

Messung 2

MESSUNG DER WELLENLEISTUNG UND DES WIRKUNGSGRADES (PENDELMASCHINEN)

1. Einleitung

Kraftmaschinen geben ihre Arbeit meistens durch rotierende Wellen ab. Die Arbeit, die pro Zeiteinheit über die Welle übertragen wird, nennt man Wellenleistung. Die Maschinen können in **Kraft-** oder **Arbeitsmaschinen** eingeteilt werden. Kraftmaschinen sind z.B. Elektromotoren oder Verbrennungsmotoren, sie transformieren elektrische oder chemische Energie in mechanische Arbeit. Arbeitsmaschinen nutzen mechanische Energie für das Antreiben von verschiedener Maschinen, wie z.B. Werkzeugmaschinen, Pumpen, Ventilatoren, Haushaltsgeräte, usw. Die an Maschinen gemessene Drehzahl und Drehmoment sind die wichtigsten Kennwerte der jeweiligen Maschine.

2. Messung des Drehmoments

Zur Bestimmung des Drehmoments stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Das über die Welle übertragene Moment kann durch Messung der Torsion in einem Teilstück der Welle bestimmt werden. Diese Methode, die in der Ingenieurpraxis oft angewendet wird, werden wir im Laufe späterer Studien kennenlernen.

In dieser Messübung wird das Drehmoment mittels Pendelmaschinen gemessen. Abhängig davon, ob das Drehmoment einer Kraftmaschine oder einer Arbeitsmaschine ermittelt werden soll, wird ein **Pendelgenerator** oder ein **Pendelmotor** gebraucht.

Bei elektrischen Pendelmaschinen wird der Stator nicht am Fuß des Gerätes befestigt, sondern sich in Lagern frei beweglich gelagert (siehe **Abb.1**). Zwischen der Wicklung des Stators und der des Rotors, der an der Welle befestigt ist, entsteht eine elektromagnetische Wechselwirkung, die ein Drehmoment auf den Stator ausübt. Der Rotor will den Stator "mitnehmen" (Aktion-Reaktion). Befestigt man nun an den Stator einen Wiegebalken mit Waagschalen, kann das entstehende Drehmoment durch aufgelegte Gewichte ausgeglichen und so gemessen werden. Das Momentengleichgewicht am Rotor ist dann erreicht, wenn sich eine konstante Drehzahl eingestellt hat.

Bei **Generatoren** will der angetriebenen Rotor den Stator „mitschleppen“. Bei **Motoren** läßt sich der Rotor durch den Stator angetrieben, wodurch auf den Stator ein entgegengesetztes Moment wirkt.

Diese Momente werden durch in die Waagschalen an den Wiegebalken gelegten Gewichte ausbalanciert, d.h. gemessen.

Das Momentengleichgewicht wird erst für den Stator, dann für den Rotor betrachtet. Dabei werden die zusätzlich wirkenden – verhältnismäßig kleinen – weiteren Einwirkungen berücksichtigt.

In den Gleichungen werden folgende Bezeichnungen verwendet:

- | | |
|-------|--|
| M | das durch die Kraftmaschine abgegebene, zu messende Moment, welches durch die Kupplung auf den Rotor des Generators übertragen wird, |
| M_E | das elektromagnetische Moment, welches vom Rotor auf den Stator übertragen wirkt, |
| M_S | das durch Lager- und Bürstenreibung entstandene Moment |
| M_V | die durch Rotation verursachte Luftreibung, sowie das Moment, welches zum Antreiben des Kühllüfters der Maschine gebraucht wird, |
| G | zum Gleichgewicht des Wiegebalkens notwendiges Auflagegewicht, |
| k | Wiegebalkenlänge. |

