

# Der neue Streckenfernsprecher der Deutschen Reichsbahn, seine Berechnung und Anwendung.

(OB-29 Bauart Reichsbahn)

Von Reichsbahnrat D o b m a i e r, München.

Den Anlaß zur Konstruktion eines neuen Streckenfernsprechers gab die Elektrisierung der Reichsbahnstrecken in Bayern. Die Beeinflussung der Fernsprechleitungen durch den Einphasen-Wechselstrom machte die Beibehaltung der bisherigen Streckenfernsprecher unmöglich.

Die Schriftleitung.

Die Streckenfernsprecher waren bisher bei der Reichsbahn nicht einheitlich. Das *Fernsprechsystem* war jedoch bei der Mehrzahl der ehemaligen Ländereisenbahnen das gleiche, nämlich das OB-System (OB = Ortsbatterie); eine Ausnahme bildet — soweit mir bekannt — Sachsen, das durchwegs ZB-Streckenfernsprecher verwendet (ZB = Zentralbatterie). Hinsichtlich des Streckenfernsprechbetriebes läßt sich das OB-System mit einer mit Dampfmaschinen betriebenen Strecke und das ZB-System mit einer für elektrische Zugförderung eingerichteten Strecke vergleichen. Das betriebliche Hauptunterscheidungsmerkmal zwischen OB- und ZB-Streckenfernsprechbetrieb besteht nämlich darin, daß bei jeder Sprechstelle einer mit OB betriebenen Anlage der zum Sprechen benötigte Strom am Ort des Apparats vorhanden ist, während beim ZB-Betrieb die Stromversorgung von einer oder mehreren zentralen Stellen aus erfolgt. Hinsichtlich des zuverlässigen Arbeitens der Anlage und damit der Betriebssicherheit ist dem Ortsbatteriesystem der Vorzug zu geben. Von den verschiedenen Ausführungsformen der OB-Fernsprecher der ehemaligen Ländereisenbahnen abgesehen, unterscheiden sich die Streckenfernsprecher im wesentlichen in den elektrischen Eigenschaften voneinander und hierbei vor allem in den Übersetzungsverhältnissen der Induktionsspulen und in den Scheinwiderständen der Hörer und Wecker. Ein Zusammenarbeiten der verschiedenen Apparatypen ist nicht immer möglich, auch müssen bei den derzeitigen Verhältnissen für jede Apparatgattung angepaßte tragbare Fernsprecher vorgehalten werden, um Rufen und Sprechen auf Streckenfernsprechleitungen von jeder Anschlußstelle zu ermöglichen, ein Zustand, dessen Beseitigung aus Betriebsgründen ein dringendes Erfordernis ist. Arbeiten zur Konstruktion eines einheitlichen Fernsprechers wurden bald nach dem Kriege vom Reichsbahn-Zentralamt in Angriff genommen, sie waren aber bis zum Jahre 1926 nicht zum Abschluß gekommen. Unabhängig davon wurde in Bayern, wo die Elektrisierung und die damit zusammenhängende Beeinflussung der Fernmeldeleitungen einen neuen Streckenfernsprechtyp forderte, in Gemeinschaft mit der Siemens & Halske A. G. ein OB-Fernsprecher entwickelt, der im gesamten Reichsbahngebiet und m. W. auch bei den Österreichischen Bundesbahnen eingeführt wird. Ein Anlaß zum Ersatz der früheren Streckenfernsprecher ist auch durch die neue Bau- und Betriebsordnung gegeben, welche die Verringerung der Abstände der Streckenfernsprecher fordert. Diese Bedingung kann unter Beibehaltung der bisherigen Streckenfernsprechschließungsbögen und dann, wenn sämtliche Apparate dauernd in die Leitung eingeschaltet sein

müssen, mit den früheren Streckenfernsprechern nicht erfüllt werden.

Der Konstruktion des neuen Fernsprechers liegen folgende Bedingungen zugrunde:

In einem Schließungsbogen muß noch bei 15 Apparaten einschließlich Weckern und 7 Außenweckern sowie einer Leitungsdämpfung von 1,0 Neper einwandfreie Sprechverständigung (zulässige Gesamtdämpfung 3,5 Neper) erzielt werden, selbst wenn sämtliche Hörer ausgehängt sind; auch muß in diesem Falle der Ruf noch zuverlässig ankommen, d. h. so, daß alle Wecker mit hinreichender Lautstärke ertönen. Mikrophon und Telephon müssen in einem Handapparat nach Art der neuen Selbstanschlußfernsprecher zusammengefaßt sein; die Drahtstärke der Weckerspulenwindungen darf 0,06 mm nicht unterschreiten. Um eine Gefährdung telephonierender Personen durch induzierte Ströme oder Spannungen auszuschließen, müssen alle dem Telephonierenden zugänglichen stromführenden Teile gegen Erde und gegeneinander hochwertig isoliert sein; die Prüfung der Isolation erfolgt mit einer Spannung von 1800 Volt zwischen Ader und Erde und von 1000 Volt zwischen Ader und Ader auf die Dauer von 3 Sekunden.

## Berechnung.

Die Herstellung einer Fernsprechverbindung beginnt mit der Benachrichtigung der zum Ferngespräch gewünschten Person.

### A. Sprechrichtungen.

Bei Fernsprechverbindungen unterscheiden wir somit den „Rufvorgang“ (Induktor-Wecker) und den „Sprechvorgang“ (Sprechen-Mikrophon, Hören-Telephon). Ruf- und Sprechrichtungen werden in der Berechnung wegen der verschiedenen Voraussetzungen für Sprech- und Ruffrequenzen getrennt behandelt.

Die Konstruktion eines Fernsprechers wird sich grundverschieden gestalten, je nachdem nur zwei Fernsprecher bei einer Verbindung oder deren mehrere in einer Leitung gleichzeitig benützt werden. Die Berechnung des Fernsprechers im ersten Fall dürfte nichts Neues sein, hingegen ist mir aus der Literatur die Berechnung des optimalen Fernsprechers für den zweiten Fall nicht bekannt.

### I. Berechnung der optimalen Sprechrichtungen für Verbindungen mit nur zwei Sprechstellen (am Anfang und am Ende einer Leitung).

Wie müssen die Sprechrichtungen beschaffen sein, wenn nur am Anfang und am Ende einer Leitung je ein Fernsprecher vorhanden ist?

1) Denkt man sich eine Fernsprechverbindung mit einer ganz kurzen Leitung, bei der an einer Stelle A nur gesprochen und an einer Stelle B nur gehört wird (Bild 1), so wird die Lautstärke bei B dann am größten, wenn die bei A abgegebene Leistung ohne Verlust nach B

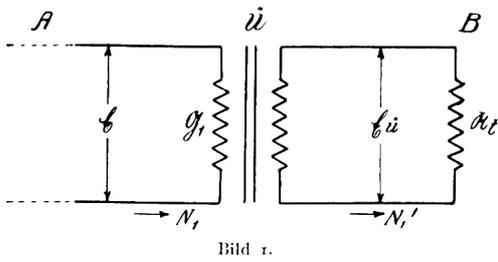


Bild 1.

kommt. Bei einem verlustfreien Übertrager kann die primär aufgenommene Leistung der sekundär an den Verbraucher abgegebenen Leistung gleichgesetzt werden; somit ergibt sich

$$N_1 = N_1' \tag{Gl. 1}$$

Da allgemein

$$N = E \cdot I = \frac{E^2}{|\mathfrak{R}|} = I^2 \cdot |\mathfrak{R}| \text{ ist,}$$

$$\frac{E^2}{|\mathfrak{G}_1|} = \frac{E^2 \cdot \ddot{u}^2}{|\mathfrak{R}_t|}, \tag{Gl. 2}$$

wobei  $E$  = Primärspannung,  
 $E\ddot{u}$  = Sekundärspannung,  
 $\mathfrak{G}$  = Primärscheinwiderstand des Übertragers bei  $\mathfrak{R}_t$  Sekundärbelastung.

Aus Gl. (2):

$$|\mathfrak{G}| = \frac{|\mathfrak{R}_t|}{\ddot{u}^2} \tag{Gl. 3}$$

In gleicher Weise läßt sich der Sekundärwiderstand des Übertragers bei einer Primärbelastung durch  $\mathfrak{R}_m$  berechnen; hierbei ist zu beachten, daß als Übertragerzahl  $\frac{1}{\ddot{u}}$  eingeführt werden muß (Bild 2).

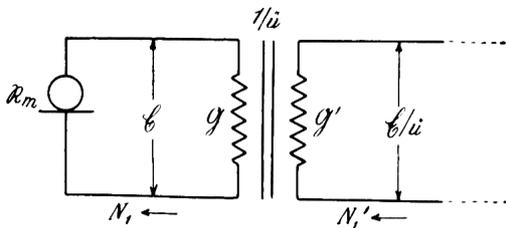


Bild 2.

$$N_1' = N_1 \tag{Gl. 4}$$

$$\frac{E^2}{|\mathfrak{G}_1'|} = \frac{E^2/\ddot{u}^2}{|\mathfrak{R}_m|} \tag{Gl. 5}$$

$$|\mathfrak{G}_1'| = \ddot{u}^2 \cdot \mathfrak{R}_m, \tag{Gl. 6}$$

wobei  $\mathfrak{G}_1'$  = Sekundär-Scheinwiderstand des Übertragers bei  $\mathfrak{R}_m$  Primärbelastung.

Nunmehr läßt sich, hierzu Bild 3, die Gleichung für die vom Telephone  $\mathfrak{R}_t$  über den Eigenwiderstand des

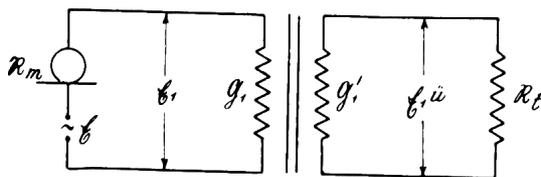


Bild 3.

Mikrophons aufgenommene Leistung bei verlustfreiem Übertrager mit dem Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u}$  berechnen, wenn primär (im Mikrophonstromkreis der sendenden Station) eine Spannung  $\mathfrak{G}$  eingepreßt ist.

$$\mathfrak{G} = \underbrace{\mathfrak{R} \cdot \mathfrak{R}_m}_{\mathfrak{G}_m} + \underbrace{\mathfrak{R} \cdot \mathfrak{G}_1}_{\mathfrak{G}_1} \tag{Gl. 7}$$

Die vom Übertrager aufgenommene Leistung beträgt

$$N_1 = \frac{E_1^2}{|\mathfrak{G}_1|} = I^2 \cdot |\mathfrak{G}_1| = I^2 \frac{|\mathfrak{R}_t|}{\ddot{u}^2} \tag{Gl. 8}$$

und, da

$$I = \frac{E}{|\mathfrak{R}_m + \mathfrak{G}_1|} = \frac{E}{|\mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t/\ddot{u}^2|} = \frac{E \cdot \ddot{u}^2}{|\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t|}$$

wird, ist

$$N_1 = \left[ \frac{E \cdot \ddot{u}^2}{|\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t|} \right]^2 \cdot \frac{|\mathfrak{R}_t|}{\ddot{u}^2} = E^2 \frac{\ddot{u}^4 \cdot |\mathfrak{R}_t|}{(|\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t|)^2 \cdot \ddot{u}^2}$$

$$\frac{N_1 = N_1'}{(\text{Gl. 1})} = E^2 \frac{\ddot{u}^2 \cdot |\mathfrak{R}_t|}{(|\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t|)^2} \tag{Gl. 8}$$

Die Scheinleistung am Hörer  $N_1$  wird ein Maximum, wenn der Differentialquotient

$$\frac{dN_1}{d|\mathfrak{R}_t|} = 0$$

wird.

Werden die Phasenwinkel von  $\mathfrak{R}_m$  und  $\mathfrak{R}_t$  als gleichgroß angenommen, so kann für  $\mathfrak{R}_m$  und  $\mathfrak{R}_t$  der Betrag eingesetzt werden. Zur Vereinfachung der Differentiation wird  $E^2 \cdot \ddot{u}^2 = b$  und  $\ddot{u}^2 \cdot R_m = a$  gesetzt.

$$\frac{dN_1}{dR_t} = \frac{b \cdot R_t}{(a + R_t)^2}$$

$$b \cdot R_t = u; \quad \frac{1}{(a + R_t)^2} = v$$

$$\frac{dN_1}{dR_t} = u \cdot \frac{dv}{dR_t} + v \cdot \frac{du}{dR_t}$$

$$\frac{dv}{dR_t} = \frac{1}{(a + R_t)^2} \cdot dR_t = -\frac{2}{(a + R_t)^3}$$

$$\frac{du}{dR_t} = \frac{b \cdot R_t}{dR_t} = b$$

$$\frac{dN_1}{dR_t} = \frac{-b \cdot R_t \cdot 2}{(a + R_t)^3} + \frac{b}{(a + R_t)^2} = \frac{b}{(a + R_t)^2} - \frac{2bR_t}{(a + R_t)^3} = \frac{b(a + R_t) - 2bR_t}{(a + R_t)^3} = \frac{b(a - R_t)}{(a + R_t)^3}$$

$$\frac{dN_1}{dR_t} = \frac{E^2 \cdot \ddot{u}^2 \cdot (\ddot{u}^2 R_m - R_t)}{(\ddot{u}^2 \cdot R_m + R_t)^3} = 0 \tag{Gl. 9}$$

Setzt man den Zähler

$$E^2 \cdot \ddot{u}^2 (\ddot{u}^2 \cdot R_m - R_t) = 0,$$

so ist

$$\ddot{u}^2 R_m - R_t = 0$$

$$\boxed{\ddot{u}^2 R_m = R_t. \tag{Gl. 10}}$$

Gleichung (10) in Gleichung (8) eingesetzt, ergibt:

$$N_{1\text{max}} = \frac{E^2 \cdot \ddot{u}^2}{4|\mathfrak{R}_t|} \cdot (\text{Gl. 11}); \quad N_{1\text{max}} = \frac{E^2}{4|\mathfrak{R}_m|} \tag{Gl. 11'}$$

Gl. (10) besagt, daß das Übersetzungsverhältnis der Übertrager  $\ddot{u}$  so gewählt werden muß, daß der Mikrophonwiderstand auf den Fernhörerwiderstand umgebildet wird.

