

Transistorbestückter Prüfsender zum Selbstbau

Zunächst sei auf die Bedingungen der Deutschen Bundespost hingewiesen, die das Mustergerät (Bild 1) einhält:

„Für die Entwicklung und den Betrieb eines Prüfsenders wurde mit Amtsblatt-Vf. Nr. 59 des Bundesministers für das Post- und Fernmeldewesen vom 1. 7. 1952 gemäß § 3 des Gesetzes über den Betrieb von Hf-Geräten vom 9. 8. 1949 eine ‚Allgemeine Genehmigung‘ erteilt, sofern

- der Prüfsender nicht zu fernmeldemäßigen Übermittlungen bestimmt ist oder verwendet wird, und
- er von der Industrie gebaut und listenmäßig vertrieben bzw. von Laboratorien und Werkstätten ausschließlich zur Verwendung im eigenen Betrieb erstellt wird,
- die abgegebene Hf-Leistung 1,5 W nicht überschreitet,
- die Schirmung des Gerätes so vollkommen ist, daß außerhalb des Gehäuses in allen Belastungszuständen (Belastungswiderstand mittels geeigneter Steckvorrichtung mit in die Geräteabschirmung einbezogen) ohne das angeschlossene Meßobjekt die durch Strahlung erzeugte Feldstärke kleiner ist als $3 \mu\text{V/m}$ in 30 m Entfernung und
- die auf den angeschlossenen Leitungen (Starkstrom-, Modulationsleitungen usw.) stehenden Funkstörspannungen den Funkstörgrad K nicht überschreiten.“

Die Schaltung

Bild 2 zeigt, daß für jeden der sechs Bereiche ein eigener Oszillator vorgesehen ist. Diese Konstruktion sieht etwas aufwendig aus; sie bringt jedoch eine Reihe von Vorteilen mit sich, die kurz erläutert werden sollen. Auf diese Weise ist nur einmal Hochfrequenz zu schalten, und zwar am Bereichsschalter, der die verschiedenen Auskoppelwicklungen an den Abschwächer legt. In den Schwingkreisen befinden sich somit keine Schaltkontakte, wodurch lange Leitungen wegfallen, die zu unerwünschten Resonanzen oder Dämpfungen führen können. Der Aufbau wird auf diese Weise ebenfalls einfacher und übersichtlicher, da für jeden Oszillator eine eigene gedruckte Schaltung verwendet wird. Wie man dem Blockschaltbild entnimmt, liegt zwischen dem Stromversorgungsteil und den Oszillatoren der Modulationsteil. Hier wird bei AM der Betriebsspannung die Modulationsspannung überlagert. Diese beiden Stufen sind ebenfalls als voneinander unabhängige Bausteine in gedruckten Schaltungen ausgeführt. Das Aufteilen in verschiedene Bausteine erleichtert den Nachbau, außerdem kann das Gerät so bequemer individuellen Wünschen angepaßt werden.

In der Gesamtschaltung (Bild 3) sind zur besseren Übersicht die meisten Bauteile mit zweistelligen Positionszahlen versehen. Die erste Ziffer (Zehner) kennzeichnet die Stufe (vgl. Bild 2), die zweite die laufende Nummer des Bauteiles. Man erkennt, daß sich die Oszillatoren 1 bis 5 in ihrer Schaltung kaum unterscheiden, lediglich der Oszillator

Das beschriebene Gerät wurde vor allem für den Außendienst entwickelt. Es erzeugt in sechs Bereichen Schwingungen zwischen 150 kHz und 40 MHz sowie zwischen 80 und 97 MHz. Die einstellbare Amplitude der Hf-Spannung beträgt maximal 0,1 V. Das Signal kann mit einem internen 500-Hz-Generator sowohl in der Amplitude als auch in der Frequenz moduliert werden. Zur Stromversorgung dienen Batterien, und eine Kontrollampe zeigt automatisch eine zu niedrige Betriebsspannung an.

für den UKW-Bereich weicht von diesem Schaltprinzip ab. Stellvertretend für die übrigen Bereiche 2 bis 5 wird am Beispiel des ersten Oszillators die Arbeitsweise der Oszillatoren beschrieben.