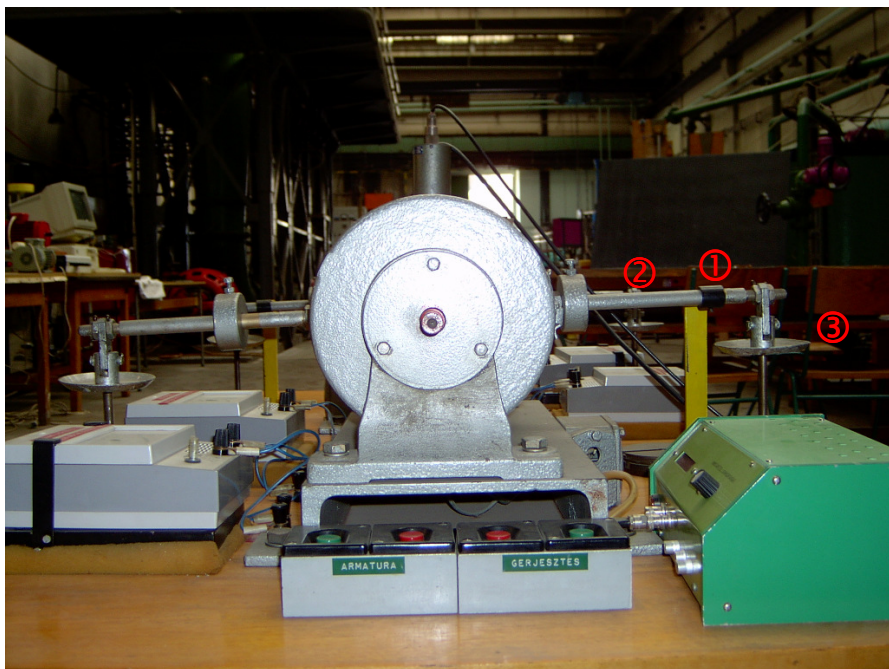
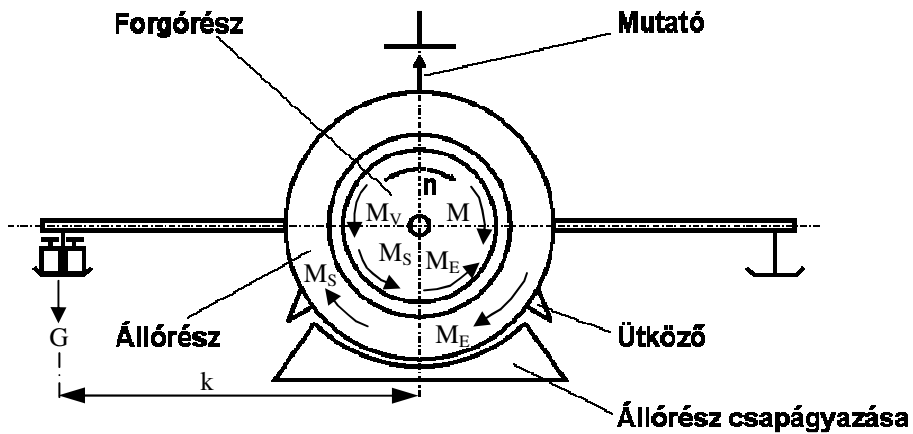


Abb. 1 Pendelgenerator und Momentengleichgewicht.

① Zeiger

② Wiegebalken

③ Wagschale

Momentengleichgewicht des Rotors:

Wenn die Generatorzahl konstant ist, sind die Momente im Gleichgewicht. Das Momentengleichgewicht am Rotor lautet dann:

$$M = M_E + M_S + M_V,$$

da die Reibung überwunden werden und auch der Lüfter angetrieben werden muß. Steht der Statorbalken waagrecht (erkennbar am Übereinanderstehen der Zeiger am Wiegebalken und am Gehäuse) lautet das Momentengleichgewicht am Stator:

$$M_E + M_S = G k ,$$

da das Lüftermoment – im Gegensatz zur Reibung – auf den Stator nicht übertragen wird. Durch Zusammenfassung der beiden Momentengleichgewichte erhält man:

$$M = Gk + M_V \quad (1)$$

Zur Bestimmung des Betrages des Lüftermoments M_V muß eine **Leerlaufmessung** durchgeführt werden. Dazu wird der Pendelgenerator von der Kraftmaschine getrennt und unter Beibehaltung der Drehrichtung **als Motor** betrieben (**Abb. 2**).

