

# Funkschau

Bitte  
beachten Sie  
Seite 114

2. Mal-Heft  
1951 Nr. 10

4

23. JAHRGANG

ZEITSCHRIFT FÜR FUNKTECHNIKER

Erscheint am 5. und 20. eines jeden Monats



FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN-BERLIN

Verlag der G. Franz'schen Buchdruckerei G. Emil Mayer



Der Bayerische Rundfunk verwendet seit einiger Zeit im Hörspiel und für Unterhaltungssendungen das „Bode-Polychord“, die neueste deutsche elektronische Kleinstorgel. Auf engstem Raum sind in diesem Instrument die Röhrengeneratoren, Klangfilter, Register, Vibratoeinrichtung, Netzteile, der Verstärker mit einer Leistung von 25 Watt und die Lautsprecher untergebracht. Unser Bild vermittelt einen Blick auf die 60 Tongeneratoren bei geöffneter Rückwand.  
(Aufnahme: Hans Schürer)

## Aus dem Inhalt

- Entwicklungsziele ..... 183
- Lautsprecherformen ..... 183
- Aktuelle FUNKSCHAU .. 184
- Berlins erstes Fernsehstudio .. 184
- Funktechnische Fachliteratur .. 184
- Messungen und Frequenzkorrekturen an Schallfolienschreibern ..... 185
- Grundsätzliches zum Bau von elektrischen Musikinstrumenten ..... 186/189
- FUNKSCHAU-Konstruktionsseiten: 8-Kreis-6-Röhren-Großsuper »Ultrakord« ..... 190/192
- FUNKSCHAU-Prüfbericht: Schaub-Koffersuper »Amigo« ..... 193
- Einführung in die Fernsehpraxis, 10. Folge..... 194/195
- Radio-Meßtechnik, 26. Folge ..... 195/196
- Aus der Welt des KW-Amateurs..... 196
- Vorschläge für die Werkstattpraxis: Einwandfreie Kontaktgabe bei Wellenschaltern; Reparatur von Koffereempfängern; Eigenartiger Heizkreisfehler ..... 197
- UKW-Super 70...185 MHz für AM- und FM-Demodulation ..... 197

## Unsere Beilagen:

ROHREN-DOKUMENTE

ECH 42/ECH 43/UCH 42/UCH 43  
(4 Blätter)

Die Ingenieur-Ausgabe enthält außerdem:

FUNKSCHAU-Schaltungssammlung mit 24 Schaltungen von

**UKW-Einbau- und Zusatzgeräten und Koffereempfängern**

# Grundsätzliches zum Bau von elektrischen Meßinstrumenten



Neuere Ausführung des Melochord nach Harald Bode

Die elektrischen Musikinstrumente, deren Entwicklung besonders in den westlichen Staaten eine hohe Reife erlangt hat, erobern heute auch in Deutschland das Interesse immer weiterer Kreise. Eine Reihe von Konstruktionen ist bereits vielen von uns bekannt geworden, so das Ätherwelleninstrument von Theremin, das Tasten-Sphärophon von Jörg Mager, das Hellertion von Helberger und Lertes, das Trautonium von Prof. Trautwein, der Neo-Bechstein-Flügel von Prof. Nernst, das Elektrochord von Prof. Vierling, die Hammond-Orgel (Thaddäus Cahill, bereits im Jahre 1897!) und Melodieinstrumente, die kleiner sind als ein modernes Akkordeon. Die verschiedensten Arten der Tonerzeugung sind ausgenutzt worden, von der elektromagnetischen und photoelektrischen Abtastung rotierender Generatoren angefangen bis zu den Schwingenschaltungen mit Glühlampen, Thyatronen und Elektronenröhren.

Wenn nun nachstehend die grundsätzliche Beschreibung einiger Systeme elektrischer Musikinstrumente gegeben werden soll, so geschieht dieses in bewußter Beschränkung auf hinreichend einfache Konstruktionen, die der interessierte Praktiker auch wirklich ohne allzu großen Zeit- und Kostenaufwand selbst bauen kann, und die ein Musizieren und Experimentieren mit neuen Klangfarben ermöglichen.

Die vorliegende Arbeit wird sich hierbei vorzugsweise mit Tasten-Melodieinstrumenten befassen, die im Gegensatz zu den Instrumenten mit gleitender Tonkala den Vorzug bieten, daß an ihnen das Musizieren ohne das Erlernen einer schwierigen Spieltechnik möglich ist.

