

Bauarten. Hier sind alle Vg behandelt, bei denen der festzustellende Wechselstrom einen beweglichen Stromleiter durchfließt. Zu ihnen gehört das Spulen-Vg selbst, das als bewegliches System eine zwischen gespannten Haltefäden hängende Drehspule besitzt. Bei äußerster Herabsetzung der Windungszahl entartet das Spulengalvanometer zum Halbwindungs-Vg, das meist als Torsions-Saitengalvanometer bezeichnet wird. Wird auch die halbe Windung fortgelassen, so entsteht das spiegellose Saiten-Galvanometer, bei dem die Biegungsschwingungen einer Saite mit dem Mikroskop beobachtet werden. Drehschwingungen für einen Spiegel kann man durch zwei im Feld nebeneinander angeordnete, aber entgegengesetzt vom Strom durchflossene Saiten erzielen; man kommt so zu dem Schleifen-Vg. Es läßt sich aber auch die Drehbewegung beim Saiten-Galvanometer durch einen unsymmetrisch auf die Saitenmitte aufgeklebten und daher schlenkernden Spiegel erzielen, man erhält so das Mollsche Vg.

Allgemeine Eigenschaften. Das Spulen-Vg, aber auch die übrigen Vg mit beweglichem Leiter sind bei richtiger Leitungsführung im Gegensatz zum Nadel-Vg durch magnetische Streufelder nicht zu beeinflussen; dagegen sind sie wegen der dünnen Zuleitungen oder stromführenden Spanndrähte leichter durch versehentliche Überlastung gefährdet. — Über die allgemeinen Eigenschaften, die dem Nadel-Vg und dem Spulen-Vg gemeinsam sind, siehe ATM J 852-1.

Spulen-Vibrationsgalvanometer.

Das Magnetfeld wird in der Regel erzeugt durch einen Dauermagnet; seltener durch einen mit Gleichstrom gespeisten Elektromagnet. Die Wechselstromspule, die möglichst schmal und leicht ausgeführt ist und keinen Weicheisenkern besitzt, hängt zwischen gespannten Haltefäden, -bändern oder -bifilaren. Die Abstimmung auf die Wechselstromfrequenz geschieht grob durch Verschieben von Stegen, welche die freie Länge der Haltemittel begrenzen, fein durch Ändern der mechanischen Spannung der Haltemittel. Diese Verstellungen, vor allem die Feinverstellung, erfolgen bisweilen magnetisch, aber doch immer mit Eingriffen in die beweglichen Teile, erfordern also deren sorgfältigen Bau, um störende Nullpunktverschiebungen zu vermeiden. Die Dämpfung (und damit die Wechselstromempfindlichkeit sowie die Resonanzbreite und die Ansprechzeit) kann durch mit der Drehspule verbundene Kurzschlußwindungen auf gewünschte Werte eingestellt werden. Auch der Rückwirkungsfaktor (und damit der Wirkungsgrad) ist regelbar, und zwar durch Ändern der Feldstärke.

Die ersten Spulen-Vg (Bild 1) stammen von Campbell¹. Sie wiesen die von dem Heberschreiber Lord Kelvins (1867) bekannte Verspannung der Drehspule auf und waren abstimbar im Bereich von 50...100 Hz

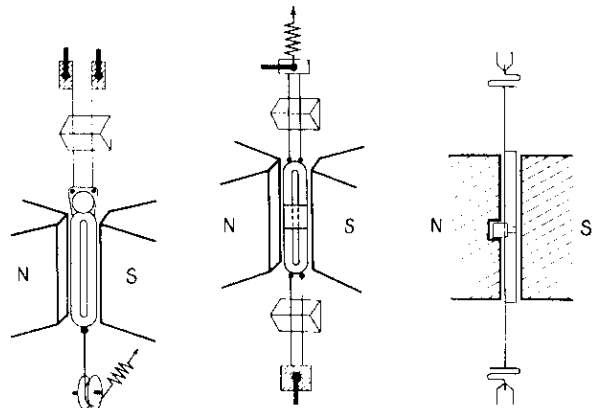


Bild 1. Spulen-Vibrationsgalvanometer von Campbell.

Bild 2. Spulen-Vibrationsgalvanometer mit zwei Stegen.

Bild 3. Halbwindungs-galvanometer.

durch Ändern der mechanischen Spannung, darüber bis 800 Hz durch Verschiebung des Steges, über den die gleichzeitig als Zu- und Ableitung dienende Bifilare gespannt war. Die Spulen waren noch zu schwer und besaßen zu viele Windungen. Dementsprechend mußten die Haltefäden mit einer Federkraft von $\frac{1}{2}$...1 kg gespannt werden, die Resonanzbreite bei Leerlauf war viel zu klein, der Rückwirkungsfaktor — und damit auch der Betriebswiderstand — übertrieben groß³ ($h_0 = 40$). Ein Fortschritt in dieser Beziehung wurde durch Wenner herbeigeführt, der auf die Bedeutung der rückwirkenden EMK hinwies (vgl. ATM J 852-1) und dessen Theorie des Vg die Grundlage für die weitere Entwicklung bildete.