2) Um wechselseitiges Sprechen zu ermöglichen, muß jeder Apparat mit Sprech- und Höreinrichtung versehen sein. Im nachfolgenden soll daher die Rechnung wie unter 1) für zwei vollständige Fernsprecher durchgeführt werden. Mikrophon und Telephon werden als in Reihe liegend angenommen (im Verlauf der Rechnung werden wir sehen, daß die Reihenschaltung bei Streckenfernsprechleitungen konstruktiv notwendig ist). Unter Zugrundelegung von Bild 4 ergibt sich folgendes:

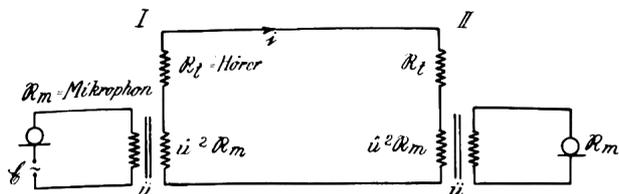


Bild 4

Eine EMK =  $\mathcal{E}$  im Mikrophon des Sprechers erzeugt in der Sekundärwicklung des Übertragers eine EMK ( $\mathcal{E} \cdot \ddot{u}$ ), welche einen Strom  $i$  durch ihren inneren Widerstand  $\mathfrak{R}_m \cdot \ddot{u}^2$ , den Scheinwiderstand  $\mathfrak{R}_t$  des eigenen Hörers, den Scheinwiderstand  $\mathfrak{R}_t$  des fremden Hörers und den Scheinwiderstand  $\mathfrak{R}_m \cdot \ddot{u}^2$  des fremden Mikrophonübertragers schiebt. Die Summe der einzelnen Spannungsabfälle in diesem Kreis muß gleich der induzierten Spannung sein, als

$$\begin{aligned} \ddot{u} \cdot \mathcal{E} &= i (\ddot{u}^2 \cdot \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t + \mathfrak{R}_t + \ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m) \\ &= 2 i (\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t); \end{aligned}$$

oder

$$i = \frac{\ddot{u} \cdot \mathcal{E}}{2 (\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t)}$$

oder die vom Hörer der Sprechstelle II aufgenommene Leistung

$$N_2 = i^2 \cdot \mathfrak{R}_t = \frac{E^2 \cdot \ddot{u}^2 \cdot \mathfrak{R}_t}{4 (\mathfrak{R}_m \cdot \ddot{u}^2 + \mathfrak{R}_t)^2} \quad (\text{Gl. 12})$$

Gl. (12) verschafft uns die Erkenntnis, daß die auf den Hörer übertragene Leistung nur noch ein Viertel derjenigen Leistung beträgt, die nach Bild 3 auf den Hörer übertragen wurde. Drei Viertel der Leistung werden durch die beiden Mikrophone und den Hörer des Fernsprechers I verschluckt.

Unter der Annahme gleicher Winkel kann für  $\mathfrak{R}_t$  und  $\mathfrak{R}_m$  der Betrag allein eingesetzt werden.

$$\begin{aligned} \frac{dN_2}{dR_t} &= \frac{\ddot{u}^2 E^2}{4 (\ddot{u}^2 R_m + R_t)^2} = \frac{2 \ddot{u}^2 R_t E^2}{4 (\ddot{u}^2 R_m + R_t)^3} \\ &= \frac{\ddot{u}^2 E^2 (\ddot{u}^2 R_m - R_t)}{4 (\ddot{u}^2 R_m + R_t)^3} = 0 \end{aligned}$$

und daher wieder

$$\ddot{u}^2 \cdot R_m = R_t$$

3) Die Rechnungen unter I, 1) und I, 2) haben wir unter der Voraussetzung durchgeführt, daß keine Leitung vorhanden ist. Verbinden wir nunmehr die beiden Fernsprecher durch eine Leitung und zwar im Hinblick auf den Zweck unserer Rechnung durch eine Leitung mit großer Fortpflanzungskonstante  $\gamma$ , eine Annahme, die bei Leitungen mit 15 parallel geschalteten Sprechstellen zweifellos zutrifft, so erhalten wir am

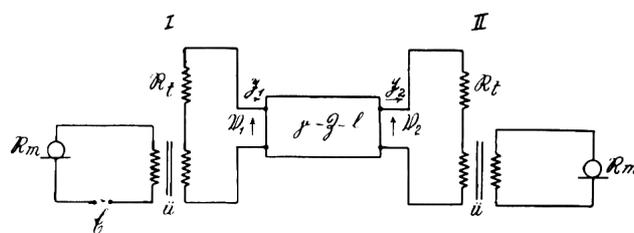


Bild 5

Hörer der Sprechstelle II mit Hilfe der Vierpol-Gleichungen und unter Zugrundelegung von Bild 5 eine Leistung

$$N_3 = I_2^2 \cdot \mathfrak{R}_t = E^2 \cdot \ddot{u}^2 \cdot e^{-2\gamma l} \left| \frac{4 \mathfrak{R}_t \cdot \mathfrak{R}_t}{[\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t + \mathfrak{R}_t]^2} \right| \quad (\text{Gl. 13})$$

Setzt man die Leistungen  $N_1$ ,  $N_{1\max}$ ,  $N_2$  und  $N_3$  zueinander ins Verhältnis, so ergeben sich daraus die Dämpfungen, die durch die Glieder verursacht werden, mit denen wir die Verbindungen aufgebaut haben, und zwar

$b'_{\text{spr}}$  (= Dämpfungsanteil beim Sprechvorgang) (Gl. 14)

$$\begin{aligned} &= \ln \sqrt{\frac{\text{Gl. (11)}}{\text{Gl. (8)}}} = \ln \sqrt{\frac{N_{1\max}}{N_1}} \\ &= \ln \sqrt{\frac{E^2 (\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t)^2}{4 \mathfrak{R}_m \cdot \ddot{u}^2 \mathfrak{R}_t \cdot E^2}} \\ b'_{\text{spr}} &= \ln \left| \frac{\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t}{2 \ddot{u} \sqrt{\mathfrak{R}_m \cdot \mathfrak{R}_t}} \right|; \quad (\text{Gl. 14}) \end{aligned}$$

d. h.  $b'_{\text{spr}}$  ist diejenige Betriebsdämpfung, die durch Hörer und Mikrophon für den Sprechvorgang in der Gegenrichtung verursacht werden. Diese Betriebsdämpfung wird unter Zugrundelegung der Apparatur von Bild 3 und bei Erfüllung der Gl. (10) zu einem Minimum, d. h. zu Null. Diese Art von Betriebsdämpfung wird auch mit innerer Dämpfung  $b_i$  bezeichnet.

$$\begin{aligned} b''_{\text{spr}} &= \ln \sqrt{\frac{\text{Gl. (11)}}{\text{Gl. (12)}}} = \ln \sqrt{\frac{N_{1\max}}{N_2}} \\ &= \ln \sqrt{\frac{E^2 \cdot \ddot{u}^2}{4 \mathfrak{R}_t} \cdot \frac{4 (\mathfrak{R}_m \cdot \ddot{u}^2 + \mathfrak{R}_t)^2}{E^2 \cdot \ddot{u}^2 \cdot \mathfrak{R}_t}} \\ &= \ln \sqrt{\frac{E^2}{4 \mathfrak{R}_m} \cdot \frac{4 (\mathfrak{R}_m \cdot \ddot{u}^2 + \mathfrak{R}_t)^2}{E^2 \cdot \ddot{u}^2 \cdot \mathfrak{R}_t}} = \ln \left| \frac{R_m \cdot \ddot{u}^2 + \mathfrak{R}_t}{\ddot{u} \sqrt{\mathfrak{R}_m \cdot \mathfrak{R}_t}} \right| \quad (\text{Gl. 15}) \end{aligned}$$

Wenn wiederum  $\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m = \mathfrak{R}_t$  wird und für den Fall der Phasenwinkelgleichheit ergibt sich:

$$b''_{\text{spr}} = \ln \left| \frac{\mathfrak{R}_t + \mathfrak{R}_t}{\mathfrak{R}_t} \right| = \ln 2 = 2,3 \cdot 0,30103 = 0,69$$

d. h.  $b''_{\text{spr}}$  ist die Betriebsdämpfung, die durch den Hörer sowie durch das Mikrophon der Gegensprechrichtung verursacht wird.

Für den Fall, daß zwischen den gleich großen Werten von  $\mathfrak{R}_t$  und  $\mathfrak{R}_m$  eine Phasendifferenz besteht, wird die Dämpfung  $b''_{\text{spr}}$  um so kleiner, je mehr sich diese Phasendifferenz  $180^\circ$  nähert. Wie aus Bild 9 zu ersehen, beträgt die Dämpfung  $b''_{\text{spr}}$  bei der normalerweise vorhandenen Phasendifferenz  $\tau = 20^\circ$  zwischen  $\mathfrak{R}_m$  und  $\mathfrak{R}_t$

$$b''_{spr} = 0,68 \text{ Neper.}$$

$$b'''_{spr} = \ln \sqrt{\frac{N_2}{N_3}} = \ln \sqrt{\frac{Gl. (I2)}{Gl. (I3)}} \\ = \ln \sqrt{\left| \frac{E^2 \cdot \ddot{u}^2 \cdot \mathfrak{R}_t}{4(\mathfrak{R}_m \cdot \ddot{u}^2 + \mathfrak{R}_t)^2} \cdot \frac{(\ddot{u}^2 \cdot \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t + \beta)^4}{4 E^2 \cdot \ddot{u}^2 \cdot \beta^2 \cdot \mathfrak{R}_t} \right| e^{2\gamma}} \quad (Gl. I6)$$

$$b'''_{spr} = \underbrace{\gamma}_{b} + \ln \left| \frac{(\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t + \beta)^2}{4 \beta (\mathfrak{R}_m \cdot \ddot{u}^2 + \mathfrak{R}_t)} \right| \quad (Gl. I6)$$

An Stelle von  $\gamma$  kann  $\beta$  gesetzt werden, da

$$e^\gamma = e^\beta \cdot e^{i\alpha}$$

und  $|e^\beta| e^{i\alpha} = e^\beta \cdot \mathbf{1}$  ist.

$b$  bedeutet hier die Betriebsdämpfung, welche durch die Leitung verursacht wird; sie wird weiterhin mit  $b_L$  bezeichnet.

Der zweite Ausdruck der Gleichung enthält in  $\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t$  den Scheinwiderstand des gesamten Sprechkreises im Apparat; er wird zu Null, wenn

$$\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t = \beta \quad (Gl. I7)$$

d. h. gleich dem Wellenwiderstand der Leitung wird. Die Teildämpfung, die durch das zweite Glied dargestellt wird, bezeichnen wir mit Anpassungsdämpfung oder  $b_a$ .

Die Gesamtdämpfung einer Fernsprechverbindung mit zwei Fernsprechern (A, I) setzt sich somit zusammen aus

$$b_{spr \text{ Gesamt}} = b_L + 2 \frac{b_a}{2} + 2 \frac{b_i}{2} \quad (Gl. I8)$$

Zu dem gleichen Ergebnis kommt man auch, wenn man von der Gleichung für die Betriebsdämpfung eines Vierpolystems (nach Bild 6) mit gleichem Abschlußwiderstand ausgeht; sie lautet:

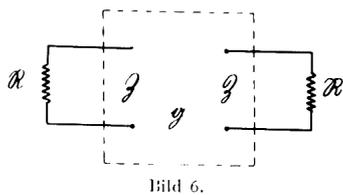


Bild 6.

$$b_{ges} = b_L + 2 \ln \left| \frac{\mathfrak{R} + \beta}{2\sqrt{\mathfrak{R} \cdot \beta}} \right| + \ln \left| \mathbf{1} - \left( \frac{\mathfrak{R} - \beta}{\mathfrak{R} + \beta} \right)^2 \right| \cdot e^{-2\alpha} \quad (Gl. I8')$$

wobei  $b_L$  die Leitungsdämpfung,

der zweite Ausdruck die Stoßdämpfung und

der dritte Ausdruck die Reflexionsdämpfung angibt.

