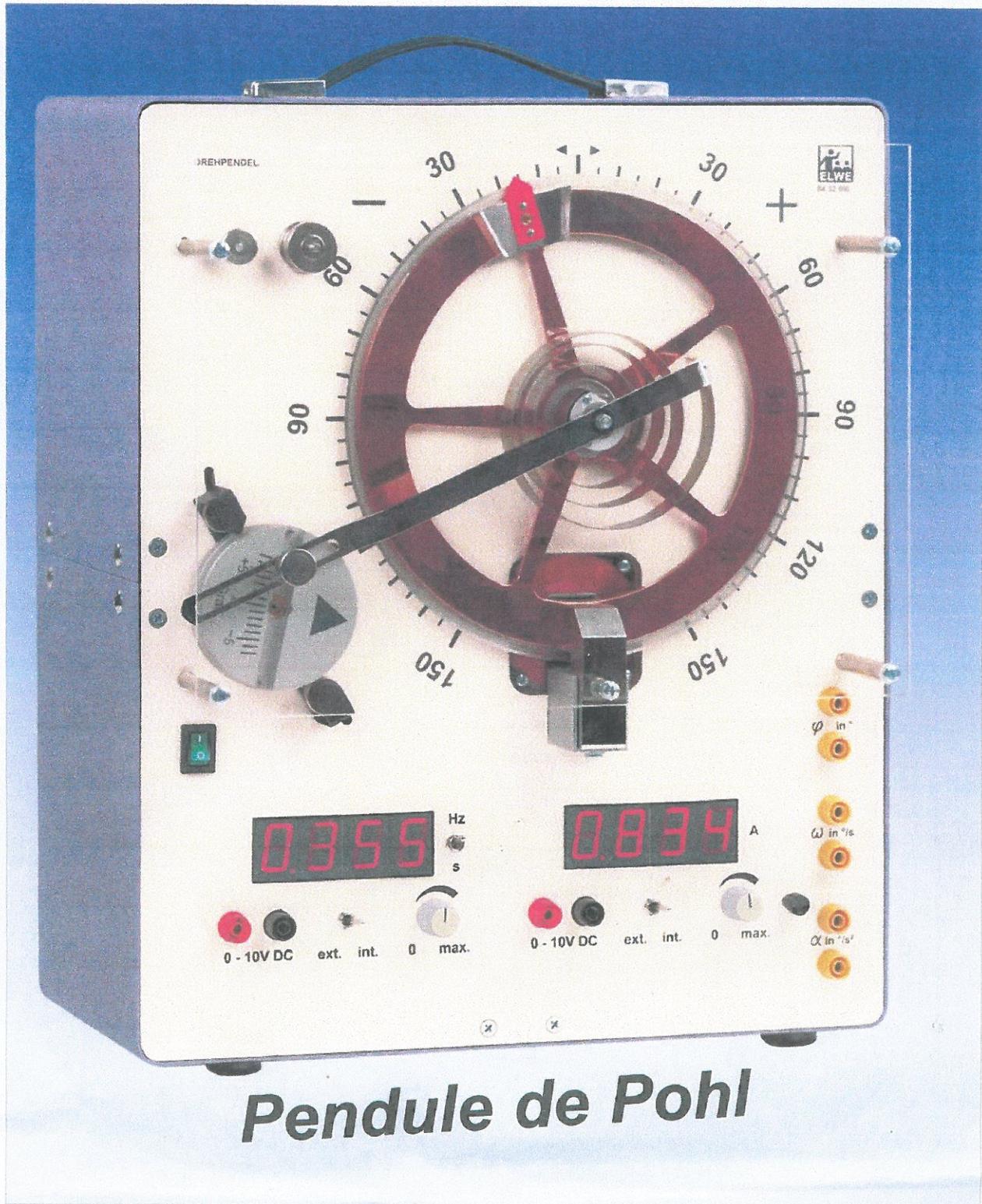


ELWE Systèmes didactiques

Systèmes didactiques pour l'enseignement et la formation
en Sciences et Techniques Industrielles