Bild 1. Frontansicht des Mustergerätes

Der Transistor T 10 arbeitet in Emitterschaltung, die Widerstände R 11, R 12, R 14 stellen den Arbeitspunkt ein. Bei der angegebenen Dimensionierung soll der Kollektorstrom etwa 6 bis 7 mA betragen. Der Emittorwiderstand R 14 wirkt als Gegenkopplung, und er dient zur Temperaturstabilisierung. Die Kondensatoren C 10 und C 11 stellen für die Hochfrequenz Kurzschlüsse dar, sie dienen zur gleichstrommäßigen Trennung. Der Widerstand R 15 setzt die dynamische Gegenkopplung von R 14 herab. Der Widerstand R 13 bewirkt eine Stromsteuerung des Transistors, außerdem kann man damit erreichen, daß die

Amplitude der Ausgangsspannung von der Frequenz weitgehend unabhängig bleibt (siehe Kapitel Inbetriebnahme).

Die Rückkopplung (Meißner) erfolgt über die Wicklung w 1 auf die Basis; von der Wicklung w 4 gelangt die Ausgangsspannung über den Widerstand R 16 zum Bereichsschalter. Bei den Bereichen für höhere Frequenzen treten leicht innerhalb des Bereiches durch Resonanzen bedingte starke Amplitudenänderungen der Ausgangsspannung auf. Um diese Störungen gering zu halten, ist folgendes zu beachten: Alle Hochfrequenzleitungen sind so kurz wie möglich auszuführen, bei den Spulen ist auf eine enge Kopplung zu achten, den Überbrückungskondensatoren sind gegebenenfalls kleine Kondensatoren parallel zu schalten, auch kann die Gegenkopplung durch R 15 vergrößert werden. Wo die beschriebenen Maßnahmen noch nicht zu dem gewünschten Erfolg führen, kann ein Dämpfungswiderstand parallel zum Schwingkreis helfen.

Die Rückkopplung soll möglichst schwach eingestellt sein. Bei zu fester Rückkopplung können sich nämlich beim Durchdrehen des Abstimmkondensators Resonanzstellen bemerkbar machen, bei denen sich Amplitude und Frequenz der Ausgangsspannung sprunghaft ändern, außerdem wird das Auftreten von Oberschwingungen begünstigt. Infolge von Exemplarstreuungen der verschiedenen Bauteile ist es nicht möglich, die geringstmögliche Rückkopplung im voraus zu bestimmen. Das richtige Einstellen der Rückkopplung wird deshalb am Schluß noch genauer beschrieben.

Der Oszillator für den UKW-Bereich arbeitet in Basisschaltung. Bei der hohen Frequenz von etwa 100 MHz erschien es zweckmäßig, den Oszillator nur für eine geringe Frequenzvariation auszulegen. Eine am Eingang angenommene Steuerspannung ruft im Kollektorkreis eine der Eingangsspannung um 90° in der Phase nacheilende Spannung hervor, sofern die Frequenz der Eingangsspannung gleich der Resonanzfrequenz des Schwingkreises ist. Der Rückkopplungsweig besteht aus dem kleinen Blindleitwert des Rückkopplungskondensators und dem großen Eingangsleitwert des Transistors, der bei den vorkommenden Frequenzen nahezu reell ist. Der Strom im Rückkopplungsweig eilt somit der Ausgangsspannung um etwa 90° in der Phase voraus, so daß die rückgekoppelte Spannung am Eingang mit der angenommenen Steuerspannung in Phase ist. Wenn die rückgekoppelte Spannung mindestens gleich der angenommenen Spannung ist, tritt Selbst-erregung ein, der Oszillator schwingt.

