

Die Verhinderung der Schwingneigung bei Hörgeräten

Avoiding feedback in hearing aids

Berend de Boer

Einige Definitionen und Begriffe

Schwingneigung und Instabilität werden immer herbeigeführt von Kopplungen. Deshalb ist es vielleicht empfehlenswert, zuerst noch einige Grundbegriffe in bezug auf Kopplung und besonders Rückkopplung zu behandeln, ehe auf die Schwingneigungserscheinungen eingegangen wird.

Im weitesten Sinne des Wortes versteht man bei einem Verstärker unter Rückkopplung das Zurückführen irgendeines Signals von irgendeinem Punkt in einem Kreis zu einem vorhergehenden Punkt im selben Kreis. Rückkopplung wird manchmal auch definiert als das ganze oder teilweise Zurückführen des Ausgangssignals zum Eingang. Diese Definition ist wohl richtig, wenn man den Begriffen Eingang und Ausgang eine weite Bedeutung

Zusammenfassung · Schwingneigungen und Instabilität sind Probleme, die den Hörgeräte-Konstrukteuren, besonders wenn es sich um Hinter-dem-Ohr- und leistungsstarken Typen handelt, arg zu schaffen machen. Nach einer Erläuterung einiger Begriffe und Definitionen werden verschiedene Ursachen der Schwingneigungen und der Instabilität bei Hörgeräten beschrieben. Zugleich werden Hinweise zur Messung und Verhinderung der Schwingneigungen gegeben.

Summary · Tendencies to instability together with instability itself, are problems with which the designers of hearing-aids are regularly confronted, especially with the behind-the-ear types and the Super-Power types. After an explanation of some terms and definitions, various causes of tendencies to instability and instability with hearing-aids are described. At the same time suggestions are given for measuring and eliminating the tendency to instability.

Résumé · La tendance à l'instabilité, de même que l'instabilité elle-même sont des problèmes qui ne cessent de s'imposer aux projecteurs de prothèses auditives.

Ces problèmes se rencontrent surtout avec les contours d'oreilles, qui sont portés derrière le pavillon et avec les types «Super-Power». Après avoir indiqué la compréhension de certains termes et avoir donné leurs définitions, l'auteur donne une description de différentes causes de la tendance à l'instabilité et de l'instabilité proprement dite. En outre il donne quelques directives pour mesurer et faire disparaître la tendance à l'instabilité.

A few definitions and concepts

Instability and tendency to instability are always caused by couplings. Before entering further into the phenomena of instability in greater detail it is therefore useful to deal with a few concepts relating to coupling and, in particular, back-coupling or «feedback-first».

In the widest sense of the word we understand by feedback in the case of an amplifier the returning of some signal from an arbitrary point in the circuit to a preceding point in the same circuit.

In many cases feedback is also defined as the returning of the entire output signal, or of part of it, the input side. This definition may be regarded as correct, provided that a wider meaning is attached to the concepts of

beimißt und darunter einen vorhergehenden und einen nachfolgenden Punkt aus dem Kreise versteht.

Rückkopplung an und für sich ist ein weiter Begriff. In vielen Fällen ist eine genauere Umschreibung erwünscht, besonders wenn es sich um die Ursachen und die Folgen der Rückkopplung handelt.

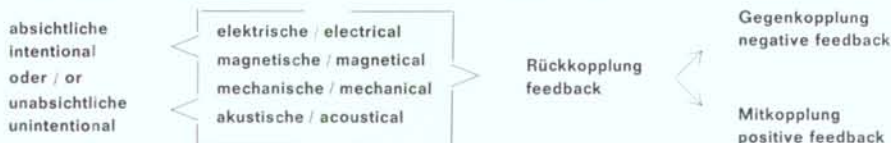
Je nach dem Einfluß der Rückkopplung auf die Verstärkung spricht man von Mitkopplung oder Gegenkopplung. Wird infolge der Rückkopplung die Verstärkung größer als ursprünglich ohne Rückkopplung, so spricht man von Mitkopplung. Bei Gegenkopplung wird die Verstärkung kleiner als ursprünglich.

Abhängig von der Art des zurückgeführten Signals kann man wieder eine Unterteilung in elektrische, magnetische, mechanische oder akustische Rückkopplung vornehmen. Eine weitere Unterteilung ist auch noch möglich. So kann man elektrische Rückkopplung wieder aufgliedern in Spannungsrückkopplung und Stromrückkopplung. Auch kennt man die Begriffe kapazitive und induktive Rückkopplung.

Manchmal wird in einem Kreis zielbewußt eine Gegenkopplung angebracht. Man kann dann von absichtlicher Gegenkopplung im Gegensatz zu der unabsichtlichen Gegenkopplung sprechen, die nicht zielbewußt angebracht worden ist und von selbst auftritt. Das Beispiel einer absichtlichen Mitkopplung ist der Oszillator.

Absichtliche Gegenkopplung wird oft angewandt zur Verbesserung der Stabilität, Verringerung der Verzerrung und zum Begradiigen der Frequenzkurve.

Für Rückkopplung kann man also folgende grobe Aufgliederung machen:



Bei Hörgeräten werden Schwingneigungen und Instabilität verursacht durch unabsichtliche Mitkopplungen. Diese Art Kopplungen sollen nun genauer betrachtet werden.

Schwingneigungen infolge elektrischer Rückkopplung

Ein typisches Beispiel unabsichtlicher elektrischer Rückkopplung bei Hörgeräten ist Kopplung über den Wechselstrom-Innenwiderstand der Batterie. Oft verursacht dieser Widerstand denn auch Instabilität. Bekannt ist das Kipp-schwingen (das sog. »motor boating«), wobei

»input« und »output« sides. For this purpose the input side and output side should be regarded as a preceding and a following point in a circuit.

Feedback in itself is also a rather vague term. In many cases it is desirable to give a more accurate description, in particular to indicate the causes and the consequences of feedback. One speaks of positive and negative feedback dependent on the effect of the back-coupling. If in the case of back-coupling the amplification exceeds the amplification that would be obtained in the absence of this back-coupling, one speaks of positive feedback. In the case of negative feedback, on the contrary, the amplification falls below the value originally obtained without back-coupling.

Dependent on the nature of the signal returned a further division could be made, for instance into electric, magnetic, acoustic, or mechanical feedback. It is even possible to make a further sub-division and, for instance, electric feedback can be split up into voltage feedback and current feedback. Yet another distinction is that between capacitive and inductive feedback.

Back-coupling is often applied in a circuit to achieve a certain aim. One might then speak of intentional feedback, in contradistinction with unintentional or accidental feedback which is not applied deliberately and occurs spontaneously.

An example of intentional positive feedback is the oscillator. Intentional negative feedback is often used to improve the stability, to reduce the distortion and to obtain a flatter frequency-response curve.

It is therefore possible to make the following rough-sub-division for back-coupling:

With hearing aids instability and tendency to instability is caused by unintentional positive feedbacks. This type of coupling will now be dealt with in greater detail.

Tendency to instability on account of electric feedback

A typical example of unintentional electric back-coupling in hearing aids is the coupling via the internal a. c. resistance of the battery. In many cases this resistance is the cause of instability. A well-known phenomenon is the so-termed motor-boating, an intermittent,

ein intermittierender, tuckernder Schall entsteht, der dem eines Motorbootes gleicht.

Bei den meisten frischen Hörgeräte-Batterien beträgt der Wechselstrom-Innenwiderstand einige Ohm (z. B. 0.543 Ohm). Bei niedrigeren Frequenzen ist dieser Widerstand im allgemeinen größer als bei höheren Frequenzen. Während der Entladung nimmt der Widerstand zu. Am Ende der Entladung kann der Widerstand ansteigen von 5 bis 25 Ohm. Es zeigen sich wohl auch Spitzenwerte von 50 bis 100 Ohm. Bei kleinen Abmessungen der Batterie ist der Batteriewiderstand meistens höher.

Der Widerstand hängt von der Konstruktion und der chemischen Zusammensetzung der Batterie ab. So sind z. B. Batterien mit einer Sonderkonstruktion und einer speziellen Zusammensetzung zur großen Lagerbeständigkeit auf den Markt gebracht worden. Infolgedessen ist aber der Widerstand im Anfang der Entladung sehr hoch. Er kann z. B. wohl 50 Ohm betragen, um danach bei weiterer Entladung in verhältnismäßig kurzer Zeit bis unter 10 Ohm zu fallen. So lassen sich auch Widerstandsunterschiede zwischen Kohle-Zinkbatterien, Quecksilberzellen, Silber-Oxydzellen und Nickel-Kadmium-Akkumulatoren erkennen. Sehr groß sind diese Unterschiede bei Batterien für Hörgeräte aber nicht.

Schallschwingungen erregen im Mikrofon des Hörgeräts eine Wechselspannung. Diese verursacht im ersten Transistor einen kleinen Wechselstrom, der einen wieder größeren Wechselstrom im zweiten Transistor zur Folge hat, usw. Der endgültige Wechselstrom im Endtransistor, der infolge des kleinen Wechselstroms im ersten Transistor entsteht, wird deswegen viele Male größer sein als der kleine Wechselstrom im ersten Transistor. Der Wechselstrom im Endtransistor geht mittelbar oder unmittelbar über einen Übertrager, durch den Hörer, wodurch von ihm Schall abgegeben wird. Der Wechselstrom im Endtransistor geht aber auch durch die Batterie. Wenn die Batterie nun einen Wechselstrom-Innenwiderstand hat, entsteht darüber eine Wechselspannung.

Diese Wechselspannung wird ebenso wie die Gleichspannung der Batterie über die Plus- und Minusleitung den verschiedenen Transistoren zugeführt. Gerät diese Wechselspannung oder ein Teil davon z. B. auf den ersten Transistor, so kann dies, gleichwie die Wechselspannung des Mikrophons, einen Wechselstrom im ersten Transistor verursachen. Hier zeigt sich also Rückkopplung. Der Strom, der durch die Rückkopplung im ersten Transistor entsteht, wird durch die folgenden Transi-

puffing noise, strongly reminiscent of the noise produced by a motor-boat.

With the majority of fresh batteries for hearing aids the internal a. c. resistance is a few Ohms (for instance 0.5–3 Ohms). At lower frequencies the value of this resistance is generally larger than at higher frequencies. During the discharge the resistance increases. At the end of the discharge the resistance may increase to 5–25 Ohms. Extreme values of 50–100 Ohms may even occur. As the dimensions of the battery are smaller, the battery resistance is mostly higher.

The resistance depends on the construction and chemical composition of the battery. Some batteries have been marketed, for instance, with a special construction and composition to ensure better shelf life. As a result of this, however, the resistance at the beginning of the discharge is very high, amounting to even 50 Ohms, but drops to a value below 10 Ohms in a relative short time during the further course of the discharge. Differences in resistance can also be found between carbon-zinc batteries, mercury cells, silver-oxide cells and nickel-cadmium batteries. Yet, these differences between the various batteries for hearing aids are not so very marked.

