

1. Aufgabe

Die „automatische Lautstärkeregelung“ (ALR) wird teilweise auch als „Fadingregelung“ bezeichnet. Damit wird aber nur ein Teil der Aufgaben gekennzeichnet, nämlich

der Ausgleich von Feldstärkeschwankungen eines Senders (Fading).

Das moderne Gerät soll aber auch bei Abstimmung auf verschiedene Sender und Verwendung stark unterschiedlicher Antennen gleiche Lautstärke abgeben.

Die ALR muß also auch

den Ausgleich von Feldstärke- bzw. Eingangsspannungs-Unterschieden zwischen verschiedenen Sendern und Antennen vornehmen können.

Die dritte Aufgabe der ALR ist es,

Übersteuerungen einzelner Röhren zu verhindern.

2. Arten der Lautstärkeregelung

a) Erzeugung der Regelspannung in einem besonderen Verstärker (Bild 1)

Die Antennenspannung wird sowohl dem Empfänger als auch dem Regelspannungsverstärker zugeführt. Mit der hier erzeugten Regelspannung werden im Empfänger die Hf- und Zf-Röhren geregelt. Dieses Verfahren ist kostspielig, gibt aber die Möglichkeit einer vollständigen Ausregelung von Eingangsspannungsschwankungen.

b) Erzeugung der Regelspannung im Empfänger selbst.

Rückwärtsregelung (Bild 2).

Diese Schaltung ist möglich, da in jedem Empfänger an der Demodulationsdiode eine negative Regelspannung abgenommen werden kann, bzw. die Anwendung einer besonderen Hilfsdiode (Regelspannungsdioden) keine wesentliche Verteuerung bringt. Im Fall der Rückwärtsregelung (Bild 2) muß aber in Kauf genommen werden, daß Eingangsspannungsschwankungen nicht vollständig ausgeregelt werden können. Steigt z. B. die Eingangsspannung über einen gegebenen Wert, so muß die Regelspannung sich vergrößern, damit die Verstärkung entsprechend vermindert werden kann. Eine höhere Regelspannung bedeutet aber wegen der Proportionalität zwischen der Spannung an Regel- und Demodulationsdiode auch eine Erhöhung der Nf-Spannung, also eine unvollständige Regelung.

Vorwärtsregelung

Ein vollständiger Ausgleich der Schwankungen, wie er bei getrenntem Regelverstärker erreicht werden kann, ist aber bei der Schaltung nach b) auch möglich, wenn neben der Rückwärtsregelung eine Vorwärtsregelung angewendet wird (Bild 3). Dabei ist die Höhe der Regelsteilheit der Nf-Stufe dafür entscheidend, ob vollständige Ausregelung möglich ist. Bei zu großer Regelsteilheit kann sogar Überregelung eintreten. Dies geschieht, wenn bei Verdopplung der Regelspannung die Nf-Verstärkung auf weniger als die Hälfte abnimmt.

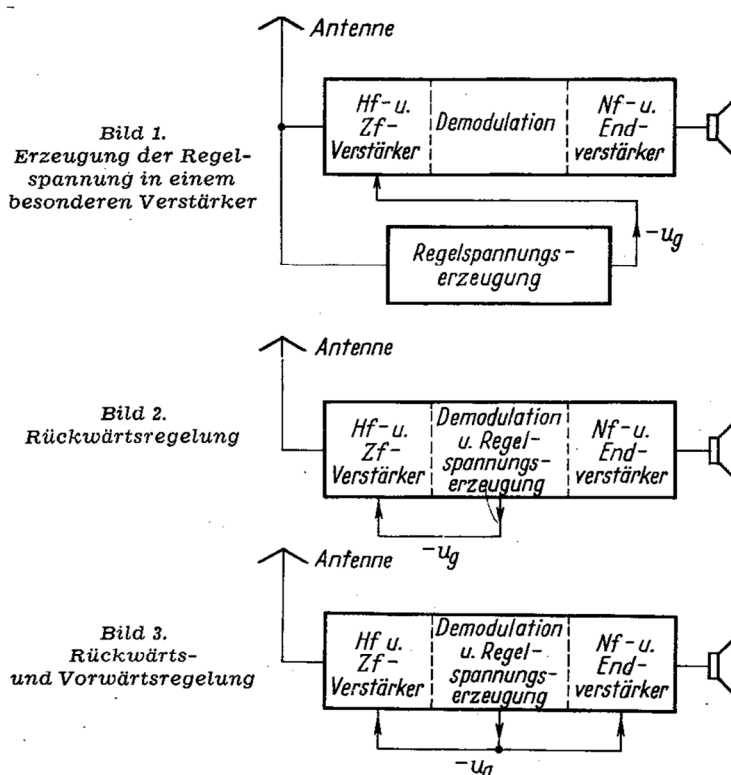
3. Regelkurve

Diese Kurve gibt die Niederfrequenzspannung in Abhängigkeit von der Eingangsspannung an. Sie gilt für voll aufgedrehten Lautstärkereglern und für einen Modulationsgrad von 30 %. Für den Verlauf dieser Regelkurve wird folgendes gefordert:

- Oberhalb eines bestimmten Schwellwertes soll die Ausgangsspannung von der Eingangsspannung unabhängig sein. Die Kurve soll also in diesem Gebiet waagrecht verlaufen.
- Für stärkere Sender soll auch schon bei kleineren Modulationsgraden als 30 % die Endröhre voll angesteuert werden können (gilt vornehmlich für Rundfunkempfänger).
- Der Einsatzpunkt der ALR soll bei möglichst niedrigen Eingangsspannungen liegen, damit Fadings schwach einfallender Stationen ausgeregelt werden. Das bedingt niedrige Verzögerungsspannung.

Bild 4 zeigt verschiedene Regelkurven.

Kurve 1 erfüllt Bedingung a, aber nicht Bedingung b.



- Kurve 2 erfüllt Bedingung a und b, liegt aber hinsichtlich der Bedingung c ungünstiger als Kurve 1.
- Kurve 3 erfüllt Forderung b, sie liegt hinsichtlich der Forderung c wie Kurve 1. Die Bedingung a wird nicht exakt eingehalten. Das ist aber zulässig und in den meisten Fällen sogar erwünscht. Denn ein Rundfunk-Gerät, das bei stark einfallenden Sendern nicht übersteuert werden kann, wird oft als „unempfindlich“ bezeichnet.
- Kurve 4 Da keine Verzögerung, wird Bedingung c besser als bei Kurve 1 bis 3 erfüllt. Dagegen wird die volle Aussteuerung der Endröhre erst bei hohen Eingangsspannungen erreicht.

Die Wahl der Regelkurve stellt also einen Kompromiß zwischen den verschiedenen Forderungen und natürlich auch dem möglichen Aufwand dar. Denn z. B. ist ein waagerechter Verlauf wie bei Kurve 1 und 2 nur bei Anwendung der Vorwärtsregelung möglich, ferner verlangen niedrige Verzögerungsspannung und gute Regelkurve hohe Nf-Verstärkung.

Regelumfang

Bei empfindlichen Empfängern genügen etwa 25 µV am Gitter der ersten Röhre, um die Vergleichsleistung von 50 mW zu erzielen. Die höchste, bei stark einfallendem Sender vorliegende Spannung dagegen beträgt etwa 1 V.

Bei einer Schwankung 1 : 4 der Nf-Ausgangsspannung kann man noch von einem sehr guten Ausgleich sprechen, zumal vom menschlichen Ohr kleinere Spannungsschwankungen als 1:2 kaum wahrgenommen werden. Durch die ALR sind also Unterschiede in der Eingangsspannung von

$$\frac{25 \cdot 4}{1\,000\,000} = 1:10\,000 \quad \text{auszugleichen.}$$

4. Verzögerung~

a) Größe der Verzögerungsspannung

Für die Größe der Verzögerungsspannung gilt folgende Formel:

$$u_v = \frac{u_g \sim E}{V_v} \cdot \frac{\sqrt{2}}{0,3} + u_{\text{Anlauf}}$$

$u_g \sim E$ ist die für volle Aussteuerung der Endröhre erforderliche Gitterwechselspannung

V_v ist die Verstärkung der Nf-Vorstufe (voll aufgedrehter Lautstärkeregler)

$\frac{u_g \sim E}{V_v}$ ist die am Gitter der Vorröhre erforderliche Wechselspannung für volle Aussteuerung der Endröhre

$\frac{u_g \sim E}{V_v \cdot 0,3}$ ist die notwendige Zf-Ausgangsspannung (V_{eff}) bei $m = 0,3$ und

voller Ankopplung der Diode an das letzte Bandfilter

und $\frac{u_g \sim E \cdot \sqrt{2}}{V_v \cdot 0,3}$ die Amplitude der Zf-Ausgangsspannung.

Ausgangsspannung.

Mit Rücksicht auf die Spitzengleichrichtung an der Regelspannungsdiode ist die Verzögerungsspannung dieser Amplitude gleichzusetzen.

Da ein Diodenstrom schon bei schwach negativer Anodenspannung (Anlaufspannung) fließt, muß die Verzögerungsspannung um diesen Betrag ($\sim 0,6$ V) erhöht werden.

