

Obwohl es heute Geräte gibt, die bei mindestens gleicher Leistung eine viel bequemere Ablesung ermöglichen (z.B. volltransistorisierte Digitalanzeigergeräte), ist das Galvanometer besonders im Praktikum ein sehr nützliches Messinstrument. Es ist besonders geeignet, weil es ein überschaubares und leicht verständliches Gerät ist, an dem viele grundlegende physikalische Effekte elektrischer und mechanischer Natur auftreten. So zum Beispiel Kraftwirkungen auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld, Induktionserscheinungen und Schwingungsvorgänge. Beachten Sie bitte bei allen Aufgabenteilen, dass das Galvanometer äußerst empfindlich und daher sorgsam zu behandeln ist.

Schaltungen bitte sorgfältig kontrollieren. Stets mit kleinster angelegter Spannung beginnen (Regler R2 in Schaltung 1). In keinem Fall wird das Galvanometer direkt an den Ausgang von Schaltung 1 angeschlossen!

Wegen der unvermeidlichen Nullpunktsdrift des Galvanometers muss die Null-Lage häufig kontrolliert werden. (Besser notieren oder korrigieren?) Gestellte Fragen sollen schon bei der Vorbereitung beantwortet werden. Bei der Auswertung nicht die Diskussion vernachlässigen, z.B. zu unterschiedlichen Ergebnissen bei verschiedenen Messverfahren.

Aufgaben:

1.) Machen Sie zunächst einige Vorexperimente, die Ihnen die hohe Galvanometerempfindlichkeit und mögliche Ursachen für Fehlmessungen vor Augen führen.

1.1 Nehmen Sie einen Zuleitungsbananenstecker in die linke, den anderen in die rechte Hand, und beobachten Sie den Lichtzeiger-Ausschlag des angeschlossenen Galvanometers.

1.2 Schließen Sie das Galvanometer (ohne Spannungsquelle!) nur an einen Drahtdrehwiderstand (z.B. 100Ω) an und beobachten Sie den Lichtzeiger, während Sie den Schleifer des Drehwiderstandes hin- und herbewegen.

1.3 Vergleichen Sie die Ruhestellung des Lichtzeigers bei offenem Galvanometer mit der bei angeschlossenem Drehwiderstand.

Versuchen Sie, die beobachteten Effekte zu erklären.

2.) Entnehmen Sie die Versorgungsspannung U für die folgenden Aufgaben einem Spannungsteiler, der in Schaltung 1 dargestellt ist. Beginnen Sie bei allen Aufgaben mit kleinsten U -Werten und steigern Sie die Spannung nur bei Beobachtung des Lichtzeigers. Stellen Sie den Nullpunkt normalerweise mittels der verschieblichen Skala ein. Falls ein Drehen am Justierknopf notwendig sein sollte, dann diesen nur um extrem kleine Winkel verdrehen!

2.1 Messen Sie in Schaltung 2 den Galvanometerausschlag α in Abhängigkeit vom Vorwiderstand R bei geeigneter Spannung U . Tragen Sie α^{-1} über R auf, berechnen Sie die Ausgleichsgerade durch die Messpunkte und bestimmen Sie aus deren Parametern: -(a) den Galvanometer-Innenwiderstand R_G und -(b) die statische Stromempfindlichkeit C_I (in m/A, nicht in $^\circ$ /A o.ä.)

2.2 Messen Sie in Schaltung 3 den Galvanometerausschlag α in Abhängigkeit von R : -(a) bei offener Brückendiagonale und -(b) bei kurzgeschlossener Brückendiagonale.

Tragen Sie für beide Fälle α^{-1} über R auf, bestimmen Sie den Schnittpunkt und damit den Innenwiderstand des Galvanometers R_G .

2.3 Messen Sie in Schaltung 4 bei $R_a = \infty$ den Ausschlag α in Abhängigkeit von der Spannung U , berechnen Sie die zugehörigen Ströme I und tragen Sie α über I auf. Berechnen Sie die Ausgleichsgerade durch die Messpunkte und damit die statische Stromempfindlichkeit C_I .

3.) Messen Sie in Schaltung 4 in Abhängigkeit vom Außenwiderstand R_a (schaltbar; $1k\Omega$ bis ∞ wählen) beim Rückschwingen um den Nullpunkt: -(a) das Dämpfungsverhältnis α_{n-1} / α_n und -(b) die Schwingungsdauer T . Nutzen Sie dabei jeweils optimal viele Schwingungen aus.