Ø ENSC 456



Pendule de Pohl

1. Descriptif

Le système pendulaire est constitué d'une roue en cuivre sur roulement à billes (résonateur), reliée à une bielle via un ressort spiral. La position est mesurée avec précision grâce à une barrière lumineuse intégrée, détectant le passage de fines graduations. La résolution angulaire est de 0,5°. L'excitation de l'oscillation est effectuée par le biais d'un moteur pas à pas à réglage précis qui fonctionne exactement à la vitesse spécifiée. Toute forme de réaction du pendule vers l'excitateur est ainsi évitée car le moteur tourne à une vitesse constante, à raison de 3 tours maximum par seconde, soit un temps de rotation variable de 0,333 à 5 secondes. Le réglage est assuré par une tension de commande interne ou externe (0 à 10 V CC).

La roue en cuivre peut recevoir des masses additionnelles servant de balourd grâce auquel il est possible de créer des systèmes chaotiques. La vis de blocage pour le transport a elle aussi sa place dans l'insert fileté prévu pour les masses additionnelles.

Le mouvement peut être amorti en continu par le frein à courants de Foucault intégré. L'importance de l'amortissement dépend de l'intensité du courant à travers le frein à courants de Foucault. La commande de ce courant de freinage généré par voie interne est assurée, elle aussi, par une tension de commande interne ou externe (0 à 10 V CC).

La position angulaire, la vitesse angulaire et l'accélération angulaire de l'oscillateur sont disponibles sur trois paires de douilles placées sur la plaque avant. Chacune de ces grandeurs physiques est restituée sous forme de tension entre -10 V et +10 V. Du fait de l'algorithme de mesure et du traitement des valeurs, la tension présente aux sorties un décalage (retard) d'environ une seconde par rapport au mouvement réel du résonateur.

L'appareil est directement alimenté par le secteur. Il y a deux modes de fonctionnement différents, aussi bien pour le moteur pas à pas que pour le frein à courants de Foucault :

1. Commande autonome par le bouton de réglage tournant intégré. Les valeurs réglées sont lisibles sur deux afficheurs numériques lumineux à LEDs à quatre digits.
2. Commande externe par application d'une tension externe de 0 à 10 V CC. Les valeurs réglées sont ici aussi lisibles sur deux afficheurs numériques lumineux à LEDs. Ce mode de fonctionnement permet la commande automatique de l'appareil par une interface et un ordinateur, par ex. pour le relevé automatique d'une courbe de résonance.

Les données peuvent être acquises et évaluées avec n'importe quel système à interface, une carte de mesure PC, un enregistreur XY ou un oscilloscope. La seule et unique condition est la nécessité de pouvoir acquérir des valeurs de tension analogique.

2. Principe de fonctionnement et applications possibles :

- L'appareil peut fonctionner sans périphérie, seulement sur tension secteur.
- La grande taille de l'appareil et les grands afficheurs permettent de conduire des expériences de démonstration.
- L'excitation absolument stable en fréquence à l'aide d'un moteur pas à pas, le frein à courants de Foucault réglable en continu et la saisie exacte du mouvement moyennant le disque ajouré et la barrière lumineuse permettent l'acquisition de valeurs précises et reproductibles.
- Toutes les expériences (différentes fréquences d'excitation, amortissement, systèmes chaotiques) sont possibles en mode autonome.

