

GRUNDIG**Meßgeräte:****Anwendungsgebiet**

Der Rechteckgenerator 221 dient zur Erzeugung von Rechteckspannungen im Frequenzbereich von 50 Hz ... 500 kHz. Eine Rechteckspannung kann (nach Fourier) als ein sehr breitbandiges Frequenzgemisch von Sinusschwingungen betrachtet werden, die in ihren gegenseitigen Phasenlagen exakt einander zugeordnet sind. Das Frequenzspektrum erstreckt sich hierbei von ungefähr $1/12$ bis ungefähr zum 40 fachen der jeweiligen Rechteckfrequenz. Dieser große Gehalt an harmonischen und subharmonischen Schwingungen ermöglicht eine schnelle und doch genaue Überprüfung von Verstärkern, oder auch anderen Schaltelementen, in bezug auf ihre Übertragungseigenschaften nach Phase und Amplitude. Die Aufnahme von Frequenz- und Phasenverlauf eines allgemeinen Vierpoles (z. B. Kabel u. ä.) ist im allgemeinen zeitraubend und außerdem mit einem relativ großen Meßaufwand verbunden. Eine Überprüfung mit Rechteckimpulsen hingegen läßt sich schnell durchführen und ist wesentlich aufschlußreicher; besonders bei Fernseh-Bild-Verstärkern, bei welchen der Phasenverlauf von entscheidender Bedeutung ist. Nur wenn alle der im Rechteckimpuls enthaltenen Teilschwingungen amplituden- und phasentreu übertragen werden, kann die Ausgangsspannung die gleiche Kurvenform wie die Eingangsspannung haben.

Durch diese Vorteile bedingt, setzt sich das Prüfverfahren von Verstärkern oder anderen Schaltelementen mittels Rechteckimpulsen in stetig steigendem Maße durch. Zur Erzeugung der benötigten Impulse dient der Rechteckgenerator 221. Größter Wert wurde bei ihm auf die Einhaltung einer exakten Rechteckform gelegt, denn nur dann, wenn die zur Prüfung verwendeten Rechteckspannungen extrem steile Anstiegs- und Abfallflanken sowie genaue waagrechte Dächer besitzen, ist das ganze durch ein Rechteck dargestellte Frequenzspektrum unverzerrt in der Impulsspannung enthalten und damit erst eine wirklich einwandfreie Prüfung von Verstärkern aller Art möglich.

- ① = Frequenzeinstellung, Grobregler
- ② = Frequenzeinstellung, Feinregler
- ③ = Ausgangsbuchse der Rechteckspannung
- ④ = Amplitudeneinstellung, Grobregler
- ⑤ = Amplitudeneinstellung, Feinregler
- ⑥ = Synchronisations-Buchsen
- ⑦ = Triggerimpulse
- ⑧ = Synchronisationsstärkeregler
- ⑨ = Netzschalter
- ⑩ = Einschaltkontrolle
- ⑪ = Rechtecksymmetrieregler
- ⑫ = Netzspannungswähler
- ⑬ = Sicherungen

Rechteckgenerator Typ 221**Das Schaltungsprinzip****Rechteckerzeugung**

Der Rechteckerzeuger ist ein Multivibrator in der bekannten Grundschaltung. Die Frequenzgrobstufen werden durch Umschaltung der Kopplungskondensatoren zwischen Anode und Gitter eingestellt, während die Feineinstellung der Frequenz durch die positive Vorspannung an der geerdeten Seite der Gitterableitwiderstände erfolgt.

Begrenzer

In der folgenden Begrenzerstufe wird die saubere Rechteckform hergestellt.

Endstufe und Ausgang

Die Begrenzerstufe steuert die Endstufe, die auf einen umschaltbaren Außenwiderstand (Amplitudengrobeinstellung) arbeitet.

Die Amplituden-Feineinstellung erfolgt

am Schirmgitter der Endröhre. Der Innenwiderstand des Ausgangs beträgt in allen Stufen 150 Ω .

Synchronisation

Zur Sicherstellung guter Synchronisationsmöglichkeiten ist ein besonderer Synchronisationsverstärker eingebaut, der den Multivibrator steuert. Die Synchronisationsstärke ist durch Steuerung der Verstärkung des Synchronisationsverstärkers einstellbar.

Impulsausgang

Kathodenstromänderungen beim Kippen des Multivibrators werden an einen Impulsausgang geführt, so daß die hier auftretenden positiven und negativen Impulse dem Rechteckgenerator entnommen werden können.

