Versuch 07 **Erzwungene Schwingungen (Pohlsches Rad)** Raum F1-01

Aufgaben:
1) Bestimmen Sie bei stillstehendem Motor die Eigenfrequenz (Kreisfrequenz) des Drehpendels.
2) Für die drei Dämpfungen $I = 0A$, $I = 0{,}2A$ und $I = 0{,}5A$ sind das Dämpfungsverhältnis *Q* und das logarithmische Dekrement Λ anzugeben.
3) Die Amplitude und die Phasenverschiebung des Drehpendels sind in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz für die zwei Dämpfungen $I = 0{,}2A$ und $I = 0{,}5A$ zu messen.

Achtung!
Während der Messung bei Aufgabenteil 2 muss der Magnetstrom laufend kontrolliert und am Netzgerät nachgeregelt werden. ***I* darf maximal auf 0,5A eingestellt werden!**

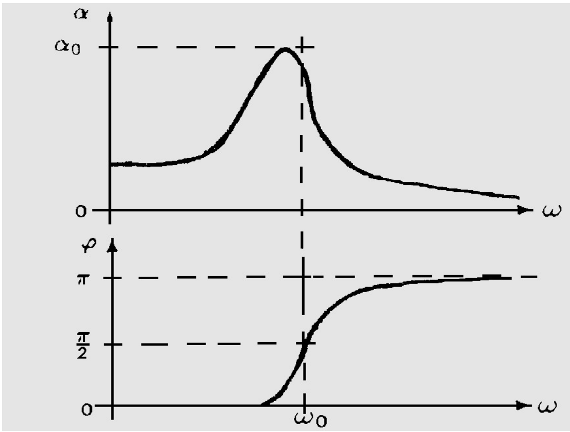

Abbildung 1: Amplitude und Phasenverschiebung als Funktion der Kreisfrequenz (qualitativ)

Grundlagen:
Wirkt auf ein Drehpendel ein periodisches Drehmoment $D \cdot \cos(\omega t)$ so entstehen Drehschwingungen.
Erst nach einer gewissen Einschwingzeit haben diese Drehschwingungen konstante Amplitude und die Frequenz des einwirkenden periodischen Drehmoments. Für diese Drehschwingung lässt sich folgende Differentialgleichung aufstellen:

$$\Theta \frac{d^2\alpha}{dt^2} + k\frac{d\alpha}{dt} + D^*\alpha = D \cdot \cos(\omega t) \tag{1}$$

Mit dem Lösungsansatz $\alpha = \alpha_0(\omega)\cos(\omega t - \varphi)$ folgt:

$$\alpha_0(\omega) = \frac{D}{\sqrt{\Theta^2 \cdot \left(\omega_0^{\,2} - \omega^2\right)^2 + k^2 \cdot \omega^2}} \tag{2}$$

$$\tan\varphi = \frac{k \cdot \omega}{\Theta \cdot \left(\omega_0^{\,2} - \omega^2\right)} \tag{3}$$

$$\omega_0^{\,2} = \frac{D^*}{\Theta} \tag{4}$$

mit: α = Ausschlag des Drehpendels, α_0 = Amplitude (maximaler Ausschlag), Θ = Trägheitsmoment des Drehpendels, k = Dämpfungskonstante des Drehpendels, D^* = Winkelrichtgröße der Schneckenfeder, ω = Kreisfrequenz der erzwungenen Schwingung (=Erregerfrequenz), ω_0 = Eigenfrequenz des Drehpendels (Kreisfrequenz), φ = Phasenverschiebung zwischen Drehpendel- und Erregerausschlag.
Bei stillstehendem Erreger beobachtet man eine gedämpfte Schwingung. Dabei ist das Dämpfungsverhältnis Q der Quotient zweier aufeinanderfolgender Amplituden gleicher Phase. Sein natürlicher Logarithmus wird logarithmisches Dekrement Λ genannt.

Versuchsaufbau:
Das Drehpendel besteht aus einem Metallrad (Pohl'sches Rad), das über eine Schneckenfeder mit dem Erreger gekoppelt ist. Der Erreger führt Schwingungen mit konstanter Amplitude aus, deren Frequenz regelbar ist. Die Dämpfung des Pendels ist variierbar: Das Metallrad bewegt sich im Feld eines Elektromagneten. Je größer der Magnetstrom I ist, desto stärker ist das Magnetfeld und damit die im Rad induzierten, bewegungshemmenden Wirbelströme (Wirbelstrombremse).

Durchführung:
Aufgabe 1 und 2: Die Eigenfrequenz des Drehpendels ermittelt man bei stillstehendem Motor aus der Zeit, die das Pendel für zehn Vollschwingungen benötigt. Die Auslenkung soll dabei nicht mehr als 90° betragen. Um Q zu bestimmen, beobachtet man zwei Amplituden, die mit gleicher Phase aufeinander folgen. Um den Messfehler klein zu halten wartet man n Schwingungsperioden ab und berechnet Q wie folgt:

$$Q = \sqrt[n]{\frac{\alpha_0}{\alpha_n}} .$$

Für $I = 0A$ sind etwa n=9 Schwingungen zu beobachten. Aus jeweils fünf Messungen ist der Mittelwert zu bilden.

Aufgabe 3: Der Motor wird eingeschaltet. Zur Messung der Amplitude in Abhängigkeit zur Erregerfrequenz beobachtet man den rechten und linken Umkehrpunkt der auf dem Rad angebrachten Marke. Der Abstand der beiden Umkehrpunkte ist das doppelte der -- in Skalenteilen anzugebenden -- Amplitude. Nach jeder Frequenzänderung muss vor Bestimmung der Amplitude etwas gewartet werden, damit sich das Drehpendel einschwingen kann.
Gleichzeitig ist die Phasenverschiebung zu messen. Bei kleinen Frequenzen schwingen Drehpendel und Erreger in Phase; mit zunehmender Frequenz tritt eine Phasenverschiebung auf: Der Erregerzeiger läuft dem Pendelzeiger voraus. Es ist zu beobachten bei welcher Frequenz diese Phasenverschiebung bemerkbar wird. Dann ist festzustellen bei welcher Frequenz die Phasenverschiebung $\pi/2$ beträgt (Erregerumkehr und Pendelnulldurchgang fallen zeitlich zusammen). Des weiteren soll die Frequenz bestimmt werden, bei der die Phasenverschiebung vom asymptotischen Wert nicht mehr zu unterscheiden ist (beide Zeiger kehren gleichzeitig um, laufen aber gegensinnig).
Ein Durchlaufen der Motorfrequenzen liefert also für jede Dämpfung zwei Kurven, nämlich $\alpha_0 = f(\omega)$ und $\varphi = f(\omega)$. Man erhält $\varphi = f(\omega)$ durch Zeichnen einer Kurve durch die drei Messpunkte, analog der qualitativen Darstellung in Abbildung 1.
Die beiden Kurven für α und φ sind jeweils in ein Schaubild zu zeichnen.

Literatur:

Gerthsen, Kneser, Vogel: Physik;
Walcher: Praktikum der Physik;
Westphal: Physik.