

Nadel-Vibrationsgalvanometer

J

852-2

Verfasser: Dr. H. Zölllich, Berlin

DK 621.317.715.082.4

Bauarten. Man versteht unter einem Nadel-Vg ein Vg, bei dem ein Magnet beliebiger Form im Wechselfelde feststehender Stromleiter (Spulen) beweglich ist. Die Spulen enthalten in der Regel Eisen. Der unter dem Einfluß rücktreibender Kräfte stehende Magnet kann a) ein magnetisierbarer Körper, z. B. aus Weicheisen, sein, der durch einen besonderen, mit Gleichstrom erregten Elektromagnet oder durch einen Dauermagnet magnetisiert wird, oder b) ein von vornherein magnetisierter Stahlkörper — ein Dauermagnet. Die meist gebräuchliche Bauart ist die erste, sie hat den Vorteil, daß nicht so leicht starke Empfindlichkeitsänderungen durch Entmagnetisierung z. B. bei Überlastungen auftreten. Die Frequenzabstimmung braucht nicht durch Stegverschiebung zu geschehen, sondern kann ohne Berühren des Gerätes leicht und bequem durch Regeln des Erregerstromes für einen polarisierenden oder Richtkraft gebenden Elektromagnet erfolgen^{6,7,9}.

Allgemeine Eigenschaften. Das Nadel-Vg spricht auch auf magnetische Streufelder an, es ist daher in der Regel mit einem Schutzmantel, z. B. aus legiertem Eisen, zu umhüllen. Damit dieser Panzer nicht zu schwer werde, muß das Nadel-Vg kleine Abmessungen haben, infolgedessen sind die Meßempfindlichkeiten im allgemeinen niedriger als bei dem Spulen-Vg, während sonst leicht höhere Empfindlichkeiten zu erzielen wären. — Über die allgemeinen Eigenschaften, die dem Nadel-Vg und dem Spulen-Vg gemeinsam sind, siehe ATM J 852—1. Jedoch ist zu beachten, daß manche Nadel-Vg sehr große Selbstinduktionen besitzen. Beim einfachen Kurzschluß verhalten sie sich (falls keine Kompensation durch Kapazität erfolgt) so, als würden sie über eine widerstandslose Induktanz geschlossen. Die Resonanzfrequenz liegt bei Kurzschluß also höher als bei Leerlauf. Die Unterschiede sind allerdings erst bei ziemlich großen Induktanzen der Vg beträchtlich. Sie lassen sich aus der Grundformel für die Schwingweite x von Vg abschätzen (Klemmenspannung = 1):

$$x = \frac{h_0 - 1}{\omega q} \sqrt{\left(\frac{v}{\alpha} + \frac{v^*}{\alpha^*}\right)^2 + \left(h_0 - \frac{v v^*}{\alpha \alpha^*}\right)^2}$$

- wo h_0 = Rückwirkungsfaktor,
 q = dynamische Galvanometerkonstante,
 α = mechanischer Dämpfungsgrad,
 α^* = elektrischer Dämpfungsgrad,
 ω = aufgedrückte Frequenz,

$$v = \text{mechanische Verstimmung} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \omega & v_0 \\ v_0 & \omega \end{pmatrix},$$

$$v^* = \text{elektrische Verstimmung} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \omega & \omega_0 \\ \omega_0 & \omega \end{pmatrix}.$$

Es sei die Induktanz ebenso groß wie der Ohmsche Widerstand, dann ist $v^*/\alpha^* = 1$; im übrigen seien die

dem Bild 1 von ATM J 852—1 zugrunde liegenden Annahmen gemacht. Dann liegt die Resonanzfrequenz bei 1,0025 statt bei 1. Die Abweichungen werden aber erheblicher, wenn der Rückwirkungsfaktor sehr groß ist⁹.

Ältere Ausführungen. Das erste Vg ist das optische Telefon von M. Wien¹. Die „Nadel“ war eine austauschbare gewellte Membran, die mit einem Mittelstift einen Spiegel in Drehschwingungen versetzte. Rubens² ersetzte die Membran durch ein System von Weicheisennadeln, die auf die Mitte einer Saite aufgeklebt wurden. Verschiebbare Metallklammern begrenzten die freie Saitenlänge und ermöglichten die Änderung des Eigentones um etwas mehr als eine Oktave. Die Feinabstimmung um $\pm 15\%$ erfolgte durch Verschieben der Wechselstrommagnete, dabei änderte sich gleichzeitig die Dämpfung. Während dies Vg zur Klasse a) gehört, entwickelte M. Wien⁴ eins der Klasse b). Im Spalt eines ringförmigen, mit den Wechselstromspulen bewickelten Eisenkerns hing parallel zu den Eisenendflächen eine Reihe magnetisierter Stahlröhrtchen. Die Saitenlänge war wie bei Rubens durch Klemmstege veränderlich, die Feinabstimmung erfolgte durch Ändern der Spaltbreite, auch hier änderte sich dabei die Dämpfung. Die Wechselstromempfindlichkeiten dieser drei Vg⁴ verhielten sich wie 1:4:15, spätere Messungen³ ergaben für das Rubens-Vg bei 100 Hz eine Wechselstromempfindlichkeit von 1,5 mm/ μ A nach der heute üblichen Definition (s. ATM J 852—1). Alle drei Vg entsprechen den heutigen Anforderungen besonders hinsichtlich der Bequemlichkeit der Abstimmung nicht mehr.

