

Über ein Verfahren zur Dämpfungsmessung an Schwingungskreisen

Von V. Petržílka und W. Fehr, Berlin

(Mitteilung aus dem Heinrich-Hertz-Institut
für Schwingungsforschung)

Inhalt: Messung der Dämpfung von elektrischen Schwingungskreisen unter Benutzung eines quarzgesteuerten Meßsenders.

Zur Messung der Dämpfung von Schwingungskreisen aus der Resonanzkurve stehen prinzipiell zwei Methoden zur Verfügung, deren theoretische Grundlagen von Pauli¹⁾ ausführlich erörtert worden sind. Beide Methoden beruhen zunächst auf der Beobachtung des halben Resonanzausschlages des Stromquadrates; bei dem einen Verfahren wird die Dämpfung d aus der Breite der Resonanzkurve ermittelt, bei dem anderen Verfahren aus dem Frequenzverlauf.

Bei dem erstgenannten Verfahren ist der ermittelte Wert von d immer abhängig von der Größe der Stromamplitude (vgl. Formel 27 der Arbeit von Pauli), bei dem zweiten Verfahren findet infolge der Rückwirkung des Meßkreises (Sekundärkreises) auf den selbsterregten Sender eine Verstimmung statt, deren Größe nicht ohne weiteres angebbar ist und die in den Wert für d einght. (Vgl. Formel 30 der Arbeit von Pauli.) Beide Schwierigkeiten fallen bei dem hier zu beschreibenden Verfahren fort. Es gestattet die

¹⁾ H. Pauli, Jahrb. d. drahtl. Tel. u. Teleph. **17** (1921), 322; Zeitschr. f. techn. Phys. **3** (1922), 272.

Messung der Dämpfung unabhängig von der Amplitude und der Verstimmung des Meßsenders sowie unabhängig von der Kopplung des zu untersuchenden Kreises mit dem Sender.

I. Prinzip des Verfahrens²⁾

Die im folgenden benutzten Bezeichnungen gehen aus Abb. 1 hervor. Kreis 1 ist als Anoden-

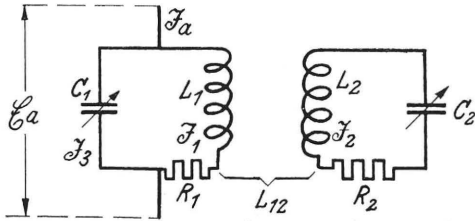


Abb. 1. Gekoppelte Kreise

kreis eines Senders geschaltet, der zu untersuchende Kreis 2 ist der Sekundärkreis. Bekanntlich gelten für zwei gekoppelte Kreise die Gleichungen

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_a &= R_1 \mathfrak{S}_1 + j \omega L_1 \mathfrak{S}_1 + j \omega L_{12} \mathfrak{S}_2 \\ 0 &= R_2 \mathfrak{S}_2 + j \omega L_2 \mathfrak{S}_2 + j \omega L_{12} \mathfrak{S}_1 \\ &\quad + \frac{1}{j \omega C_2} \mathfrak{S}_2 \end{aligned} \right\} (1)$$

Aus der zweiten Gleichung ergibt sich

$$\frac{\mathfrak{S}_2}{\mathfrak{S}_1} = \frac{-j \omega L_{12}}{R_2 + j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right)} \quad (2)$$

Mit

$$k = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}}, \quad d_2 = \frac{R_2}{\omega L_2}, \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}},$$

$$\xi = 1 - \frac{\omega_2^2}{\omega^2}$$

wird durch Quadrieren der Gleichung (2)

$$y^2 = \frac{J_2^2}{J_1^2} = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{k^2}{d_2^2 + \xi^2} = f(\xi) \quad (3)$$

Für $\xi = 0$ ist

$$y_0^2 = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{k^2}{d_2^2} \quad (4)$$

Halber Resonanzausschlag bedeutet

$$y^2 = \frac{1}{2} y_0^2$$

oder

$$\frac{y^2}{y_0^2} = \frac{d_2^2}{d_2^2 + \xi^2} = \frac{1}{2} \quad (5)$$

Diese Gleichung ist erfüllt für

$$\xi = d_2 \quad (6)$$

²⁾ Die weiteren theoretischen Zusammenhänge sind in einer ausführlichen Abhandlung der Verf. „Über stationäre Schwingungszustände in quarzgesteuerten Ein- und Zweikreisendern“ erörtert ENT 9 (1932), 283.