Die vorliegende Arbeit wird sich hierbei vorzugsweise mit Tasten-Melodieinstrumenten befassen, die im Gegensatz zu den Instrumenten mit gleitender Tonkala den Vorzug bieten, daß an ihnen das Musizieren ohne das Erlernen einer schwierigen Spieltechnik möglich ist.

## Melodieinstrument mit LC-Generator

Es ist heute verhältnismäßig naheliegend, die Schwingungserzeugung einfach durch eine niederfrequent rückgekoppelte Röhrenschaltung vorzunehmen, bei der der Rückkopplungstransformator die Induktivität des Schwingungskreises darstellt und die dazugehörige Kapazität entsprechend den gewünschten Tonhöhen bzw. -intervallen in Stufen geändert wird.

Die Abstimmuschaltung hierfür, die auch der Anordnung in Bild 1 zugrundeliegt, wurde bereits von Jörg Mager im Jahre 1928 angegeben und in seinem Tasten-Sphärophon verwertet.

## Die Ton-Abstimmung

$C_1 \dots C_n$  (Bild 1) sind die Teilkapazitäten, von deren Summe durch die über Tasten betätigten Schalter  $T_1 \dots T_n$  jeweils sovieler abgetrennt werden, daß der Restbetrag mit der Induktivität (Sekundärwicklung S des Schwingtransformators  $Tr_1$ ) die gewünschte Tonhöhe ergibt. Im vorliegenden Beispiel ist die Taste  $T_3$  gedrückt. Wirksam für die Abstimmung sind also die Kapazitäten von  $C_3 \dots C_n$ .  $C_0$  ist im Gegensatz zu den anderen Kapazitäten so groß gewählt, daß die Schwingneigung im unbespielten Zustand des Generators unterbunden wird.

## Klangerzeugung mit Röhren

Die in der Generatorstufe mit der Röhre  $V_1$  erzeugten Schwingungen, die bei nicht allzu großem Tonumfang der Anordnung durch Einstellen des Katodenwiderstandes hinreichend obertonarm gemacht werden können, gelangen durch den Übertrager  $Tr_2$  auf die Gegentakordnung mit den Röhren  $V_2$  und  $V_3$ . Diese kann nun, je nach Wahl der Gittervorspannung (Schalterstellung von S) als reine Verstärker- oder als Verzerrerschaltung arbeiten. Durch einen weiteren Schalter  $S_2$  unterhalb des Ausgangsübertragers  $Tr_3$  ist die Anordnung als Frequenzverdoppler (Stellung A), Gegentakverzerrer (bzw. -verstärker) oder einfacher Verzerrer bzw. Verstärker einstellbar. Man erhält auf diese Weise eine Reihe spezifisch verschiedener Klangfarben, von denen einige Analysen in Bild 7 wiedergegeben sind. Bei der Schalterstellung A erhält man (bei hoher negativer Gittervorspannung) die Oktave des im Generator erzeugten Tones, bei der Schalterstellung B einen typischen Holzblaserklang (Klarinette), während bei C je nach dem Grade der Verzerrung der Toncharakter von Streichern und Gampen erzielt wird, der sich durch nachgeschaltete Filter weiter verändern läßt.

## Vibrato

Wie aus Bild 1 weiter ersichtlich, befindet sich im Anodenkreis der Röhre  $V_1$  auch noch der Transformator  $Tr_4$  mit einem parallel zur Sekundärwicklung geschalteten Kondensator  $C_x$  in der Größenordnung  $0,5 \dots 2 \mu F$  (ausprobieren!) und einem Regelwiderstand (1 M $\Omega$  log.). Durch  $Tr_4$  wird von einem weiter unten (in Bild 2) beschriebenen unterfrequenten Generator die Vibratofrequenz in die Schwingenschaltung eingekoppelt. Da der Schwingtransformator vom Anodenstrom belastet ist, entsteht so mit der Vibratofrequenz von ca. 6...8 Hz eine rhythmische Belastungsänderung, aus der sich Permeabilitätsschwankungen des Eisenkerns und mithin

Schwankungen der Selbstinduktion ergeben. Man erhält also ein Frequenzvibrato, das für musikalische Zwecke gerade sehr willkommen ist.

