

Funkschau

INGENIEUR-AUSGABE

24. JAHRGANG

2. April-Heft 8
1952 Nr. 8

ZEITSCHRIFT FÜR FUNKTECHNIKER

Erscheint am 5. und 20. eines jeden Monats



FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN-BERLIN

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



Aus dem Inhalt

Die Weiterbildung im Radio- fach	137
Aktuelle FUNKSCHAU	138
Die elektronischen Orgeln .	139
Bauteile für Fernseh-Empfänger	141
Ferroxdure, ein neuer Magnetwerkstoff	141
Kondensator-Zündung von Kolbenblitzen	142
Elektro-Lumineszenz als „kalte“ Lichtquelle	142
Verschleißfestigkeitsprüfungen bei Lackdrähten	142
Funktechnische Fachliteratur ..	142
FUNKSCHAU-Konstruk- tionsseiten: Fehlersuchge- rät „Politest II“	143
Der Großsuper „Ultrakord“ er- hält eine Vorstufe	146
Wattmeter mit Meßtransformat- or für fünf Bereiche	147
Vereinigte Graetz- und Gegen- taktschaltung	147
FUNKSCHAU-Auslands- berichte	148
Vorschläge für die Werkstatt- praxis Neuartiger selbsttätiger Ver- schluß für Tuben mit flüs- sigem Inhalt; Die Berüh- rungsgefahr beim Allstrom- verstärker; Ersatz der Misch- röhre RENS 1224 durch eine AK 2; Selbstbau-Erfahrungen in Röhrenprüfgeräten	149
Neue Empfänger/Neuerungen Werks-Veröffentlichungen ..	150

Unsere Beilagen:

ROHREN-DOKUMENTE

Inhaltsverzeichnis; **EF 80** (Blatt 3)Die **Ingenieur-Ausgabe**
enthält außerdem:

Funktechnische Arbeitsblätter

Mo 11 Amplituden- und
Frequenzmodulation, Blatt 3Vs 11 Grenzemfindlichkeit
einer Eingangsstufe im UKW-
und Dezimeterbereich,
Blatt 1 bis 3

Harald Bode, einer der bekanntesten Fachleute auf dem Gebiet der elektrischen Musik, führt seine neue Elektronenorgel „Polychord“ vor. Der Spieltisch und die Klangmöglichkeiten entsprechen vollkommen einer normalen Pfeifenorgel, die Konstruktion sichert eine wirtschaftliche Herstellung, so daß große Absatzmöglichkeiten, besonders im Export, bestehen. — Links unten ein Teil der Kreuzschienenverteiler zur Synthese der verschiedenen Klangfarben.

(Aufnahme: C. Stumpf)

Die elektronischen Orgeln

Harald Bode, einer der bekanntesten Fachleute auf dem Gebiet der elektrischen Musik, berichtete bereits in der FUNKSCHAU 1951, Nr. 10, Seite 186 und Nr. 16, Seite 315, interessante Einzelheiten über die Schaltungstechnik von Elektronenorgeln. Seine reichen Erfahrungen auf diesem Gebiet stellte er dem Apparatewerk Bayern zur Verfügung und schuf dort ein neues Orgelmodell, das durch die Fülle und Wandlungsfähigkeit des Klanges auf der Frankfurter Musikmesse großen Beifall fand. In der folgenden Arbeit werden Gedankengänge und Schaltungseinzelheiten beschrieben, die zur Konstruktion dieses neuen Orgelmodells führten.

Unter den vollstimmigen elektronischen Musikinstrumenten, bei denen für jeden Ton ein Generator verfügbar ist, nehmen die Elektronenorgeln, die in ihrem Klangcharakter den Pfeifenorgeln sehr nahe kommen, einen besonders bedeutsamen Platz ein.

Die Möglichkeiten der Klangfarbengewinnung sind bei den vollstimmigen wie auch bei den Melodieinstrumenten äußerst vielfältig. Grundsätzlich lassen sich zwei Methoden zur Erzielung des gewünschten Teiltonaufbaues unterscheiden, welcher für den Klang im eingeschwingenen Zustand maßgebend ist: Die Ausgiebung der benötigten Komponenten aus einem obertonreichen Gemisch oder die Synthese aus sinusförmigen Teiltönen.