Sound vibrations generate an a. c. voltage in the microphone of the hearing aid. This a. c. voltage causes a weak alternating current in the first transistor, which current results in a stronger alternating current in the second transistor, etc. The eventual alternating current in the output transistor resulting from the weak alternating current in the first transistor of the series will therefore be a multiple of this original alternating current. The alternating current in the output transistor passes directly, or indirectly via a transformer, through the receiver, as a result of which sound is produced by this receiver. The alternating current in the output transistor also passes through the battery, however. If now the battery has an internal a. c. resistance, an a. c. voltage arises across it. This a. c. voltage, as well as the d. c. voltage of the battery, is supplied to the various transistors via the positive and negative leads.

If this a. c. voltage, or part of it, should reach the first transistor, this may produce some alternating current in the first transistor, like the a. c. voltage of the microphone would do. Consequently feedback takes place. The current arising in the first transistor on account of this back-coupling will be amplified in the following transistors and, consequent-

storen verstärkt und wird also auch wieder einen Wechselstrom im Endtransistor zur Folge haben. Je nach Größe und Phase kann der durch Rückkopplung entstandene Strom im Endtransistor den ursprünglich vorhandenen Strom vermindern oder verstärken. Im ersten Fall gibt es eine Gegenkopplung, im letzteren haben wir es mit einer Mitkopplung zu tun, und Mitkopplung kann die Einleitung zu Instabilität sein.

Instabilität infolge des Batteriewiderstandes kann man verhindern, indem man dafür sorgt, daß die Wechselspannung über die Batterie nicht oder nur zu einem sehr kleinen Teil auf den Eingang zurückgeführt wird. Eine Möglichkeit besteht darin, einen Kondensator mit großer Kapazität und deswegen niedrigem Wechselstromwiderstand mit der Batterie parallelzuschalten. Dies wird bei Transistorgeräten mit niedriger Batteriespannung nahezu nicht mehr angewandt, weil man zur Erzielung einer guten Wirkung Kondensatoren mit viel zu großen Abmessungen erhält. Ein häufig angewandtes Verfahren ist Entkopplung mit einem sog. R-C Glied, wie dies mit einer punktierten Linie im elektrischen Schaltplan eines 4-Transistorengeräts in Abbildung 1 angedeutet ist. Entsteht über die Batterie eine Spannung V , so wird diese auch über R_1 und C_1 stehen und sich darüber verteilen. Lassen wir die übrigen Elemente außer Betracht, dann ist die Spannung V_{C1} über den Kondensator C_1 bei einer Frequenz f :

$$V_{C1} = \frac{V}{\sqrt{4\pi^2 f^2 R_1^2 C_1^2 + 1}}$$

woraus sich leicht schließen läßt, daß V_{C1} je kleiner ist, je größer f , R_1 und C_1 sind. Durch

ly, result again in an alternating current in the output transistor. Dependent on the value and phase the current in the output transistor caused by back-coupling may attenuate or amplify the current originally present. In the first case we have to do with negative feedback, in the latter case with positive feedback. And positive feedback may now cause instability.

Instability resulting from the resistance in the battery can be avoided by taking care that the a. c. voltage across the battery is not coupled back to the input side, or that only a very small portion of it is coupled back. This can be done for instance by connecting a large capacitance and hence a low a. c. resistance, in parallel with the battery. With transistorized apparatus having a low battery voltage this method has been practically abandoned, because proper functioning requires capacitors with excessively large dimensions. A method often used is decoupling with the aid of a so-termed RC filter, as is indicated by a dotted line in the circuit diagram of a 4-transistor hearing aid according to Fig. 1. If a voltage V arises across the battery, it will also be applied across R_1 and C_1 and be distributed over these two. If we leave the other elements out of consideration for the time being, the voltage V_{C1} across the capacitor C_1 at a frequency f will be:

from which it can readily be derived that V_{C1} is smaller according as f , R_1 and C_1 are larger.

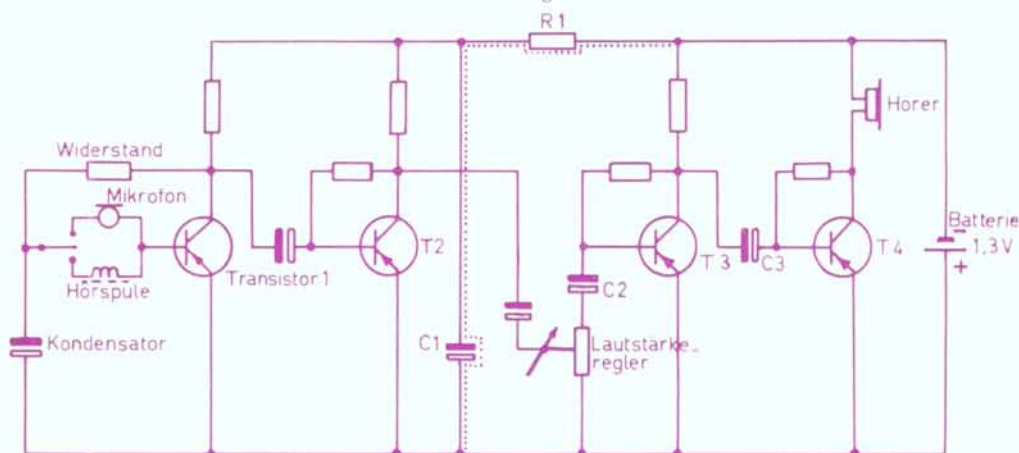


Abb. 1 Elektrische Schaltung eines 4-Transistoren Taschengeräts.

Fig. 1 Circuit diagram of a 4-transistor pocket hearing aid.

eine richtige Wahl von R_1 und C_1 kann man dafür sorgen, daß V_{C1} , und also auch die auf die ersten 2 Transistoren zurückgeführte Wechselspannung, nur ein kleiner Teil von V ist. Einige praktische Werte für C_1 und R_1 sind z. B. 4–40 μF und 200–1000 Ohm.

Beispiel: Für $f = 1000$ Hz, $R_1 = 500$ Ohm und $C_1 = 25$ μF wird

$$V_{C1} = \frac{V}{\sqrt{4 \cdot \pi^2 \cdot 1000^2 \cdot 25^2 \cdot 10^{-12} + 1}}$$

$$V_{C1} \approx \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot 500 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}$$

$$V_{C1} \approx \frac{V}{80}$$

In diesem Fall wird also nur der $\frac{1}{80}$ Teil der Wechselspannung über die Batterie auf den ersten und zweiten Transistor zurückgeführt.

Abbildung 2 zeigt die elektrischen Frequenzgänge des Verstärkers mit dem Batteriewiderstand als Parameter, dem Schaltplan der Abbildung 1 entsprechend. Diese elektrischen Frequenzgänge geben den Zusammenhang zwischen dem Wechselstrom an der Eingangsseite und dem an der Ausgangsseite als Funktion der Frequenz wieder. Über eine sog. Kunstmikrophonschaltung führt man einen konstanten Wechselstrom jedoch mit variierender Frequenz in den ersten Transistor. Den Wechselstrom in der Endstufe, der infolge des Eingangsstroms entsteht, kann man messen und graphisch darstellen. Mit einem auto-

By properly selecting the values of R_1 and C_1 it can be ensured that V_{C1} and, hence the a.c. voltage coupled back to the first two transistors, is only a small portion of V . A few practical values of C_1 and R_1 are 4–40 μF and 200–1.000 Ohms.

Example: At $f = 1.000$ c/s, $R_1 = 500$ Ohms and $C_1 = 25$ μF .

In this case only $\frac{1}{80}$ part of the a.c. voltage across the battery is coupled back to the first and second transistor.

Fig. 2 shows the frequency-response curves of the amplifier according to the diagram shown in Fig. 1 with the battery resistance as parameter. These frequency response curves indicate the relationship between the alternating current on the input side and that on the output side as a function of the frequency. By way of a so-termed artificial microphone circuit a constant alternating current which, however, has a varying frequency, is applied to the first transistor. The alternating current in the output stage arising as a result of the input current can be measured and plotted in a graph.

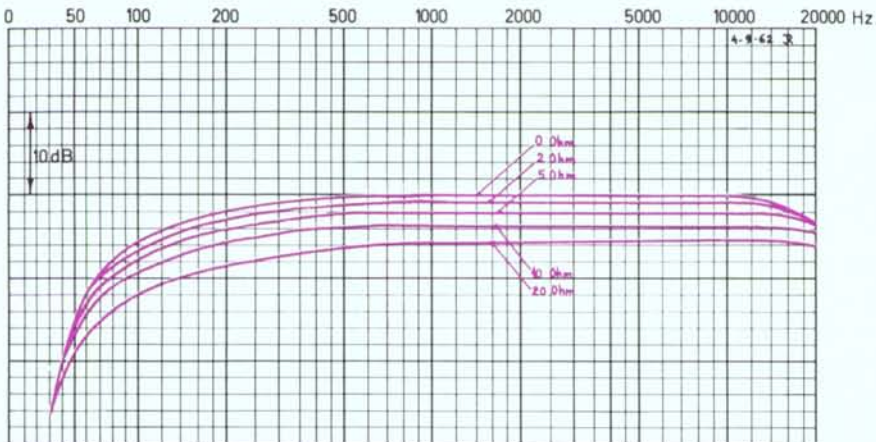


Abb. 2 Elektrische Frequenzkurven eines 4-Transistoren Taschengeräts mit R_{Batterie} als Parameter. Schaltung nach Abb. 1 Kondensatoren C_2 und C_3 0,8 μF .

Fig. 2 Frequency-response curve of a 4-transistor pocket hearing aid with R_{B} (battery) as parameter. Circuit according to fig. 1. Capacitors C_2 and C_3 0,8 μF .

matischen Schreiber können diese Messungen ziemlich schnell ausgeführt werden. Sämtliche Kurven der Abbildung 2 sind aufgenommen worden mit gleichem Eingangsstrom, der so gewählt wurde, daß bei 1000 Hz und $R_B = 0$ Ohm der Ausgangsstrom etwa 8–10 dB unter dem Sättigungspunkt liegt und die Eingang-Ausgangskurve noch einen linearen Verlauf hat. Aus den Kurven geht hervor, daß bei zunehmendem Batteriewiderstand die Verstärkung über das ganze Frequenzgebiet abnimmt. Bei $R_B = 2, 5, 10$ und 20 Ohm ist dies bzw. etwa 1, 2, 4 und 6 dB. Weiter zeigt sich deutlich, daß bei sämtlichen Kurven die Verstärkung bei niedrigen Frequenzen abnimmt. Bei hohen Frequenzen zwischen 10.000 und 20.000 Hz ist dies, zwar weniger deutlich, auch der Fall.

