

G. BORÉ

Transistorbestückte Kondensator-Mikrofone in Niederfrequenz-Schaltung

SONDERDRUCK AUS **radio mania**
electronics
1967 · HEFT 7 · SEITEN 528 - 532
1 BERLIN 33 · HUBERTUSBADER STR. 16

Überreicht durch:



GEORG NEUMANN GMBH
ELECTROACUSTIC

Transistorbestückte Kondensator-Mikrofone in Niederfrequenz-Schaltung

GERHART BORÉ

Mikrofone in Hochfrequenz-Schaltung

Um Kondensatormikrofone in Halbleitertechnik ausführen zu können, wurden zuerst Mikrofone entwickelt, die in verschiedenen, zum Teil recht unterschiedlichen Hochfrequenz-Schaltungen betrieben werden und mit entsprechenden Halbleitern bestückt sind. Ihnen ist gemeinsam, dass jedes Mikrofon einen eigenen Hochfrequenz-Oszillator besitzt und dass die Mikrofonkapsel die von diesem Oszillator abgegebene Spannung in ihrer Frequenz, Phase oder Amplitude moduliert. Die Hochfrequenz wird nicht abgestrahlt, sondern im Mikrofon selbst demoduliert. Das demodulierte Signal wird meist noch über eine Impedanzwandler- oder Niederfrequenzverstärkerstufe sowie einen Tiefpass zum Ausgeben von HF-Restspannungen geführt.

Die Niederfrequenz-Schaltung

Zunächst sah es so aus, als gäbe es mit dem Übergang auf die Transistortechnik für die klassische Niederfrequenz-Schaltung keine Anwendungen mehr. Inzwischen wurde jedoch mit dem Feldeffekt-Transistor, abgekürzt als Fet bezeichnet, ein neues Verstärkerelement mit extrem hoher Eingangsimpedanz geschaffen. Damit bietet sich die Möglichkeit, auch die Niederfrequenz-Schaltung des Kondensatormikrofons in Halbleitertechnik auszuführen.

Zunächst sei anhand des Bildes 1 das Prinzip des Kondensatormikrofons in Niederfrequenz-Schaltung ins Gedächtnis zurückgerufen:

Charakteristisch für diese Schaltung ist das Vorhandensein einer Gleichspannung E_0 und eines grossen Widerstandes R . Die Kapselkapazität C wird über R aufgeladen, bis sie die Ladung $Q = C \cdot E_0$ besitzt. R wird so gross ge-

Im Zuge der Umstellung vieler elektrischer Geräte von Elektronenröhren- auf Halbleiterbestückung schien das Kondensatormikrofon längere Zeit noch eine Domäne der Röhrentechnik zu bleiben. Die allgemein übliche Niederfrequenz-Schaltung des Kondensatormikrofons erfordert einen Verstärker mit sehr grosser Eingangsimpedanz bei zugleich weitem Aussteuerbereich und geringem Eigenrauschen, wie er sich mit gewöhnlichen Transistoren nicht verwirklichen lässt. Erst seit es Feldeffekt-Transistoren — Fets und Mosfets — und damit Halbleiter-Bauelemente mit hohem Eingangs-Widerstand gibt, sind Kondensator-Mikrofone in Niederfrequenz-Schaltung mit Transistoren möglich geworden. Ihre Schaltungstechnik und Eigenschaften werden hier diskutiert. Dabei entsteht auch die wichtige Frage nach der optimalen Speisung und der Kompatibilität mit anderen Mikrofonen.

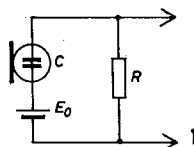
macht, dass die Ladung bei Beschallung der Mikrofonkapsel praktisch konstant bleibt und sich nur die an der Kapsel liegende Spannung ändert:

$$e = \frac{\Delta C}{C} \cdot E_0$$

Der Übertragungsfaktor ist somit von der relativen Kapazitätsänderung und von der Grösse der Polarisationsspannung abhängig. Die untere Grenzfrequenz der Schaltung ist

$$f_{gr} = \frac{1}{2 \pi R \cdot C}$$

und wird üblicherweise auf einen Wert zwischen 15 und 30 Hz gelegt. Bei sehr tiefen Frequenzen ergibt sich ein Abfall der abgegebenen Spannung, und zwar schon vor der ersten Verstärkerstufe, die hierdurch wirksam gegen Übersteuerungen durch Luftbewegungen oder unterhörfrequenten Schall geschützt wird. (Mikrofone in Hochfrequenz-Schaltung, die vom Prinzip her auch auf Gleichdrücke ansprechen, besitzen diesen natürlichen Schutz nicht.) Übliche Werte für C , R und E_0 liegen zum Beispiel bei 60 pF, 100 Megohm und 50 Volt. Zu



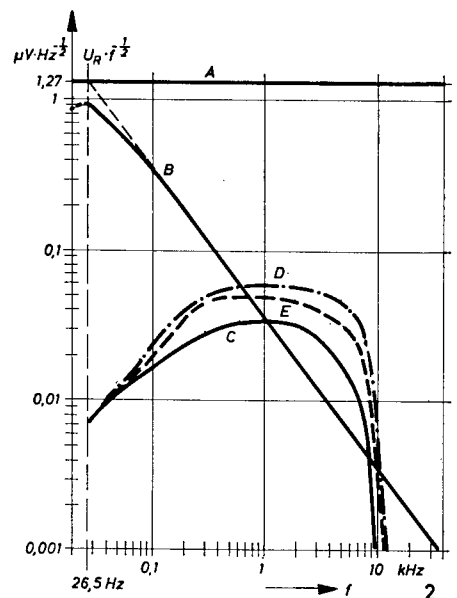
Prinzip des Kondensator-Mikrofons in Niederfrequenz-Schaltung.

diesen Werten gehört eine untere Grenzfrequenz von 26,5 Hz. Im Wert für C sind auch die Eingangskapazität des nachfolgenden Verstärkers sowie etwaige Schaltkapazitäten enthalten.

