

Aus FUNKSCHAU 12/18-1956 für <http://www.radiomuseum.org> (bearbeitet 01/2020 von E.Grund) mit freundlicher Genehmigung der FUNKSCHAU-Redaktion. Die aktuellen Ausgaben der FUNKSCHAU finden Sie unter <http://www.funkschau.de>

Funktechnische Arbeitsblätter
Das Rechnen mit Netzwerken
Der aktive Vierpol

DK 621.392.5.081
Mth 83
 3 Blätter

A. Grundbegriffe

1. Ersatzspannungsquelle, Ersatzstromquelle

Eine elektrische Energiequelle kann als Spannungsquelle oder als Stromquelle dargestellt werden.

Gegeben sei ein beliebiges Netzwerk (Bild 1a), das einen Generator enthält. Der Messung zugänglich sind nur die beiden äußeren Anschlußklemmen 3 und 4. Die EMK \mathcal{E}_0 des Generators selbst kann nicht bestimmt werden, da die Klemmen 3', 4' nicht frei liegen.

Mißt man nun die Spannung $U_{3,4}$ für $I_{3,4} = 0$ (mit einem hochohmigen Instrument), so ist $U_{3,4} = \mathcal{E}$, die Ersatz-EMK des Netzwerkes.

Bei Kurzschluß zwischen 3,4 ($U_{3,4} = 0$, niederohmiges Instrument) erhält man mit I_K den Ersatzkurzschlußstrom des Netzwerkes.

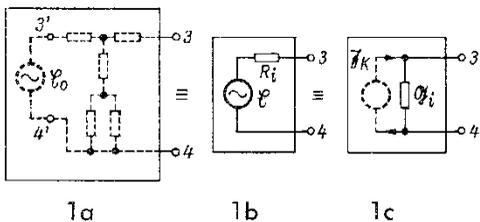


Bild 1a. Netzwerk mit einem Generator, aktives Netzwerk

Bild 1b. Ersatz EMK des aktiven Netzwerkes

Bild 1c. Ersatz-Kurzschlußstrom des aktiven Netzwerkes

2. Innerer Widerstand R_i , innerer Leitwert G_i

$$\frac{\mathcal{E}}{I_K} = R_i = \quad (1)$$

innerer Widerstand des Netzwerkes, des Ersatzgenerators (Bild 1b).

$$\frac{I_K}{\mathcal{E}} = G_i = \quad (2)$$

innerer Leitwert des Netzwerkes, des Ersatzgenerators (Bild 1c).

3. Beispiel

Gegeben ein Netzwerk nach Bild 2a; gesucht ist U_{34} und I_{34} . Da der Aufbau des Netzwerkes bekannt ist, läßt sich U_{34} und I_{34} in gewohnter Weise berechnen.

Die Parallelschaltung von $R_2 \parallel (R_3 + R_a) = 2 \parallel (3 + 4)$ ergibt
 $R_p = 1,55 \Omega$

Die Spannung zwischen den Punkten a und b beträgt:

$$U_{ab} = \frac{E_0 \cdot R_p}{R_1 + R_p} = 3,65 \text{ V}$$

Demnach ist $I_{34} = U_{ab} / (R_3 + R_a) = 3,65 / 7 = 0,52 \text{ A}$

$$U_{34} = 2,08 \text{ V}$$

Die gleichen Werte müssen sich ergeben, wenn das Netzwerk nicht bekannt ist, sondern nur die Werte des Ersatzgenerators E und R_i , oder I_K und G_i gegeben sind.

Bestimmung von E, R_i , I_K , G_i (aus Bild 2a)

$$E = U_{34} \text{ (für } I_{34} = 0); \quad E = \frac{E_0 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 \cdot 2}{3} = 4 \text{ V}$$

$$I_{ges} \text{ (für } U_{34} = 0); \quad I_{ges} = \frac{E_0}{R_1 + (R_2 \parallel R_3)} = \frac{6}{2,2} = 2,73 \text{ A}$$

$$I_K = I_{34} \text{ (für } U_{34} = 0); \quad I_K = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot I_{ges} = \frac{2}{5} \cdot 2,73 = 1,09 \text{ A}$$

$$R_i = \frac{E}{I_K} = \frac{4}{1,09} = 3,67 \Omega$$

$$G_i = \frac{I_K}{E} = \frac{1,09}{4} = 0,27 \text{ S}$$

Kontrollrechnung für U_{34} und I_{34} mit den Größen des Ersatzgenerators

a) mit E und R_i

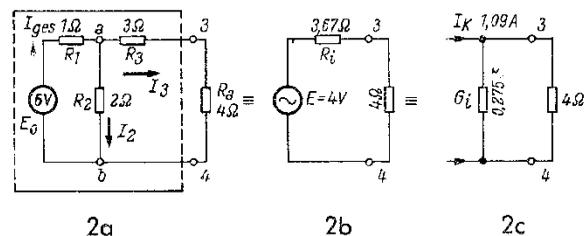


Bild 2a. Berechnungsbeispiel für ein aktives Netzwerk

Bild 2b. Ersatzschaltung zu Bild 2a mit EMK E und R_i

Bild 2c. Ersatzschaltung zu Bild 2a mit Kurzschlußstrom I_K und G_i

$$\left. \begin{aligned} U_{34} &= \frac{E \cdot R_a}{R_i + R_a} = \frac{4 \cdot 4}{7,67} = 2,08 \text{ V} \\ I_{34} &= \frac{E}{R_i + R_a} = \frac{4}{7,67} = 0,52 \text{ A} \end{aligned} \right\} \text{ Bild 2 b}$$

