

13. Gedämpfte elektromagnetische Schwingungen

Eine Induktivität bildet zusammen mit einer Kapazität stets einen elektromagnetischen Schwingkreis, egal ob sie parallel oder seriell geschaltet sind. Bei den Versuchen wurde ein Parallelschwingkreis verwendet. Führt man einem solchen Schwingkreis kurzzeitig elektrische Energie zu, so wird diese Energie fortlaufend zwischen der Induktivität und der Kapazität ausgetauscht. Die Dauer dieses Austauschs, dieser Schwingung, wird jedoch begrenzt durch die stets vorhandenen ohmschen Widerstände im Schwingkreis, die einen Teil der Energie in Wärmeenergie umwandeln. Die Schwingung klingt also nach einer gewissen Zeit ab und auch die Frequenz der Schwingung wird durch den ohmschen Widerstand beeinflusst.

Für die ideale, also verlustfreie Schwingung gilt für die Resonanzfrequenz des Schwingkreises die

Thomson'sche Schwingungsgleichung $\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Mit der Abklingkonstanten $\delta = \frac{R}{2L}$

und der Eigenkreisfrequenz $\omega_e = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$

sowie der Phasenverschiebung $\varphi = \arctan\left(\frac{\delta}{\omega_e}\right)$

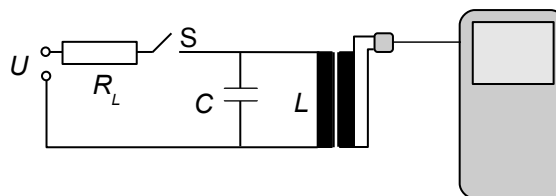
wird bei nicht zu starker Dämpfung der Spannungsverlauf am Kondensator gut

beschrieben durch die Funktion $u_c(t) = U_{C0} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_e} \cdot e^{-\delta t} \cdot \cos(\omega_e t - \varphi)$.

U_{C0} ist die Spannung am Kondensator zum Zeitpunkt $t = 0$ s.

φ ist die Phasenverschiebung; sie wird im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

a. Messungen an einer gedämpften Schwingung



Aufbau:

Gleichspannungsquelle $U = 3$ V

Umschalter (Morsetaster) S

Schutzwiderstand, z. B. $R_L = 32 \Omega$

Primärspule L hoher Windungszahl auf geschlossenem Trafokern, z. B. $n = 1600$

Windungen bei $R_i = 45 \Omega$ und $L = 50$ mH (ohne Kern)

Sekundärspule zum Anschluss des Spannungssensors, z. B. $n_2 = 400$ Windungen

Kondensator, z. B. $C = 1 \mu\text{F}$

Spannungssensor (Eingang 1)

Durchführung:

Einstellungen:

Messrate: 2000 Messungen pro Sekunde

Messdauer: 0,1 s

Triggerung: Spannung (Eingang 1)

Zunahme über Schwellenwert

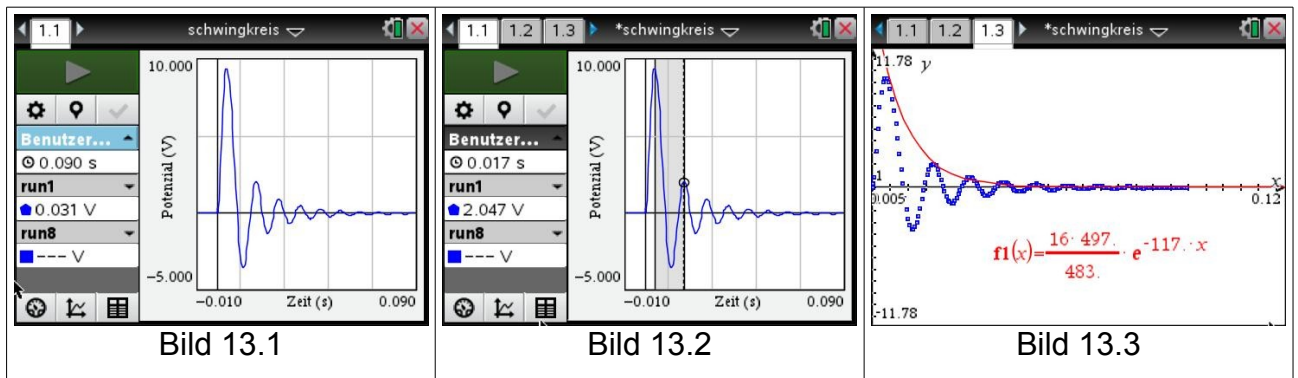
Schwellenwert: 0,05 V

Vorspeicherung 10 %

Durchführung:

Spannungssensor vor der Messung auf Null setzen.

Messung starten und Taster S kurz drücken und loslassen. Versuch u. U. mehrmals durchführen, bis sich eine Darstellung wie in Bild 13.1 ergibt.



Auswertung

1. L ist zunächst nicht bekannt, aber es gibt eine einfache Methode, trotzdem δ berechnen zu können. Man bestimmt z. B. die Koordinaten zweier benachbarter Maxima (Bild 13.2), also $P_1(t_1/U_1)$ und $P_2(t_2/U_2)$.

An diesen Stellen ist $U_1(t_1) = U_C \cdot e^{-\delta t_1}$ $U_2(t_2) = U_C \cdot e^{-\delta t_2}$.

Dividieren und Logarithmieren ergibt $\delta = \ln \left(\frac{U_1}{U_2} \right) = 117,4 \frac{1}{s}$.