Das Eigenrauschen der Niederfrequenz-Schaltung

Nachteilig an der Niederfrequenzschaltung scheint zunächst das Widerstandsrauschen der Eingangsschaltung, das sich durch keine noch so rauscharme Verstärkerschaltung mehr vermindern lässt. Eine genauere Betrachtung zeigt jedoch,

dass bei Übertragungen, die für das menschliche Ohr bestimmt sind, auch die höchsten praktisch vorkommenden Ansprüche dennoch befriedigt werden können.



Rauschspannungsspektren

- A = weisses Rauschen
- B = Rauschen mit RC-Parallelschaltung
- C = über ein Bewertungsfilter gemessene Rauschspannung
- D = auf den Verstärkereingang bezogene bewertete Rauschspannung eines mit der Spezialröhre AC 701 bestückten Kondensator-Mikrofons
- E = auf den Verstärkereingang bezogene bewertete Rauschspannung eines mit einem Feldeffekt-Transistor bestückten Kondensator-Mikrofons

Das Rauschspektrum der Eingangsschaltung nach Bild 1 ist in Bild 2 für die Werte des oben angegebenen Zahlenbeispiels dargestellt: Die Gerade A bezeichnet das auf 1 Hz bezogene „weisse“ Rauschen des 100-Megohm-Widerstandes bei Zimmertemperatur. Für eine Bandbreite von 20 kHz und Zimmertemperatur beträgt die effektive Rauschspannung eines 100-Megohm-Widerstandes 182 μ V — ein Wert, der für eine Mikrofonenschaltung untragbar wäre. Die Parallelschaltung von R mit der Kapselkapazität C ergibt jedoch ein Rauschspektrum

Dr.-Ing. Gerhart Boré (49) ist seit 1956 als Entwicklungsingenieur in der Firma Georg Neumann GmbH Electroacoustic tätig und vorzugsweise für die Weiterentwicklung der Kondensatormikrofone verantwortlich.

entsprechend der Kurve B. Diese Kurve liegt bei 26,5 Hz um 3 dB unterhalb der Kurve A und fällt dann mit einer Neigung von 6 dB/Oktave ab. Integriert man über die von Kurve B überstrichenen Werte, so ergibt sich eine Rauschspannung von nur 6,5 μV (effektiv), die an den Eingang der Verstärkerstufe abgegeben wird.

Kurve C ist dadurch entstanden, dass die Rauschspannung über ein Bewertungsfilter nach Din 45 405 gemessen wurde. Sie ist kennzeichnend für den subjektiven Eindruck, den ein Spektrum nach Kurve B in unserem Gehör hervorruft, und zeigt, dass das Übergewicht der tieffrequenten Rauschteile durch die gehörmässige Bewertung mehr als kompensiert wird. Eine Integration über die Werte der Kurve C ergibt eine Rauschspannung von 2,05 μV beziehungsweise, wenn ein Quasi-Scheitelwert nach Din 45 405 eingesetzt wird, eine sogenannte „Geräuschspannung“ von 3,3 μV . Setzt man diesen Wert zum Übertragungsfaktor der Kapsel in Beziehung, der beispielsweise 2 mV/ μbar betragen möge, so ergibt sich eine Ersatzlautstärke von 17,5 dB über $2 \cdot 10^{-4}$ μbar (Din 45 405) für die Eingangsschaltung nach Bild 1. Von der Verstärkerstufe des Mikrofons — ob mit Röhre oder Transistor bestückt — ist zu fordern, dass sie diesen Wert so wenig wie möglich verschlechtern soll.

Die Ersatzlautstärken guter röhrenbestückter Kondensatormikrofone mit vergleichbaren Daten der Eingangsschaltung liegen zwischen 23 und 30 dB über $2 \cdot 10^{-4}$ μbar . Sie liegen unterhalb des Grundgeräuschpegel auch ruhiger Aufnahme studios und werden für alle vorkommenden Anwendungen als ausreichend niedrig angesehen, während das Eigenrauschen eines älteren Mikrofons mit einer Ersatzlautstärke von etwa 32 dB über $2 \cdot 10^{-4}$ μbar in einzelnen Fällen schon ein wenig störte.

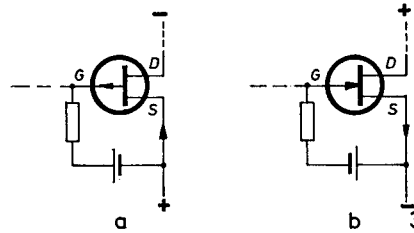
Kurve D in Bild 2 zeigt das bewertete, auf den Verstärkereingang bezogene Rauschspannungsspektrum eines mit der rauscharmen Mikrophon-Spezialröhre AC 701 bestückten Kondensatormikrofons, dessen Eingangsschaltung (C und R) etwa den Werten des oben angegebenen Zahlenbeispiels entspricht. Man erkennt, in welchem Umfang der Röhrenverstärker die von der Eingangsschaltung herrührende, in Kurve C dargestellte Rauschspannung vergrößert. Kurve E wurde an einem mit Feldeffekt-Transistor bestückten Kondensatormikrofon gemessen, das die gleiche Eingangsschaltung besitzt. Wie man sieht, gestattet der Feldeffekttransistor den Bau von Mikrofonverstärkern, die weniger Eigenrauschen besitzen als hochwertige Röhrenverstärker.