Während man beim Beschreiten des ersten Weges vor allen Dingen Klangwirkungen von Soloinstrumenten und von vokalähnlichem Charakter erhält, ist nach der zweiten Methode die Erzeugung von allen Klängen mit gleichbleibender Ordnungszahl der hervorgehobenen und unterdrückten Teiltöne möglich, ein typisches Merkmal, das auch den Klang der Orgel mit ihren Koppeln und Mixturen kennzeichnet.

Den Instrumenten mit einer Klang-erzeugung durch Filter, insbesondere durch Bandpässe, sind dadurch Grenzen gesetzt, daß man den Durchlaßbereich nicht tiefer legen kann als die höchsten gespielten Grundtöne, da sonst in einem Mehrklang die Melodiestimme verlorengehen würde. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, sich bei solchen Konstruktionen erheblichen Einschränkungen zu unterwerfen. Anders ist es bei den Systemen mit Teiltonsynthese, bei denen im Mehrklang jede gespielte Note, also auch die Melodiestimme, das gleiche Klangspektrum hat. Dieses ist einer der Gründe für die Vorrangstellung, die die Orgeln unter den vollstimmigen elektronischen Instrumenten einnehmen.

Tonerzeugung und Frequenzstabilisierung

Die technischen Forderungen, welche an die Frequenzstabilität der Tongeneratoren gestellt werden müssen, sind bei den vollstimmigen Konstruktionen wesentlich höher als bei den Melodieinstrumenten, da hier noch nachträglich vom Spieler Korrekturen vorgenommen werden können, was dort auf Grund der Vielzahl der vorhandenen Abstimmelemente praktisch nicht möglich wäre. Aus diesem Grunde konnten sich zunächst nur Instrumente mit rotierenden Generatoren durchsetzen, bei denen die einzelnen Tonräder zueinander durch ein Getriebe in fester Frequenzbeziehung stehen, so daß also eine Verstimmung der Tonerzeuger gegeneinander unmöglich ist. Bei rein elektronischen Schwingungs-



Bild 1. Die Polychord-Organ nach H. Bode (Apparatewerk Bayern)

erzeugern kann man eine solche „Verzahnung“ dadurch einführen, daß man alle Töne, welche im Oktavverhältnis zueinander stehen, miteinander synchronisiert, so daß die hohen Forderungen bezüglich der Frequenzstabilität nur noch an die Halbtöne einer Oktave gestellt zu werden brauchen, und zwar an die der höchsten Oktave bei Abwärtsynchronisation. Ein Instrument, bei dem die Tonerzeugung und Frequenzstabilisierung nach diesem Verfahren vorgenommen wird, ist die in Bild 1 dargestellte Polychord-Organ.

Grundsätzlich steht eine ganze Reihe technischer Möglichkeiten beim Entwurf von Schaltungen zur Abwärtsynchronisation zur Verfügung, angefangen von den Synchronisationsschaltungen, wie sie in jedem Kippgerät von Oszillografen enthalten sind, über Frequenzteilerschaltungen in Zeitmeßgeräten (Quarzuhren)

und in Fernsehempfängern bis zu den elektrischen Wippen, die in elektronischen Rechenmaschinen Verwendung finden. Eine interessante Schaltung dieser Kategorie, die mit einem relativ geringen Aufwand auskommt, ist in Bild 2 dargestellt. (In einem früheren Instrument des Verfassers mit Klangerzeugung durch Filter wurde von dieser Schaltung Gebrauch gemacht.)

