

携帯用回轉平衡調整装置

今 尾 隆*

Dynamic Balancing Meter for High Speed Machine

By Takashi Imao

Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

Dynamic balancing of rotors are usually worked out at relatively low speed. But if the normal speed of rotor is high, balancing at low speed does not always promise a good balance at high speed due to the shaft flexibility. In this paper an apparatus of field balancing at high normal speed is described.

Voltage induced in the vibration pick up is super-imposed after one stage amplification to the voltage of sine wave generator, the sum of which is measured as a vector. The variations of vectors due to test weights are also measured.

By filling up the data in the prepared table, and after simple calculation, the necessary values of balancing weights are obtained in about one hour. By applying this meter to the balancing of 110 kW 3600 r.p.m. induction motor, vibration amplitudes were reduced to microns in one operation.

〔I〕 緒 言

回轉體各部の重量不平衡から生ずる振動を除去する爲一般に使用される Carl Schenk の釣合試験機では回轉子の定格速度より低い速度で釣合が行われる。然し回轉子の軸が長い場合は軸方向に分布した不平衡量を軸の兩端近くで平衡調整を行うと定格速度では必ずしもよい平衡を得られぬことがある。これは軸の不平衡モーメントが回轉速度によりその値を變えるのみでなく軸の撓み性に原因してその位相も變る爲である。従つて高速回轉軸

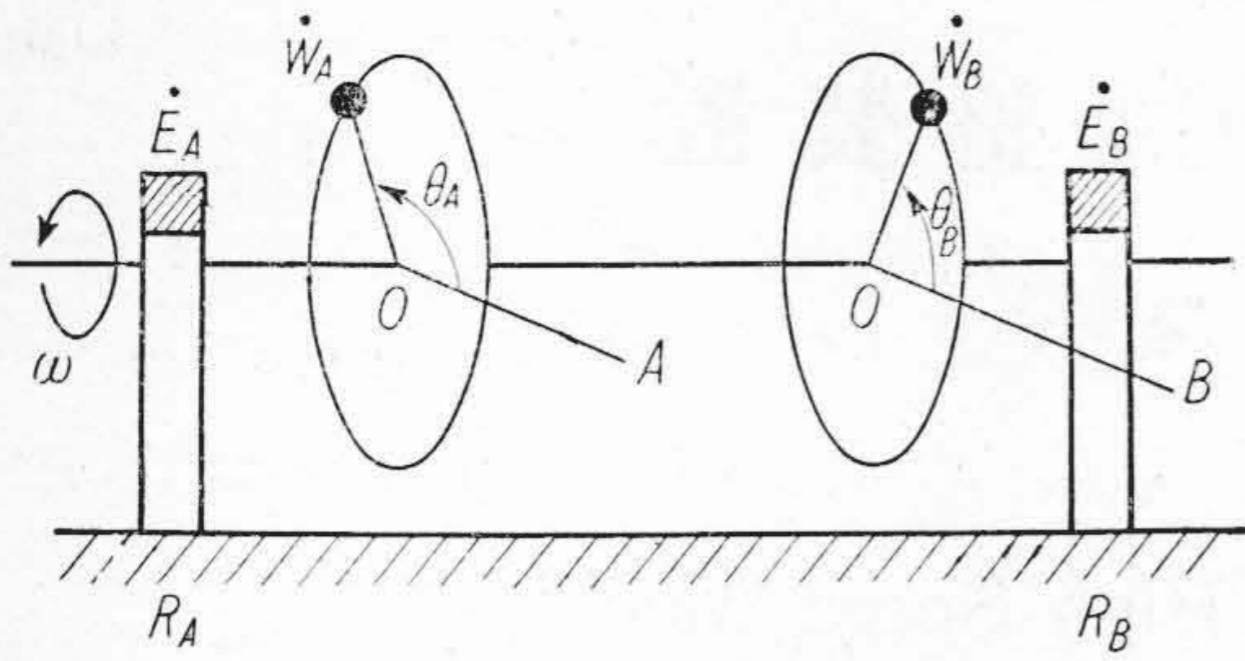
はその定格速度に於ても釣合調整を行うことが望ましい。この目的の爲二三の方法が提案⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾されているが、筆者の試作した回轉平衡調整装置と使用例について述べる。

〔II〕 原 理

(1) 理論 第1圖に於て回轉子の綜合的不平衡量を平衡調整面 A, B に換算して W_A, W_B とし⁽⁴⁾、夫々の所在角度即ち任意に決めた基準からの位相角 θ_A, θ_B を含めて表わすと、 ω = 回轉角速度として

$$\dot{W}_A = W_A \dot{\theta}'^{(\omega t + \theta_A)}, \quad \dot{W}_B = W_B \dot{\theta}'^{(\omega t + \theta_B)} \dots (1)$$

* 日立製作所日立研究所。



第1圖 二平面に換算した回轉子不平衡量
Fig. 1 Unbalance Weights Reduced in 2 Planes.