3	Pendule de Pohl	84 32 860												
<ul style="list-style-type: none"> - Les valeurs réglées de la fréquence et de l'amortissement sont restituées par les afficheurs lumineux à LEDs. - La commande et la mesure sont réalisables moyennant des entrées et sorties analogiques (tension). - Les entrées et sorties analogiques n'exigent aucune compatibilité particulière - l'appareil travaille avec quasiment n'importe quel système d'interface et d'ordinateur et n'importe quel enregistreur XY ou oscilloscope existant sur le marché. <p>L'appareil permet la réalisation d'expériences sur les sujets suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - enregistrement indépendamment les unes des autres des grandeurs angle de rotation, vitesse angulaire et accélération angulaire du résonateur, relevé par exemple du diagramme de phase (vitesse angulaire en fonction de l'angle) - oscillation libre, amortie ou non amortie - oscillation forcée, amortie ou non amortie - résonance pour différents amortissements - fréquence de résonance - courbe de résonance - oscillation non linéaire - oscillation chaotique <p>3. Données techniques :</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Fréquence propre caractéristique :</td> <td>env. 0,5 Hz</td> </tr> <tr> <td>Fréquence d'excitation :</td> <td>0,2...3 Hz (0,33...5s/tour)</td> </tr> <tr> <td>Résolution de l'affichage :</td> <td>0,001 Hz ou 0,001s (affichage commutable entre la fréquence et la période)</td> </tr> <tr> <td>Réglage de la fréquence d'excitation :</td> <td>- par bouton tournant (interne) - par tension appliquée 0...10 V CC (externe)</td> </tr> <tr> <td>Frein à courants de Foucault :</td> <td>0..1,2 A, précision de l'affichage mA (0,001 A) - réglable par bouton tournant (interne) - réglable par tension appliquée de 0 à 10 V (externe)</td> </tr> <tr> <td>Tension de sortie :</td> <td>-10 V...+10 V pour angle de rotation, vitesse angulaire et accélération angulaire</td> </tr> </table>			Fréquence propre caractéristique :	env. 0,5 Hz	Fréquence d'excitation :	0,2...3 Hz (0,33...5s/tour)	Résolution de l'affichage :	0,001 Hz ou 0,001s (affichage commutable entre la fréquence et la période)	Réglage de la fréquence d'excitation :	- par bouton tournant (interne) - par tension appliquée 0...10 V CC (externe)	Frein à courants de Foucault :	0..1,2 A, précision de l'affichage mA (0,001 A) - réglable par bouton tournant (interne) - réglable par tension appliquée de 0 à 10 V (externe)	Tension de sortie :	-10 V...+10 V pour angle de rotation, vitesse angulaire et accélération angulaire
Fréquence propre caractéristique :	env. 0,5 Hz													
Fréquence d'excitation :	0,2...3 Hz (0,33...5s/tour)													
Résolution de l'affichage :	0,001 Hz ou 0,001s (affichage commutable entre la fréquence et la période)													
Réglage de la fréquence d'excitation :	- par bouton tournant (interne) - par tension appliquée 0...10 V CC (externe)													
Frein à courants de Foucault :	0..1,2 A, précision de l'affichage mA (0,001 A) - réglable par bouton tournant (interne) - réglable par tension appliquée de 0 à 10 V (externe)													
Tension de sortie :	-10 V...+10 V pour angle de rotation, vitesse angulaire et accélération angulaire													

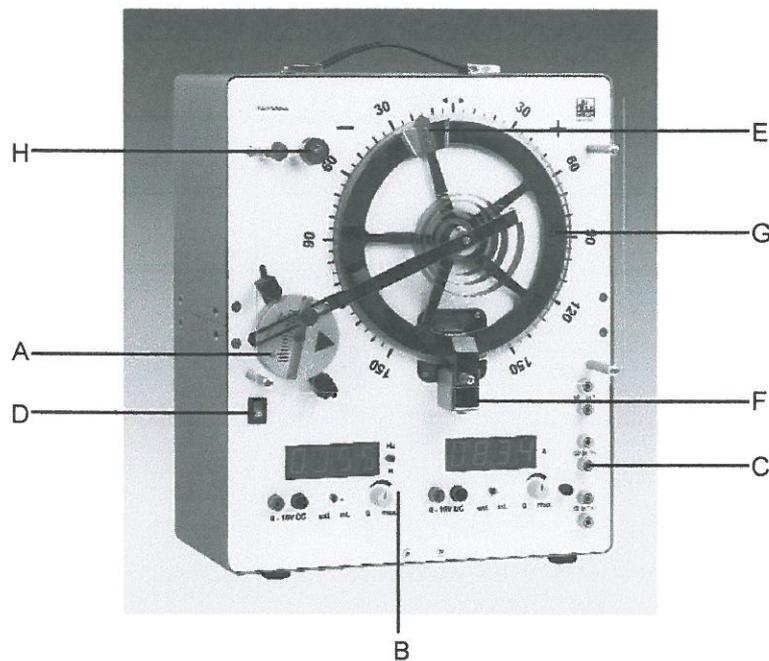
Tension de service : 230 V CA, 50(60) Hz