b) mit I_K und G_i

$$\left. \begin{aligned} I_{34} &= \frac{G_a}{G_a + G_i} \cdot I_K = \frac{0,25}{0,52} \cdot 1,09 = 0,52 \text{ A} \\ U_{34} &= \frac{I_K}{G_i + G_a} = \frac{1,09}{0,52} = 2,08 \text{ V} \end{aligned} \right\} \text{ Bild 2 c}$$

In diesem Beispiel konnten die Größen für Ersatz-EMK und Ersatzstromquelle berechnet werden, da das innere Netzwerk bekannt ist. Im allgemeinen Falle ist aber E und I_K nur durch Messung zu bestimmen.

B. Die gesteuerte Röhre als Spannungs- oder Stromquelle

Wird eine Triode am Gitter mit einer niederfrequenten Spannung angesteuert (Bild 3), so liegt der Anodenwechselstrom in Phase mit der Gitterwechselspannung u_g , während die Anodenwechselspannung eine Phasenverschiebung von 180° gegen u_g besitzt (Bild 4). Da zunächst nur eine niederfrequente Steuerspannung angenommen wird, ist der Eingangswiderstand als unendlich groß und die Rückwirkung über die Gitter/Anoden-Kapazität als unendlich klein anzusehen. In diesem Fall vermittelt dann das i_a/u_a -Kennlinienfeld alle wichtigen Werte über die Röhre als Generator.

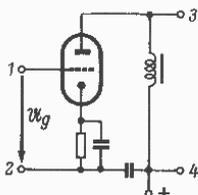


Bild 3.

Die gesteuerte Röhre mit Außenwiderstand (Spannungsquelle)

1. Die Röhre als Spannungsquelle (EMK)

Man setzt voraus, daß der Anodengleichstrom über eine Drossel hoher Induktivität zugeführt wird. Die Aussteuerung im Kennlinienfeld erfolgt längs einer Waagerechten (Bild 4a), d. h. die Röhre arbeitet im Leerlauf. Die an den Punkten 3, 4 abgenommene Spannung ist die Leerlaufspannung oder Ersatz-EMK \mathcal{E} .

$$-\mathcal{E} = \frac{u_g}{D}$$

(Vorzeichenwechsel mit Rücksicht auf Phasenverschiebung zwischen Gitter- und Anodenspannung.)

2. Die Röhre als Stromquelle (Einströmung)

Ist die Röhre wie in Bild 5 geschaltet, so wird ja durch den Kondensator C die Anode wechselstrommäßig mit Kathode kurzgeschlossen. Die Röhre arbeitet im Kurzschluß. Im Kennlinienfeld ist somit die Arbeitsgerade eine vertikale Linie (Bild 5a). Der Kurzschlußstrom ist gegeben durch:

$$-\mathfrak{I}_K = S \cdot u_g$$

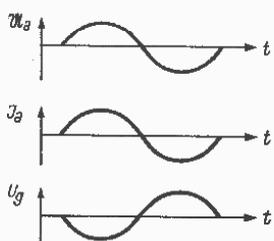


Bild 4. Phasenlage von Gitterwechselspannung u_g , Anodenwechselstrom I_a , Anodenwechselspannung u_a

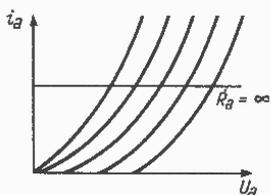


Bild 4a. Aussteuerung im Kennlinienfeld bei sehr hohem Außenwiderstand

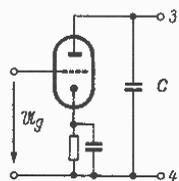


Bild 5. Die gesteuerte Röhre - im Außenkreis kurzgeschlossen (Stromquelle)

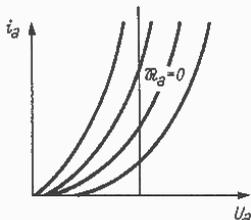


Bild 5a. Aussteuerung im Kennlinienfeld bei Außenwiderstand = 0

3. Die Lage der Spannungs- und Stromvektoren im Ersatzbild

Wie in der allgemeinen Elektrotechnik wird die Stromflußrichtung im Verbraucher von + nach - als positiv angegeben¹⁾.

Zur Darstellung des Spannungspfeils führen folgende Überlegungen: Man denke sich einen Generator mit einem an seine Klemmen angeschalteten Verbraucher (Bild 6a). Wie eingezeichnet, sei in Punkt B der Pluspol. Man würde also zunächst es für richtig finden, den Spannungspfeil wie in Bild 6b gezeichnet einzutragen.

