



Zusammenfassung

Im Aufnahmestudio kommt es durch Rundfunk- und Fernsehsender, durch Radarstationen sowie durch Leuchtstofflampen und thyristorgesteuerte Lichtstellanlagen häufig zu starken HF-Feldern und Störimpulsen. Dabei kann die Feldstärke im Raum etwa gleichmäßig verteilt vorhanden sein, oder es bilden sich stehende Wellen mit Feldstärkemaxima und -minima. Studiokondensatormikrophone besitzen neben einem schirmenden Metallgehäuse üblicherweise konstruktive Maßnahmen wie HF-Drosseln, Blockkondensatoren, Ferritperlen, statische Schutzwicklungen im Übertrager oder eine besondere Anordnung der Bauelemente im Verstärker, um die HF fernzuhalten oder zu verhindern, daß eingedrungene HF demoduliert wird und sich störend bemerkbar machen kann.

Außerhalb des Mikrophons kommt dem verwendeten Kabel und den Kabelkupplungen große Bedeutung zu, um die angeschlossenen Geräte vor HF zu schützen. Das gilt auch in bezug auf starke NF-Felder, die auf das Kabel oder auf das Mikrophon induktiv einwirken. Darüberhinaus können bei Mehrfacherdung (Mikrophon, Stativ, Kabelkupplung) bei nur kleinen Potentialunterschieden große Ausgleichsströme im Kabelschirm entstehen, die bei nicht genügend geschützten Mikrofonen ebenfalls zu Störungen führen.

Es werden einige Untersuchungsmethoden vorgestellt, um die beschriebenen Störungen zu simulieren, zu messen und zu bewerten.

*) Vortrag gehalten auf der 77. AES Convention, Hamburg, 5.3.-8.3.1985

Studio-Kondensatormikrophone haben heute mit ihren akustischen und elektrischen Eigenschaften einen hohen Standard, der sie auch in Verbindung mit modernsten Aufnahmetechniken zu einem starken Glied der Aufnahmekette macht, häufig zum stärksten Glied.

Dennoch kann es im täglichen Aufnahmebetrieb gelegentlich zu Störungen kommen, die wir hier aus unserer Erfahrung zusammentragen und erläutern wollen.

Störungen können verursacht werden durch niederfrequente Wechselfelder oder -ströme, die induktiv oder galvanisch auf das Mikrofonkabel oder auf das Mikrofon selbst einwirken; sie können aber auch - und das ist fast häufiger der Fall - durch starke Hochfrequenz-Felder und Störimpulse hervorgerufen werden, die in das Kabel, in Kabelkupplungen oder direkt in das Mikrofon gelangen und dann unmittelbar oder nach erfolgter Demodulation des Signals hörbar sind.

Es sollen einerseits Schutzmaßnahmen besprochen werden, die bei der Mikrofonkonstruktion (also vom Hersteller) getroffen werden, andererseits aber auch die, die der Anwender beachten sollte, wobei dem Mikrofonkabel und den Kabelverbindungen die Hauptrolle zufällt.

Während in DIN 45 591, "Mikrofon-Prüfverfahren"/1/, die Messung des magnetischen Streuwertes vorgesehen ist, gibt es ansonsten für Mikrophone keine speziellen Prüfvorschriften, um die angedeuteten Störungen im Labor zu simulieren, zu messen und zu bewerten.

Im Pflichtenheft Nr.3/5 der ARD /2/ findet sich eine Reihe von Vorschriften, die teilweise sinngemäß auf Kondensatormikrophone anwendbar sind. Sinngemäß deshalb, weil für alle kabelbezogenen Störungen beim Mikrofon Eingang und Ausgang im Gegensatz zu sonstigen Studiogeräten identisch sind.

Speisungssysteme

Bevor ein Studio-Kondensatormikrofon betriebsbereit ist, muß es elektrisch gespeist werden. Ob eine im Mikrofon benötigte Kapselvorspannung unmittelbar aus der Versorgungsspannung oder aus einem eingebauten DC-DC-Wandler gewonnen wird, soll hier nicht interessieren, da der Hersteller selbstverständlich dafür sorgen muß, daß eine in einem derartigen Wandler erzeugte Hochfrequenz nicht auf die Modulationsleitungen gelangen oder im Mikrofon selbst zu Störungen führen kann. Das erreicht man z. B. mit Abschirmblechen oder -kammern, mit Blockkondensatoren oder HF-Drosseln.

Als Speisungssystem hat sich inzwischen weltweit die im Jahre 1966 von Neumann eingeführte 48 V-Phantomspeisung durchgesetzt. Das hat seinen Grund in einer Reihe von Vorteilen gegenüber der sonst noch gebräuchlichen A-B- oder Tonaderspeisung. Im hier behandelten Zusammenhang soll nur auf die sehr gute elektrische Entkopplung der Modulation von der Speisegleichspannung hingewiesen werden, die die Phantomspeisung durch das leicht erreichbare hohe Unsymmetriedämpfungsmaß bietet. Sie läßt damit eine der Gleichspannung überlagerte Brummspannung im Millivoltbereich zu (Tonaderspeisung: μV -Bereich, s. Abb. 1). Um eine gute Symmetrie zu erreichen und gleichzeitig dafür zu sorgen, daß zwischen den Modulationsadern keine schädliche Gleichspannung auftritt, müssen die Einspeisewiderstände bei der Phantomspeisung, R1 und R2 in Abb. 1, jeweils innerhalb 0,4 % gleich sein (Ihr Absolutwert darf aber um $\pm 20\%$ vom Sollwert abweichen).

Störungen durch NF-Kabelströme

Aus Gründen eines guten Hochfrequenzschutzes ist es wichtig - wie später noch gezeigt werden wird -, den Kabelschirm stets auf beiden Enden des Mikrofonkabels an den entsprechenden Pin im Steckverbinder und an das Gehäuse des Steckverbinders anzuschließen. Häufig wird eine Schirmseite offen gelassen, weil man "Brummschleifen" fürchtet.

In der Tat kann es vorkommen, daß zwischen der "Erde" der Stromversorgung und einer Masseverbindung der Mikrofon-aufhängung ein Potentialunterschied besteht.

Solch ein Ausgleichsstrom kann vor allem dann in einem Mikrofon Störungen hervorrufen, wenn ein Pol der Kapsel an Gehäuse/Masse angeschlossen ist und sich Störspannung und Kapselspannung überlagern, wie es an dem mit einem Stern bezeichneten Leitungstück der Abb. 2 der Fall ist.

Daher ist in einigen unserer Kleinmikrophone ein 10-Ohm-Widerstand (R13 in Abb. 2) in der Masseleitung zu finden, dessen Sinn allein beim Betrachten des Schaltbildes schwer zu verstehen ist, da er von einem ordnungsgemäß geerdeten Steckverbinder überbrückt wird.

Zeichnet man aber den Weg des Kapsel-(Nutz-)Stroms (gestrichelt in Abb. 2) und den des Störstroms (fett durchgezogen) ein, wird klar, daß der größte Teil der Störspannung an dem 10-Ohm-Schutzwiderstand abfällt und das Mikrofon um 30 dB störfester wird (s. Abb. 4, Beispiele 5 und 6).

Darüber hinaus sorgt üblicherweise ein passives oder aktives Siebglied (R,C in Abb. 1) hinter der Gleichstromauskopplung in phantomgespeisten Mikrofonen dafür, daß eine Störwechselspannung nicht in den Mikrofonverstärker gelangt und nur zu einem Bruchteil an den Einspeisewiderständen abfällt.