In Abbildung 3 sind gleichartige Kurven wie in Abbildung 2 dargestellt. Diese beziehen sich auf denselben Verstärker, nun jedoch ohne das Entkopplungsglied R_1-C_1 für den Batteriewiderstand. Der Einfluß von R_B auf die Verstärkung ist nun viel größer als in Abbildung 2. So gibt $R_B = 2$ Ohm bei 1000 Hz schon einen Verstärkungsverlust von 12 dB. Ein anderer Unterschied von den Kurven aus Abbildung 2 ist, daß bei etwa 50 Hz die Verstärkung bei zunehmendem Batteriewiderstand zu- statt abnimmt und schließlich zu einer Spitze in der Frequenzkurve führt. Je nachdem R_B zunimmt, wird diese Spitze auch größer, bis bei $R_B = 2.6$ Ohm der Verstärker zu schwingen anfängt und vollkommen instabil ist. Obschon der Verstärker bei 2 Ohm

These measurements can be performed fairly rapidly with the aid of an automatic recorder. All graphs of Fig. 2 have been recorded with the same input current which was selected so that at 1.000 c/s and $R_B = 0$ Ohm the output current is about 8–10 dB below the saturation point, while the input-output curve is still linear. The graphs show, that at an increasing resistance in the battery the amplification decreases over the entire frequency range.

At $R_B = 2, 5, 10$ and 20 Ohms this decrease is about 1, 2, 4 and 6 dB respectively. Furthermore it clearly shows that with all curves the amplification decreases at low frequencies. At higher frequencies between 10.000 and 20.000 c/s this is also the case, but not so clearly.

Fig. 3 shows curves similar to those shown in Fig. 2. They relate to the same amplifier, but now without the decoupling filter R_1-C_1 for the battery resistance. The effect of R_B on the amplification is now much greater than in Fig. 2. For instance, $R_B = 2$ Ohms at 1.000 c/s already results in a loss of amplification of 12 dB. Another point of difference between Figs. 2 and 3 is that at about 50 c/s the amplification increases instead of decreases if the battery resistance increases, while it eventually gives rise to a peak in the frequency-response curve. As R_B increases, this peak also increases till at $R_B = 2.6$ Ohms the amplifier starts generating and becomes completely unstable. Though at 2 Ohms the amplifier is still stable, the peak

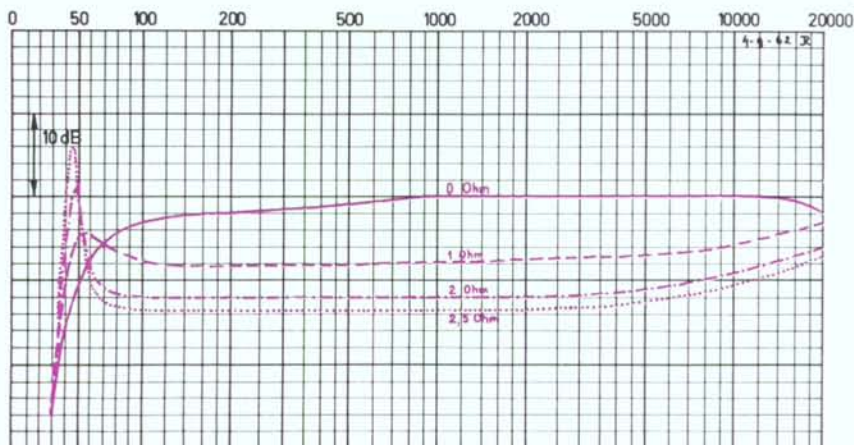


Abb. 3 Elektrische Frequenzkurven eines 4-Transistoren Taschenegeräts ohne Entkopplungsglied für Batteriewiderstand. R_B Batterie als Parameter. Schaltung nach Abb. 1 ohne Entkopplungsglied R_1-C_1 . Bem.: Bei 2,6 Ohm Batteriewiderstand wird das Gerät instabil.

Fig. 3 Frequency-response curves of a 4-transistor pocket hearing aid without the decoupling element for battery resistance.

R_B as parameter.

Circuit according to fig. 1, without the decoupling member R_1-C_1 .

Note: At a battery resistance of 2.6 Ohms the hearing aid becomes unstable.

noch stabil ist, weist die Spitze in der Frequenzkurve schon auf eine Schwingneigung. Instabilität bei niedrigen Frequenzen ist manchmal vorzubeugen, indem man niedrigere Kapazitätswerte für die Kopplungskondensatoren zwischen den verschiedenen Stufen wählt. Denn wenn die Kapazität kleiner wird, wird die Impedanz zunehmen und deswegen nimmt die Verstärkung wieder ab. Dies wird am deutlichsten bei den niedrigen Frequenzen zu erkennen sein, wie auch aus Abbildung 4 hervorgeht. Die Kurven in Abbildung 4 sind aufgenommen worden für einen Verstärker nach dem Schaltplan der Abbildung 1, jedoch ohne R_1-C_1 -Glied und mit einer Herabsetzung der Kopplungskondensatoren C_2 und C_3 von $0.8 \mu\text{F}$ auf $0.32 \mu\text{F}$. Der Unterschied von dem Verstärker, für den die Kurven der Abbildung 3 gelten, ist, daß man die Kopplungskondensatoren C_2 und C_3 herabgemindert hat. Wenn man nun die Kurven der Abbildungen 3 und 4 miteinander vergleicht, so sieht man, daß durch die Herabminderung der Kapazität der Kopplungskondensatoren Instabilität erst bei 12 Ohm statt bei 2.6 Ohm auftritt. Die Frequenz, bei der Schwingen auftritt, verschiebt sich von etwa 45 Hz auf etwa 75 Hz. Es ist auch ersichtlich, daß durch Herabminderung der Kopplungskondensatoren und bei $R_B=0$ Ohm die Frequenzkurve bei den niedrigeren Frequenzen viel stärker fällt, d. h. die Verstärkung nimmt mehr ab. In Abbildung 5 wird der elektrische Schaltplan eines 3-Transistor-

in the frequency-response curve already indicates a tendency to instability. Instability at low frequencies can sometimes be prevented by selecting lower capacitance values of the coupling capacitors between the various stages. As the capacitance decreases, the impedance will increase and consequently the amplification decreases again. This phenomenon will be most clearly demonstrated at low frequencies, as can also be seen in Fig. 4. The curves in Fig. 4 have been seen in Fig. 1, but without the filter R_1-C_1 and with a capacitance of the coupling capacitors C_2 and C_3 reduced from $0.8 \mu\text{F}$ to $0.32 \mu\text{F}$. The difference with the amplifier to which the curves of Fig. 3 apply is that the coupling capacitors C_2 and C_3 have been reduced. If now the curves of Figs. 3 and 4 are compared, it is evident that on account of the reduction of the capacitance of the coupling capacitors instability occurs at 12 Ohms instead of at 2.6 Ohms. The frequency at which the amplifier starts generating increases from about 45 c/s to about 75 c/s. It can also be seen that by reducing the capacitance of the coupling capacitors and by adjusting R_B to 0 Ohm the frequency-response curve slopes downwards much more steeply at lower frequencies, i. e. the amplification decreases more than before.

Fig. 5 shows the circuit diagram of a 3-transistor hearing aid. By properly selecting the

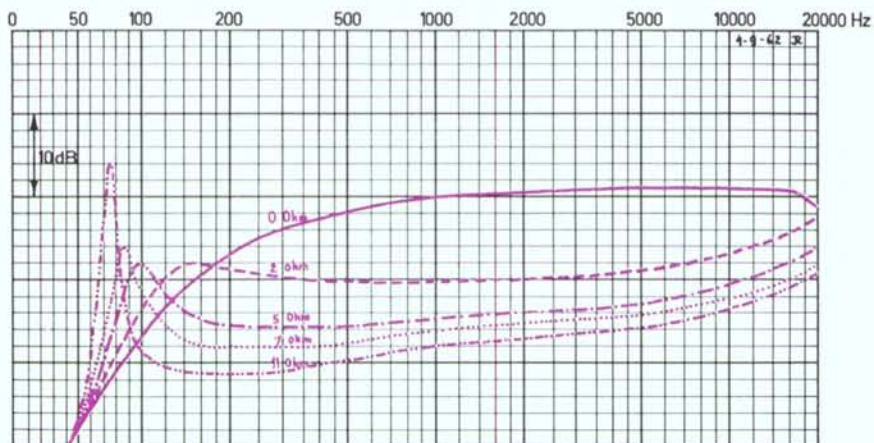


Abb. 4 Elektrische Frequenzkurven eines 4-Transistor-Taschengeräts ohne Batteriewiderstandsentkopplung und mit kleineren Kopplungskondensatoren. R_B Batterie als Parameter. Schaltung nach Abb. 1, ohne Entkopplungsglied R_1-C_1 und C_2 und C_3 $0.32 \mu\text{F}$ statt $0.8 \mu\text{F}$. Bem.: Bei 12 Ohm Batteriewiderstand instabil.

Fig. 4 Frequency-response curves of a 4-transistor pocket hearing aid without the decoupling element for the battery resistance and with smaller coupling capacitors. R_B as parameter. Circuit according to fig. 1, without the decoupling element R_1-C_1 and C_2 and C_3 $0.32 \mu\text{F}$ instead of $0.8 \mu\text{F}$. Note: The hearing aid becomes unstable at a battery resistance of 12 Ohms.

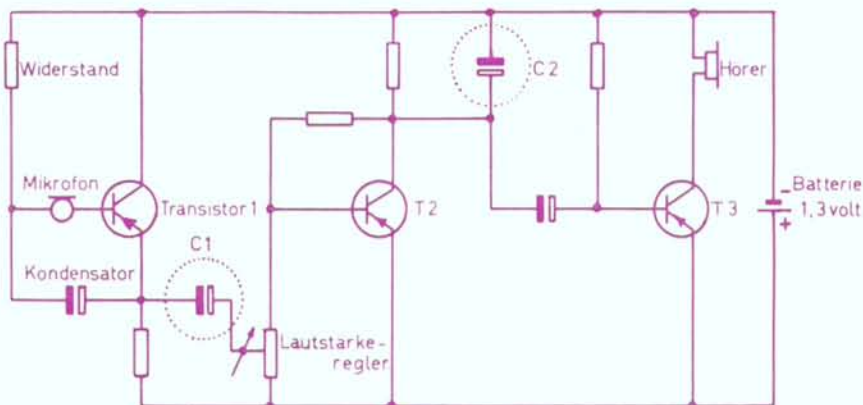


Abb. 5 Elektrische Schaltung eines 3-Transistoren H. D. O. Geräts.

