

HS Merseburg	Resonanz	RES
FB Ingenieur- und Naturwissenschaften		
Physikalisches Grundpraktikum		

Aufgabenstellung:

1. Skizzieren Sie qualitativ das Amplitudenverhältnis ($x_0/x_{0\text{Err}}$) und die Phasenlage φ in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz f_{Err} , wie Sie in den Gleichungen (3) und (5) theoretisch dargestellt und im Experiment zu erwarten sind.
2. Machen Sie sich mit der Funktionsweise der Versuchsanordnung "DRIVEN HARMONIC MOTION ANALYZATOR" vertraut und überprüfen Sie die Justage (Beschreibung liegt am Versuchsplatz aus).
3. Bestimmen Sie für das vorliegende schwingungsfähige System "Masse-Feder": die Resonanzfrequenz f_0 bzw. ω_0 , die Periodendauer T_0 , die Federkonstante k , die Dämpfung δ und den Reibungskoeffizient b_R .
4. Nehmen Sie für die in Aufgabe 3 eingestellten Versuchsbedingungen die Auslenkungen und Phasenlagen in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz auf.
5. Überprüfen Sie die Eigenfrequenz f_0 und die Dämpfung δ für die *freie* Schwingung.

Versuchszubehör:

Grundgerät
Zusatzmasse 50 g
Stoppuhr (ausleihen)

Grundlagen:

Freie und erzwungene Schwingungen, gedämpfte und ungedämpfte Schwingungen, Masse-Feder-System in der Praxis, Eigenfrequenz, Rolle der Dämpfung, Resonanz, Schwingfall, Kriechfall, aperiodischer Grenzfall

Literatur:

Becker/Jodl, Physik. Prak. f. Naturwiss. und Ing.; VDI-Verlag, Versuch 7
Stroppe, Physik; Kap. 5: gedämpfte und erzwungene Schwingungen
Hering, Martin, Stohrer, Physik f. Ing.; Kap. 5.1: gedämpfte und erzwungene Schwingungen

Hinweise zur Versuchsdurchführung:

- zu 1. $x_0/x_{0\text{Err}} = y(f_{\text{Err}})$. Die Dämpfung ist dabei der Parameter.
- zu 2. siehe separate Bedienungsanleitung!
Die maximale Peak-zu-Peak-Amplitude sollte 100 mm nicht überschreiten!
- zu 3. Am Grundgerät ist eine Erregeramplitude von 6 mm eingestellt. Die sogenannte Güte des schwingungsfähigen Systems (Gleichung (4)) sollte zwischen 6 und 10 liegen. Suchen Sie die Resonanzstelle - die Phase müsste 90° und Amplitude $x_{0\text{Res}}$ ca. 50 mm betragen. Letztere lässt sich über die Dämpfung regulieren (Veränderung des beidseitigen Abstandes der Magnete vom Aluminium-Schwinger).
Achtung: die digitale Anzeige gibt die Peak zu Peak Amplitude an, also den doppelten Amplitudenwert!
Die Masse von Skala + Aluminiumschwinger beträgt 50 g. Das Messing-Zusatzgewicht wiegt ebenfalls 50 g.
- zu 4. Behalten Sie die Grundeinstellungen der Aufgabe 3 bei und variieren Sie die Erregerfrequenz der erzwungenen Schwingung etwa zwischen 20 ... 200 % der Resonanzfrequenz. Ändern Sie dabei die Frequenz in Resonanznähe in kleinen Schritten. Stellen Sie die Messwerte grafisch dar und vergleichen Sie mit den theoretischen Kurven nach Gleichung (3) und (5).
- zu 5. Lenken Sie den Schwinger maximal aus und lassen ihn freie, gedämpfte Schwingungen durchführen. Dabei bleibt die vorher eingestellte Dämpfung (Magnetel!) unverändert.
Zur Bestimmung der Dämpfung registrieren Sie während der freien Schwingung die aufeinander folgenden Amplituden. Tragen Sie diese logarithmisch über der Zeit auf und bestimmen Sie aus dem Anstieg die Dämpfung.

Bestimmen Sie die Eigenfrequenz über die Messung der Periodendauer (Mehrfachmessung über 10 ... 20 Perioden). Nur für diesen Teil der Messung ist die Dämpfung durch Wegdrehen der Magnete sehr klein zu wählen.

Theorie:

Am Masse-Feder-System (als harmonischer Oszillator) können vier Kräfte angreifen:

$$F_{\text{Trägheit}} + F_{\text{Reibung}} + F_{\text{Feder}} = F_{\text{äußere periodische Anregung}}$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b_R \frac{dx}{dt} + k x = k x_{0, \text{Erreger}} \cos(\omega t + \varphi)$$

m – Masse, b_R – Reibungskoeff., k – Federkost., x_0 , ω und φ sind Amplitude, Kreisfrequenz und Phasenverschiebung der äußeren periodischen Kraft.

