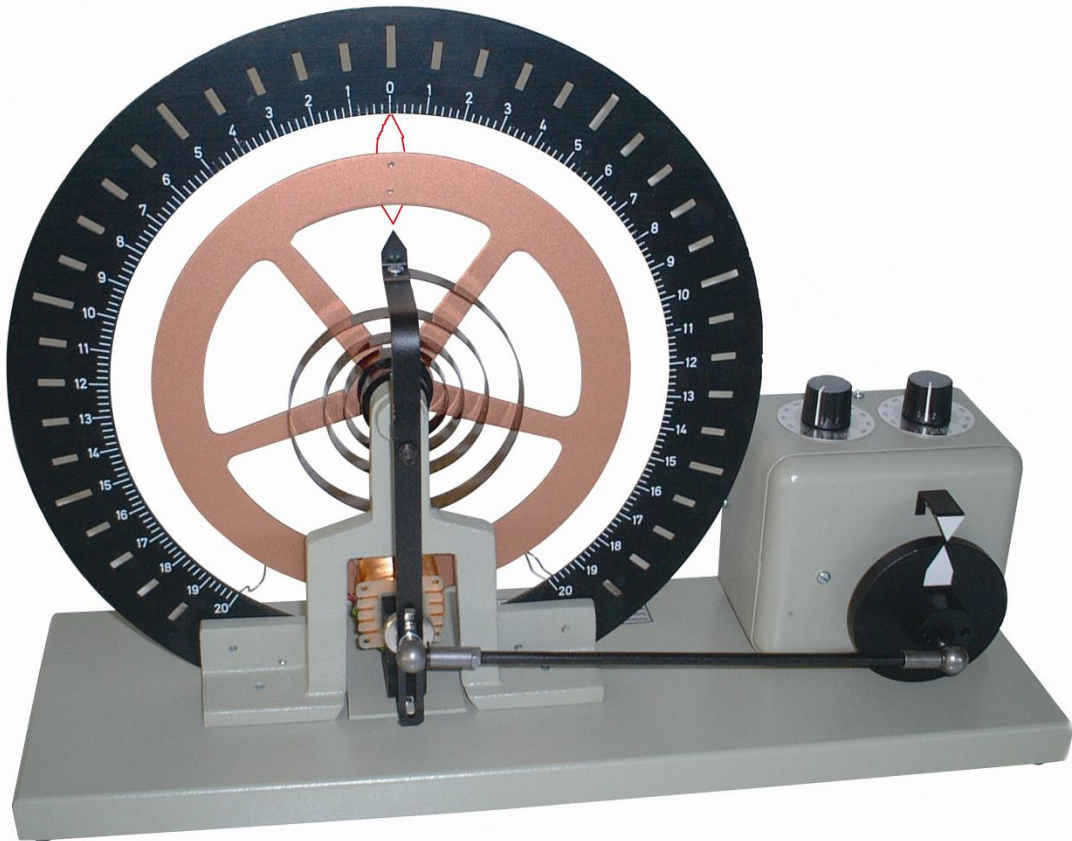


Vorführgerät für erzwungene Schwingungen nach Prof. R. W. Pohl (Drehpendel) - Best.- Nr. 1111124

## Vorführgerät für erzwungene Schwingungen nach Prof. R. W. Pohl (Drehpendel)



### Technische Daten:

Eigenfrequenz:	ca. 0,55 Hz
Erregerfrequenz:	0,1.... 1,3 Hz
Motorspannung:	24 V= , an den Prüfbuchsen 0...20 V
Stromaufnahme:	max. 650 mA
Wirbelstromdämpfung:	0...20 V=
Belastbarkeit der Spulen:	kurzzeitig max. 2 A

### 1) Einleitung

Erzwungene Schwingungen spielen in allen Teilgebieten der Physik, sowie in ihren Anwendungen in der Technik, eine wichtige Rolle; z.B. bei der Schallübertragung auf mechanischem oder elektrischem Wege, dem Verlauf der Wechselströme in elektrischen Schwingungskreisen und bei den Vorgängen der Absorption und Dispersion des Lichtes.

Vorführgerät für erzwungene Schwingungen nach Prof. R. W. Pohl (Drehpendel) - Best.- Nr. 1111124

Bei allen diesen scheinbar so ganz verschiedenartigen Problemen handelt es sich im Grunde doch stets um die gleiche Frage: Wie hängen Amplitude und Phase eines Resonators gegebener Eigenfrequenz von der Frequenz des Erregers und der Dämpfung des Resonators ab?