Beispiel: Endröhre EL 84

notwendige Gitterwechselspannung für volle Aussteuerung = 4 V_{eff}

Vorröhre = Triode der EABC 80

Wird die Gegenkopplungsspannung im Fußpunkt des Lautstärkereglers eingespeist, so ist diese bei voll aufgedrehtem Regler klein. Sie wird hier mit 2 angenommen dann ist

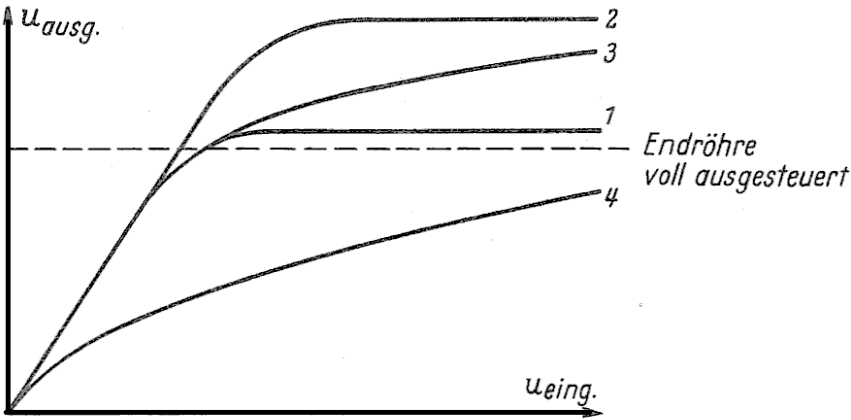


Bild 4. Verschiedener Verlauf der Ausgangsspannung (Regelkurven)

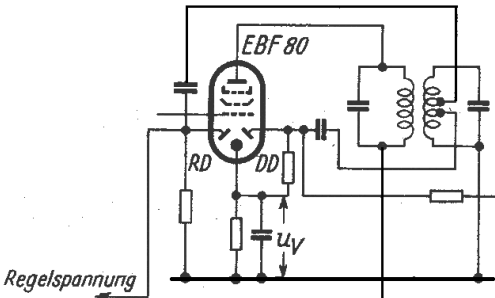
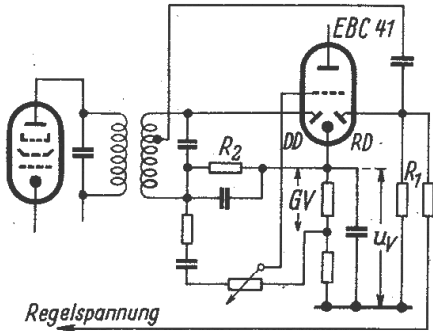
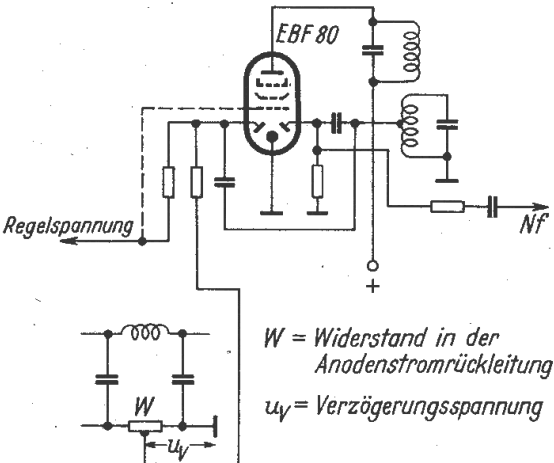


Bild 5. Regeldiode kombiniert mit Zf-Pentode. RD = Regelspannungsdiode, DD = Demodulator diode, u_v = Verzögerungsspannung = Grundvorspannung der Röhre EBF 80



GV = Gittervorspannung für EBC 41

Bild 6. Regeldiode kombiniert mit Nf-Verstärkerröhre



W = Widerstand in der Anodenstromrückleitung
 u_v = Verzögerungsspannung

Bild 7. Regeldiode kombiniert mit Zf-Pentode, Verzögerungsspannung durch Widerstand in der Anodenstromrückleitung erzeugt

$$V_v = 30\text{fach und } \frac{u_g \sim E \cdot \sqrt{2}}{V_v \cdot 0,3} = 0,6 \text{ V}$$

Ergibt sich in diesem Ausdruck ein kleinerer Wert als 0,6 V, so ist folgendes zu beachten:

Da die Diode erst von $\sim 0,4 \text{ V}_{\text{eff}}$ linear und somit verzerrungsfrei gleichrichtet, wird in die Gleichung für die Verzögerungsspannung meist — unabhängig von dem errechneten Wert — die Zf-Amplitude mindestens zu $0,4 \text{ V} \times \sqrt{2} = 0,6 \text{ V}$ eingesetzt, zumal dann auch bei kleineren Modulationsgraden noch die volle Aussteuerung der Endröhre möglich ist. Setzt man dementsprechend die Amplitude der Zf-Ausgangs-Spannung, von der ab eine Regelung erfolgen soll, mit 0,6 V an, so muß die Verzögerungsspannung $0,6 \text{ V} + U_{\text{Anlauf}} = 0,6 + 0,6 \text{ V} = 1,2 \text{ V}$ betragen.

b) Erzeugung der Verzögerung

Es gibt zwei Möglichkeiten, um die Verzögerung zu erzeugen:

b1) Die Regeldiode wird durch eine Verzögerungsspannung gesperrt. Nur Zf-Spannungen, die größer als die Verzögerung sind, können gleichgerichtet werden.

Zu b1): Dieses Verfahren ist nur anwendbar, wenn für die Regelspannungserzeugung eine gesonderte Diode zur Verfügung steht. Denn bei gemeinsamer Diode würden ja die Zf-Spannungen schwach einfallender Sender infolge der Sperrung durch die Verzögerungsspannung nicht demoduliert werden können.

b2) Die durch schwache Stationen erzeugte Regelspannung wird durch eine Hilfs- (Schalter-)diode kurzgeschlossen (z. B. Dreiodenschaltung).

Schaltungsbeispiele für b 1)

Regeldiode kombiniert mit Zf-Ausgangsröhre (z. B. EBF 80) (Bild 5).

Regeldiode kombiniert mit Nf-Verstärkerröhre (z. B. EBC 41) (Bild 6).

Regeldiode kombiniert mit Zf-Ausgangsröhre. Verzögerungsspannung durch Widerstand in der Anodenstromrückleitung erzeugt (Bild 7).

c) Verzerrungen durch die Verzögerung

Übersteigt die modulierte Zf-Amplitude die Verzögerungsspannung, dann wird die Diodenstrecke stromführend und das letzte Zf-Bandfilter wird zusätzlich durch die Regeldiode gedämpft.

Bei kleinen Zf-Spannungen (Bild 8a) tritt dieser Fall nie ein. Bei großen Zf-Spannungen wird der Verzögerungswert überschritten, so daß das letzte Bandfilter ständig durch die Regeldiode bedämpft bleibt

(Bild 8c).

Bei mittleren Spannungswerten dagegen ist die Diode nur teilweise stromführend, das heißt, die Höhe der Dämpfung des Bandfilters wechselt dauernd (Bild 8b). Dadurch aber entstehen Verzerrungen, denn die Dämpfungsänderung bedeutet auch eine Verstärkungsänderung. Die Zf-Verstärkung ist also verschieden groß, je nachdem, ob die Verzögerungsspannung durch die modulierte Zf-Spannung über- oder unterschritten wird.

4. Verzögerung (Fortsetzung)

Da der entstehende Klirrfaktor schwer zu ermitteln ist, soll hier nur bestimmt werden, wann dieser Grenzfall eintritt. Das ist für kleine Trägerspannungen der Fall,

wenn $u_v \leq u_{Zf(Tr)} + u_{Nf}$ (Bild 9a)

$$u_v \leq u_{Zf(Tr)} \cdot (1+m) \quad u_{Zf(Tr)} = \text{unmodulierte Zf-Amplitude}$$

für große Trägerspannungen

wenn $u_v \geq u_{Zf(Tr)} - u_{Nf}$ (Bild 9b)

$$u_v \geq u_{Zf(Tr)} \cdot (1-m) \text{ ist.}$$

Bild 10 zeigt den maximal zulässigen Modulationsgrad über $u_{Zf(Tr)} = \alpha \cdot u_v$.

Dabei ist die Anlaufspannung der Diode vernachlässigt. Soll also z. B. für einen Modulationsgrad von ca. 67 % die Verzerrungsgrenze nicht überschritten werden, so muß $u_{Zf(Tr)}$ entweder $< 0,6 \cdot u_v$ oder $> 3 \cdot u_v$ sein.