Der dritte Ausdruck kann in unserem Fall vernachlässigt werden. Er ist gleich Null, da die Leitung elektrisch lang ist,  $\alpha$  sehr groß, damit  $e^{-2\alpha}$  sehr klein; d. h. die Reflexionen sind unschädlich.

Da in der vorliegenden Rechnung

$$\mathfrak{R} = \ddot{u}^2 \cdot \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t$$

ist, wird Gl. (I8') umgeformt in

$$b_{ges} = b_L + \ln \left| \frac{(\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t + \beta)^2}{4 \beta (\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m + \mathfrak{R}_t)} \right| \quad (Gl. I6)$$

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß bei einer idealen Fernsprechverbindung mit je einer Sprechstelle am Anfang und Ende der Scheinwiderstand des Apparats gleich dem Wellenwiderstand der Leitung und der Scheinwiderstand des Hörers gleich dem Scheinwiderstand des Übertragers einschließlich des Mikrophons sein muß.

## II. Berechnung der optimalen Sprech-einrichtungen für Fernsprechkreise mit Zwischenstellen.

Welche Änderungen müssen an den Sprech-einrichtungen vorgenommen werden, wenn in der Leitung mehrere Apparate parallel geschaltet sind?

Daß in diesem Falle der Gesamtscheinwiderstand der Sprechstelle nicht gleich  $\beta$  gesetzt werden kann, ist klar, da ja die gesamte erzeugte Leistung nur dazu hinreichen würde, eine Sprechstelle mit Energie zu versorgen. Wir müssen also den Scheinwiderstand der Sprechstelle gegenüber dem Wellenwiderstand der Leitung vervielfachen. Je höher wir den Scheinwiderstand nehmen, um so weniger werden die in die Leitung eingeschalteten Sprechstellen durch Energieentzug die Verständigung schwächen, um so mehr werden sich jedoch die Unterschiede zwischen dem Scheinwiderstand der Sprechstellen und dem Wellenwiderstand der Leitung dämpfungsvergrößernd bemerkbar machen. Die Verluste, die bei einem Gespräch zwischen zwei Teilnehmern durch die übrigen zur Leitung parallel geschalteten Sprechstellen hervorgerufen werden, und die Verluste, die dadurch verursacht sind, daß der Scheinwiderstand der Sprechstelle größer als der Wellenwiderstand der Leitung sein muß, ändern sich mit dem Scheinwiderstand der Sprechstelle im entgegengesetzten Sinn. Um ein Optimum zu erreichen, müssen wir also bei mehreren parallel geschalteten Apparaten darnach streben, die Gesamtdämpfung zwischen zwei Teilnehmern in Abhängigkeit vom Scheinwiderstand des Apparats zu einem Minimum zu machen. Bei den nachfolgenden Betrachtungen nehmen wir eine Kreisfrequenz = 5000 an; hierbei darf der Wellenwiderstand auch bei belasteten Leitungen als konstant angesehen werden.

Da die beiden Endapparate einer Streckenfern-sprechleitung in bezug auf die Energieübertragung am ungünstigsten liegen, so nehmen wir an, daß zwischen diesen beiden Apparaten gesprochen wird und berechnen die Energieverluste, die durch die Zwischenapparate bei verschiedenen Scheinwiderständen verursacht sind. Und zwar berechnen wir zunächst den Leistungsverbrauch einer einzigen Sprechstelle unabhängig von den übrigen, was angängig sein dürfte, nachdem der Scheinwiderstand der Apparate groß sein wird gegenüber dem Wellenwiderstand der Leitung. Die Gesamtverluste aller Sprechstellen sind dann mit hinreichender Genauigkeit gleich der Summe der einzelnen Verluste.

Ersetzt man die vom Sendeapparat her wirksame EMK durch eine treibende Spannung  $\mathfrak{E}$  am Eingang der Zwischensprechstelle mit dem Scheinwiderstand  $\mathfrak{R}$ , ordnet als inneren Widerstand den Scheinwiderstand  $\beta_1$  der ankommenden Leitung zu und schaltet zu  $\mathfrak{R}$  den Scheinwiderstand der abgehenden Leitung  $\beta_2$  parallel (Bild 7), so erhält man für die Spannung  $\mathfrak{E}$  unter der Voraussetzung, daß  $\mathfrak{R} = \infty$  die Gleichung:

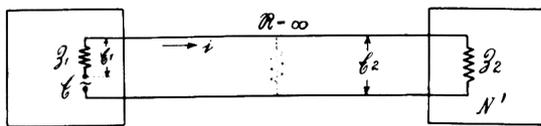


Bild 7.

$$U = \frac{i \cdot Z_1}{\epsilon_1} + \frac{i \cdot Z_2}{\epsilon_2}$$

Für den Gesamtstrom, der durch die Spannung  $U$  in dem Stromkreis hervorgerufen wird, gilt:

$$i = \frac{U}{Z_1 + Z_2}$$

und für die Leistung, die  $Z_2$  bei  $R = \infty$  aufnimmt,

$$N' = E_2 \cdot i = i^2 \cdot |Z_2| = \left| \frac{E^2 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \right| \quad (\text{Gl. 19})$$

wobei

$$i = \frac{U}{Z_1 + Z_2}$$

Hat jedoch  $R$  einen endlichen Wert, so nimmt es einen Teil der Leistung, die von  $Z_1$  in den Stromkreis gelangt, weg und verändert so die bei  $Z_2$  ankommende Leistung (Bild 8).

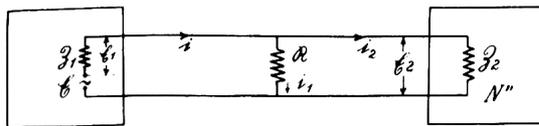


Bild 8.

$$U = \frac{i \cdot Z_1}{\epsilon_1} + \frac{i \cdot Z_2}{\epsilon_2}$$

wobei  $Z = \frac{R \cdot Z_2}{R + Z_2}$  und  $i = \frac{U}{Z_1 + Z}$

$$N'' = \left| \frac{E_2^2}{Z_2} \right| = \left| \frac{(i \cdot Z)^2}{Z_2} \right| = \left| \frac{E^2 \cdot Z^2}{Z_2 (Z_1 + Z)^2} \right|$$

$$= \left| \frac{E^2 \left( \frac{R \cdot Z_2}{R + Z_2} \right)^2}{Z_2 \left( Z_1 + \frac{R \cdot Z_2}{R + Z_2} \right)^2} \right| = \left| \frac{E^2 \cdot R^2 \cdot Z_2^2}{Z_2 \cdot [Z_1 (Z_2 + R) + R \cdot Z_2]^2} \right|$$

$$N'' = E^2 \left| \frac{R^2 \cdot Z_2}{[Z_1 (Z_2 + R) + R \cdot Z_2]^2} \right| \quad (\text{Gl. 20})$$

Aus Gl. (19) und (20) ergibt sich die Betriebsdämpfung einer Zwischenstelle zu:

$$b_{\text{Zwischenstelle}} = \ln \sqrt{\frac{N'}{N''}} = \ln \sqrt{\frac{\text{Gl. (19)}}{\text{Gl. (20)}}}$$

$$= \ln \sqrt{\left| \frac{E^2 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \right| \cdot \left| \frac{[Z_1 (Z_2 + R) + R \cdot Z_2]^2}{E^2 \cdot R^2 \cdot Z_2} \right|}$$

$$= \ln \left| \frac{(Z_1 + Z_2) R + Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2) R} \right| \quad (\text{Gl. 21})$$

$$b_{\text{Zwischenstelle}} = \ln \left| 1 + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{R (Z_1 + Z_2)} \right| \quad (\text{Gl. 21})$$

Setzt man nun  $Z_1 = Z_2 = Z$  oder in Worten: bei Sprechstellen in der Mitte der Leitung soll der Scheinwiderstand der ankommenden und abgehenden Leitung

gleich dem Wellenwiderstand der Leitung gesetzt werden, so erhält man:

$$b_z' = \ln \left| 1 + \frac{Z}{2R} \right| \quad (\text{Gl. 21'})$$

Setzt man  $Z_2 = R$  und  $Z_1 = Z$ , oder in Worten: bei Sprechstellen, die dem Leitungsende benachbart liegen, kommt einer der beiden Scheinwiderstände  $Z_1$  oder  $Z_2$  dem Scheinwiderstand der Abschlusssprechstelle um so näher, je geringer die Entfernung vom Leitungsende ist;  $Z_1$  bzw.  $Z_2$  wird bei genügend kleinem Abstand  $R$  gleich. Man erhält so:

$$b_z'' = \ln \left| 1 + \frac{Z}{3 + R} \right| \quad (\text{Gl. 21''})$$

Für die Beurteilung der Dämpfung sämtlicher eingeschalteter Sprechstellen genügt es, den Mittelwert

$$b_{\text{mittlerer Zwischenstelle}} = b_{mz} = \frac{b_z' + b_z''}{2} \quad (\text{Gl. 21'''})$$

mit der Zahl der Zwischenstellen zu vervielfachen.

Der günstigste Scheinwiderstand des Apparats läßt sich nun errechnen, wenn die Zahl der parallel geschalteten Fernsprecher und der Wellenwiderstand der

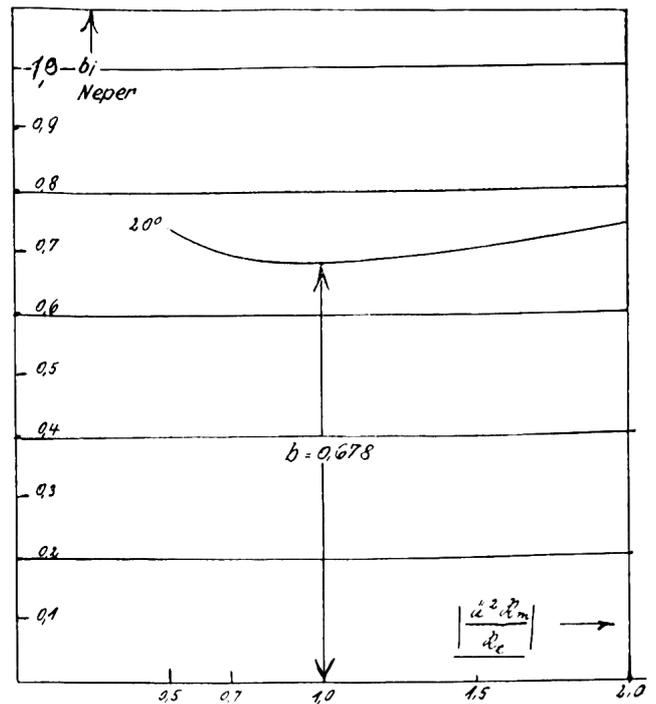


Bild 9.

Innere Betriebsdämpfung ( $b_i$ ) abhängig von Phasenabstand und Verhältnis der Einzelimpedanzen des Fernsprechers.

$$b_i = \ln \left| \frac{\dot{u}^2 \cdot R_m + R_t}{\dot{u} \sqrt{R_m - R_t}} \right| \quad (\text{vergl. Gl. 15})$$

Nach dem Cosinussatz ergibt sich

$$b_i = \ln \frac{\sqrt{\dot{u}^4 R_m^2 + R_t^2 + 2 \dot{u}^2 R_m R_t \cos \tau}}{\dot{u} \sqrt{R_m \cdot R_t}}$$

$\tau$  wird zu  $20^\circ$  angenommen!

Begründung:  $\tau =$  Differenz zwischen Phasenwinkel des Hörers und dem Phasenwinkel des umgebildeten Mikrophonwiderstandes.

$$\tau = 50^\circ - 30^\circ = 20^\circ$$

Erfahrungswerte

Leitung gegeben sind. Für diesen Scheinwiderstand muß die Gesamtdämpfung ein Minimum werden.

Zur Ermittlung des günstigsten Verhältnisses von  $\left| \frac{\Re}{\Im} \right|$  müssen versuchsweise allgemeine Untersuchungen für die verschiedenen Werte von  $\left| \frac{\Re}{\Im} \right|$ , für verschiedene Phasenwinkel sowie für eine verschiedene Anzahl von Fernsprechern angestellt werden.

Auf Bild 9 (S. 189) haben wir die Kurve für die innere Betriebsdämpfung  $b_i$  bei einem Phasenwinkel von  $20^\circ$  für verschiedene Verhältnisse von  $\left| \frac{\Re_m}{\Re_t} \right|$  aufgezeichnet. Das Optimum von  $b_i$  ergibt sich zu 0,678 Neper (s. auch Gl. 15) und dient als Festwert für die nachfolgenden Betrachtungen.

Bild 10 (S. 191) zeigt die Kurven der äußeren Anpassungsdämpfung  $b_a$  und Bild 11 (S. 191) die Kurven der mittleren Betriebsdämpfung für verschiedene  $\left| \frac{\Re}{\Im} \right|$  und die Phasenwinkel  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$  und  $90^\circ$ .

Die Summen der Ordinaten der Schaulinien (Bild 9,

10 und 11) ergeben die Kurven Bild 12 (S. 193) für verschiedene  $\left| \frac{\Re}{\Im} \right|$  und verschiedene Phasenwinkel, aber für die bestimmte Zahl von 15 Fernsprechern. In gleicher Weise wäre es notwendig die Kurven für beliebige andere Zahlen von Fernsprechern aufzutragen. In jedem dieser Fälle würde sich, wie bei Bild 12, für ein bestimmtes Verhältnis  $\left| \frac{\Re}{\Im} \right|$  ein flaches Minimum der Kurven zwischen zwei bestimmten Werten von  $\left| \frac{\Re}{\Im} \right|$  ergeben.