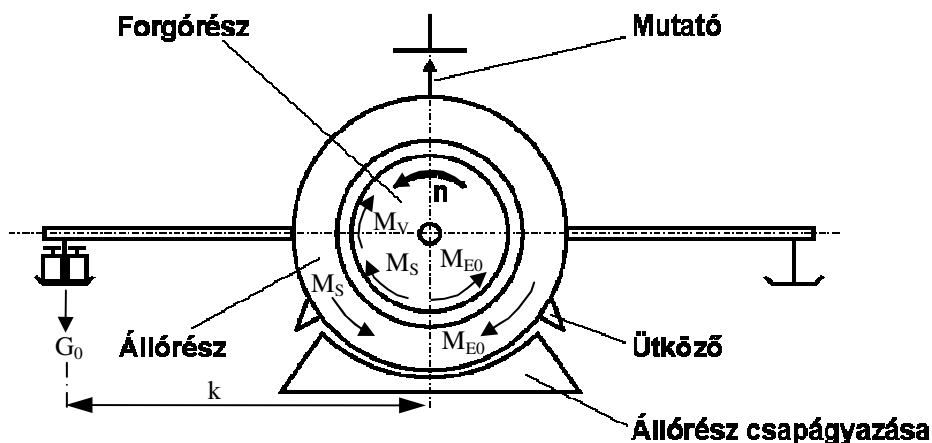


Abb.2 Gleichgewicht eines Pendelmotors im Leerlauf

In diesem Fall – da $M = 0$ ist – lautet das Gleichgewicht am Rotor:

$$M_{Eo} = M_V + M_S$$

und das Gleichgewicht am Stator:

$$M_{Eo} = G_o k + M_S .$$

Zusammengefaßt erhält man:

$$M_V = G_o k$$

Setz man diese Beziehung für die Leerlaufmomente in die Momentengleichung (1) ein, erhält man den folgenden Ausdruck für das gesuchte Drehmoment M :

$$M = (G + G_o)k = (m + m_o)g k$$

Im allgemeinen wird die Leerlaufmessung bei mehreren Drehzahlwerten durchgeführt und in einem Diagramm als Funktion $G_o(n)$ in Abhängigkeit von der Drehzahl aufgetragen. Dieses Diagramm wird mit der Maschine geliefert. Das Vorzeichen von G_o hängt davon ab, in welche Wagschale die Gewichte bei der Leerlaufmessung gelegt worden sind und auch davon, ob die Maschine als Motor oder Generator betrieben wird.

3. Die Meßübung

Der **Meßstand** besteht aus einem Gleichstrom-Pendelmotor und einem Pendeldynamo die durch eine starre Kupplung miteinander verbunden sind. (siehe **Abb.3**.)