In Abb. 3 ist die Meßanordnung gezeigt, mit der die Empfindlichkeit von Mikrofonen für Brummspannungen im Kabelschirm bei uns festgestellt wird. Ergebnisse von Messungen nach Abb. 2 und Abb. 3 sind in Abb. 4 dargestellt. Dabei kann an der Ordinate abgelesen werden, welche an den Kabelschirm angelegte Wechselspannung der Frequenz 50 Hz die unbewertete Eigenstörspannung ("Fremdspannung") des Mikrophons um 3 dB verschlechtert hat. Dieser Wert ist gerade als "Brummen" hörbar.

Störungen durch induzierte NF-Felder

Die Feldlinien von starken Magnetfeldern, hervorgerufen z. B. durch Transformatoren oder von dem Mikrofonkabel parallel liegenden Netzleitungen, können sowohl in der Mikrofonleitung wie im Mikrofon selbst Störspannungen induzieren. Um diese Gefahr für die Mikrofonkabel gering zu halten, sind ihre einzelnen Leiter jeweils verdreht. Leitungsstücke in Steckverbindern, tragbaren Netzgeräten oder an Anschlußdosen sollen kurz und ebenfalls verdreht sein.

Im Bereich eines starken NF-Feldes ist trotz dieser Vorsichtsmaßnahmen eine Steckverbindung möglichst zu vermeiden.

In der Nähe eines Netztransformators verschlechterte z. B. eine Steckverbindung die Fremdspannung eines Mikrophons um 9 dB, während das durchgehende Mikrofonkabel an derselben Stelle nicht beeinflußt wurde.

Zum Schutz des Mikrophons selbst hat im wesentlichen der Mikrofonhersteller mit einem hohen Unsymmetriedämpfungsmaß für Störsicherheit zu sorgen.

Die Messung der Unsymmetriedämpfung wird in DIN 45 404 /3/ und in der Anlage 4 des o. a. Pflichtenheftes beschrieben (Abb. 5).

In der Studioteknik ist ein Dämpfungsmaß von mindestens 60 dB gefordert. Neumann-Mikrophone der Serie fet 80 erreichen mit ihren Ausgangsübertragern mindestens 80 dB. Um dieses Maß werden also Störungen gedämpft, die in beide Modulationsadern eindringen und zum Mikrofon gelangen.

Weiterhin haben die Ausgangsübertrager unserer Mikrophone jeweils geteilte Primär- und Sekundärwicklungen, deren Hälften auf die sich gegenüberliegenden Schenkel eines E-I-Kernschnitts verteilt sind, wie Abb. 6 zeigt. Daher induziert ein Störfeld in jeder Wicklungshälfte eine gegenphasige Spannung, deren Wirkung sich im wesentlichen aufhebt.

Bei einem mehradrigen Mikrofonkabel, wie es z. B. zum Anschluß unseres Stereomikrophons SM 69 fet verwendet wird, sind die elf Adern zu den verschiedenen Gleichspannungen und zu den Modulationsleitungen entsprechend dem unterschiedlich gewählten Drall der Leitungen sehr sorgfältig zugeordnet, damit sich längs der Leitung an jedem Ort gleiche Verhältnisse für beide Systeme bei bestmöglicher Kanaltrennung ergeben (Abb. 7).

Störungen durch starke HF-Felder

Hochfrequenzfelder können gleichmäßig verteilt vorhanden sein, unterbrochen, d. h. pulsartig auftreten, ausgesendet z. B. von einem sich drehenden Radargerät, oder auch als stehende Wellen in einem Raum Maxima und Minima bilden.

So kann es in einem Studio gestörte und störungsfreie Zonen geben.

Wir haben auch beobachtet, daß ein Studio nicht von einem sehr nahe gelegenen Sender gestört wurde, weil seine horizontal polarisierten Wellen über das Studio hinweg gingen, sondern von einem mehrere Kilometer entfernten Fernsehsender.

Die Bildwechselfrequenz (Vertikalfrequenz) von Fernsehsendern (in Europa 50 Hz) wird leicht mit Netzbrummen verwechselt, was zu langem erfolglosen Fehlersuchen führen kann. Zu erkennen ist die HF-Störung aber an ihrer räumlichen Abhängigkeit, wie oben erwähnt wurde.

Ein richtig konstruiertes Mikrofon kann nur durch Hochfrequenz gestört werden, die durch das Kabel in seinen Verstärker/Impedanzwandler gelangt und dort demoduliert wird.

Wir wissen nur von Störungen durch amplitudenmodulierte Sender, also z. B. durch Mittelwellen- und Fernsehsender.

Abb. 8a soll andeuten, wie die in eine Kabelverbindung eingedrungene HF im Mikrofon zur Eingangsstufe gelangt, dort demoduliert wird und dadurch zu einem hörbaren NF-Störsignal wird. In Abb. 8b sind mögliche Schutzmaßnahmen angedeutet.

Leitende Gegenstände, bei hohen Feldstärken aber auch z. B. der menschliche Körper, können in der Nähe eines Mikrophons als Sekundärstahler wirken und die Störung verstärken.

Bei einer Störung durch Hochfrequenz sollten das Kabelmaterial und die Steckverbinder überprüft werden:

Wie bereits weiter oben angedeutet, müssen die Metallgehäuse der Steckverbinder gut leitend mit dem Kabelschirm verbunden sein, wobei einer Lötverbindung gegenüber einer Klemmverbindung (z. B. unter dem Kabelabfangbügel) der Vorzug zu geben ist.

Das Gehäuse des mikrofonseitigen Steckverbinders berührt zwar stets das geerdete Mikrofongehäuse und ergibt damit eine (mit einem Ohm-Meter gemessen) gute Verbindung, die aber für Hochfrequenz einen hochohmigen Übergangswiderstand darstellen kann, wenn keine zusätzliche Schirmverbindung im Stecker vorhanden ist.

Als Kabelabschirmung werden verwendet

- Geflechte aus Kupferdrähten, die auch verzinnt sein können,
- Bündel aus flach nebeneinanderliegenden, dünnen Kupferdrähten, die mit einem Schlag um die Leiter herumgeführt sind ("Drallumspinnung"),
- leitende Kunststoffumhüllungen.

Ein wichtiges Kriterium für die HF-Dichtigkeit von Kupferabschirmungen ist der Flächenbedeckungsgrad, der bei den Geflechtschirmen allerdings in Verbindung mit der Schlaglänge, dem Flechtwinkel und dem Durchmesser der verwendeten Kupferdrähte betrachtet werden muß /4/. Ein geflechtgeschirmtes Kabel mit hohem Bedeckungsgrad (üblich 80...90%) kann daher weniger HF-dicht sein als eines mit niedrigerem Bedeckungsgrad, wenn die anderen erwähnten Parameter richtig abgestimmt sind.

Wir verwenden Kabel mit doppelter, gegenläufiger Drallumspinnung mit der sehr hohen Bedeckung von 95 %. Diese Schirmung ist biegeunempfindlich, beläßt das Kabel aber sehr biegeweich (siehe auch Abb. 7). Nach unseren Erfahrungen bietet diese Art der Drallumspinnung die beste Hochfrequenzsicherheit.