Auf Bild 12 haben wir ein flaches Minimum zwischen  $\left| \frac{\Re}{\Im} \right| = 4$  bis 11 bei einem Phasenwinkel von  $60^\circ$ , einem Wert, der sich konstruktiv erreichen läßt. Bei 15 Fernsprechern ist somit ein größerer Spielraum für das Verhältnis  $\left| \frac{\Re}{\Im} \right|$  gegeben. Die üblichen Grenzwerte von  $Z$  sind

$$Z = 400 \text{ Ohm und} \\ Z = 1600 \text{ Ohm,}$$

im Mittel also  $Z = 1000 \text{ Ohm}$ .

Hilfstabelle zu Bild 9.

Rechnungsgang zur Ermittlung der Kurve von Bild 9.

$$b_i = \ln \frac{\sqrt{\ddot{u}^4 \Re_m^2 + \Re_t^2 + 2 \ddot{u}^2 \Re_m \cdot \Re_t} \cos \tau}{\ddot{u} \sqrt{\Re_m \cdot \Re_t}}$$

$$b_i = \ln \frac{\sqrt{\ddot{u}^4 \cdot R_m^2 + R_t^2 + 2 \ddot{u}^2 \cdot R_m \cdot R_t} \cos \tau}{\ddot{u} \sqrt{R_m \cdot R_t}}$$

wobei  $\frac{\ddot{u}^2 R_m}{R_t} = a$

$$R_t = \frac{\ddot{u}^2 \Re_m}{a}$$

$$b_i = \ln \frac{\sqrt{\ddot{u}^4 R_m^2 + \frac{\ddot{u}^2 \cdot R_m^2}{a^2} + 2 \ddot{u}^2 \cdot R_m \cdot \frac{\ddot{u}^2 R_m}{a}} \cos \tau}{\ddot{u} \sqrt{R_m \cdot \frac{R_m \cdot \ddot{u}^2}{a}}}$$

$$= \ln \frac{\sqrt{\ddot{u}^4 \cdot R_m^2 \left( 1 + \frac{1}{a^2} + \frac{2 \cdot \cos \tau}{a} \right)}}{\ddot{u}^4 \cdot R_m^2 \cdot \frac{1}{a}}$$

$$= \ln \frac{\sqrt{1 + \frac{1}{a^2} + \frac{2 \cdot \cos \tau}{a}}}{\frac{1}{a}} = \ln \sqrt{a + \frac{1}{a} + 2 \cos \tau}$$

$$= \ln \sqrt{2 \cos \tau + a + \frac{1}{a}}$$

$a = 0,5 \mid 0,7 \mid 1,0 \mid 1,5 \mid 2,0; \quad \tau = 20^\circ$

Hilfstabelle zu Bild 10.

Beispiel für den Rechnungsgang zur Ermittlung der Kurven von Bild 10 für  $\left| \frac{\Re}{\Im} \right| = 20$

$$b_a = \ln \left| \frac{(\ddot{u}^2 \Re_m + \Re_t + \Im)^2}{4 \Im (\ddot{u}^2 \Re_m + \Re_t)} \right|$$

wobei  $\ddot{u}^2 \Re_m = \Re_t; \quad \Re_t = \ddot{u}^2 \Re_m + \Re_t$  und  $\left| \frac{\Re}{\Im} \right| = a = 20$

$\Im$  wird ohne  $\underline{\quad}$  angenommen

$$b_a = \ln \left| \frac{(\ddot{u}^2 \Re_m + \Re_t + \Im)^2}{4 \Im (\ddot{u}^2 \Re_m + \Re_t)} \right|$$

$$\Re_t = \ddot{u}^2 \Re_m + \Re_t = 2 \Re_t$$

$$\Im = \frac{|\Re|}{a} = 2 \frac{|\Re_t|}{a}$$

$$b_a = \ln \left| \frac{\left( 2 \Re_t + 2 \frac{|\Re_t|}{a} \right)^2}{8 \frac{|\Re_t|}{a} (2 \Re_t)} \right|; \quad 2 \Re_t = 2 |\Re_t| \varphi$$

$$b_a = \ln \left| \frac{4 |\Re_t|^2 \left( 1 + \varphi + \frac{1}{a} \right)^2}{4 \frac{|\Re_t|^2}{a} 4 \left( 1 + \varphi \right)} \right|$$

$$= \frac{a \left( 1 + \varphi + \frac{1}{a} \right)^2}{4 \left( 1 + \varphi \right)} = \frac{a}{4} \left( \frac{1 + \varphi + \frac{1}{a}}{1 + \varphi} \right)^2$$

$$b_a = \ln \frac{a}{4} \left| \left( \frac{1 + \varphi + \frac{1}{a}}{1 + \varphi} \right)^2 \right|; \quad 1 + \varphi = \cos \varphi + j \sin \varphi$$

Zu Bild 9.

$a$	$\frac{1}{a}$	$2 \cos \tau$	$a + \frac{1}{a} + 2 \cos \tau$	$\sqrt{a + \frac{1}{a} + 2 \cos \tau}$	$\log \sqrt{\quad}$	$\ln \sqrt{\quad} = b$ ( $z, 1 \cdot \log \sqrt{\quad}$ )
0,5	2,0	} $2 \cdot 0,94$ } } $= 1,88$ }	4,38	2,094	0,3210	0,738
0,7	1,428		4,008	2,002	0,3015	0,693
1,0	1,0		3,88	1,970	0,2944	0,678
1,5	0,667		4,047	2,012	0,3038	0,699
2,0	0,5		4,38	2,094	0,3210	0,738

Zu Bild 10.

$\varphi$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi = B$	$\cos \varphi + \frac{1}{\alpha} = A$	$A^2 + B^2$	$\frac{\alpha}{4} (A^2 + B^2)$	$\log \frac{\alpha}{4} (A^2 + B^2)$	$\ln \frac{\alpha}{4} (A^2 + B^2)$
0°	1	0	1,05	1,104	5,520	0,742	1,706
30°	0,866	0,5	0,915	1,086	5,430	0,7348	1,690
60°	0,5	0,866	0,55	1,053	5,265	0,7216	1,659
90°	0	1	0,05	1,00	5,000	0,6990	1,607

$$\alpha = 20; \frac{1}{\alpha} = 0,05; \frac{\alpha}{4} = 5$$

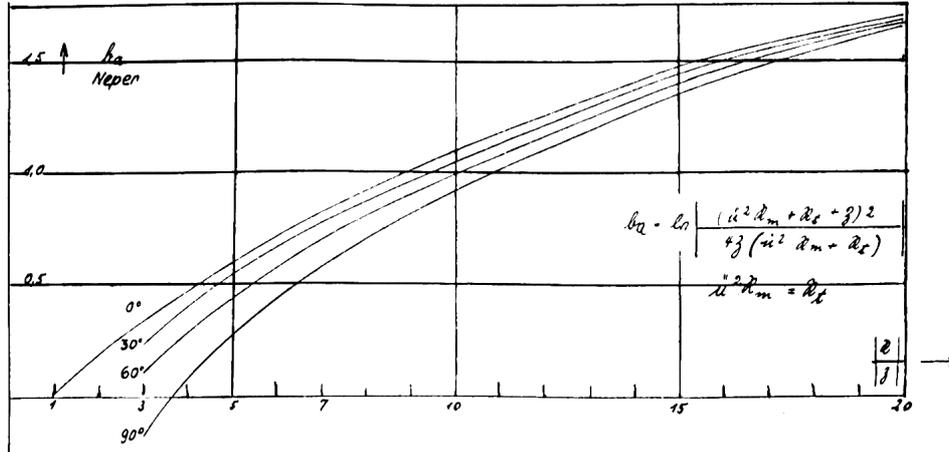


Bild 10. Äußere Anpassungsdämpfung ( $b_a$ ) abhängig von Phasenabstand und Verhältnis des Apparat-Scheinwiderstandes zum Wellenwiderstand.

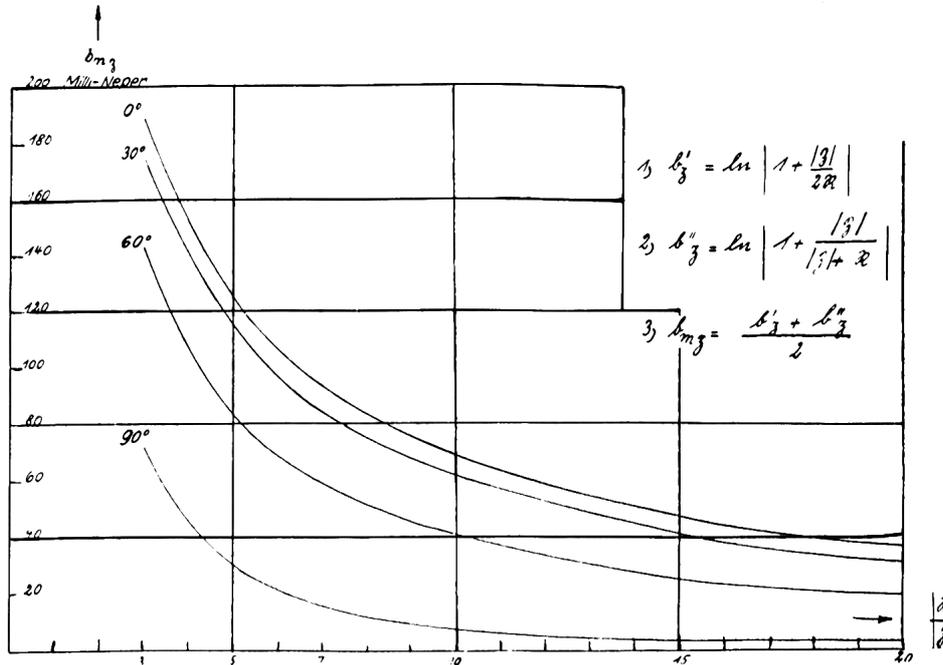


Bild 11. Mittlere Betriebsdämpfung einer Fernsprechzwischenstelle abhängig vom Phasenabstand und Verhältnis des Apparat-Scheinwiderstandes zum Wellenwiderstand.

Hilfstabelle zu Bild 11.

$\alpha$	Betriebsdämpfung $b'_3$ in mN für $\varphi_{30}^\circ$				Betriebsdämpfung $b''_3$ in mN für $\varphi_{30}^\circ$				Mittlere Betriebsdämpfung $b_{m3}$ in mN für $\varphi_{30}^\circ$			
	0°	30°	60°	90°	0°	30°	60°	90°	0°	30°	60°	90°
3	154,8	133,0	89,6	14,0	223,2	218,5	197,0	131,6	1891,1	125,8	143,3	72,8
5	95,7	84,7	52,9	5,3	154,5	145,1	115,7	55,2	125,1	114,9	84,3	39,3
7	69,5	60,5	37,3	2,8	117,8	108,7	80,2	29,2	93,7	84,6	58,8	16,0
10	49,0	43,8	27,2	1,1	87,7	80,1	55,0	15,4	68,4	62,0	41,1	8,3
15	32,9	29,0	17,3	0,7	60,8	54,5	36,1	6,7	46,9	41,8	26,7	3,7
20	25,1	21,6	12,7	0,7	48,1	41,9	26,7	4,4	36,6	31,8	19,7	2,6

Hilfsrechnung zu Bild 11.

