

Berechnung und Bau einer Klirrfaktor-Meßbrücke

Nachdem die Entwicklung der Rundfunktechnik in den ersten Jahren vor allem an der Erhöhung der Empfindlichkeit der Geräte gearbeitet hatte, machte sich, sobald im Superhet und im mehrkreisigen Geradeempfänger Geräte mit befriedigenden Empfangseigenschaften geschaffen waren, ein Streben nach guter Wiedergabe bemerkbar. In diesen Rahmen fällt die Einführung der Gegenkopplung, der Dynamiksteigerung und die Verbesserung der Lautsprecherstufe im Sinne einer naturgetreuen Wiedergabe des Frequenzspektrums. Dazu gehört vor allem, daß die gesendeten Tonfrequenzen in richtiger Stärke hörbar gemacht werden, aber auch, daß die Übertragungs- und Verstärkungsmittel des Empfängers nicht neue Tonfrequenzen erzeugen, die meistens Vielfache einer Originalfrequenz darstellen (Oberwellen). Sind solche Oberwellen in starkem Maße vorhanden, so macht sich dies in einem „Klirren“ im Lautsprecher bemerkbar. Ist das Maß des Oberwellengehalts aber geringer, dann gelingt es nur einem musikalisch geübten Ohr, die durch sie entstandenen Verfälschungen des Originals zu bemerken. Inwieweit diese auch von dem musikalisch ungeübten Hörer als unangenehm empfunden werden, ist weniger von Interesse, als ja bei einer in zunehmendem Maße angestrebten Erziehung jedes einzelnen zur Möglichkeit der Begutachtung und des Genusses einer guten Musik das Rundfunkgerät das Hauptmittel darstellt. Es ist dabei grundsätzlich abzulehnen, daß eine neue „Radiomusik“ geschaffen wird, die in keiner Weise dem vom Schöpfer der Originalmusik gewollten Tonumfang entspricht. In dem Maße, in dem sich die gute Hausmusik heute wieder durchzusetzen beginnt, wird auch der Sinn für eine originalgetreue Rundfunkwiedergabe weiter anwachsen. Zur Erreichung dieses Zieles sind gerade in dieser Zeitschrift zahlreiche Vorschläge gemacht worden. Es liegt daher auch zweifellos im Interesse des Rundfunktechnikers, wenn man ihm Hilfsmittel für die Beurteilung der Klangtreue seiner Geräte in die Hand gibt.

Neben den Verfahren zur Aufnahme der Frequenzcharakteristik eines Niederfrequenzteiles, die sicher schon Allgemeingut geworden sind, ist die Bestimmung des „Klirrfaktors“ einer Anlage von großer Bedeutung. Stellen wir uns vor, am Eingang des Verstärkers oder eines Übertragungsmittels läge eine rein-sinusförmige tonfrequente Spannung von 1000 Hz. Durch Nichtlinearität entstehen neue Frequenzen. Oberwellen der Grundfrequenz, so daß am Ausgang neben der Frequenz von 1000 Hz etwa noch Schwingungen mit 2000, 3000, 4000 und noch höheren Periodenzahlen vorliegen. Die Amplituden sind natürlich meistens nicht annähernd so hoch wie die der Grundschwingung; aber schon, wenn der Effektivwert des Oberwellengemisches nur einige Prozent der 1000 Hz betragen würde, wäre dieses akustisch bemerkbar. Man bezeichnet das Verhältnis dieses Effektivwertes zum Effektivwert der Grundwelle als „Klirrfaktor“ und drückt ihn in Prozenten aus (k). Praktisch würde man keinen Fehler machen, wenn man den Oberwellengehalt zu dem entstandenen Frequenzgemisch einschl. Grundfrequenz in Beziehung setzen würde (k'). Das wirkt sich erst bei größeren Klirrfaktoren aus (über 20 %, vgl. Abb. 4). Meßtechnisch ist es wesentlich einfacher, und der Klirrfaktor wird daher in den meisten Fällen entsprechend aufgefaßt.