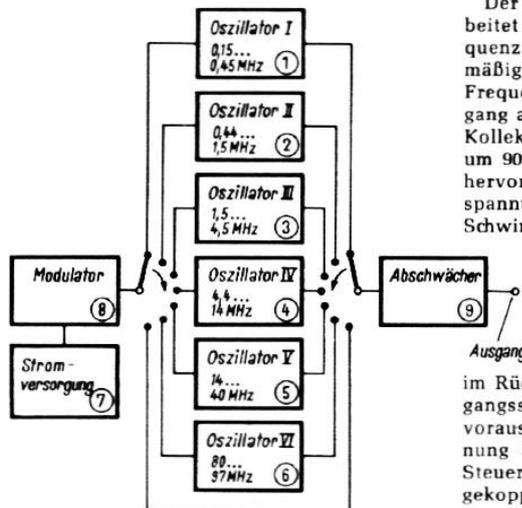


Bild 2. Blockschaltung des Prüfsenders

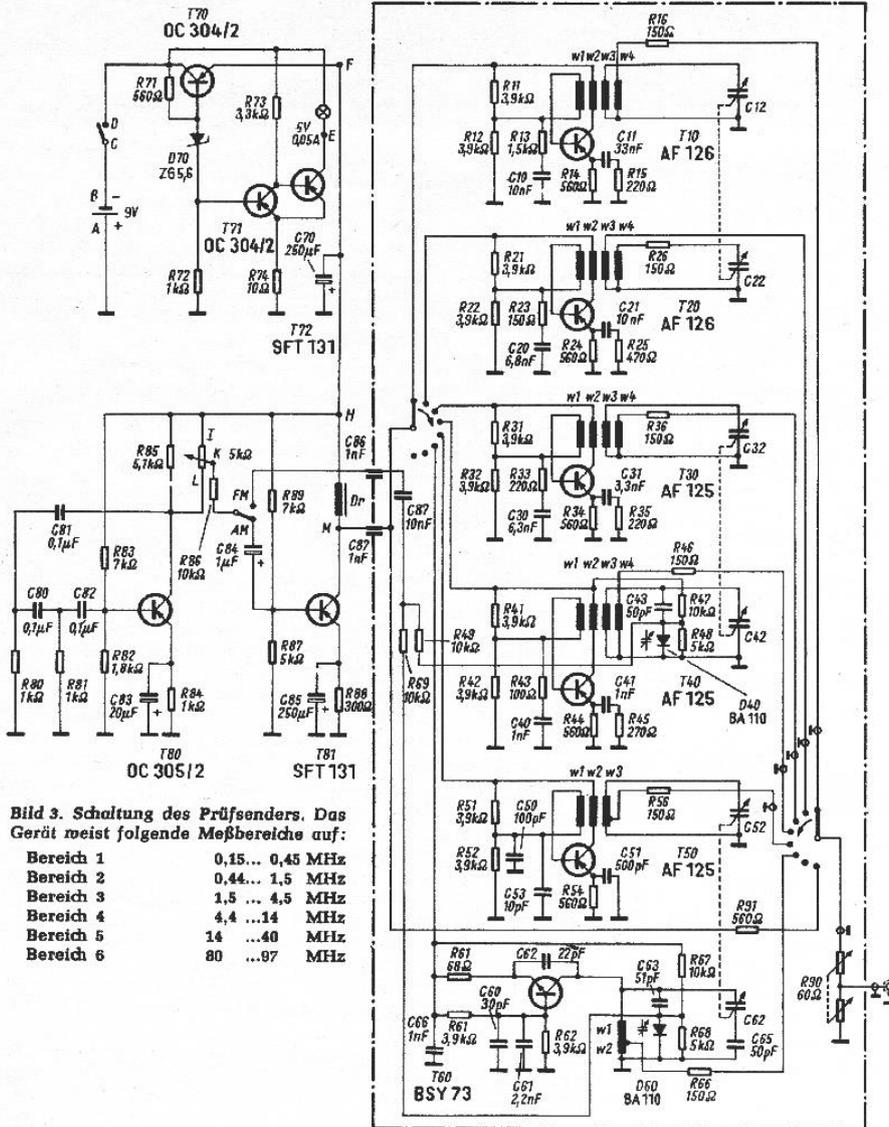


Bild 3. Schaltung des Prüfsenders. Das Gerät weist folgende Meßbereiche auf:

Bereich 1	0,15... 0,45 MHz
Bereich 2	0,44... 1,5 MHz
Bereich 3	1,5 ... 4,5 MHz
Bereich 4	4,4 ... 14 MHz
Bereich 5	14 ... 40 MHz
Bereich 6	80 ... 97 MHz