Verstärkerstufen mit Feldeffekt-Transistoren

Die Dimensionierung eines mit einem Feldeffekt-Transistor bestückten Mikrofonverstärkers wird vorzugsweise durch die Forderung nach niedrigem Eigenrauschen bestimmt. Ferner sind das pentoden-ähnliche Verhalten des Feld-

effekt-Transistors und, wie bei allen Halbleiter-Bauelementen, die Abhängigkeit aller Daten von der Temperatur zu berücksichtigen. Die endgültige Schaltung wird ausserdem durch das gewählte Speisungssystem beeinflusst. Beim mechanischen Aufbau sind schliesslich noch Schutzmassnahmen gegen die Einwirkung hoher Luftfeuchtigkeit zu treffen.

Die Wirkungsweise der Feldeffekt-Transistoren innerhalb einer Schaltung kann am einfachsten dadurch beschrieben werden, dass man sich einen gleichstromdurchflossenen ohmschen Widerstand zwischen Source- und Drain-Elektrode (S und D in Bild 3) vorstellt, der in seinem Widerstandswert durch die



Schaltsymbole der Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren mit Polungsangabe der Speise- und Gat-Vorspannung a) für einen p-channel-Typ, b) für einen n-channel-Typ.

zwischen Gate — oder Gat — und Source (G und S) angelegte Eingangsspannung leistungslos gesteuert wird. Die Isolation zwischen dem „gesteuerten Widerstand“, also dem Strompfad S ... D, und der Steuerelektrode G wird im einfachsten Fall dadurch bewirkt, dass wie bei einer Silizium-Diode „in Sperr-Richtung vorgespannt“ wird. Hierbei sind der Strompfad S ... D einerseits und die Steuerelektrode G andererseits aus Halbleitermaterial entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps aufgebaut.

Man kennt sowohl Feldeffekt-Transistoren, bei denen der Strompfad (englisch als „Channel“ = Kanal bezeichnet) aus p-leitendem und das Gat aus n-leitendem Material aufgebaut ist, als auch die sogenannten n-channel-Typen, bei denen die Materialien jeweils dem entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp angehören. Der Pfeil im Schaltsymbol (Bild 3) deutet die Durchlassrichtung an; man muss also entgegengesetzt vorspannen: Beim p-channel-Typ müssen die Anschlüsse S und D auf negativem Potential gegenüber dem Anschluss G liegen, beim n-channel-Typ muss hingegen das Gate negativ gegen die beiden anderen Elektroden sein, damit sich die zum Betrieb notwendige Sperrschicht ausbildet.

Neben den Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren sind solche mit einer ständig vorhandenen hauchdünnen Isolierschicht — „Mosfet“ — entwickelt worden, bei denen die Gat-Elektrode auch ohne elektrische Vorspannung vom Strompfad S ... D isoliert bleibt.

Das Rauschen von Feldeffekt-Transistor-Stufen

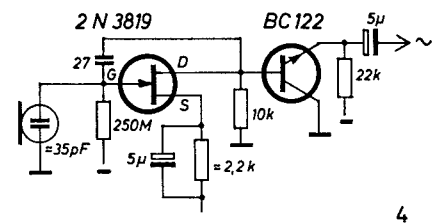
Bezüglich seines Eigenrauschens ist ein Feldeffekt-Transistor schon vom Prinzip her begünstigt: Der Strom

braucht keine Übergangszone zwischen p- und n-leitendem Material oder umgekehrt zu durchlaufen. Auch spielen sich alle Vorgänge bei wesentlich niedrigeren Temperaturen ab, als es in Elektronenröhren der Fall ist. Rauschquellen sind vorzugsweise das Widerstandsrauschen des Strompfades zwischen der S- und der D-Elektrode und das vom Reststrom des Gate G hervorgerufene Rauschen. Bei den zuerst erhältlichen Typen waren beide Einflüsse von etwa gleicher Grössenordnung. Bei den Mosfets konnte zwar der Gate-Fehlstrom um mehrere Grössenordnungen herabgesetzt werden, dennoch aber werden bisher, bedingt durch Instabilitäten an der Kristalloberfläche, nur ungünstige Werte für das Eigenrauschen erreicht.

Am günstigsten sind die Verhältnisse bei einigen Typen der n-channel-Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren, bei denen sich fertigungsmässig auch kleinere Gate-Fehlströme als bei den p-channel-Typen erreichen lassen. Bei Zimmertemperaturen sind diese Ströme vielfach kleiner als 10^{-11} A, so dass auch ein Anstieg um eine Zehnerpotenz, wie er bei Erwärmung auf + 60 ... 70 °C vorkommen kann, nahezu ohne Einfluss auf das Gesamtgeräuschen bleibt.

Mikrofonschaltungen mit Feldeffekt-Transistoren

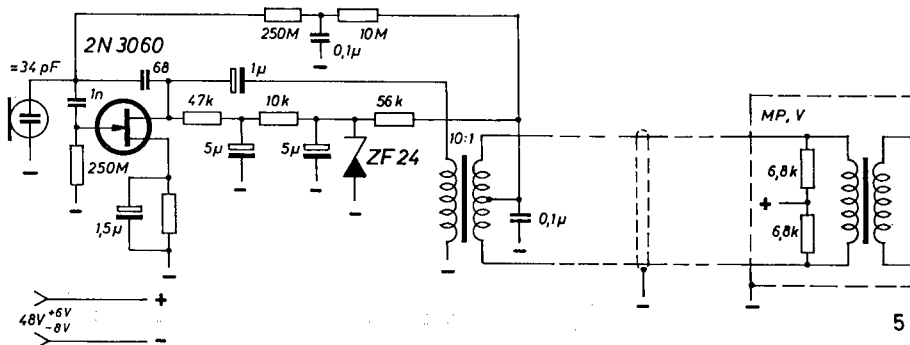
Beim n-channel-Feldeffekt-Transistor entsprechen Stromrichtung und Gate-Vorspannung den Verhältnissen bei der Elektronenröhre (Anode $\hat{=}$ Drain, Katode $\hat{=}$ Source, Gitter $\hat{=}$ Gate), und die Schaltung eines solchen Verstärkers hat, abgesehen vom Verstärkerelement, grosse Ähnlichkeit mit derjenigen eines herkömmlichen röhrenbestückten Kondensatormikrofons.