## Dimensionierung des Generators

Bei Wahl eines Kernquerschnitts von  $4 \text{ cm}^2$  für den Schwingtransformator (Blechbreite und Paketstärke innerhalb der Spule je 20 mm) erhält die Wicklung P 1000 Windungen und S 7000 Windungen 0,1 mm Cu-Lackdraht, die in sauber voneinander isolierten Lagen gewickelt werden. Durch Verwendung von Blechen mit E-I-Schnitt, wie auch in handelsüblichen Drosseln vorhanden (Typ EJ 60), läßt sich die Selbstinduktion durch Papierzwischenlagen zwischen dem E- und dem I-Teil ändern. Diese soll bei S einen Wert von 190 H besitzen (Dynamoblech 4). Daraus ergeben sich für die Oktave vom c bis zum c' für die Kondensatoren  $C_1 \dots C_n$  (in diesem Falle  $C_{13}$ ) folgende Kapazitätswerte:

$C_1 = 872 \text{ pF}$ ,  $C_5 = 550 \text{ pF}$ ,  $C_9 = 346 \text{ pF}$ ,  
 $C_2 = 778 \text{ pF}$ ,  $C_6 = 490 \text{ pF}$ ,  $C_{10} = 308 \text{ pF}$ ,  
 $C_3 = 694 \text{ pF}$ ,  $C_7 = 436 \text{ pF}$ ,  $C_{11} = 274 \text{ pF}$ ,  
 $C_4 = 616 \text{ pF}$ ,  $C_8 = 390 \text{ pF}$ ,  $C_{12} = 246 \text{ pF}$

und  $C_{13}$  plus Eigenkapazität der Wicklung S und den übrigen schädlichen Kapazitäten = 2000 pF.

Zweckmäßigerweise nimmt man etwas kleinere Festkondensatoren und stellt den genaueren Endwert durch parallel geschaltete Trimmer beim Stimmen des Instruments ein.

Als Röhren können die üblichen Trioden REN 904, AC 2, die Pentode EF 12 in Triodenschaltung oder andere Typen verwendet werden. Auch kann man für den Generator eine Pentode verwenden, bei der dann das 2. Gitter als Schwinganode geschaltet und die Anode an den Transformator  $Tr_2$  geführt wird. Bei Wahl einer Pentode mit herausgeführtem 3. Gitter kann dieses über die Sekundärwicklung von  $Tr_4$  an Nullpotential gelegt werden. Auch für die Gegentakstufe ist die Verwendung von Pentoden möglich. Zur sauberen Symmetrierung kann man an die beiden Enden der Sekundärwicklung von  $Tr_2$  die Außenanschlüsse eines Potentiometers (0,1 M $\Omega$  lin.) schalten, dessen Schleifer man an Stelle der Mittelanzapfung des Transformators an Nullpotential legt.

Der in allen Fällen erforderliche Verstärker und Lautsprecher ist in Bild 1 nicht eingezeichnet. Die Anodenspannungen werden einem Glimmstrecken-Spannungsteiler entnommen, wodurch sich besonders stabile Betriebsverhältnisse ergeben.

## Schaltung und Ausführung mit R-Abstimmung

Eine andere Schaltung, die bezüglich der Abstimmittel noch billiger ist und zudem

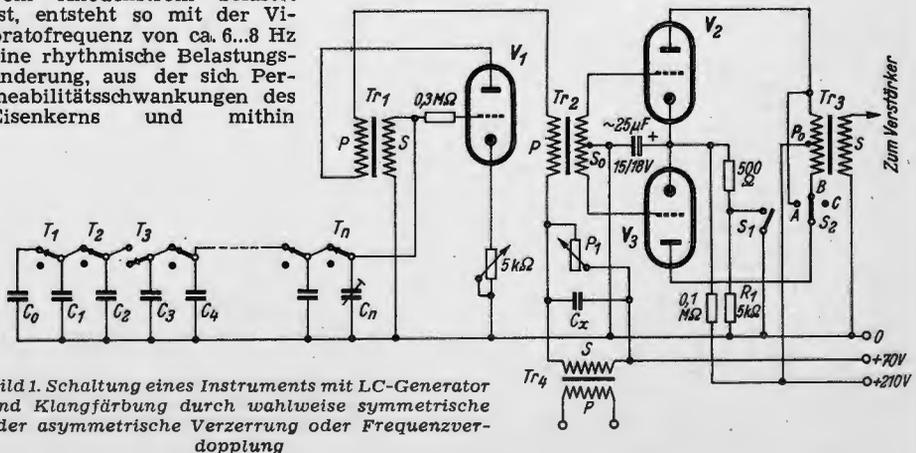


Bild 1. Schaltung eines Instruments mit LC-Generator und Klangfärbung durch wahlweise symmetrische oder asymmetrische Verzerrung oder Frequenzverdopplung