Um die HF-Festigkeit eines Mikrophons zu untersuchen, verwenden wir mehrere unterschiedliche Verfahren:

Ein sozusagen natürliches Störfeld ist durch die besondere Lage der Firma vorhanden, weil es in Berlin 13 Hörfunk- und 7 Fernsehsender gibt, wobei sich der Ostberliner Fernsehturm und auch das rotierende Radargerät des Flughafens Tempelhof ganz in unserer Nähe mit Sichtkontakt befinden.

Daher können Mikrophone und Kabel, die auf unserem Flachdach aufgebaut werden, unmittelbar auf ihre HF-Festigkeit hin untersucht werden. Dabei ist zu beachten, daß der Richtstrahl des Radargerätes bei trockenem Wetter deutlich stärker stört als bei feuchtem oder gar regnerischem Wetter (Absorption und Streuung durch Wassertröpfchen).

Ein weitaus stärkerer Störsender /5/ ist eine Zündkerze, die mit Hilfe eines Multivibrators und einer Transistorzündung ein sehr breitbandiges Störsignal erzeugt.

Dieser Generator ist in Abb. 9 skizziert. Er ist eingebaut in ein ungeschirmtes, nichtleitendes Gehäuse, das eine Kabelführung zur Aufnahme eines Mikrophonkabels in definiertem Abstand zur Zündkerze besitzt.

Abb. 10 zeigt die Wirkung verschiedener HF-Schutzmaßnahmen an einem Mikrophon. Die Ordinate trägt den bewerteten Störspannungspegel ("Geräuschspannungspegel"), der durch den Breitband-Störgenerator aus Abb. 9 hervorgerufen wurde.

In einem weiteren Meßaufbau wird eine amplitudenmodulierte HF-Spannung direkt in den Kabelschirm eingespeist (s. Abb. 11). Die Trägerfrequenz wird im Bereich 100 kHz bis 30 MHz variiert, wobei die Modulationsfrequenz $f_m = 1$ kHz und der Modulationsgrad $m = 70\%$ ist (in Anlehnung an DIN 45 410 /6/ und ARD Pflichtenheft 3/5, Anlage 8).

Mit dieser Meßanordnung kann selektiv untersucht werden, ob ein Mikrofon für bestimmte Frequenzen störempfindlich ist. Dies kann sich auch durch den Einbau ungeeigneter Entstörglieder ergeben, die im Störfrequenzbereich Resonanzstellen besitzen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß ein gut konstruiertes Kondensatormikrofon auch in stark gestörter Umgebung einwandfrei arbeiten kann, wenn gut geschirmte Steckverbinder und ein geeignetes Mikrofonkabel verwendet werden.

Quellennachweis

- /1/ DIN 45 591, 2.74, Mikrofon-Prüfverfahren; Meßbedingungen und Meßverfahren für Typprüfung
- /2/ Technische Pflichtenhefte der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten in der Bundesrepublik Deutschland Nr. 3/5, Januar 1977
- /3/ DIN 45 404, 8.74, Messung der Unsymmetrie elektroakustischer Geräte; Erdunsymmetrie
- /4/ Geschirmte Kabel mit optimalem Geflechtsschirm
Erich Homann
Nachrichtentechnische Zeitung
Heft 3.1968
- /5/ Nach einer Prüfanordnung des Instituts für Rundfunktechnik Hamburg, Rundfunktechnische Mitteilungen, Heft 1, 1962
- /6/ DIN 45 410, 5.76, Störfestigkeit von elektroakustischen Geräten; Meßverfahren und Meßgrößen

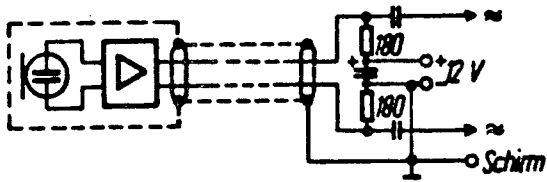
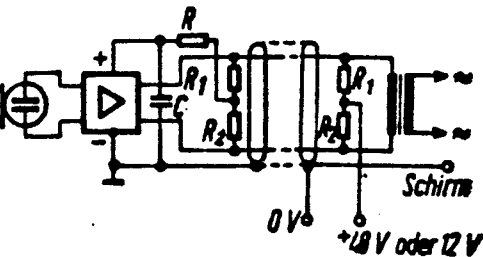
	TONADERSPEISUNG	PHANTOMSPEISUNG
Prinzipschaltung		 $R_1 = R_2 \pm 0.4\%$
Prinzip	Über R-C-Weichen wird an eine Tonader der positive, an die andere der negative Pol der Speisenspannung angelegt. Die Einspeisewiderstände sind zugleich Arbeitswiderstand der letzten Mikrofon-Verstärkerstufe, die gleichstrommäßig mit der übrigen Spannung in Reihe liegt.	Der Gleichstrom wird über 2 große Schutzwiderstände bei den Tonadern gleichsinnig zugeführt, im Mikrofon der "elektrischen Mitte" entnommen und gesiebt. Die Rückleitung erfolgt über den Schirm oder eine dritte Ader.
Merkmale Speisung mit:	7,5...13 V; 5...10 mA	z. B. 48 V \pm 4 V; 0,4...10 mA
Speisespannung und NF-Ausgangsspannung	liegen einander parallel	sind gegeneinander entkoppelt
zulässige Brummspannung	$\leq 0,004$ mV	ca. 10 mV
Netzgeräte erfordern	hohen Siebmittelaufwand	kleinen Siebmittelaufwand
Sammelspeisung erfordert	gegenseitige Entkopplung aller Speiseleitungen	keine Entkopplungsglieder
Jede Speisungsweiche enthält	4 Widerstände und 3 größere Elkos	2 Kleinstwiderstände
Verpolung der Anschlüsse	nicht zulässig	zulässig
Andere Mikrophone	nach Abschalten der Speisung und der Speisewiderstände (2x180 Ohm) anschließbar	ohne Umschaltung direkt anschließbar
Genormt nach	DIN 45595, IEC 268-15A	DIN 45596, IEC 268-15A