In Wirklichkeit muß man aber folgendermaßen vorgehen. Der Strom fließt nach der getroffenen Festlegung von + nach - (siehe Bild 6a). An R (ohmscher Widerstand) entsteht ein mit \mathfrak{I} gleichphasiger Spannungsabfall. Damit ist der Spannungspfeil von C nach D gerichtet einzutragen. Die Generatorspannung muß diesem Spannungsabfall entgegengesetzt gerichtet sein. (Summe aller Spannungen in einem Stromkreis = 0.) Für den Generator ist demnach die Spannungsrichtung von B nach A einzuzeichnen (Bild 6a).

Kontrolle:

a) Bei Durchlaufen des Kreises (C → D → A → B → C) bewegt man sich zunächst mit dem Spannungspfeil (ansteigender Spannungsabfall = Leistungsverbrauch), anschließend gegen den Spannungspfeil (B → A) (Leistungsgewinn).

b) Leistungsverbrauch tritt ein - nach der üblichen Festlegung - wenn \mathfrak{I} und u gleichphasig sind. Beim Generator dagegen sind \mathfrak{I} und u gegenphasig. Auch diese Regel wird bei der Kennzeichnung nach Bild 6a eingehalten.

Daraus folgt also, daß am Verbraucher der Spannungspfeil in Richtung des Strompfeiles eingetragen wird.

4. Die Ersatzschaltbilder

Für eine positiv gerichtete Gitterwechselspannung u_g ergibt sich eine negative Ersatz-EMK

$$\frac{u_g}{D} = -\mathcal{E} = -u_L \text{ (Bild 7a).}$$

Die Richtung des Kurzschlußstroms ergibt sich aus folgender Beziehung:

$$\mathfrak{I}_K = \frac{\mathcal{E}}{\mathfrak{R}_i} = \frac{-\frac{u_g}{D}}{\frac{1}{S \cdot D}} = -S \cdot u_g$$

Da \mathfrak{I}_K als in den inneren Widerstand-Leitwert einströmend zu denken ist, folgt wie in Bild 7b gezeigt, die Pfeilrichtung von unten nach oben.

¹⁾ Also nicht entsprechend der Elektronen-Flugrichtung in Röhren!

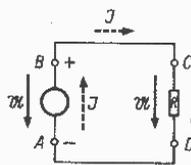


Bild 6a. Lage der Spannungs- und Stromvektoren im geschlossenen Stromkreis

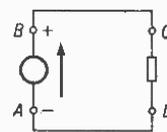


Bild 6b. Falsche Angabe des Spannungsvektors am Generator

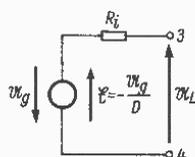


Bild 7a. Ersatzschaltung der Röhre mit EMK und Innenwiderstand

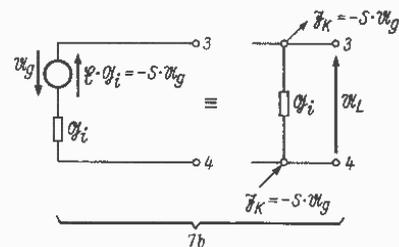


Bild 7b. Umwandlung von Bild 7a in eine Ersatzschaltung mit Einströmung und innerem Leitwert

C. Die Röhre als aktiver Vierpol

1. π -Darstellung wird gewählt

In Mth 81 ist gesagt, daß man die innere Schaltung eines Vierpols in verschiedener Form darstellen kann (π -Glieder, T-Glieder usw.). In gleicher Weise darf für die Röhre die eine oder andere Ersatzschaltung gewählt werden. Gewöhnlich benützt man die π -Form aus folgenden Gründen:

a) Die wichtigste Größe der Röhre ist die Steilheit S . Sie erscheint in dem Stromquellenersatzbild. Hier liegen innerer und äußerer Leitwert parallel.

b) An den Eingang und Ausgang der Röhre werden meist Parallelschwingkreise gelegt. Diese lassen sich in der Leitwertdarstellung einfacher berechnen.

c) In der π -Form können sehr leicht innere und äußere Leitwerte auf der Eingangs- wie auch Ausgangsseite zusammengefaßt (Bild 8 a, b) werden. Zieht man z. B. wie in Bild 8 b

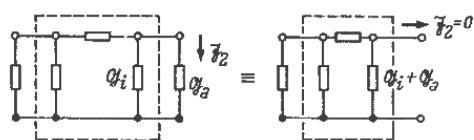


Bild 8a. Die π -Ersatzschaltung

Bild 8b. Die einfache Zusammenfassung des inneren und äußeren Leitwertes bei einer π -Schaltung

zeigt, auf der Ausgangsseite den inneren und äußeren Leitwert zusammen, so wird $\mathfrak{Z}_2 = 0$ (Rechnungsvereinfachung). Aus diesen Gründen wird hier die Röhre nur als aktive π -Schaltung behandelt.

2. Die Röhren- π -Schaltung mit ihren einzelnen Werten oberhalb 20 MHz

In Bild 9a ist die Röhre mit ihren Elektroden und den dazwischenliegenden Wirk- und Blindwiderständen gezeichnet.