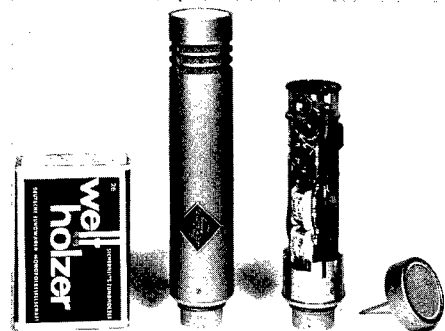
Kondensator-Kleinmikrofon mit Transistorverstärker.

Bild 4 zeigt die Schaltung eines mit einem n-channel-Feldeffekt-Transistor und nachgeschaltetem npn-Transistor bestückten Kondensatormikrofons. Sie bietet besondere Vorteile, wenn nur wenig Raum für den Verstärkerteil zur Verfügung steht, und hat sich zum Beispiel in kleinen, unauffällig an der Kleidung getragenen Mikrofonen bewährt.

Die erste Stufe ist ein normaler Spannungsverstärker. Die S-Elektrode ist Bezugspotential für Eingangs- und Ausgangsspannung. Eine starke, über 27 pF auf die Kapazität des Mikrofons wirkende Spannungsgegenkopplung erfüllt mehrere Aufgaben: Sie setzt den sonst sehr grossen Innenwiderstand der Fet-Stufe auf 1 ... 2 k Ω herab, und man kann nun ohne Zwischenübertrager eine



NF-Kondensator-Mikrofon mit Feldeffekt-Transistor-Verstärkerschaltung für 48-V-Phantomspannung ausgelegt; der nicht bezeichnete Widerstand am Feldeffekt-Transistor wird abgeglichen.



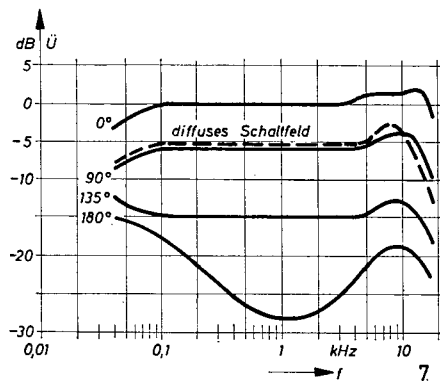
6 Kondensator-Kleinstmikrofon mit Kugel- oder Nierencharakteristik. Die Schaltung ist entsprechend Bild 5 ausgeführt.

rauscharme, mit einem npn-Transistor bestückte Collectorstufe ankoppeln, die den Innenwiderstand der Schaltung weiter verkleinert. Ferner wird durch die 27 pF die Eingangskapazität vergrößert. Da diese sowohl die Kapselkapazität als auch den 250-MΩ-Widerstand shuntet, setzt sie sowohl die Signalspannung als auch das Widerstandsrauschen herab, diese Art der Gegenkopplung verschlechtert also im Gegensatz zu anderen Gegenkopplungsarten kaum das Nutz-/Störverhältnis der abgegebenen Spannung.

Die Studiotechnik verlangt allgemein einen symmetrischen Ausgang. Er lässt sich durch einen Ausgangsübertrager oder zum Beispiel auch durch eine Gegentaktverstärkerstufe erzielen. Beide Schaltungen wurden erprobt. Der Ausgangsübertrager ergibt bei etwa gleichem Raumbedarf einen besonders einfachen Schaltungsaufbau und ermöglicht — weil ausser dem Feldeffekt-Transistor kein weiteres Verstärkerelement benötigt wird — Schaltungen mit ungewöhnlich niedrigem Stromverbrauch. Damit gestaltet sich die Stromversorgung besonders einfach, die Spannungsabfälle in den Zuleitungen werden extrem klein, und bei Batteriebetrieb ergeben sich lange Betriebszeiten, ehe ein Batteriewechsel nötig wird.

Bild 5 zeigt die Schaltung und Bild 6 das Aussehen eines kapazitiven Kleinstmikrofons, das je nach aufgeschraubter Mikrofonkapsel Kugel- oder Nierencharakteristik besitzt und sich wegen seiner Kleinheit auch für Fernseh- und Tonfilmaufnahmen besonders eignet.

MP = Mischpult
V = Verstärker.



Frequenzgänge des in Bild 6 dargestellten Kondensator-Mikrofons mit Nierencharakteristik, Schaltung nach Bild 5.

Die in Bild 7 gezeigten, unter verschiedenen Schalleinfallswinkeln für das Mikrofon mit Nierencharakteristik aufgenommenen Frequenzgänge des Übertragungsmasses lassen erkennen, dass sich für dieses Mikrofon bei der Besprechung aus verschiedenen Richtungen wohl die Lautstärke, nicht aber zugleich die Klangfarbe verändert. Die Ausgewogenheit des Klangbildes bleibt auch für weiter entfernte Schallquellen erhalten, weil der im diffusen Schallfeld eines Hallraums gemessene, das heisst der über alle Schalleinfallrichtungen gemittelte Frequenzgang bis etwa 10 kHz ebenfalls einen ebenen Verlauf besitzt.