なるベクトルとなる。軸受 R_A の振動は \dot{W}_A によるものと \dot{W}_B によるものとの和であり、電氣的に測定した振動ベクトルを \dot{A} とし、同様に軸受 R_B について \dot{B} とすると

$$\left. \begin{aligned} \dot{A} &= \dot{p}\dot{W}_A + \dot{q}\dot{W}_B \\ \dot{B} &= \dot{r}\dot{W}_A + \dot{s}\dot{W}_B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

\dot{p} , \dot{q} , \dot{r} , \dot{s} は不平衡量を振動測定ベクトルに変換する係数でベクトルである。次に既知量 \dot{w}_a を面 A の既知角 θ_a に附加して前と同一速度 ω で回轉すると振動も變化し

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}_1 &= \dot{p}(\dot{W}_A + \dot{w}_a) + \dot{q}\dot{W}_B \\ \dot{B}_1 &= \dot{r}(\dot{W}_A + \dot{w}_a) + \dot{s}\dot{W}_B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

更に \dot{w}_a は其儘にして面 B に \dot{w}_b を θ_b に附加すると

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}_2 &= \dot{p}(\dot{W}_A + \dot{w}_a) + \dot{q}(\dot{W}_B + \dot{w}_b) \\ \dot{B}_2 &= \dot{r}(\dot{W}_A + \dot{w}_a) + \dot{s}(\dot{W}_B + \dot{w}_b) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

(2), (3), (4) より \dot{p} , \dot{q} , \dot{r} , \dot{s} を消去して

$$\left. \begin{aligned} -\dot{W}_A &= \frac{\dot{B}(\dot{A}_2 - \dot{A}_1) - \dot{A}(\dot{B}_2 - \dot{B}_1)}{\dot{B}_2(\dot{A}_1 - \dot{A}) + \dot{B}(\dot{A}_2 - \dot{A}_1) - \dot{B}_1(\dot{A}_2 - \dot{A})} \dot{w}_a \\ &= \dot{\alpha}\dot{w}_a \\ -\dot{W}_B &= \frac{\dot{A}(\dot{B}_1 - \dot{B}) - \dot{B}(\dot{A}_1 - \dot{A})}{\dot{B}_2(\dot{A}_1 - \dot{A}) + \dot{B}(\dot{A}_2 - \dot{A}_1) - \dot{B}_1(\dot{A}_2 - \dot{A})} \dot{w}_b \\ &= \dot{\beta}\dot{w}_b \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

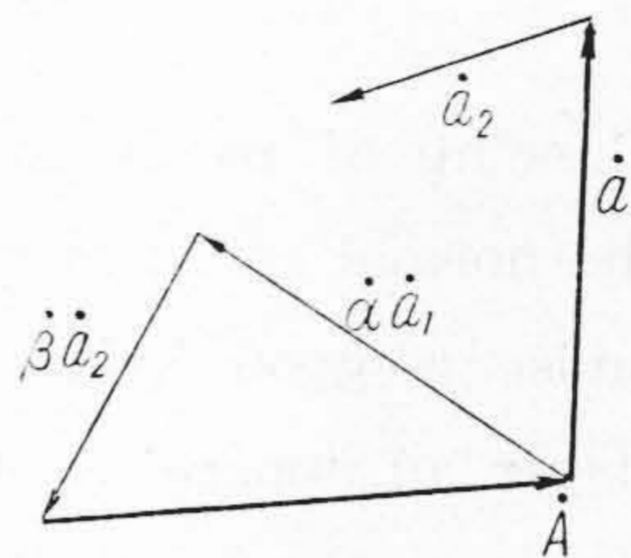
即ち不平衡量を丁度打消すべき調整重量 $-\dot{W}_A$ 及び $-\dot{W}_B$ はそれぞれ \dot{w}_a , \dot{w}_b の代りに $\dot{\alpha}\dot{w}_a$, $\dot{\beta}\dot{w}_b$ を付ければよい。