Fig. 5 Circuit diagram of a 3-transistor behind-the-ear hearing aid.

hörergeräts gezeigt. Durch eine gute Wahl von C_1 und C_2 kann man wieder dafür sorgen, daß das Gerät bei zunehmendem Batteriewiderstand stabil bleibt.

Abbildung 6 stellt die elektrischen Frequenzkurven der in Abbildung 5 angegebenen Schaltung dar, mit R_B als Parameter. Bei $R_B = 100$ Ohm ist das Gerät noch völlig stabil. Bei einer Vergrößerung der Kapazität von C_1 z.B. von $0.1 \mu\text{F}$ auf $0.5 \mu\text{F}$, ändern die Frequenzkurven sich wie angegeben in Abbildung 7, und es tritt Instabilität auf bei $R_B = 70$ Ohm und einer Frequenz von etwa 50 Hz.

Wird aber C_2 verringert, z.B. bis $0 \mu\text{F}$, also ohne Kondensator, so tritt Instabilität auf bei höheren Frequenzen, wie aus den Frequenzkurven in Abbildung 8 hervorgeht. Bei etwa 28 Ohm wird das Gerät instabil und fängt bei einer Frequenz von 14000 Hz zu schwingen an.

Es ist interessant, noch etwas weiter auf die Wirkung von C_2 einzugehen. Beim ersten Anblick scheint die Absicht vorzuliegen, mit C_2 die höheren Frequenzen abzuschneiden. Dies geschieht ja auch, ist jedoch nebensächlich. In erster Linie wird mit C_2 eine absichtliche Gegenkopplung vorgesehen, womit Instabilität infolge des Batteriewiderstandes verhütet wird. Entsteht über die Batterie eine Wechselspannung, so wird sich diese über die Vorstufen, und zwar besonders bei höheren Frequenzen über die innere Transistorkapazität zwischen Kollektor und Basis, auf der Basis T_1 , als eine Mitkopplung mit Instabilitätsmöglichkeit ergeben. Indem C_2 angebracht wird, kann man über die Basis des T_3 eine Gegenkopplung verursachen, welche die Mitkopplung über die erste Stufe zum großen Teil aufhebt. Dies läßt sich ziemlich leicht

values of C_1 and C_2 it can be ensured again that the hearing aid remains stable at an increasing battery resistance.

Fig. 6 shows the frequency-response curves of the circuit of Fig. 5 with R_B as parameter. At $R_B = 100$ Ohms the apparatus is still perfectly stable. If the capacitance of C_1 is increased, for instance from $0.1 \mu\text{F}$ to $0.5 \mu\text{F}$, we obtain frequency-response curves as shown in Fig. 7 and instability will occur at $R_B = 70$ Ohms and at a frequency of about 50 c/s.

If, on the contrary, the value of C_2 is reduced, say to $0 \mu\text{F}$, instability will occur at higher frequencies, as can be seen from the frequency response curves in fig. 8. At about 28 Ohms the hearing aid becomes unstable and starts generating at a frequency of 14,000 c/s.

It is interesting to enter into the function of C_2 in greater detail. At first sight C_2 seems to be intended to cut off the higher frequencies. This occurs, indeed, but it is a secondary matter. C_2 is first and foremost used for deliberately applying a negative feedback, by means of which instability on account of the battery resistance is prevented. If an a.c. voltage occurs across the battery, it will give rise to positive feedback via the first stages, in particular at high frequencies to the base of T_1 via the internal capacitance of the transistor between collector and base, so that there is a risk of instability. By introducing C_2 it is possible to cause negative feedback via the base of T_3 , which feedback practically eliminates the positive feedback via the first stage. This can be fairly simply demonstrated by supplying T_2 from a separate

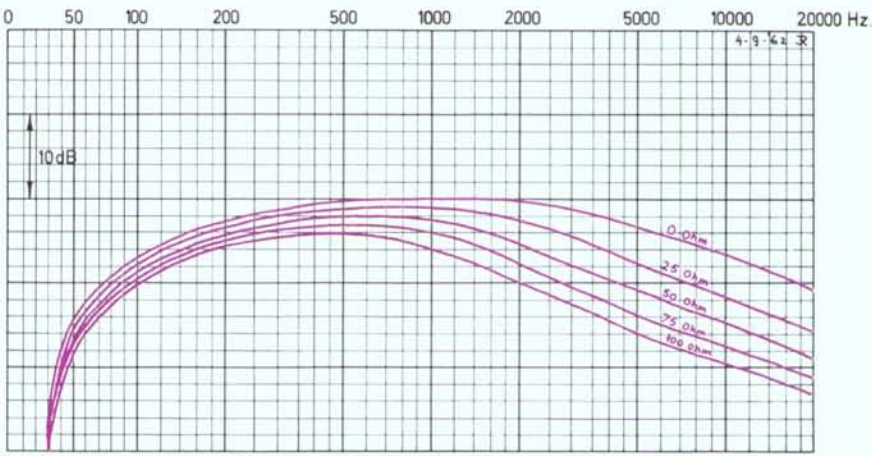


Abb. 6 Elektrische Frequenzkurven eines 3-Transistoren H. D. O. Geräts mit R_{Batterie} als Parameter. Schaltung nach Abb. 5. $C_1 = 0,1 \mu\text{F}$ und $C_2 = 0,04 \mu\text{F}$.

Fig. 6 Frequency-response curves of a 3-transistor behind-the-ear hearing aid with R_B as parameter. Circuit according to fig. 5. $C_1 = 0,1 \mu\text{F}$ and $C_2 = 0,04 \mu\text{F}$.

Abb. 7 Elektrische Frequenzkurven eines 3-Transistoren H. D. O. Geräts mit größerem Kopplungskondensator C_1 . R_{Batterie} als Parameter.

Schaltung nach Abb. 5, aber $C_1 = 0,5 \mu\text{F}$ statt $0,1 \mu\text{F}$. Bem.: Bei 70 Ohm Batteriewiderstand wird das Gerät instabil.

Fig. 7 Frequency-response curves of a 3-transistor behind-the-ear aid with larger coupling capacitor C_1 , R_B as parameter.

Circuit according to fig. 5, but $C_1 = 0,5 \mu\text{F}$ instead of $0,1 \mu\text{F}$. Note: The hearing aid becomes unstable at a battery resistance of 70 Ohms.

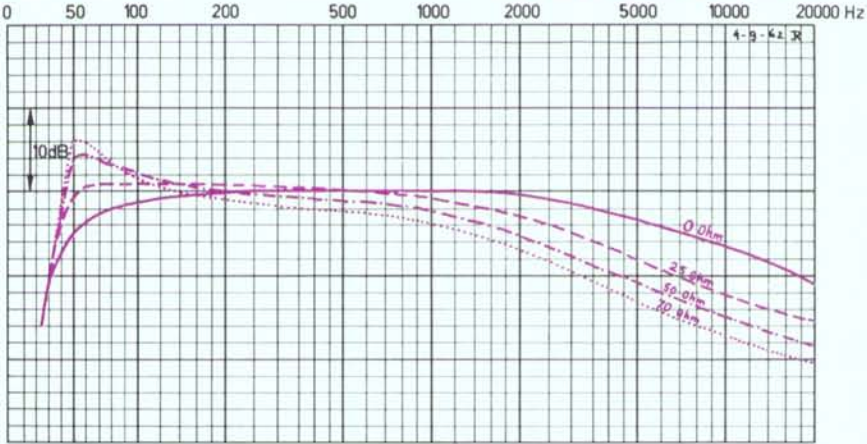


Abb. 8 Elektrische Frequenzkurven eines 3-Transistoren H. D. O. Geräts, mit Schaltung nach Abb. 5, aber ohne Kondensator C_2 . R_{Batterie} als Parameter. Bem.: Bei 28 Ohm Batteriewiderstand wird das Gerät instabil.

Fig. 8 Frequency-response curves of a 3-transistor behind-the-ear hearing aid circuit according to fig. 5, but without capacitor C_2 . R_B as parameter. Note: The hearing aid becomes unstable at a battery resistance of 28 Ohms.

vorführen, indem T_2 mit C_2 parallel mit dem Kollektorwiderstand aus einer Sonderbatterie gespeist wird. Dies gibt bei $R_B = 0$ Ohm wohl dieselbe Frequenzkurve, verhütet jedoch keine Instabilität bei Zunahme von R_B . Auch wenn C_2 mit der Plus-, statt mit der Minusleitung verbunden wird, wird Instabilität nicht verhütet. Außer dem Batteriewiderstand gibt es allerhand sonstige Ursachen, die Instabilität des Verstärkers veranlassen zu können. Es ist jedoch immer die Folge von Kopplungen, wodurch ein Teil des Ausgangssignals zum Eingang zurückgelangt. Als Beispiel möchten wir hier nennen: Kopplungen über kombinierte Batterie-Klangblenden und schlechte Isolierung des Verstärkerchassis bei Feuchtigkeitsaufnahme.

Geräte mit Kristallmikrofonen können infolge kapazitiver Rückkopplung instabil werden. Diesem Übel kann man manchmal abhelfen, indem die Verbindungsschnüre zum Mikrophon abgeschirmt werden.

Schwingneigungen infolge magnetischer Rückkopplung

Wenn durch einen Draht ein Wechselstrom fließt, entsteht um diesen Draht herum ein elektromagnetisches Wechselfeld mit derselben Frequenz wie die des Wechselstroms. Fließt Wechselstrom durch eine Spule, so wird auch dadurch wieder ein elektromagnetisches Wechselfeld hervorgerufen.

Die Größe des elektromagnetischen Wechselfeldes, die Feldstärke, hängt von verschiedenen Faktoren ab, die wichtigsten davon sind: Stromstärke durch die Spule, die Windungszahl und die Abmessungen der Spule, etwaige anwesende ferromagnetische Materialien. Umgekehrt gilt, daß ein elektromagnetisches Wechselfeld Wechselspannung in einer Spule erzeugen oder induzieren kann. Die Größe der induzierten Wechselspannung hängt u. a. ab von der Feldstärke, der Richtung des Feldes in bezug auf die Spule, der Windungszahl und den Abmessungen der Spule und etwaigen anwesenden ferromagnetischen Materialien. Ist die Spule Teil eines geschlossenen Kreises, so wird darin infolge der induzierten Wechselspannung ein Wechselstrom entstehen. Wird nun bei einem Hörgerät infolge eines Wechselstroms durch irgendeinen Einzelteil oder irgendeine Verbindung ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt und induziert dieses Wechselfeld wieder eine Wechselspannung in einer nahe am Verstärkereingang gelegenen Drahtverbindung oder in einem benachbarten Einzelteil, so kann man von elektromagnetischer oder magnetischer Rückkopplung sprechen. Wenn die Rückkopplung

battery while connecting C_2 parallel with the collector resistance. At $R_B = 0$ Ohm the same frequency-response curve will be obtained, but this arrangement does not prevent instability if R_B increases. Nor is instability prevented if C_2 is connected to the positive lead instead of to the negative lead. Besides the battery resistance there are various other causes of instability of the amplifier. It is always due, however, to some coupling, as a result of which part of the output signal is applied to the input side.