Dimensions en cm : 42 x 33 x 24

Masse : env. 7kg

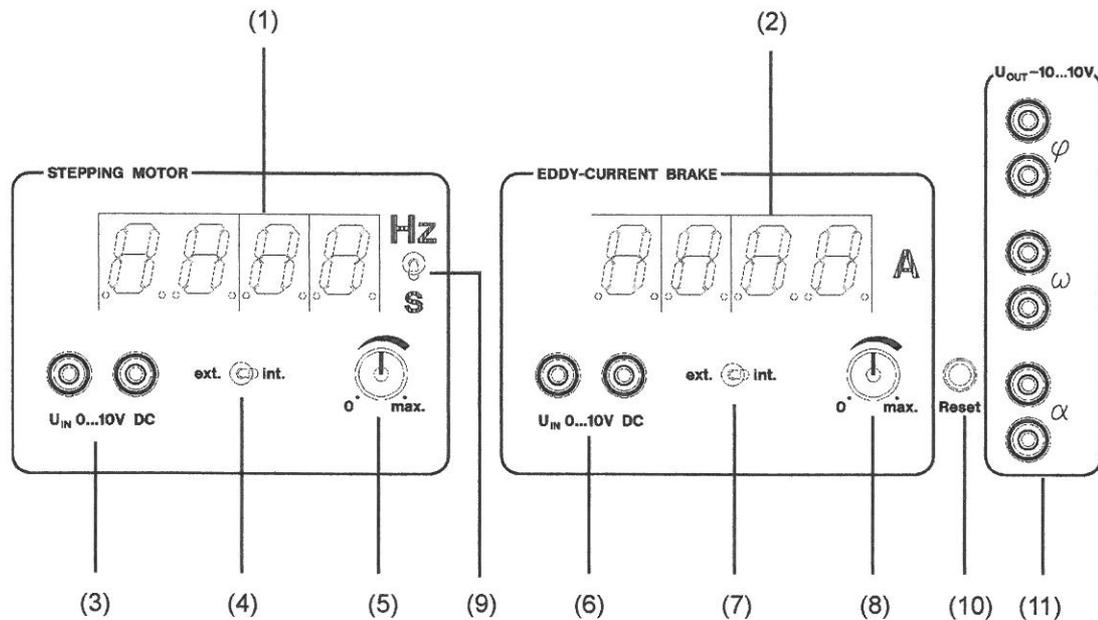
4. Montage expérimental et utilisation

4.1 La plaque avant et ses éléments de commande



- A Moteur pas à pas avec bielle
- B Champ de commande (1) (2)
- C Douilles de mesure (sortie du signal) (11)
- D Interrupteur principal
- E Insert fileté pour la vis de blocage pour le transport et les masses additionnelles
- F Frein à courants de Foucault avec barrière lumineuse intégrée
- G Résonateur
- H Support pour vis de blocage pour le transport et masses additionnelles

4.2 Description de la fonction des éléments de commande



N° . Élément
Fonction

- (1) Afficheur à LEDs (4 digits)
Affichage de la fréquence/période du moteur pas à pas
- (2) Afficheur à LEDs (4 digits)
Affichage de l'intensité du courant appliqué au frein à courants de Foucault
- (3) Entrée moteur pas à pas
Raccords pour la tension de commande externe pour le moteur pas à pas
- (4) Commutateur ext. / int.
Commutateur entre commande externe et interne du moteur pas à pas
- (5) Bouton de réglage tournant
Réglage de la fréquence/période du moteur pas à pas (interne)
- (6) Entrée frein à courants de Foucault
Raccords pour la tension de commande externe pour le frein à courants de Foucault
- (7) Commutateur ext. / int.
Commutateur entre la commande externe et interne du frein à courants de Foucault
- (8) Bouton de réglage tournant
Réglage de l'intensité de courant du frein à courants de Foucault (interne)
- (9) Commutateur Hz/s
Alternance entre l'affichage de la fréquence (Hz) et celui de la période (s)
- (10) Reset
Remise à zéro d'un offset du résonateur
- (11) Sorties
Sorties pour l'angle de rotation, la vitesse angulaire et l'accélération angulaire

