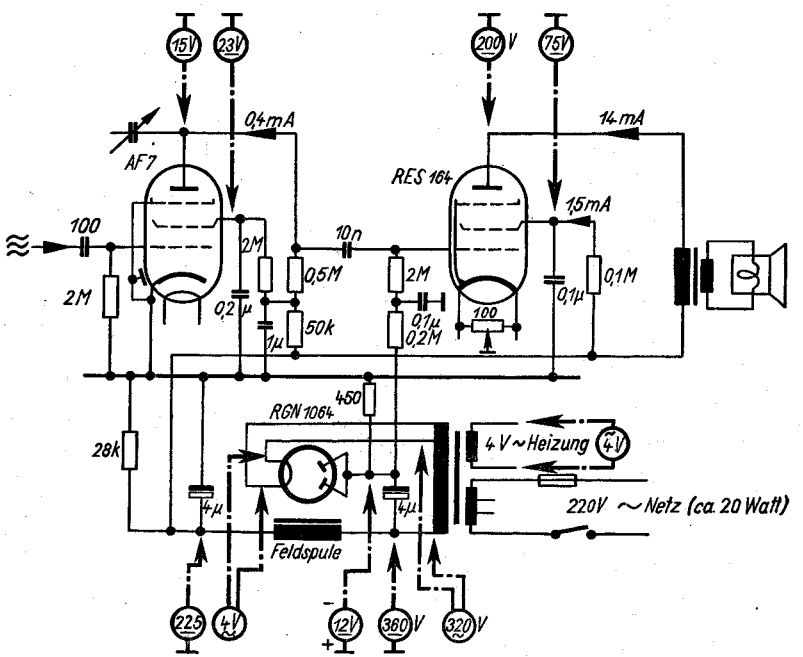
M. Meßfehler

I. Meßfehler bei Gleich- und Wechsel-Spannungsmessungen

Bei Messungen der Spannungen nach hochohmigen Widerständen mit den gebräuchlichsten Meßinstrumenten werden die Meßergebnisse verfälscht. Der Meßfehler hängt vom inneren Widerstand pro Volt des Spannungsmessers ab und ist am geringsten, wenn dieser sehr hoch ist. Am günstigsten für einen Teil der Spannungsmessungen in Rundfunkgeräten ist ein Röhrenvoltmeter, da es einen Eingangswiderstand von einigen Megohm besitzt und Messungen nach hochohmigen Widerständen ohne Meßfehler erlaubt.

In der Praxis hat man meistens Spannungsmesser mit einem inneren Widerstand von 333 Ω/V (Multizet I) oder 1000 Ω/V (Multizet II).

In den Reparaturschaltungen sind die durch die Messungen beeinflußten Werte angegeben. Darin heißt es z. B.: Die Spannungen sind mit einem Meßinstrument von 333 Ω/V und einem Meßbereich von 300 V gemessen. Das bedeutet, daß die angegebenen



224.1 Spannungsschema eines Einkreisers. Meßgerät: 333 Ω/V, 600 V Meßbereich

Werte nur dann stimmen, wenn sie mit demselben Meßinstrument und mit demselben Meßbereich gemessen werden.
Bei Spannungsmessungen nach hochohmigen Widerständen werden also die unter dem Einfluß des Spannungsmessers zusammengebrochenen Spannungen gemessen und nicht die wirklichen Betriebsspannungen. Dies betrifft vor allem die Anoden- und Schirmgitterspannungen der NF-Vorröhren, da für diese meist hochohmige Widerstände vorhanden sind.
Bei der Messung der gesamten Gleichspannung vor und nach der Siebkette, der Anodenspannung von Misch-, ZF-Verstärker- und Endröhre, der Netzwechselspannung und der Heizspannungen treten praktisch keine Meßfehler auf (in Allstromempfängern mißt man nicht die Heizspannungen, sondern den Heizstrom). Bei Spannungsmessungen im Rundfunkempfänger rechnet man mit Toleranzen von ± 10 % für Anodenspannungen und ± 5 % für Heiz- und Gittervorspannungen.
An Hand des Schaltschemas eines Einkreisers (**224.1**) soll gezeigt werden, wo Meßfehler entstehen können und wo unbedenklich, ohne daß Meßfehler zu erwarten sind, gemessen werden kann.
Betrachten wir zunächst die Gleichspannungen der beiden Röhren[1]) AF 7 und RES 164. Beide sind Pentoden und haben außer der Anodenspannung noch je eine Schirmgitterspannung. Die RES 164 erhält außerdem noch eine negative Gittervorspannung, die am Widerstand 450 Ω erzeugt wird.
Kritisch — das heißt stark abhängig vom verwendetem Meßinstrument — sind:

1. Anodenspannung der AF 7 = 15 V —
2. Schirmgitterspannung der AF 7 = 23 V —
3. Schirmgitterspannung der RES 164 = 75 V —

Unkritisch — daß heißt praktisch unabhängig vom verwendeten Meßinstrument (aber nicht unter 333 Ω/V) — sind:

1. Anodenspannung der RES 164 = 200 V —
2. Gittervorspannung der RES 164 = 12 V —
3. Gleichspannung vor und nach der Feldspule = 360 bzw. 225 V —

Praktisch ohne Meßfehler können auch die Wechselspannungen des Netztransformators gemessen werden, und zwar:

1. Anodenwechselspannung 320 V ~ ± 10 %
2. Heizwechselspannung für RGN 1064 4 V ~ ± 5 %
3. Heizwechselspannung für AF 7 und RES 164 4 V ~ ± 5 %

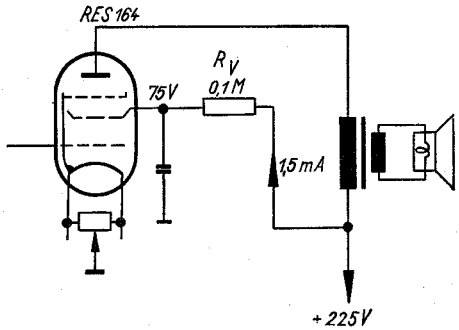
Für die weiteren Betrachtungen interessieren die als kritisch bezeichneten Spannungen. Diese sollen mit den üblichen zur Verfügung stehenden Spannungsmessern 333 Ω/V (Multizet I) und 1000 Ω/V (Multizet II) vergleichsweise gemessen werden, um die dabei auftretenden Meßfehler zu zeigen.

1) Mit beiden älteren Röhrentypen sind frühere Einkreiser bestückt, Geräte, mit denen der Anfänger zu Beginn seiner Tätigkeit manchmal noch zu tun bekommt und deren Schaltungen für dieses Beispiel gut geeignet sind.

Beispiel:

Schirmgitterspannung der RES 164 (226.1). Meßbereich 300 V. Aus folgender Tabelle entnehmen wir den Rechenwert für den inneren Widerstand R_i des 300-V-Meßbereiches;

Meßbereich V	Innerer Widerstand 333 Ω/V R_i [Ω]	Rechenwert [Ω]	kΩ bei 333 Ω/V	kΩ bei 1000 Ω/V
600	199 800	200 000	200	600
300	99 900	100 000	100	300
150	49 950	50 000	50	150
30	9 990	10 000	10	30
6	1 998	2 000	2	6
1,5	499,5	500	0,5	1,5



226.1 Schirmgitterspannung und Schirmgitterstrom der Endröhre RES 164

Der Meßinstrumenten-Widerstand beträgt also ≈ 100 000 Ω. Die Aufrundung ist prozentual so gering, daß sie auf das Ergebnis keinen Einfluß hat.

Die Betriebsspannung U_B ist 225 V. Bei einem Strom von 1,5 mA gehen am 0,1-MΩ-Widerstand

$$U = I \cdot R = 0{,}0015\ \text{A} \cdot 100\,000\ \Omega = \underline{150\ \text{V}}$$

als Spannungsabfall U_V verloren.

Es verbleiben

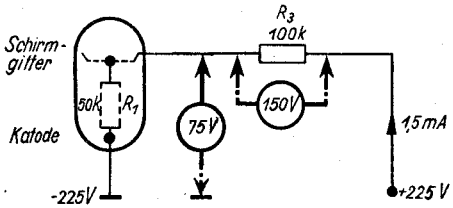
$$U_{G_2} = U_B - U_V = 225\ \text{V} - 150\ \text{V} = \underline{75\ \text{V}}$$

als Schirmgitterspannung.