Die Betriebsspannung wurde mit 48 Volt so gross gewählt, dass ohne besondere Massnahmen eine geeignete Polarisationsspannung für die Mikrofonkapsel zur Verfügung steht. Die Betriebsspannung des Feldeffekt-Transistors wird mit einer Zenerdiode stabilisiert und, da jeder Zenerspannung ein Rauschspannungsanteil überlagert ist, mittels zweier RC-Glieder gesiebt. Trocken-Tantalkondensatoren gestatten es heute, eine derartige Siebschaltung trotz kleinen Raumbedarfs sehr betriebssicher aufzubauen. Die Stromaufnahme liegt einschliesslich des Zenerdioden-Stroms bei 0,4 mA. Da auch die Kapselvorspannung über ein Siebglied zugeführt wird, brauchen an die Brummfreiheit der Versorgungsspannung keine besonderen Anforderungen gestellt zu werden.

Kondensatormikrofone standen früher in dem Rufe, bei hoher Luftfeuchtigkeit störanfälliger als andere Mikrofonarten

zu sein. Nachdem es gelungen war, diese Einflüsse durch einen zweckmässigen Aufbau und die Verwendung neuer, benutzungsfreier Isolierstoffe vernachlässigbar klein zu machen, war zu untersuchen, ob die Einführung von Feldeffekt-Transistoren hier keine Verschlechterung mit sich brachte. Bei Feldeffekt-Transistoren sind die Anschlüsse für die Gate-Elektrode und die übrigen Anschlüsse sehr nahe nebeneinander herausgeführt; ausserdem fehlt die Erwärmung des Mikrofoninneren, wie sie bei den mit Röhren bestückten Kondensatormikrofonen vorzugsweise durch die Röhrenheizung bewirkt wurde.

Es hat sich gezeigt, dass die verwendeten Feldeffekt-Transistoren auch nach mehrtägiger Lagerung unter Wasser ihre Eigenschaften nicht verändern. Verschiedene der neuen, mit Feldeffekt-Transistoren bestückten Mikrofone wurden über Stunden hin einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100% ausgesetzt, ohne dass Störungen oder Ausfälle feststellbar waren. Eine Erwärmung auf + 65 Grad Celsius verschlechtert erwartungsgemäss den Rauschabstand, jedoch nimmt die Ersatzlautstärke bei dieser Temperatur nur um 1,0 ... 1,8 dB zu, was als durchaus tragbar angesehen werden darf. Der Frequenzgang zeigt keine Veränderungen.

Zwei Speisungssysteme

Während alle röhrenbestückten Kondensatormikrofone über unterschiedliche 5- bis 6-adrige Kabel mit den erforderlichen Betriebsspannungen versorgt wurden, trat gleichzeitig mit der Einführung der Transistortechnik der Wunsch nach einheitlichen Kabeln und möglichst auch einer für Kondensator- und andere Studiomikrofone einheitlichen Anschlusstechnik auf.

Leider beginnen sich trotzdem zur Zeit zwei unterschiedliche Speisungssysteme einzuführen: Die Phantomspannung und die sogenannte Tonader- oder A-B-Speisung. Jede dieser Speisungsarten hat besondere Vor- und Nachteile, die derjenige, der im Studiobetrieb transistorbestückte Kondensatormikrofone verwenden will, gründlich gegeneinander abwägen sollte, ehe er sich für ein bestimmtes System entscheidet.

Die Phantomspannung

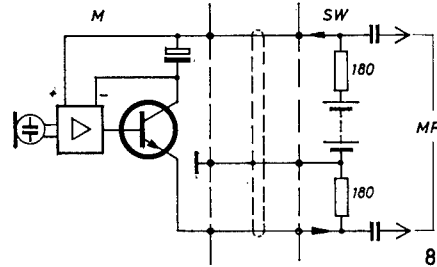
Bei der im rechten Teil von Bild 5 bereits angedeuteten Phantomspannung mit 48 Volt wird der positive Pol der Speisespannungsquelle über die elektrische Mitte der beiden Modulationsadern zum Mikrofon geführt. Er wird hierzu entweder über die Mittelanzapfung eines nachgeschalteten Übertragers oder — meist — über zwei gleichgrosse Widerstände beiden Tonadern gleichsinnig zugeführt. Bei guter Symmetrie werden die Übertrager durch den Gleichstrom nicht vormagnetisiert, und die Speisegleichspannung (einschliesslich etwa überlagerter Störspannungen) ist gegenüber der Mikrofon-Ausgangs-

spannung völlig entkoppelt. Die Rückleitung des Gleichstroms kann wahlweise über eine dritte Ader oder über den Schirm erfolgen. Der Praktiker bezeichnet diese Speisungsart daher auch als MS-(= Mitte-Schirm-)Speisung, was jedoch nicht mit der sogenannten MS-Stereofonie verwechselt werden darf. Die Betriebsspannung wurde auf 48 Volt festgelegt, weil in verschiedenen Ländern für Spannungen von 50 Volt und darüber besondere Sicherheitsbestimmungen gelten, während 48 Volt noch als „Schwachstrom“ gilt.

Manche Stellen halten es für unzulässig, dass über den Kabelschirm ein Strom fließt und einen Spannungsabfall hervorruft, und wollen auch keine dritte Kabelader einführen, weil sie zweiadrige Mikrofonkabel besitzen und weiterbenutzen wollen. Sie bevorzugen die Tonader- oder A-B-Speisung, bei der eine der Tonadern zugleich der Hinleitung und die andere zugleich der Rückleitung des Speisegleichstroms dient.