Meßmethode

Die häufigste Methode für die Messung des Klirrfaktors besteht darin, daß man einen Zweig einer Brücke als Schwingkreis ausbildet und auf die Grundfrequenz abstimmt. Dies geschieht mit Hilfe eines Kopfhörers akustisch und dann mittels eines Richtspannungsanzeigers unter Zwischenschaltung eines frequenzgetreuen Verstärkers. Nach erfolgter Abstimmung zeigt das Instrument ein Minimum an, das wegen der Oberwellen einem von Null verschiedenen Anzeigewert entspricht. Erzeugt man nun auf einem zweiten Wege den gleichen Ausschlag mit Hilfe des Gesamtgemisches einschl. Grundwelle, indem man mit einem geeichten Spannungsteiler einen Teil davon abgreift, dann gibt die Stellung des Schleifers am Spannungsteiler ein Maß für den Oberwellengehalt und kann in Prozenten geeicht werden. Diese Eichung kann rein rechnerisch erfolgen.

Abb. 1 zeigt das Prinzipschaltbild. Durch den Übertrager ETr wird die Schaltung gleichstrommäßig von dem Meßobjekt getrennt (z. B. Ausgangstransformator des Verstärkers). Die Spannung, die das ganze Gemisch von Frequenzen enthält, liegt an einer Brücke. Mittels L, C

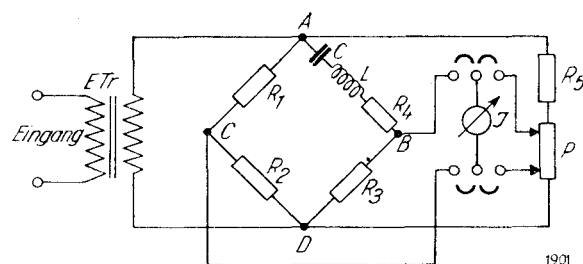


Abb. 1. Prinzipschaltbild der Klirrfaktormeßbrücke

und R_1 wird der Widerstand des Zweiges AB durch Abstimmung auf die Grundwelle gleich dem des Zweiges BD gemacht; somit unterscheidet sich das Potential der Schaltungspunkte C und B bezüglich der Grundfrequenz nicht mehr, wenn $R_1 = R_2$ ist. Dies stellt man durch Messung mit J oder auch akustisch an den Punkten C, B fest. Der Grundton ist verschwunden, es ist jetzt

$$R_1 : R_2 = R_{AB} : R_3;$$

die Brücke ist abgestimmt. Für die Oberwellen ist der Widerstand des Zweiges AB jedoch größer; daher entsteht ein Potentialgefälle zwischen B und C . Ist der Widerstand des Zweiges AB sehr groß gegen R_3 (was erreicht werden kann), dann teilt sich die Oberwellenspannung im Verhältnis $R_2 : (R_1 + R_2)$, für $R_1 = R_2$ also im Verhältnis 1 : 2. Diese Spannung liegt an BC und wird ihrem Effektivwert nach angezeigt. Soll ein Vergleich dieser halben Oberwellenspannung mit der Eingangsspannung erfolgen, so muß diese zunächst auch im Verhältnis 1 : 2 geteilt werden. Das geschieht mit R_5 und P , die gleichen Ohmwert haben. Es entspricht nun derjenige an P abgegriffene Prozentsatz der halben Ursprungsspannung dem Klirrfaktor, der den gleichen Ausschlag an J hervorruft wie die Spannung BC .

Berechnung der Schaltung

a) Schwingkreis

Der Schwingkreis muß mit allen Frequenzen in Resonanz gebracht werden können, die im in Frage kommenden Tonbereich liegen, soweit ihre niedrigste Oberwelle (doppelte Frequenz) noch in diesem Bereich liegt. Nimmt man den Bereich mit 20—10 000 Hz an, dann muß der Schwingkreis für 20—5000 Hz dimensioniert sein.