Abb. 1
Speisungssysteme für Transistor-Kondensator-Mikrophone

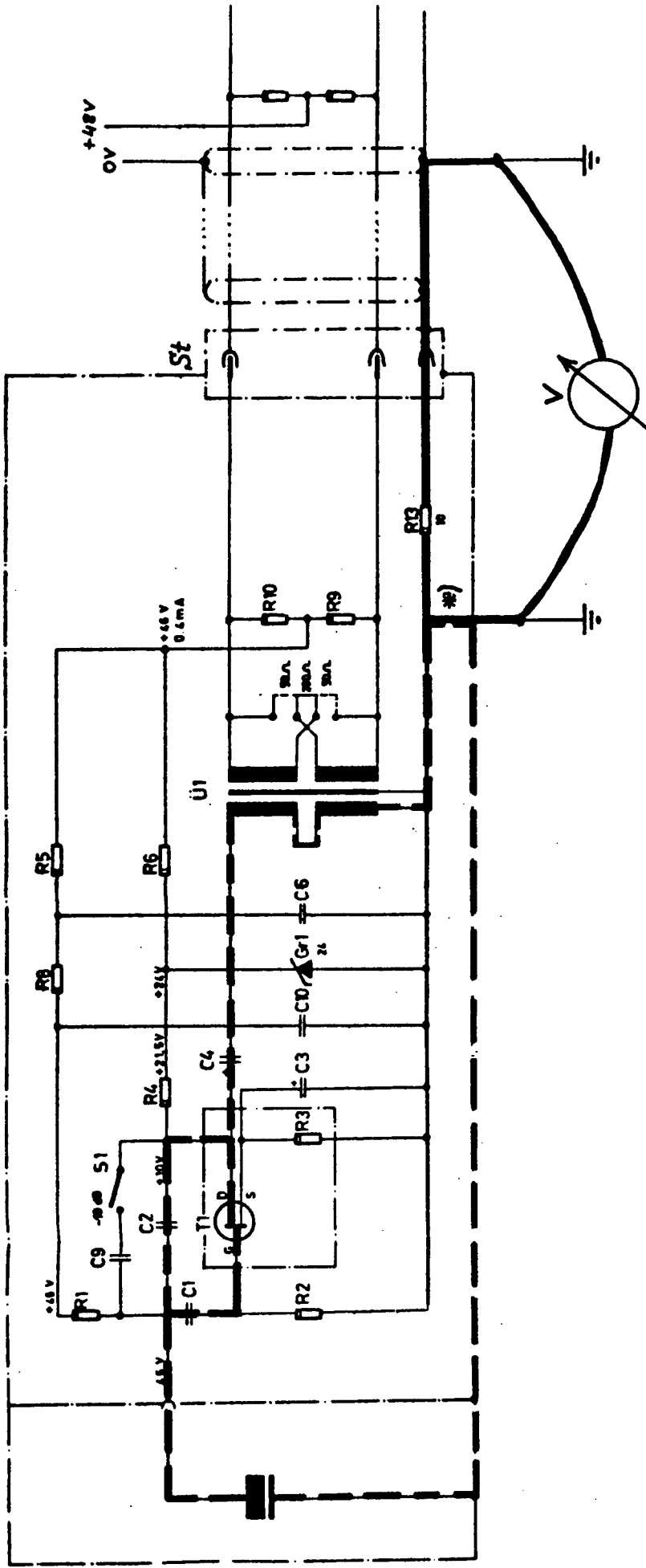


Abb. 2

Weg eines Kapsel- (Nutz-) Stroms und eines Schirm- (Stör-) Ausgleichsstroms
in einem Kondensatormikrofon

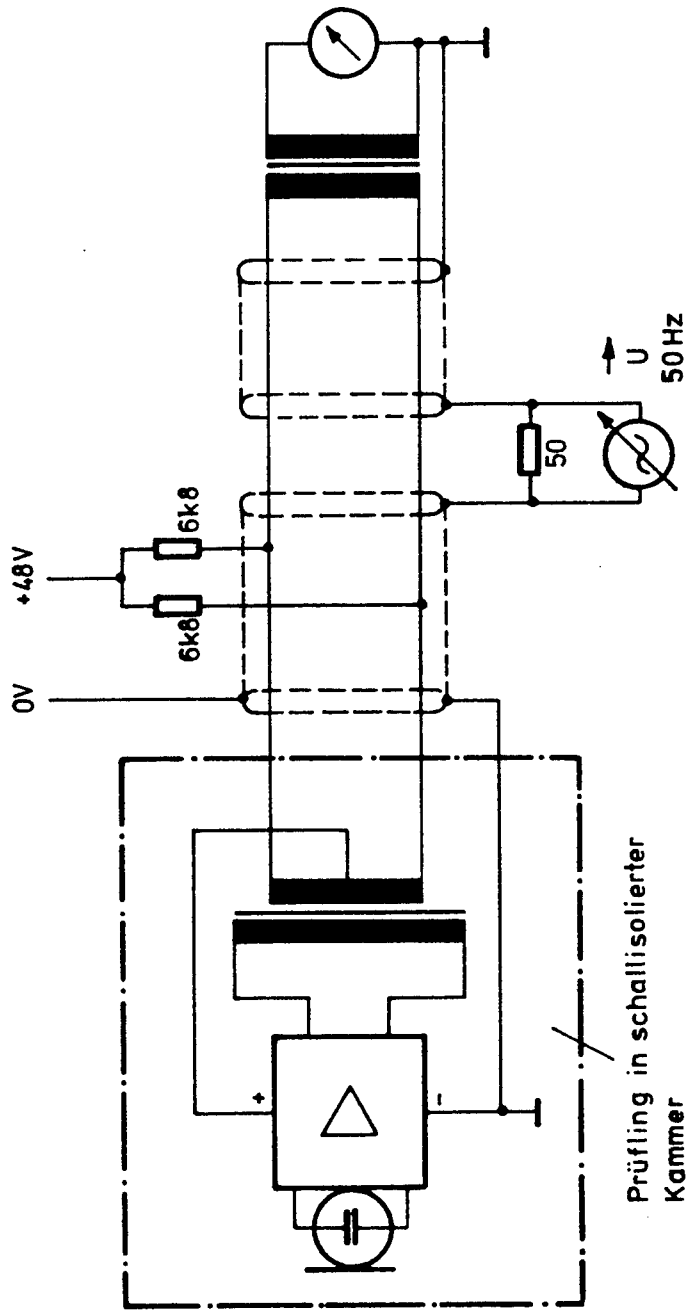
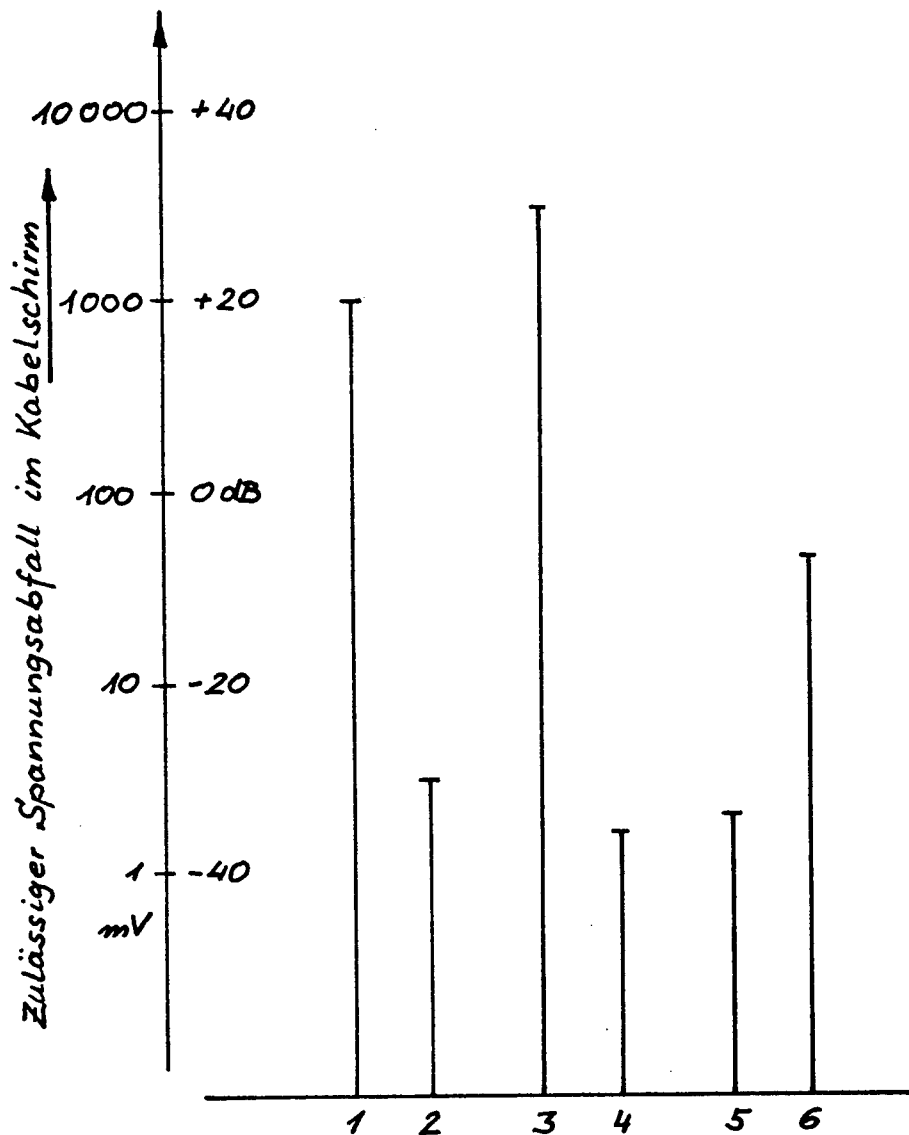