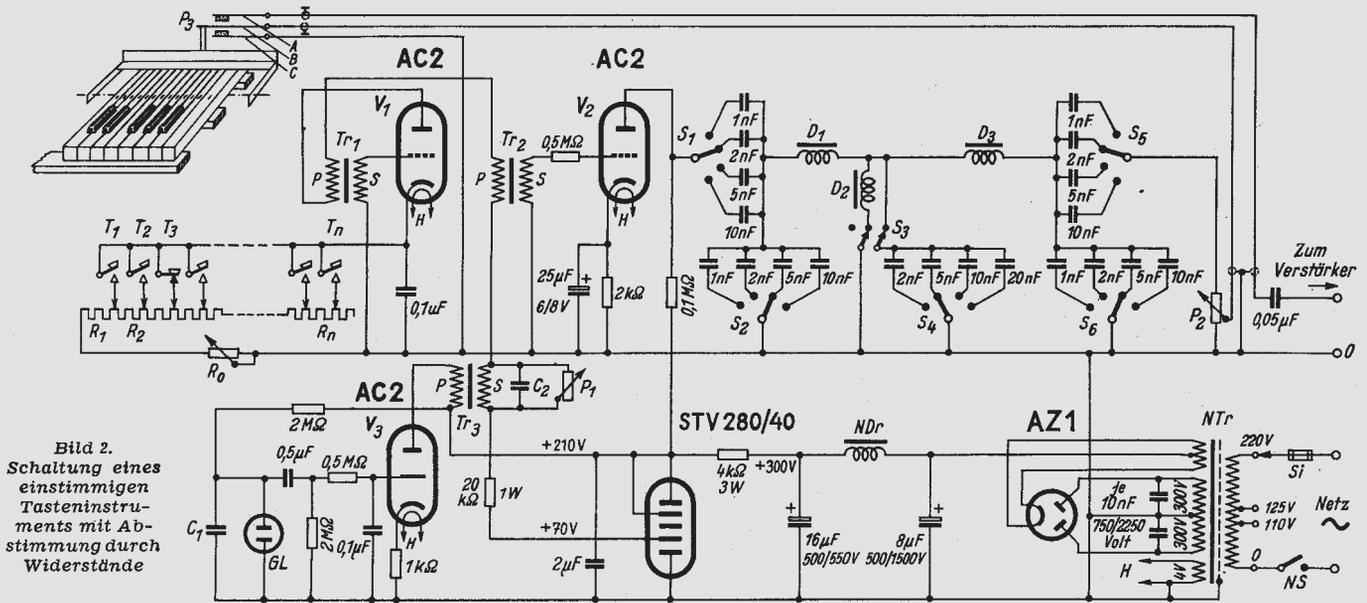


Bild 2. Schaltung eines einstimrigen Tasteninstrumentes mit Abstimmung durch Widerstände

über einen großen Klangfarbenreichtum verfügt, zeigt Bild 2 mit der Gesamtanordnung eines betriebsfertigen Modells. Hier wird das Tonerzeugerprinzip einer früheren Ausführungsform des Melochords (vgl. FUNKSCHAU, 1948, Nr. 8, Seite 75) angewendet.

Durch die über Tasten  $T_1 \dots T_n$  einschaltbaren Spielwiderstände  $R_0, R_1 \dots R_n$  wird das Katodenpotential und damit die Gittervorspannung der Röhre  $V_1$  variiert. Da die RC-Gitterkombination fehlt, wird das Gitter auch im positiven Gebiet ausgesteuert, und es entstehen Gitterströme, die außer den Anodenströmen die Rermeabilität des Schwingtransformators  $Tr_1$  beeinflussen. Damit ändert sich auch dessen Selbstinduktion und mithin die Frequenz der erzeugten Schwingungen, die äußerst obertonreich sind.

Über den Transformator  $Tr_2$  wird die Schwingstufe an die nachfolgende Trennstufe mit der Röhre  $V_2$  angekoppelt, in deren Anodenkreis sich ein Klangfilter mit verschiedenen Variationsmöglichkeiten befindet. Die elektrischen Daten gehen im wesentlichen aus Bild 2 hervor. Die Drosseln  $D_1, D_2$  und  $D_3$  sind verlustarme Klangdrosseln, die eine Selbstinduktion von etwa 10 H aufweisen sollen. Die Größe der Filterkondensatoren ist in nF angegeben. Durch das Potentiometer  $P_2$  (z. B. 0,1 M $\Omega$  log.), das mechanisch mit einem Pedal gekuppelt sein kann, wird die Lautstärke während des Spiels beeinflusst. Der Schleifer führt zu einem Flüssigkeitsregler  $P_3$ , der zwei mit Glycerin getränkte Filzstückchen von je etwa 1 cm<sup>2</sup> Fläche enthält und dessen Mittelelektrode B mechanisch mit einer über die hinteren Tastenenden gelegten Schiene verbunden ist. Beim Niederdrücken einer Taste hebt sich die Schiene, und es entsteht auf diese Weise ein weicher Tonansatz.