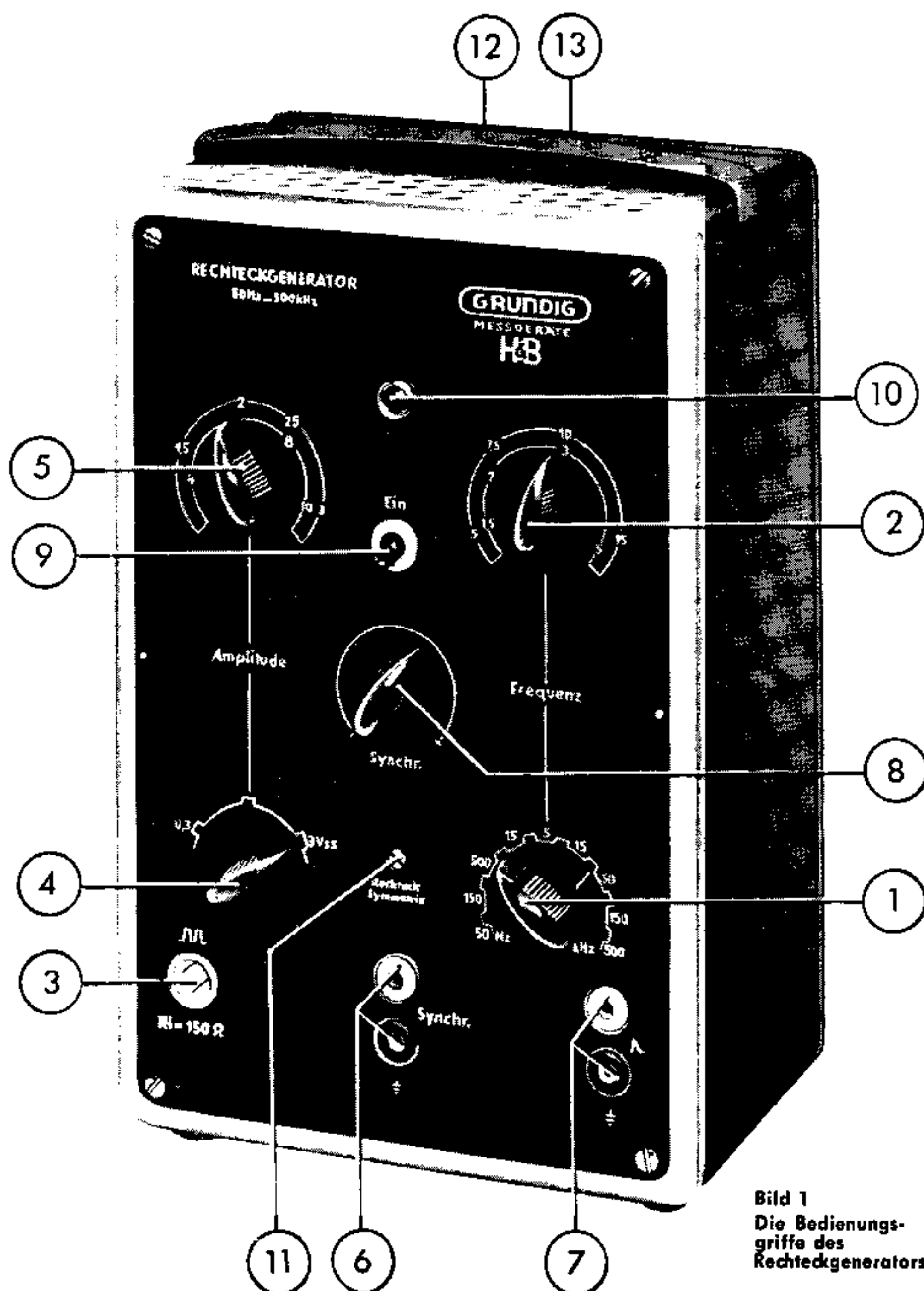
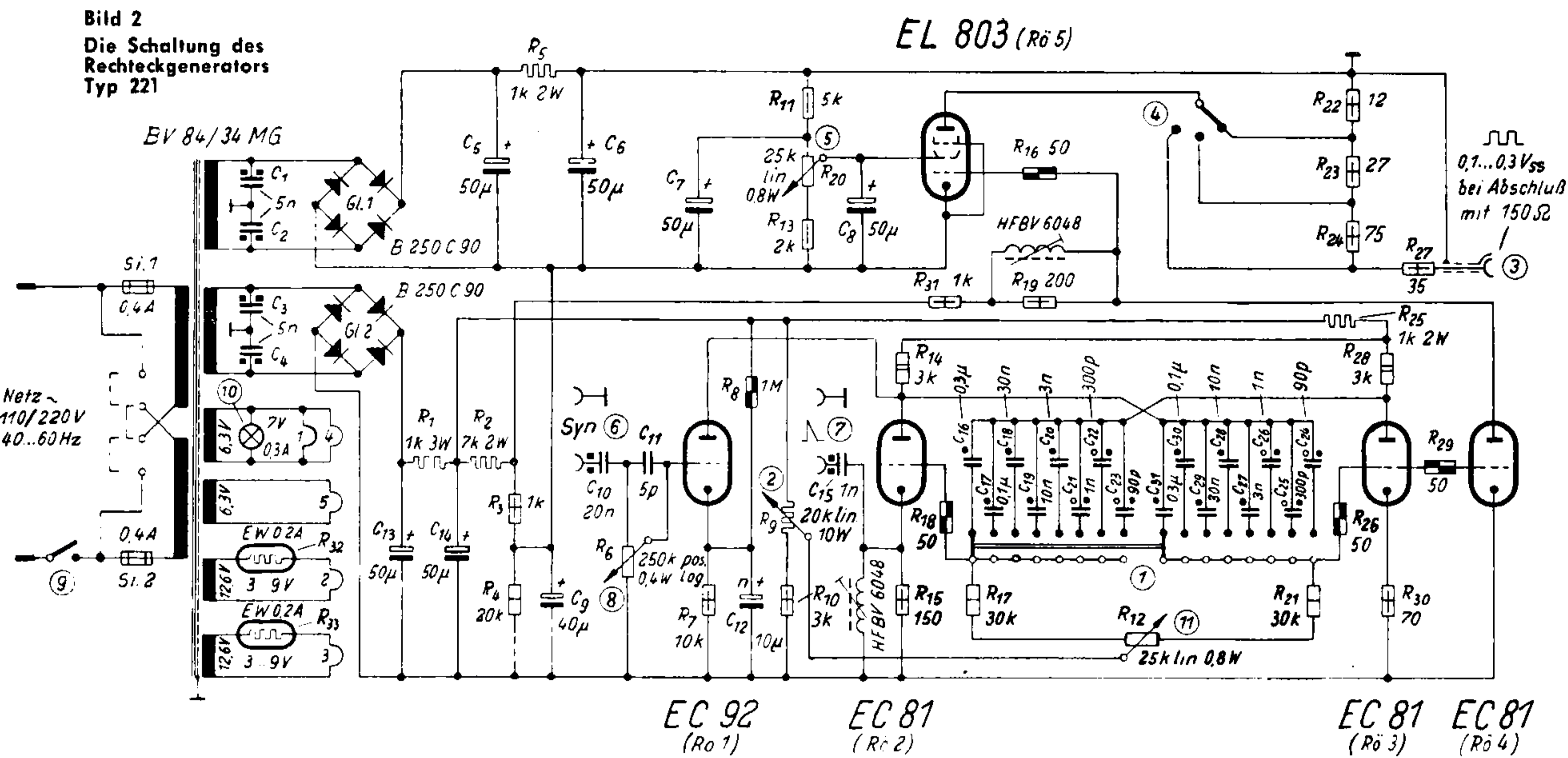