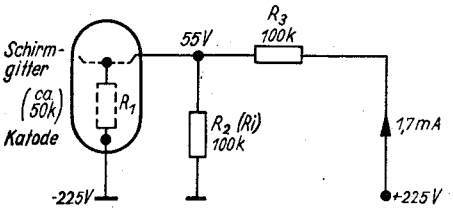
Der Widerstand zwischen Schirmgitter und Katode beträgt demnach bei 75 V

$$R = \frac{U}{I} = \frac{75}{0{,}0015} = \underline{50\,000\ \Omega}$$

(Der Widerstand der Schirmgitterkatodenstrecke soll für diese Betrachtungen konstant angenommen werden).



226.2 Ersatzschaltbild für Bild **226.1** (Spannungsverhältnisse im Betrieb)



226.3 Ersatzschaltbild für die Schirmgitter-Spannungsmessung mit dem Multizet I (Meßbereich 300 V)

Das Ersatzschaltbild zeigt Bild **226.2**. Die Spannung teilt sich wie eingetragen auf.
Legt man den Spannungsmesser 333 Ω/V mit dem Meßbereich 300 V zur Spannungsmessung an das Schirmgitter, dann verschieben sich die Spannungswerte (**226.3**).

Durch die Parallelschaltung des Meßinstrumentenwiderstandes von 100 kΩ zum 50-kΩ-Widerstand R_1 der Schirmgitterkatodenstrecke erhalten wir einen Gesamtwiderstand von:

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50\,\text{k}\Omega \cdot 100\,\text{k}\Omega}{50\,\text{k}\Omega + 100\,\text{k}\Omega} = \frac{5000}{150} = \underline{33\,\text{k}\Omega}$$

Dadurch beträgt der Widerstand im gesamten Stromkreis nur noch

$$R = 100\ \text{k}\Omega + 33\ \text{k}\Omega = \underline{133\ \text{k}\Omega} \quad \text{(zuvor 150 k}\Omega\text{)}$$

Der Strom in R_3 steigt somit von 1,5 mA auf

$$I = \frac{U}{R} = \frac{225\,\text{V}}{133\,000\,\Omega} = 0{,}0017\,\text{A} = \underline{1{,}7\,\text{mA}},$$

und die Spannungen verschieben sich wie folgt:

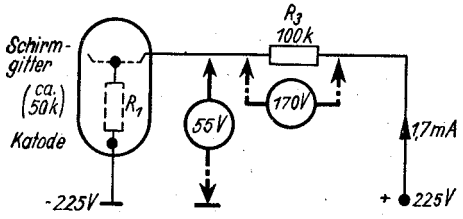
An R_1 von 100 kΩ liegen nun statt 150 V

$$U_V = I \cdot R = 0{,}0017\ \text{A} \cdot 100\,000\ \Omega = \underline{170\ \text{V}}$$

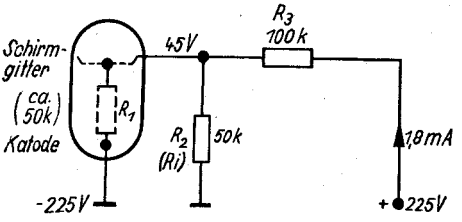
Die Schirmgitterspannung beträgt demnach nur noch

$$U_{G2} = U_B - U_V = 225 - 170 = \underline{55\ \text{V}}$$

Die Schirmgitterspannung sinkt also durch Anlegen des Meßinstrumentes von 75 V auf 55 V (227.1).



227.1 Spannungsverhältnisse bei Messung mit dem Multizet I (Meßbereich 300 V)



227.2 Schirmgitterspannung sinkt beim Messen mit dem Meßbereich 150 V des Multizet I auf 45 V

Die Benutzung des niedrigeren Meßbereiches von 150 V mit einem R_i von 50 000 Ω wirkt sich noch ungünstiger aus (227.2).