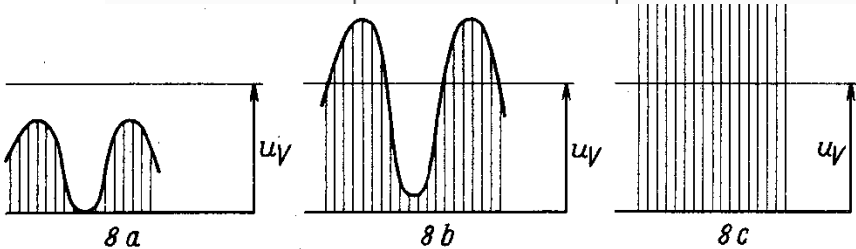
Setzt man wie unter 4a die Verzögerungsspannung mit 1,2 V an, so wird nach Bild 10 das Verzerrungsgebiet vermieden:

Zur Bestimmung der Antennen-Eingangsspannung aus der Zf-Spannung an der Diode ist mit einer

Zf- Verstärkung von

| bei einer Dioden- Zf-Spannung über | bei einer Anten- nen-Eingangs- spannung über | bei Modulations- grad |
|---------------------------------------|--|--------------------------|
| (V) | (µV) | (%) |
| 2,4 | 60 | 50 |
| 3,6 | 90 | 67 |
| 4,8 | 120 | 75 |
| 6,0 | 150 | 80 |

Bild 8.1
durch d
b = zeit



einer Mischverstärkung von 65
und einer Eingangsübersetzung von 1 : 2,5
als Beispiel gerechnet.
Diese Überlegungen zeigen aber, daß in
allen Fällen, in denen mit einer Nf-
Vorverstärkung, also niedriger
Verzögerungsspannung, gearbeitet wird,
solche Verzerrungen kaum bemerkbar
sein werden.

d) Verzerrungen durch das
Siebglied in der Regelleitung

Der in der Regelleitung liegende
Siebkondensator C_R sucht sich über den
Siebwiderstand R_R und den
Belastungswiderstand der Diodenstrecke
R_D dann zu entladen, wenn die Zf-Amplitude unter den Wert von u_R sinkt (Bild 11). Die Spannung u_R teilt sich
dann auf die beiden Widerstände R_R und R_D auf. Der an der Diodenanode
stehende Spannungsbetrag ist

$$\text{also } u_D = \frac{U_R \cdot R_D}{R_R + R_D}$$

Er ist genau wie die Verzögerungsspannung gerichtet und wirkt sperrend.
Das bedeutet aber, daß durch u_D gleichsam die Verzögerungsspannung
vergrößert, die Verzerrungsgrenze heraufgesetzt wird. Den Verzerrungs-
betrachtungen ist also die Summe von u_v + u_D zu Grunde zu legen.
Dabei ist die Größe u_D von dem Verhältnis R_D und R_R, sowie von u_R(≈u_{Zf(Tr)})
abhängig. R_R/R_D wird normalerweise zwischen 1/1 und 3/1 liegen. Es sei hier mit 3/2 angenommen.

$$\text{Dann ist } u_{ges} = u_v + u_D = u_v + u_R \cdot \frac{R_D}{R_R + R_D} = u_v + \frac{2}{5} \cdot u_R = u_v + \frac{2}{5} u_{Zf(Tr)}.$$

Die dabei getroffene Annahme u_R = U_{Zf(Tr)} gilt genügend genau für große Trägerspannungen; bei kleinen Zf-Spannungen müßte noch die Anlaufspannung berücksichtigt werden. Dieser Bereich kann aber hier vernachlässigt werden.

Mit der Formel u_{ges} = u_v + 2/5 u_{Zf(Tr)} ist die Kurve Bild 12 gezeichnet. Sie ergibt sich in folgender Weise.

Zuerst wird auf der oberen Abszissenachse u_{Zf(Tr)} = α · u_v aufgetragen. Die Teilung auf der unteren Abszissenachse ergibt dann aus der Formel für u_{ges}, wenn man darin für u_{Zf(Tr)} einsetzt: α · u_v, also u_{ges} = u_v + 2/5 α · u_v = u_v (1 + 2/5 α).

Beispiel:

Steht an der oberen Abszissenachse
U_{Zf(Tr)} = 2 · u_v, so muß an der unteren
Abszissenachse u_{ges} = (1 + 2/5 · 2) u_v = 9/5
u_v angeschrieben sein. [1]
Die Kurve für den maximalen
Modulationsgrad, der verzerrungsfrei
übertragen werden kann, berechnet sich aus
u_{Zf(Tr)} und u_{ges} wie Bild 13 zeigt.

Ein Vergleich der Kurven Bild 10 und Bild
12 zeigt also, daß nicht nur die
Verzögerungsspannung, sondern auch die
Entladung des Siebkondensators in der
Regelleitung für die Größe des
verzerrungsfrei übertragbaren Modulations-
grades maßgebend ist. Insbesondere ist zu
erkennen, daß bei großen Zf-Spannungen (u_{Zf(Tr)} > 5 x u_v) im wesentlichen die Entladung
des Siebkondensators entscheidend ist. Um
das zu unterstreichen, ist der max. mögliche
Modulationsgrad (gestrichelte Linie)
eingezeichnet, der sich ergibt, wenn ohne Verzögerungsspannung gearbeitet wird. Dabei ist das gleiche Verhältnis

| max. verzerrungsfreier Modulationsgrad in % | R _R /R _D |
|--|--------------------------------|
| 75 | 3 |
| 67 | 2 |
| 60 | 1,5 |
| 50 | 1 |

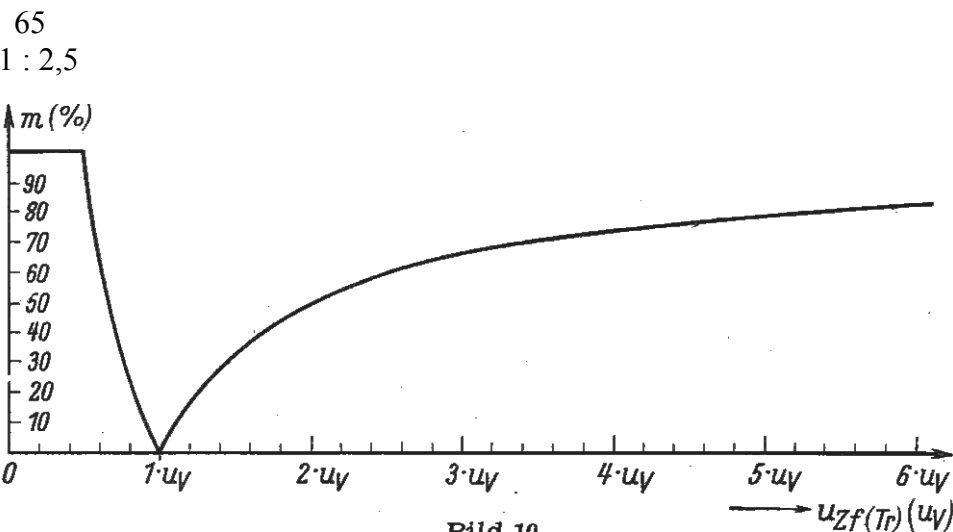


Bild 10
Max. zulässiger Modulationsgrad (bis zum Verzerrungseinsatz)

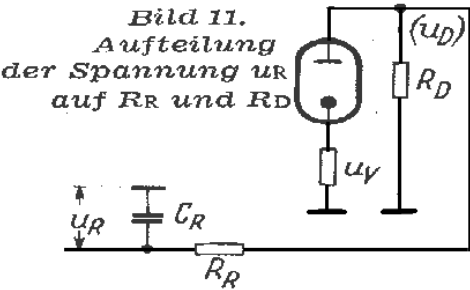


Bild 11.
Aufteilung
der Spannung u_R
auf R_R und R_D

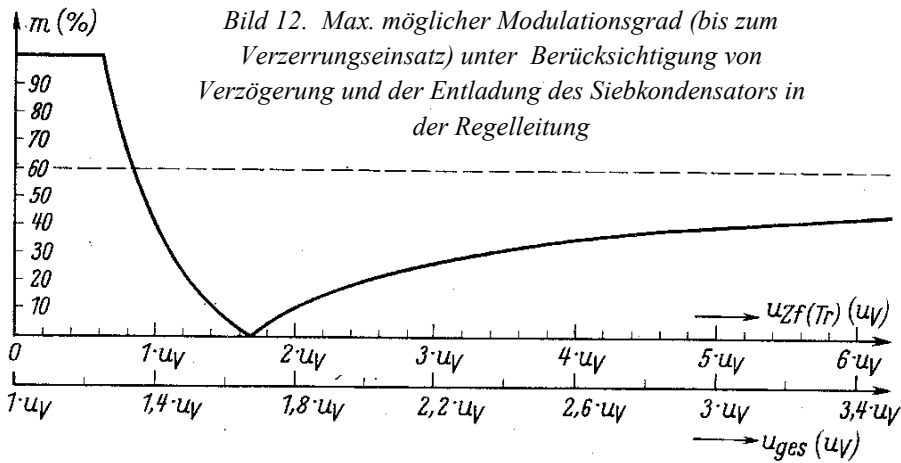


Bild 12. Max. möglicher Modulationsgrad (bis zum
Verzerrungseinsatz) unter Berücksichtigung von
Verzögerung und der Entladung des Siebkondensators in
der Regelleitung

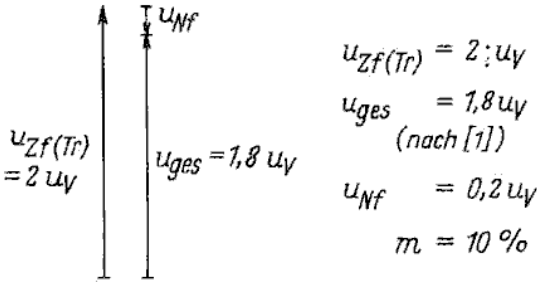


Bild 13. Hilfszeichnung zur Konstruktion der Kurve von Bild 12

R_R/R_D = 3/2 wie bei der ausgezogenen Kurve zu Grunde
gelegt. Also kann auch ohne Verzögerungsspannung
kein größerer Modulationsgrad als 60 % verzerrungsfrei
erreicht werden.