Bild 1
Die Bedienungsgriffe des Rechteckgenerators

Bild 2
Die Schaltung des Rechteckgenerators Typ 221



Technische Daten
Kurvenform

Anstiegszeit (10...90%, von negativen Amplituden nach Null) 0,02 μ sek.
Abfallzeit (von Null zu negativen Amplituden) 0,03 μ sek.
Waagrechte Kanten (bei 50 Hz) flach innerhalb $\pm 0,25$ db
Nachgleichmöglichkeit der Rechtecksymmetrie

Frequenz
Grobeinstellung: Umschaltbar in 8 Bereiche
50 Hz...500 kHz
Feineinstellung: 1:4,
Fehlergrenze der Skala $\pm 10\%$

Ausgang
Asymmetrisch, einpolig an Masse $R_i = 150 \Omega$. Amplituden gehen von Null nach negativen Werten

Amplitude
Grobeinstellung umschaltbar in 3 Stufen: 0,1...3,0 V_{SS} bei 150 Ω Abschluß bzw. 0,2...6,0 V_{SS} im Leerlauf
Feineinstellung kontinuierlich innerhalb der Grobbereiche

Synchronisation
a) des Rechteckgenerators
Durch Spannungen $\geq 1 V_{SS}$ Synchronisationsstärke einstellbar
b) zur Synchronisation anderer Geräte liefert der Rechteckgenerator positive und negative Steuerspannungen (Trigger-Impulse) von ca. 3 V_{SS} und etwa 1 μ sek. Dauer

Röhren und Gleichrichter
3 x EC 81, EC 92, EL 803, 2 x B 250 C 90

Netzteil
110/220 V, 40...60 Hz, mit Spannungswähler umschaltbar
Leistungsaufnahme ca. 50 VA

Gehäuse
Silbergraues Eisenblechgehäuse mit schwarzer Beschriftungsplatte

Abmessungen

Höhe 315 mm
Breite 200 mm
Tiefe 155 mm

Gewicht

ca. 6 kg

Mitgeliefertes Zubehör

Verbindungskabel 6050

Lieferbares Zubehör

Anpassungsglied 704 zum Übergang von $Z = 150 \Omega$ auf $Z = 75 \Omega$

Die Bedienung des Rechteckgenerators

Mit dem Netzschalter 9 wird das Gerät in Betrieb gesetzt. Das Signallämpchen 10 zeigt den eingeschalteten Zustand an. Nach etwa einer Minute Anheizzeit ist das Gerät betriebsbereit.

Zur einwandfreien Wärmeabfuhr ist auf eine gute Entlüftung des Gerätes zu achten. Die Entlüftungslöcher im Gehäuse dürfen im Betrieb nicht abgedeckt werden.

Der Rechteckausgang

Zur Entnahme der Rechteckspannung dient eine abgeschirmte HF-Buchse 3. Ein dazu passendes 150-Ohm-Kabel mit Koaxial-Steckern wird mitgeliefert. Zum Übergang auf normale Buchsen mit 19 mm Abstand dient eine zu den Steckern passende Erdschelle.

Frequenzeinstellung

Die Grobeinstellung erfolgt mit dem Schalter 1 in folgenden 8 Stufen:
50 Hz...150 Hz 5 kHz...15 kHz
150 Hz...500 Hz 15 kHz...50 kHz
500 Hz...1500 Hz 50 kHz...150 kHz
1500 Hz...5000 Hz 150 kHz...500 kHz
Die Feineinstellung erfolgt mit dem Feineinsteller 2, der direkt die Ablesung der Frequenz erlaubt. Die Fehlergrenze der Skala beträgt $\pm 10\%$.