Die handelsüblichen meßtechnisch genauen Kondensatoren haben eine Maximalkapazität von einigen μF . Die zugehörige Induktivität liegt für Resonanz der tiefsten Frequenz bei einigen Hy. Gewählt wurde eine Spule mit 5 Hy. Die kleinste Kapazität ist bestimmt durch den Bereich des Drehkondensators. Dieser soll 0,002 μF haben (C_v). Die zur höchsten Frequenz (5000 Hz) und dieser Kapazität gehörende Induktivität liegt bei 0,5 Hy. Das gesamte Frequenzband wird mit diesen beiden Spulen überstrichen. Die beiden Bereiche überlappen sich von 200 bis 1000 Hz. Es hat sich erwiesen, daß eine Verwendung des ersten Bereiches über 500 Hz hinaus nicht zweckmäßig ist, und zwar aus folgenden Gründen: Die Breite der Resonanzkurve ist proportional dem Verhältnis R/Z . Hierin ist R der Verlustwiderstand, $Z = \sqrt{L/C}$ die Wellencharakteristik. Daraus folgt, daß die Resonanzschärfe mit Z steigt, d. h. mit kleiner werdendem C — oder für unseren Fall mit steigender Frequenz bei Verwendung derselben Spule. Die an und für sich erwünschte große Resonanzschärfe führt aber zu Meßfehlern, wenn die Grundfrequenz während der Messung schwankt. Bekanntlich ändert sich die Frequenz industrieller Schwebungsummer bei Netzspannungsschwankungen von $\pm 10\%$ bis zu $\pm 15\%$. Aus diesen Betrachtungen ergibt sich als günstige Lösung die

Messung eingehende Betrag Grundwelle + Oberwellen trotz Abschaltung von R_1 einer Anpassung der Grundwelle an ebenfalls 500 Ω entspricht.

b) Spannungsteiler

Als Gesamtwiderstand für den Spannungsteiler wurde 4000 Ω gewählt, weil sich einerseits hierbei günstige Teilwiderstände für R_{5f} und R_{5g} ergeben, andererseits aber der größte abgreifbare Widerstand ($R_{5f} + R_{5g}$) klein bleiben sollte gegen den Eingang des Verstärkers (bzw. auch gegen den Meßhörer). Es wurde oben abgeleitet, daß der Klirrfaktor gleich ist dem Verhältnis der abgegriffenen Spannung zur Hälfte der Gesamtspannung. Daher