An example we would mention here is: couplings via combined battery-tone switches and poor insulation of the amplifier chassis in the case of absorption of moisture.

Hearing aids equipped with crystal microphones may become unstable on account of capacitive feedback. In some cases this can be remedied by screening the connecting wires to the microphone.

Tendency to instability on account of magnetic feedback

If an alternating current flows through a wire, an electromagnetic a. c. field with the same frequency as the alternating current arises round this wire. Also in the case of alternating current flowing through a coil an electromagnetic a. c. field is produced in this coil. The strength or intensity of the electromagnetic a. c. field, depends on various factors, the most important of which are: strength of the current through the coil, the number of windings and the dimensions of the coil, the possible presence of ferromagnetic materials. Conversely, it applies that an electromagnetic a. c. field may produce an a. c. voltage or induce it into a coil. The value of the a. c. voltage induced depends, amongst other things, on the intensity of the field, the position of the field with respect to the coil, the number of windings and the dimensions of the coil and the possible presence of ferromagnetic materials. If the coil forms part of a closed circuit, an alternating current will arise in this circuit as a result of the induced a. c. voltage.

If now in the case of a hearing aid an electromagnetic a. c. field is produced by an alternating current through some part or wire and if this electromagnetic a. c. field induces an a. c. voltage into a wire connection or part located nearer to the input side of the amplifier, one may speak of electromagnetic or magnetic feedback. If this feedback is positive, it may give rise to oscillation phenomena.

In hearing aids electromagnetic a. c. fields

eine Mitkopplung ist, so kann diese Instabilitätserscheinungen veranlassen.

In Hörgeräten werden elektromagnetische Wechselfelder oft erzeugt durch Hörer, Ausgangsübertrager, Treiberübertrager, Verbindungsschleifen, Strom durch die Batterie, Verbindungsdrähte zur Batterie und Verbindungsdrähte zum Höreranschluß. Empfindlich für magnetische Wechselfelder sind u. a. die Hörspeule, das Mikrofon, der Eingangsübertrager und etwaige Verdrahtungsschleifen auf der Eingangsseite.

Instabilität infolge magnetischer Rückkopplung tritt meistens am deutlichsten auf, wenn die Hörspeule eingeschaltet ist. Dies versteht sich, denn die Anwendung von Hörspulen beruht ja auf ihrer Empfindlichkeit für magnetische Wechselfelder, d. h. auf der Eigenschaft, von einem magnetischen Wechselfeld eine Wechselspannung abzunehmen. Der Konstrukteur wird überhaupt bemüht sein, eine Hörspeule mit einer möglichst großen Empfindlichkeit für magnetische Wechselfelder zu entwerfen.

Elektromagnetische Mikrophone sind infolgeder in ihnen vorhandenen Spule auch empfindlich für magnetische Wechselfelder. Im Gegensatz zu den Hörspulen aber kann man beim Mikrofon den Einfluß der magnetischen Wechselfelder auf die Spule bedenkenlos vermindern, indem um das Mikrofon eine sog. magnetische Abschirmung angebracht wird. Dadurch können äußere magnetische Wechselfelder nicht mehr so leicht in das Mikrofon eindringen.

Der Effekt einer derartigen Abschirmung wird in Abbildung 9 gezeigt. Eine zweckmäßige Abschirmung mit 2 U-förmig gebogenen Mumetallblechen kann die Empfindlichkeit der Mikrofonspule für äußere magnetische Wechselfelder um etwa 20 dB vermindern. Mit einem kompletten Mumetallgehäuse für das Mikrofon kann man, wie Abbildung 9 zeigt, eine noch größere Abschirmung erhalten.

Es ist jedoch wichtig, auch die akustische Empfindlichkeit der Mikrophone mit in diesen Vergleich einzubeziehen.

Man könnte dafür den Begriff relative magnetische Störemfindlichkeit einführen. Will man bei einer bestimmten Frequenz 2 Mikrophone betreffs Störungen durch magnetische Wechselfelder miteinander vergleichen, so genügt es nicht, nur die absoluten magnetischen Störemfindlichkeiten zu vergleichen.

Denn das Maß einer Störung wird nicht nur bestimmt durch die abgegebene Störspannung, sondern auch durch die abgegebene Signalspannung infolge eines zugeführten akustischen Signals. Im Grunde handelt es sich hier

are often generated by receivers, output transformers, driver transformers, loops in the wiring, current through the battery, connecting wires to the battery and connecting wires to the receivers. The following parts are sensitive to magnetic a. c. fields: the listening coil, microphone, input transformers and possible loops in the wiring on the input side.

Instability on account of magnetic feedback mostly manifests itself most clearly when the listening coil is switched on. This is readily understandable, as the use of listening coils is based on their sensitivity to magnetic a. c. fields, i. e. on the property to generate an a. c. voltage in a magnetic a. c. field. In general the designer will endeavour to give a listening coil maximum sensitivity to magnetic a. c. fields.

Electromagnetic microphones are also sensitive to magnetic a. c. fields, as they also contain a coil. In contrast with the listening coils, however, the effect of magnetic a. c. fields on the coil of a microphone can be easily reduced by applying a so-termed magnetic screening round the microphone. In this way it is no longer possible for external magnetic a. c. fields to penetrate so easily into the microphone.

The effect of such a screening can be seen in Fig. 9. Effective screening by means of two U-shaped mu-metal plates, the sensitivity of the microphone coil to external magnetic a. c. fields can be reduced by about 20 dB. As is shown in Fig. 9, it is possible to obtain an even greater screening effect by placing a complete mu-metal case round the microphone. It is also important, however, to take the acoustic sensitivity of the microphones into account in these comparisons.

For this purpose the concept «relative sensitivity to magnetic interference» can be introduced. If at a given frequency two microphones are to be compared as regards interference by magnetic a. c. fields, it does not suffice to compare only the absolute sensitivity to magnetic interference. The fact is that the amount of trouble caused by interference is not only governed by the interference voltage present, but also by the signal voltage produced with respect to an acoustic signal applied. Essentially it is a question of the

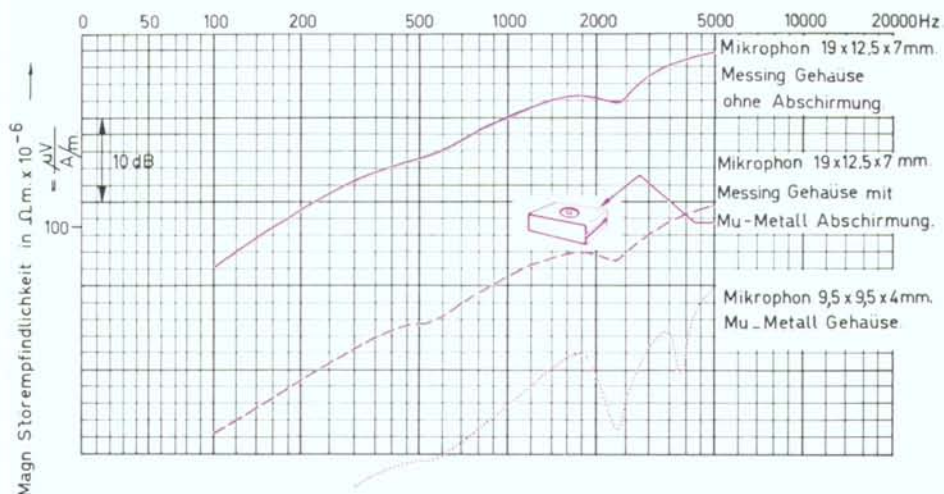


Abb. 9 Magnetische Störfempfindlichkeit einiger Mikrophone in $\mu\Omega \cdot m \left(\frac{\mu V}{A/m} \right)$

Fig. 9 Sensitivity to interference by magnetic fields of a few microphones expressed in $\mu\Omega \cdot m \left(\frac{\mu V}{A/m} \right)$

um den Unterschied von abgegebener Störspannung und abgegebener Signalspannung, d. h. den Unterschied Störfempfindlichkeit – akustische Empfindlichkeit. Eine Möglichkeit, diesen Unterschied anzugeben, besteht darin, daß man den Quotienten der absoluten magnetischen Störfempfindlichkeit und der akustischen Empfindlichkeit bei einer gleichen Frequenz nimmt. Diesen Quotienten nennen wir die relative magnetische Störfempfindlichkeit. Wenn man die absolute magnetische Störfempfindlichkeit M_{abs} in Ohm Meter und die akustische Empfindlichkeit

difference in interference voltage and signal voltage produced, i. e. the difference in sensitivity to interference and acoustic sensitivity. A manner of expressing this difference in a number is to find the quotient of the absolute sensitivity to magnetic interference and the acoustic sensitivity at the same frequency. This quotient is now called the relative sensitivity to magnetic interference. If the absolute sensitivity to magnetic interference M_{abs} is expressed in Ohm meter and the acoustic sensitivity

$$S_{ac} \text{ in } \frac{Vm^2}{N} \left(\frac{\text{Volt} \times \text{Meter}^2}{\text{Newton}} \right)$$

ausdrückt, so ist die relative magnetische Störfempfindlichkeit

$$M_{rel} \left[\text{in } \frac{N}{Am} \right] = \frac{M_{abs} \left[\text{in Ohm m} \right]}{S_{ac} \left[\frac{Vm^2}{N} \right]} \quad (1)$$

oder in dB

or in decibels:

$$M_{rel} \left[\text{in dB i. b. a. } 1 \frac{N}{Am} \right] = M_{abs} \left[\text{in dB i. b. a. } 1 \text{ Ohm m} \right] - S_{ac} \left[\text{in dB i. b. a. } 1 \frac{Vm^2}{N} \right] \quad (2)$$

Mit Hilfe der Formel (2) läßt sich aus den Frequenzkurven von M_{abs} und S_{ac} , die Frequenzkurve für M_{rel} leicht ableiten.

Eine andere Möglichkeit, um 2 Mikrophone schnell miteinander vergleichen zu können, ist obenstehende Formel (2) nur für z. B. 1000 Hz zu berechnen und die für S_{ac} gefundene Anzahl dB auch für andere Frequenzen als 1000 Hz von M_{abs} zu subtrahieren. Die Frequenzkurve M_{abs} verschiebt sich dann im ganzen um eine bestimmte Zahl

With the aid of the formula in (2) we can easily derive the frequency-response curve for M_{rel} from the frequency-response curves of M_{abs} and S_{ac} .