Das bedeutet physikalisch, daß die „Breite“ der Resonanzkurve $y^2 = f(\xi)$ gleich ist der doppelten Dämpfung des Sekundärkreises und zwar unabhängig von der Stromamplitude und von der Kopplung. Zur eindeutigen Aufnahme der Resonanzkurve (3) ist weiterhin erforderlich, daß die Frequenz des Meßsenders unabhängig von der Eigenfrequenz ω_2 des Sekundärkreises und unabhängig von der Kopplung konstant bleibt, d. h. daß

$$\omega = \text{const} \quad (7)$$

in jedem Falle erfüllt ist. Diese Bedingung läßt sich realisieren durch einen quarzgesteuerten Sender, mit dem der zu untersuchende Kreis gekoppelt wird. Über die experimentelle Durchführung wird im nächsten Abschnitt berichtet.

II. Meßanordnung

Abb. 2 zeigt die Meßanordnung, einen quarzgesteuerten Sender in der Pierceschen Schaltung,

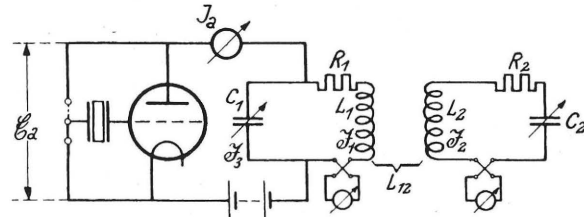


Abb. 2. Meßanordnung

bei dem der Quarz entweder zwischen Gitter und Anode oder zwischen Gitter und Kathode gelegt werden kann; der zu untersuchende Kreis ist magnetisch mit dem Anodenkreis gekoppelt. Die Ströme I_1 und I_2 werden mit Thermoelementen gemessen.

Daß der quarzgesteuerte Sender die Bedingung (7)

$$\omega = \text{const},$$

erfüllt, wurde experimentell nachgeprüft. [Über die theoretische Begründung dieser Tatsache vgl. v. Handel, Zeitschr. f. Hochfrequenztechnik 38 (1931), 129.] Die aufgenommenen Kurven, Abb. 3 für Quarz zwischen Gitter und Kathode,

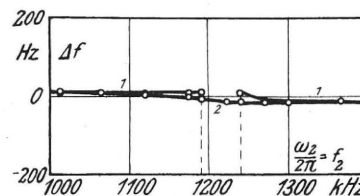


Abb. 3. Quarz zwischen Gitter und Kathode. Quarzfrequenz $f = 1200$ kHz.

Kurve 1: $k = 5,9 \cdot 10^{-2}$
 „ 2: $k = 1,7 \cdot 10^{-2}$

Abb. 4 für Quarz zwischen Gitter und Anode, zeigen die Frequenzänderung des Gesamtsystems

(Sender und Sekundärkreis) in Abhängigkeit von der Eigenfrequenz $f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi}$ des Sekundärkreises bei je zwei verschiedenen Kopplungsgraden. Ein Vergleich der Kurven beider Abbildungen zeigt,

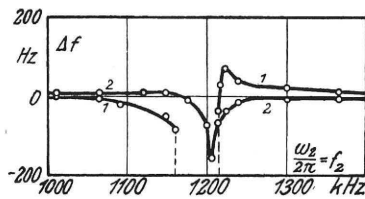


Abb. 4. Quarz zwischen Gitter und Anode.
 Quarzfrequenz $f = 1200$ kHz.
 Kurve 1: $k = 5,9 \cdot 10^{-2}$
 „ 2: $k = 2,1 \cdot 10^{-2}$

daß für den Fall „Quarz zwischen Gitter und Kathode“ die Frequenzkonstanz besser gewahrt bleibt als in dem Falle „Quarz zwischen Gitter und Anode“. In beiden Fällen ist die Abweichung der Frequenz ω von der durch den Quarz gegebenen Frequenz ω_0 kleiner als 1 v.T., d. h. $\omega \doteq \omega_0$.