Die Tonaderspeisung

Bild 8 zeigt das Prinzip der sogenannten A-B-Speisung. Die Speisespannung wurde zunächst auf 12 Volt und der Strom auf max. 10 mA festgelegt. Jeder



Prinzip der A-B- oder Tonaderspeisung.
M = Mikrofon
SW = Speisungsweiche
MP = Mischpult

Mikrofonverstärker muss eine in Collectorschaltung betriebene Verstärkerstufe enthalten, deren Arbeitswiderstand sich ausserhalb des Mikrofons in einer Speisungsweiche befindet. Seine Grösse ist vorerst auf 360 Ω festgelegt. In dieser Collectorschaltung einschliesslich ihres (ausserhalb liegenden) Arbeitswiderstandes fällt ein Teil der Speisegleichspannung ab. Die eigentliche Mikrofon-schaltung ist gleichstrommässig mit der Collectorschaltung in Reihe geschaltet und gegen diese durch eine grosse, den restlichen Teil der Speisespannung überbrückende Kapazität entkoppelt.

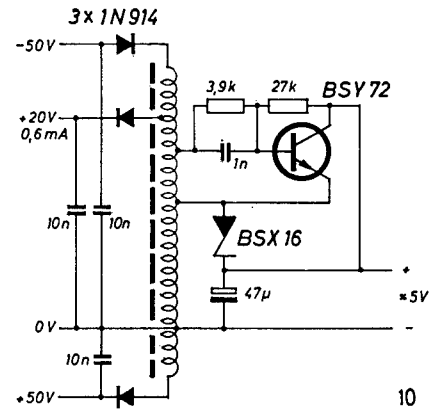
Wegen der für die Tonadern zu fordernden Erdsymmetrie darf kein Punkt der Mikrofon-schaltung, der leitend mit den Ausgangsklemmen in Verbindung steht, auf Gehäusepotential gelegt werden. Bei Netzspeisung ist es aus Symmetriegründen notwendig, den in der Speisungsweiche liegenden Widerstand in zwei gleiche Hälften zu je 180 Ω aufzuteilen und den Speisegleichstrom in der Mitte zuzuführen. Die Mitte oder einer der Pole der Speisegleichspannung kann dann mit Schirm- und Gehäusepotential verbunden und der Mikrofonausgang kann als „zwangssymmetrisch“ be-

zeichnet werden. Bei Kondensatormikrofonen in Niederfrequenz-Schaltung muss diese Verbindung mit dem Schirmpotential hergestellt werden, weil sonst die hochohmigen Teile der Schaltung nicht ausreichend gegen Brummeinstreuungen geschützt sind. Die Symmetrie der Ausgangsleitung hängt dann vorzugsweise von der Gleichheit der beiden 180-Ω-Einspeisewiderstände ab, die entsprechend eng zu tolerieren sind. Im Kabel sind Speisespannung und Mikrofon-Ausgangsspannung einander parallelgeschaltet. Daher muss die Speisespannung hier, im Gegensatz zur Phantom-Speisetechnik, ausserordentlich gut gesiebt werden. (Überlagerte Brummspannungen müssen kleiner als 0,004 mV sein, während bei Phantomspeisung 10 mV zulässig sind.)

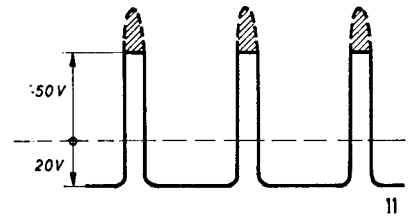
Da bei der Tonaderspeisung von den verfügbaren 12 Volt in der Collector-Stufe einschliesslich ihrer Arbeits-(=Speise-)Widerstände bereits 4 bis 5 Volt abfallen, bleiben für den Feldeffekt-Transistor und die Kapselvorspannung nur noch 7...8 Volt verfügbar. Sie müssen mit einem einfachen Gleichspannungswandler im Mikrofon auf die erforderlichen Werte angehoben werden.

Ein Kondensatormikrofon für Tonaderspeisung

Bild 9 zeigt die etwas vereinfachte Schaltung eines Kondensatormikrofons mit elektrisch umschaltbarer Richtcharakteristik (Kugel-Niere-Acht), das in der A-B- oder Tonaderspeisung betrieben wird. Der eingebaute Gleichspannungswandler ist in Bild 10 gesondert dargestellt. Durch entsprechende Polung der Dioden wird erreicht, dass er die beiden unbelasteten Kapselvorspannungen (± 50 V) als Sperrwandler und die für die erste Stufe benötigte Leistung (10 mW) als Durchflusswandler erzeugt. Als solcher arbeitet er mit recht gutem Wirkungsgrad, da der Schwingübertrager als Autotransformator geschaltet ist. Die Zenerdiode, ein Planartyp, kappt entsprechend Bild 11 die Spitzen der Wechselspannung, aus denen die Kapselvorspannung gewonnen wird, bei einem bestimmten Spannungswert ab und macht dadurch diese Spannungen von der Betriebsspannung unabhängig, ohne nennenswerte Verlustleistung zu verbrauchen. Zugleich arbeitet sie für die andere Stromrichtung als vorge-spannte Diode und stabilisiert als solche auch die 20-Volt-Betriebsspannung für die erste Verstärkerstufe. Schliesslich



Gleichspannungswandler, dessen Durchflussphase zum Gewinnen einer Betriebsspannung und dessen Sperrphase zum Gewinnen der Kapselvorspannung benutzt wird.