Abb. 3

Messung der Mikrofonempfindlichkeit für Kabel-(Ausgleichs-)ströme



Messung nach Abb.3:

- 1 Phantomgespeistes Mikrofon, Einspeisewiderstände gleich groß
- 2 Phantomgespeistes Mikrofon, Einspeisewiderstände um 1% verschieden

Zum Vergleich:

- 3 Dynamisches Mikrofon
- 4 Tonadergespeistes Mikrofon

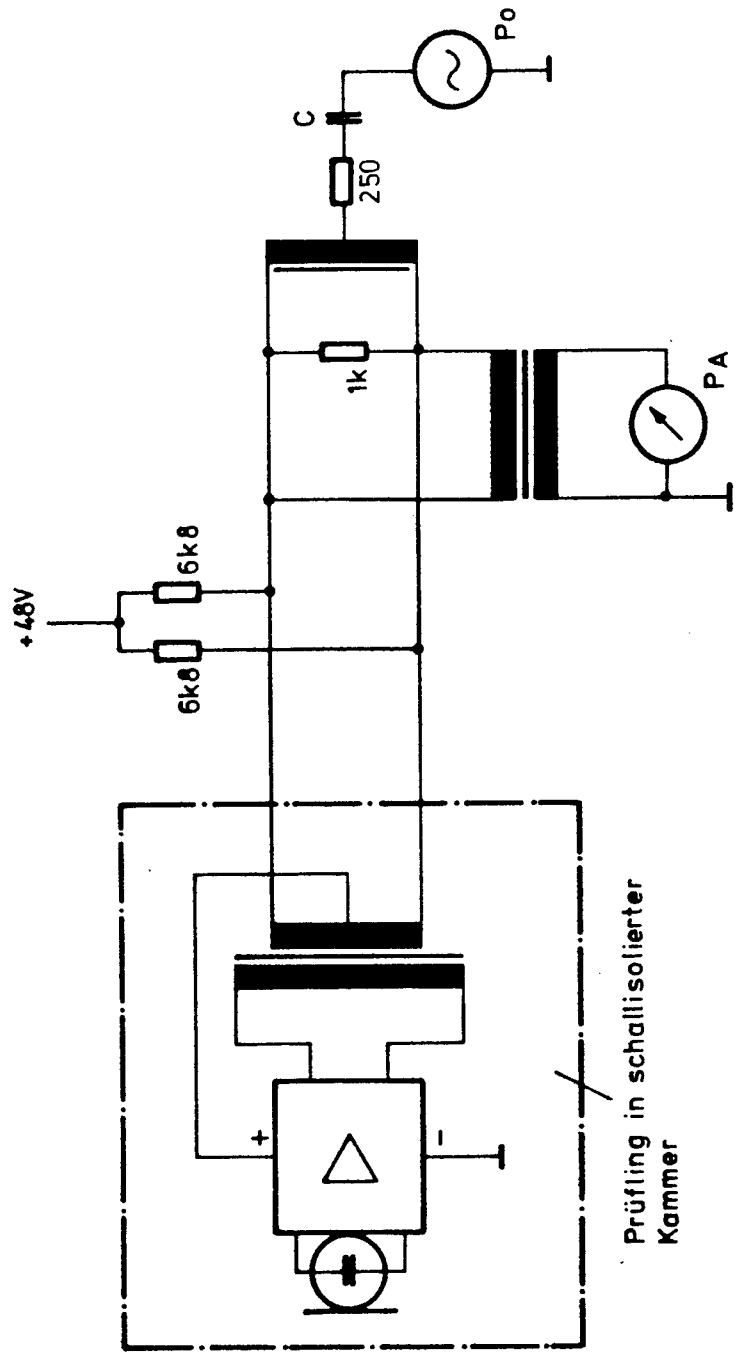
Zur Wirkung des Schutzwiderstandes:

(R13, 10 Ohm, siehe Text)

- 5 Mikrofon aus Abb.2, ohne R13
- 6 Mikrofon aus Abb.2, mit R13, Verbesserung ca. 30 dB

Abb. 4

Zulässiger Spannungsabfall im Kabelschirm, der die Eigenstörspannung des Prüflings um 3 dB verschlechtert.