Bei zu fester Kopplung zwischen Sekundärkreis und Sender tritt bei Annäherung an die Resonanzstelle beiderseits ein Abreißen der Schwingungen ein. Die Kurven 1 der beiden Abbildungen zeigen diesen Fall. Dasselbe ist noch besser ersichtlich aus den Abb. 5 und 6, in denen die Abhängigkeit des Stromes I_1 im Anodenkreis von der Verstärkung ξ des Sekundärkreises bei wachsender Kopplung (Kurve 1—3) dargestellt ist. Die einzige

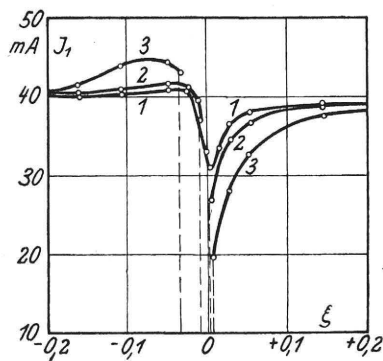


Abb. 5. Quarz zwischen Gitter und Kathode.
 Kurve 1: $k = 2,4 \cdot 10^{-2}$
 „ 2: $k = 3,1 \cdot 10^{-2}$
 „ 3: $k = 5,9 \cdot 10^{-2}$

Forderung in bezug auf die Kopplung, die bei der Dämpfungsmessung erfüllt sein muß, besteht darin, daß die Messung stets bei einem solchen Kopplungsgrad erfolgt, daß der Meßsender in einem Bereich stabiler Schwingungen arbeitet.

Die Messung der Dämpfung geht nun folgendermaßen vor sich: Mittels der Thermoelemente werden die Ströme I_1 und I_2 in beiden Kreisen in Abhängigkeit von der Eigenfrequenz ω_2 gemessen. Aus den ermittelten Zahlenwerten und

aus der gegebenen Frequenz ω_0 des Quarzes berechnet man $\xi = 1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_0^2}$ und $y^2 = \frac{I_2^2}{I_1^2} = f(\xi)$.

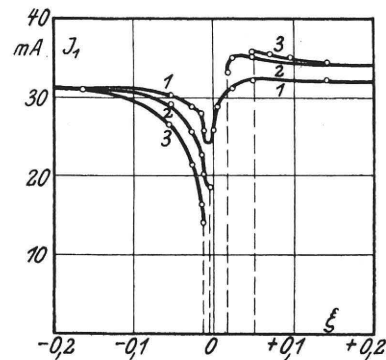


Abb. 6. Quarz zwischen Gitter und Anode.
 Kurve 1: $k = 2,1 \cdot 10^{-2}$
 „ 2: $k = 3,2 \cdot 10^{-2}$
 „ 3: $k = 4,0 \cdot 10^{-2}$

Abb. 7 zeigt zwei bei verschiedener Kopplung aufgenommene Kurven eines Telefunken-Wellen-