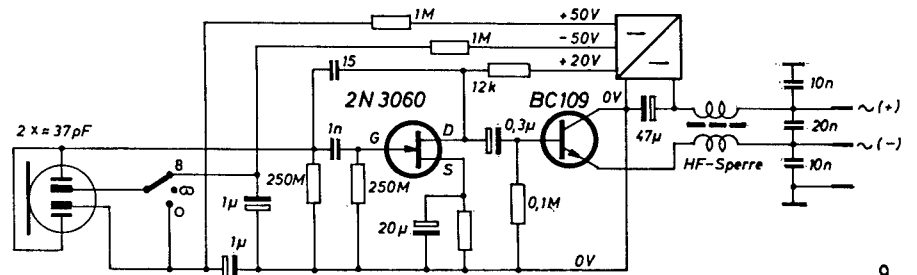
Oszillogramm der im Gleichspannungswandler nach Bild 10 erzeugten Wechselspannung.

schützt sie noch den Schwingtransistor vor einer hohen Rückschlagspannung, die bei Sperrwandlern sonst leicht ein Vielfaches der Betriebsspannung erreichen und den Transistor gefährden kann.

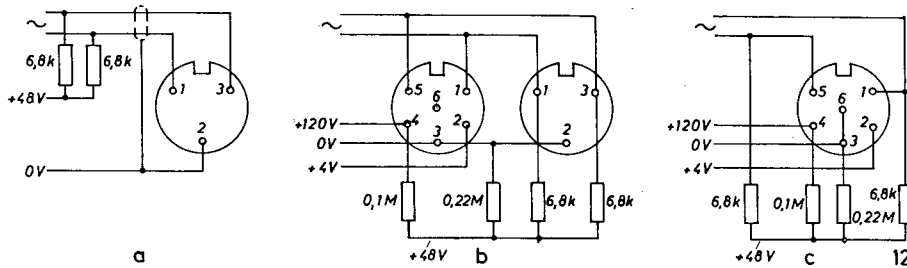
Verträglichkeit der Phantomspeisung mit anderen Mikrofonarten

Wenn man auch neue Aufnahmestudios, Aufnahmewagen usw. häufig nur mit transistorbestückten Kondensatormikrofonen ausrüsten wird, so wird man doch oft genug röhren- und transistorbestückte Kondensatormikrofone, sowie für bestimmte Zwecke auch dynamische Mikrofone nebeneinander benutzen wollen.

Mit der oben beschriebenen Phantomspeisung ist eine vollkompatible Anschlusstechnik möglich, weil zwischen beiden Modulationsadern keine Potentialdifferenz besteht. Auf die entsprechend Bild 12 a beschalteten dreipoligen Anschlussdosen können wahlweise auch dynamische Mikrofone, sowie die Modulationskabel herkömmlicher, mit Röhren bestückter Kondensatormikrofone geschaltet werden. Die Wicklungen nachgeschalteter Übertrager können allenfalls



Auf drei Richtcharakteristiken umschaltbares Kondensator-Mikrofon für Tonaderspeisung, der nicht bezeichnete Widerstand am Feldeffekt-Transistor wird abgeglichen.



Drei Möglichkeiten der 48-Volt-Phantom-Speisung von Transistor-Mikrofonen.

einen kurzen Augenblick lang von einem Gleichstrom durchflossen werden, wenn ein Stecker etwas schief in die zugehörige Kupplung eingeführt und während des Einsteckens kurzzeitig nur eine der beiden Kabeladern vom Strom durchflossen wird. Es ist ein Vorteil des 48-Volt-Speisesystems, dass wegen des kleinen Stroms grosse Einspeisewiderstände benutzt werden können. Sie begrenzen solche Stromstösse auf völlig ungefährliche Werte, wie auch experimentell gezeigt werden konnte: Sogar Übertrager aus hochpermeablem Eisen erfahren keine merkbare bleibende Vormagnetisierung.

Sind in einem Mischpult Anschlüsse für röhrenbestückte Kondensatormikrofone vorhanden, so können diese entsprechend Bild 12 b oder c in einfacher Weise durch den Einbau von vier kleinen Widerständen ($1/10$ Watt) so hergerichtet werden, dass nunmehr nach Belieben röhren- oder transistorbestückte Kondensatormikrofone auf die betreffenden Anschlussdosen geschaltet werden können. Die Speisespannung von 48 Volt wird hierbei einfach durch einen Spannungsteiler aus der Anodenspannung von zum Beispiel 120 Volt gewonnen und über je 6,8 k Ω beiden Modulationsadern zugeführt. Man kann sich entscheiden, ob man entsprechend Bild 12 b für die Transistormikrofone dreipolige Anschlussdosen einführen und jeweils mit einer 6- oder 7-poligen Dose kombinieren will oder ob sämtliche vorhandenen Mikrofone, möglichst auch die dynamischen, einheitlich mit 6- beziehungsweise 7-poligen Steckern versehen und alle Anschlussdosen entsprechend Bild 12 c zusätzlich für die 48-Volt-Phantom-speisung hergerichtet werden sollen. Im letzten Fall gibt es im gesamten Studio-komplex nur eine Art von Anschlussdosen und nur eine Kabelsorte, die für sämtliche vorkommenden Mikrofonarten benutzt werden kann.

Verträglichkeit der Tonaderspeisung mit anderen Mikrofonarten

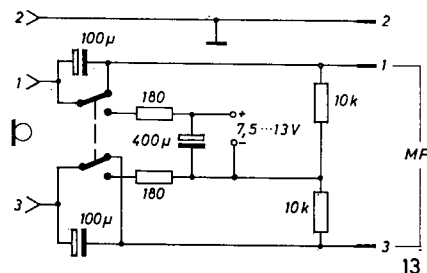
Bei der A-B- oder Tonader-Speisetechnik ist es nicht ohne weiteres möglich, andere Mikrofone auf die Anschlussdosen zu schalten. Die Schaltung einer für diese Speisungsart benötigten Speisungsweiche ist in Bild 13 wiedergegeben.