a) Betriebsdämpfung einer Fernsprechzwischenstelle

$$b_3' = \ln \left| 1 + \frac{\left| \frac{R}{Z} \right|}{2} \right|$$

$\left  \frac{R}{Z} \right $	$\varphi_{RH}$	$\left  \frac{R}{Z} \right  \times 10^3$	$a = \left  \frac{R}{Z} \right  \cos \varphi$	$b = \left  \frac{R}{Z} \right  \sin \varphi$	$(1+a)^2 \cdot 10^3$	$b^2 \cdot 10^3$	$\sqrt{(1+a)^2 + b^2}$ $\times 10^3$	$\log V' \cdot 10^3$	$2,3 \log V' \cdot m N$
3	0°	166,7	166,7	0,0	—	—	1166,7	67,1	154,8
	30°	166,7	144,3	83,3	1309	7	1147,0	57,8	133,0
	60°	166,7	83,3	144,3	1173	21	1093,0	38,9	89,6
	90°	166,7	0,0	166,7	1000	28	1014,0	6,1	14,0
5	0°	100,0	100,0	0,0	—	—	1100,0	45,5	95,7
	30°	100,0	86,6	50,0	1181	3	1088,0	30,8	64,7
	60°	100,0	50,0	86,6	1102	8	1054,0	23,0	52,9
	90°	100,0	0,0	100,0	1000	10	1005,0	2,3	5,3
7	0°	71,4	71,4	0,0	—	—	1071,4	30,2	69,5
	30°	71,4	61,8	35,7	1128	1,3	1061,0	26,3	60,5
	60°	71,4	35,7	61,8	1073	4	1037,5	16,2	37,3
	90°	71,4	0,0	71,4	1000	5	1002,5	1,2	2,8
10	0°	50,0	50,0	0,0	—	—	1050,0	21,3	49,0
	30°	50,0	43,3	25,0	1089	1	1044,0	19,0	43,8
	60°	50,0	25,0	43,3	1051	2	1027,0	11,8	27,2
	90°	50,0	0,0	50,0	1000	3	1001,0	0,5	1,1
15	0°	33,33	33,33	0,0	—	—	1033,3	14,3	32,9
	30°	33,33	28,87	16,67	1059	0,3	1029,0	12,6	29,0
	60°	33,33	16,67	28,87	1033	1	1017,0	7,5	17,3
	90°	33,33	0,0	33,33	1000	1	1000,5	0,3	0,7
20	0°	25,0	25,0	0,0	—	—	1025,0	10,9	25,1
	30°	25,0	21,66	12,5	1044	0,2	1022,0	9,4	21,6
	60°	25,0	12,50	21,66	1025	0,4	1012,5	5,5	12,7
	90°	25,0	0,0	25,0	1000	0,6	1000,5	0,3	0,7

b) Betriebsdämpfung einer Fernsprechzwischenstelle

$$b_3'' = \ln \left| 1 + \frac{\left| \frac{R}{Z} \right|}{\left| \frac{R}{Z} \right| + 9} \right| = \ln \left| 1 + \frac{1}{1 + \frac{9}{\left| \frac{R}{Z} \right|}} \right| = \ln \left| 1 + \frac{1}{1 + \frac{9}{\left| \frac{R}{Z} \right|} \left| \varphi_{RH} \right|} \right|$$

$\left  \frac{R}{Z} \right $	$\varphi_{RH}$	$a = \left  \frac{R}{Z} \right  \cos \varphi$	$b = \left  \frac{R}{Z} \right  \sin \varphi$	$\sqrt{\frac{1}{V'}}$	$\frac{1}{V'}$	$\frac{1}{V'} \cos \varphi = A$	$\frac{1}{V'} \sin \varphi = B$	$(1+A)^2$	$B^2$	$(1+A)^2 + B^2$	$\sqrt{\quad}$	$\log V'$	$b_3'' = 2,3 \log V'$	
3	0°	3	0	4	0,25	0°	0,25	0	1,562	0	1,562	1,2500	0,0970	0,2232
	30°	2,597	1,5	3,872	0,2582	22°48'	0,2398	0,100	1,538	0,010	1,548	1,2440	0,0949	0,2185
	60°	1,5	2,597	3,602	0,2876	46°5'	0,1995	0,2072	1,439	0,043	1,482	1,2175	0,0856	0,1970
	90°	0	3	3,162	0,3162	71°33'	0,1001	0,300	1,210	0,090	1,300	1,1400	0,0572	0,1316
5	0°	5	0	6	0,1667	0°	0,1667	0	1,361	0	1,361	1,1670	0,0671	0,1545
	30°	4,33	2,5	5,888	0,1698	25°8'	0,1537	0,0722	1,331	0,0052	1,336	1,1560	0,0630	0,1451
	60°	2,5	4,33	5,568	0,1796	51°3'	0,1129	0,1307	1,240	0,0196	1,260	1,1225	0,0503	0,1152
	90°	0	5	5,100	0,1961	78°42'	0,0384	0,1923	1,079	0,0370	1,116	1,0570	0,0240	0,0552
7	0°	7	0	8	0,1250	0°	0,1250	0	1,267	0	1,267	1,1250	0,0512	0,1178
	30°	6,06	3,5	7,880	0,1268	26°22'	0,1138	0,0564	1,240	0,0032	1,243	1,115	0,0472	0,1087
	60°	3,5	6,06	7,550	0,1324	53°25'	0,0790	0,1064	1,163	0,113	1,174	1,084	0,0349	0,0802
	90°	0	7	7,070	0,1414	81°52'	0,0200	0,1400	1,040	0,0196	1,060	1,0295	0,0127	0,0292
10	0°	10	0	11	0,0909	0°	0,0909	0	1,191	0	1,191	1,091	0,0381	0,0877
	30°	8,66	5	10,87	0,0920	27°22'	0,0818	0,0423	1,171	0,0018	1,173	1,083	0,0348	0,0801
	60°	5	8,66	10,53	0,0949	55°17'	0,0540	0,0779	1,111	0,0061	1,117	1,057	0,0239	0,0550
	90°	0	10	10,05	0,0995	84°18'	0,0099	0,0993	1,020	0,0099	1,030	1,015	0,0067	0,0154
15	0°	15	0	16	0,0625	0°	0,0625	0	1,129	0	1,129	1,0625	0,0264	0,0608
	30°	12,98	7,5	15,87	0,0630	28°33'	0,0553	0,0301	1,113	0,0009	1,114	1,0555	0,0237	0,0545
	60°	7,5	12,98	15,52	0,0644	56°48'	0,0353	0,0539	1,071	0,00291	1,074	1,037	0,0157	0,0361
	90°	0	15	1,03	0,06652	86°11'	0,0043	0,0664	1,008	0,0044	1,012	1,006	0,0029	0,0067
20	0°	20	0	21	0,0486	0°	0,0486	0	1,100	0	1,100	1,0486	0,0209	0,0481
	30°	17,32	10	20,86	0,04792	28°38'	0,04206	0,0230	1,087	0,0005	1,088	1,045	0,0182	0,0419
	60°	10	17,32	20,50	0,04878	57°34'	0,0262	0,4120	1,053	0,0017	1,055	1,027	0,116	0,0267
	90°	0	20	20,02	0,04992	87°28'	0,0025	0,499	1,005	0,0025	1,008	1,004	0,0019	0,0044

Die Apparatsscheinwiderstände R liegen somit etwa zwischen

$$R = 1600 \text{ Ohm bis } 4400 \text{ Ohm und } R = 6400 \text{ Ohm bis } 17600 \text{ Ohm,}$$

im Mittel also bei

$$R = \frac{1}{2} \left( \frac{6000}{2} + \frac{24000}{2} \right) = \text{rd. } 7000 \text{ Ohm.}$$

Es wird daher  $\left| \frac{R}{Z} \right| = 7$  gewählt

In Bild 13 (S. 193) ist die optimale Gesamtsprechdämpfung für das günstigste  $\left| \frac{R}{Z} \right|$  für 2 bis 30 Fernsprecher in einer Fernsprechschleife aufgetragen.

Der Rechnungsgang für eine Leitung mit einem  $Z = 1000$  Ohm und für 15 parallel geschaltete Fernsprecher ist nunmehr unter Zuhilfenahme der Schaulinien der Bilder 9 mit 13 folgender:

aus Bild 9:  $b_i = 0,678$  Neper;

aus Bild 10:  $b_a = 0,7$  Neper, für  $\left| \frac{R}{Z} \right| = 7$  und einem Phasenwinkel von  $60^\circ$ ;

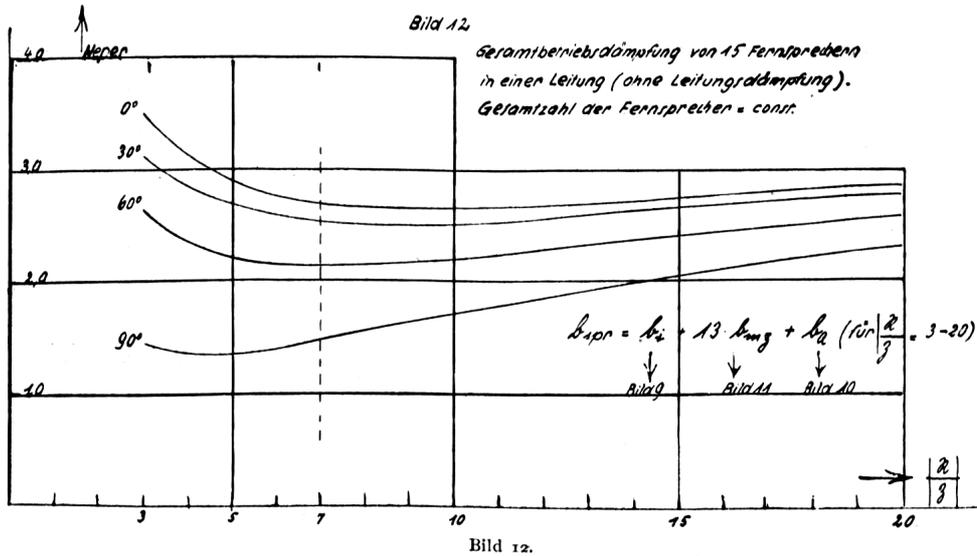
aus Bild 11:  $b_{mz} = 0,06$  Neper, für  $\left| \frac{R}{Z} \right| = 7$  und einem Phasenwinkel von  $60^\circ$ ;

somit aus Bild 13:

$$b_{spr} = b_i + b_a + b_{mz} (n - 2) = 0,678 + 0,7 + 13 \times 0,06 = 2,16 \text{ Neper.}$$

Zählt man hierzu noch die Leitungsdämpfung mit 1,0 Neper, so ergibt sich eine Gesamtdämpfung von rd. 3,2 Neper ( $< 3,5$  Neper), womit die vorgeschriebene Bedingung erfüllt ist.

Aus dem Gesamtscheinwiderstand des Apparates mit 7000 Ohm errechnen sich für die Impedanzen der einzelnen Apparatteile folgende Werte:



Hilfstabelle zu Bild 12.

$\left  \frac{R}{g} \right $	$\varphi$	$b_{m3}$ m N	$13 b_{m3}$ m N	$b_i$ m N	$b_a$ m N	$b_{spr}$ m N
3	0°	189,1	2459	678	330	3467
5		125,1	1626	678	600	2904
7		93,7	1218	678	820	2716
9		76,0	988	678	1010	2676
12		58,0	754	678	1260	2692
15		46,9	610	678	1475	2763
20	36,6	476	678	1706	2860	
3	30°	175,8	2287	678	200	3165
5		114,9	1493	678	545	2716
7		84,6	1100	678	775	2553
9		68,0	884	678	960	2522
12		53,0	689	678	1220	2587
15		41,8	544	678	1445	2667
20	31,8	414	678	1690	2782	
3	60°	143,3	1864	678	100	2642
5		84,3	1096	678	430	2204
7		58,8	765	678	70	2143
9		46,0	598	678	900	2176
12		34,0	442	678	1170	2290
15		26,7	347	678	1400	2425
20	19,7	256	678	1659	2593	
3	90°	72,8	946	678	175	1449
5		30,3	394	678	275	1347
7		16,0	208	678	575	1461
9		10,0	130	678	840	1648
12		6,0	78	678	1110	1866
15		3,7	48	678	1350	2076
20	2,6	34	678	1607	2319	

Hilfsrechnung zu Bild 13. Gesamtdämpfungsminima, abhängig von der Gesamtzahl der Fernsprecher

$$b_{spr} = b_i + b_a + b_{m3} \cdot (n - 2)$$

(für  $\left| \frac{R}{g} \right| = \frac{n}{2}$ )

$\varphi$	n	$\left  \frac{R}{g} \right $	$(n-2)b_m$ m N	$b_i$ m N	$b_a$ m N	$b_{spr}$ m N
0°	2	1	—	678,0	0,0	678,0
	5	2,5	620,0	678,0	260,0	1558,0
	9	4,5	973,0	678,0	530,0	2181,0
	15	7,5	1157,0	678,0	870,0	2705,0
	22	11	1260,0	678,0	1190,0	3128,0
30°	30	15	1288,0	678,0	1475,0	3441,0
	2	1	—	678,0	125,0	553,0
	5	2,5	586,0	678,0	140,0	1404,0
	9	4,5	882,0	678,0	475,0	2035,0
	15	7,5	1040,0	678,0	825,0	2543,0
60°	22	11	1140,0	678,0	1140,0	2958,0
	30	15	1171,0	678,0	1465,0	3314,0
	2	1	—	678,0	300,0	378,0
	5	2,5	501,0	678,0	0,0	1179,0
	9	4,5	665,0	678,0	360,0	1703,0
90°	15	7,5	715,0	678,0	750,0	2143,0
	22	11	740,0	678,0	1080,0	2498,0
	30	15	748,0	678,0	1460,0	2886,0
	2	1	—	678,0	700,0	22,0
	5	2,5	288,0	678,0	300,0	666,0
90°	9	4,5	266,0	678,0	180,0	1124,0
	15	7,5	182,0	678,0	640,0	1500,0
	22	11	140,0	678,0	1020,0	1838,0
	30	15	104,0	678,0	1350,0	2132,0

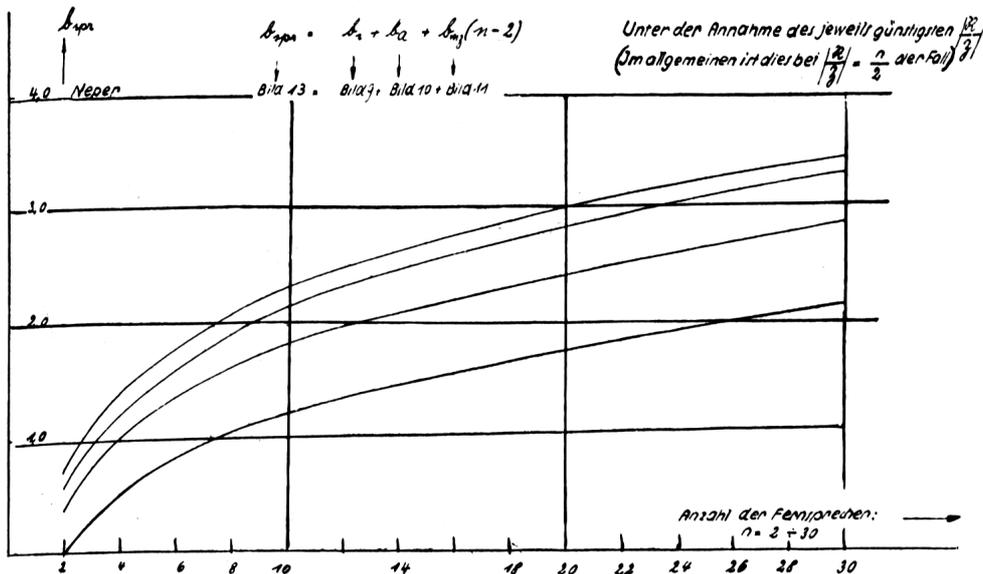


Bild 13. Gesamtdämpfungsminima abhängig von der Gesamtzahl der Fernsprecher.

$$\ddot{u}^2 \mathfrak{R}_m = \mathfrak{R}_1 \cdot \frac{7000}{2} \text{ Ohm};$$

somit Fernhörer = 3500 Ohm.