Der Gesamtwiderstand ist $R_g = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{50\,\text{k}\Omega \cdot 50\,\text{k}\Omega}{50\,\text{k}\Omega + 50\,\text{k}\Omega} + 100\,\text{k}\Omega = \underline{125\,\text{k}\Omega}$

Der Strom, der jetzt über R_3 fließt, beträgt

$$I = \frac{U}{R} = \frac{225\,\text{V}}{125\,000\,\Omega} = 0{,}0018\,\text{A} = \underline{1{,}8\,\text{mA}}$$

Die Spannung, die nun an R_3 abfällt, ist

$$U_V = I \cdot R = 0{,}0018\,\text{A} \cdot 100\,000\,\Omega = \underline{180\,\text{V}}$$

Die Schirmgitterspannung beträgt demnach nur noch

$$U_{G_2} = U_B - U_V = 225\ \text{V} - 180\ \text{V} = \underline{45\ \text{V}}$$

Wählt man den höheren Meßbereich von 600 V mit einem R_i von 200 kΩ, dann ist der Meßfehler geringer.

Gesamtwiderstand:

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{50\,\text{k}\Omega \cdot 200\,\text{k}\Omega}{50\text{k}\Omega + 200\text{k}\Omega} + 100\,\text{k}\Omega = \underline{140\,\text{k}\Omega}$$

Strom über R_3:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{225\,\text{V}}{140\,000\,\Omega} = 0{,}0016\,\text{A} = \underline{1{,}6\,\text{mA}}$$

Spannungsabfall an R_3:

$$U_V = I \cdot R = 0{,}0016\,\text{V} \cdot 100\,000\,\Omega = \underline{160\,\text{V}}$$

Schirmgitterspannung:

$$U_{G_2} = U_B - U_V = 225\,\text{V} - 160\,\text{V} = \underline{65\,\text{V}}$$

Steht ein Meßinstrument von 1000 Ω/V (Meßbereich: 300 V, R_i = 300 000 Ω) zur Verfügung, dann ergeben sich folgende Werte:

Gesamtwiderstand:

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{50\,\text{k}\Omega \cdot 300\,\text{k}\Omega}{50\,\text{k}\Omega + 300\,\text{k}\Omega} + 100\,\text{k}\Omega = \underline{143\,\text{k}\Omega}$$

Strom über R_3:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{225\,\text{V}}{143\,000\,\Omega} = 0{,}00158\,\text{A} = \underline{1{,}58\,\text{mA}}$$

Spannungsabfall an R_3:

$$U_V = I \cdot R = 0{,}00158\,\text{A} \cdot 100\,000\,\Omega = \underline{158\,\text{V}}$$

Schirmgitterspannung:

$$U_{G_2} = U_B - U_V = 225\,\text{V} - 158\,\text{V} = \underline{67\,\text{V}}$$

In folgender Tabelle sind die errechneten Werte gegenübergestellt. Sie zeigen die Abhängigkeit des Meßfehlers vom verwendeten Meßinstrument und dessen Meßbereich bzw. innerem Widerstand.

Meßinstrument	Meßbereich	R_i	Schirmgitterspannung statt 75 V	Meßfehler
333 Ω/V	150 V	50 kΩ	45 V	40 %
333 Ω/V	300 V	100 kΩ	56 V	27 %
333 Ω/V	600 V	200 kΩ	65 V	14 %
1000 Ω/V	300 V	300 kΩ	67 V	11 %

Für viele Messungen in der Praxis genügt ein Multizet I, wenn man mit dem höchsten Spannungsmeßbereich von 600 V arbeitet. Selbstverständlich ist der Meßfehler noch geringer, wenn man mit dem Multizet II und demselben Meßbereich mißt.
Man kann nun noch die Meßfehler, die bei Messung der Anoden- und der Schirmgitterspannung der AF 7 entstehen, berechnen. In ihren Leitungen liegen höhere Widerstände, die das Meßergebnis wesentlich mehr beeinflussen, als im durchgerechneten Beispiel der Schirmgitterspannungsmessung der RES 164.
Aus diesen Betrachtungen über Meßfehler bei Spannungsmessungen ersieht man, daß folgender Grundsatz angewendet werden sollte:

Um die Meßfehler möglichst niedrig zu halten,
wähle man den höchstmöglichen Meßbereich,
soweit es die Ablesegenauigkeit zuläßt.