Im Mustergerät dient ein Paket eines Doppeldrehkondensators von 480 pF zum Abstimmen. Die Kapazitätsvariation wird durch Vorschalten eines kleinen Kondensators herabgesetzt. Diese Lösung wurde nur gewählt, weil der mechanische Aufbau des Gerätes für drei AM-Drehkondensatoren ausgelegt wurde und weil der Einbau einer zusätzlichen UKW-Type nicht mehr möglich war. Es stellte sich nämlich während der Versuche heraus, daß der AM-Kondensator, der wegen seiner größeren Kapazitätsvariation gewählt worden war, die höchste Resonanzfrequenz durch seine Eigeninduktivität herabsetzt. Im Mustergerät waren deshalb als obere UKW-Frequenz nur etwa 97 MHz zu erreichen.

Beim Aufbau der Spulen ist vor allem auf feste Kopplung der Teilwicklungen zu achten. Zunächst wird die Auskoppelwicklung für den Kollektorkreis gewickelt, dann folgt die Schwingkreiswicklung, in welcher die Rückkopplungs- und Ausgangswicklungen verschachtelt untergebracht sind. Die räumliche Trennung der Kollektorwicklung von der Rückkopplungswicklung vermeidet Oberschwingungen durch kapazitive Rückkopplung. Durch das Verschachteln der Ausgangswicklung mit der Schwingkreiswicklung verhindert man, daß Oberschwingungen, wie sie im Kollektorkreis auftreten, zum Ausgang gelangen. Aus demselben Grund ist die Kollektorwicklung zuunterst

aufgebracht, damit von ihr keine Störspannungen durch Strahlung auf die Leitungen zum Abschwächer übertragen werden können. Diese Leitungen sind deshalb auch noch abzuschirmen. Diese Maßnahmen erscheinen vielleicht etwas übertrieben, es hat sich jedoch gezeigt, daß sie sehr nützlich und notwendig sind.

Über den Bereichsschalter liegt die Ausgangswicklung des gewünschten Bereiches am Abschwächer, das ist ein Hf-Spannungsteiler von Preh. Die Leitung vom Abschwächer zur Ausgangsbuchse muß vor allem innerhalb des Aluminiumgehäuses sehr gut abgeschirmt werden. Sonst kann die Spannung am Ausgang bei heruntergeregeltem Abschwächer weit größer sein als sie nach dem Spannungsteilverhältnis sein sollte, da auf die Leitung Hochfrequenz einstrahlt. Im Mustergerät war es sogar nötig, das verwendete Koaxialkabel noch zusätzlich mit dünner Kupferfolie abzuschirmen. Damit Meßobjekt und Stellung des Abschwächers den Oszillator nur wenig beeinflussen, liegt vor dem 60-Ω-Einsteller noch ein 150-Ω-Entkopplungswiderstand. Außerdem enthält die Auskoppelwicklung nur wenige Windungen. Die maximale Ausgangsspannung beträgt deshalb nur etwa 0,1 V, was aber für Abgleicharbeiten völlig ausreicht. Frequenzänderungen bei Belastungsänderungen waren nicht meßbar.

Spulen-Tabelle

Bereich 1:	
Rückkopplungswicklung	w 1 10 Wdg. 0,4 CuL
Kollektorkwicklung	w 2 46 Wdg. 0,2 CuL
Kreiswicklung	w 3 470 Wdg. 10 × 0,04 CuLS
Ausgangswicklung	
Bereich 2:	
w 4	6 Wdg. 0,4 CuL
w 1	7 Wdg. 0,4 CuL
w 2	27 Wdg. 0,2 CuL
w 3	165 Wdg. 10 × 0,04 CuLS
Bereich 3:	
w 4	3 Wdg. 0,4 CuL
w 1	4 Wdg. 0,4 CuL
w 2	15 Wdg. 0,2 CuL
w 3	52 Wdg. 10 × 0,04 CuLS
Bereich 4:	
w 4	2 Wdg. 0,4 CuL
w 1	2 Wdg. 0,4 CuL
w 2	8 Wdg. 0,4 CuL
w 3	14 Wdg. 0,4 CuL
w 4	1 Wdg. 0,4 CuL
Bereich 5:	
w 1	1 Wdg. 0,4 CuL
w 2	5 Wdg. 0,4 CuL
w 3	5 Wdg. 1 CuAG
Anzapfung bei 1 Wdg. 0,4 CuL	
Bereich 6 Schwingkreisspule:	
1 Wdg. 6 mm ϕ , 1 mm CuAg, Anzapfung $\frac{1}{4}$ Wdg. vom kalten Ende	