Aus der Erkenntnis dieser umfassenden Bedeutung der erzwungenen Schwingungen ist das Drehpendel nach Prof. R.W. Pohl entstanden, das sich durch Einfachheit und Anschaulichkeit auszeichnet.

Mit dem Drehpendel lassen sich Resonanzkurven für verschiedene Erreger-amplituden quantitativ aufnehmen. Die Deutung der Resonanzkurven führt zu einer Reihe fruchtbarer Überlegungen über Trägheit, sowie kinetische und potentielle Energie. Ebenso lehrreich sind die Überlegungen, die sich mit den Vorgängen des Einschwingens befassen.

## 2) Beschreibung:

Das schwingende System ist ein kugelgelagertes Rad aus Kupfer. An dessen Achse ist das eine Ende einer Spiralfeder befestigt, während das andere Ende mit einem Hebel verbunden ist. Dieses System führt, einmal angestoßen, Drehschwingungen aus, die fast nur durch die Lager- und Luftreibung gedämpft sind. In ganz geringem Maße sind die Schwingungen auch durch den Energieverlust wegen der an der Feder zu leistenden Verformungsarbeit gedämpft.

An einer das Rad umgebenden feststehenden Skala können die Amplituden abgelesen werden.

Als Erreger der erzwungenen Schwingungen dient ein Gleichstromgetriebemotor, der über einen Exzenter mit Schubstange den Hebel und damit die Spiralfeder in periodischer Folge zusammendrückt und auseinander zieht. Die Schwingungen des Hebels werden dadurch dem Rad aufgezungen. Auf diese Weise kann man an der Achse des Drehpendels sinusförmig verlaufende Drehmomente von konstantem Höchstwert, aber beliebig einstellbarer Frequenz, angreifen lassen.

Der Motor wird mit einer Gleichspannung von 24 V, 650 mA (Netzanschlussgerät 025015) betrieben. Die Regelung der Drehzahl und damit der Erregerfrequenz geschieht durch die mit "grob" und "fein" bezeichneten Drehknöpfe am Motor-gehäuse. An den Buchsen "Motorprüfspannung" kann die Motorspannung gemessen werden, die in einem reproduzierbaren Verhältnis zur Drehzahl bzw. Erregerfrequenz steht. Die Drehfrequenz des Motors, in Abhängigkeit von der Motorspannung, kann durch einfaches Abzählen der Umdrehungen und mit Hilfe einer Stoppuhr bestimmt werden. Um eine einmal eingestellte Drehfrequenz bequem reproduzieren zu können, wird die Motorspannung möglichst genau gemessen.

Will man die Amplitude des Erregers verstellen, so wird nach Lösen der Verschraubung die Schubstange in der Führung des Hebels verschoben. Verschiebung nach oben ergibt größere, Verschiebung nach unten kleinere Amplituden.

Die eigentliche Dämpfung des schwingenden Systems wird durch einen als Wirbelstrombremse wirkenden Elektromagneten bewirkt, zwischen dessen Polen das Rad läuft. Durch Änderung der Stromstärke (regelbarer Anschluss 0 - 24 V=, Netzanschlussgerät 025015)

Vorführgerät für erzwungene Schwingungen nach Prof. R. W. Pohl (Drehpendel) - Best.- Nr. 1111124

im Elektromagneten lässt sich die Dämpfung kontinuierlich regeln. Die Dämpfung kann kurzzeitig bis max. 2 A belastet werden.

Zur Vorführung vor einem größeren Publikum kann man das Drehpendel in Schattenprojektion zeigen. Eine annähernd punktförmige Lichtquelle (Bogenlampe 030001, Niederspannungslampe 030106, 030112 oder Richtleuchte 030122), die in einiger Entfernung vom Drehpendel aufgestellt wird, entwirft ein scharfes, auch auf größere Entfernung gut sichtbares Schattenbild des Gerätes. Auf diesem sind alle wesentlichen Teile, auch im Betrieb, gut zu erkennen. Der Raum braucht dabei nur mäßig abgedunkelt zu werden.