Daraus folgt aber: Das Überschreiten der theoretischen Verzerrungsgrenze kann nur ein allmähliches Einsetzen der Verzerrungen bringen, denn sonst müßten Geräte mit Verzögerung und ungünstigem Verhältnis R_R/R_D eine schlechte Wiedergabequalität besitzen. (Gemessene Verzerrungswerte lagen meist unter 3 %).

Es genügt, durch Anwendung einer Nf-Vorstufe die Verzögerungsspannung kleinzuhalten.
Das Verhältnis R_R/R_D soll möglichst groß sein.
Die durch die Regelspannungsdiode erzeugte Dämpfungsänderung soll klein sein; das erfordert einen hohen Arbeitswiderstand.

e) Die durch eine Verzögerungsspannung entstehenden Verzerrungen lassen sich vermeiden

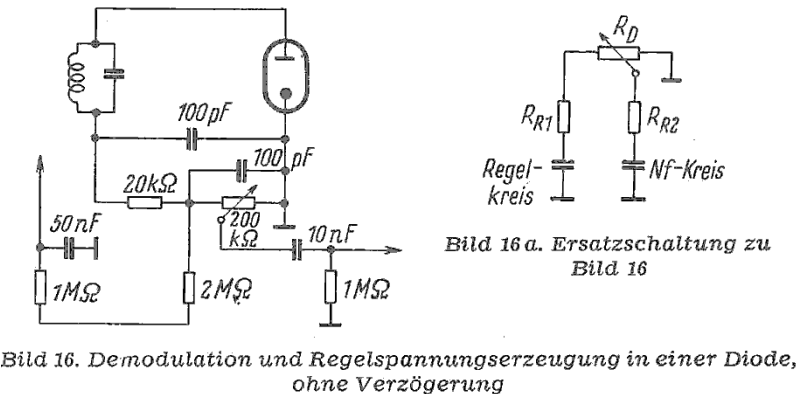
Bei Anwendung des Verfahrens b 2) — bei schwach einfallenden Stationen wird die Regelspannung durch eine Schalterdiode kurzgeschlossen — können die durch die Verzögerungsspannung, nicht aber durch Entladung des Siebkondensators entstehenden Verzerrungen vermieden werden.

Bei dieser Regelschaltung wird in die Regelleitung noch zusätzlich eine Diodenstrecke geschaltet, entweder, wie Bild 14 zeigt, die Strecke Bremsgitter-Katode der Röhre EF 85 oder nach Bild 15 eine gesonderte Diode.

Solange (Bild 14) die erzeugte Regelspannung kleiner als die Spannung an Katode der EBF 80 ist, ist Gitter 3 der EF 85 positiv und diese Gitter/Katodenstrecke leitend. Dadurch wird die Regelspannung kurzgeschlossen. Bei höherer Regelspannung wird Gitter 3 negativ; diese Gitterstrecke wird gesperrt, die Regelung setzt ein.

Ähnlich wirkt auch die Dreiodenschaltung (Bild 15). Festzuhalten ist aber, daß dadurch nur der kleinere Teil der Verzerrungen beseitigt werden kann. Die Verzerrungen durch die Entladung von C_R bleiben bestehen.

f) Schaltungen mit nur einer Diode



In manchen Fällen, besonders bei Anwendung der EAF 42 in einem Normalwellengerät oder der EABC 80 in einem kombinierten (AM/FM-)Gerät steht nur eine Diode für Amplitudendemodulation und Regelspannungserzeugung zur Verfügung (Bild 16).

In diesem Fall sind die in Abschnitt 4 besprochenen Verzerrungsfragen aus zwei Gründen besonders zu beachten.

1) Bei Verwendung einer getrennten Regeldiode erzeugt die Entladung des Kondensators C_R (Bild 11) u. U. eine Sperrung der Regeldiode in den Modulationstälern und damit eine geringere Dämpfung des letzten Zf-Bandfilters. Bei Benutzung nur einer Diode wird dagegen unter der gleichen Bedingung die Demodulationsdiode gesperrt, also eine Demodulation unmöglich gemacht.

2) Bei Verwendung einer besonderen Regeldiode ist nur die Entladung des in der Regelleitung liegenden Siebkondensators (C_R in Bild 11) zu berücksichtigen. Bei nur einer Diode dagegen ist zu beachten (Bild 16), daß die Regelgleichspannung sowohl an diesem Siebkondensator als auch an dem Trennkondensator in der Nf-Abnahmeleitung steht.

Für beide Zweige ist also ein günstiges Verhältnis R_R/R_D zu wählen.
Im Regelkreis ist nach Bild 16 $R_{R1} = 3 \text{ M}\Omega$, R_{D1} ist das Lautstärkepotentiometer.

Im Nf-Kreis ist $R_{R2} = 1 \text{ M}\Omega$ und R_{D2} der zwischen Abgriff und Erde liegende Teil des Reglers. Im ungünstigsten Fall ist der volle Wert dieses Potentiometers für R_{D2} einzusetzen.

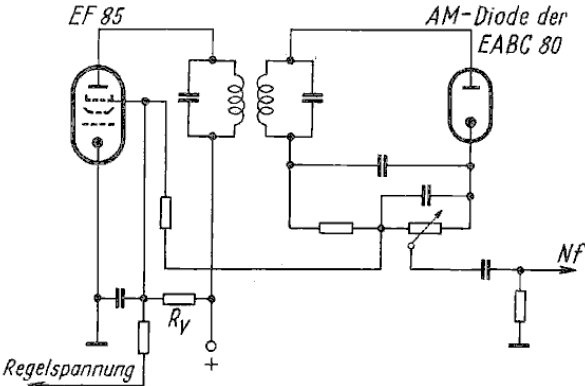
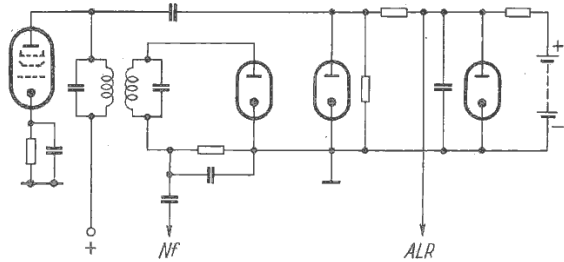
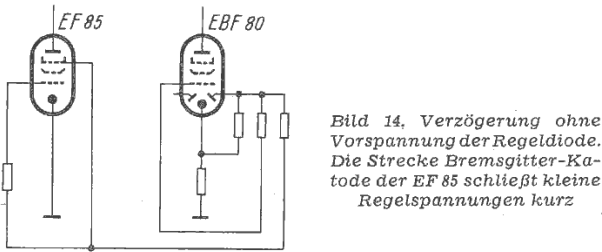
Daraus ergibt sich die Ersatzschaltung Bild 16 a. Da die Ladespannungen an den beiden Kondensatoren gleich sind, hat der Ersatzwiderstand für R_{R1} und R_{R2} die Größe:

$$\frac{R_{R1} \cdot R_{R2}}{R_{R1} + R_{R2}} = R_{Re}$$

Für die Bestimmung des größten Modulationsgrades, bei dem die Verzerrungs-grenze nicht erreicht wird, ist also nach Bild 16 einzusetzen

$$R_{Re}/R_D = \frac{3 \cdot 1}{3 + 1} \cdot \frac{1}{0,25} = 0,75 / 0,25 = 3$$

Verzögerung



Natürlich kann in solcher Schaltung mit nur einer Diode die Diodenstrecke selbst nicht verzögert werden. Hier ist das Verfahren nach Bild 14 zu benutzen. Ein Beispiel bringt Bild 17. Bei kleinen Regelspannungen ist die Strecke G3 - K der EF 85 leitend, die Regelleitung führt keine Spannung. Erst wenn die an der Diode erzeugte negative Spannung größer als die über Rv, an G3 gebildete positive Spannung ist, setzt die Regelung ein.

5. Einzelheiten der Regelschaltung

a) Erzeugung der Regelspannung

Die Regelspannung wird durch Gleichrichtung der Zf-Spannung gewonnen. Die Entnahme dieser Spannung erfolgt am letzten Zf-Bandfilter, denn nur dort steht eine genügend große Amplitude zur Verfügung. Bei starkem Träger werden Regelspannungen von ca. 20 V benötigt.

Die verstärkte Zf-Spannung wird also durch eine Diode demoduliert. Es entsteht eine pulsierende Gleichspannung, das heißt, der Gleichspannung ist noch eine Tonfrequenz, nämlich die Modulationsfrequenz überlagert. Nach Absiebung dieser Nf-Amplitude erhält man die gewünschte reine Gleichspannung, die Regelspannung.

b) Anschluß der Regeldiode an das letzte Zf-Bandfilter

Die Diode kann entweder an den ersten oder zweiten Kreis des letzten Bandfilters angeschlossen werden.