Beide Tonadern liegen über verhältnismässig kleine Widerstände an den beiden Polen einer Gleichspannungs-

quelle. Tauchspul-Mikrofone und etwaige Übertragerwicklungen (zum Beispiel von Bändchen- oder von herkömmlichen Kondensatormikrofonen) werden von Dauergleichströmen zwischen 20 und 30 mA durchflossen. Sie werden zwar in vielen Fällen hierdurch noch nicht beschädigt, jedoch ist ein verzerrungsfreier Betrieb immer nur möglich, wenn die Gleichspannung abgeschaltet wird.

Da dies unbequem ist und Fehlschaltungen möglich macht, lag es nahe, jedem Mikrofonanschluss eine transistorbestückte Abschaltautomatik zuzuordnen, die beim Aufstecken anderer Mikrofone (mit kleinerem Gleichstromwiderstand) den Speisestrom auf einen sehr kleinen Wert herabsetzt. Leider ist eine solche Automatik nur für Tauchspulmikrofone bedingt brauchbar, denn sie vermag nicht die durch die beiden 180- Ω -Widerstände gebildete Querlast (Bild 13) aufzutrennen, über die ja auch der die Automatik auslösende Gleichstrom zugeführt werden muss. Alle anzuschliessenden Mikrofone werden also mit 360 Ω abgeschlossen.

Für Tauchspulmikrofone bedeutet das eine geringfügige Verkleinerung der ohnehin niedrigen Nutzspannung und damit des Störabstandes. Dynamische Richtmikrofone, deren Impedanz allgemein im unteren Teil ihres Übertragungsbereichs ansteigt, übertragen bei dieser Belastung die niedrigeren Frequenzen um einige Dezibel schwächer. Bei herkömmlichen Kondensatormikrofonen geht die Aussteuerbarkeit auf etwa $1/3$ des ursprünglichen Wertes zurück. Auch hat sich gezeigt, dass der kleine verbleibende Rest-Gleichstrom ($\leq 0,5$ mA) bei allen mit Übertragern ausgerüsteten Mikrofonen (Bändchen- und röhrenbestückten Kondensatormikrofonen) bei Frequenzen unter 200 Hz erhebliche nichtlineare Verzerrungen zur Folge hat. Da die Restgleichspannung dem Mikrofon Ausgang unmittelbar parallelgeschaltet ist, muss sie extrem gut gesiebt sein, da schon Störspannungen



Speisungsweiche für die A-B-Speisung (abschaltbar), MP = Mischpult

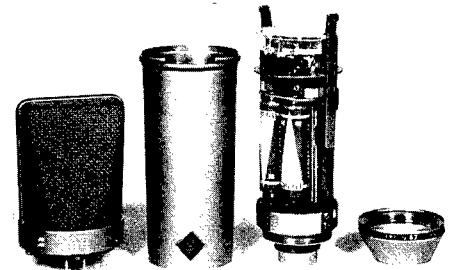
$\geq 0,3 \mu\text{V}$ den Störabstand dynamischer Mikrofone verschlechtern.

Daher scheint es richtiger zu sein, entweder eine Abschaltung von Hand entsprechend Bild 13 vorzusehen oder die betreffenden Anschlüsse ausschliesslich den tonaderspeisten Kondensatormikrofonen vorzubehalten und entsprechend zu kennzeichnen.

Mikrofone mit eingebauter Stromquelle

Man wird von allen Speisungsproblemen unabhängig, wenn die Mikrofone selbst mit Batterien ausgerüstet werden. Diese Technik dürfte sich zwar wegen des dabei notwendigen Wartungsdienstes kaum allgemein durchsetzen. Es gibt jedoch Fälle, insbesondere bei Aufnahmen ausserhalb des Studios, bei denen man es begrüssen wird, wenn ein hochwertiges Kondensatormikrofon abgeschlossen und betrieben werden kann, ohne dass die erforderliche Speisespannung von aussen zugeführt werden muss.

Bild 14 zeigt — in seine Hauptbestandteile zerlegt — ein etwas grösseres, mit verschiedenen Umschaltmöglichkeiten ausgestattetes Kondensatormikrofon mit eingebauten Batterien. Der oberhalb der Batterien sichtbare Schiebeschalter gestattet den Übergang von der Speisung durch die eingebauten Batterien auf „Fernspeisung“. Das Zu- und Abschalten des Batteriestroms geschieht selbsttätig beim Aufstecken des Mikrophones auf das Mikrofonkabel oder auf das Stativ.



14 Kondensator-Mikrofon mit eingebauten Batterien, das auch ferngespeist betrieben werden kann.

Dieses Mikrofon, das in seiner äusseren Form und seinen akustischen Eigenschaften einem bewährten, in Röhrentechnik ausgeführten Typ gleicht, wird in der Ausführung für die 48-Volt-Phantom-speisung mit zwei Batterien zu je 22,5 Volt bestückt, wie sie zum Beispiel auch für Fotoblitzgeräte verwendet werden, und kann aus diesen etwa 150 Stunden lang betrieben werden. In der Ausführung für die A-B-Speisung über die Tonadern ist es mit einer 9-Volt-Batterie ausgestattet, die einen Dauerbetrieb von mehr als 20 Stunden ermöglicht.

Interessant ist ein Vergleich der zum Betrieb benötigten Leistungsaufnahme: Bei gleicher Aussteuerbarkeit nimmt das phantomgespeiste, mit einem Feldeffekt-Transistor ausgerüstete Mikrofon nur den achtzigsten Teil an elektrischer Leistung auf, verglichen mit seinem Vorgänger-Typ, der mit einer Röhre EF 86 bestückt ist.