### 3) Versuche

- I.
  - a) Bestimmung der Schwingungsdauer durch Abzählen einer bestimmten Zahl von Schwingungen und Messung (Stoppuhr) der dafür benötigten Zeit.
  - b) Messung der Zeit für eine einzige Schwingung und Vergleich der Schwingungsdauer für Schwingungen verschiedener Amplitude.
  - c) Bestimmung der Frequenz einer gedämpften Schwingung. Die Schwingungsdauer oder Eigenfrequenz ist unabhängig von der Amplitude und von der Dämpfung.
- II.
  - a) Beobachtung der aufeinander folgenden Amplituden einer gedämpften Schwingung. Das Verhältnis zweier nach der gleichen Seite aufeinander folgenden Höchstausschläge oder Amplituden ist für einen bestimmten Dämpfungsgrad nahezu konstant. Man nennt es das Dämpfungsverhältnis  $K$ . Sein natürlicher Logarithmus heißt das logarithmische Dekrement  $\delta$ .
  - b) Man ermittle aus der Amplitudenabnahme  $\delta$  bei 3 verschiedenen Dämpfungsströmen, z.B.  $I_D = 0,1A, 0,2A, 0,4A$ .
  - c) Bei passend eingestellter Dämpfung ( $I_D$  ca. 1,5 A) kehrt das Drehpendel nach einem Ausschlag sofort in die Nulllage zurück, ohne weitere Schwingungen auszuführen (sog. aperiodischer Grenzfall). Dieser Versuch ist für das Verständnis der elektrischen Messgeräte wichtig.
  - d) Durch kurzzeitige weitere Steigerung des Stromes ( $I_D$  ca. 2 A) kann das Drehpendel so gedämpft werden, dass es nach der Auslenkung kriechend in die Ruhelage zurückkehrt (Modell eines Kriechgalvanometers).

### III. Erzwungene Schwingungen

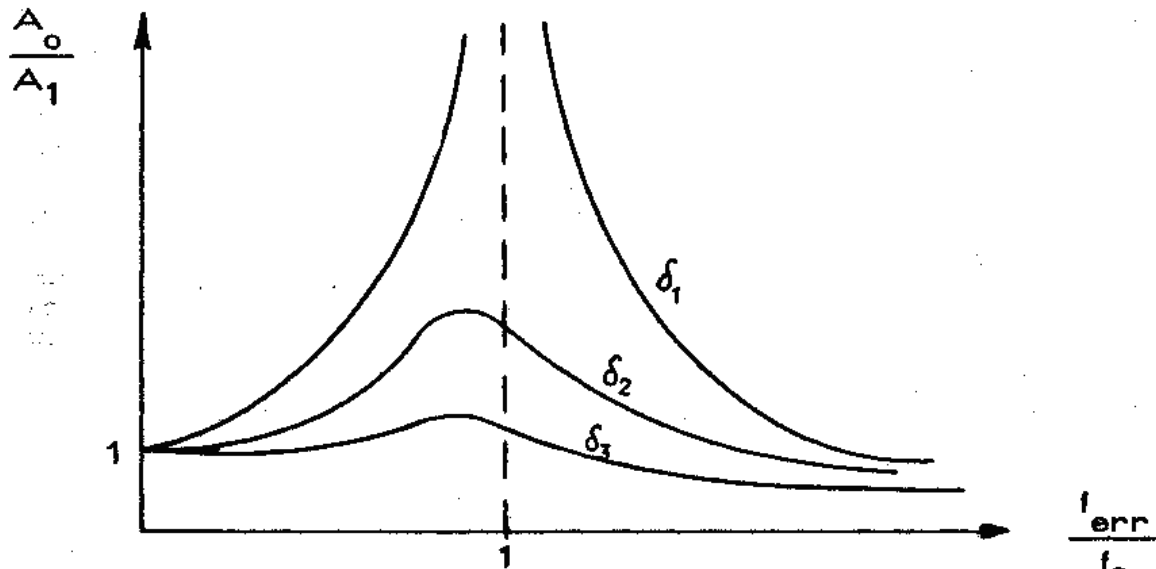
Zur Beobachtung des Resonanzfalles regelt man die Drehzahl des Motors langsam hoch. Schon der langsam laufende Motor versetzt das Ende der Spiralfeder in Schwingungen, die sich auf das Drehpendel übertragen und es zu erzwungenen Schwingungen anregen.

- a) Bei sehr kleiner Frequenz vollführt das Drehpendel Schwingungen, die denen des Erregers in der Frequenz und der Phase gleichen.
- b) Die Amplitude dieser erzwungenen Schwingungen ist eine Funktion der Erregerfrequenz, die ihr Maximum erreicht, wenn (bei nicht zu großer Dämpfung) die Erregerfrequenz mit der Eigenfrequenz des Drehpendels übereinstimmt (Motor-

Vorführgerät für erzwungene Schwingungen nach Prof. R. W. Pohl (Drehpendel) - Best.- Nr. 1111124

spannung. ca. 8 V); unabhängig von der Amplitude des Erregers.