Ermitteln Sie folgende Größen:

- (a) Die **Abklingkonstante** β_{Ra} und tragen Sie $(\beta_{Ra} - \beta_{\infty})^{-1}$ über R_a auf. Ein zusätzlicher Punkt in diesem Diagramm ist $(-R_G, 0)$. Berechnen Sie die Ausgleichsgerade durch die Punkte.
- (b) Die **Frequenz des ungedämpften Galvanometers**, $\omega_0 = \sqrt{(2\pi / T_{\infty})^2 + \beta_{\infty}^2}$.
- (c) Den **Außenwiderstand $R_{a,gr}$** für Grenzdämpfung, der bei $(\omega_0 - \beta_{\infty})^{-1}$ abzulesen ist. Verifizieren Sie **experimentell** (Schaltung 4), dass etwa bei diesem Widerstand der Grenzfall vorliegt.
- (d) Die **Galvanometer-Kenngrößen G , Θ und D** mit Hilfe der drei Gleichungen $m = 2\Theta / G^2$; $\omega_0^2 = D / \Theta$; $C_I' = G / D$ (m = Steigung der Geraden; G = Galvanometerkonstante; Θ = Trägheitsmoment des schwingenden Systems; D = Rückstellkonstante der Torsionsaufhängung.) Dabei ist zu beachten, dass C_I' als Drehwinkel im Bogenmaß von Spule bzw. Drehspiegel, geteilt durch den entsprechenden Strom, genommen werden muss, während C_I bei den Aufgaben 2.1 und 2.3 auch anders angegeben wurde.

4.) Bei den Aufgaben 2.1 und 2.3 (C_I -Bestimmung) floss der Messstrom mindestens solange, bis sich die neue Gleichgewichtslage eingestellt hatte. Jetzt wird die Wirkung von kürzeren Stromstößen untersucht. Der Einfachheit wegen werden die Stromstöße $\int Idt = Q = C \cdot U$ durch Entladung eines Kondensators erzeugt (Schaltung 5), obwohl der exponentielle Stromverlauf keine scharfe Angabe der Stromstoßdauer T_Q erlaubt. Es ist aber vernünftig, z.B. die Zeit $T_Q = 3RC$ anzugeben, nach der etwa 95% der Ladung abgeflossen ist. Da die Stromstoßquelle den Innenwiderstand ∞ hat, müssen bei Messungen mit größeren Dämpfungen als β_{∞} Widerstände zum Galvanometer parallel geschaltet werden. Dann ist $Q_G < C \cdot U$ zu beachten, denn die Empfindlichkeiten sind auf Q_G , den über das Galvanometer abfließenden Ladungsanteil, zu beziehen.

4.1 Bestimmen Sie bei sehr kurzer Stromstoßdauer T_Q (R klein) die Stromstoßempfindlichkeiten des Galvanometers, mit $R_a = \infty$ (ballistische Empfindlichkeit bei minimaler Dämpfung), mit $R_a = 1000\Omega$, mit $R_a = 330\Omega$ (ballistische Empfindlichkeit nahe der Grenzdämpfung) sowie mit $R_a = 33\Omega$ ('fluxmetrische Empfindlichkeit' im Kriechfall).

4.2 Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den theoretischen Werten, die Sie unter Benutzung der in den Aufgaben 2 und 3 ermittelten Kenngrößen G , R_G , Θ , ω_0 sowie R_a berechnen können.

4.3 Überzeugen Sie sich durch etliche Messungen mit größeren R-Werten davon, dass nur für $T_Q \ll T$ die Stromstoßempfindlichkeiten nahezu unabhängig von T_Q sind.

Fragen:

Warum kann man R_G nicht mit einem der üblichen Ohmmeter messen?

Wozu könnte wohl der in Schaltung 4 zum Galvanometer parallelschaltbare 330Ω -Widerstand dienen?

Wie ergibt sich die statische Spannungsempfindlichkeit C_U des Galvanometers?

Wieso ergibt sich bei Aufgabe 2.2 R_G als Schnittpunkt-R ?

Welchen Sinn haben ballistische Messungen? Vergleichen Sie z.B. mit dem Mechanik-Versuch 'Schuss in einen Pendel-Sandsack'.

Zubehör:

Spiegelgalvanometer [$T \approx 5s$; $R_G \approx 30\Omega$; $C_I \approx 10^5$ rad/A; Abstand Spiegel-Skala $A = (250 \pm 3)mm$]

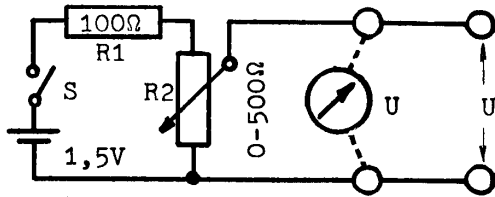
In mehreren Schaltkästchen die Schaltungen 1 bis 5 mit Bananenbuchsen [Liste für Messwerte der Bauelemente beachten! In Schaltung 5 ist zusätzlich zu R18 bis R20 noch R21 (500Ω , regelbar) vorhanden.]

Drehspulmessinstrument (1% SKE) mit Vorwiderständen für 0,25V; 1V und 2,5V;

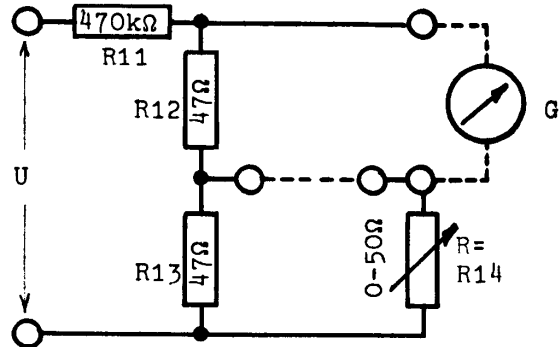
zusätzliche Geräte für Sonderaufgaben (z.B. Induktionsspulen und Rechteckimpuls-Generator).