Darin bedeutet:

- G_i = innerer Leitwert,
- C_{ak} = Kapazität zwischen Anode und Katode,
- C_{el} = Raumladungskapazität,
- C_{gk} = Kapazität zwischen Gitter und Katode,
- G_{el} = elektronischer Eingangswiderstand, unterhalb 20 MHz zu vernachlässigen;
- L_k = Induktivität zwischen Katode und Katodenstift.
- $\omega^2 C_{gk} L_k \cdot S$ = Wirkleitwert zwischen 1 und 2, hervorgerufen durch die Katodeninduktivität,
- C_{ag} = Kapazität zwischen Anode und Gitter.

In Bild 9b ist die Röhre als aktiver Vierpol gezeichnet, wobei die in Bild 9a vorkommenden Wirk- und Blindwiderstände übersichtlich im Vierpol angeordnet sind. Die Generatorwirkung der Röhre ist durch die Einströmung $\mathfrak{Z}_k = -S \cdot U_g$ als Stromersatzquelle von Bild 7b (Punkte 3 und 4) übernommen.

Schließlich ist in Bild 9c die Röhre durch drei komplexe Leitwerte und durch eine Einströmung dargestellt, die man aus Bild 9b am einfachsten gewinnt.

Es ist:

$$\begin{aligned} \mathfrak{G}_1 &= \omega^2 C_{gk} L_k \cdot S + G_{el} + j(C_{gk} + C_{el}) \omega \\ \mathfrak{G}_2 &= G_i + j\omega C_{ak} \\ \mathfrak{G}_3 &= j\omega C_{ag} \end{aligned}$$

Bild 9c ist dem Bild 10a gleichwertig. Die Spannungen und Ströme sind in der gebräuchlichen Art der Vierpoldarstellung

ingezeichnet²⁾. An sich können nach dem Kirchhoffschen Gesetz Ströme und Spannungen beliebig eingetragen werden. Ein + Zeichen im Ergebnis bestätigt die angenommene Spannungs- oder Stromrichtung, ein - Zeichen bedeutet, daß die Annahme nicht zutrifft, d. h. daß der Strom- oder Spannungs- pfeil umgekehrt anzusetzen ist.

Sofern, wie in dem hier bei der Röhre vorliegenden Beispiel (Bild 7c) die Richtungen von U_1 , \mathfrak{Z}_k , S und U_a durch die Beziehung:

$$\mathfrak{G} = \mathfrak{Z}_k \cdot \mathfrak{R}_i = U_L = - \frac{S \cdot U_g}{\mathfrak{G}_i} \quad (3)$$

verkoppelt sind, muß auch in dem umgezeichneten Vierpol (Bild 10a) die gegenseitige Richtung gewahrt bleiben. Dem in Bild 9c eingezeichneten Vektor U_a entspricht in Bild 7b U_L und in Bild 10a U_2 . Folglich gilt, wenn U_2 als $-U_a$ neu eingeführt

$$\begin{aligned} \text{wird, } U_2 &= -U_a \text{ (entspricht in der Phasenlage) } - \left(- \frac{S \cdot U_g}{\mathfrak{G}_i} \right) = \\ &= \frac{S \cdot U_g}{\mathfrak{G}_i} = \frac{S \cdot U_1}{\mathfrak{G}_i} \quad (4) \end{aligned}$$

d. h. U_1 und U_2 haben gleiche Phasenlage.

Ferner ist nach (3) U_L phasengleich mit $\mathfrak{Z}_k \cdot \mathfrak{R}_i$.

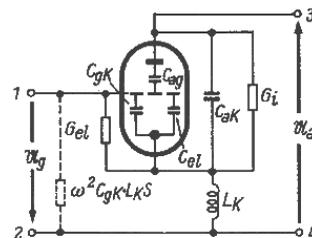


Bild 9a. Die Röhre mit ihren zwischen den Elektroden liegenden Wirk- und Blindwiderständen

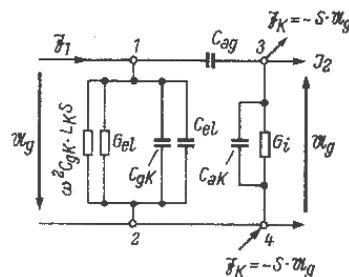


Bild 9b. Umformung von 9a in eine π -Schaltung

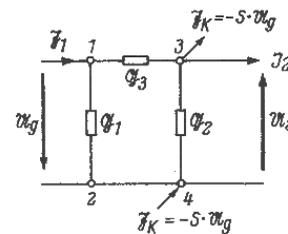


Bild 9c. Zusammenfassung der Leitwerte am Vierpoleingang und -ausgang

Es muß also für das geänderte Bild (10a) die Einströmung zu U_2 phasengleich sein.

Nach wie vor gilt aber (nach 3) $\mathfrak{Z}_k = -S \cdot U_g$. Verwendet man also im Ersatzbild $S \cdot U_g$, so ist der Pfeil gegenphasig zu U_2 einzutragen (Bild 10 b).