**Das Vibrato**

Von einem besonderen untertonfrequenten Generator mit der Glimmlampe G1 und der Verstärkerröhre  $V_3$  wird über den Transformator  $Tr_3$  eine Frequenz von 6..8 Hz in den Anodenkreis des Tonerzeugers gekoppelt, so daß wieder, ähnlich wie bei der Anordnung in Bild 1, ein Frequenzvibrato entsteht. Der Wert von  $C_1$  liegt in der Größenordnung von 50 000 pF und schwankt je nach dem Typ der benutzten Glimmlampe G1, für die eine ganz kleine Ausführung genügt — möglichst eine solche, an der man die Glimmentladung beobachten kann. Ebenso schwankt der Wert des Kondensators  $C_2$  mit der Wahl des Transformators  $Tr_3$ , dessen Sekundärwicklung auf diese Weise auf die Vibratofrequenz abgestimmt wird. Hierdurch und durch die Verwendung eines Tiefpasses am Gitter der Röhre  $V_3$  erhält

man aus der an sich obertonreichen Kippschwingung ein hinreichend weiches Vibrato. Die Größe von  $C_2$  bewegt sich um ein bis einige  $\mu F$ . Als Regelwiderstand  $P_1$  dient ein Potentiometer von 1 M $\Omega$  log.

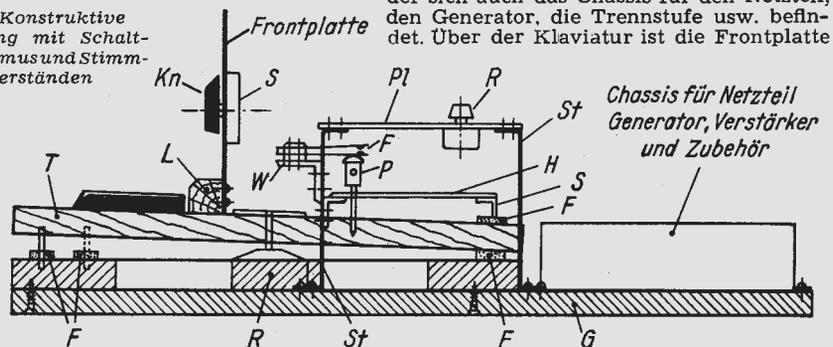
**Die Abstimmung**

Die Wahl der Spielwiderstände  $R_0, R_1 \dots R_n$  richtet sich nach der Charakteristik der verwendeten Röhre  $V_1$  und den Daten des Schwingtransformators  $Tr_1$ . Bei einem Kernquerschnitt von 4 cm<sup>2</sup> (wie bei der Anordnung in Bild 1) erhält beispielsweise die Primärwicklung 1000 Windungen und die Sekundärwicklung 3000 Windungen 0,15 mm Cu-Lackdraht. Ferner ist für einen Tonumfang von c bis zum c<sup>1</sup> für  $R_0$  ein Regelwiderstand von 1 k $\Omega$  erforderlich, der auf ca. 500...600  $\Omega$  eingestellt wird, während die Näherungswerte der weiteren Widerstände aus nachfolgender Aufstellung hervorgehen:

Tonschritt (bzw. Ton)	Als Regelwiderstand	Als Streifenwiderstand m. verschiedenen Abgriffen
$R_1$ c	100 $\Omega$ , kann auch fehlen	600 $\Omega$
$R_2$ (c-cis)	150...200 $\Omega$	
$R_3$ (cis-d)	150...200 $\Omega$	
$R_4$ (d-dis)	150...200 $\Omega$	
$R_5$ (dis-e)	200 $\Omega$	
$R_6$ (e-f)	200 $\Omega$	
$R_7$ (f-fis)	200 $\Omega$	
$R_8$ (fis-g)	250...300 $\Omega$	
$R_9$ (g-gis)	250...300 $\Omega$	
$R_{10}$ (gis-a)	300 $\Omega$	
$R_{11}$ (a-ais)	300 $\Omega$	
$R_{12}$ (ais-h)	300 $\Omega$	
$R_{13}$ (h-c <sup>1</sup> )	400 $\Omega$	1500 $\Omega$