Tatsächlich beträgt der Scheinwiderstand eines normalen Fernhörers (mit einem Gleichstromwiderstand von 2 · 500 Ohm) 3360 Ohm 50%.

Da der Widerstand üblicher OB-Mikrophone 35 Ohm beträgt, so muß das Übersetzungsverhältnis des Übertragers

$$\ddot{u}^2 = \frac{3500}{35} = 100 \text{ oder } \ddot{u} = 10 \text{ werden.}$$

Damit sind die hauptsächlichsten Werte für die Konstruktion des Fernsprechers festgelegt.

Daß sich beim OB-20 Hörer und Induktionsspule nicht parallel, sondern nur in Reihe schalten lassen, lehrt die Überlegung, daß der Scheinwiderstand des Hörers und der Induktionsspule bei Parallelschaltung etwa den vierfachen Wert des Scheinwiderstandes wie bei Hintereinanderschaltung erhalten müßten, also etwa 14000 Ohm, einen Wert, der sich mit normalen Fernhörern nicht erreichen läßt.

*B. Berechnung der Weckeinrichtungen (Induktor und Wecker).*

Bei der Berechnung des Weckerkreises gehen wir in ähnlicher Weise vor, wie bei der Berechnung des Sprechkreises; d. h. wir ermitteln wiederum die Betriebsdämpfung, welche durch die über die Leitung verteilten Wecker und durch die zusätzliche Dämpfung an der Stoßstelle zwischen Leitung und Induktor der ruhenden Sprechstelle verursacht wird. Reflexionsdämpfung kommt nicht in Frage, da es sich um eine elektrisch lange Leitung handelt. Es ist jedoch nicht angebracht, die Weckerleitung als homogene Leitung aufzufassen und daher dieselben Formeln zu verwenden, wie bei der Berechnung der Dämpfung im Sprechkreis; denn bei den tiefen Frequenzen im Weckerkreis (20 Hertz bei normaler Drehzahl des Induktors) ist der Wellenwiderstand der unbelasteten Leitung von dem der mit Weckern belasteten Leitung erheblich verschieden. Es erübrigt daher nur die Leitung in homogene Glieder (Kettenglieder) aufzuteilen und die Dämpfung der einzelnen Glieder zu berechnen. Die Leitung mit den eingeschalteten Weckern wird also durch einen Kettenleiter ersetzt, von dem jedes einzelne Glied einen in der Mitte mit einem Wecker belasteten Leitungsabschnitt nachbildet. Da nach den Bedingungen in den Leitungen 15 Apparate und 7 Außenwecker eingeschaltet werden sollen, und wenn zur Vereinfachung der Rechnung die elektrischen Werte der Außen- und Apparatwecker gleichgesetzt werden, so treffen mithin auf jeden

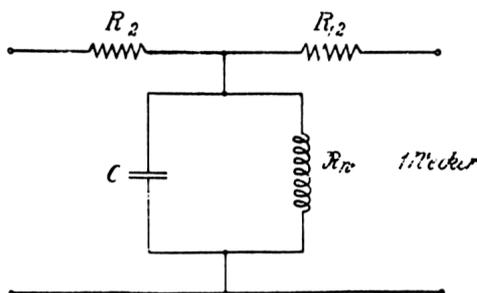


Bild 14a

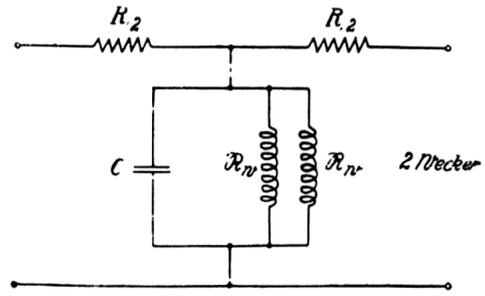


Bild 14b

zweiten Apparat zwei Wecker. Die Länge des Abschnittes, innerhalb dessen ein Apparat eingeschaltet ist, wird mit 1 km angenommen. Es entstehen somit Kettenglieder zweiter Ordnung nach Bild 14a und b sowie am Anfang und am Ende je ein halbes Kettenglied nach Bild 15a und Bild 15b. Die Kettenglieder setzen sich bei Vernachlässigung der Selbstinduktion der

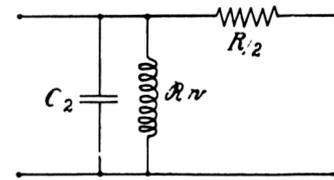


Bild 15a Erstes halbes Kettenglied.

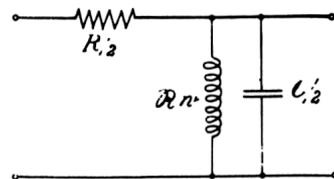


Bild 15b Letztes halbes Kettenglied.

Leitung - was zulässig erscheint - aus dem ohmschen Leitungswiderstand im Längszug, der Leitungskapazität und dem Scheinwiderstand der eingeschalteten

Wecker quer zu den beiden Ästen der Fernmeldeschleife zusammen. Die kilometrischen Leitungsgrößen sind durch die Symbole R und C gekennzeichnet.

1) Die Dämpfung der ganzen Kettenglieder berechnet sich aus den Formeln:

$$b'_{w1} = \frac{1}{2} \ln \frac{\beta_1 + \mathfrak{U}_{K1}}{\beta_1 - \mathfrak{U}_{K1}} + \frac{1}{2} \ln \frac{\mathfrak{U}_{I1} + \beta_1}{\mathfrak{U}_{I1} - \beta_1} \sim \frac{1}{2} \ln \frac{\mathfrak{R}_w + \sqrt{R \cdot \mathfrak{R}_w}}{\mathfrak{R}_w - \sqrt{R \cdot \mathfrak{R}_w}} \quad \text{(Gl. 22)}$$

wobei (der Index w Weckerkreis bedeutet).

$$\mathfrak{U}_{I1} = \frac{\mathfrak{R}}{2} + \frac{1}{\omega_1} \sim \frac{\mathfrak{R}}{2} + \mathfrak{R}_w \sim \mathfrak{R}_w$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\mathfrak{R}_w} + j C \omega \sim \frac{1}{\mathfrak{R}_w}$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{\mathfrak{R}}{\omega_1} \left( 1 + \frac{\mathfrak{R} \omega_1}{4} \right)} = \sqrt{\frac{\mathfrak{R}}{2} \left( 2 + \frac{2}{\omega_1} \right)} \sim \sqrt{\frac{\mathfrak{R}}{\omega_1}} \sim \sqrt{R \cdot \mathfrak{R}_w}$$

$$b'_{w2} = \frac{1}{2} \ln \frac{\mathfrak{U}_{I2} + \beta_2}{\mathfrak{U}_{I2} - \beta_2} \sim \frac{1}{2} \ln \frac{\frac{\mathfrak{R}_w}{2} + \sqrt{\frac{\mathfrak{R}_w \cdot R}{2}}}{\frac{\mathfrak{R}_w}{2} + \sqrt{\frac{\mathfrak{R}_w \cdot R}{2}}} \quad \text{(Gl. 22')}$$

wobei

$$u_{1,2} = \frac{\Re}{2} + \frac{1}{\mathcal{G}_2} \sim \frac{\Re}{2} + \frac{\Re_w}{2} \sim \frac{\Re_w}{2}$$

$$\mathcal{G}_2 = \frac{2}{\Re_w} + jC\omega \sim \frac{2}{\Re_w}$$

$$\mathfrak{B}_2 = \sqrt{\frac{\Re}{2} \left( \frac{\Re}{2} + \frac{1}{\mathcal{G}_2} \right)} \sim \sqrt{\frac{\Re}{2}} \sim \sqrt{R \cdot \frac{\Re_w}{2}}$$

Für  $\mathcal{G}$  ist die Summe des Weckerscheinleitwertes und des kapazitiven Leitwertes des Leitungsabschnittes  $jC\omega$  zu setzen (mit Bezug auf Bild 14a und 14b).

Die Dämpfung der halben Kettenglieder berechnet sich zu:

a) *erstes halbes Glied*

$$u_{1,a} = \frac{I}{\mathcal{G}_a} = \frac{I}{\frac{1}{\Re_w} + jC\omega} \sim \Re_w$$

$$u_{\Re a} = \frac{I}{\frac{\Re}{2} + \mathcal{G}_a} = \frac{I}{\frac{\Re}{2} + \frac{1}{R + \frac{\Re_w}{2} + jC\omega}} \sim \frac{R}{2}$$

$$\mathcal{G}_a = \frac{1}{\Re_w} + j\frac{C\omega}{2} \sim \frac{1}{\Re_w}$$

$$\mathfrak{B}_a = \sqrt{u_{1,a} \cdot u_{\Re a}} \sim \sqrt{\Re_w \cdot \frac{R}{2}} \sim \mathfrak{B}_2$$

$$b'_{w_a} = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{u_{1,a} + \mathfrak{B}_a}{u_{1,a} - \mathfrak{B}_a} \right| = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\frac{1}{\mathcal{G}_a} + \mathfrak{B}_a}{\frac{1}{\mathcal{G}_a} - \mathfrak{B}_a} \right|$$

$$\sim \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\Re_w + \sqrt{\frac{\Re_w \cdot R}{2}}}{\Re_w - \sqrt{\frac{\Re_w \cdot R}{2}}} \right| \sim \frac{1}{2} b'_{w_2} \quad (\text{Gl. 23})$$

b) *letztes halbes Glied*

$$u_{1,e} = \frac{\Re}{2} + \frac{1}{\mathcal{G}_e} = \frac{\Re}{2} + \frac{1}{\frac{1}{\Re_w} + j\frac{C\omega}{2}} \sim \frac{\Re}{2} + \Re_w \sim \Re_w$$

$$u_{\Re e} = \frac{\Re}{2} = \frac{R}{2}$$

$$\mathcal{G}_e = \frac{1}{\Re_w} + j\frac{C\omega}{2} \sim \frac{1}{\Re_w}$$

$$\mathfrak{B}_e = \sqrt{u_{1,e} \cdot u_{\Re e}} \sim \sqrt{\frac{R}{2} \Re_w} \sim \mathfrak{B}_2$$

$$b'_{w_e} = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\mathfrak{B}_e + u_{\Re e}}{\mathfrak{B}_e - u_{\Re e}} \right|$$

$$= \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\frac{R}{2} + \sqrt{\frac{R \cdot \Re_w}{2}}}{-\frac{R}{2} + \sqrt{\frac{R \cdot \Re_w}{2}}} \right| \sim \frac{1}{2} b'_{w_2} \quad (\text{Gl. 23'})$$

3) Eine zusätzliche Dämpfung wird auch durch die mangelnde Angleichung des Widerstandes des Induktors der rufenden Sprechstelle an das anschließende halbe Kettenglied verursacht. Sie errechnet sich aus

$$b''_w = \ln \left| \frac{\Re_1 + \mathfrak{B}_2}{2 \cdot \sqrt{\Re_1 \cdot \mathfrak{B}_2}} \right| \quad (\text{Gl. 24})$$

wobei

$\mathfrak{B}_2$  = Kennwiderstand

$\Re_1$  = Scheinwiderstand des Induktors.

4) Weitere Teildämpfungen entstehen an den Stoßstellen zweier Kettenglieder, von denen das eine nur einen parallel geschalteten Wecker, das andere aber zwei parallel geschaltete Wecker hat.

