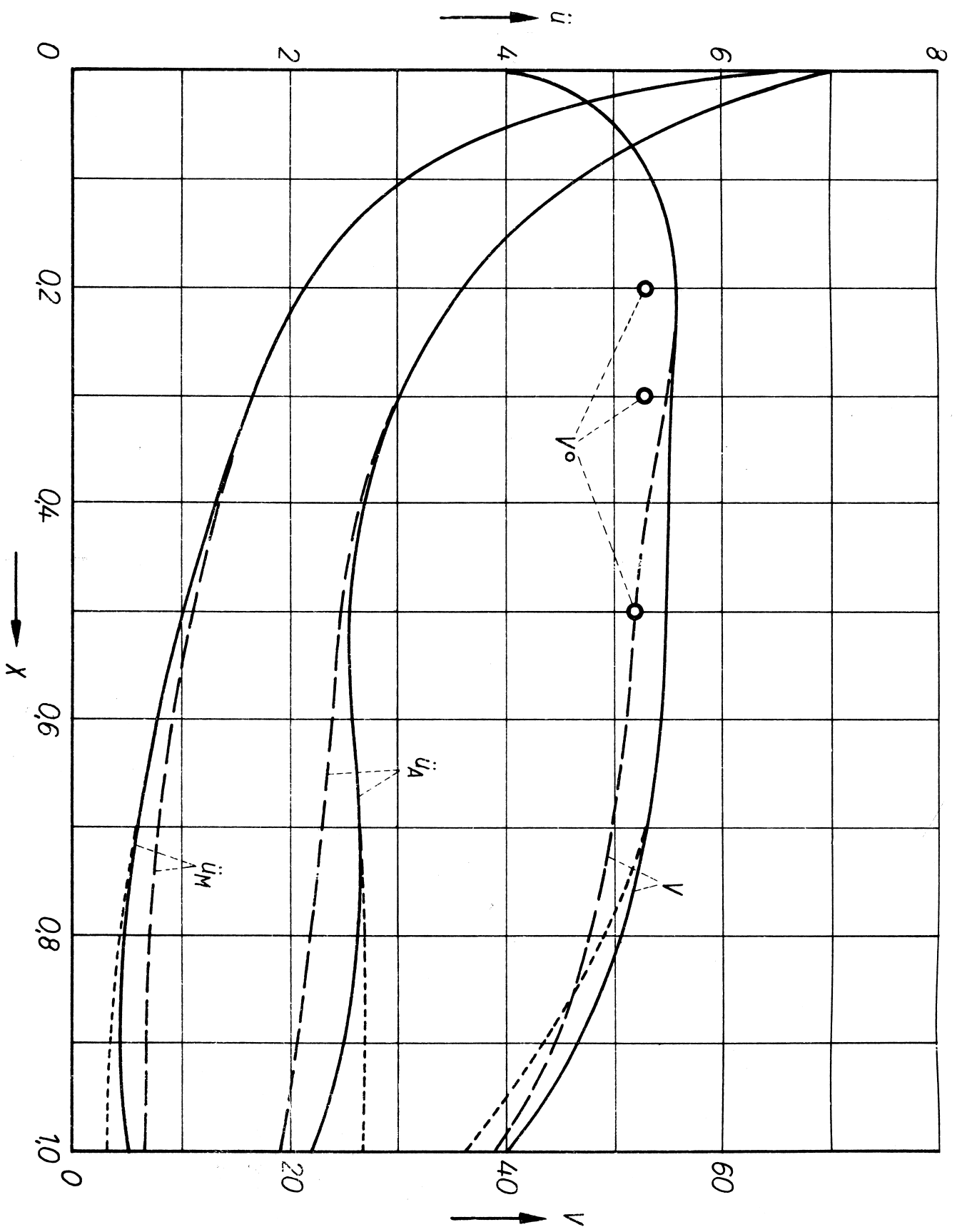


Abb. 8

UKW - Mischteil