Bei der Verwendung von Streifenwiderständen, von denen man für eine Oktave nur drei Stück benötigt, greift man die

Bild 3. Konstruktive Anordnung mit Schaltmechanismus und Stimmwiderständen



erwünschten Widerstandswerte entweder durch Schellen oder durch seitlich bewegliche Schleifer ab, die man aus vorn abgerundeten Relaisfedern leicht selbst fertigen kann. Bei einer solchen Anordnung hat jeder Widerstand vier Abgriffe. Zwischen diesen und dem Wickelanfang entstehen so vier Einzelwiderstände. Die Verteilung der Widerstände ist, wie schon aus der Aufstellung erkennbar, in großer Annäherung logarithmisch. Die kleineren Werte liegen bei den tiefen, die größeren Werte bei den hohen Tönen.

Die Schaltung in Bild 2 läßt natürlich eine Reihe von Modifikationen zu. So ist auch hier für den Generator eine Pentode verwendbar, mit der man wieder so verfahren kann, wie bei der Schaltung Bild 1 bereits beschrieben. Der Ausgang der Gesamtanordnung wird wieder einem Verstärker und Lautsprecher oder z. B. dem Schallplatteneingang eines vorhandenen Rundfunkempfängers zugeführt.

**Die Klangfarbenenerzeugung mit festen Filtern**

Die Auswahl der mit dem Filter in Bild 2 erzielbaren Klangfarben ist außerordentlich groß. Gibt man den Schaltern  $S_2$  und  $S_6$  noch eine Nullstellung, so lassen sich bei der gezeigten Stellung des Schalters  $S_3$  beispielsweise auch sehr ausgeprägte Formantklänge hervorbringen. Das sind solche Klänge, bei denen die Obertöne in einem ganz bestimmten Bereich innerhalb der durch eine Resonanzkurve gebildeten umhüllenden besonders stark hervortreten. Ein Beispiel hierfür zeigt Bild 8. — Formantklänge sind besonders charakteristisch bei Sprachlauten und auch vielen Musikinstrumenten eigen.

**Konstruktive Ausführung**

Eine konstruktive Ausführung für die beschriebene Schaltung ist in Bild 3 angedeutet. Eine Klaviatur mit den Tasten T, dem Rahmen R und den Filzpolstern F ist auf der Grundplatte G angeschraubt, auf der sich auch das Chassis für den Netzteil, den Generator, die Trennstufe usw. befindet. Über der Klaviatur ist die Frontplatte

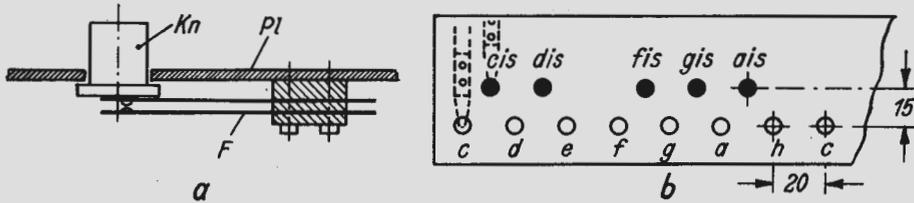


Bild 4. Anregung zum Selbstbau einer Druckknöpf-Tastatur

mit der Frontplattenleiste L (die nur den unteren Abschluß bildet) und den Klangfarbschaltern S, durch die Knöpfe Kn bedienbar, angeordnet. Hinter der Frontplatte, ebenfalls über den Tasten, befindet sich, auf Stützen St montiert, die Montageplatte Pl für die Stimmwiderstände R und evtl. auch für die Bauelemente der Klangfilter. An die vorderen Stützen St ist eine Winkelschiene angeschraubt, auf der sich die Relaisfedersätze F befinden, die durch die in die Tasten eingeschraubten „Piloten“ P (aus dem Klavierbau bekannt) bei Tastendruck geschlossen werden. Eine weitere über die hinteren Tastenenden gelegte Schiene S betätigt den Flüssigkeitsregler (nicht mit eingezeichnet) für den weichen Tonansatz.