Es gelang, Vg zu entwickeln^{6, 8}, deren Spannungsempfindlichkeit nicht zu sehr zugunsten der Stromempfindlichkeit gedrückt war. Auch die Halterung der Spulen wurde geändert^{2, 5}; bei der Verwendung von vollen Windungen nach Bild 1 ist die Leitungsführung ideal, aber bei den einfachen Stegformen die Kriechstrecke zwischen den Bändern auf dem Steg zu kurz, es ist daher zweckmäßig, die Stromzuführungen nach entgegengesetzten Richtungen zu leiten (vgl. Bild 2). Schließlich ist es vorteilhafter, zwei gegenläufig zu verschiebende Stege zur Begrenzung der freischwingenden Teile der Haltemittel zu verwenden⁸.

Die im Schrifttum angegebenen Empfindlichkeiten sind nicht ohne weiteres miteinander zu vergleichen, die Resonanzbreiten sind selten angegeben und meist zu klein. Die nachstehende Tafel enthält

eine Übersicht über erreichbare Werte bei einem Rückwirkungsfaktor von $h_0 = 2$ und einer Resonanzbreite von 1% .

Hz	A	A_{\sim}	V_{\sim}	W_{\sim}
	mm/ μ A	mm/ μ A	mm/ μ V	mm/ μ W
25	1	250	0,5	125
50	0,5	125	0,25	30
100	0,25	60	0,12	7
500	0,04	10	0,2	2

Das Halbwindungs-Vibrationsgalvanometer¹². Die halbe Windung aus dünnstem Kupferdraht ist auf die Mitte eines Spanndrahtes angelötet und darum kurzgeschlossen. Der Spiegel dient als Gegengewicht. Eine Abstimmung auf die Wechselstromfrequenz ist nicht vorgesehen, denn die Dämpfung, die sogar für jeden Schließungswiderstand durch Regeln des Magnetfeldes aperiodisch gemacht werden kann, ist auf jeden Fall sehr groß. Das Gerät ist also kein Resonanz-Galvanometer, wenn es auch als Vibrationsgalvanometer verwendbar ist. Die Eigenfrequenz ist auf 50 oder 100 Hz eingestellt, die entsprechenden Wechselstromempfindlichkeiten betragen 7 und 3,5 mm/ μ A bei einem Gleichstromwiderstand von 10 und 7 Ω . (Bild 3.)

Das Schleifen-Vibrationsgalvanometer. Die Abstimmung auf die Wechselstromfrequenz geschieht sowohl durch gegenläufiges Verschieben von symmetrisch zur Mitte angeordneten Stegen, welche die freie Länge der beiden Saiten begrenzen, wie auch durch Ändern der mechanischen Spannung der Saiten. Dabei müssen beide Saiten gleich gespannt sein, sie bestehen daher aus einer einzigen um eine drehbare Rolle geschlungenen Saite. Die Wechselstromempfindlichkeit ist ziemlich unabhängig davon wie die Abstimmung erfolgt, ob durch Spannen oder durch Stegverschieben, dagegen nicht der Rückwirkungsfaktor, der auch noch durch Ändern der Feldstärke zu beeinflussen ist; das ist zu beachten, wenn man hohe Spannungsempfindlichkeit erreichen will. Weiter kommt man dann noch durch Ausschalten des jeweils nicht gebrauchten Teiles der Saiten¹⁶. Die Dämpfung ist nicht gesondert regelbar; sie wird mit steigender Eigenfrequenz geringer und entsprechend verkleinern sich die Resonanzbreiten.

Bei dem von Duddell¹³ angegebenen Vg ist eine Abstimmung im Bereiche von 150...2000 Hz möglich. Schering und Schmidt¹⁷ haben durch Verwendung einer 1 m langen Schleife einen Frequenzbereich von 25...125 Hz erzielt, mit einer kurzen Schleife den Bereich 110...1000 Hz. Die Empfindlichkeiten^{17, 13} sind:

Hz	A	A_{\sim}	V_{\sim}	h_0	Q_{∞}
	mm/ μ A	mm/ μ A	mm/ μ V		%
50	0,045	10	0,45	1,4	1,1
200	0,17	28	z. B. 0,082	z. B. 2,5	1,5
500	0,027	10	z. B. 0,037	z. B. 2	0,6

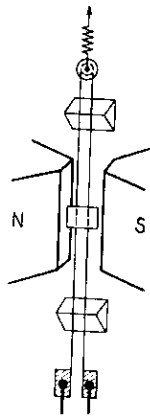


Bild 4. Schleifen-Vibrationsgalvanometer.