Another possibility of quickly comparing two microphones is to calculate the above formula (2) only for, say, 1,000 c/s and deducting the number of dB found for S_{ac} from M_{abs} also for frequencies other than 1,000 c/s. In that case the frequency-response curve of M_{abs} is completely shifted over a number of dB. If

dB. Verfügt man über ausreichende Sachkenntnisse, so lassen sich aus einer derartigen Kurve Folgerungen betreffs der Störempfänglichkeit für magnetische Wechselfelder ziehen. Letzteres Verfahren, bei dem die Berichtigung für die Empfindlichkeit bei 1000 Hz auch für die anderen Frequenzen beibehalten wird, wurde für die Kurven der Abbildung 10 angewandt. Für das Mikrofon $19 \times 12,5 \times 7$ mm macht dies keinen Unterschied, weil für sämtliche Messungen dasselbe Mikrofon verwendet wurde. Für das kleinere Mikrofon $9,5 \times 9,5 \times 4$ mm ist der Effekt etwas geringer als in Abbildung 9, jedoch noch sehr deutlich zu bemerken.

Kristallmikrophone werden oft über einen Eingangsübertrager an den Verstärker gekoppelt. Man kann Eingangsübertrager für äußere magnetische Wechselfelder unempfindlich machen, indem sie astatisch gewickelt und/oder mit einer Mumetallabschirmung versehen werden.

Schleifen in der Verdrahtung kann man oft verhüten, indem die Drähte verdreht werden; man muß hierbei jedoch beachten, daß die Stromrichtung in dem einen Draht der im anderen entgegengesetzt ist. Das magnetische Wechselfeld infolge des Wechselstroms in dem einen Draht wird dann durch das magnetische Wechselfeld des Wechselstroms im anderen Draht aufgehoben. Ein magnetisches Feld kann außerdem auch aufgehoben werden, indem eine absichtliche Schleife in der Verdrahtung angebracht wird, wodurch ein entgegengesetztes Feld hervorgerufen wird. Besonders bei leistungsstarken Geräten kann der Strom durch die Batterie manchmal Insta-

one has sufficient knowledge of the subject it is still possible to draw all sorts of conclusions as to the sensitivity to interference by magnetic a. c. fields from such a curve. The latter method, in which the correction for the sensitivity at 1.000 c/s is also adhered to for other frequencies, has been used for the curves shown in Fig. 10.

For the microphone $19 \times 12,5 \times 7$ mm this does not make any difference compared with fig. 9, because the same microphone was used for all measurements. For the smaller microphone $9,5 \times 9,5 \times 4$ mm the effect is slightly less pronounced than was shown in Fig. 9, but yet it is still clearly noticeable.

Crystal microphones are often coupled to the amplifier via an input transformer. Input transformers can be rendered insensitive to external magnetic a. c. fields by winding them astatically and/or providing them with a mu-metal screening.

Loops in the wiring can often be prevented by twisting the relevant wires, in which case care must be taken that the direction of the current in one wire is opposed to that in the other wire. The magnetic a. c. field caused by the alternation current in one wire is then neutralized by the magnetic a. c. field of the alternating current in the other wire.

A magnetic field can sometimes also be eliminated by deliberately making a loop in the wiring, in which way an opposed field is produced.

Especially with super-power hearing aids the current through the battery frequently causes instability. This can be readily understood if it is borne in mind that the alternating cur-

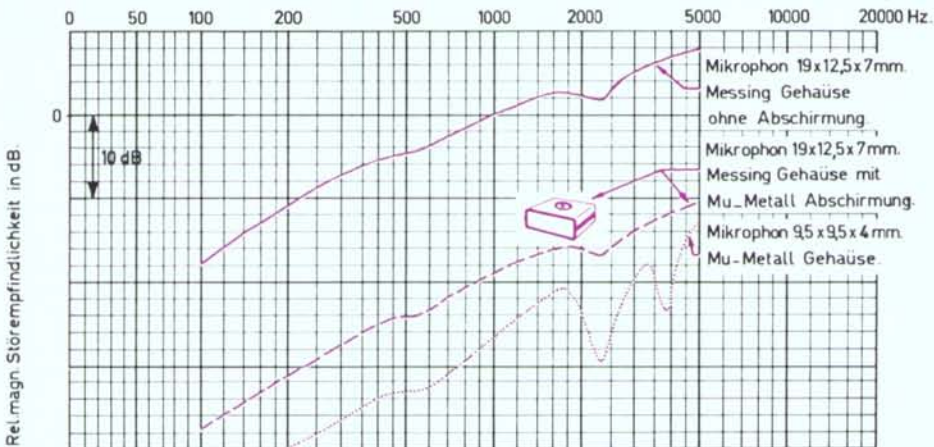


Abb. 10 Relative magnetische Störempfänglichkeit einiger Mikrophone. Kurven mit Korrektur für die Differenz in den akustischen Empfindlichkeiten der Mikrophone bei 1000 Hz.

Fig. 10 Relative sensitivity of a few microphones to interference by a magnetic field. The curves have been corrected as regards the difference in acoustic sensitivity between the various microphones at 1.000 c/s.

bilität verursachen. Das ist verständlich, wenn man bedenkt, daß der Endstufenwechselstrom auch durch die Batterie fließt und man die Batterie also in diesem Fall als einen stromführenden Draht betrachten darf, um den ein magnetisches Feld erzeugt wird.

Penlite-Zellen z. B. mit einer Länge von etwa 50 mm werden meistens zwischen Batteriekontakte geklemmt, die für die Zu- und Abfuhr des Stromes sorgen. Wenn keine weiteren Maßnahmen zur Ausgleichung getroffen wurden, kann dies ein magnetisches Feld erregen, das sich nahezu über das ganze Gerät erstreckt. Ein derartiges Feld kann man vermindern, indem um die Batterie herum ein Metallgehäuse angebracht wird, durch das der Strom in entgegengesetzter Richtung hindurchfließt.

Kopplung zwischen Übertragern oder zwischen einem Übertrager und einer Spule (Hörspule oder Mikrofonspule) kann man vermindern, wenn sie weit auseinander montiert werden und die gegenteilige Lage möglichst günstig gewählt wird, das heißt in magnetischer Hinsicht senkrecht zueinander.

Ein typisches und sehr einfach vorzuführendes Beispiel magnetischer Kopplung ist das Pfeifen bei Taschengeräten, wenn man den Hörer in die Nähe der Hörspule bringt.

Schwingneigungen infolge mechanischer Rückkopplung

Instabilität infolge mechanischer Rückkopplung ist eine Erscheinung, die besonders bei Hörgeräten mit eingebautem Hörer auftritt. Auch bei Geräten mit nicht-eingebautem Hörer, bei denen dieser mittels starrer Drähte mit dem Gerät verbunden ist, kann dies manchmal auftreten.

Der Schall, der durch einen Hörer erzeugt wird, entsteht durch Schwingungen der Membran. Es besteht nun die Möglichkeit, daß über mechanische Kontaktleitung ein Teil dieser Schwingungen auf die Membran des Mikrophones gelangt. Fängt diese an mitzuschwingen, so wird im Mikrofon eine Spannung erzeugt, die einen Strom im ersten Transistor verursacht. Dieser Strom, durch die folgenden Stufen verstärkt, wird schließlich einen Strom durch den Hörer zur Folge haben, wodurch wieder Schall abgegeben wird. Bei Mitkopplung und genügender Größe des zurückgeführten Signals können Instabilität, Selbsterregung oder Schwingneigungen auftreten. Die obenbeschriebene Erscheinung läßt sich mit Mikrophonie bei Rundfunkempfängern vergleichen.

Mechanische Kopplungen zwischen Mikrofon und Hörer kann man verhüten indem:

rent of the output stage also passes through the battery and that in this case the battery may therefore be regarded as a current carrying wire, round which a magnetic field is produced. Mostly the ends of penlite cells, for instance, having a length of about 50 mm are clamped between battery contacts supplying and carrying off the current. If no further measures should be taken to compensate this, a magnetic field may be produced which extends practically all over the hearing aid.

The intensity of such a field can be reduced by fitting a metal cylinder round the battery through which the current flows in opposite direction.

Coupling between transformers or between a transformer and a coil (listening coil or coil in the microphone) can be reduced by increasing the space between the units and by choosing the most favourable position of two such components with respect to each other, i.e. perpendicular to each other in magnetic respect.

A typical example of magnetic coupling, which can moreover be very readily demonstrated, is the whistling sound heard in pocket hearing aids when the receiver is held near to the listening coil.

Tendency to instability on account of mechanical feedback

Instability on account of mechanical feedback is a phenomenon which is in particular found in hearing aids with built-in receiver. It may also occur sometimes in hearing aids with an external receiver, in which case the receiver is connected to the hearing aid by means of stiff wires.

The sound produced by a receiver is caused by the vibrations of a diaphragm. It is possible that on account of mechanical contact part of these vibrations find their way to the diaphragm of the microphone. If the latter also starts vibrating, a voltage is produced in the microphone which causes a current to arise in the first transistor. This current is amplified by the following stages and will eventually result in a current through the receiver which will produce sound again. In the case of positive feedback and sufficient strength of the returned signal instability, generation, or a tendency to instability may occur.

The phenomenon described above may be compared with microphony in radio receivers. Mechanical couplings between microphone and receiver can be prevented by:

a) für das Mikrofon und den Hörer eine elastische Aufhängung mit einer niedrigen Eigenresonanzfrequenz angewandt wird. Dies kann erzielt werden, indem eine in bezug auf die Masse des Mikrophons bzw. des Hörers genügend kleine Steifheit für die Aufhängung gewählt wird.

b) in den mechanischen Kreis zwischen Mikrofon und Hörer ein oder mehrere Elemente aufgenommen werden, die mechanische Schwingungen dämpfen.

In Abbildung 11 wird ein Beispiel gegeben. Die punktierte Kurve ist die akustische Wiedergabekurve eines Hinter-dem-Ohr-Geräts ohne mechanische Kopplung. Mikrofon und Hörer sind beide elastisch mit dem Chassis verbunden. Wird das Mikrofon jedoch fest am Chassis angeordnet, so führt das zu Selbsterregung des Gerätes und es tritt das sog. Pfeifen auf. Wird der Verstärkungsregler zurückgedreht, so wird das Pfeifen aufhören. In dieser Stellung wurde die akustische Wiedergabekurve noch einmal gemessen. Dies ergab die ausgezogene Kurve in Abbildung 11. Die Kurve zeigt sehr deutlich 3 scharfe Spitzen, die eine Einleitung zu Instabilität und Schwingneigung bedeuten. Ob schon das Gerät nicht pfeift, ist es ohne weiteres klar, daß diese scharfen Spitzen, vom Standpunkt der Akustik aus, höchst unerwünscht sind.