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}_1 - \dot{A} &= \dot{a}_1 & \dot{B}_1 - \dot{B} &= \dot{b}_1 \\ \dot{A}_2 - \dot{A}_1 &= \dot{a}_2 & \dot{B}_2 - \dot{B}_1 &= \dot{b}_2 \\ \dot{A}_2 - \dot{A} &= \dot{a}_1 + \dot{a}_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

とすれば

$$\left. \begin{aligned} \dot{\alpha} &= \frac{\dot{a}_2\dot{B} - \dot{b}_2\dot{A}}{\dot{a}_1\dot{b}_2 - \dot{a}_2\dot{b}_1} = \frac{\dot{m}}{\dot{i}} \\ \dot{\beta} &= \frac{\dot{b}_1\dot{A} - \dot{a}_1\dot{B}}{\dot{a}_1\dot{b}_2 - \dot{a}_2\dot{b}_1} = \frac{\dot{n}}{\dot{i}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

a_1, a_2 等は既知量 \dot{w}_a, \dot{w}_b による振動の變化であり、圖的に求められ、(7) 式のベクトル乗除は、量の乗除と角度の和差によつて計算で求められる。これ等を後述の如き表を豫め用意して記入すると記録を兼ねて計算の簡易化に役立つ。



\dot{a}_1, \dot{b}_2 既知量によるベクトル變化
 $\dot{\alpha}\dot{a}_1, \dot{\beta}\dot{a}_2$ 調整量によるベクトル變化

第2圖 驗算の説明圖
Fig. 2 Illustration of Check Calculation.

(2) 驗算 調整量によるベクトル變化は夫々 \dot{A}, \dot{B} を丁度打消すものであるから次式を満足せねばならぬ。

(第2圖参照)

$$\left. \begin{aligned} \dot{A} + (\dot{\alpha}\dot{a}_1 + \dot{\beta}\dot{a}_2) &= 0 \\ \dot{B} + (\dot{\alpha}\dot{b}_1 + \dot{\beta}\dot{b}_2) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

これにより(7)式の計算を驗算することが出来る。

(3) 補正 $\dot{p}, \dot{q}, \dot{r}, \dot{s}$ が振幅の或範圍外では嚴密に一定でないこと、その他の原因で、1回の調整では振動が充分小にならぬことがあり得る。この場合補正は次の方法が簡便である。即ち $-\dot{W}_A, -\dot{W}_B$ を(4)式の \dot{w}_a, \dot{w}_b として考えればその時の振動 \dot{A}_3, \dot{B}_3 が \dot{A}_2, \dot{B}_2 となるから $-\dot{W}_B$ を取去れば(3)式の \dot{A}_1, \dot{B}_1 が測定される。これと(2)式の \dot{A}, \dot{B} は其儘用いて新たな $\dot{\alpha}, \dot{\beta}$ が計算される。即ち補正の爲の運轉は1回でよい。

(4) 既知量の付け方第2法 (4)式に於ては \dot{w}_a を附けたまゝ \dot{w}_b を附けたが、 \dot{w}_a を取外して \dot{w}_b を付ける場合もある。前者を第1法とすれば後者を第2法とする。この時は(6)式の中で、