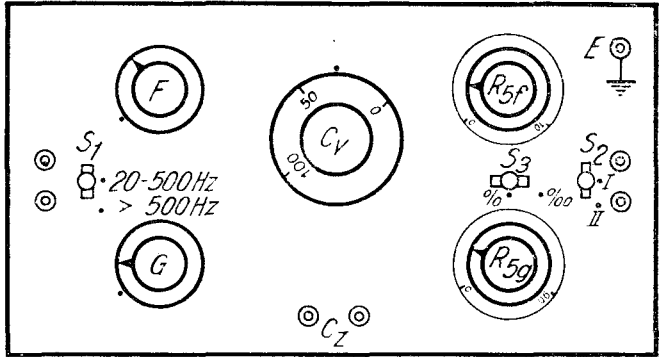


Abb. 3. Vorschlag für die Anordnung der Bedienungsknöpfe an der Frontplatte

bleiben für den regelbaren Teil des Spannungsteilers ($R_{5f} + R_{5g}$) 2000 Ω übrig. Die restlichen 2000 Ω wurden in Form zweier Festwiderstände von je 1000 Ω aus Symmetriegründen an beide Seiten des regelbaren Teils gelegt (R_5 und R_6). R_{5f} besteht aus $10 \times 20 \Omega$ für 1 % bis 10 % (10-stufiger Schalter) und R_{5g} aus $9 \times 200 \Omega$ für 10 % bis 90 % (9-stufiger Schalter). Der Bereich S_3 „%“ gestattet also die Messung von 1 % bis 100 %. Der Bereich S_3 „ $\cdot 10^0$ “ soll zehnfach empfindlicher sein, der Gesamtwiderstand muß demnach $4000 \times 10 = 40\,000 \Omega$ betragen. Es entfallen dann auf $R_{10} = R_{11} \cdot \frac{1}{2}$ ($40\,000 - 2000$) = 19 000 Ω . Um auch bei Umschaltung auf „ $\cdot 10^0$ “ die Belastung des Eingangs annähernd konstant zu halten, wird hierbei der Widerstand R_0 von 5000 Ω parallelgeschaltet.

c) Sonstige Einzelteile

Das Gerät ist durch Einbau in einen Aluminiumkasten statisch abzuschirmen. Für die Umschalter wurden

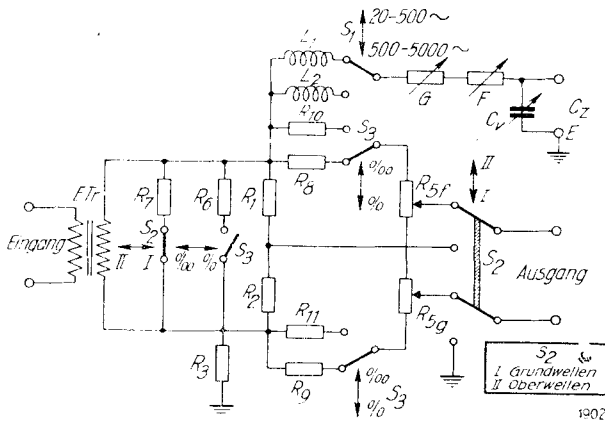


Abb. 2. Ausführliches Schaltbild

Trennung der Bereiche bei 500 Hz. Der Widerstand R_1 ist in zwei regelbare Teile G (grob) und F (fein) geteilt (Abb. 2).

Mit Hilfe dieser Regelwiderstände G und F (500 und 50 Ω) läßt sich der Wirkwiderstand der Spulen auf 500 Ω ergänzen. Dieser Wert erschien auch im Interesse einer günstigen Anpassung an einen handelsüblichen Eingangsübertrager geeignet.

Der Eingangswiderstand der Brücke beträgt für die Grundwelle 500 Ω , für die Oberwellen jedoch wegen $R_{1s} \gg R_3$ ca. 1000 Ω ($R_1 + R_3$). Um dadurch entstehende Meßfehler zu vermeiden, wird in der Schalterstellung S_2 „Oberwellen“ der Widerstand R_7 mit 1000 Ω parallel zur Brücke geschaltet, der den Eingangswiderstand der Brücke für Oberwellen auf 500 Ω herabdrückt. Der in dieser Schalterstellung zu messende Betrag der Oberwellen entspricht also einer Anpassung derselben an 500 Ω , während der in Stellung S_2 „Grundwelle“ in die

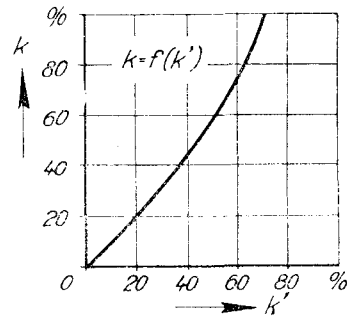


Abb. 4. Korrekturkurve
 k' gemessener Faktor, k wirklicher Klirrfaktor

wegen der sicheren Kontaktgabe Kellogschalter verwendet. Die Widerstände R_1 , R_2 , R_3 sind ausgesucht und haben eine Toleranz $\pm 0,2\%$. Die Drehwiderstände G und F haben isolierte Achsen, um eine Handkapazität zu vermeiden. Der Stator des Drehkondensators liegt am

Gehäuse. Dadurch ist ein Brückenpunkt geerdet. Der Rotor ist genügend gegen den Drehknopf abgeschirmt. Parallel zu C_z liegen die Anschlußklemmen für den zusätzlichen Stufenkondensator C_z .