Ist  $\mathfrak{B}_1$  der Kennwiderstand des Gliedes mit *einem* parallel geschalteten Wecker und  $\mathfrak{B}_2$  der des Gliedes mit *zwei* parallel geschalteten Weckern, dann ergibt sich an der Stoßstelle ein Dämpfung

$$b'''_w = \ln \left| \frac{\mathfrak{B}_1 + \mathfrak{B}_2}{2 \cdot \sqrt{\mathfrak{B}_1 \cdot \mathfrak{B}_2}} \right|; \quad (\text{Gl. 25})$$

denn es ist nach Bild 16  $b'''_w = \ln \sqrt{\frac{N''_w}{N'''_w}}$

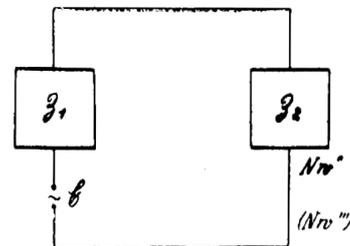


Bild 16

wobei  $N''_w$  = die Leistung bei  $\mathfrak{B}_1 = \mathfrak{B}_2$  und  $N'''_w$  = die Leistung bei  $\mathfrak{B}_1 \neq \mathfrak{B}_2$  (Stoßdämpfung) bedeutet.

$$N''_w = \frac{E^2}{(2 \mathfrak{B}_1)^2} \cdot \mathfrak{B}_1 = \frac{E^2}{4 \mathfrak{B}_1} \quad b'''_w = \sqrt{\frac{E^2 \cdot (\mathfrak{B}_1 + \mathfrak{B}_2)^2}{4 \mathfrak{B}_1 \cdot E^2 \cdot \mathfrak{B}_2}}$$

$$N'''_w = \frac{E^2}{(\mathfrak{B}_1 + \mathfrak{B}_2)^2} \cdot \mathfrak{B}_2; \quad \left. \right\} = \left| \frac{\mathfrak{B}_1 + \mathfrak{B}_2}{2 \sqrt{\mathfrak{B}_1 \cdot \mathfrak{B}_2}} \right|$$

Da der Kennwiderstand des Kettengliedes mit zwei Weckern  $\sim \sqrt{2}$  mal kleiner sein wird, als der des Kettengliedes mit einem Wecker, so errechnet sich durch Einsetzen von  $\mathfrak{B}_2 = \mathfrak{B}_1 \sqrt{2}$  in (Gl. 25)  $b'''_w$  zu 15 Millineper (für jede Stoßstelle).

5) Die Gesamtdämpfung im Weckerkreis berechnet sich daher zu

$$b_{w_{ges}} = b'_{w_1} \cdot 6 + b'_{w_2} \cdot 8 + b''_w + b'''_w \cdot 12.$$

Für jede gegebene Leitung und jeden gegebenen Belastungsfall kann somit die Gesamtdämpfung berechnet werden.

Die Anpassungsdämpfung, die dadurch entsteht, daß die Leitungslänge der einzelnen Leitungsabschnitte in Wirklichkeit nicht, wie angenommen, gleich 1 km, sondern verschieden groß ist (somit Kennwiderstände verschieden), haben wir außer acht gelassen, da diese Unterschiede kaum ins Gewicht fallen dürfen.

In der Hilfstabelle zu Bild 17 wurde  $b_{w_{ges}}$  für verschiedene Weckerscheinwiderstände von 5000 Ohm bis 55 000 Ohm in Stufen zu 5000 bis 15 000 Ohm berechnet. Die Werte sind in Bild 17 aufgetragen. Es zeigt sich, daß bei etwa 55 000 Ohm ein Minimum vorhanden ist. Ein ähnliches Ergebnis erhält man bei der Berechnung von  $b_{w_{ges}}$  für verschiedene andere Arten von Leitungen. Bei den üblichen Abmessungen der Weckerspulen würde

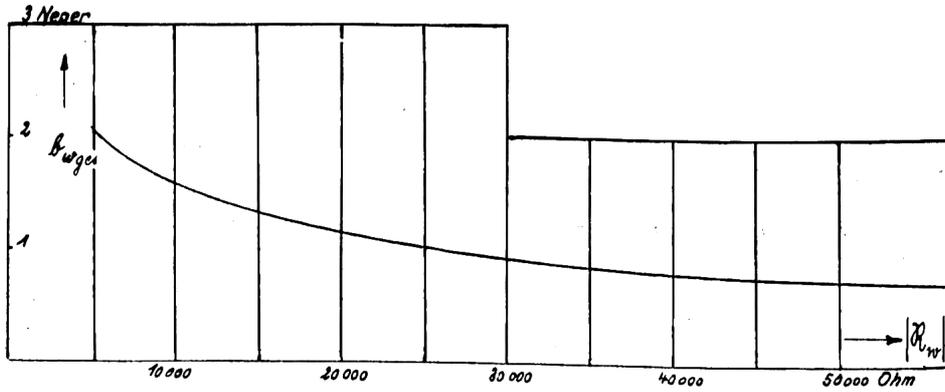


Bild 17.

Gesamtdämpfung einer 14 km langen Kabelschleife (mit Adern von 0,9 mm Ø unpupinisiert) mit 15 eingeschalteten Innenweckern und 7 Außenweckern bei 20 Hertz, abhängig vom Weckerscheinwiderstand.

$$b'_{w_1} = \frac{I}{2} \ln \left| \frac{\mathcal{U}_{G_1} - \beta_1}{\mathcal{U}_{G_1} + \beta_1} \right|$$

$$b'_{w_2} = \frac{I}{2} \ln \left| \frac{\mathcal{U}_{G_2} - \beta_2}{\mathcal{U}_{G_2} + \beta_2} \right|$$

$$b''_w = \ln \left| \frac{\beta_2 + \mathcal{R}_i}{2 \cdot \sqrt{\beta_2 + \mathcal{R}_i}} \right|$$

$$b'''_w = \ln \left| \frac{\beta_1 + \beta_2}{2 \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2}} \right| \sim 15 \text{ m Neper}$$

$$b_{w \text{ ges}} = 6 b'_{w_1} + 8 \cdot b'_{w_2} + b''_w + 12 b'''_w$$

aus  $\beta = \sqrt{\mathcal{U}_G \cdot \mathcal{U}_R}$  und  $b_{w_1} = \frac{I}{2} \ln \left( \frac{I + \sqrt{\mathcal{U}_G}}{I - \sqrt{\mathcal{U}_G}} \right)$

wobei  $\mathcal{U}_{G_1} = \frac{\mathcal{R}}{2} + \frac{I}{\mathcal{G}_1}$       wobei  $\mathcal{U}_{G_2} = \frac{\mathcal{R}}{2} + \frac{I}{\mathcal{G}_2}$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{\mathcal{R}}{2} \cdot \left( \frac{2}{\mathcal{G}_1} + \frac{\mathcal{R}}{2} \right)}$$

$$\beta_2 = \sqrt{\frac{\mathcal{R}}{2} \cdot \left( \frac{2}{\mathcal{G}_2} + \frac{\mathcal{R}}{2} \right)}$$

$$\mathcal{G}_1 = \frac{I}{\mathcal{R}_w} + j\omega C$$

$$\mathcal{G}_2 = \frac{2}{\mathcal{R}_w} + j\omega C$$

Hilfstabelle zu Bild 17.

Berechnung von  $b_{w \text{ ges}}$  für verschiedene Weckerwiderstände.

Gegeben: Induktor:  $\mathcal{R}_i = 2500 \Omega \angle 40^\circ$

Wecker:  $\mathcal{R}_w = 5000 \Omega \div 55000 \Omega \angle 60^\circ$

Kabel (0,9 mm Aderpaar unpupinisiert) 14 km Länge

$R = 55 \Omega/\text{km}$

$C = 0,035 \mu\text{F}/\text{km}$

$f = 20 \text{ Perioden}/\text{sek}$

Ausrechnung: Hilfsrechnung zur Feststellung von  $\beta_1$  und  $\beta_2$

$\beta$  berechnet für  $|\mathcal{R}| = 5000, 10000, 16000, 25000, 40000$  und  $55000 \Omega$ ;

$$\beta = \sqrt{\frac{\mathcal{R}}{2} \left( \frac{2}{\mathcal{G}} + \frac{\mathcal{R}}{2} \right)}$$

$\mathcal{R}_w$	$C_w$	$\frac{I}{\mathcal{R}_w} = A + jB$				$C_w$ - B = D · 10 <sup>6</sup>	$\mathcal{G}_1 = A + jD$		$\frac{2}{\mathcal{G}_1}$		$\frac{2}{\mathcal{G}_1} = A + jB$		$A + \frac{R}{2}$	$\frac{2}{\mathcal{G}_1} + \frac{R}{2} = \left( A + \frac{B}{2} \right) + jB$		$\beta_1$	
		× 10 <sup>6</sup>	L	× 10 <sup>6</sup>	(j) B × 10 <sup>6</sup>		× 10 <sup>6</sup>	L		L	A	(j) B			L		L
5 000	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	220	-60°	100	-173,3	-168,9	196,3	-59°22'	10 080	+59°22'	5 190	+8 760	5 220	10 180	59°12'	528,4	+29°36'
10 000	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	100	-60°	50	-86,6	-82,2	96,2	-58°42'	20 780	+58°42'	10 800	+17 76	10 830	20 780	58°37'	755	+29°18'
16 000	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	62,5	-60°	31,8	-54,2	-49,8	59,1	-58°27'	33 840	+58°27'	17 720	+28 860	17 750	33 880	58°24'	965	+29°12'
25 000	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	40	-60°	20	-34,7	-30,3	36,18	-56°27'	55 260	+56°27'	30 560	+46 070	30 590	55 280	56°24'	1232	+26°12'
40 000	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	25	-60°	12,5	-21,7	-17,3	21,33	-54°10'	95 700	+54°10'	56 400	+77 600	56 430	95 900	53°58'	1622	+26°59'
55 000	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	18,18	-60°	9,09	-15,75	-11,35	14,59	-51°28'	137 120	+51°28'	85 480	+107 300	85 510	137 200	51°22'	1942	+25°44'

$\frac{\mathcal{R}_w}{2}$	$C_w$	$\frac{2}{\mathcal{R}_w} = A + jB$				$C_w$ - B = D · 10 <sup>6</sup>	$\mathcal{G}_2 = A + jD$		$\frac{2}{\mathcal{G}_2}$		$\frac{2}{\mathcal{G}_2} = A + jB$		$A + \frac{R}{2}$	$\frac{2}{\mathcal{G}_2} + \frac{R}{2} = \left( A + \frac{B}{2} \right) + jB$		$\beta_2$	
		× 10 <sup>6</sup>	L	× 10 <sup>6</sup>	(j) B × 10 <sup>6</sup>		× 10 <sup>6</sup>	L		L	A	(j) B			L		L
2 500	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	400	-60°	200	-346,7	-342,3	396,7	-59°48'	5 042	+59°42'	2 542	+4 352	2 570	5 050	59°26'	372,8	+29°43'
5 000	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	200	-60°	100	-173,3	-168,9	196,3	-59°22'	10 180	+59°22'	5 190	+8 760	5 220	10 180	59°12'	528,4	+29°36'
8 000	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	125	-60°	62,5	-108,3	-103,9	121,2	-58°58'	16 500	+58°58'	8 510	+14 140	8 540	16 530	58°52'	674	+29°26'
12 500	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	80	-60°	40	-69,4	-65,0	76,3	-58°25'	26 220	+58°25'	13 750	+22 380	13 780	26 200	58°23'	848	+29°12'
20 000	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	50	-60°	25	-43,4	-39,0	46,3	-57°20'	43 200	+57°20'	23 320	+36 370	23 350	43 200	57°18'	1088	+28°39'
27 500	4,397 × 10 <sup>-6</sup>	36,36	-60°	18,18	-31,5	-27,10	32,61	-56°8'	61 320	+56°8'	34 180	+50 940	34 210	61 340	56°6'	1298	+28°3'

$$\frac{\mathcal{R}}{2} = \frac{R}{2} = 27,5 \Omega$$

man einen derartig hohen Scheinwiderstand nur durch viele Windungen ganz dünnen Drahtes erhalten. Als endgültiger Widerstand wurde daher 16 000 Ohm gewählt. Man liegt bei diesem Wert noch in genügender Nähe des Dämpfungsminimums und es kann noch ein genügend starker Draht für die Weckerwicklung gewählt werden; bei dünnerem Draht besteht nämlich die Gefahr, daß die Weckerspulen durch atmosphärische Entladungen zerstört werden. Der Scheinwiderstand von 16 000 Ohm entspricht ungefähr einer Windungszahl von 21 000, einer Drahtstärke von 0,08 mm Durchmesser und einem Gleichstromwiderstand von 3000 Ohm je Spule.

Wenn die von dem Induktor abgebbare Leistung und die Weckermindestleistung bekannt sind, so kann aus folgender Beziehung das größte zulässige  $b_{w ges}$  errechnet werden:

$$b_{w ges} = \ln \sqrt{\frac{N_i}{N_w}}$$

Man kann hierfür folgende Werte einsetzen:

$$N_i = 2,5 \text{ Watt,}$$

$$N_w = 20 \text{ mW} = 0,02 \text{ Watt.}$$

$$b_{w ges} = \ln \sqrt{\frac{2,5}{0,02}} = \ln \sqrt{125}$$

$$= \ln 11,18 = 2,57 \text{ Neper.}$$

Aus der Kurve Bild 17 ergibt sich ein Wert von  $b_{w ges} = 1,26$  Neper für  $|\Re_w| = 16 000$  Ohm, also noch eine Reserve von 1,31 Neper.