V₁, V₂ und V₃ sind die Röhren der drei Stufen einer Synchronkaskade, welche als „blocking-Oszillatoren“ arbeiten. L₁ und L₂ sind zwei Hochfrequenzspulen, die den Generator mit der Röhre V₁ ins Schwingen versetzen, sobald die Rückkopplungsbedingungen erfüllt sind. Durch die Hochfrequenzamplitude erhält das Steuergitter eine hohe negative Aufladung, die sich dem Kondensator C₁ mitteilt, so daß die Röhre kurz nach dem Einsetzen der hochfrequenten Schwingungen sperrt. Durch den Widerstand R₁ wird der Kondensator C₁ nunmehr nach positiveren Werten hin entladen, bis die Anordnung wieder schwingfähig ist und das Spiel sich von Neuem wiederholt. (Es handelt sich hier also um die normale Sperrschwingerschaltung, wie sie vielfach zur Kippspannungserzeugung angewendet wird). Aus dieser rhythmischen Ladung und Entladung ergibt sich eine Frequenz, die vom Größenverhältnis R₁ und C₁ abhängt. Diese Frequenz wird zwischen Anodenspule und Anodenwiderstand abgenommen und über eine Kopplungskapazität an das 3. Gitter der nächsten Röhre geleitet, außerdem aber über einen Widerstand dem Schalter S₁ zugeführt, der im unbespielten Zustand geschlossen ist. Beim Öffnen des Schalters wird diese Frequenz über einen weiteren Widerstand dem Potentiometer P₁ zugeführt, von dem aus dann die niederfrequenten Spannungen auch der anderen freigegebenen Generatoren an die Filter und an den Wiedergabeteil (Verstärker, Lautsprecher) gelangen.

Die an das 3. Gitter von V₂ geführte Wechselspannung beeinflusst die Verstärkung dieser Röhre derart, daß die ihr angeschlossene Schwingerschaltung auf den Frequenzen besonders gut arbeitet, die im ganzzahligen Verhältnis zur Steuerschwingung stehen, also beispielsweise auch bei der halben Steuerfrequenz. Auf diese Weise läßt sich aus den Röhren V₁, V₂ und V₃ und weiteren Stufen dieser Art eine Synchronkaskade aufbauen, deren einzelne Frequenzen im Oktavverhältnis zueinander stehen.

Die Vibratoerzeugung

Die rein elektronischen Schwingungserzeuger haben gegenüber den rotierenden Anordnungen den Vorteil, daß man sie zur Erzeugung eines Frequenzvibratos rhythmisch verstimmen kann. Will man

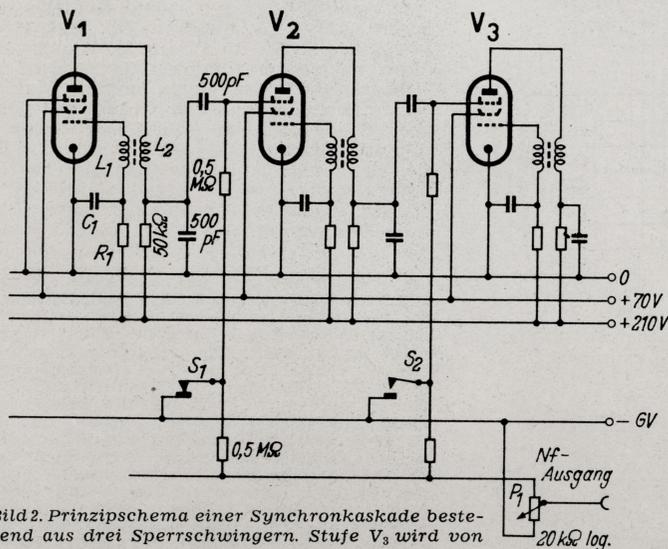


Bild 2. Prinzipschema einer Synchronkaskade bestehend aus drei Sperrschwingern. Stufe V₃ wird von V₂, und diese von V₁, synchronisiert

Bild 3. Anordnung zur Darstellung eines Frequenzvibratos an frequenzstarrten Schwingungserzeugern mit Hilfe einer Magnetbandschleife

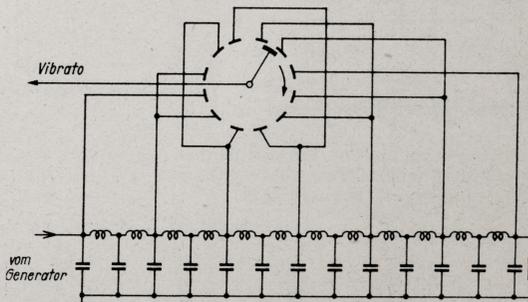
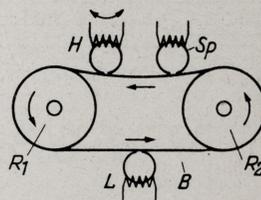