Die Spulen sind als Ringspulen mit Eisenkern ausgebildet und haben eine vernachlässigbar kleine Streuinduktivität. Ihre Daten sind in der folgenden Tabelle eingetragen. Sie sind als Anhaltswerte gedacht. $G = \omega L/R$ ist die Güte bei 500 bzw. 2000 Hz.

Induktivität Hy	Gleichstrom- widerstand Ω	Güte Mittelwert G	Frequenz- bereich Hz
5	60	150	30—500
0.5	10	240	500—5000

Es können auch andere Spulen (Luft) verwendet werden, die aber ähnliche Werte haben sollten. Evtl. ist Abschirmung vorzusehen. Die Widerstände des Spannungsteilers sind praktisch induktionsfrei. Sie wurden ausgesucht und haben Toleranzen von $\pm 0,5\%$. Die $20\ \Omega$ -Widerstände sind bifilar gewickelt und selbst herstellbar.

Bedienungsanweisung

Die Brücke wird über Klemme E geerdet (Abb. 5 a). Am Eingang des Meßobjektes liegt eine Tonfrequenz; die Brücken-Eingangsspannung soll 2 V nicht übersteigen, um zusätzliche nichtlineare Verzerrungen zu vermeiden. Die angelegte Spannung darf keine hohe Gleichstromkomponente haben. An die Klemmen C_z wird der Zusatzkondensator angeschlossen, am Ausgang liegt ein Meßkopfhörer ($2 \times 2000\ \Omega$) und der Eingang eines Meßverstärkers. Schalter S_2 steht zunächst auf „Oberwellen“ (II).

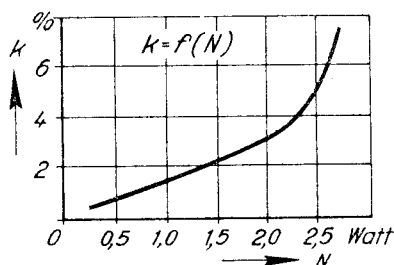
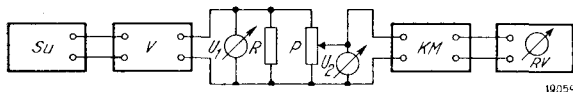


Abb. 5. Klirrfaktormessung an einem Leistungsverstärker in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung

- a) Meßanordnung. S_u Schwebungssumme, V Verstärker als Meßobjekt, R Ausgangswiderstand als Belastung (z. B. $600\ \Omega$), U_1 Ausgangsspannung ($N = U_1^2/R$), P Spannungsteiler, U_2 Eingangsspannung der Brücke, KM Klirrfaktormessbrücke, RV Röhrenvoltmeter mit Effektivwertanzeige
- b) Klirrfaktor in Abhängigkeit von der Verstärkerleistung

Mittels Umschalter S_1 wird der Bereich der Grundfrequenz eingestellt. Zuerst wird C_z ungefähr eingestellt.

Durch abwechselndes Abstimmen von C_z , C_v , G und F wird auf Tonminimum im Hörer eingestellt, so daß nur noch die Oberwellen hörbar sind. Nun wird der Eingangsregler des Meßverstärkers so weit aufgedreht, bis das Detektor-Instrument an dessen Ausgang einen Ausschlag von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der Skalenlänge zeigt. Es wird nochmal vorsichtig nach dem Instrument abgestimmt, der Ausschlag abgelesen und bei Schalterstellung S_2 „Grundwelle“ (I)

mit Hilfe der Spannungsteiler R_{5f} und R_{5g} nochmals hergestellt. (Kontrollmöglichkeit: Umkippen von S_2). In diese Stellung kann der Klirrfaktor direkt abgelesen werden. Die eingestellten Skalenteile von R_{5f} und R_{5g} werden addiert und bedeuten je nach Schalterstellung S_3 Prozent oder Promille.