Unsymmetriedämpfung $a_u = P_o - P_A$ [dB]; C = Gleichspannungsabblockung

Abb. 5

Messung der Unsymmetriedämpfung eines
Kondensatormikrophons

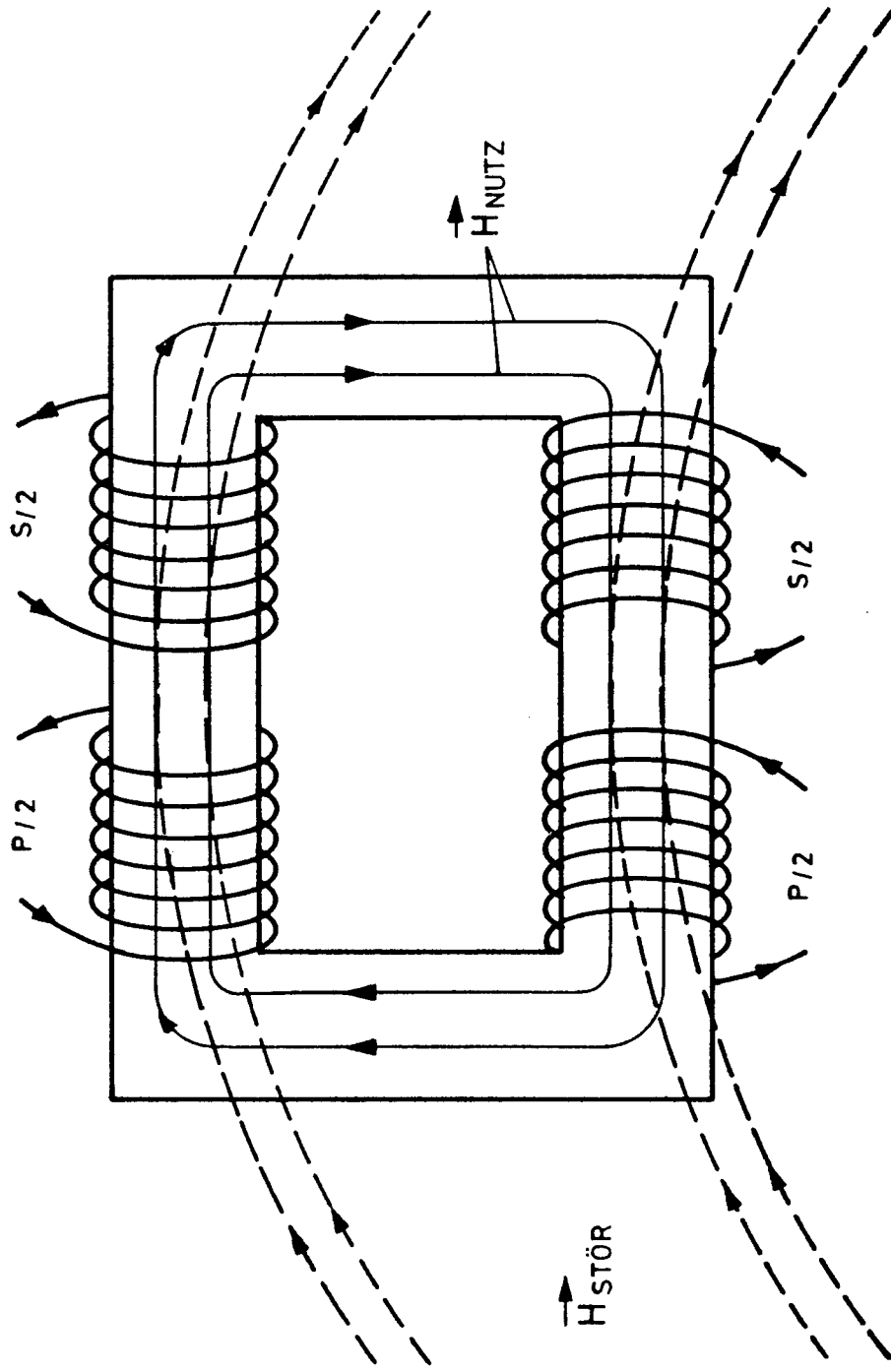


Abb. 6

Aufteilung der Wicklungen eines Mikrofonübertragers

P = Primär - , S = Sekundärwicklung

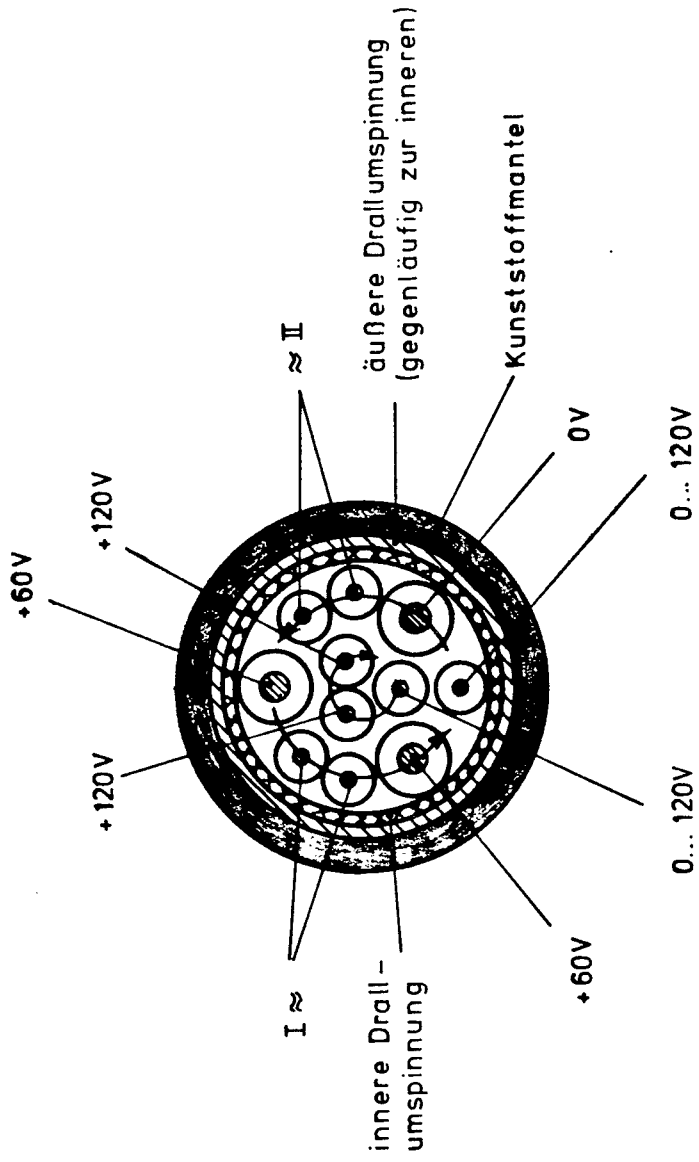