Amplitudeneinstellung

Die Grobeinstellung erfolgt mit dem Schalter 4 in drei Stufen

0,1...0,3 V_{SS}	} bei 150 Ω Abschluß
0,3...1,0 V_{SS}	
1,0...3,0 V_{SS}	
0,2...0,6 V_{SS}	} bei Leerlauf
0,6...2,0 V_{SS}	
2,0...6,0 V_{SS}	

Zur Feineinstellung dient der Feineinsteller 5, der die Ablesung in Spannung von Spitze zu Spitze (V_{SS}) bei Abschluß mit 150 Ω gestattet, wobei die Fehlergrenze der Skala wiederum $\pm 10\%$ beträgt.

Zusatzeinrichtungen

a) Synchronisation
Durch die Buchsen 6 ist die Möglichkeit gegeben, den Rechteckgenerator zu synchronisieren. Dazu sind Sinusspannungen oder positive Impulse $\geq 1 V_{SS}$ erforderlich. Die Stärke der Synchronisation kann durch den Knopf 8 eingestellt werden.

b) Impulsausgang
Für die Synchronisation anderer Geräte (z. B. des angeschlossenen Oszillographen) liefert der Rechteckgenerator positive und negative Steuerspannungen (Triggerimpulse) von ca. 3 V_{SS} und etwa 1 μ sek. Dauer an den Buchsen 7.

Die Symmetrie der Impulse, d. h. das Verhältnis von Impuls zu Periodendauer (im allgemeinen = 1) kann durch den Trimmer 11 nachgestellt werden. Dadurch ist auch bei Altern der Röhren das Tastverhältnis 1:1 gewährleistet.

Netzteil

Der Netzteil ist für Wechselspannungen von 110 und 220 V bei 40...60 Hz ausgelegt.

Dem Netzteil werden neben den Heizspannungen zwei verschiedene Gleichspannungen entnommen, die durch zwei getrennte Sekundärwicklungen mit Hilfe zweier Selengleichrichter B 250 C 90 erzeugt werden. Die eine Gleichspannung dient zur Speisung des Multivibrators und der Begrenzerstufe, die zweite Speisung der Endstufe.

Der Rechteckgenerator 221 ist im Werk auf eine Netzspannung von 220 V eingestellt. Mit dem Spannungswähler 12 an der Rückseite des Gerätes ist eine Umschaltung auf 110 V möglich.

Die Sicherungen 13 befinden sich ebenfalls auf der Rückseite. Ein Auswechseln beim Umschalten der Betriebsspannung ist nicht erforderlich.

Über die vielfältigen Anwendungsgebiete des Rechteckgenerators berichtet der nachfolgende Beitrag.

Messungen mit dem Rechteckgenerator

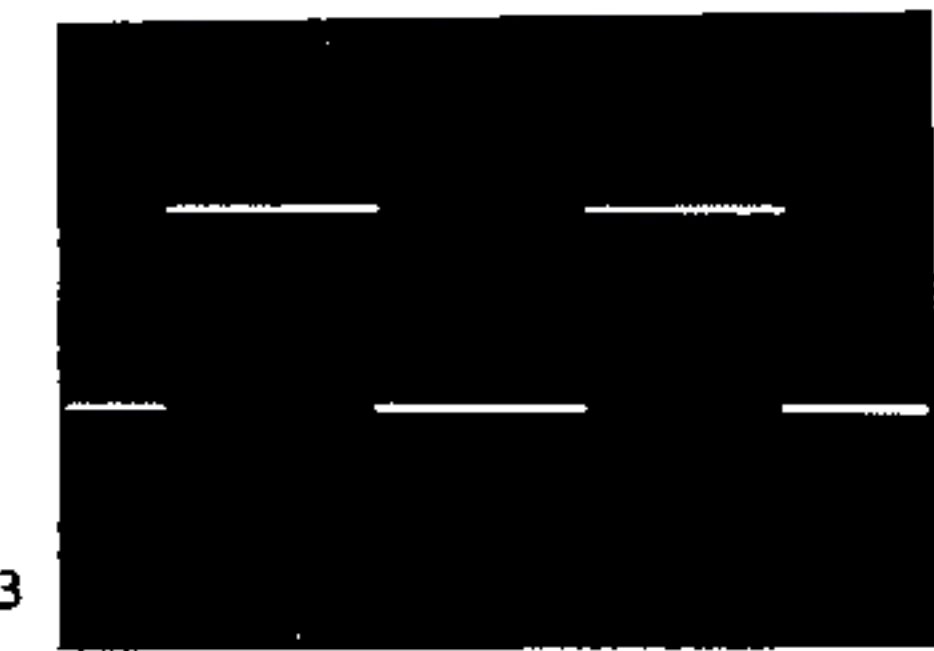
Prüfung von Verstärkern

Eine Voraussetzung für Verstärkerprüfungen ist das Vorhandensein eines großen Frequenzspektrums. Das Auftreten höherer Harmonischer ist von der Flankensteilheit der Rechteckimpulse abhängig.

Durch die große Flankensteilheit des Rechteckgenerators 221 ist diese Voraussetzung erfüllt. Zur Anzeige dient je nach Frequenzbereich des zu messenden Verstärkers ein Breitband-Oszillograph, der durch entsprechend große Bandbreite des Meßverstärkers die Voraussetzung zur fast unverfälschten Wiedergabe der Rechtecke erfüllt. Zur Untersuchung von Niederfrequenzverstärkern ist ein Oszillograph mit linearer Frequenzcharakteristik bis mindestens 200 kHz erforderlich, während für Bildverstärker u. ä. eine Bandbreite des Meßverstärkers bis 10 MHz unerlässlich ist.