Für die Bereiche 1 bis 5 werden Stiefelspulenkörper 35 mm × 7 mm verwendet. Breite der Wicklung bei Bereich 1 = 15 mm, sonst 6 mm. Spulenkern: Bereiche 1 und 2: Fc 1 6 mm × 13 mm (Vogt & Co.) Bereiche 3, 4, 5: FC-FU II 6 mm × 13 mm (Vogt & Co.)

In Ermangelung einer geeigneten Wickelvorrichtung wurden die Spulen lagenweise Wicklung an Wicklung gewickelt.

Modulationsdrossel Dr: Kern M 30, 1150 Wdg., 0,2 CuL, Dynamoblech IV ohne Luftspalt.

Bei dem Mustergerät ist in allen Bereichen Amplitudenmodulation möglich, Frequenzmodulation ist nur für die Bereiche vorgesehen, in welchen UKW-Sender arbeiten und die UKW-Zf liegt. Der Tongenerator enthält zwei Transistoren, weil der Modulationsgrad einstellbar und die Modulationsspannung verzerrungsarm sein sollen. Der Transistor T 80 erzeugt in einer Phasenschieberschaltung die Nf-Spannung, der Transistor T 81 arbeitet als Endstufe. Zur Amplitudenmodulation wird die Betriebsspannung der Oszillatoren im Rhythmus der Niederfrequenz geändert, dieses Verfahren ist aus der Röhrentechnik als Anodenmodulation bekannt, es zeichnet sich im vorliegenden Fall durch besondere Einfachheit aus. Der Modulationsgrad ist jedoch begrenzt; wird er zu hoch, treten Verzerrungen und unerwünschte Frequenzmodulation auf. Die Betriebsspannungen für die Oszillatoren zweigt hinter der Modulationsdrossel ab, wird keine AM gewünscht, dann trennt man den Eingang der Endstufe vom Tongenerator.

Die Frequenzmodulation bewirken Varicapdioden D 40 und D 60. Sie erhalten eine Sperrspannung zur Arbeitspunkteinstellung über die Widerstände R 47/R 48 und R 67/R 68. Die Tonfrequenz gelangt vom Modulationseinsteller über die Entkopplungswiderstände R 49 und R 69 zu diesen Dioden.

Stabilisierung und Kontrolle der Betriebsspannung

Bei dem geringen Stromverbrauch von etwa 20 mA liegt es nahe, mit Batteriespeisung zu arbeiten. Dadurch ist das Gerät überall betriebsbereit, außerdem entfallen alle Maßnahmen, die sonst das Abfließen von Hochfrequenz über die Stromversorgungsleitungen verhindern.

Nachteilig ist bei Batteriebetrieb das Absinken der Batteriespannung. Um Meßfehler

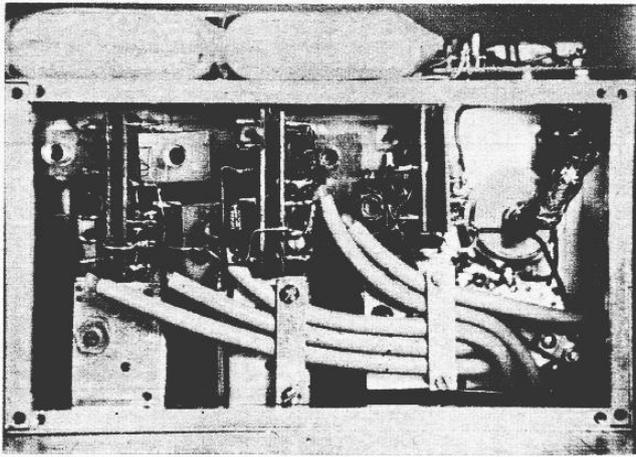


Bild 4. Innenansicht des Gerätes, die Rückwand des Abschirmgehäuses wurde abgenommen