Einfluß auf die Empfindlichkeit

Bei kritisch gekoppeltem Bandfilter ist die Verstärkung der letzten Zf-Stufe gegeben durch: $V=S \cdot \frac{\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}}{2}$

Berechnet man die Größen Z_1 und Z_2 , d. h. die beiden Kreiswiderstände einmal bei Anschaltung der Regeldiode an den ersten, zum andern an den zweiten Kreis des Bandfilters, dann wird im Regelfall das Produkt $Z_1 \cdot Z_2$ dann größer sein, wenn die Regeldiode zusammen mit der Demodulationsdiode an den Sekundärkreis geschaltet ist.

Da der zweite Kreis schon durch die Demodulationsdiode gedämpft ist, bringt die zusätzliche Anschaltung der Regeldiode keine wesentliche Herabsetzung des Kreiswiderstandes.

Einfluß auf die Selektion

Aus der gleichen Überlegung ergibt sich nun auch, daß die Selektion des letzten Bandfilters dann besser ist, wenn die Regelspannungsdiode an den Sekundärkreis angeschlossen wird.

Einfluß auf die Abstimm-schärfe

Durch die Regelung wird erreicht, daß am Ende des geregelten Verstärkerabschnittes, d. h. also an der Anschlußstelle der Regeldiode, die Spannung ziemlich konstant bleibt. Verstimmt man den Empfänger, so nimmt an dieser Stelle die Zf-Spannung keineswegs in dem Maße ab, wie es bei einem unregulierten Verstärker auf Grund der Durchlaßkurve der Fall wäre. Es entsteht der Eindruck einer scheinbar verminderten Selektion. Schließt man nun die Regeldiode an den Primärkreis des letzten Zf-Bandfilters an, so ist der Sekundärkreis in die Regelschaltung nicht einbezogen. Die Selektionswirkung dieses Kreises ist also — auch nicht scheinbar — reduziert.

In diesem Fall ist es also leichter, das Gerät auf die Sollfrequenz richtig abzustimmen; die Abstimm-schärfe ist größer als bei Anschluß der Regeldiode an den letzten Zf-Kreis. Für den Anschluß einer Abstimm-anzeigeröhre gilt nach dem Vorhergesagten, daß die Anzeigeschärfe dann größer ist, wenn die Regeldiode am Primärkreis liegt und die Steuerspannung für die Abstimm-anzeige-Röhre von der Demodulationsdiode, also vom Sekundärkreis, abgenommen wird (Bild 18).

Einfluß auf die Verzerrung

Am Arbeitswiderstand der Regeldiode (R_1) (Bild 6) steht außer der Gleichspannung die Tonfrequenz. Wegen der Verzögerung ist diese mehr oder weniger verzerrt. Bei Anschluß von Regeldiode und Demodulationsdiode an dem gleichen Kreis kann ein kleiner Anteil der verzerrten Nf-Spannung an den Arbeitswiderstand der Demodulations-diode (R_2 über C_1 , Bild 16) kommen. Bei getrenntem Anschluß (Bild 18) ist eine solche Verkopplung nicht möglich, da Nf-Spannungen über die Kopplung im Zf-Bandfilter nicht übertragen werden. Die Berücksichtigung dieses Punktes ist vor allem wichtig, wenn man in Gebieten arbeitet, in denen der verzerrungsfrei zu verarbeitende Modulationsgrad nur klein ist (Bild

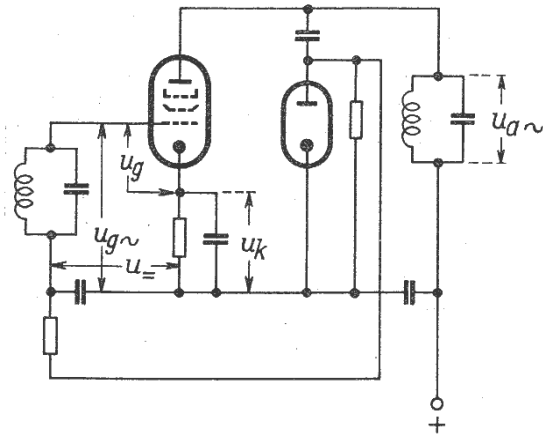


Bild 19. Regelung der letzten Zf-Stufe

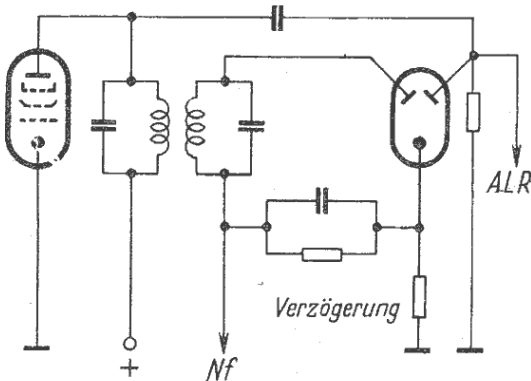


Bild 18. Anschluß der Regel- und Demodulationsdiode an Primär- und Sekundärkreis

12), d. h. bei Geräten mit großer Verzögerung und/ oder mit vom Regeleinsatz an flach verlaufender Regelkurve. Denn wie Bild 10 und 12 zeigen, sind die Verzerrungen um so kleiner, je größer $\frac{U_{Zf(Tr)}}{u_v}$ ist.

c) Regelung der letzten Zf-Stufe

In der der Diode vorausgehenden Stufe darf nur beschränkt geregelt werden. Nach Bild 19 sei

- $u_{g\sim}$ die Zf-Spannung am Eingang der Stufe (unmoduliert, Scheitelwert)
- $u_{a\sim}$ die Zf-Spannung am Anodenkreis, gleichzeitig die Spannung an der Regeldiode (Scheitelwert)
- $u_{=}$ die erzeugte Regelspannung $\sim u_{a\sim}$
- u_g die Gittervorspannung $= u_K + u_{=}$, bei großen Regelspannungen $\sim u_{=}$. Es ist $u_{a\sim} = V \cdot u_{g\sim}$, ferner $u_{=}$ $= V \cdot u_{g\sim}$, und $u_g = V \cdot u_{g\sim}$

Damit nicht in das Gitterstromgebiet angesteuert wird, muß $u_g > u_{g\sim}$ (Scheitelwert) sein, d. h. aber $V \geq 1$.

Die Verstärkung der letzten Zf-Stufe darf — im unmodulierten Fall — nie < 1 werden.

Im modulierten Fall verschärft sich die Bedingung, wie ohne weiteres abzuleiten ist, auf $V > \sim 4$. Hierbei ist berücksichtigt, daß m bis auf 100 % ansteigt, und daß der Gitterstrom schon früher als bei Null Volt (max —1,3 V) einsetzt.

d) Regelung der ersten Verstärkerstufen

Um den notwendigen Regelumfang zu erreichen, müssen die Röhrenkennlinien gekrümmt verlaufen. Die Form der Gitterspannungskurve wird also am Anodenkreis verzerrt wiedergegeben. Es entstehen folgende Verzerrungen:

- Kreuzmodulation >
- Modulationsverzerrung >
- Modulationsgradänderung > FtA Rö 31
- Brummodulation >

Durch Wahl einer bestimmten Röhrenkennlinie und durch Anwendung gleitender Schirmgitterspannung lassen sich diese Verzerrungen kleinhalten.

Wichtig ist für den Geräte-Entwickler, daß die einzelnen Stufen im richtigen Verhältnis zueinander geregelt werden.

- 1) Bei jeder einzelnen Röhre darf der „optimale Regelbereich“ nicht überschritten werden (Bild 20).
- 2) Werden mehrere Stufen geregelt, dann soll diese Regelgrenze nicht gleichzeitig erreicht werden. Denn jede, durch hohe Eingangsspannung bedingte Überschreitung dieses Wertes ergäbe dann ein starkes Ansteigen der Verzerrung.

Also ist die Regelkurve so zu legen, daß zuerst die erste Röhre übersteuert wird (Bild 21).

Zu1): Die Bedeutung „optimaler Regelbereich“ erklärt sich aus folgendem. Bestimmend für die Größe der Verzerrungen ist der Faktor u_T (s. FtA Rö 31); je größer u_T ist, um so kleiner sind diese Hf-Verzerrungen. Aus der Konstruktion einer solchen Regelröhre ergibt sich, daß sich u_T nur bis zu einem bestimmten Wert steigern läßt (optimaler Regelbereich). Darüber hinaus nimmt u_T wieder ab. Normal liegt die Grenze dieses Bereiches bei 18 bis 20 V Regelspannung. In diesem Fall können Eingangsspannungen bis zu 2,0 V (eff. Trägerspannung) verarbeitet werden, ohne daß die Verzerrungen über 3 % bei m = 100 % ansteigen.