Wird ein anderer Oszillograph verwendet, muß vor Beginn der Verstärkeruntersuchung der Rechteckgenerator direkt an den Oszillographen angeschlossen und die etwaigen Verformungen der Rechtecke des Oszillographen bei den vorgesehenen Meßfrequenzen festgestellt werden. Diese Verformung muß bei der Auswertung der Verstärkeruntersuchung berücksichtigt werden. Die Verzerrungen des untersuchten Verstärkers sowohl in bezug auf Phase als auch auf Amplitude zeigen sich in Verformungen der Rechtecke. Durch Mängel des untersuchten Verstärkers können sich folgende Spannungskurvenverläufe ergeben:

Bild 3 zeigt das Eingangsrechteck, wie es der Rechteckgenerator liefert. Bei einwandfreier Verstärkung ergibt sich am Ausgang des Verstärkers wiederum dasselbe, unverformte Rechteck.



Eine Neigung des Rechteckdaches deutet auf einen Phasenfehler hin.

Bild 4 zeigt Phasenvoreilung bei tiefen Frequenzen.

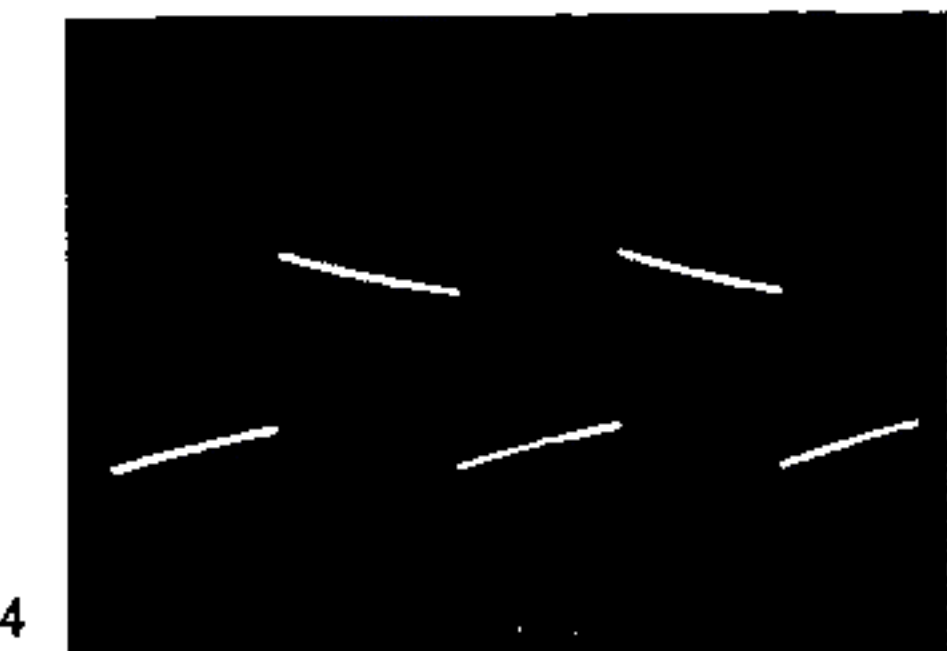
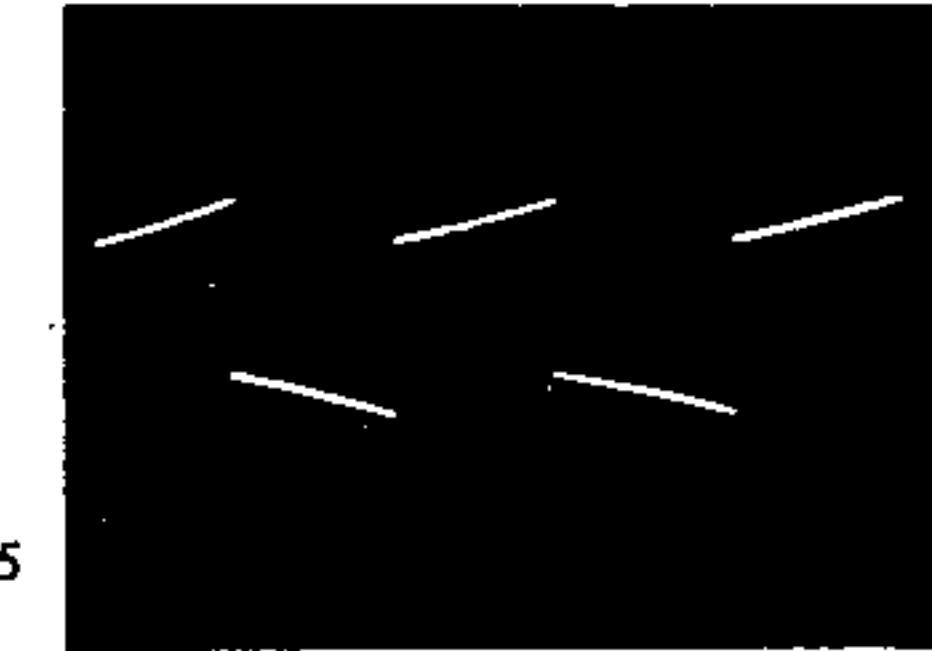
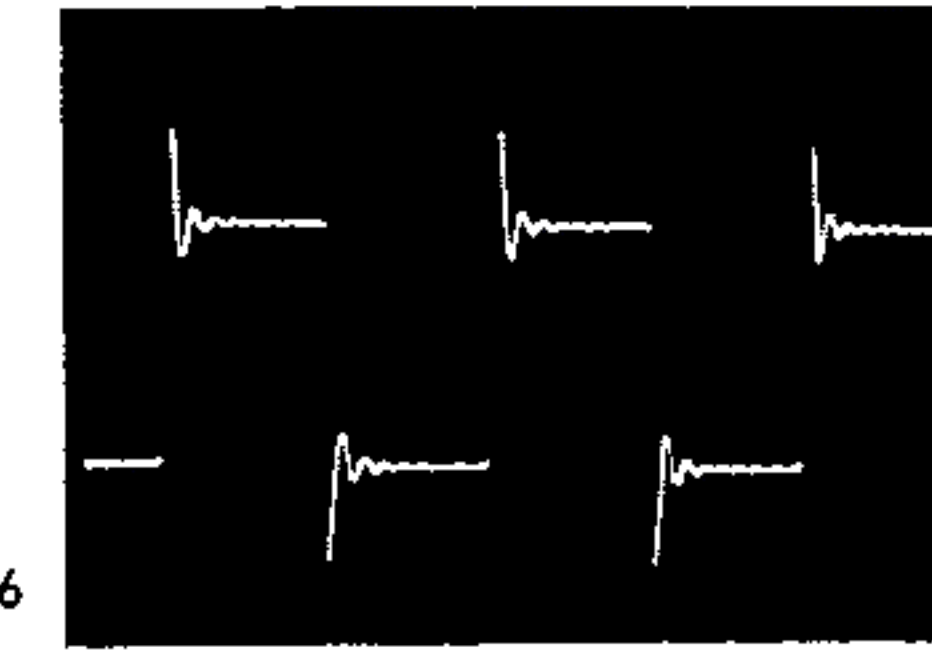