Daraus erhält man $L = 0,192 \text{ H}$ sowie $\omega_e = 2\pi/T = 483,3 \text{ 1/s}$ und $\omega_0 = 497,4 \text{ 1/s}$.

2. Damit gilt für den Verlauf der Dämpfung $U(t) = U_{C0} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_e} \cdot e^{-\delta t}$ (Bild 13.3).

3. Der Wert für U_{C0} muss durch Ausprobieren bestimmt werden (im Beispiel ist $U_{C0} = 16 \text{ V}$).

b. Verschiedene Schwingungsformen

Die Gleichung für die Eigenkreisfrequenz $\omega_e = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ bestimmt das Schwingungsverhalten:

$\delta < \omega_0$: gedämpfte Schwingungen mit ω_e

$\delta = \omega_0$: aperiodischer Grenzfall (Schwingung mit $\omega_e = 0$)

$\delta > \omega_0$: Kriechfall (keine Schwingung mehr; exponentieller Abfall der Spannung)

Alle drei Fälle kann man über eine geeignete Wahl der Bauteile C , L und R darstellen. Besonders einfach funktioniert das mit Kondensatoren und Widerständen, da sie einfacher zu beschaffen sind als unterschiedliche Induktivitäten. Den Übergang vom Schwingfall zum Kriechfall kann man erreichen durch Vergrößerung von C bzw. Verkleinerung von R . Dazu wird ein zusätzlicher Dämpfungswiderstand R_D parallel zur Induktivität geschaltet.

Nachfolgend ein paar Darstellungen, auf denen die unterschiedlichen Schwingungszustände gut zu erkennen sind. Bei den Bildern 13.4 und 13.5 wird die Kapazität verändert, bei den Bildern 13.6 bis 13.8 der Widerstand. Bei allen wird dieselbe Induktivität (50 mH auf einem geschlossenen Eisenkern) verwendet. Die Einstellungen für die Triggerung bleiben unverändert. Die abschließende Tabelle listet die Versuchsdaten auf. Beide Versuchsreihen zeigen gut den Übergang aus dem Schwingfall in den aperiodischen Grenzfall.

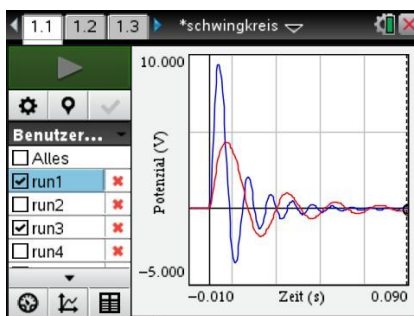


Bild 13.4

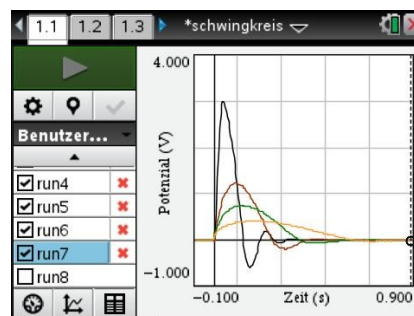


Bild 13.5

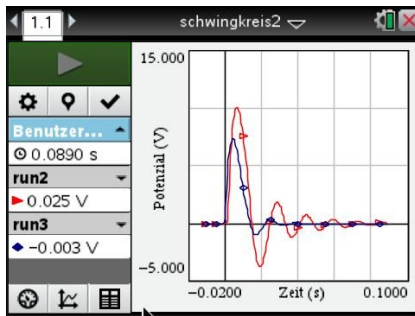


Bild 13.6

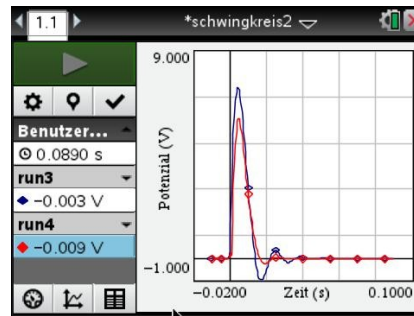


Bild 13.7

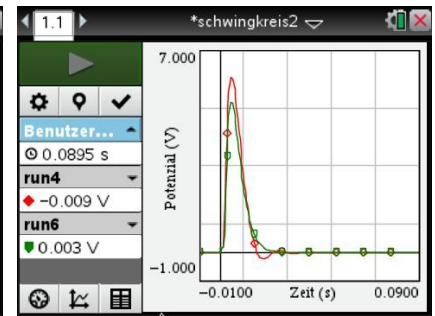


Bild 13.8

Bild / Graph	C in μF	R_D in $\text{k}\Omega$	Einstellungen
13.4 / blau ³	1	-	$U = 3 \text{ V}$ $n_{\text{sek}} = 400 \text{ Wdg}$
13.4 / rot	4,4	-	2000 Mess. / s Dauer: 0,1 s
13.5 / schwarz	100	-	$U = 6 \text{ V}$ $n_{\text{sek}} = 800 \text{ Wdg}$
13.5 / braun	470	-	200 Mess. / s Dauer: 1 s
13.5 / grün	1000	-	Elektrolytkondensatoren, Polung beachten!
13.5 / gelb	2000	-	
13.6 / rot	1	-	
13.6+13.7 / blau	1	3,19	$U = 3 \text{ V}$ $n_{\text{sek}} = 400 \text{ Wdg}$
13.7 / rot	1	2,15	2000 Mes. / s Dauer: 0,1 s
13.8 / rot	1	1,5	
13.8 / grün	1	0,2	

³ Der Graph mit der größten Elongation wird bei jedem Bild als Erster aufgeführt.