mit ECC 85

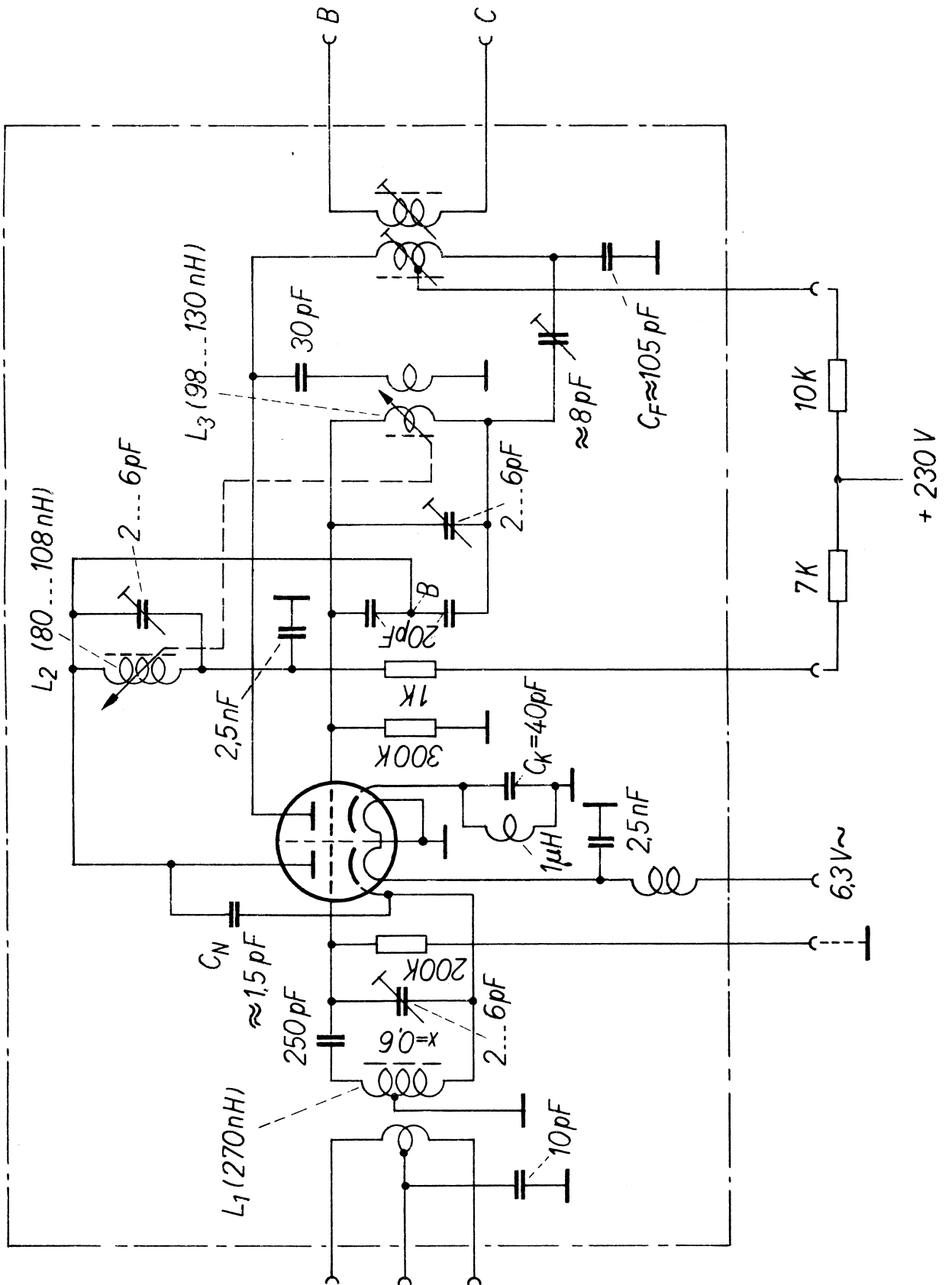


Abb. 9