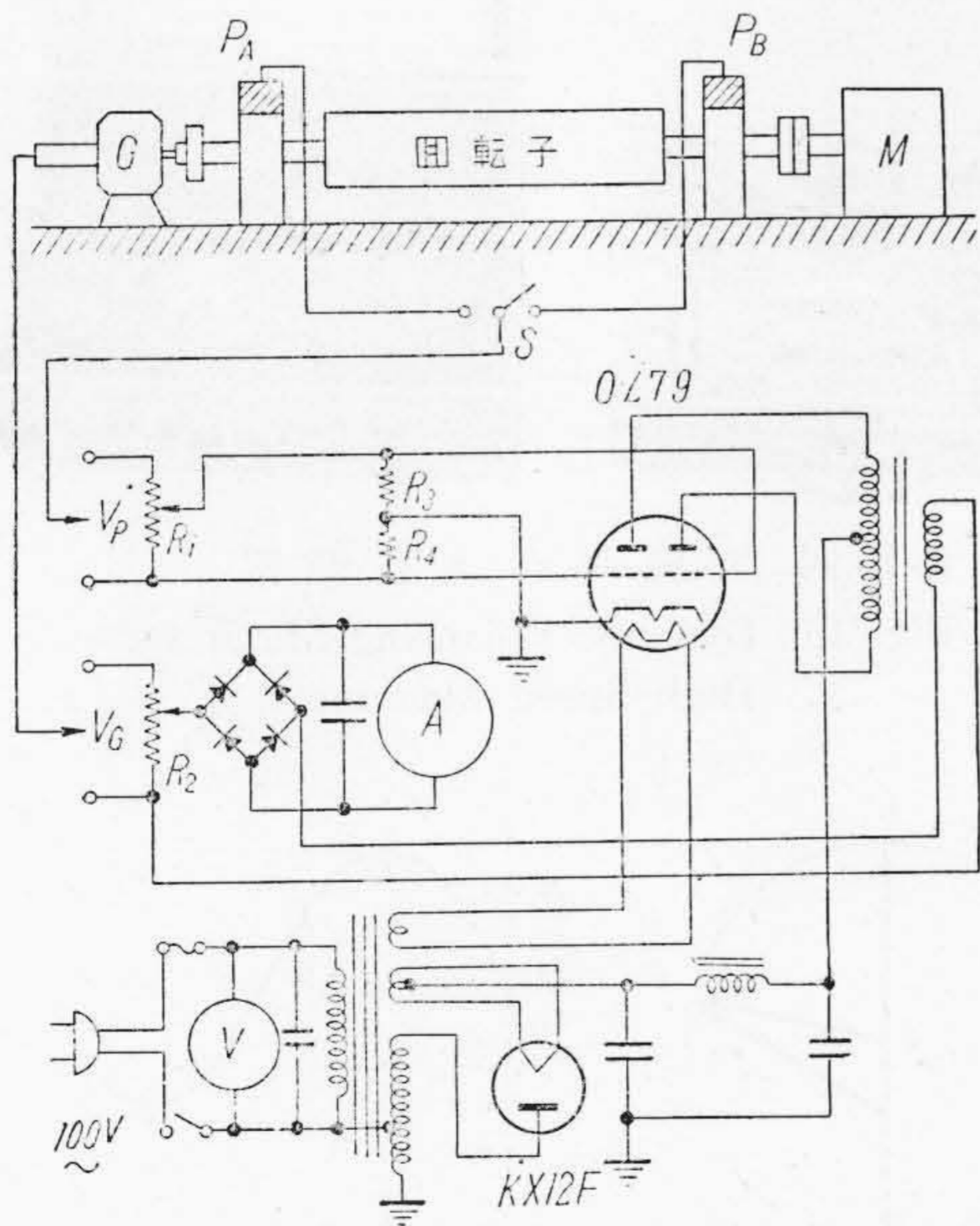
$$\left. \begin{aligned} \dot{A}_2 - \dot{A} &= \dot{a}_2 & \dot{B}_2 - \dot{B} &= \dot{b}_2 \\ \dot{A}_2 - \dot{A}_1 &= -\dot{a}_1 + \dot{a}_2 & \dot{B}_2 - \dot{B}_1 &= -\dot{b}_1 + \dot{b}_2 \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

とすれば他の計算は前記と全く同様である。

(5) 測定場所 (5) 式の \dot{A} , \dot{A}_1 及び \dot{A}_2 を全部 M 倍しても又位相角を全部 ϕ だけ移相しても結果に變りない。即ち 2 箇の受振器は感度並に位相特性が異つても差支えない。従つて受振器の感度不足の時は板を取付けて振動を擴大し、又感度過大なる時は比較的振動少き軸受基部等を選んで測定してもよい。要は他の機械等の振動の影響少き場所で受振器及び測定場所を終始變えずに測定すればよい。