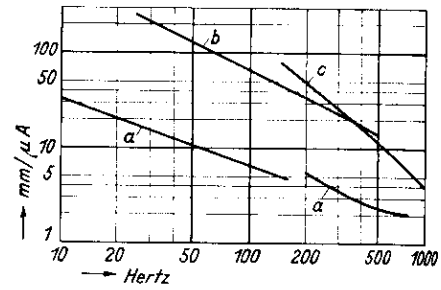


Bild 5. Vergleich der durchschnittlichen Stromempfindlichkeiten handlicher Formen von a Nadelgalvanometer, b Spulengalvanometer, c Schleifengalvanometer bei gleicher Resonanzbreite (von 10...100 Hz 1%, dann linear sinkend auf 0,25% bei 1000 Hz).

Mollisches Vibrationsgalvanometer¹⁸. Die Abstimmung erfolgt nur durch mechanisches Spannen der Saite. Diese führt wegen des unsymmetrisch aufgeklebten Spiegels verwickelte Bewegungen aus¹⁹: Ausbiegung und Drehung, die gegenseitige Beeinflussung beider Bewegungen durch Kopplung muß gering gehalten werden. Die Empfindlichkeiten sind für 100 Hz 35 mm/ μ A und 0,7 mm/ μ V, für 1000 Hz 6 mm/ μ A und 0,012 mm/ μ V.

Das Saiten-Vibrationsgalvanometer. Das Saitengalvanometer (Ader 1897, Einthoven 1903) wird nur behelfsmäßig als Vg benutzt. Die Abstimmung erfolgt allein durch Verändern der mechanischen Spannung der Saite, was leider gleichzeitig eine sehr starke Änderung der Dämpfung zur Folge hat. Das brauchbare Frequenzgebiet ist daher sehr klein.

Die durchschnittlichen Stromempfindlichkeiten der Vg. In Bild 5 sind für die gebräuchlichsten Vg die mittleren Stromempfindlichkeiten bei Abstimmung auf Frequenzen im Bereich von 10...1000 Hz zum Vergleich zusammengestellt; dabei ist angenommen, daß die Stromempfindlichkeit nicht auf Kosten der Spannungsempfindlichkeit besonders hochgetrieben ist, also die Galvanometer keine hohen Betriebswiderstände haben. Es ist aber insbesondere für Nadelgalvanometer möglich, Empfindlichkeiten zu erreichen, die mehrfach höher sind, als die angegebenen Mittelwerte, wie kürzlich von Meißner und Adelsberger nachgewiesen wurde (s. ATM J 852—2).

Literatur.

- Zusammenfassende Darstellungen: siehe ATM J 852—2. — **Spulengalvanometer:** 1. Campbell, Philos. Mag. (6) 14 (1907), S. 497...499; Proc. phys. Soc., Lond. 20 (1907), S. 626...638. — 2. Hausrath, Physik. Z. 10 (1909), insbes. S. 758...759. — 3. Wenner, Bull. Bur. Stand. 6 (1910), S. 347...378. — 4. Bericht über Vg von Carpentier nach Blondel Physik. Z. 14 (1913), S. 599. — 5. Campbell, Proc. phys. Soc., Lond. 25 (1913), S. 203...205. — 6. Campbell, Proc. phys. Soc., Lond. 26 (1914), S. 120...126. — 7. Butterworth, Proc. phys. Soc., Lond. 26 (1914), S. 264...273. — 8. Zölllich, Arch. Elektrotechn. 3 (1915), S. 369...383. — 9. Blondel, Ann. Physique 10 (1918), S. 195...354. — 10. Rothwell, J. sci. Instrum. 2 (1925), S. 251...254. — 11. Gall, J. sci. Instrum. 5 (1928), S. 134...135. — **Halbwindungsgalvanometer:** 12. van Dyck, Z. Instrumentenkde. 46 (1926), S. 378...380. — **Schleifengalvanometer:** 13. Duddell, Philos. Mag. (6) 18 (1909), S. 168...179; Proc. phys. Soc., Lond. 21 (1909), S. 774...787. — 14. Butterworth, Proc. phys. Soc., Lond. 24 (1912), S. 75...92. — 15. Haworth, Proc. phys. Soc., Lond. 24 (1912), S. 230...237. — 16. Haworth, Proc. phys. Soc., Lond. 25 (1913), S. 264 bis 271. — 17. Schering u. Schmidt, Arch. Elektrotechn. 1 (1913), S. 254...258. — **Saitengalvanometer mit schlenkerndem Spiegel:** 18. Moll, J. sci. Instrum. 2 (1925), S. 361...363; 5 (1928), S. 22...23. — 19. di Muro, Nuovo Cimento 6 (1929), S. 60...69.