Bild 4. Grundsätzliche Anordnung zur Darstellung eines Frequenzvibratos an frequenzstarrten Schwingungserzeugern durch rhythmisch wechselnde kapazitive Abtastung einer Laufzeitkette an verschiedenen Punkten

dagegen bei frequenzstarrten Generatoren ein Frequenzvibrato erzeugen, so ergibt sich ein nicht unerheblicher technischer Aufwand.

Zwei Lösungsmöglichkeiten, die zu diesem Ziel führen, seien nachfolgend kurz angedeutet. Es handelt sich in beiden Fällen um mechanische Anordnungen unter sinngemäßer Ausnutzung der gleichen physikalischen Erscheinung, nämlich des Dopplereffekts. Bewegt man sich in einem Schwingungsmedium in Richtung auf die Schwingungsquelle, so erhöht sich die Frequenz, bewegt man sich von der Schwingungsquelle fort, so wird die Frequenz erniedrigt.

Bild 3 veranschaulicht die Nutzenanwendung dieser Erscheinung durch eine Anordnung mit einer Magnetbandschleife, die über die Rollen R_1 und R_2 gleichförmig fortbewegt wird. Sp ist ein Sprechkopf, über den die im Instrument erzeugten Tonfrequenzen dem Band magnetisch aufgeprägt werden, H ein Hörkopf, der im Rhythmus der Vibratofrequenz hin- und herbewegt wird, und L der Löschkopf, der die Wechselmagnetisierung wieder aufhebt, damit das Band bei Sp und H wieder frisch brauchbar ist.

Eine solche Anordnung, die in den verschiedensten konstruktiven Varianten denkbar ist, hat durch den unerläßlichen Bandverschleiß naturgemäß nur einen begrenzten praktischen Wert, ganz abgesehen davon, daß zur Erzielung der hinreichenden Musikqualität ein nicht un-

bedeutender Aufwand für die elektrische Aufsprech- und Wiedergabeeinrichtung erforderlich ist.

Aus diesem Grunde hat eine bekannte amerikanische Firma eine andere Lösung gewählt, deren Durchführung **Bild 4** veranschaulicht. Einer Laufzeitkette, die im Wesentlichen aus einer Reihe von L- und C-Gliedern besteht, wird über einen rotierenden kapazitiven Abtaster an verschiedenen Punkten rhythmisch hin- und rücklaufend das fertige Frequenzgemisch aus den Tongeneratoren zugeführt.

Es ist ohne weiteres aus dem Bild ersichtlich, daß der Aufwand für eine solche Vibratoeinrichtung nicht gerade gering ist. Und hier zeigt sich in der Tat die Überlegenheit der rein elektronischen Systeme, bei denen sich z. B. durch Eingriff in die Betriebsdaten der Tongeneratoren die Frequenz beeinflussen läßt.

Ein Ausführungsbeispiel für diesen Gedanken veranschaulicht **Bild 5**. Hier ist V_1 eine Triode, an die der aus L_1 und C_1 gebildete Schwingungskreis in schwingfähiger Dreipunktschaltung angeschlossen ist. Die Anodenspannung, die einen Teil der Spule durchläuft, wird über einen gemeinsamen Widerstand R_1 sowohl der Röhre V_1 als auch der Röhre V_2 zugeführt. Diese arbeitet nun in an sich bekannter Weise mit der aus den Kondensatoren C_2 bis C_4 und den Widerständen R_2 bis R_4 gebildeten Kette als Phasenschiebegerator und ist im vorliegenden Fall für die Vibratofrequenz (6...8 Hz) dimensioniert, so daß jetzt die an der Anode von V_2 entstehenden rhythmischen Spannungsschwankungen über L_1 der Anode von V_1 zugeführt werden. Daraus ergibt sich eine rhythmisch wechselnde Vormagnetisierung von L_1 , mithin auch eine Permeabilitätsschwankung, also eine Änderung des Selbstinduktionswertes und eine Frequenzschwankung.