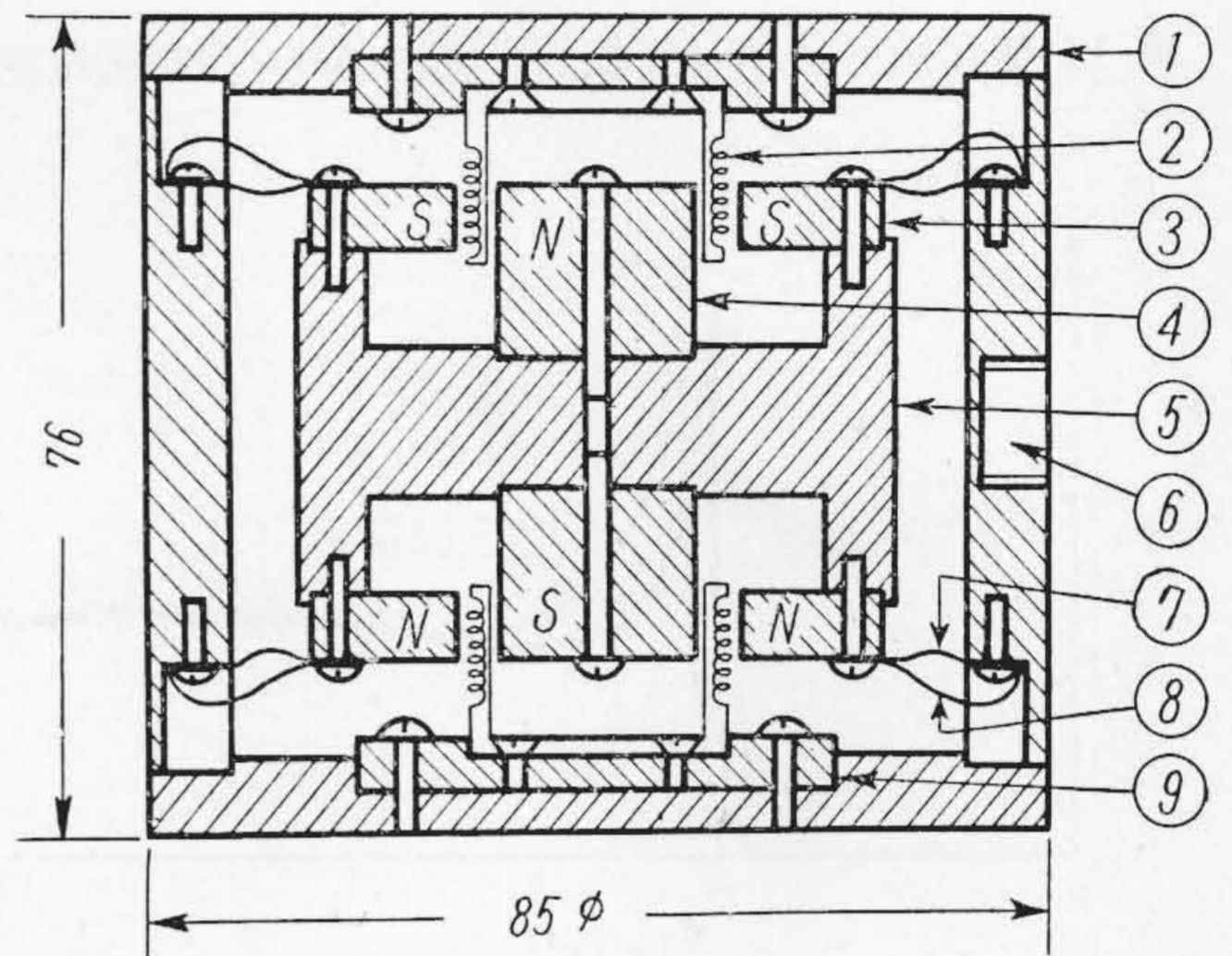
〔III〕 測定装置

第 3 圖に於て受振器 P_A , P_B の電壓を順次切換えて一段増幅後可變位相正弦波發電機 G の電壓に加え、その合成電壓を整流型電流計 A でよむ。受振器は第 4 圖の構造の物で上下 2 箇の可動線輪があり、全體の保持位置が多少變動しても上下相補い感度を不變ならしめてある。第 5 圖第 6 圖は特性試験結果で振幅に對して 0.15