Die graphische Darstellung dieser Funktion ergibt die bekannten Resonanzkurven, deren Maxima je nach Dämpfungsgrad verschieden stark ausgeprägt sind.



$A_0$  = Amplitude des erregten Systems

$A_1$  = Amplitude des Erregersystems

$f_{err}$  = Frequenz des Erregersystems

$f_0$  = Eigenfrequenz des ungedämpften Systems

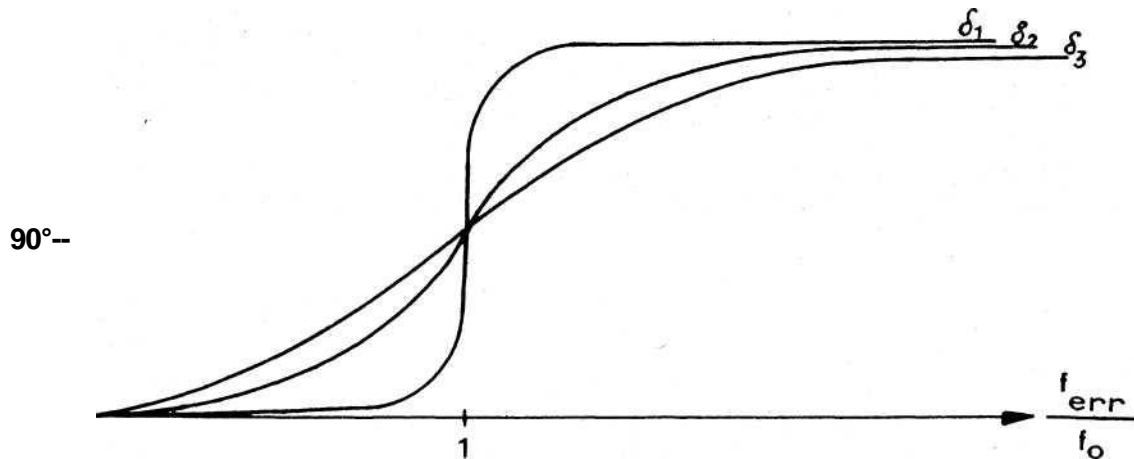
Man erkennt, wie der Resonator bei kleinen Erregerfrequenzen mit endlicher Amplitude anspricht, wie die erzwungenen Amplituden und steigenden Erregerfrequenzen wachsen, wenn man sich den Eigenschwingungen des Resonators nähert, dass bei starker Dämpfung die Maximalamplitude vor dem Erreichen der Eigenfrequenz eintritt, wie schließlich die Eigenschwingung des Resonators nur dann durch hohe erzwungene Amplituden vor den benachbarten größeren und kleineren Frequenzen ausgezeichnet ist, wenn der Resonator eine geringe Dämpfung besitzt. Bei fehlender Dämpfung führt dieser Resonanzfall zur sogenannten "Resonanzkatastrophe".

Man achte darauf, dass die Wirbelstromdämpfung stark genug ist, um ein heftiges Anschlagen des Zeigers zu verhindern.

- c) Wird die Frequenz des Erregers dagegen sehr groß (Motorspg. bis 20 V erhöhen), so kann das Drehpendel wegen seiner Trägheit nicht mehr mitschwingen, seine Amplituden bleiben sehr klein.
- d) Zwischen der Amplitude des Resonators und der Amplitude des Erregers besteht stets eine bestimmte Phasendifferenz.

Vorführgerät für erzwungene Schwingungen nach Prof. R. W. Pohl (Drehpendel) - Best.- Nr. 1111124

Diese Phasendifferenz  $\Delta\delta$  zwischen den beiden Systemen folgt nachstehenden Funktionen:



Sie kann aus der gegenseitigen Stellung des Zeigers am Hebel und des Zeigers am Drehpendel abgelesen werden.

Die Phasendifferenz wird klein für Erregerfrequenzen, die klein gegen  $f_0$  sind. ( $f_{err} < f_0$ ). Sie erreicht im Resonanzfall ( $f_{err} = f_0$ )  $90^\circ$ , um für noch höhere Frequenzen ( $f_{err} > f_0$ ) zu  $180^\circ$  überzugehen. Der Verlauf hängt im Einzelnen von der Größe der Dämpfung ab. Der schroffste Phasenwechsel findet bei schwacher Dämpfung ( $\delta_1$ ) statt.