²⁾ Mth 81, Bild 8

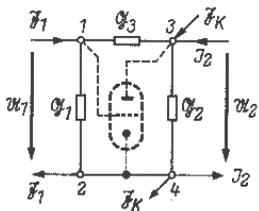


Bild 10a. Die Röhre in der Vierpol- π -Schaltung, U_2 von 3 nach 4 gerichtet. Die Lage der Einströmung I_3

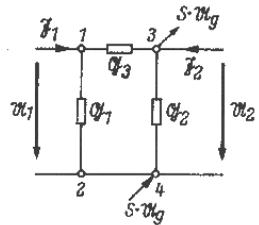


Bild 10b. Entspricht 10a, anstelle I_3 ist $S \cdot U_g$ eingesetzt

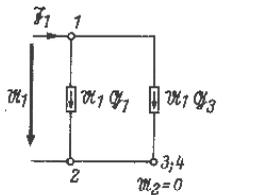


Bild 10c. Klemmen 3,4 kurzgeschlossen zur Bestimmung von Y_1

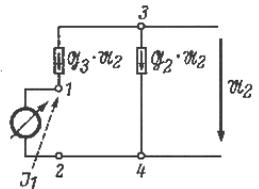


Bild 10d. Bestimmung von Y_2

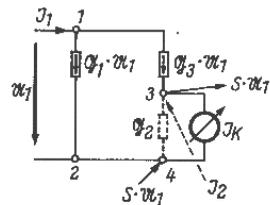


Bild 10e. Bestimmung von Y_3

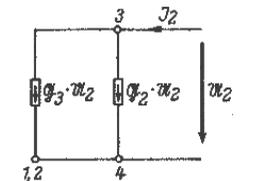


Bild 10f. Ersatzschaltung zur Berechnung von Y_4

3. Anwendung der Tabelle 1 von Mth 81, Blatt 2 zur Bestimmung der Vierpolkonstanten.

Wie bereits in Mth 81 ausgeführt, kann man die Vierpolkonstanten durch Messung bestimmen, ohne daß die Schaltung des Vierpols bekannt ist. In der betrachteten Tabelle 1, die links unten auf diesem Blatt nochmals wiedergegeben wird, ist die innere Schaltung bekannt, so daß man die Konstanten nach Kirchhoff oder durch Messung bestimmen kann. Für den aktiven Vierpol in π liefert die Tabelle 1 folgende Bestimmungsgleichungen:

$$Y_1 (U_2 = 0) = \frac{I_3}{U_1}; \text{ für Kurzschluß an 3...4} \quad (3)$$

$$Y_2 (U_1 = 0) = \frac{I_{1K}}{U_2}; \text{ für Kurzschluß an 1...2} \quad (4)^a)$$

$$Y_3 (U_2 = 0) = \frac{I_{2K}}{U_1}; \text{ für Kurzschluß an 3...4} \quad (5)^a)$$

$$Y_4 (U_1 = 0) = \frac{I_2}{U_2}; \text{ für Kurzschluß an 1...2} \quad (6)$$

Diese Gleichungen werden für die Fälle Katoden-, Gitter- und Anodenbasis-Schaltung angewendet.

a) Katodenbasisschaltung

In Bild 10b ist die Katodenbasisschaltung dargestellt, wobei die gewählte Bezeichnung der Vierpolgrößen für Mth 81 entnommen sind.

Für Kurzschluß an 3...4 ergibt sich Bild 10c. Daraus kann direkt für Y_1 abgelesen werden: $Y_1 = G_1 + G_3$

Für Kurzschluß an 1...2 in Bild 10b erhält man Bild 10d

$$Y_2 = \frac{I_{1K}}{U_2} = \frac{-G_3 \cdot U_2}{U_2} = -G_3 \quad (7)$$

In Bild 10d ist die im Vierpol angenommene Stromrichtung I_1 eingezeichnet. Da der Strom $G_3 \cdot U_2$ entgegen der Richtung von I_1 fließt, muß man ihn negativ einsetzen.

Zur Bestimmung von I_{2K} muß an 3...4 kurzgeschlossen werden. Dazu betrachte man Bild 10e.

Ist der Leitwert des Strommessers für $I_{2K} \gg G_2$, wird

$$I_{2K} = S \cdot U_1 - G_3 U_1 \quad (8)$$

Die Richtung von $G_3 \cdot U_1$ ist wieder der von I_2 entgegengesetzt. Es wird die Vierpolkonstante

$$Y_3 = \frac{I_{2K}}{U_1} = S - G_3 \quad (9)$$

Schließlich ergibt sich für

$$Y_4 = \frac{I_2}{U_2} = G_2 + G_3 \quad (10)$$

nach dem Bild 10f.