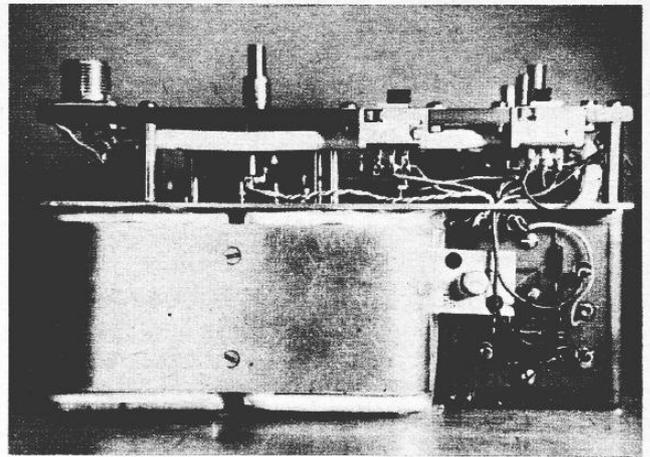


Bild 5. Seitenansicht des Gerätes ohne Gehäuse

zu vermeiden, ist es deshalb nötig, die Betriebsspannung zu stabilisieren. Zusätzlich ist dafür zu sorgen, daß bei Tiefentladung (= Aussetzen der Stabilisierung) das Gerät nicht mehr benützt wird. Ein kleines Kontrollinstrument für die Batteriespannung wäre die einfachste Lösung, für das Mustergerät wird jedoch eine andere Kontrolle verwendet, die billiger und eleganter ist. Die mit zwei Transistoren arbeitende Schaltung zeigt eine zu niedrige Batteriespannung durch Aufleuchten einer Kontrolllampe an. Voraussetzung für das sichere Arbeiten dieser Kontrollschaltung ist, daß die Kapazität der Batterien bei Erreichen der niedrigsten zulässigen Spannung noch ausreicht, die Lampe aufleuchten zu lassen. Wenn das Gerät oft benutzt wird, ist diese Voraussetzung erfüllt. Bei nur gelegentlichem Gebrauch ist eine Kontrolle durch ein Anzeigergerät günstiger.

Die Stabilisierung der Betriebsspannung kann im einfachsten Fall durch eine Zenerdiode erfolgen. Eine solche Schaltung hat jedoch einen schlechten Wirkungsgrad, weil der der Batterie entnommene Strom bei frischer Batterie viel größer ist als der für den Prüfender tatsächlich benötigte Strom. Eine wesentlich günstigere Ausnutzung der Batterie erzielt eine erweiterte Stabilisierungsschaltung mit einem zusätzlichen Transistor. Der von der Batterie abgegebene Gesamtstrom ist dann fast unabhängig von der Batteriespannung und nur geringfügig größer als der für den Sender benötigte Strom. Wenn man bedenkt, daß der Transistor nicht mehr kostet als ein Batteriesatz, dessen Lebensdauer er verdoppelt, so ist diese Maßnahme gerechtfertigt.

Bei frischer Batterie fließt durch die Zenerdiode D 70 Zenerstrom. Am Emittor des Transistors T 70 stellt sich eine Spannung ein, die etwas größer als die Zenerspannung ist. Diese Spannung wird dem Modulator und dem eigentlichen Prüfender zugeführt. Durch den Zenerstrom erhält auch

der Transistor T 71 einen Basisstrom und öffnet. Zwischen Emittor und Kollektor von T 71 liegt nur noch eine geringe Spannung, die beim Transistor T 72 als Steuerspannung wirkt und infolge ihres kleinen Wertes diesen Transistor sperrt. Nimmt die Batteriespannung ab, so kann kein Zenerstrom mehr fließen, der Transistor T 71 sperrt. Der Transistor T 72 erhält nun eine höhere Steuerspannung und öffnet, die Lampe brennt. Das Umkippen in diesen Zustand wird noch durch die Rückkopplung über den gemeinsamen Emittorwiderstand R 74 beschleunigt.