Schwingneigungen infolge akustischer Rückkopplung

Akustische Rückkopplung tritt ein, wenn ein Teil des durch den Hörer erzeugten Schalles zum Mikrofon zurückgelangt. Abhängig von Phase und Größe des zurückgeführten Signals kann akustische Rückkopplung wieder Instabilität oder Schwingneigung verursachen. Die Ursachen der akustischen Rückkopplung lassen sich in 2 Gruppen abgliedern und zwar:

1. Akustisches Leck

Gibt es im Hörschlauch der Schallführung vom Hörer zum Ohr eine undichte Stelle in Form eines Lochs, einer Öffnung oder eines Risses, so kann der Schall dadurch leicht aus dem Schallführungsschlauch entweichen und zum Mikrofon gelangen. Auch ein Leck über etwaige andere Öffnungen in der Hörerkapsel gehört dazu.

2. Schallabstrahlung durch mitschwingende mechanische Teile

Infolge der Schallschwingungen im Hörer oder im Schallführungskanal zwischen Hörer und Ohr können die Wände der Hörerkapsel oder des Führungskanals mitschwingen, und

a) Using an elastic suspension with a low resonance frequency of the natural vibration of the microphone and the receiver. This can be achieved by selecting the rigidity of the suspension so that it is sufficiently small with respect to the mass of the microphone and receiver.

b) To use one or more damping elements in the mechanical circuit between microphone and receiver.

An example of this is given in Fig. 11. The dotted curve is an acoustic overall characteristic of a behind-the-ear hearing aid without mechanical coupling. Both the microphone and the receiver are elastically connected to the chassis. If, however, the microphone is rigidly fitted to the chassis, the amplifier starts generating and microphony occurs. If now the volume control is turned down, whistling will stop. In that position the overall characteristic was measured again. The result was the drawn curve of Fig. 11. This curve clearly displays three sharp peaks indicating the tendency to and the beginning of instability. Though there was no question of whistling of the hearing aid, it is obvious that, from an acoustical point of view, these sharp peaks are utterly undesirable.

Tendency to instability on account of acoustic feedback

Acoustic feedback occurs if part of the sound produced by the receiver impinges on the microphone. Dependent of the phase and strength of a returned signal acoustic feedback may again cause instability or a tendency to instability. The causes of acoustic feedback can be divided into two categories, viz.

1. Acoustic leakage

If in the channel conveying the sound from the receiver to the ear there should be a leak in the form of a hole, opening or slot, the sound can easily leak out of the connecting channel and be received by the microphone. Leakage through possible other openings in the case of a receiver can also be classed in this group.

2. Radiation by resonating mechanical parts

On account of the sound vibrations in the receiver or in the connecting channel between the receiver and the ear the walls of the case of the receiver or of the connecting channel

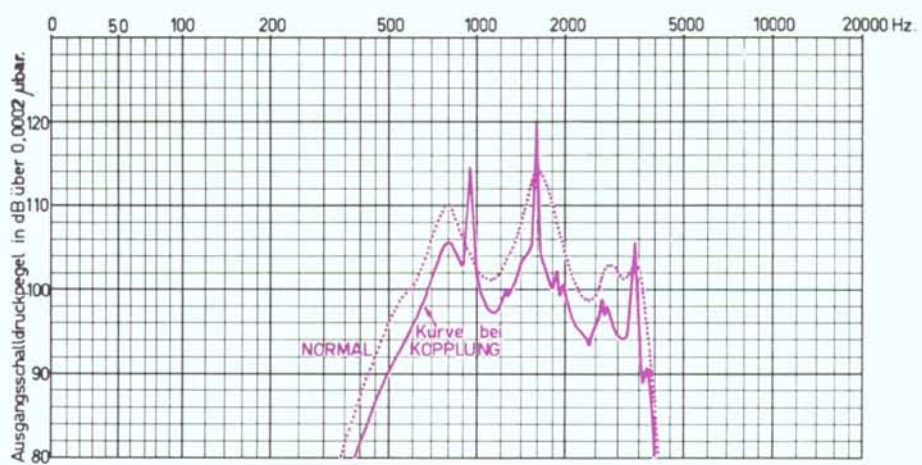


Abb.11 Akustische Wiedergabekurven eines 3-Transistoren H. D. O. Geräts bei mechanischer Rückkopplung. Mikrophon ohne elastische Aufhängung festgesetzt auf das Chassis. Eingangsschall-druckpegel 60 dB über $2 \cdot 10^{-4}$ μ bar, $U_{\text{Batterie}} = 1,3$ Volt. Bem.: Mit Verstärkungsregler maximal ist das Gerät instabil.

Fig.11 Acoustic response curve of a 3-transistor behind-the-ear hearing aid with mechanical feedback. Microphone fitted to the chassis without elastic suspension. Level of input sound pressure is 60 dB re $2 \cdot 10^{-4}$ μ bar. $U_{\text{B}}(\text{attery}) = 1.3$ V. Note: When the volume control is set to maximum value the hearing aid becomes unstable.

diese wiederum die umgebende Luft ins Schwingen setzen. Man könnte auch sagen, daß trotz einer guten akustischen Abdichtung der Schall doch noch durch die Wände des Hörers und die Wand des Schallführungs-kanals dringt.

Häufig auftretende Ursachen von Pfeifen bei Taschengeräten infolge akustischer Rückkopplung sind u. a.:

- a) ein akustisches Leck infolge schlecht sitzender Ohrpaßstücke. Dies kann selbst bei neuen Ohrpaßstücken der Fall sein.
- b) ein akustisches Leck infolge zu großen mechanischen Spiels und ungenügender akustischer Abdichtung zwischen Hörer und Ohrpaßstück. Mit einem oder mehreren Polyäthylen-Abdichtungsringen zwischen Hörer und Ohrpaßstück läßt sich dieses Übel meistens leicht beseitigen.
- c) ein akustisches Leck bei den Steckerstiften, weil es zwischen den Steckerstiften und den Löchern für die Stifte in der Hörerkapsel zu viel Raum gibt. Diese Erscheinung tritt in der Praxis öfter auf als man erwarten würde. Mit dünnen Abdichtungsplättchen aus elastischem Material, die um die Steckerstifte geschoben werden können, kann man diesem Übel abhelfen.
- d) Schallabstrahlung durch die Wand der Hörerkapsel bei einem zu kleinen Abstand zwischen Hörer und Gerät. Je nachdem ob der Hörer näher ans Mikrophon kommt, wird die Instabilitäts-Möglichkeit größer. Dabei

may start vibrating and impart the vibrations in turn to the surrounding air. One might also say that, in spite of good acoustic sealing, the sound still penetrates through the walls of the receiver or the connecting channel.

Common causes of whistling of pocket hearing aids on account of acoustic feedback are, amongst other things:

- a) Acoustic leakage resulting from ill-fitting earmolds. This may even be the case with new earmolds.
- b) Acoustic leakage on account of too much mechanical play and insufficient acoustic sealing between receiver and earmold. In most cases this fault can be easily remedied by fitting one or more thin polythene rings between the receiver and the earmolds.
- c) Acoustic leakage along the plug pins, because there still is too much room between the plug pins and the holes for the plug pins in the case of the receiver. In practice this phenomenon occurs more often than might be expected. Thin sealing plates of a resilient material which can be pushed round the plug pins will remedy this fault.
- d) Radiation through the wall of the case of the receiver if the distance between the receiver and the hearing aid is too small. As the receiver approaches the microphone more closely, the risk of the occurrence of

kann die Lage der Mikrofonöffnung in bezug auf das Telefon eine Rolle mitspielen. Aus Versuchen ergab sich, daß bei einer sehr guten akustischen Abdichtung und einer soliden Hörerkapsel ein Taschengerät mit einer akustischen Verstärkung von 80 dB und einem Abstand von 20–25 cm zwischen Hörer und Gerät, noch stabil sein kann.

Bei H. d. O.-Geräten und Hörbrillen sind die wichtigsten Ursachen für Instabilität infolge akustischer Rückkopplung auch ein akustisches Leck und ein zu kleiner Abstand zwischen Hörer und Mikrofon. Die akustische Kopplung kann sowohl über das Innere des Gerätes wie außen herum stattfinden.

Wenn untenstehende Maßnahmen getroffen werden, kann die akustische Kopplung über das Innere des Gerätes beschränkt werden:

1. Mikrofon und Hörer sollen in gesonderte, durch solide Wände voneinander getrennte Räume eingebaut werden.
2. Die Schallzuführungsöffnung des Mikrophons soll nicht innerhalb sondern außerhalb des Gerätes münden.
3. Es soll eine gute akustische Abdichtung des durch den Hörer erzeugten Schalles in bezug auf das Innere des Gerätes vorgesehen sein. Zur Vermeidung akustischer Kopplung außen herum ist darauf zu achten, daß das Ohrpaßstück gut sitzt und der Schallkanal keine undichten Stellen aufweist, wodurch der Schall leicht nach außen entweichen könnte. Weil bei H. d. O.-Geräten das Mikrofon und der

instability phenomena increases. The position of the microphone opening with respect to the receiver may play a part in this case. Tests have shown that with a very good acoustic sealing and a sturdy receiver case a pocket hearing aid with an overall amplification of about 80 dB and a distance of 20–25 cm between receiver and hearing aid can still remain stable.

With behind-the-ear hearing aids and hearing spectacles the principal causes of instability on account of acoustic feedback are also acoustic leakage and too small a distance between receiver and microphone. Acoustic coupling may be effected both via the interior of the hearing aid and externally.

The following measures will limit acoustic coupling via the interior of the hearing aid:

1. Building in the microphone and receiver in cavities which are separated by firm partitions.
2. Ensuring that the sound-entry hole of the microphone does not end inside the hearing aid, but outside.
3. Providing good acoustic sealing for the sound of the receiver with respect to the interior of the hearing aid.