Dabei ergibt sich:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{2\pi}{T_0} \quad (1) \quad \text{und} \quad 2\delta = \frac{b_R}{m} \quad (2)$$

ω_0 – Eigen(kreis)frequenz des Schwingers, δ – Dämpfung des Schwingers

Die Lösungen der Bewegungsgleichung zeigen, dass der Schwinger (nach kurzen Einschwingen) mit der Erregerfrequenz schwingt. Es stellt sich ein stationärer Zustand mit konstanter Amplitude und Phasenverschiebung ein.

$$\frac{x_0}{x_{0, \text{Err}}} = \frac{\omega_0^2}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_{\text{Err}}^2)^2 + (2\delta\omega_{\text{Err}})^2}} \quad (3) \quad \text{und} \quad \frac{x_{0, \text{Resonanz}}}{x_{0, \text{Erreger}}} = \frac{\omega_0}{2\delta} \quad (4)$$

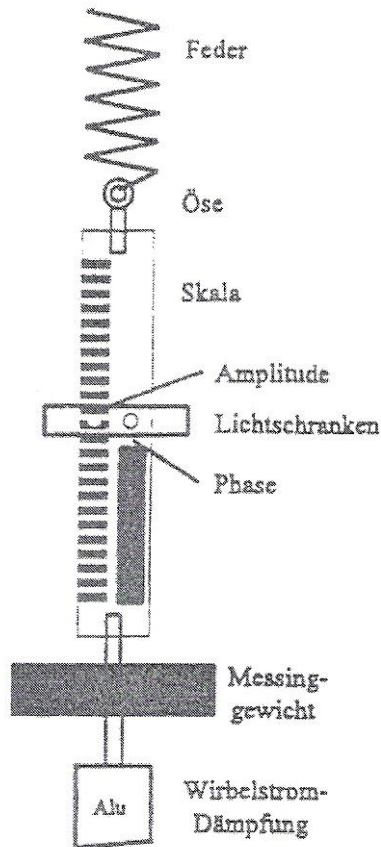
Die obigen Gleichungen stellen die sogenannte Resonanzkurve und die Phasenverschiebung zwischen äußerem Erreger und Schwinger dar.

Für den Resonanzfall gilt folgendes:

$$\tan \varphi = \frac{2\delta\omega_{\text{Err}}}{\omega_0^2 - \omega_{\text{Err}}^2} \quad (5) \quad \text{und} \quad \varphi_{\text{Resonanz}} = 90^\circ \quad (6)$$

Anleitung zum Gerät:

An der Feder hängt an einer Öse ein durchsichtiger Kunststoffstab mit einer Skala für die Amplitudenmessung und einer Skala für die Phasenmessung. Die Skalen werden durch zwei Lichtschranken abgetastet. An dem Kunststoffstab hängt ein Aluminiumstreifen, der sich durch ein Magnetfeld bewegt und eine geschwindigkeitsabhängige Dämpfung hervorruft.



Justage:

Der vierkantige Kunststoffstab bewegt sich durch ein metallenes Rechteck, in dem die beiden Lichtschranken untergebracht sind. Wichtig ist, dass der Stab:

1. mittig und senkrecht in dem Rechteck-Ausschnitt hängt (regulierbar mit den beiden Schrauben am Boden der Versuchsanordnung)
2. in der richtigen Höhe hängt, d.h. bei Nulllage von Feder und Motor muss die Hell-Dunkel-Grenze der Phasenskala genau in Höhe der Lichtschranke sein. Die Leuchtdiode soll gerade halb-hell glimmen. Die richtige Höhe kann grob über die Fadenlänge zur Feder und fein durch die Stell-schraube an der höchsten Stelle der Versuchsanordnung reguliert werden. Die Nulllage des Erregers (motorgetriebene Scheibe an der Rückseite) ist eingestellt, wenn die schwarze Skala an der Scheibe waagerecht liegt und der Zeiger nach oben zeigt.

Funktionsweise:

Die Phasenlichtschranke gibt einen Impuls an die Elektronik, wenn die Schwingung durch die Nulllage nach unten geht (von dunkel nach hell), also nach jeder vollen Schwingung (Periode).

Dieser Impuls startet und stoppt:

1. die Zählung der Impulse von der Amplitudenlichtschranke, so dass nach jeder Periode die Peak zu Peak – Amplitude angezeigt werden kann;
2. die Zeitmessung, so dass nach jeder Schwingung die Periodendauer angezeigt werden kann;
3. die Phasenmessung nach jeder vollen Schwingung, indem beim Nulldurchgang des Schwingers kurzzeitig eine Leuchtdiode aufblitzt. Dabei kann auf dem Kreisring abgelesen werden, welchen Vorsprung (Phasenwinkel φ) der Erreger gegenüber dem Schwinger hat.

Hinweis:

Nach der Durchführung des Versuches bitte die Feder entlasten (Alu-Stab auf die Magnethalterung stellen) und Gerät ausschalten (Schalter an der Rückseite).