Setzt man die Vierpolkonstanten $Y_1 \dots Y_4$ ein, erhält man für die Röhre in Katodenbasisschaltung die Gleichungen

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= U_1 \cdot (G_1 + G_3) - U_2 G_3 \\ I_2 &= U_1 (S - G_3) + U_2 (G_2 + G_3) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{für Katoden-} \\ \text{basis-Schaltung} \end{array} \quad (11)$$

^{a)} In FtA Mth 81/2 Tabelle 1 ist

$$Y_2 \text{ definiert als } -\frac{I_{1K}}{U_2} \text{ und}$$

$$Y_3 \text{ definiert als } -\frac{I_{2K}}{U_1}$$

um bei der Berechnung nicht mehr auf die Stromrichtung Rücksicht nehmen zu müssen. Für die Berechnung des aktiven Vierpols ist es besser von Fall zu Fall die Stromrichtung zu überprüfen, da nach die Einströmung durch die Röhre hinzutritt. — Also in Vierpol einfließende Ströme (I_1, I_2) positiv, herausfließende Ströme negativ ansetzen.

Tabelle 1

Bestimmung der Vierpolkonstanten durch Messung

Zu bestimmende Konstante	Meß-Schema	Gemesene Größen	Bestimmungsgleichungen
B_1	Leerlauf an 3,4	U_1, I_1	$U_1/I_1 = B_1$
B_2	Leerlauf an 1,2	U_{1L}, I_2	$U_{1L}/I_2 = B_2$
B_3	Leerlauf an 3,4	U_{2L}, I_1	$U_{2L}/I_1 = B_3$
B_4	Leerlauf an 1,2	U_2, I_2	$U_2/I_2 = B_4$
B_5	Kurzschluß an 3,4	U_1, I_{2K}	$U_1/I_{2K} = -B_5$
B_6	Kurzschluß an 3,4	U_1, I_1	$U_1/I_1 = B_6$
Y_1	Kurzschluß an 3,4	I_3, U_1	$I_3/U_1 = Y_1$
Y_2	Kurzschluß an 1,2	I_{1K}, U_2	$I_{1K}/U_2 = -Y_2$
Y_3	Kurzschluß an 3,4	I_{2K}, U_1	$I_{2K}/U_1 = -Y_3$
Y_4	Kurzschluß an 1,2	I_2, U_2	$I_2/U_2 = Y_4$
Y_5	Leerlauf an 3,4	I_1, U_2	$I_1/U_2 = Y_5$
Y_6	Leerlauf an 1,2	I_2, U_2	$I_2/U_2 = Y_6$
B_1	Leerlauf an 3,4	U_1, U_{2L}	$U_1/U_{2L} = B_1$
B_2	Kurzschluß an 3,4	I_1, I_{2K}	$I_1/I_{2K} = -B_2$
B_3	Leerlauf an 1,2	U_{1L}, U_2	$U_{1L}/U_2 = B_3$
B_4	Kurzschluß an 3,4	I_{2K}, I_1	$I_{2K}/I_1 = -B_4$

b) Gitterbasisschaltung (GB)

Die Gitterbasisschaltung ist in Bild 11 dargestellt. Während bei der Katodenbasisschaltung die steuernde Spannung von Gitter nach Katode gerichtet ist, liegt bei der Gitterbasisschaltung die umgekehrte Spannungsrichtung vor. Dementsprechend muß die Pfeilrichtung für die Einströmung $S \cdot U_1$ umgekehrt wie bei der Katodenbasisschaltung gerichtet sein.

Nach dem gleichen Verfahren und der gleichen Betrachtungsweise der Stromrichtungen wie unter 4a erhält man für die Vierpolkonstanten der Gitterbasisschaltung die folgenden Beziehungen:

$$Y_1 = S + G_1 + G_2 \quad \text{(Bild 11a)} \quad (13)$$

$$Y_2 = -G_2 \quad (14)$$

$$Y_3 = -(S + G_2) \quad \text{(Bild 11b)} \quad (15)$$

$$Y_4 = G_2 + G_3 \quad (16)$$

$Y_1 \dots Y_4$ eingesetzt ergibt die Vierpolgleichungen der GB-Schaltung mit

$$Z_1 = U_1 (S + G_1 + G_2) - U_2 G_2 \quad (17)$$

$$Z_2 = -U_1 (S + G_2) + U_2 (G_2 + G_3) \quad (18)$$

c) Anodenbasisschaltung (AB)

Im Falle der Anodenbasisschaltung ist die Anode der Röhre wechselstrommäßig an Masse gelegt. Dies geschieht beispielsweise mit einem großen Kondensator.

Die steuernde Spannung zwischen Gitter und Katode liegt bei der AB-Stufe mit keinem Bezugspunkt mehr am Massepotential und ist daher weder mit der Eingangsspannung noch mit der Ausgangsspannung identisch. Sie ist in Bild 12 a mit U_{13} eingetragen und von Gitter nach Katode gerichtet. Damit ist auch die Richtung der Einströmung $S \cdot U_{13}$ festgelegt. Wie in der Katodenbasisschaltung tritt sie im Katodenanschlußpunkt ein und im Anodenanschlußpunkt aus.

In gleicher bekannter Weise erhält man die Vierpolkonstanten mit

$$Y_1 = G_1 + G_3 \quad (19)$$

$$Y_2 = -G_1 \quad \text{(Bild 12b)} \quad (20)$$

$$Y_3 = -(S + G_1) \quad (21)$$

Die Konstante Y_4 sei zum Schluß nochmals mit Hilfe eines Ersatzbildes 12b abgeleitet.