Abb.7

11-adriges Kabel für ein Stereomikrophon

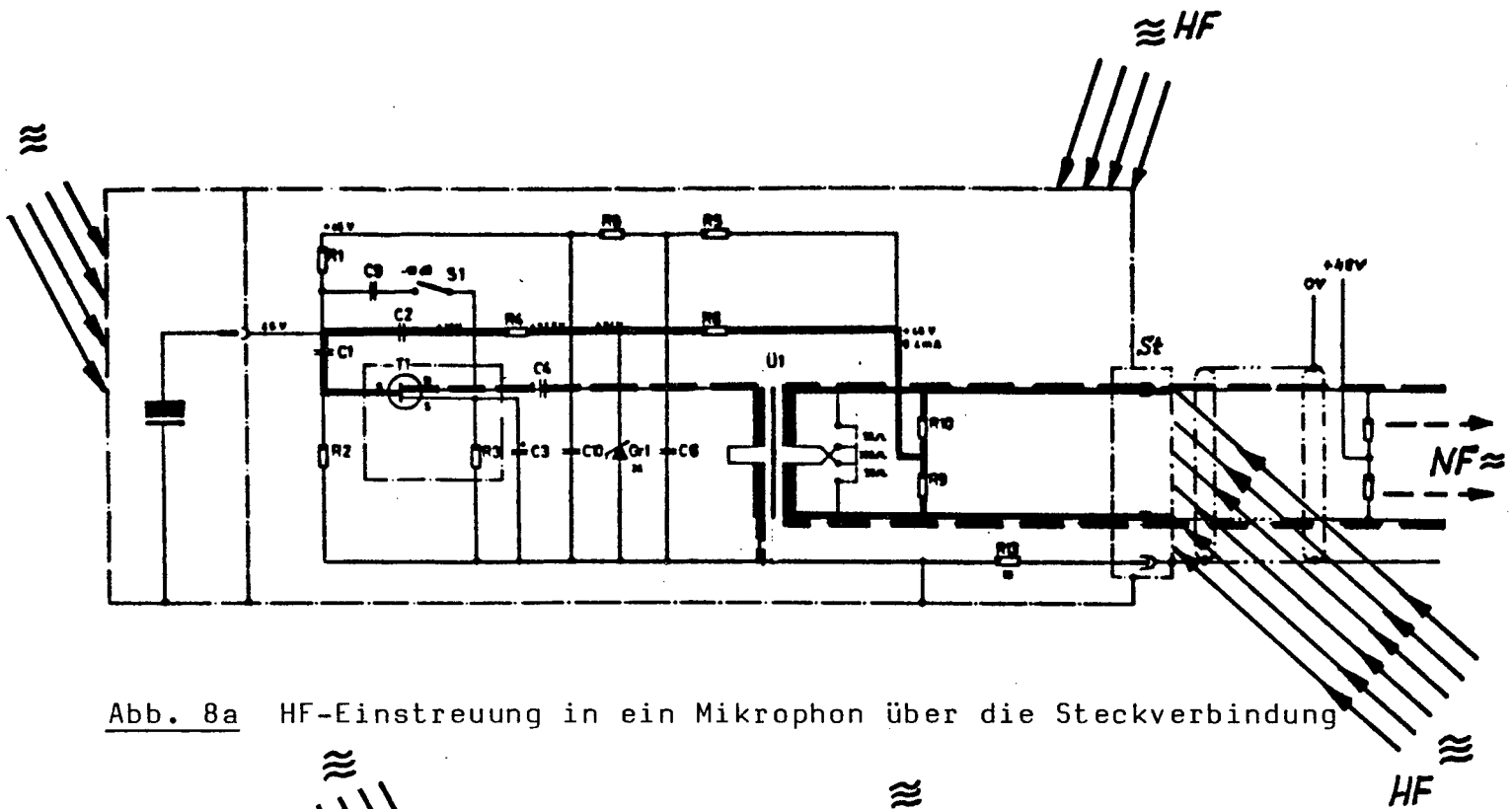


Abb. 8a HF-Einstreuung in ein Mikrophon über die Steckverbindung

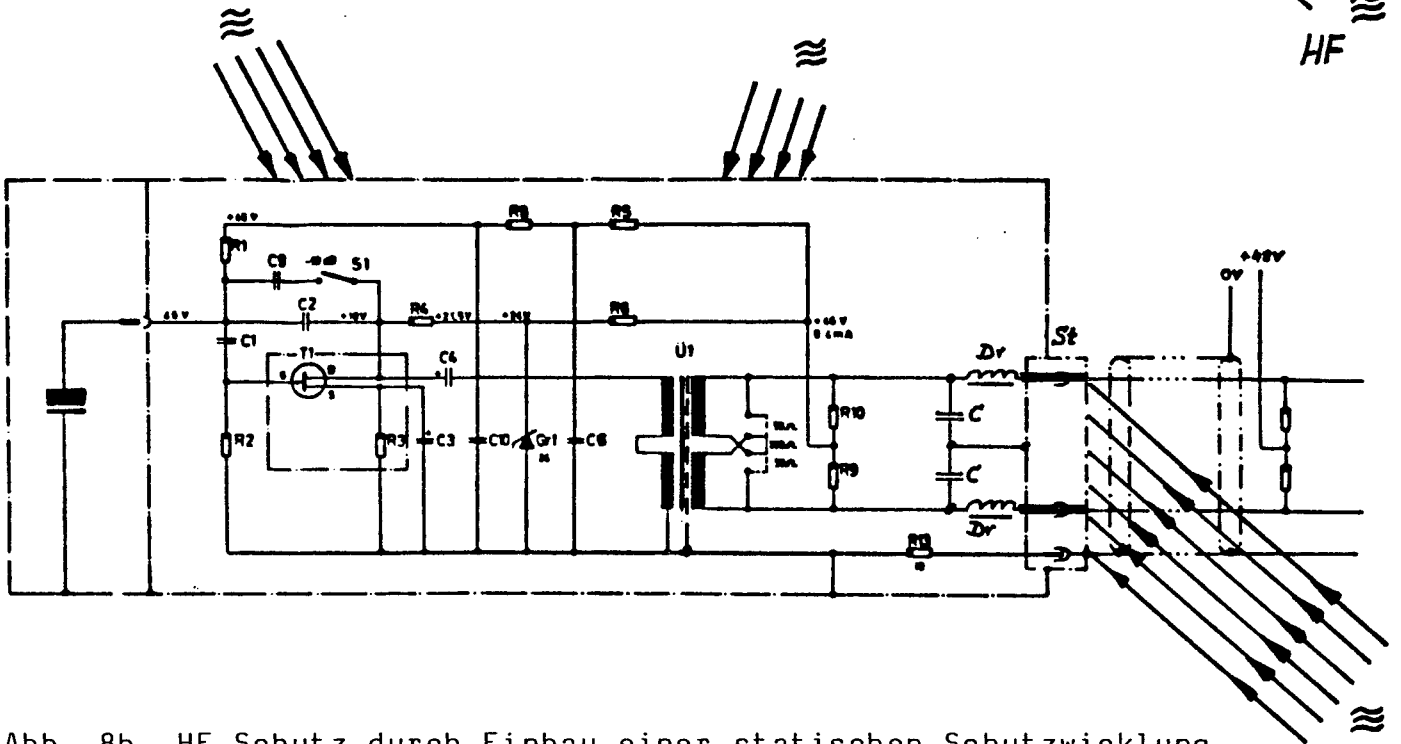


Abb. 8b HF-Schutz durch Einbau einer statischen Schutzwicklung in U1 und eines HF-Filter (Dr, C) im Steckverbinder