Zu 2): Man benutzt zur Kontrolle das Regeldiagramm (Beispiel in Bild 21). Für eine gewählte Regelspannung wird die zu ihrer Erzeugung notwendige Anodenwechselspannung der letzten Zf-Röhre bestimmt. Dann wird die Steilheit dieser Zf-Röhre an Hand der Regelspannung, bzw. der sich daraus ergebenden Gittervorspannung ermittelt. Aus Steilheit, Aussenwiderstand und Ausgangsspannung erhält man die für diese Regelspannung notwendige Wechselspannung am Gitter der letzten Zf-Röhre. Dann wiederholt sich der gleiche Gang auch für die Mischröhre. Zuerst ist die Ausgangswechselspannung der Mischröhre aus der Gitterwechselspannung der Zf-Röhre zu berechnen, die Steilheit der Mischröhre ist für die gegebene Regelspannung bzw. Gittervorspannung den Kennlinienfeldern zu entnehmen. Und schließlich erhält man die Eingangswechselspannung der Mischröhre

aus $\frac{u_a \sim}{S \cdot R_a} = u_g \sim$

Aus den so bestimmten Werten lassen sich die Kurven:

Regelspannung über Gitterwechselspannung

zeichnen. Für die Regelspannungen, die die Grenzwerte des optimalen Regelbereiches darstellen, wird dann auch die Verzerrungsgrenze eingetragen, das heißt, es wird die Eingangsspannung angegeben, bei der die zugelassene Modulationsverzerrung k_m (z. B. 3 %) erreicht wird.

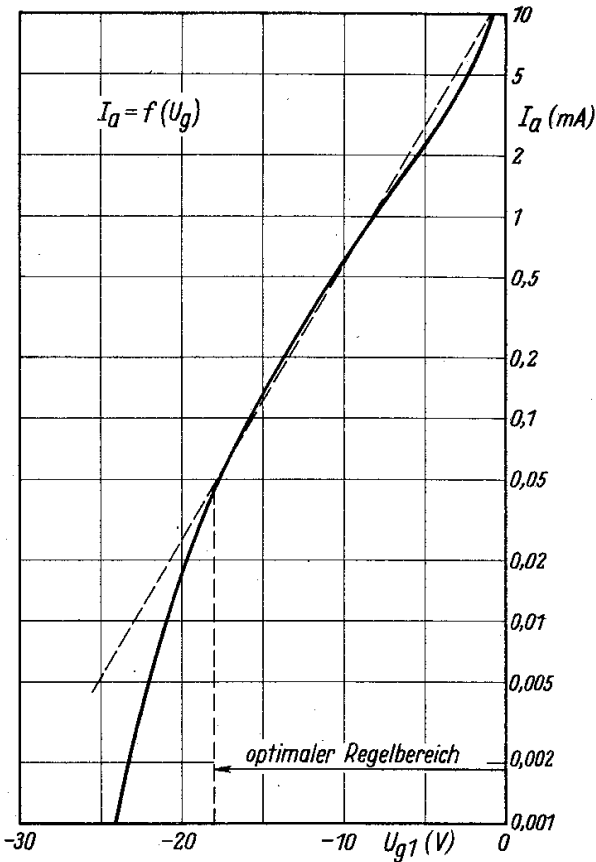


Bild 20. Optimaler Regelbereich

Die Regelschaltung ist dann so zu dimensionieren, daß zuerst nur die Verzerrungsgrenze bei der ersten Röhre (im Beispiel Bild 19 der Mischröhre) überschritten wird.

Bei empfindlichen und für hohe Frequenzen vorgesehenen Empfängern ist bei der Dimensionierung der Regelschaltung nicht nur die erwähnte Verzerrungsfrage, sondern zusätzlich der Störabstand zu berücksichtigen.

Die für die Röhren angegebenen äquivalenten Rauschwiderstände gelten ja nur für den normalen Arbeitspunkt (unge-regelt). Mit Erhöhung der negativen Gittervorspannung steigt dieser Widerstandswert.

Für die Empfindlichkeitsbetrachtung rechnet man den Rauschwiderstand der zweiten Stufe auf das Gitter der ersten Stufe um (R'_{ae2})

$$R'_{ae2} = \frac{R_{ae2}}{V_N}$$

R_{ae2} = äquivalenter Rauschwiderstand der zweiten Stufe

V_N = Leistungsverstärkung der ersten Stufe

Die Grenzempfindlichkeit oder der Rauschabstand berechnet sich dann aus $R_{ae1} + R'_{ae2} = R_{ae1} + \frac{R_{ae2}}{V_N}$.

Da bei Regelung V_N kleiner wird, geht R_{ae2} stärker ein; R'_{ae2} wird ja größer.

Werden also die ersten Stufen (besonders wichtig sind die ersten beiden) geregelt, dann steigt die Geräuschzahl. Es wird R_{ae1} und R_{ae2} größer und V_N kleiner.

Im ungeregelten Fall würde mit steigender Eingangsspannung das Verhältnis Signal/Rauschen linear wachsen, im geregelten Fall dagegen ist die Zunahme wesentlich kleiner.

Diese Überlegungen sprechen dafür, die ersten Stufen nicht zu regeln.

Umgekehrt machen aber die Hf-Verzerrungen (Kreuzmodulation/hochfrequentes Übersprechen — FtA Rö 31) eine solche Regelung notwendig. Denn die Keuzmodulation steigt mit dem Quadrat der Störsenderamplitude (U_{st}^2). Ist also die erste Stufe ungeregelt und die Selektion zwischen der ersten und zweiten Stufe nicht ausreichend, dann können am Gitter der zweiten Röhre noch störende Kreuzmodulationen entstehen. Die Mittel für die Nahselektion liegen nämlich bei Empfängern für hochliegende Arbeitsfrequenzen normalerweise nur in den Zf-Stufen, aber nicht vor der Hf- und der Mischstufe.

Die Regelung der ersten beiden Röhren ist also erforderlich

- a) um in Kennliniengebiete zu kommen, die weniger gekrümmt sind, also kleinere Verzerrungen ergeben,

b) um den Wert U_{st}^2 (am Gitter der zweiten Röhre) so niedrig wie möglich zu halten.

Da die beiden Forderungen (Kreuzmodulation und Störabstand) einander widersprechen, muß von Fall zu Fall geprüft werden, wie der Kompromiß zu wählen, das heißt in welchem Umfang und in welcher Form die ersten Stufen zu regeln sind.

Diese Entscheidung ist abhängig von:

- den verwendeten Röhren und ihrer Kreuzmodulationsfestigkeit,

der Nahselektion,

dem notwendigen Rauschabstand.

e) Stabilitätsbedingung bzw. Zeitkonstante der Regelschaltung

Bei allen Schaltungen, die mit Rückwärtsregelung arbeiten, ist zu prüfen, ob Störschwingungen — Relaxationssschwingungen — entstehen können. Auf den ersten Blick scheint das unmöglich, da in diesem Rückkoppelkreis mit verschiedenen Frequenzen gearbeitet wird, im Verstärkerkanal mit Hoch- und Zwischenfrequenzen, in der Regelleitung mit Gleichspannung. Das Entstehen einer Schwingung ist wie folgt zu erklären. Über den Hf/Zf-Kanal läuft eine modulierte Schwingung. An der Regelspannungsdiode entsteht die Regelgleichspannung mit überlagerter Modulation. Durch die Siebglieder in der Regelleitung wird die Regelspannung bis auf kleine Reste von dieser Modulation gesäubert. Diese Modulationsreste gelangen mit der Regelspannung auf das Gitter einer Röhre im Hf/Zf-Verstärker und modulieren sie. Ist diese Störmodulation gleichphasig mit der ursprünglichen Modulation, dann liegt Schwingneigung, bei genügend großer Amplitude der Störmodulation sogar Selbsterregung vor.

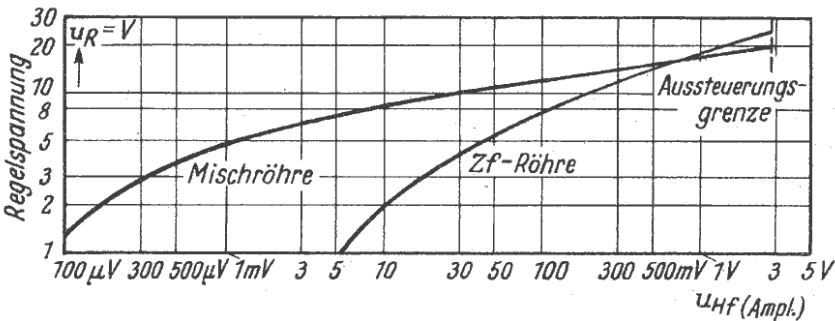


Bild 21. Das Regeldiagramm

Die Voraussetzung für stabiles Arbeiten bildet die Gleichung:

$$R \cdot C \geq \frac{u \cdot u_a}{u_T} \left(\frac{4}{d \cdot \Omega \left(1 + \frac{k^2}{d^2} \right) \operatorname{tg} \left(\frac{180^\circ}{n+1} \right)} \right)$$

Darin bedeuten:

- R = Längswiderstand in der Regelleitung ($M\Omega$)

C = Querkapazität in der Regelleitung (μF)

n = Zahl der geregelten Stufen = Zahl der Bandfilter

u_a = Zf-Ausgangsspannung vor der Demodulation (V)

U_T = Neigung der Regelkennlinie (s. FtA Rö 31) (V)

d = Dämpfung der Bandfilterkreise

Ω = Kreisfrequenz der Zwischenfrequenz ($\sim 3 \cdot 10^6$ Hz)
k = Kopplung

Diese Gleichung gilt unter folgenden Voraussetzungen: Gleichzeitige Regelung von n-Stufen.
Die Bandfilter in diesen Stufen besitzen gleiche Charakteristiken. In der Regelleitung liegt ein RC-Glied.
Die tiefste (Modulations-) Frequenz, welche die Selbsterregungs-Phasenbedingung erfüllt, wird durch die Selektion der Bandfilter noch nicht merklich geschwächt.