Selbstverständlich läßt sich diese Schaltung sinngemäß erweitern, so daß auf diese Weise die zwölf obersten Halbttöne einer synchronisierten Anordnung gesteuert werden, während die übrigen Generatoren dann zwangsläufig diese Modulation mitmachen müssen.

Schaltungstechnische und klangphysikalische Einzelheiten

Wie bereits eingangs erwähnt, kommen für die Klangfarbendarstellung zwei Methoden in Frage, nämlich die der Ausziehung der benötigten Komponenten aus einem obertonreichen Gemisch und die der Synthese aus sinusförmigen Teiltönen. In Verfolgung des zweiten Gedankens hat bereits Thaddäus Cahill vor der Jahrhundertwende (!) eine Anordnung geschaffen, die in ihren wesentlichen Grundzügen bis heute erhalten geblieben ist und die im Ausschnitt durch **Bild 6** veranschaulicht wird. Der Grundgedanke dieser Anordnung liegt darin, daß nicht nur die Grundtöne, sondern auch die für die Klangsynthese benötigten Oberwellen aus der gleichschwebend temperierten Tonkala entnommen werden. Bei den Teiltönen mit der Ordnungszahl 2^n ist dieses selbstverständlich ohne weiteres möglich. Die Praxis hat aber gezeigt, daß auch die temperierte Quinte als 3. und 6. Harmonische und die temperierte Terz als 5. Harmonische gegenüber der Schwingungszahl des entsprechenden natürlichen Teiltönen noch so geringe Abweichungen aufweist, daß dieses Zugeständnis ohne weiteres zulässig ist.

Aus den Generatoren C, Cis, D...c, cis...c¹, cis¹... werden nun über Entkopplungswiderstände $R_1, R_2, R_3...$ die Wechselspannungen entnommen, die über die den Tasten $T_1, T_2, T_3...$ zugeordneten Schalter den Sammelschienen zugeführt werden, wobei die unterste Schiene jeweils immer die 1. Harmonische erhält und sofort bis zur obersten, der die 8. Harmonische zugeführt wird. Die verschiedenen Klangfarben, die sich durch das Amplitudenverhältnis der einzelnen Harmonischen zueinander unterscheiden, erhält man nun beispielsweise dadurch, daß man durch die Schalterpakete $K_1, K_2...$ jeweils eine Verbindung zu der Schienengruppe aus a bis h herstellt, die an eine Spannungsteileranordnung aus den Widerständen R_{Sp} führt. Aus der Wahl der letztgenannten Schienen für die einzelnen Harmonischen ergibt sich deren Amplitudenverhältnis zueinander und damit die Klangfarbe. — Die so erzeugten Spannungsgemische werden dem Übertrager Tr zugeführt und gelangen von diesem aus an die Verstärker- und Lautsprecheranordnung.

Zum Abschluß seien noch einige mit einer solchen Anordnung erzielbare Schwingungszüge in **Bild 7** und deren Analysen in **Bild 8** dargestellt. Aus den Bildunterschriften geht bereits hervor, daß sich mit diesen Mitteln recht unterschiedliche Klang-Grundtypen erzielen lassen, die innerhalb eines großen Spielraums durch weitere Beispiele ergänzt werden können.

Diese Klangtypen sind auch in der Polychord-Orgel des AWB enthalten, die wesentlich charakterisiert ist durch Teiltonzusammensetzung aus Sinustönen, durch ein rein elektronisch erzeugtes Frequenzvibrato und durch Klangsynthese nach dem Sammelschienenprinzip.