Für Kurzschluß am Eingang zur Bestimmung $Y_4 = \frac{I_2}{U_2}$ zeigt

sich im Bild 12b, daß die Einströmungsrichtung entgegengesetzt einzutragen ist, da $U_{12} = -U_2$ ist.

Weiter erhält man dann

$$Y_4 = \frac{I_2}{U_2} = \frac{G_2 \cdot U_2 + G_1 \cdot U_2 + S \cdot U_2}{U_2} \quad \text{und} \quad (22)$$

$$Y_4 = S + G_2 + G_3 \quad (23)$$

Somit erhält man für die Anodenbasisschaltung durch Einsetzen der Konstanten die Vierpolgleichung

$$Z_1 = U_1 (G_1 + G_3) - U_2 G_1 \quad (24)$$

$$Z_2 = -U_1 (S + G_1) + U_2 (S + G_2 + G_3) \quad (25)$$

Bild 11. Das π -Ersatzbild für eine Röhre in Gitterbasis-Schaltung

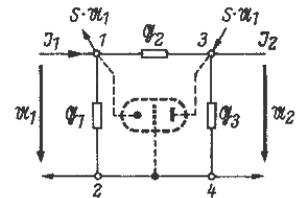


Bild 11a. Ausgang von Bild 11 zur Ermittlung von Y_1 kurzgeschlossen

$$S \cdot U_1 + G_1 U_1 + G_2 U_1 = I_1$$

(Summe der abfließenden Ströme = dem zufließenden Strom)

$$\frac{I_1}{U_1} = S + G_1 + G_2$$

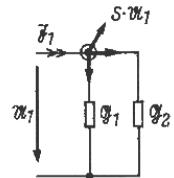


Bild 11b. Zur Berechnung von Y_3 für die GB-Schaltung

$$I_{2K} = S \cdot U_1 + U_1 \cdot G_2$$

$$I_{2K} = (S + G_2) \cdot U_1$$

Da I_{2K} von 3 \rightarrow 4 fließt, ist er negativ einzusetzen

$$I_{2K} = -(S + G_2) \cdot U_1$$

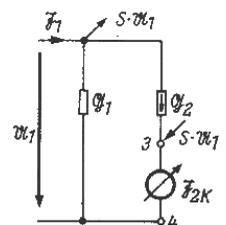


Bild 12a. Die Röhre in Anodenbasis-Schaltung

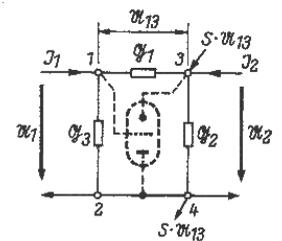
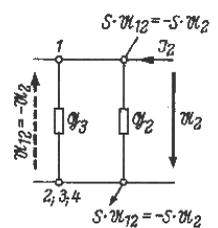
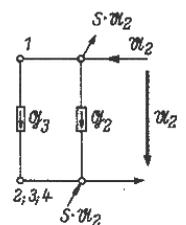


Bild 12b. Berechnung der Vierpolkonstanten einer Anodenbasis-Schaltung



Gitter und Anode sind miteinander kurzgeschlossen. Zwischen Gitter und Katode steht die Spannung U_{13} , in diesem Fall $U_{13} = -U_2$. Die Einströmung $S \cdot U_{13}$ fließt nicht über G_1 und G_2 , sondern über die Spannungsquelle U_2 , deren Innenwiderstand Null ist, da U_2 als konstante, belastungsunabhängige Spannung angesetzt wird.

Bild 12c. Die Bestimmung von Y_4 in der AB-Schaltung



Mth 83

5. Allgemeine Methode zur Bestimmung der Vierpolkonstanten für KB-, GB- und AB-Stufe

Die im Abschnitt 4. angewandte Methode zur Gewinnung der Vierpolkonstanten der KB-, GB- und AB-Stufe benötigt die Einschaltung von Ersatzbildern entsprechend der Meßmethode der Vierpolkonstanten. Damit ist diese einmal zeitraubend und zum anderen können sich sehr leicht Fehler einschleichen, besonders dann, wenn die Schaltung innerhalb des Vierpols mit mehr als drei Gliedern dargestellt werden muß. Es sei daher eine Methode gezeigt, die zunächst offen läßt, welche von den drei Elektroden geerdet ist. Daraus folgt, daß die drei

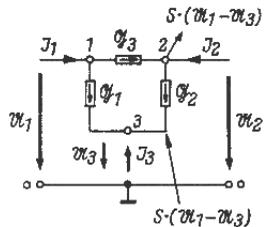


Bild 13. Allgemeine Methode zur Bestimmung der Vierpolkonstanten

Elektroden gegen einen Punkt 0 eine bestimmte Spannung besitzen. Im Bild 13 ist dieser Zustand dargestellt. Die steuernde Spannung ist wieder $U_g = U_1 - U_3$ und damit die Einstromung $S \cdot (U_1 - U_3)$. Für die drei Knotenpunkte (1, 2 und 3) werden nun die Gleichungen aufgestellt:

1. $J_1 = (U_1 - U_3) G_1 + (U_1 - U_2) \cdot G_3$ (26)
2. $J_2 = -(U_1 - U_2) G_3 + (U_2 - U_3) G_2 + (U_1 - U_3) S$ (27)
3. $J_3 = -(U_1 - U_3) G_1 - (U_2 - U_3) G_2 - (U_1 - U_3) S$ (28)

Die Gleichungen (26 bis 28) werden geordnet und nach Tabelle 2 untereinander geschrieben.

a) KB-Schaltung

Hierfür ist $U_3 = 0$, da der Punkt 3 an 0 liegt. Man erhält dann mit 1a) und 2a) zwei voneinander unabhängige Gleichungen, während 3a) aus der Summe von 1a) und 2a) multipliziert mit -1 hervorgeht.

$$J_1 = U_1 (G_1 + G_3) - U_2 G_3 \quad (32)$$

$$J_2 = U_1 (S - G_3) + U_2 (G_2 + G_3) \quad (33)$$

In dem Gleichungssystem bedeutet dies, daß man die Spalte von U_3 und die Reihe von J_3 streicht.

b) GB-Schaltung, d. h. $U_1 = 0$.

Entsprechend ergibt sich durch Streichen der Spalte für U_1 und der Reihe für J_1 :

$$J_2 = U_2 (G_2 + G_3) - U_3 (G_2 + S) \quad (34)$$

$$J_3 = -U_2 G_2 + U_3 (G_1 + G_2 + S) \quad (35)$$

Da U_3 die steuernde Spannung ist, muß man entsprechend umschreiben

$$J_3 = U_3 (G_1 + G_2 + S) - U_2 G_2 \quad (36)$$

$$J_2 = -U_3 (G_2 + S) + U_2 (G_2 + G_3) \quad (37)$$

c) AB-Schaltung, d. h. $U_2 = 0$

Diese erhält man durch Streichen der Spalte für U_2 und der zweiten Zeile des Gleichungssystems.

$$J_1 = U_1 (G_1 + G_3) - U_3 G_1 \quad (38)$$

$$J_3 = -U_1 (G_1 + S) + U_3 (G_1 + G_2 + S) \quad (39)$$

Vergleicht man die Vierpolgleichung (11) und (12) mit (32) und (33), (17) und (18) mit (36) und (37) sowie (24) und (25) mit (38) und (39) erhält man für die Vierpolkonstanten die gleichen Werte.

Beim Vergleich von (17), (18) mit (36), (37) sowie (24), (25) mit (38), (39) fällt auf, daß in den äquivalenten Gleichungen teilweise verschiedene Strom- und Spannungskomponenten genannt sind. Das rührt daher, daß bei Gewinnung der Gleichungen (17)... usw. in den Schaltungen nur mit den Strömen J_1, J_2 sowie den Spannungen U_1, U_2 gearbeitet wurde.

Der Übergang ist aber leicht zu bewerkstelligen. Beispiel: GB-Schaltung. Punkt 1 mit 0 verbunden (Bild 13). Die zwischen Katode (3) und Gitter (Erde) (1) wirksame Spannung heißt hier U_3 , in Bild 11 dagegen U_1 . Der zum Katodenanschlußpunkt fließende Strom heißt in Bild 13 J_3 , in Bild 11 dagegen J_1 .

In der Tabelle 3 sind die Vierpolkonstanten der drei Schaltungsarten zusammengestellt.

Tabelle 2

1a	$J_1 =$	$U_1 (G_1 + G_3)$	$= U_2 G_3$	$- U_3 G_1$	(29)
2a	$J_2 =$	$U_1 (S - G_3)$	$+ U_2 (G_2 + G_3)$	$- U_3 (G_2 + S)$	(30)
3a	$J_3 =$	$- U_1 (G_1 + S)$	$- U_2 G_2$	$+ U_3 (G_1 + G_2 + S)$	(31)

Katodenbasis-Schaltung: Spalte U_3 und Reihe J_3 streichen
 Gitterbasis-Schaltung: Spalte U_1 und Reihe J_1 streichen
 Anodenbasis-Schaltung: Spalte U_2 und Reihe J_2 streichen

Tabelle 3

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Katodenbasis	$G_1 + G_3$	$- G_3$	$- (G_3 - S)$	$G_2 + G_3$
Gitterbasis	$G_1 + G_2 + S$	$- G_2$	$- (G_2 + S)$	$G_2 + G_3$
Anodenbasis	$G_1 + G_3$	$- G_1$	$- (G_1 + S)$	$G_1 + G_2 + S$

Berichtigungen zu Mth 83

Mth 83/1a, Bild 4
 Die Beschriftung der Ordinaten der drei Kurven muß -- von oben nach unten -- heißen
 U_g statt U_a J_a statt I_a U_a statt U_g

Mth 83/2, Bild 9b
 Der zwischen „4“ und „3“ nach oben gerichtete Pfeil muß mit U_a statt U_g beschriftet sein.