Rechenbeispiel:

n = 3 d = 1 % $R \cdot C \geq 0,001 \quad (\mu F \times M\Omega)$
 $u_a = 20 \text{ V}$ $\Omega = 3 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
 $u_T = 4 \text{ V}$ k = d

Mit dem gewöhnlich in der Schaltung angewendeten Wert von 0.05 ... 0,1 ist also eine gute Sicherheit für Erfüllung der Stabilitätsforderung vorhanden. Eine Reduzierung dieses Wertes für RC empfiehlt sich nicht, da sonst die tiefen Modulationsfrequenzen zu wenig geschwächt werden (s. FtA Fi 21). Für $RC = 0,1 \text{ } (\mu F \times M\Omega) = 100\,000 \text{ } (pF \times M\Omega)$ ergibt sich aus Fi 21 Bild 5 eine Grenzfrequenz von 1,6 Hz, und aus Fi 21 Bild 10a für 30 Hz d. h. $f/f_{gr} \sim 20$ eine Dämpfung von $1 : 20 = -3 \text{ Np}$.

Eine Erhöhung des RC-Wertes dagegen macht die ALR zu träge.
Wendet man doppelte Siebung in der Regelleitung an, so wählt man die RC-Werte gleich dem bei einfachem Siebglied¹⁾.

6. Vorwärtsregelung

a) Vorteile

Die Anwendung einer Vorwärtsregelung bringt in folgenden Punkten Vorteile:
Die max. Spannungsdifferenz in der Nf bei Übergang von einem schwach zu einem stark einfallenden Sender sei gegeben. Dann läßt sich diese Bedingung in einer Regelschaltung ohne Vorwärtsregelung nur einhalten, wenn sehr steil regelnde Röhren benutzt, bzw. auf steil verlaufenden Charakteristiken gearbeitet wird. Das ist aber ein verzerrungsmäßig ungünstiger Betrieb (s. FtA Rö 31).
Mit Vorwärtsregelung dagegen braucht die Rückwärtsregelung nicht sonderlich scharf zu sein, da die restliche Schwankung — ausgedrückt durch die Höhe der Regelspannung — durch die nachfolgende Vorwärtsregelung auf den geforderten Wert heruntergesetzt werden kann.

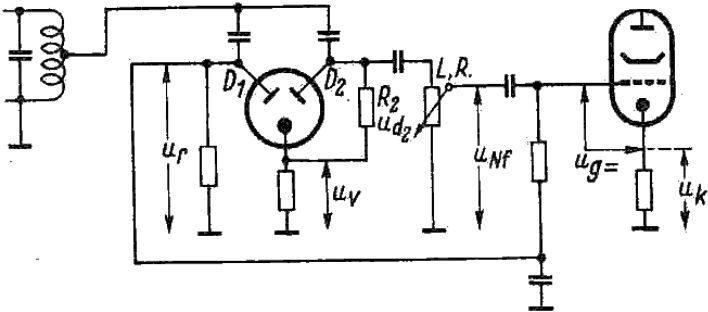


Bild 22. Schaltung für die Nf-Regelröhre

In Bild 10 und 12 ist gezeigt, daß ein um so höherer Modulationsgrad verzerrungsfrei übertragen werden kann, je weiter die an der Diode stehende Zf-Amplitude die Verzögerungsspannung überschreitet. Auch aus diesem Grund ist eine Regelung nach Art von Kurve 3 Bild 4 von Vorteil.

b) Dimensionierung

Um den Regelvorgang in einer Nf-Regelschaltung möglichst anschaulich zu machen, benutzt man das erstmalig von I. E. Scheel (Telefunken-Röhre 1938, Heft 3, Seite 72) angegebene Diagramm. In ihm werden über der Regelspannung Kurven für die notwendige bzw. zur Verfügung stehende Wechselspannung eingezeichnet.
Es ist zweckmäßig, diese Kurven an Hand der Regelschaltung zunächst einzeln zu erläutern:

1. Gelieferte Wechselspannung u_{gg}

An R_2 (Bild 22) steht die Wechselspannung u_{d2} . Sie wird über das Potentiometer dem Gitter der Nf-Regelröhre zugeführt (u_{gg}). Über die Größe von u_{gg} läßt sich folgendes aussagen: u_{gg} ist abhängig von der Stellung des Lautstärkereglers. Es wird deshalb im folgenden vorausgesetzt, daß er voll aufgedreht ist.

Ferner ist u_{gg} bzw. u_{d2} abhängig von der Wahl des Anzapfpunktes am letzten Zf-Bandfilter. Die Spannung für die Regelspannungsdiode (D_1) und die Demodulationsdiode (D_2) soll an der gleichen Anzapfung abgenommen werden.

Da sowohl u_r , als auch $u_{d2} = u_{gg}$ von der gleichen Spannungsquelle geliefert werden, läßt sich u_{gg} als $f(u_r)$ darstellen. Von kleinen Abweichungen im Anlaufgebiet abgesehen erhält man dafür eine gerade Linie c (Bild 23). Die Steigung von c ist abhängig davon
ob beiden Diodenstrecken gleiche oder unterschiedliche Zf-Spannungen zugeführt werden ($u_{zfD2} \leq / \geq u_{zfD1}$)
und welcher Modulationsgrad m angesetzt wird.
Im folgenden werde ein m von 30% zugrunde gelegt.

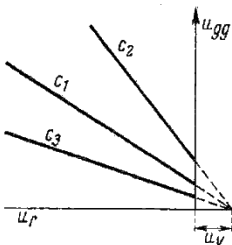


Bild 23. $u_{gg} = f(u_r)$
Kurve c_1 z. B. für $u_{zfD2} = u_{zfD1}$ und $m = 0,3$
Kurve c_2 z. B. für $u_{zfD2} > u_{zfD1}$ und $m > 0,3$
Kurve c_3 z. B. für $u_{zfD2} < u_{zfD1}$ und $m < 0,3$

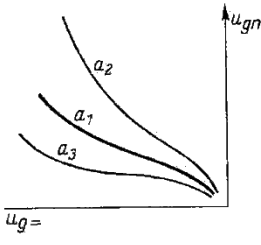


Bild 24. $u_{gn} = f(u_{gg})$
Kurve a_1 z. B. für 4 V_{eff} Steuer-spannungsbedarf der Endröhre und Gegenkopplung 1:3
Kurve a_2 für Steuer-spannungsbedarf und Gegenkopplung größer als bei a_1
Kurve a_3 für Steuer-spannungsbedarf und Gegenkopplung kleiner als bei a_1

2. Notwendige Wechselspannung u_{gn}

Darunter verstehen wir die Wechselspannung, die am Gitter der Nf-Röhre stehen muß, damit bei jedem

Regelzustand eine festgelegte Ausgangswchselspannung erzeugt wird.

Man erhält die Kurve $u_{gn} = f(u_{=})$ (Bild 24), in dem man die konstante Ausgangswchselspannung u_a der Nf-Regelröhre durch ihre bei den verschiedenen Gittervorspannungswerten vorhandene Verstärkung dividiert (Kurve a).

Ähnlich der Kurve c gibt es auch verschiedene a-Kurven je nach den Schaltungsbedingungen und zwar je nach dem Bedarf an Gitterwechselspannung zur Aussteuerung der Endröhre und je nach der verlangten Gegenkopplung.

3. Zusammenhang zwischen u_r und $u_{g=}$

u_{gg} ist auf u_r , u_{gn} ist auf $u_{g=}$ bezogen.

Es ist also eine Beziehung zwischen u_r und $u_{g=}$ herzustellen. Die Spannung u_r ergibt sich als Differenz aus der aus der Gleichrichtung der Zf gewonnenen Gleichspannung $u_{d1=}$ und der Verzögerungsspannung an der Diodenkatode u_v

$$u_r = u_{d1=} - u_v$$

Die Spannung u_r wird über ein Siebglied dem Steuergitter der Regelröhre zugeführt und ist als Vorspannung einzusetzen, sofern an diesem Gitter keine Grundvorspannung (R_k, u_k) steht. Das ist aber nach Bild 22 der Fall. Somit ist

$$u_{g=} = u_k + u_r = u_k + u_{d1=} - u_v$$

Aus dieser Formel bestimmt sich die Lage der c-Geraden (u_{gg}) im Feld $u_{gg} = f(u_{g=})$ (Bild 25). Die Kurve c_1 gilt für den Fall einer Verzögerung (vergl. a. Bild 23). Bei Beginn der Regelung, Punkt A, ist bereits eine merkliche Steuerspannung vorhanden. Arbeitet man ohne Verzögerung und läßt man die Anlaufspannung unberücksichtigt, dann muß die Kurve c_1 in A auf der Abszisse beginnen. Denn in diesem Fall wachsen Regelspannung und Nf-Wechselspannung mit steigender Zf-Amplitude gleichzeitig von Null aus. Andernfalls müßte die Kurve c'_1 bei $u_{g=} = u_k + u_{anl} = u_k + 0,5 \text{ V}$ beginnen.