4.3 Remarques sur la mise en service

Avant de mettre le pendule de Pohl en service, il convient de retirer la vis de blocage pour le transport située sur le pointeur rouge. Elle doit être remise en place à la fin de l'expérience. L'afficheur de gauche (1) indique la fréquence réglée du moteur pas à pas. Le commutateur (9) permet d'alterner entre l'affichage de la fréquence en hertz et celui de la période en secondes.

La fréquence du moteur pas à pas se règle pour la commande interne par le biais du bouton de réglage tournant (5). Le commutateur ext. / int. (4) permet d'alterner entre la commande externe et la commande interne.

L'affichage de droite (2) indique l'intensité du courant appliqué au frein à courants de Foucault. L'intensité de courant se règle pour la commande interne par le biais du bouton de réglage tournant (8). Le commutateur ext. / int. (7) permet d'alterner entre la commande externe et interne.

En commande externe, la commande du moteur pas à pas ou du frein à courants de Foucault est assurée par application d'une tension externe de 0 à 10 V CC aux douilles (3) et (6). Les valeurs réglées sont visualisées sur les deux afficheurs à LEDs.

La puissance de l'excitation se règle via la position de la bielle. Pour ce faire, il faut desserrer la vis moletée sur la bielle et la décaler vers l'extérieur ou l'intérieur, sachant que

0 = neutre, pas d'excitation

± 1 = faible excitation

± 5 = forte excitation

Si le moteur pas à pas est au repos, il est possible de provoquer des oscillations à la main

4.4 Calibrage du résonateur sur la position 0

1. Desserrer la vis moletée sur la bielle et ajuster sur 0 degré.
2. Desserrer les deux vis moletées extérieures sur le support du moteur pas à pas et déplacer le moteur pas à pas dans la rainure (entaille longitudinale) jusqu'à ce que le pointeur rouge du résonateur soit à la verticale, orientée vers le haut, en position de repos. (donc positionnée sur 0°)
3. Resserrer les deux vis moletées du support du moteur pas à pas.

Related topics

Angular frequency, characteristic frequency, resonance frequency, torsion pendulum, torsional vibration, torque, restoring torque, damped/undamped free oscillation, forced oscillation, ratio of attenuation/decrement, damping constant, logarithmic decrement, aperiodic case, creeping.

Principle

If an oscillating system is allowed to swing freely it is observed that the decrease of successive maximum amplitudes is highly dependent on the damping. If the oscillating system is stimulated to swing by an external periodic torque, we observe that in the steady state the amplitude is a function of the frequency and the amplitude of the external periodic torque and of the damping. The characteristic frequencies of the free oscillation as well as the resonance curves of the forced oscillation for different damping values are to be determined.

Tasks

A. Free oscillation

1. To determine the oscillating period and the characteristic frequency of the undamped case.
2. To determine the oscillating periods and the corresponding characteristic frequencies for different damping values. Successive, unidirectional maximum amplitudes are to be plotted as a function of time. The corresponding ratios of attenuation, the damping constants and the logarithmic decrements are to be calculated.
3. To realize the aperiodic case and the creeping.

B. Forced oscillation

1. The resonance curves are to be determined and to be represented graphically using the damping values of A.
2. The resonance frequencies are to be determined and are to be compared with the resonance frequency values found beforehand.
3. The phase shifting between the torsion pendulum and the stimulating external torque is to be observed for a small damping value assuming that in one case the stimulating frequency is far below the resonance frequency and in the other case it is far above it.