Literatur:

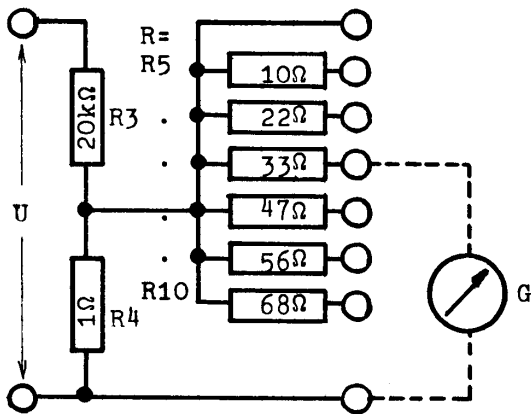
- Westphal: Physikalisches Praktikum
- Schlosser, Winterling: Galvanometer
- Walcher: Praktikum der Physik
- Mayer, Moerder: Spiegelgalvanometer und Lichtzeigerinstrumente
- Beljankin et al.: Physikalisches Praktikum
- Jüngst: Vorbereitungshilfe 'Galvanometerformeln' (1985)



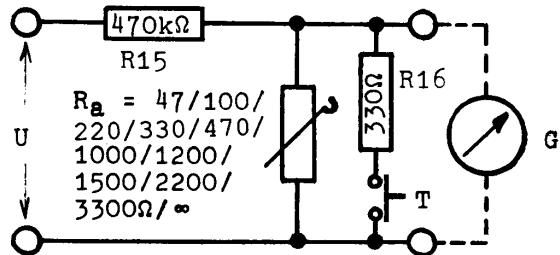
Schaltung 1



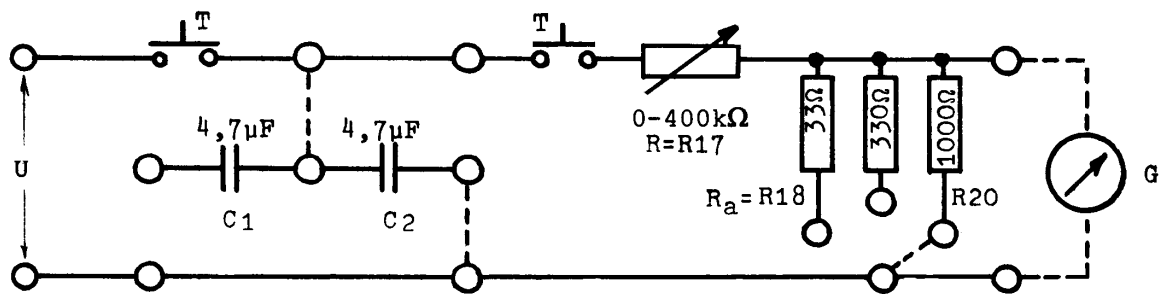
Schaltung 3



Schaltung 2



Schaltung 4



Schaltung 5

51

Die als Schaltkästchen mit Bananenbuchsen vorhandenen Schaltungen 1 bis 5

Messwerte ($\pm 1,5\%$) der Widerstände und Kapazitäten in den Schaltungen zu den Galvanometer-
versuchen, bei denen in den Skizzen nur Richtwerte angegeben sind:

Schaltung	Bezeichnung	Richtwert	Wert bei P1-13	Wert bei P1-14	Wert bei P1-15
2	R3	20k	19,95k	14,9k	14,9k
2	R4	1	1,04	0,70	0,70
2	R5	10	10,1	10,1	10,0
2	R6	22	20,4	22,0	21,2
2	R7	33	29,8	33,1	33,0
2	R8	47	38,8	47,1	46,8
2	R9	56	50,3	55,8	56,0
2	R10	68	61,8	67,6	67,6
3	R11	470k	474k	477k	479k
3	R12	47	43,0	47,0	47,3
3	R13	47	43,0	47,0	46,9
3	R14	0-50	0-49,8	0-50,0	0-49,1
4	R15	470k	506k	474k	474k
4	Ra-1	47	47,8	47,0	47,0
4	Ra-2	100	99,8	99,0	100
4	Ra-3	220	221	221	219
4	Ra-4	330	329	331	329
4	Ra-5	470	477	472	470
4	Ra-6	1000	1026	1001	1000
4	Ra-7	1200	1484	1194	1200
4	Ra-8	1500	1986	1500	1500
4	Ra-9	2200	2500	2260	2240
4	Ra-10	3300	3010	3300	3300
5	C1	4,7 μ	4,12 μ	5,45 μ	5,30 μ
5	C2	4,7 μ	4,12 μ	5,52 μ	5,15 μ
5	R18	33	33,0	33,0	32,8
5	R19	330	341	332	334
5	R20	1000	999	999	998

Verwenden Sie bei Ihrer Versuchsbeschreibung möglichst die vorgegebenen Bezeichnungen der Bauteile.