Bild 5 Phasennacheilung bei tiefen Frequenzen.



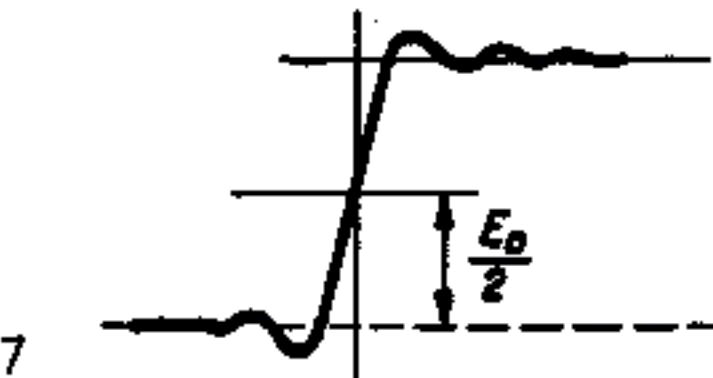
Eine Wölbung im Rechteckdach deutet auf Amplitudenfehler hin. Ist das Dach nach oben gewölbt, so bedeutet das eine Hervorhebung der tiefen Frequenzen. Ist hingegen das Dach durchhängend, dann bedeutet das Abfall der tiefen Frequenzen. Resonanzen im Verstärker (Überschwingen) erscheinen als Schwingungen auf dem Rechteckdach, wie es **Bild 6** zeigt.



Die Aufnahmen wurden mit einem Rechteckgenerator 221 und einem Breitbandoszillographen 705 A in Verbindung mit einem Photovorsatz hergestellt. Es wurde ein normal empfindlicher Film 17/10⁰ DIN verwendet, wobei zur Erhöhung der Schirmbildhelligkeit das Nachbeschleunigungsgerät 6002 an den Elektronenstrahloszillographen angeschlossen war.

Der Einfluß des Frequenzganges sei im Folgenden näher erläutert:

Ist der Einschwingvorgang, bezogen auf die halbe Sprungamplitude, nach oben und unten völlig symmetrisch (**Bild 7**), so



ist das System frei von Phasenverzerrung. Der Phasenwinkel steigt linear mit der Frequenz an, d. h. die Phasenlaufzeit φ/ω und die Gruppenlaufzeit $\frac{\partial \varphi}{\partial \omega}$ sind konstant.

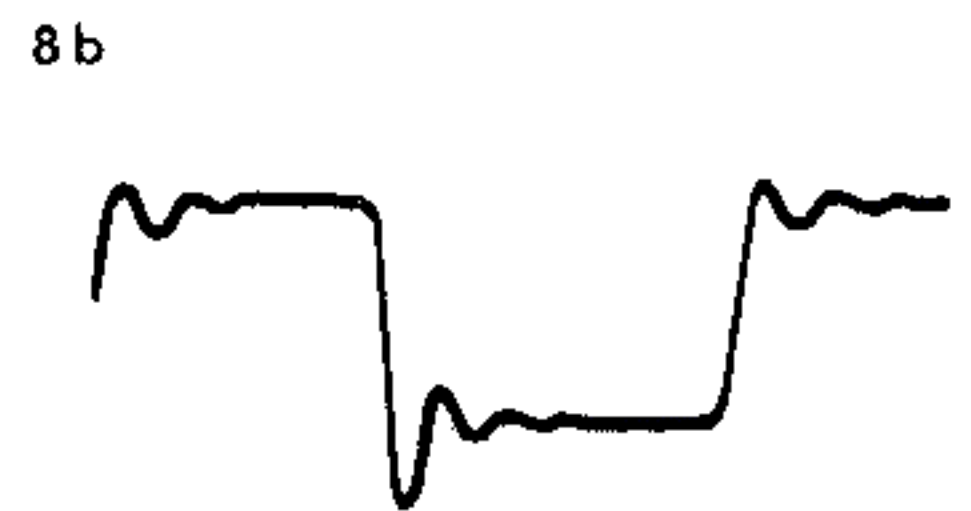
In den Abbildungen **8 a**, **8 b** und **8 c** sind drei Oszillogramme wiedergegeben, die