Theory and evaluation

A. Undamped and damped free oscillation In case of free and damped torsional vibration torques M_1 (spiral spring) and M_2 (eddy current brake) act on the pendulum. We have

$$M_1 = -D^0 \phi \text{ and } M_2 = -C \dot{\phi}$$

ϕ = angle of rotation

$\dot{\phi}$ = angular velocity = $\dot{\phi}$

D^0 = torque per unit angle

C = factor of proportionality depending on the current which supplies the eddy current brake

The resultant torque

$$M = -D^0 \phi - C \dot{\phi}$$

leads us to the following equation of motion:

$$I \ddot{\phi} + C \dot{\phi} + D^0 \phi = 0 \quad (1)$$

I = pendulum's moment of inertia

$\ddot{\phi}$ = angular acceleration

Dividing Eq. (1) by I and using the abbreviations

$$\delta = \frac{C}{2I} \text{ and } \omega_0^2 = \frac{D^0}{I}$$

results in

$$\ddot{\phi} + 2\delta \dot{\phi} + \omega_0^2 \phi = 0 \quad (2)$$

δ is called the "damping constant" and

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{D^0}{I}}$$

the characteristic frequency of the undamped system.

The solution of the differential equation (2) is

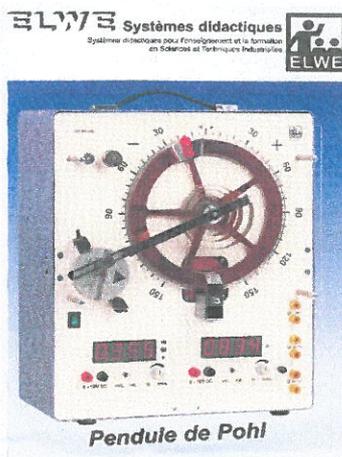
$$\phi(t) = \phi_0 e^{-\delta t} \cos \omega t \quad (= \phi_0 e^{-\delta t} \cos \omega t) \quad (3)$$

with

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \quad (4)$$

Eq. (3) shows that the amplitude $\phi(t)$ of the damped oscillation has decreased to the e -th part of the initial amplitude ϕ_0 after the time $t = 1/\delta$ has elapsed. Moreover, from Eq. (3) it follows that the ratio of two successive amplitudes is constant.

$$\frac{\phi_n}{\phi_{n+1}} = K = e^{\delta T} \quad (5)$$



K is called the "damping ratio" and the quantity

$$\Lambda = \ln K = \delta T = \ln \frac{\phi_n}{\phi_{n+1}} \quad (6)$$

is called the "logarithmic decrement". Eq. (4) has a real solution only if

$$\omega_0^2 \geq \delta^2.$$

For $\omega_0^2 = \delta^2$, the pendulum returns in a minimum of time to its initial position without oscillating (aperiodic case). For $\omega_0^2 < \delta^2$, the pendulum returns asymptotically to its initial position (creeping).

B. Forced oscillation

If the pendulum is acted on by a periodic torque $M_a = M_0 \cos \omega_a t$ Eq. (2) changes into

$$\ddot{\phi} + 2\delta\dot{\phi} + \omega_0^2\phi = F_0 \cos \omega_a t \quad (7)$$

where $F_0 = \frac{M_0}{I}$

In the steady state, the solution of this differential equation is

$$\phi(t) = \phi_a \cos(\omega_a t - \alpha) \quad (8)$$

where

$$\phi_a = \frac{F_0}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega_a}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left[\frac{2\delta}{\omega_0} \frac{\omega_a}{\omega_0}\right]^2}} \quad (9)$$

and $\phi_0 = \frac{F_0}{\omega_0^2}$

Furthermore:

$$\tan \alpha = \frac{2\delta\omega_a}{\omega_0^2 - \omega_a^2}$$

respectively

$$\alpha = \arctan \frac{2\delta\omega_a}{\omega_0^2 - \omega_a^2} \quad (10)$$

An analysis of Eq. (9) gives evidence of the following:

1. The greater F_0 , the greater ϕ_a
2. For a fixed value F_0 we have:
 $\phi \rightarrow \phi_{\max}$ for $\omega_a = \omega_0$
3. The greater δ , the smaller ϕ_a
4. For $\delta = 0$ we find:
 $\phi_a \rightarrow \infty$ if $\omega_a = \omega_0$

Resonance curves for different dampings.