Der mechanische Aufbau

Beim Aufbau ist vor allem auf gute Abschirmung zu achten, um HF-Abstrahlung zu verhindern. Zu diesem Zweck wird der eigentliche Sender in ein geschlossenes Aluminiumgehäuse eingebaut, das in einem handelsüblichen Metallgehäuse sitzt (= doppelte Abschirmung). Das Aluminiumgehäuse besteht aus einem Gerüst von 6 mm starkem Vierkantmaterial, auf welches die einzelnen Wände aufgeschraubt werden. Das Gerüst (die Kanten des Quaders) hat die Außenmaße: 192 mm × 107 mm × 68 mm. Die Frontplatte, auf welche die Drehkondensatoren und verschiedene andere Bauteile montiert werden, hat die Abmessungen: 194 mm × 130 mm × 2 mm; die Seitenwände und die Rückwand sind 1 mm stark, sie umschließen das Gehäuse vollständig. Ein Abschirmgehäuse aus verlöteten Kupfer- oder Messingblechen wäre zwar elektrisch günstiger, doch die beschriebene Ausführung ist einfacher herzustellen. Bild 4 zeigt das Abschirmgehäuse bei abgenommener Rückwand. Man erkennt unten die drei Doppeldrehkondensatoren, darüber die sechs Platten mit dem Oszillatoren. Rechts sind der Bereichswechsler sowie der Abschwächer zu erkennen und außerhalb (= oben) die beiden Batterien und die Platte mit der Stabilisierungs- und Kontrollschaltung.

Bild 5 zeigt das Abschirmgehäuse von der Seite (links = Batterien, rechts = Stromversorgungsteil). Die Frontansicht des inneren Gehäuses (Bild 6) zeigt unten die Isolierstoffleiste mit Ausgangsbuchse, Kontrolllampe, Schaltern und Modulationspotentiometer. Rechts oben ist die Platte mit dem Modulationsteil zu sehen und links davon der Skalenantrieb. Dieser ist in Bild 7 einzeln herausgezeichnet. Die Frequenzanzeige übernimmt eine 270°-Rundskala mit 120 mm Durchmesser und einem Feintrieb 1 : 6. Um spielfreien Antrieb zu erreichen, muß das Skalseil sehr fest mit den Achsen verbunden sein. Diese Klemmbefestigung übernehmen auf dem Umfang der Seilräder angebrachte M-2-Schrauben S. Für den Seiltrieb hat sich Perlon-Skalseil bewährt. Damit das Skalseil bei den Drehkondensatoren mindestens auf dem halben und bei dem Feintrieb mindestens auf drei Viertel des Radumfangs aufliegt, sind Umlenkrollen nötig. Diese Rollen sollen ohne achsiales Spiel gelagert werden, auch ist es zweckmäßig, die Achse des Feintriebs zusätzlich zu der Befestigung an dem dreieckigen Blech (vgl. Bild 6) in der Frontplatte zu lagern. Mit dieser Konstruktion erreicht man eine Einstellgenauigkeit besser als 0,4 %.

Die betriebsbereite Baugruppe wird in ein Leistner-Gehäuse LG 15 eingebaut. Dabei ist zum Herabsetzen der Störstrahlung darauf zu achten, daß das äußere Gehäuse

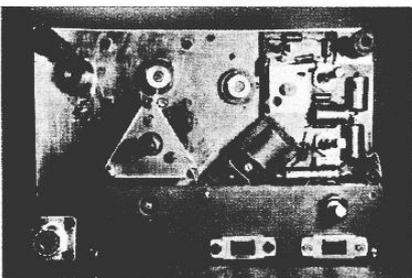


Bild 8. Frontansicht des Gerätes ohne Gehäuse

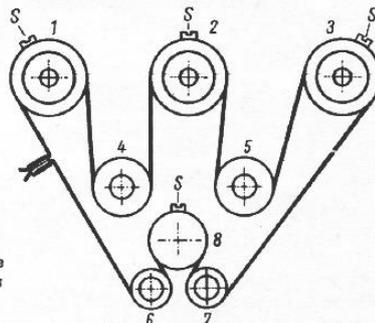


Bild 7. Skizze des Seiltriebes und dessen Einzelteile