Es empfiehlt sich, bei genauen Messungen mehrfach abzugleichen und abzulesen, um Änderungen der Grundfrequenz zu berücksichtigen. Für Klirrfaktoren der Größenordnung von 1% muß die Eingangsspannung mindestens 1 V betragen. Für Klirrfaktoren über 20% ist aus den besprochenen Gründen die Korrekturkurve Abb. 4 zu berücksichtigen.

Messungen

Als Anwendungsbeispiel zeigt die Kurve Abb. 5 b den Gang des Klirrfaktors in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung eines Meßverstärkers der Industrie.

htg.

Liste der Einzelteile

Bez.	Einzelteil	Größe
L_1	Drosselspule, Gleichstromwiderstand $60\ \Omega$ (Ringkern)	5 Hy
L_2	Drosselspule, Gleichstromwiderstand $9\ \Omega$ (Ringkern)	0.5 Hy
C_v	Drehkondensator	2000 pF
G	Grobregelwiderstand, drahtgewickelt	500 Ω
F	Feinregelwiderstand, drahtgewickelt	50 Ω
R_{5f}	Stufenwiderstand (9 Stufen), induktionsfrei	$9 \times 200\ \Omega$
R_{5g}	Stufenwiderstand (10 Stufen), induktionsfrei	$10 \times 20\ \Omega$
S_1	Kellog-Schalter, 1 Kontakt	
S_2	Kellog-Schalter, 3 Kontakte	
S_3	Kellog-Schalter, 3 Kontakte	
R_1, R_2, R_3	Schichtwiderstände	500 Ω
R_4	Schichtwiderstand, zusammengesetzt	4400 Ω
R_5	Schichtwiderstand	1 k Ω
R_6	Schichtwiderstände	1 k Ω
R_7, R_8, R_9	Schichtwiderstände, zusammengesetzt	19 k Ω
R_{10}, R_{11}	Stufenschalter, 9stufig, einpolig	
α	Stufenschalter, 10stufig, einpolig	

BUCHBESPRECHUNG

Taschenkalender für Rundfunktechniker 1942. Bearbeitet von Dipl.-Ing. Hans Monn. 352 Seiten in biegsamem Taschenband. Preis RM. 4,25. Funkschau-Verlag, München.

Die neue Ausgabe hat in technischer Hinsicht wiederum Erweiterungen erfahren, die sich in erster Linie auf die neu aufgenommenen Abschnitte „Magnetismus“, „Die Bemessung von R und C bei RC-Kopplung“, „Genormte Schaltzeichen“ und einige Tabellen erstrecken. Daß dafür der für das Kalendarium vorgesehene Raum eingeschränkt werden mußte, bedarf kaum einer Rechtfertigung, zumal der Rundfunktechniker das Schwergewicht auf den fachlichen Teil legt.

Die dem Kalender eigene kurze und übersichtliche Behandlung der wichtigsten elektrischen und akustischen Berechnungsgänge in Verbindung mit praktischen Beispielen wurde beibehalten. Die über die Röhre und das Gebiet der Akustik nach Art eines kleinen Lexikons aufgenommenen Grundlagen kommen neben den Einführungen über Empfangsantennen, Störschutztechnik und Meßgeräten dem weniger Eingeweihten zugute. Zu erwähnen ist ferner ein Beitrag von Handrak, der offiziell über den neuen Anlernberuf „Rundfunk-Instandsetzer“ berichtet.

Rudolf Schadow.