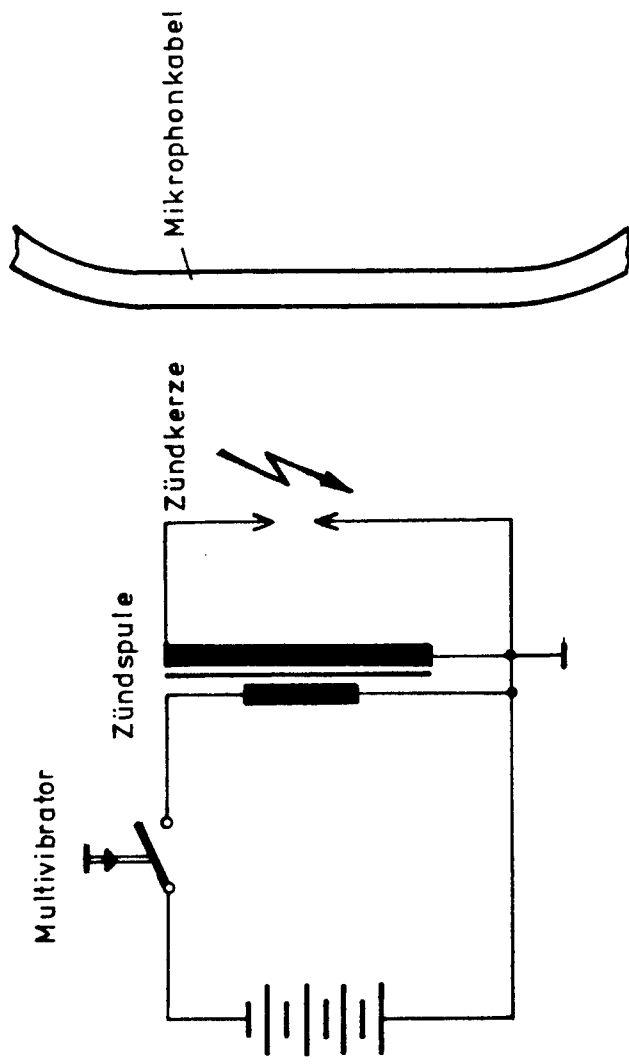
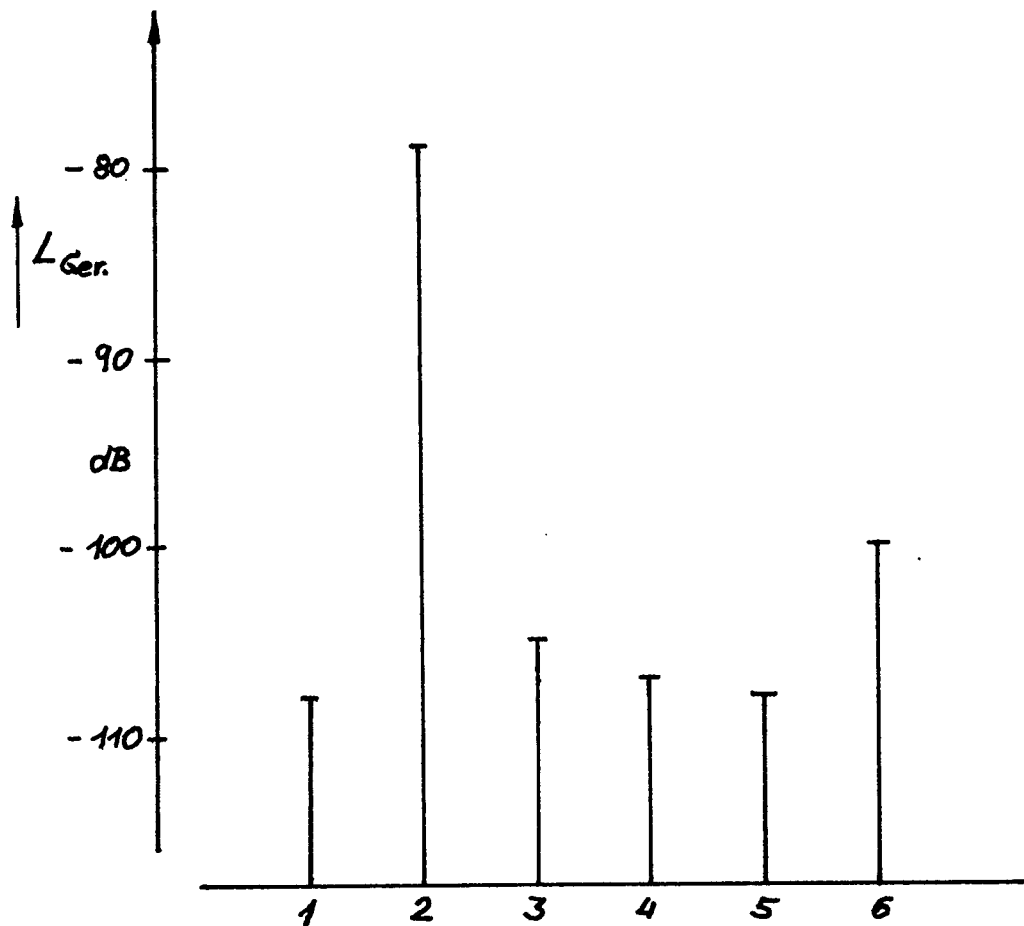


Abb. 9

Skizze eines Zündfunkengenerators mit Prüfling



Geräuschpegel eines Mikrophons (vgl. Abb.8):

- 1 ohne HF-Störung
- 2 mit HF-Störung, ohne elektrische Schutzmaßnahmen
- 3 mit HF-Störung, mit 2 HF-Drosseln
- 4 mit HF-Störung, mit 2 HF-Drosseln und mit 2 Blockkondensatoren
- 5 mit HF-Störung, wie 4 und mit statischer Schutzwicklung
- 6 wie 5, aber mit schlecht geschirmter Kabelverbindung

$$L_{\text{Ger}} = 20 \lg \frac{\hat{U}}{0,775 \text{ V}} \text{ dB (CCIR 468-1)}$$

Abb. 10

Störpegel eines Mikrophons durch den Zündfunkgenerator aus Abb. 9

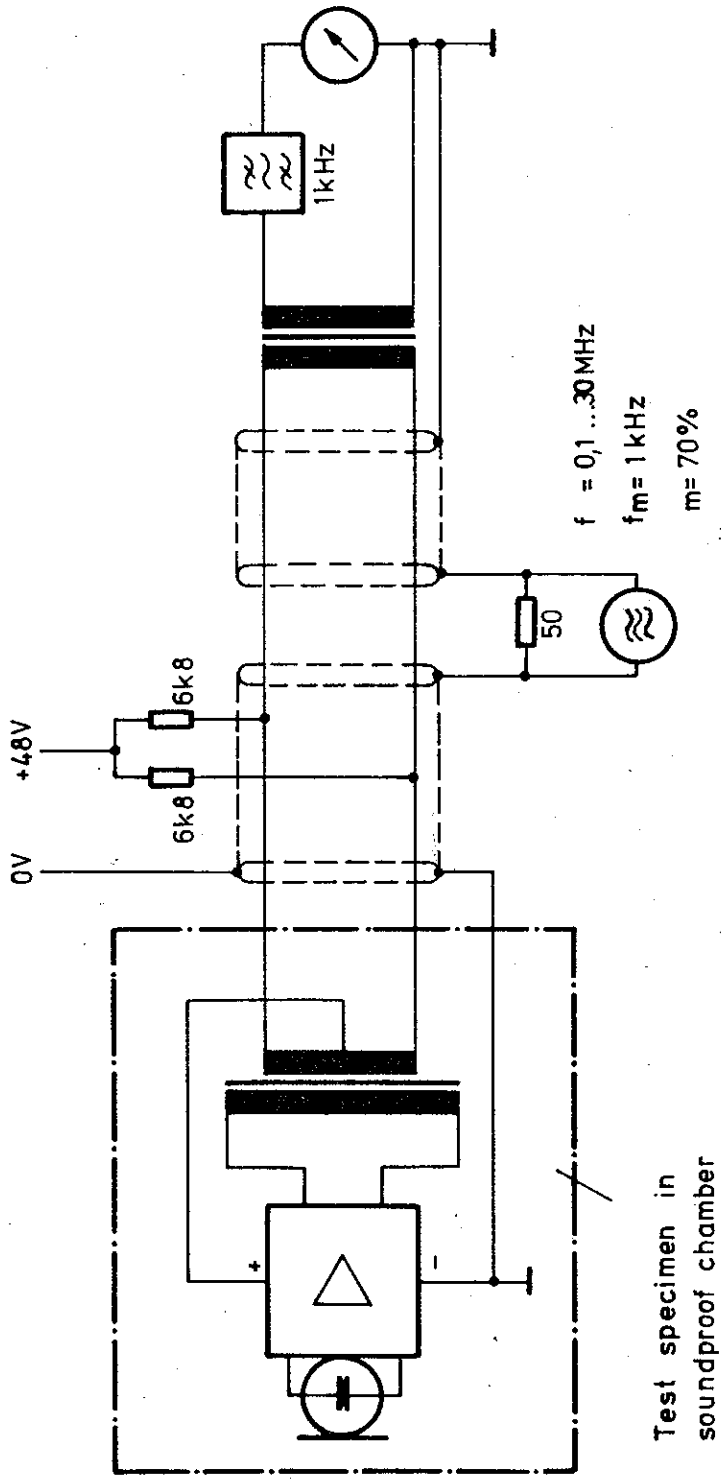


Fig. 11

High-frequency pick-up by the cable shield of a microphone