Nadel-Vg von Drysdale-Tinsley⁵. (Bild 1.) Die Wechselstromwicklung besteht aus leicht austauschbaren flachen Scheibenspulen S ohne Eisen, deren es acht gibt. Die Eisennadel, ebenfalls austauschbar, wird zusammen mit dem Spiegel von einem Seidenfaden gehalten und erhält ihre Richtkraft von einem Hufeisenmagnet M . Die Abstimmung geschieht ganz grob durch Auswechseln der Nadel, innerhalb der einzelnen Bereiche ohne Berühren des Nadeleinsatzes durch Verschieben eines magnetischen Nebenschlusses N . Die Bereiche gehen bis auf 10 Hz herunter und bis 160 Hz hinauf. Die Empfindlichkeiten sind von den benutzten Spulen (Widerstand r , Selbstinduktion L , $H\gamma$) abhängig, Beispiele für 50 Hz enthält die Tabelle.

r	L	A_{\sim} mm/ μ A	A_{\sim} mm/ μ A	V_{\sim} mm/ μ A
$5 \cdot 10^{-3} \Omega$	$3,4 \cdot 10^{-3}$ mH	...	0,08	16
40 „	17 „	0,004	6	0,15
17000 „	5,3 H	...	90	0,005

Die Leistungsempfindlichkeit für Wechselstrom ist also sehr hoch, im Durchschnitt $W_{\sim} = 1 \text{ mm}/\mu\mu W$; aber für Gleichstrom verhältnismäßig klein, demzufolge ist die Resonanzbreite außerordentlich klein — sie beträgt etwa 0,17% — und die Ansprech- und Beruhigungszeit sehr groß, bei Schwelle von 5% etwa 12 s. Der Rückwirkungsfaktor ist, wie aus den angegebenen Empfindlichkeiten nach den Formeln von J 852—1 folgt, kaum von 1 verschieden.

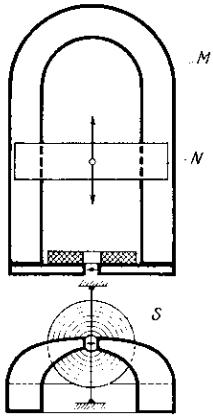


Bild 1. Nadel-Vg von Drysdale-Tinsley.

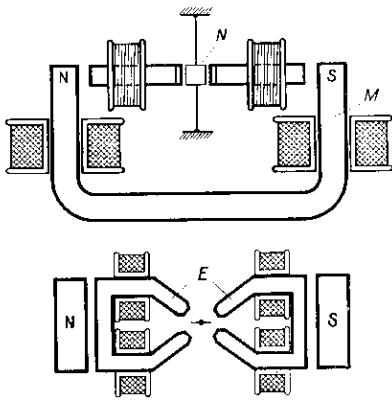


Bild 2. Nadel-Vg von Schering und Schmidt.

Nadel-Vg von Schering und Schmidt⁶. (Bild 2.) Die Wechselstromwicklung besteht aus zwei U-förmigen Elektromagneten E mit massivem Eisen, ihr Gleichstromwiderstand beträgt 72Ω , die Induktivität etwa 0,24 H. Die Eisennadel N ist ein Eisenblättchen mit Spiegel, aufgeklebt auf einen Phosphorbronzedraht, sie erhält eine weitere Richtkraft von einem Gleichstromelektromagnet M. Die Abstimmung auf die Wechselstromfrequenz geschieht durch Regeln des Gleichstromes, also ganz ohne Berühren des Meßgerätes. Die Bereiche sind mit zwei verschiedenen Nadeleinsetzungen 10...70 Hz und 30...160 Hz; aber es sind auch 2 Hz erreichbar. Die Empfindlichkeiten sind für die Eigenfrequenz 50 Hz

A_{\sim}	A_{\sim}	V_{\sim}	W_{\sim}
0,035 mm/ μA	10 mm/ μA	0,065 mm/ μV	0,65 mm/ $\mu\mu W$

Die Resonanzbreite bei Leerlauf ist durch Verschieben eines Kupferstückes in der Nähe der Nadel regelbar und wird ungefähr auf den Wert 1% eingestellt. Der Rückwirkungsfaktor ist bei einer solchen Einstellung 1,25, also steigt die Resonanzbreite bei Kurzschluß nur um $\frac{1}{4}\%$. Eine besondere Eigenart ist die kleine Erdkapazität des Vg, sie wird erzielt durch Luftspalte zwischen den Wechselstrommagneten und den Schenkeln des Gleichstrommagneten.