Praktischer Durchgangsprüfer für Leitungen und Einzelteile

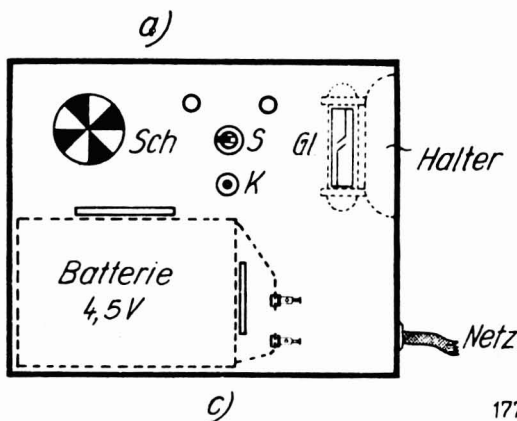
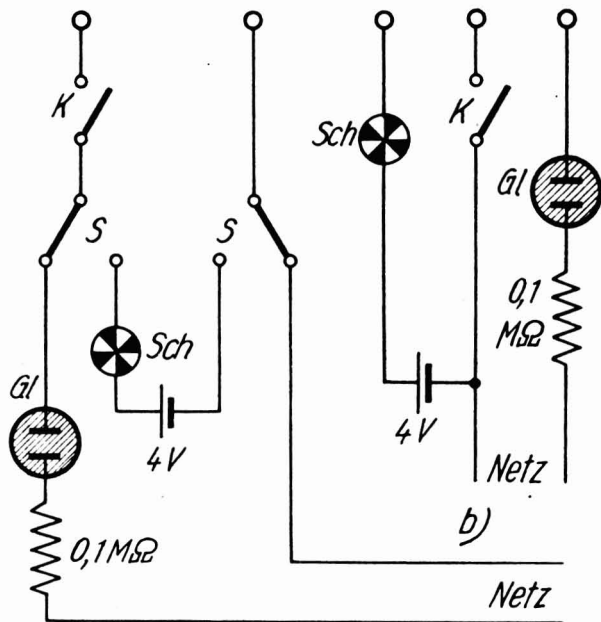
Das kleine Gerät vereinigt in sich einen Glimmprüfer, der aus dem Netz betrieben wird, und ein Schauzeichen mit einer Taschenlampenbatterie. Aus der Schaltzeichnung Abb. 1a geht hervor, daß dies Gerät nur ein Buchsenpaar hat. Das Wechseln der beiden Prüfmöglichkeiten geschieht durch einen zweipoligen Umschalter S. Die Betriebsspannung für den Glimmprüfer wird dem Netz entnommen, für das Schauzeichen baut man eine Taschenlampenbatterie ein. Als Glimmröhre wird eine UR 110 oder eine ähnliche verwendet oder eine sogenannte Meldeglimmlampe, die ein kleines Gewinde hat, in das der Schutzwiderstand in der Regel schon eingebaut

wendet, dann muß ein kleiner Widerstandhalter an eine Seitenwand befestigt werden. In die Leitung von einem Pol des Schalters zu einer Buchse legt man einen Klingelknopf K.

Es lassen sich aber auch drei Buchsen einbauen und dadurch wird der Umschalter erspart. In diesem Falle baut man den Klingelknopf natürlich in die Zuleitung zur mittleren Buchse (Abb. 1 b), weil an sie je ein Pol der beiden Systeme angeschlossen wird, und der Knopf dann für beide Gruppen zu gebrauchen ist.