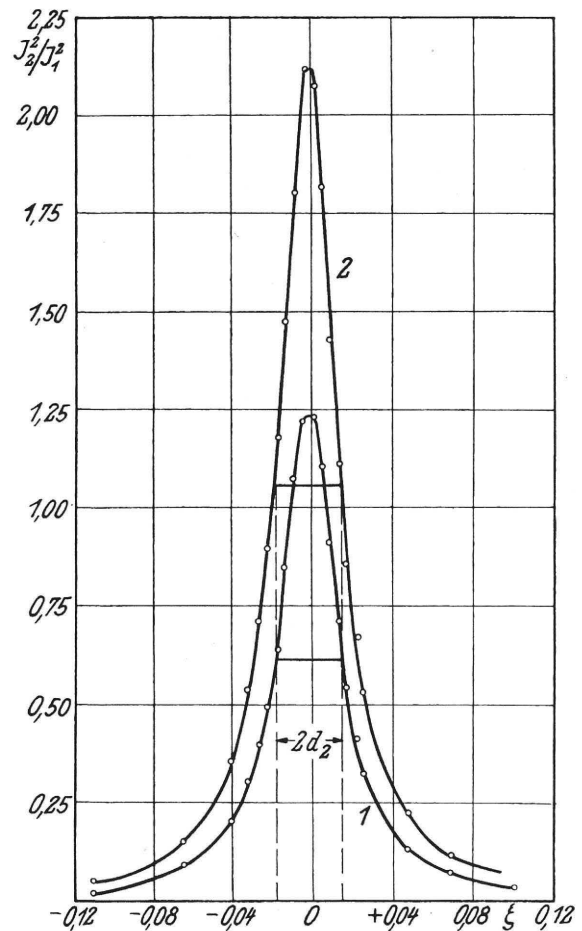


Abb. 7. Resonanzkurven zur Bestimmung der Dämpfung eines Wellenmessers (Telefunken).
 Quarzfrequenz $f = 1200$ kHz.
 Kurve 1: $k = 2,4 \cdot 10^{-2}$
 „ 2: $k = 3,1 \cdot 10^{-2}$

messers. (Kurve 1: $k = 2,4 \cdot 10^{-2}$, Kurve 2: $k = 3,1 \cdot 10^{-2}$.) Die Breite bei halbem Resonanzausschlag ist bei beiden Kurven dieselbe und ergibt unabhängig von der Kopplung die doppelte Dämpfung $2d_2$; in dem vorliegenden Falle ergab sich mit eingeschaltetem Thermoelement die Dämpfung des Kreises zu $d_2 = 1,7 \cdot 10^{-2}$ für $f_0 = 1200$ kHz. Die bei der Messung benutzten Thermoelemente (Fabrikat Abrahamson und Cambridge, Instr. Co.) ergaben eine Meßgenauigkeit von etwa 0,5 v.H. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes und da ξ leicht mit einer Genauigkeit von 1 v.T. bestimmt werden kann, ergibt sich im ungünstigsten Falle für die Messung von d_2 eine Genauigkeit von 2 v.H.

Zur Auswertung der Resonanzkurve braucht man die Verstimmung $\xi = 1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_0^2}$, die man rechnerisch ermitteln muß. Die Rechenarbeit wird vereinfacht bei Benutzung eines Nomogramms für ξ in Abhängigkeit von der Frequenz ω_2 des Meßkreises und der Frequenz ω_0 des jeweils verwendeten Quarzes (Abb. 8).

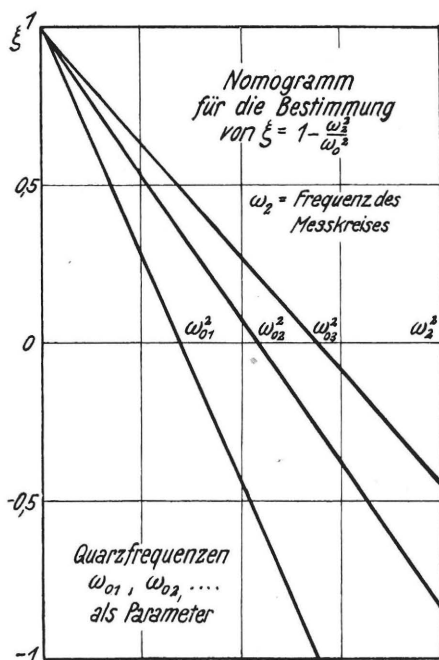


Abb. 8. Nomogramm für ξ

Die in Abb. 7 dargestellten Kurven ergaben eine gute experimentelle Bestätigung der obigen theoretischen Überlegungen und zeigen die Möglichkeit einer präzisen Bestimmung der Dämpfung mittels dieser Methode.

Zusammenfassung

Eine neue Dämpfungsmeßmethode wurde entwickelt, die auf der Verwendung eines quarzgesteuerten Meßsenders in der Pierceschen

Schaltung beruht, wobei infolge der Frequenzstabilität des Senders das Meßergebnis unabhängig von dem Kopplungsgrad zwischen dem Meßsender und dem zu untersuchenden Kreis ist.

(Eingegangen am 22. Juli 1932)