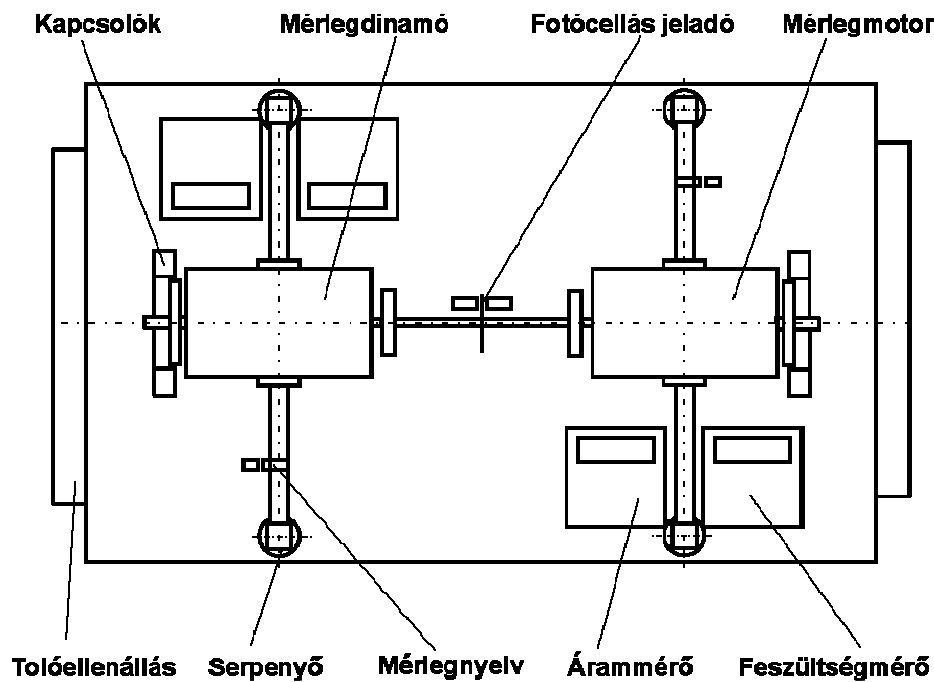


Abb. 3

Die **Meßaufgabe** ist die Bestimmung des Wirkungsgrades des Pendelmotors (oder des Pendelgenerators) in Abhängigkeit der Last bei konstanter Drehzahl, $n = 2000 \text{ 1/min}$

Im Diagramm in der **Abb. 4** sind die Verläufe der Nutzleistung P_h , der Gesamtleistung P_b

und des **Wirkungsrades** η mit $\left(\eta = \frac{P_h}{P_b}\right)$ der elektrischen Maschinen in Abhängigkeit von

der Last x $\left(x = \frac{P_h}{P_1}\right)$ graphisch dargestellt. P_1 bezeichnet die Nennleistung der Maschine.

Die **elektrische Leistung**, die **beim Motor der Gesamtleistung** und **beim Generator der Nutzleistung** entspricht, wird als das Produkt der mit einem Voltmeter gemessenen Spannung und des mit einem Amperemeter gemessenen Stroms bestimmt. Die Meßgeräte sind mit einem Shunt- bzw. mit einem Vorschaltwiderstand ausgestattet. Der abgelesene Skalenwert muß mit den noch zu bestimmenden Konstanten C_V [V/Skaleneinheit], bzw. C_A [A/Skaleneinheit] multipliziert werden, um so die gesuchte Spannung in Volt und den gesuchten Strom in Ampere zu berechnen. Die **Wellenleistung**, die beim Motor die Nutzleistung und beim Generator die Gesamtleistung ist, wird wie im Kapitel 2 beschrieben, bestimmt.