An Stelle einer Normalklavatur kann man auch eine Druckknopftastatur ver-

gegenüber den bereits beschriebenen Schaltungen sind hier hauptsächlich die Klangdrossel Dr und die in Serie geschalteten Kondensatoren  $C_1 \dots C_n$ , deren Gesamtwert sich nach dem gespielten Ton richtet und der beim Niederdrücken der am weitesten links liegenden Taste, also beim tiefsten Ton, am größten ist. Durch eine derartige Anordnung werden „mitwandernde Formanten“ erzeugt, wie in Bild 9 veranschaulicht.

Da für die Kondensatoren  $C_1 \dots C_n$  in Bild 5 verhältnismäßig hohe Kapazitätswerte erforderlich sind, kann man besser nach dem Beispiel des in Bild 6 gezeigten Stufenfilters verfahren, bei dem die Summe der Kapazitäten  $C_1 \dots C_n$  wirksam ist. Auch hier ist wieder die am weitesten links niedergedrückte Taste für die Formantfrequenz maßgebend, was dadurch erreicht

wird, daß nicht einfache Trennschalter, sondern Umschalter verwendet werden, von denen die zweiten Kontakte untereinander verbunden sind.

**Die künstliche Erzeugung von Blas- und Zupfklängen**

Eine weitere Bereicherung ergibt sich durch Regelschaltungen zur künstlichen Darstellung von Blas- und Zupfklängen, wie die Bilder 10 und 11 zeigen. Diese Anordnungen werden zwischen den beschriebenen Instrumenten und dem nachfolgenden Verstärker angebracht. Da eine Regelstufe selbst verstärkt, muß nötigenfalls die Eingangswechselspannung gedrosselt werden, um Übersteuerung zu vermeiden. Die Bemessungen der Schaltelemente sind aus den Bildern ersichtlich.

In Bild 10 liegt bei geöffnetem Federsatz eine so hohe negative Gittervorspannung an der Röhre, daß sie sperrt. Beim Niederdrücken der Taste wird der Federsatz geschlossen und durch die jetzt neu sich einstellenden Spannungsverhältnisse die Röhre entriegelt. Durch den Kondensator von  $1 \mu F$  geschieht das verzögert: Der Tonansatz ist weich wie bei einem angeblasenen Instrument.

Bei der Anordnung in Bild 11 liegt der über eine Feder F und einen Winkel an hinteren Tastenenden befestigte Stößel St an der Schiene S, die er bei Tastendruck aufwärts bewegt. Da jedoch hierbei der Stößel durch den Anschlag A geführt wird, gleitet er bald von der Schiene ab, die beim weiteren Niederdrücken der Taste herunterfällt. Bei diesem Vorgang berührt die Mittelfeder des Federsatzes kurzzeitig die obere Feder, der Kondensator mit  $4 \mu F$  lädt sich auf Katodenpotential auf, um sich dann beim Umschnellen des Mittelkontaktes über den  $0,3-M\Omega$ -Widerstand nach unten zu entladen. Der hierdurch bewirkte Verstärkungsverlauf entspricht dem Amplitudenverlauf einer gezupften oder angeschlagenen Saite. Im Ruhezustand verstärkt auch diese Schaltung nicht, es ist also kein Ton zu hören. Durch das Potentiometer wird das Katodenpotential so eingestellt, daß der Ausschwingvorgang möglichst asymptotisch gegen Null verläuft. Die Schaltelemente sind im angegebenen Beispiel so dimensioniert, daß ein Klavierklang entsteht.