Es ist auf diese Weise möglich, durch rein elektronische Mittel Orgeln mit solcher Klangschönheit und Ausdrucksvielfalt zu schaffen, die sich dadurch, daß sie auch mit einem vertretbaren wirtschaftlichen Aufwand hergestellt werden können, weiteste Anwendungsgebiete erschließen werden. Harald Bode

Auf einer Sitzung der Deutschen Kintotechnischen Gesellschaft in München ließ der Entwickler und Konstrukteur der neuen elektronischen Orgel „Polychord III“ seine Orgel selbst sprechen. Sie wurde von ihm und von Fritz Strohmeier meisterhaft gespielt. Es zeigte sich, daß sie nicht nur den Tonumfang und die Klangfülle bekannter akustischer Orgeln besitzt, sondern zusätzlich ein unerschöpfliches Repertoire der verschiedenartigsten Klänge aufweist. So findet sie nicht nur das Interesse kirchlicher Kreise, die mit ihrer Hilfe die in Schutt und Asche gesunkenen Orgeln billiger ersetzen können, sondern aller musikalisch Schaffenden, die darin ein Instrument noch gar nicht zu überschender Vielseitigkeit besitzen.

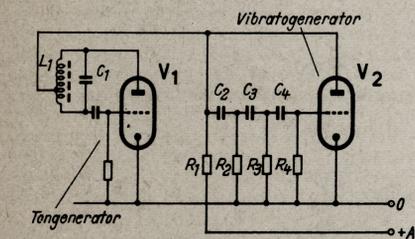


Bild 5. Schaltung zur Erzeugung eines Frequenzvibratos an einem elektronischen Schwingungserzeuger

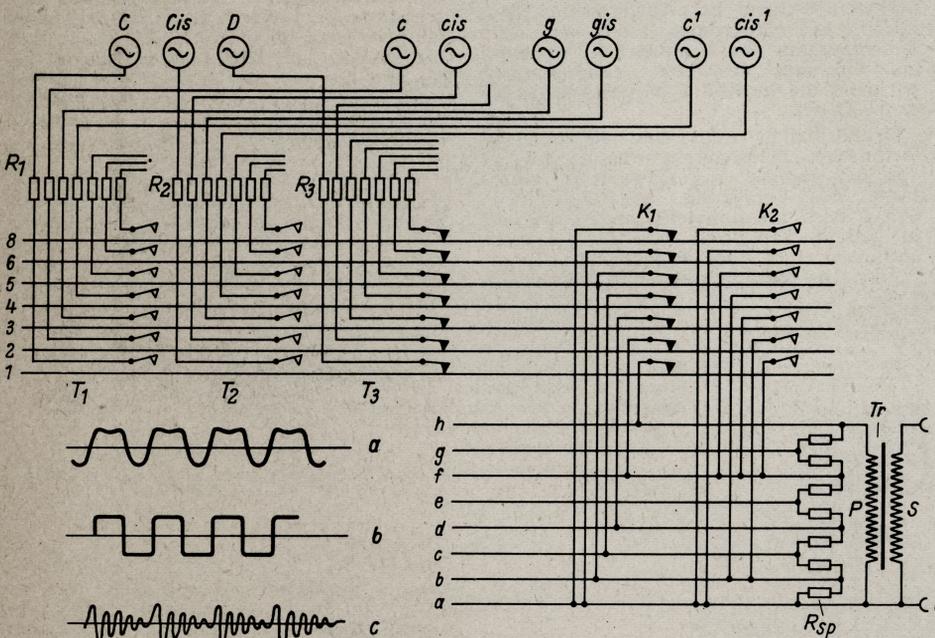


Bild 6. Schaltung zum Aufbau von Klängen aus sinusförmigen Teiltönen

Bild 7. Schwingungszüge von einigen charakteristischen Klangfarben a) Flöte, b) Orgelklarinetten, c) Formant (vokalähnlich)

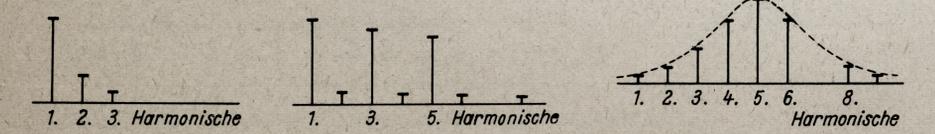


Bild 8. Analysen von einigen charakteristischen Klangfarben a) Flöte b) Orgelklarinetten c) Formant (vokalähnlich)