Es ergibt sich also:

- Die Lage der Kurve c kann in weiten Grenzen variiert werden, und zwar
- ihre Neigung: Durch Wahl des Anzapfpunktes am Zf-Bandfilter;
- ihr Fußpunkt: Durch Wahl von u_k und u_v .

Im Idealfall sollte sich der Verlauf von u_{gg} und u_{gn} decken, das heißt die gelieferte Wechselspannung sollte gleich der benötigten sein.

Für die erforderliche Vollaussteuerung muß u_{gg} mindestens aber über u_{gn} liegen.

In der Praxis läßt man u_{gg} meist etwas steiler als u_{gn} verlaufen, um auch bei kleineren Modulationsgraden als 0,3 das Gerät voll aussteuern zu können.

So ergibt sich das Regelfeld (Bild 26). Hier ist noch die Gerade b eingezeichnet. Sie gibt die Wechselspannungen an, die maximal dem Gitter zugeführt werden dürfen, ohne daß in das Gitterstromgebiet gesteuert wird.

Die Gerade b entspricht also der Beziehung

$$u_{g=} = -1/2 \cdot u_{g\sim} > 1,3 \text{ V}$$

Der Arbeitspunkt (ungeregelter Zustand) ist der Schnittpunkt von a und b, denn von kleinen Vorspannungswerten aus gesehen, ist es erst in diesem Punkt möglich, die Endstufe voll auszusteuern, ohne daß ein merklicher Gitterstrom fließt.

Aus Bild 27 ist abzulesen, daß für die im Arbeitspunkt benötigte Steuerspannung von 0,3 V_{Ampl} (~0,2 V_{eff}) eine

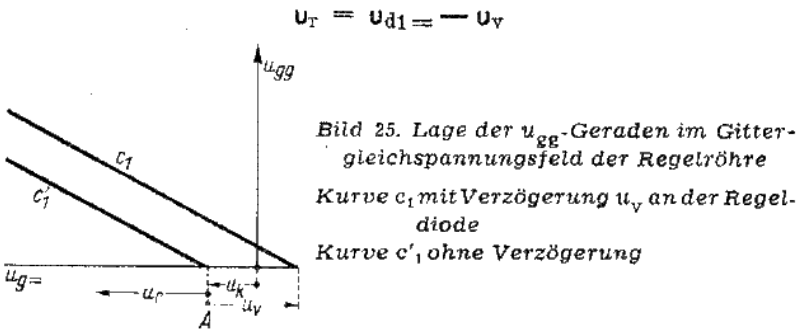


Bild 25. Lage der u_{gg} -Geraden im Gittergleichspannungsfeld der Regelröhre
Kurve c_1 mit Verzögerung u_v an der Regelröhre
Kurve c'_1 ohne Verzögerung

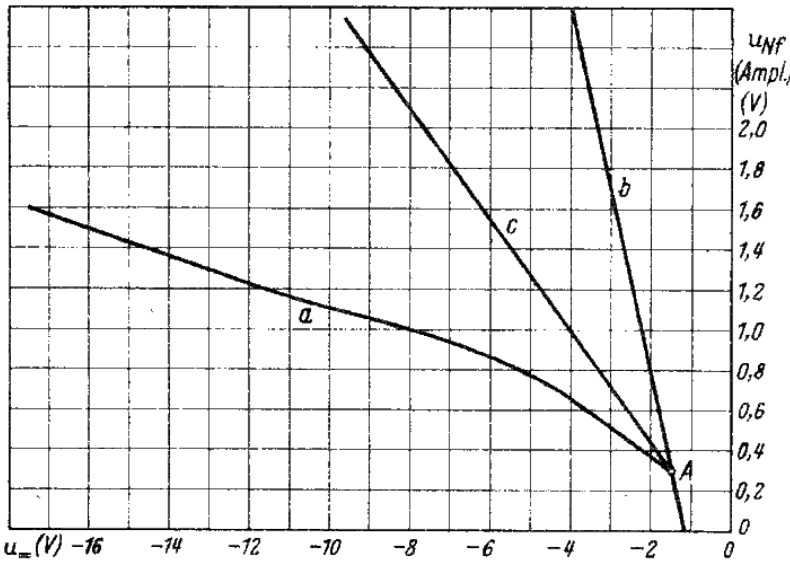


Bild 26. Dimensionierung der Vorwärtsregelung

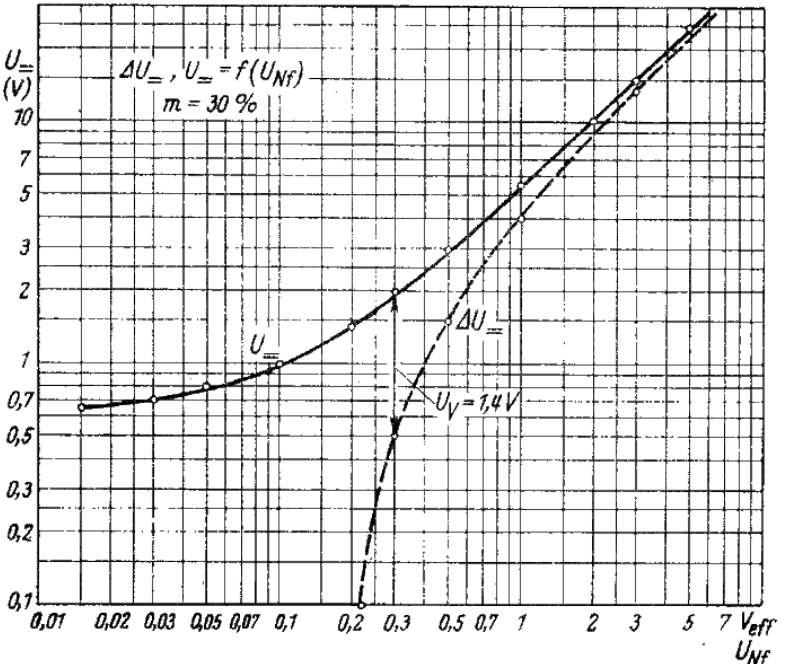


Bild 27. Beziehung zwischen Gleichspannung und Nf-Wechselspannung für eine gleichgerichtete Zf-Spannung ($m = 30\%$)

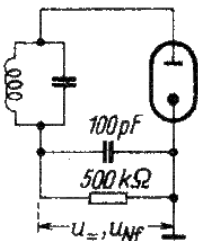


Bild 28. Meßschaltung für die Kurven von Bild 27

Gleichspannung von 1,5 V an der Diode steht. Um diesen Betrag ist die Regelspannungsdiode zu verzögern, so daß die von der Regeldiode an die Nf-Röhre gelieferte Regelspannung = 0 ist, während die Demodulationsdiode gleichzeitig eine Nf-Spannung von 0,3 V_{Ampl} liefert. Bild 27 zeigt für diese Verzögerung die Beziehung zwischen $\Delta U_{\text{reg}} = U_{\text{reg}} - U_{\text{v}}$ und U_{Nf} . Dieser Verlauf ist als Kurve c in Bild 26 eingetragen.

Bild 26 zeigt nun, daß bei einer solchen Regelung die Ausgangsspannung nicht konstant bleibt. Während z. B. im Punkt — 8 V eine Steuerspannung von 1,0 V_{Ampl} erforderlich ist, liefert die Demodulationsdiode ca 2,1 V_{Ampl}. Die Endstufe kann übersteuert werden. Durch Wahl eines anderen Anzapfpunktes und anderer Verzögerungsspannung läßt sich die Gerade c der Kurve a annähern. In vielen Fällen wird man aber mit „c“ arbeiten, da einmal eine Übersteuerbarkeit mitunter gewünscht ist, zum anderen da Spannungsschwankungen erst von einer bestimmten Grenze an hörbar sind (s. a. Abschnitt 3).

Schrifttum:

Anwendung der Elektronenröhre in Rundfunkempfängern und Verstärkern, Buch III, Regelungen, Philips' Technische Bibliothek 1949
Österreichische Radioschau 1953, Seite 39, L. Ratheiser, Grundlagen und Berechnung der ALR.
Philips Monatsheft Mai 1938, Sonderausgabe, Seite 2, Die Dreifachdiode EAB 1
Philips Monatsheft August 1939 Nr. 71, Seite 129, Automatische Lautstärke-regelung
Telefunken-Röhre 1934/35 Heft 1, Seite 36, K. Steimel, Sinngemäße und nicht sinngemäße Beanspruchung von Röhren
Telefunken-Röhre 1938, Sonderheft zu Heft 13, Seite 28, K. Steimel und R. Schiffel, Die Regeleigenschaften der Stahlröhrenserie
Telefunken-Röhre 1939 Heft 17, Seite 252, E. Kettel, Schwundregelung — Stabilität
Telefunken-Röhrenmitteilung Mai 1939, Verzögerung bei der Fadingregelung
Telefunken-Zeitung 1953, Seite 43, K. Fischer, Rauschabstand von Kurzwellenempfängern in Abhängigkeit von der Eingangsspannung