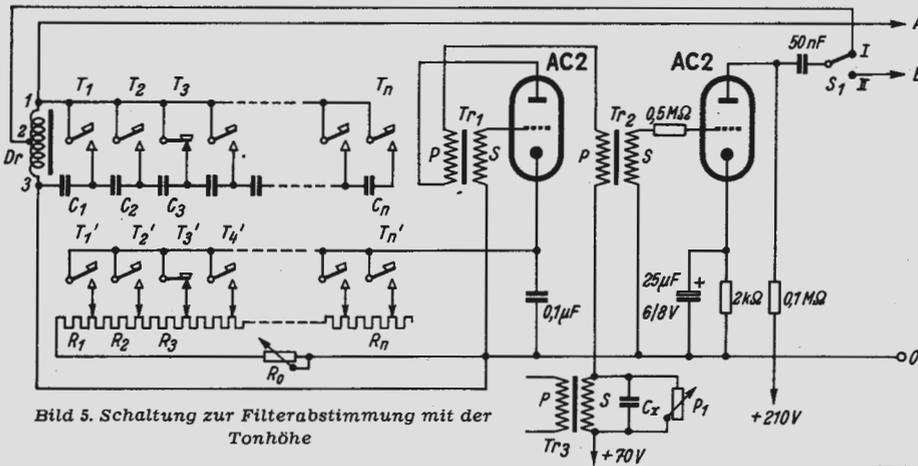


Bild 5. Schaltung zur Filterabstimmung mit der Tonhöhe

wenden, zu deren Selbstbau Bild 4 eine Anregung geben soll. Bei a werden diese im Schnitt gezeigt. Pl ist eine Platte, vorzugsweise aus Isoliermaterial, an der außer den Federsätzen F auch die Stimmwiderstände befestigt werden können. Kn sind Knöpfe aus Isoliermaterial (z. B. Hartgummi, Elfenit usw.), deren griffige Verteilung bei b vorgeschlagen wird.

**Stufenweise abgestimmte Klangfilter**

Es ist ein Vorteil der Tasteninstrumente, daß sie (durch geeignete Wahl der Federsätze) bei gleichzeitiger Auslösung verschiedener Schaltungsvorgänge eine erhebliche Erweiterung der Ausdrucksmöglichkeiten zulassen. So zeigt Bild 5 die Schaltung eines Instruments, bei dem das Klangfilter mit der Tonhöhe abgestimmt wird. Neu

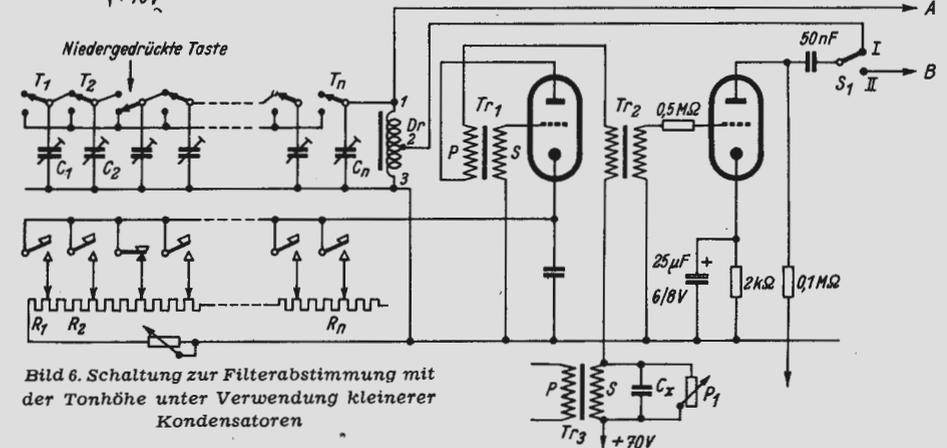


Bild 6. Schaltung zur Filterabstimmung mit der Tonhöhe unter Verwendung kleinerer Kondensatoren

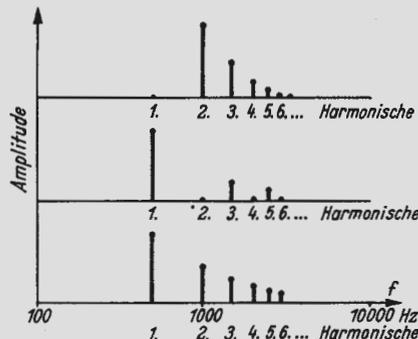


Bild 7. Beispiele von Klangspektren eines Instruments mit obertonarmem Erreger gemäß Schaltung Bild 1

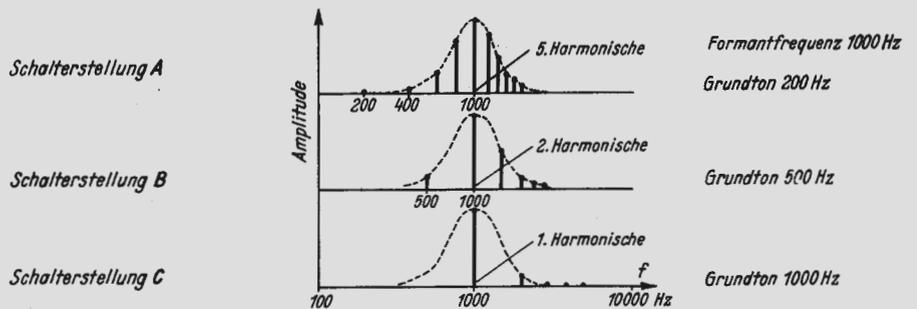


Bild 8. Beispiele von Klangspektren eines Instruments mit obertonreichem Erreger und festem Filter gemäß Schaltung Bild 2