*C. Betrachtung über die Dämpfung der Sprache durch die Wecker und die Dämpfung der Wecker durch ausgehängte Mikrotelephone beim Rufen.*

Wir haben nunmehr den günstigsten Weckerwiderstand für den Rufvorgang mit 16 000 Ohm und den günstigsten Apparatscheinwiderstand für den Sprechvorgang mit rd. 7000 Ohm ermittelt ohne berücksichtigt zu haben, inwieweit die Abhängigkeit beider Einrichtungen voneinander dämpfungsvergrößernd wirkt, da

1. Berechnung der Kettengliederdämpfung

a) Dämpfung der ganzen Kettenglieder

$$b'_w = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\Re_1 + \Im}{\Re_1 - \Im} \right|$$

$$\Im_{1,2} = \sqrt{\frac{\Re}{2} \cdot \left( \frac{2}{\Im_{1,2}} + \frac{\Re}{2} \right)}; \Re_{1,2} = \frac{\Re}{2} + \frac{1}{\Im_{1,2}}$$

$\Im_1$  bei 1 Wecker,  $\Im_2$  bei 2 Weckern pro Kettenglied

$ \Re_w $ + 60°	$\Im_1 = A + jB$		$\frac{\Re}{2} + A$	$\Re_2 + \frac{1}{\Im_1} = A + jB$		$\Im_1 = A + jB$		$\left( \frac{\Re}{2} + \frac{1}{\Im_1} \right) + \Im_1 =$ = A + jB =  u  °			$\left( \frac{\Re}{2} + \frac{1}{\Im_1} \right) - \Im_1 =$ = A + jB =  v  °			$\left  \frac{u}{v} \right $	$\log \left  \frac{u}{v} \right $	$b'_{w1} = \frac{1}{2} \ln \left  \frac{u}{v} \right $
	A	B		A	B	A	B	A	B	u	A	B	v			
5 000	2 595	4 380	2 623	2 623	+4 380	459,4	+261	3082,4	4 641	5 570	2163,6	4 119	4 652	1,197	0,0783	0,0901
10 000	5 400	8 880	5 428	5 428	+8 880	658,6	369,4	6086,6	9249,4	11 070	4769,4	8510,6	9 760	1,134	0,0547	0,0629
16 000	8 860	14 430	8 888	8 888	14 430	843	471	9 731	14 901	17 800	8 045	13 959	16 110	1,105	0,0435	0,0501
25 000	15 280	23 035	15 308	15 308	23 035	1086	582	16 394	23 617	28 750	14 222	22 453	26 550	1,082	0,0346	0,0399
40 000	28 200	38 800	28 228	28 228	38 800	1482	754	29 710	39 564	49 470	26 746	38 046	46 510	1,0625	0,0266	0,0306
55 000	42 720	53 660	42 750	42 750	53 660	1750	844	44 500	54 394	70 360	41 000	52 816	66 800	1,0525	0,0223	0,0257

$\frac{\Re_w}{2}$ + 60°	$\Im_2 = A + jB$		$\frac{\Re}{2} + A$	$\Re_2 + \frac{1}{\Im_2} = A + jB$		$\Im_2 = A + jB$		$\left( \frac{\Re}{2} + \frac{1}{\Im_2} \right) + \Im_2 =$ = A + jB =  u  °			$\left( \frac{\Re}{2} + \frac{1}{\Im_2} \right) - \Im_2 =$ = A + jB =  v  °			$\left  \frac{u}{v} \right $	$\log \left  \frac{u}{v} \right $	$b'_{w2} = \frac{1}{2} \ln \left  \frac{u}{v} \right $
	A	B		A	B	A	B	A	B	u	A	B	v			
2 500	1 295	+2 179	1 323	1 323	2 179	325	183	1 647	2 364	2 880	999	1 994	2 228	1,293	0,1117	0,1285
5 000	2 595	+4 380	2 623	2 623	4 380	459,4	261	30,824	4 641	5 570	2 163	4 119	4 650	1,197	0,0783	0,0901
8 000	4 255	7 070	4 283	4 283	7 070	587	331	4 870	7 401	8 860	3 696	6 730	7 680	1,153	0,0623	0,0717
12 500	6 875	11 190	6 903	6 903	11 190	748	401	7 651	11 591	13 880	6 155	10 789	12 420	1,1175	0,0482	0,0555
20 000	11 660	18 185	11 688	11 688	18 185	955	522	12 643	18 707	22 570	10 733	17 663	20 670	1,092	0,0380	0,0438
27 500	17 080	25 460	17 110	17 110	25 460	1146	611	18 256	26 071	31 820	15 964	24 849	29 530	1,077	0,0323	0,0372

$$\frac{\Re}{2} = \frac{R}{2} = \frac{55}{2} = 27,5 \sim 28 \Omega$$

b) Dämpfung der halben Kettenglieder.

$$b_a = \frac{1}{2} b'_{w2} = b_e$$

2. Stoßdämpfung zwischen Induktor und erstem halben Glied.

$$b''_w = \ln \left| \frac{\Re_i + \Im_a}{2 \cdot \sqrt{\Re_i \cdot \Im_a}} \right|$$

$$\text{wobei } \Im_a = \sqrt{\frac{1}{\Im_2} \cdot \frac{1}{\frac{2}{R} + \Im_2}} \quad (\sim \Im_2)$$

$ \Re_w $	$\Im_1$		$\Re_{1 2500}  _{40^\circ}$		$\Im_2 + \Re_i$		$\sqrt{\Re_i \cdot \Im_a}$		$2 \cdot \sqrt{\frac{1}{\Im_2} \cdot \frac{1}{\frac{2}{R} + \Im_2}}$	log	$b''_w \ln$			
	A	B	A	B	A	B								
5 000	374	20°41'	325	+185,4	1914	1607	2239	1792	2867	966	2,782	1,391	0,1433	0,330
10 000	534	29°21'	466	+262	1914	1607	2380	1869	3027	1155	2,620	1,310	0,1173	0,270
16 000	682	29°14'	595	333	1914	1607	2509	1940	3170	1305	2,430	1,215	0,0970	0,2233
25 000	871	28°14'	768	412	1914	1607	2682	2019	3356	1476	2,274	1,137	0,0558	0,1285
40 000	1135	27°5'	1010	517	1914	1607	2924	2124	3616	1684	2,147	1,074	0,031	0,0714
55 000	1372	25°44'	1235	596	1914	1607	3149	2293	3846	1852	2,077	1,0385	0,0166	0,0382

3. Berechnung der Stoßdämpfung zwischen 2 Kettengliedern

$$b_w''' = \ln \left| \frac{\beta_1 + \beta_2}{2 \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2}} \right| \approx \ln \frac{Z_1 + Z_2}{2 \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}}$$

wenn  $\varphi_{Z_1} \approx \varphi_{Z_2}$ ;

$$b_w''' \sim \ln \frac{1 + \sqrt{2}}{2 \cdot \sqrt{1,414}} = \ln \frac{2,414}{2 \cdot 1,189} = \ln \frac{2,414}{2,378} = \ln 1,0155 = 2,3 \cdot 0,0068 = 0,01564$$

4. Gesamtdämpfung des Schließungsbogens

$$b_{w ges} = b'_{w_1} \cdot 6 + b'_{w_2} \cdot 8 + b''_w + 12 b'''_w$$

R <sub>w</sub>	b'_{w1}		b'_{w2}		b''_w	b'''_w		b_{w ges}
		× 6		× 8			× 12	
5 000	0,0901	0,5406	0,1285	1,0280	0,3300	0,0564	0,1877	2,0863
10 000	0,0629	0,3774	0,0901	0,7210	0,2700	0,0564	0,1877	1,5561
16 000	0,0501	0,3006	0,0717	0,5720	0,2233	0,0564	0,1877	1,2636
25 000	0,0399	0,2394	0,0555	0,4440	0,1285	0,0564	0,1877	0,9991
40 000	0,0306	0,1836	0,0438	0,3504	0,0714	0,0564	0,1877	0,7930
55 000	0,0257	0,1542	0,0372	0,2976	0,0382	0,0564	0,1877	0,6777

ja Wecker und Telephon + Induktionsspule parallel geschaltet sind.

Da die Rechnung einen Scheinwiderstand des Weckers für Sprechstrom von 180 000 Ohm ergibt, so dürften die Verluste an Sprechenergie infolge der parallel geschalteten Wecker gegenüber den Verlusten durch die Sprechstelleneinrichtungen selbst (7000 Ohm) vernachlässigt werden.

Um Verluste der Rufenergie im Fernhörer und in der Induktionsspule zu vermeiden, wird vor den Sprechkreis ein Kondensator von 0,5 μF geschaltet. Dadurch wird erreicht, daß die Rufenergie in Sprechstellung des Apparates nicht durch den Sprechkreis geshuntet ist, außerdem ist die Weckerinduktivität bei 20 Hertz in Resonanz mit dem Kondensator. Es ergibt sich dadurch ein größerer Scheinwiderstand für die parallel liegenden Wecker und Kondensatoren, d. h. die Wecker erhalten bei ausgehängten Mikrotelephonen eine größere Leistung zugeführt als bei aufgelegten Handapparaten; für die Sprechfrequenzen aber kann der Kondensator praktisch vernachlässigt werden.

Für 20 Hertz hat der Apparat in Sprechstellung für Rufstrom einen Scheinwiderstand von 23 000 Ohm. In Grundstellung kommt infolge Ausschaltung von Fernhörer und Induktionsspule ein Rufenergieverlust durch den Apparat nicht in Frage.

D. Elektrische Werte des neuen Streckenfernsprechers.

Die rechnerischen Ergebnisse wurden durch eine Reihe von Messungen an Versuchsausführungen bestätigt. Der von der Firma Siemens und Halske gebaute Apparat erfüllt sämtliche geforderten Bedingungen. Die endgültigen Werte des OB-29 sind nachfolgend zusammengefaßt:

**Elektrische Werte.**

1) Apparatwecker.

- a) Gleichstromwiderstand 2 × 3000 Ohm
- b) Scheinwiderstand für Rufstrom 16 000 Ohm /+ 60°.
- c) Scheinwiderstand für Sprechstrom 180 000 Ohm /+ 16°
- d) Wicklung der Weckerspulen 22 000 Windungen, 0,08 mm Ø Cu L.
- e) Mindest-Weckerleistung bei guter Schallabgabe 20 mW
- f) Mindestansprechstromstärke 0,9 mA

2) Induktor.

- a) Gleichstromwiderstand 630 Ohm
- b) Leistung bei Belastung mit

1000 Ohm (induktionsfreier Wdstd.) etwa 2,5 Watt  
 3000 Ohm (induktionsfreier Wdstd.) etwa 2,35 Watt  
 Leistung gemessen bei Frequenz f = 20 Hertz

- c) Wicklung des Induktors 7000 Windungen 0,15 mm Ø Cu L

3) Mikrophon.

- a) Gleichstromwiderstand 35 bis 45 Ohm
- b) Strombedarf etwa 40 mA

4) Telephon.

- a) Gleichstromwiderstand 2 × 500 Ohm
- b) Scheinwiderstand für Sprechstrom 3360 Ohm /+ 50°
- c) Wicklung der Telephonspulen 2 × 2800 Windungen, 0,07 mm Ø Cu L

5) Kondensator im Telephonkreis.

Kapazität 0,5 Mikrofarad

6) Übertrager.

- |   | Primär          | Sekundär       |
|---|-----------------|----------------|
| a) Gleichstromwiderstand  | 1,1 Ohm         | 119 Ohm        |
| b) Wicklung des Übertragers   | 280 Windg.      | 2800 Windg.    |
|   | 0,45 mm Ø Cu L  | 0,16 mm Ø Cu L |
|   | ± 10%           | ± 10%          |
| c) Scheinwiderstand für Sprechstrom (mit 40 Ohm belastet) (1 Tr. El. 1,45 Volt) | 3500 Ohm /+ 32° |                |

7) Scheinwiderstand des Apparates in Rufstellung für Rufstrom (20 Hertz).

- a) Einzelapparat mit Apparatwecker 16000 Ohm /+ 60°
- b) 15 Apparate mit 7 Außenweckern und 15 Apparatweckern parallel 1400 Ohm /+ 44°

8) Scheinwiderstand des Apparates in Sprechstellung für Rufstrom (20 Hertz).

- a) Einzelapparat mit Apparatwecker 23000 Ohm /- 30°
- b) 15 Apparate mit 7 Außenweckern und 15 Apparatweckern parallel 1100 Ohm /- 36°

9) Scheinwiderstand des Apparates in Rufstellung für Sprechstrom (800 Hertz).

- a) Einzelapparat mit Apparatwecker 180000 Ohm /+ 16°
- b) 15 Apparate mit 7 Außenweckern und 15 Apparatweckern parallel 11300 Ohm /+ 22°

10) Scheinwiderstand des Apparates in Sprechstellung für Sprechstrom (800 Hertz).

- a) Einzelapparat mit Apparatwecker 6700 Ohm /+ 32°
- b) 15 Apparate mit 7 Außenweckern und 15 Apparatweckern parallel 450 Ohm /+ 32°.

(Schluß folgt.)