Dies Vg ist für die meisten Messungen ausreichend empfindlich und hat wegen des außergewöhnlich bequemen Arbeitens, das es ermöglicht, und wegen seiner Kleinheit große Verbreitung gefunden.

Nadel-Vg von Schering (für Tonfrequenz)⁷. Dies unterscheidet sich von dem vorigen dadurch, daß die Meßwicklung ein Elektromagnet mit geblättertem Kern ist, dessen Mittelebene senkrecht zu dem Kern des Gleichstrommagneten steht; es kann abgestimmt werden auf 70...420 oder 160...750 Hz; bei 400 Hz ist die Empfindlichkeit 6 mm/ μA , die Resonanzbreite 0,3%.

Nadel-Vg von Agnew⁸. (Bild 3.) Die Wechselstromwicklung besteht aus einem U-förmigen Elektromagnet E mit kleinem Luftspalt zwischen zugeschärften Polschuhen; die Eisennadel N ist ein in diesen Luftspalt ragender, freientender Klaviersaitendraht mit Eisenfuß, der nur magnetisch gehalten auf der Stirnfläche eines Hufeisenmagneten M sitzt. Die Abstimmung erfolgt grob durch Auswechseln der Nadel, feindurch Ändern des magnetischen Schlusses

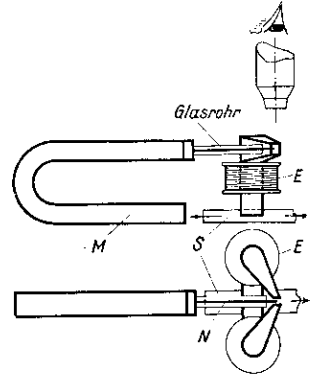


Bild 3. Nadel-Vg von Agnew.

des Dauermagneten mit einem Eisenstab S. Beobachtet wird mit Mikroskop. Eine Schwingweite von 5μ ist noch feststellbar entsprechend einigen $\mu\mu W$. Die Resonanzbreite ist 1%, der Rückwirkungsfaktor sehr nahe 1.

Nadel-Vg von Meißner und Adelsberger⁹. Dies empfindlichste, in der PTR entwickelte Vg gehört wie das Wiensche der Klasse b) an und ist bei dem ersten Modell durch Stegverschiebung von 60...240 Hz oder neuerdings mit drei Einsätzen elektromagnetisch abstimmbare von 15...820 Hz. — Die Empfindlichkeiten sind:

I_0	A_{\sim}	A_{\sim}	V_{\sim}
62 Hz	1,7 mm/ μA	330 mm/ μA	0,08 mm/ μV
50 „	1,2 „	490 „	1,2 „

Der Rückwirkungsfaktor ist außerordentlich hoch, etwa $h_0 = 30$; diese sonst unerwünschte Eigenschaft dient hier in Verbindung mit einer Abstimmung des elektrischen Schwingungskreises, in den das Vg geschaltet ist, der Erzielung weitgehender Frequenzunabhängigkeit; hierbei sinkt bei niedrigen Frequenzen allerdings die Empfindlichkeit, und zwar für 50 Hz bei einer Breite des frequenzunabhängigen Gebietes von 10 Hz auf $\frac{1}{6}$ des angegebenen Wertes.

Literatur.

Zusammenfassende Darstellungen: Keinath, Techn. Meßger.³, München 1928, I, S. 344...350; Jaeger, Elektr. Meß-techn.³, Leipzig 1928, S. 250...257; Werner, Empfindl. Galv., Berlin 1928, S. 120...140; Schering, Vibrationsgalvanometer in Geiger-Scheel, Handb. Physik 16, Berlin 1927, S. 304...322; Kennelly, Electr. Vibr. Instr., New York 1923, S. 264...286; Hague, A. C. Bridge Methods², London 1930, S. 171...201.

1. M. Wien, Ann. Physik Chem., N. F. 42 (1891), S. 593...603; 44 (1891), S. 681...688. 2. Rubens, Ann. Physik Chem., N. F. 56 (1895), S. 27...41. — 3. Wenner, Bull. Bur. Stand. 6 (1909/10), S. 364...369. — 4. M. Wien, Ann. Physik (4) 4 (1901), S. 440...445. — 5. Tinsley, Electrician 69 (1912), S. 939...941. — 6. H. Schering u. R. Schmidt, Z. Instrumenten- kde. 38 (1918), S. 1...11. 7. Z. Instrumenten- kde. 38 (1918), S. 84; 39 (1919), S. 140. — 8. Agnew, J. (bzw. Trans.) Amer. Inst. Electr. Engr. 39 (1920), S. 158...161 (bzw. S. 359...367) oder Sci. Pap. Bur. Stand. 16 (1920), S. 37...44 (Nr. 370). — 9. Meißner u. Adelsberger, Z. techn. Physik 11 (1930), S. 102...107, 143...147; 13 (1932), S. 475...477, 14 (1933), S. 111...118.