To prevent the occurrence of external acoustic coupling care must be taken that the earmold fits well and that there are no leaks in the connecting channel between receiver and ear through which the sound would easily escape. As in the case of behind-the-ear aids the

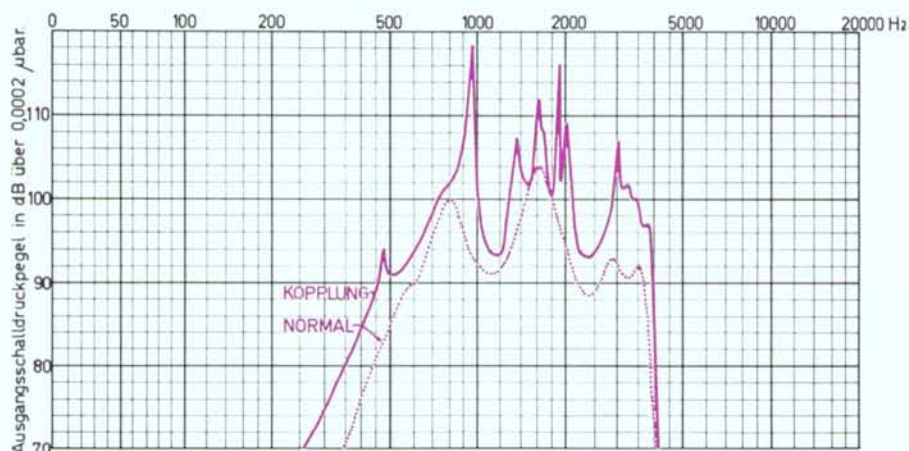


Abb. 12 Akustische Wiedergabekurve eines 3-Transistoren H. D. O. Gerätes bei akustischer Rückkopplung. Eingangsschalldruckpegel 50 dB über $2 \cdot 10^{-4}$ μ bar. U_{Batterie} = 1,3 V. Bei größerer Verstärkung (51 dB statt 42 dB bei 1000 Hz) zeigt das Gerät Schwingneigungen.

Fig. 12 Acoustic response curve of a 3-transistor behind-the-ear hearing aid in the case of acoustic feedback.

Level of the input sound pressure is 50 dB re $2 \cdot 10^{-4}$ μ bar.

U_B = 1,3 V.

At a higher amplification (51 dB instead of 42 dB at 1.000 c/s) the hearing aid shows a tendency to start oscillating.

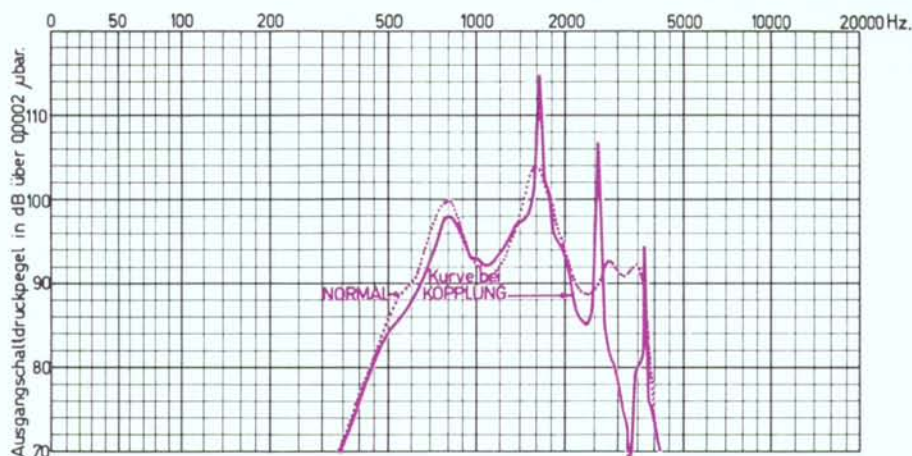


Abb. 13 Akustische Wiedergabekurve eines 3-Transistoren H. D. O. Geräts bei akustischer Rückkopplung, dadurch daß die Mikrophoneinspracheöffnung im Innern des Gehäuses ausmündet (Mikrophonschlauch entfernt). Eingangsschalldruckpegel 60 dB über $2 \cdot 10^{-4}$ μbar. U_{Batterie} = 1.3 Volt.

Fig. 13 Acoustic response curve of a 3-transistor behind-the-ear hearing aid in the case of acoustic feedback on account of the fact that the sound-entry hole of the microphone gives access to the interior of the case (microphone tube removed). Level of the input sound pressure is 60 dB re $2 \cdot 10^{-4}$ μbar. U_B = 1.3 V.

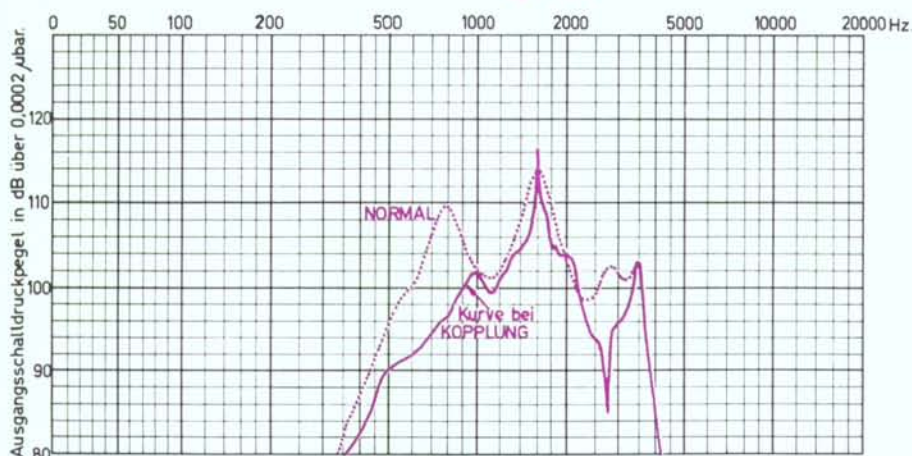


Abb. 14 Akustische Wiedergabekurve eines 3-Transistoren H. D. O. Geräts bei akustischer Rückkopplung durch eine Öffnung im Hörschlauch. Eingangsschalldruckpegel 60 dB über $2 \cdot 10^{-4}$ μbar. U_{Batterie} = 1.3 Volt.

Fig. 14 Acoustic response curve of a 3-transistor behind-the-ear hearing aid in the case of acoustic feedback through an opening in the connecting tube between receiver and coupler. Level of the input sound pressure is 60 dB re $2 \cdot 10^{-4}$ μbar. U_B = 1.3 V.

Hörer, also Eingang und Ausgang, so dicht beieinander liegen, wird trotz aller Vorsichtsmaßregeln die Möglichkeit der Instabilitäterscheinung größer sein als bei Taschengeräten. Bei all diesem spielt die Verstärkung eine Rolle. Ein Beispiel zeigt Abbildung 12. Die punktierte Kurve gibt die normale akustische Wiedergabekurve eines H. d. O.-Geräts mit 3 Transistoren wieder. Wird die Verstärkung erhöht, z. B. durch Anwendung emp-

microphone and the receiver, consequently the input side and output side, are so close to each other, the risk of the occurrence of instability phenomena will, in spite of all precautionary measures, be greater than in the case of pocket hearing aids. In all these cases the amplification plays an important part. An example is given in Fig. 12. The dotted curve shows the normal acoustic overall characteristic of a 3-transistor behind-the-

findlicher Transistoren, so entsteht bei einem bestimmten Wert die ausgezogene Kurve. Die sehr scharfen Spitzen deuten auf Instabilitätserscheinungen und Schwingneigung, die auch unverzüglich auftritt, wenn man die Verstärkung um noch einige dB steigert.

Abbildung 13 zeigt bei demselben Gerät, was mit der akustischen Wiedergabekurve geschieht, wenn die Schallzuführungsöffnung des Mikrophons nicht außerhalb, sondern innerhalb des Geräts mündet. Auch hierbei ergeben sich wieder sehr scharfe Senken und Spitzen.

Zum Schluß sieht man in Abbildung 14 den Einfluß, den eine undichte Stelle im Schallführungsschlauch zwischen Gerät und Ohrpaßstück auf die akustische Wiedergabekurve ausübt. Die tiefen Töne werden stark abgeschwächt, während bei höheren Frequenzen Instabilitätserscheinungen auftreten.

ear hearing aid. If the amplification is increased, for instance by making use of more sensitive transistors, the drawn curve will appear at a given moment. The very sharp peaks indicate instability phenomena and a tendency to instability, which does not fail to appear if the amplification is increased by just a few more decibels.

Fig. 13 shows what happens to the acoustic overall characteristic of the same hearing aid if the sound-entry hole of the microphone does not give access to the outside of the hearing aid but to its interior. In this case as well very sharp dips and peaks appear again.

Finally, Fig. 14 shows the effect on the acoustic overall characteristic of a leak (hole) in the connecting tubes between a behind-the-ear hearing aid and the earmold. The low notes are considerably attenuated, while at higher frequencies instability phenomena occur.

Literaturverzeichnis / Bibliography

- [1] N. A. J. Voorhoeve, Low-Frequency Amplification, Philips Technische Bibliotheek, Eindhoven 1952
- [2] C. Starke, Rückkopplung bei Hörgeräten, Zts. Hörgeräte-Akustik, März 1962, Heft 2, S. 38
- [3] C. G. Hoffmann, Feedback: How to avoid it. The Hearing Dealer, May 1962, p. 14
- [4] G. Edwin, Fundamentals of Feedback Design Wideless World, Jan.—Nov. 1962, pp. 27, 83, 144, 183, 237, 281, 239, 375, 453, 499, 559
- [5] J. Euler, Über den Innenwiderstand galvanischer Zellen, Elektronorm, Januar 1961, Doppelheft 1/2

Berichte über Standardisierung

Folgende Normen wurden in der „Elektro-norm“ Jahrgang 17 (1963) Heft 4 veröffentlicht und der Öffentlichkeit zur Stellungnahme vorgelegt. Einsprüche können bis 31. August 1963 vorgebracht werden.

Entwurf April 1963, DIN 45 601, Elektrische Hörhilfen, Kuppler (2 cm³-Kammer), (Hearing aids, Coupler [2 cm³-cavity]).

Dieser Normentwurf ergänzt die Norm DIN 45 600, Juli 1962, Elektrische Hörhilfen, Messen der akustischen Eigenschaften (Hearing aids, measurement of the electro-acoustical

characteristics) und legt den dort unter Absatz 3.4 erwähnten Kuppler fest. Unter Kuppler wird eine Meßanordnung verstanden, die eine Kammer mit festgelegten Abmessungen enthält. Diese Kammer dient zur akustischen Belastung des Hörers. Der vom Hörer erzeugte Schall wird in ihr von einem Mikrophon gemessen.

Der Kuppler hat eine Grundform, in der sich eine zylindrische Kammer von 2 cm³ befindet. Diese Kammer wird einerseits durch die Auflage für einen Einsatz und andererseits durch die Membran des Mikrophons abgegrenzt.

Für die Verbindung des Hörgeräteausganges mit der Kupplerkammer können verschiedene Einsätze benutzt werden. Dadurch entstehen: Kuppler Typ K 1 mit einem Einsatz, der einem normalen Ohrpaßstück nachgebildet ist; Kuppler Typ K 2 benutzt das Ohrpaßstück des Hörgerätes selbst;

Kuppler Typ K 3 enthält einen Einsatz, der eine Nachbildung einer vorgegebenen Schall-