8 a) den Einschwingvorgang eines normalen dreigliedrigen Tiefpasses, bei dem mit steigender Frequenz auch die Laufzeit zunimmt,

8 b) den des gleichen Tiefpasses mit nachfolgender Phasenkorrektur durch ein Brückenglied und

8 c) den Einschwingvorgang bei sehr großen nichtlinearen Verzerrungen, zeigen.

Die Symmetrie des Einschwingvorganges ist daher eine gute und empfindliche Anzeige für konstante Phasenlaufzeit. Die Anstiegszeit von 10% auf 90% des eingeschwingenen Zustandes bestimmt die obere Grenzfrequenz des Systems.



8 c

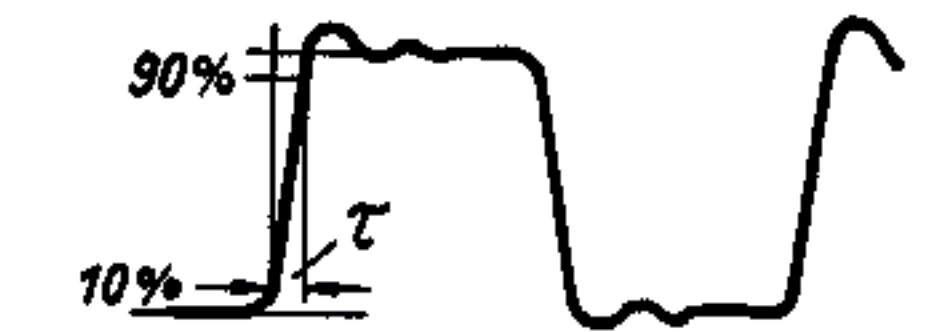
Setzt man ein System mit linearem Phasengang oder nur geringen Phasenverzerrungen voraus, so kann man aus der Einschwingzeit τ , die bei Phasenlinearität etwa der Anstiegszeit von 10% auf 90% entspricht, die mittlere obere Grenzfrequenz f_m nach der Formel berechnen

$$f_m = \frac{1}{2\tau}$$

dabei ist, wenn man den Übertragungsfaktor mit $V = 1$ bei der Frequenz $f = 0$ ansetzt:

$$f_m = V(f) df$$

(Siehe **Bild 9**).



9

Bestimmt der Phasengang die Art des Anstiegs bezüglich der Symmetrie des oberen und unteren Teiles, so ist der Dämpfungsverlauf für die Art des Einschwingens (z. B. mit oder ohne Überschwingen) maßgebend.

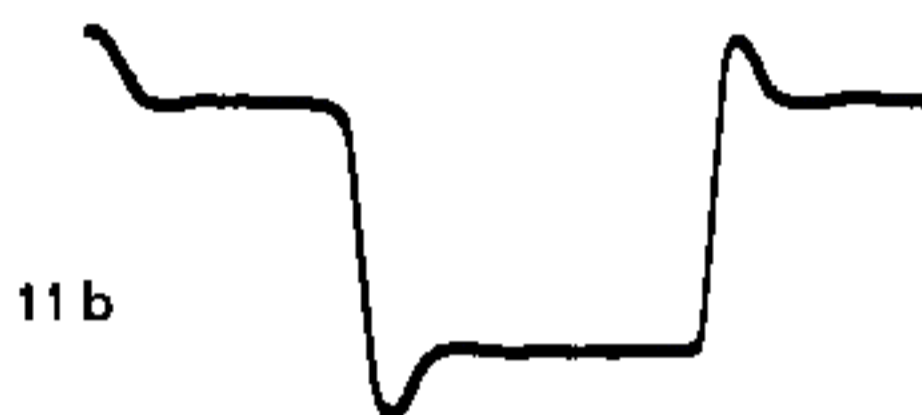
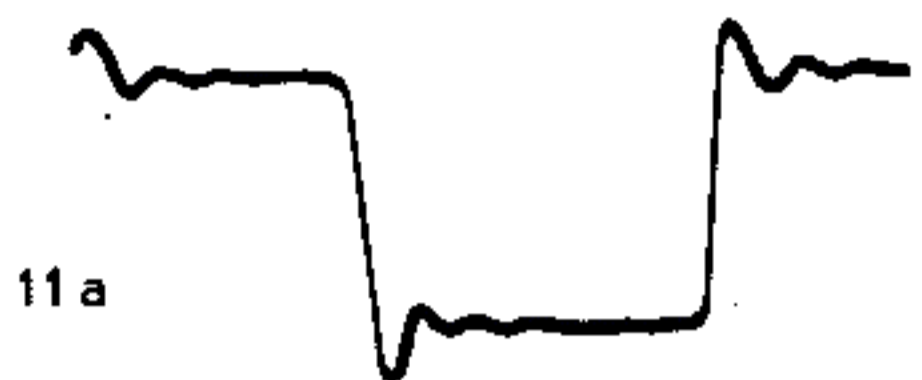
Allgemein kann hierzu folgendes gesagt werden:

Fällt der Übertragungsfaktor bei verhältnismäßig tiefen Frequenzen beginnend langsam ab, wie z. B. bei einem RC-Verstärker ohne oder mit geringer

L-Kompensation, so tritt kein Überschwingen auf (Bild 10). Ist er über einen



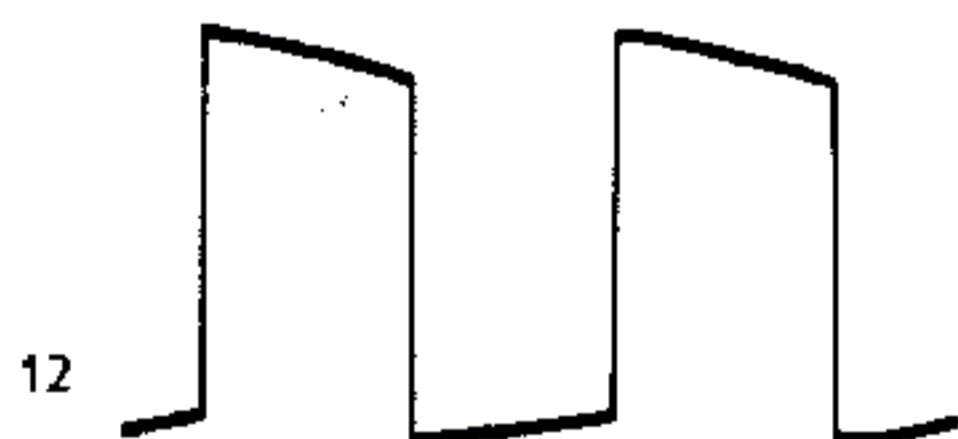
weiteren Frequenzbereich konstant, um dann sehr schnell abzusinken, oder besitzt er in der Nähe der Grenzfrequenz eine Resonanzstelle, so tritt mehr oder weniger starkes Überschwingen auf (Bilder 11 a und 11 b). Dieses Über-



schwingen kann nach Art einer gedämpften Schwingung oder in Form einer e-Funktion abklingen, je nachdem sich die Frequenzanhebung auf einen schmalen oder breiten Frequenzbereich erstreckt.

Zeigen die Dächer der Rechteckspannung einen konvexen oder konkaven Verlauf, so kann auf eine Anhebung bzw. Absenkung des Übertragungsfaktors im Bereich der Rechteckgrundfrequenz geschlossen werden.

Ein linearer Abfall der Dächer in Richtung der Zeitachse deutet in erster Linie auf Phasenverzerrung der tiefen Teilfrequenzen der Rechteckwelle. Der Übertragungsfaktor bleibt dabei annähernd konstant (Bild 12).



Erhält man am Ausgang des Verstärkers ein unverzerrtes Rechteck, so ist damit sichergestellt, daß in einem Bereich zwischen $f/12$ und $Co. 35 f$, wobei f die Rechteckfrequenz bedeutet, der Verstärker sowohl amplituden- als auch phasenrichtig arbeitet.

Vergleich von Verstärkern

Die Untersuchung mit Rechtecken kann auch sehr einfach zum Vergleich zweier Verstärker in bezug auf Amplituden- und Phasenwiedergabe dienen. Beide Verstärker erhalten die gleiche Rechteckspannung. Die Ausgangsspannung des ersten Verstärkers wird dem einen, die des zweiten dem anderen Plattenpaar eines Oszillographen zugeführt. Bei Gleichheit der Verstärker in bezug auf ihre Übertragungseigenschaften ergibt sich auf dem Bildschirm eine gerade Linie.

Untersuchung von Schaltelementen

Analog diesen Messungen an Verstärkern kann der Rechteckgenerator, unter anderem, zur Untersuchung jedes anderen Gliedes einer Tonfrequenzübertragungsanlage vom Mikrophon bis zum Lautsprecher dienen. Auch Untersuchungen von Tonband- und Schallplattengeräten sind genau so schnell durchzuführen, wie Messungen an HF-Kreisen und Schaltelementen.

Mit Rechtecken modulierte Hochfrequenzspannungen

Als weiteres Anwendungsgebiet des Rechteckgenerators besteht die Möglichkeit, HF-Meßsender mit Rechtecken zu modulieren. Auf diese Weise ist z. B. eine Untersuchung von Empfängern ohne Eingriff in das Gerät möglich.

Laufzeitmessungen

Mit dem Rechteckgenerator 221, dem Breitbandoszillographen 705 a und dem Elektronischen Schalter 710 ist die Messung von Laufzeiten auf Leitungen, Kabeln, Laufzeitketten u. ä. möglich. Außerdem können Wellenwiderstände und Leitungsanpassungen auf einfache Art bestimmt werden.

Schrifttum:

J. Müller, Die Übertragung der Sprungfunktion durch den gegengekoppelten Verstärker, F. T. Z. (1951) H. 12 S. 547-551.

J. Müller, Die Bestimmung des Amplituden-Phasenganges von linearen Übertragungssystemen mit Hilfe von Rechteckwellen, F. T. Z. (1951) H. 5 S. 211-220.

J. Müller, Die Prüfung von Fernsehübertragungssystemen mit Hilfe von Rechteckwellen, F. u. T., 1952, H. 12 S. 617-631.

P. M. Seal, Square-wave analysis of compensated amplifiers, Proc. I. R. E. 37 (1949), Jan. S. 48-58.