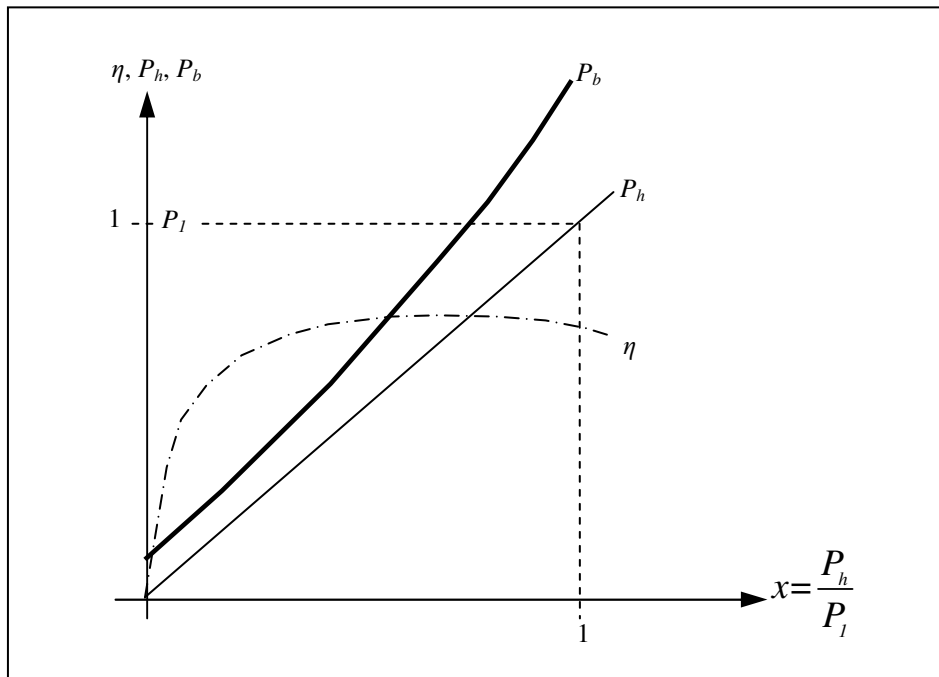


Abb. 4

Der Wert der Masse m_0 wurde in einer Leerlaufmessung bei der Drehzahl $n = 2000$ 1/min für beide Maschinen zu $m_0 = 0,02$ kg bestimmt.

Daraus ergibt sich ein Leerlaufmoment $M_o = m_o g k = G_o k$

Das vom Motor abgegebene zu bestimmende Drehmoment an der Welle wird dann

$$M = (m - m_o) g k ,$$

das vom Generator aufgenommene Moment

$$M = (m + m_o) g k .$$

Zur Bestimmung des Lastzustandes benötigen wir außerdem noch die **Nennleistung** P_1 der Maschinen. Beim **Generator** kann dieser Kennwert aus dem Informationsschild des Herstellers an der Maschine entnommen werden, da die Nennleistung gleich der dort angegebenen elektrischen Leistung

$$P_{1D} = 1540 \text{ W}$$

ist.



Abb. 5



Abb. 6

Die Nennleistung des **Motors** ist gleich der bei der Nennspannung und dem Nennstrom (siehe Informationsschild des Herstellers) angegebenen mechanischen Leistung, die in einem vorhergehenden Versuch bestimmt wurde:

$$P_{1M} = 1300 \text{ W}$$

Im Meßprotokoll sollen der Typ und die Fabriknummer der untersuchten Maschine und die Daten der angewandten Meßgeräte in der unten dargestellten Form angegeben werden:

Typ der Wiegemaschine:

Fabriknummer:

$k =$ m; $m_0 =$ kg

$P_1 =$ W

Voltmeter:

$C_V = \dots\dots\dots$ V/Teilung

Amperemeter:

$C_A = \dots\dots\dots$ A/Teilung

Drehzahlmesser:

Während der Messung werden die Meßwerte in den linken Teil der folgenden Tabelle eingetragen. Bei der Auswertung werden dann die berechneten Werte in die dafür vorgesehenen Spalten, das Ergebnis in die beiden letzten Spalten eingetragen.

Meßwerte					Auswertung						
Nr.	n'	U'	I'	m	n	U	I	P _{el}	P _m	x	η
	min ⁻¹	Tlg.	Tlg.	kg	s ⁻¹	V	A	W	W	-	-

Dabei sollen folgende Formeln verwendet werden:

$$U = C_V U' \quad I = C_A I' \quad P_{el} = UI \quad P_{mech} = (m \pm m_0) g k 2\pi n$$

Das Endergebnis lautet:

$$x = \text{---} , \quad \eta = \text{---}$$

In der Formel für P_{mech} muß das dem Typ der Maschine entsprechende Vorzeichen (+ beim Generator, - beim Motor) eingesetzt werden. Die für den Wirkungsgrad η berechneten Werte werden auf Millimeterpapier des Formats A/4 als Funktion der Last x aufgetragen.

Zweckmäßige Maßstäbe sind dabei: $\lambda_\eta = 10 \text{ \%}/\text{cm}$; $\lambda_x = 5 \text{ \%}/\text{cm}$

In dem Diagramm müssen die Drehzahl, bei der die Messung durchgeführt wurde, das Datum und der Name des Studenten eingetragen werden.

Eine wirtschaftliche Nutzung der Maschine setzt die Kenntnis dieser Größen voraus. Um einen Vergleich mit dem theoretischen Idealwert zu ermöglichen, wird die Wellenleistung gemessen.