D. Woeste

Zeichnung vom Verfasser

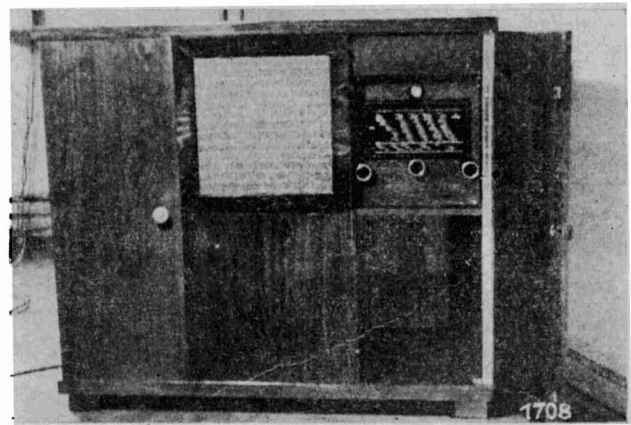


Selbstbau eines Musikschrankes

Aus unserm Leserkreis geht uns die nachstehende Beschreibung eines Musikschrankes zu. Da das Interesse an solchen Modellen sehr rege ist, veröffentlichen wir hier gern die Ausführungen als Anregung für andere Leser.

Nach Anfertigung verschiedener Modelle kam ich auf diese schlichte und vor allem zweckmäßige Form eines Musikschrankes. Die äußeren Maße sind: Höhe 90 cm. Breite 102 cm und Tiefe 42 cm. Der Empfänger ist ein selbstgebauter 5 Röhren-Allstromsuper, der Lautsprecher ein Fertigfabrikat.

Der Empfänger befindet sich im rechten Teil des Schrankes und der Lautsprecher in der Mitte. Die Schallwand ist zur besseren Schallabstrahlung etwas nach oben gerichtet. Das ist unsichtbar hinter der Seite geschehen. Das magische Auge befindet sich in der Mitte über der Skala. Der Deckel ist aufklappbar und stellt sich selbst



fest. Im Oberteil befindet sich rechts der Plattenspieler. Die linke Hälfte ist für einen zweiten Plattenspieler vorgesehen. Der Klangregler und Sprache-Musik-Schalter ist im Oberteil in der Mitte und durch Drahtung mit dem Gerät verbunden.

Zur leichteren Bedienung ist das ganze Gerät vorn etwas gehoben, so daß die Skala leicht nach oben steht. Sie ist so besser zu sehen. Das Holz ist Buchensperrholz 16 mm, dunkelbraun gebeizt und hochglanz poliert. Beide Türen werden durch Fensterschnapper gehalten. Der übrige Raum kann nach Belieben zum Unterbringen von Schallplatten, Zeitschriften u. a. m. verwendet werden.

Klanglich ist das Gerät durch die Größe der Schallwand (48×48 cm) sehr gut. Auch die Empfangsleistung ist recht gut.

H. Zeiger.

Aufnahme vom Verfasser

ist. Es läßt sich auch eine große Bienenkorbglimmlampe verwenden, was sogar manchmal von Vorteil ist.

Zum Aufbau ist weiter nichts zu sagen. Die Anordnung der Einzelteile erfolgt am besten nach Abb. 1c. Nach dieser Skizze läßt sich das ganze Gerät in ein Kästchen 110 × 110 × 40 mm einbauen. Wird die UR 110 ver-

Alle Abbildungen in diesem Heft, die keinen Urhebervermerk tragen, wurden nach Angaben der Schriftleitung hergestellt

Hauptschriftleiter: Lothar Band, Berlin. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Karl Tank, z. Z. im Felde. I. V. H. Goldberg, Berlin SO 16, Melchiorstr. 18. — Gültige Preisliste Nr. 2 vom 1. September 1935. — Druck: Preußische Verlags- und Druckerei GmbH., Berlin. — Sendungen an die Schriftleitung, ohne persönliche Anschrift, nur nach Berlin SW 68, Zimmerstr. 94. Fernruf: 12 30 56. — Verlag: Weidmannsche Verlagsbuchhandlung, Berlin SW 68, Zimmerstr. 94. — Postscheckkonto: Berlin 883 78, Sonderkonto „Funk“. — Für unverlangt eingesandte Manuskripte übernimmt die Schriftleitung keine Verantwortung. — Bei Ausfall der Lieferung wegen höherer Gewalt besteht kein Anspruch auf Ersatz oder Rückzahlung. — Nachdruck sämtlicher Artikel verboten.