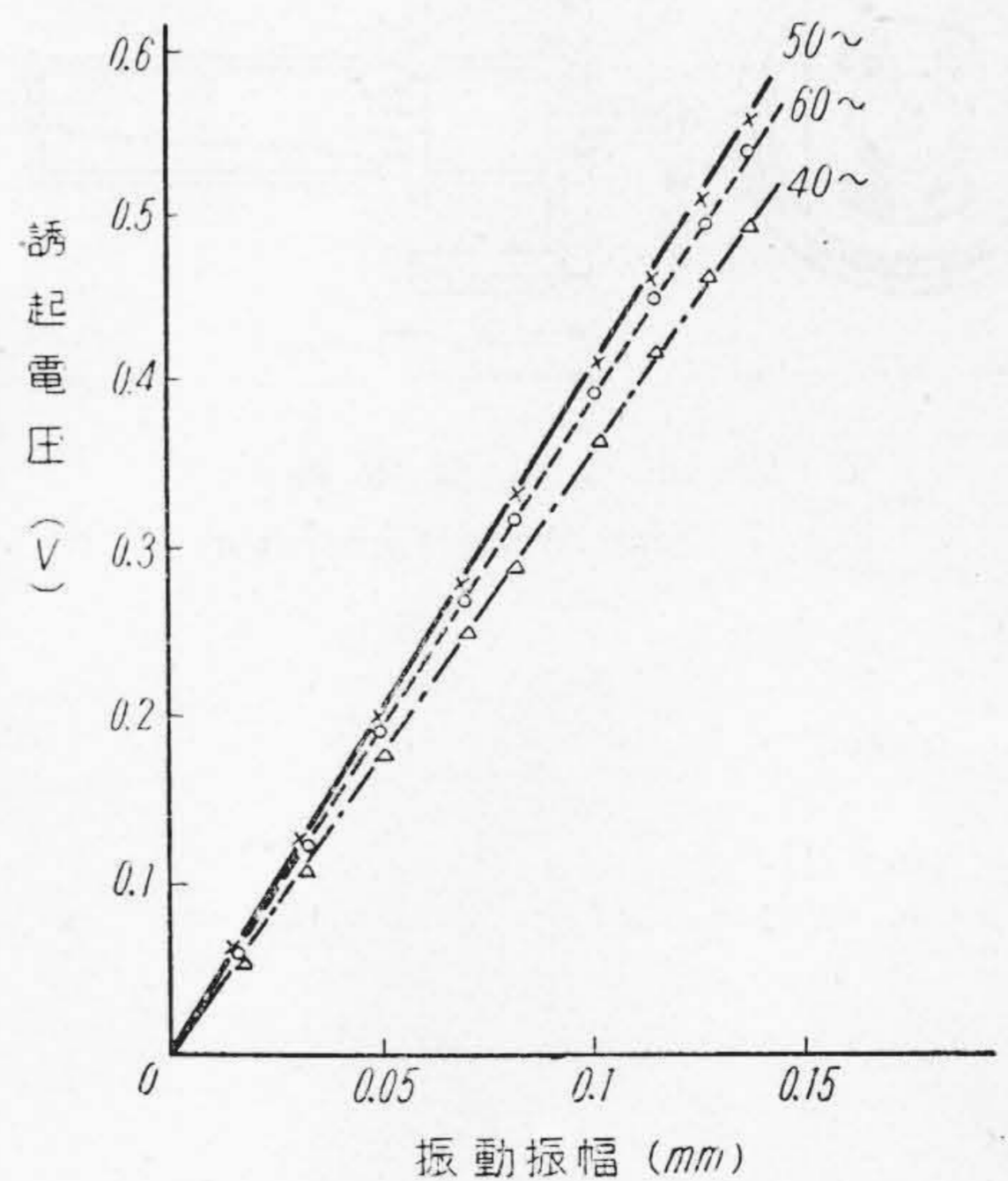
第3圖 回轉平衡調整装置
Fig. 3 Connection Diagram of the Dynamic Balancing Meter.

mm 迄の試験結果では完全に比例性がある。振動數に對しては速度型であるが 25~(1500 r.p.m.) 以上では電壓變化少く回轉數の變化に對し安定である。これはスプリング板と併用したダンピング布の減衰性能の効果である。發電機は第 7 圖の構造で、回轉子に圓壘狀永久磁石



- ① 側板
- ② コイル
- ③ 永久磁石
- ④ 永久磁石
- ⑤ ヨーク
- ⑥ 取付用孔
- ⑦ ダンピング用布
- ⑧ スプリング板
- ⑨ 絶縁板

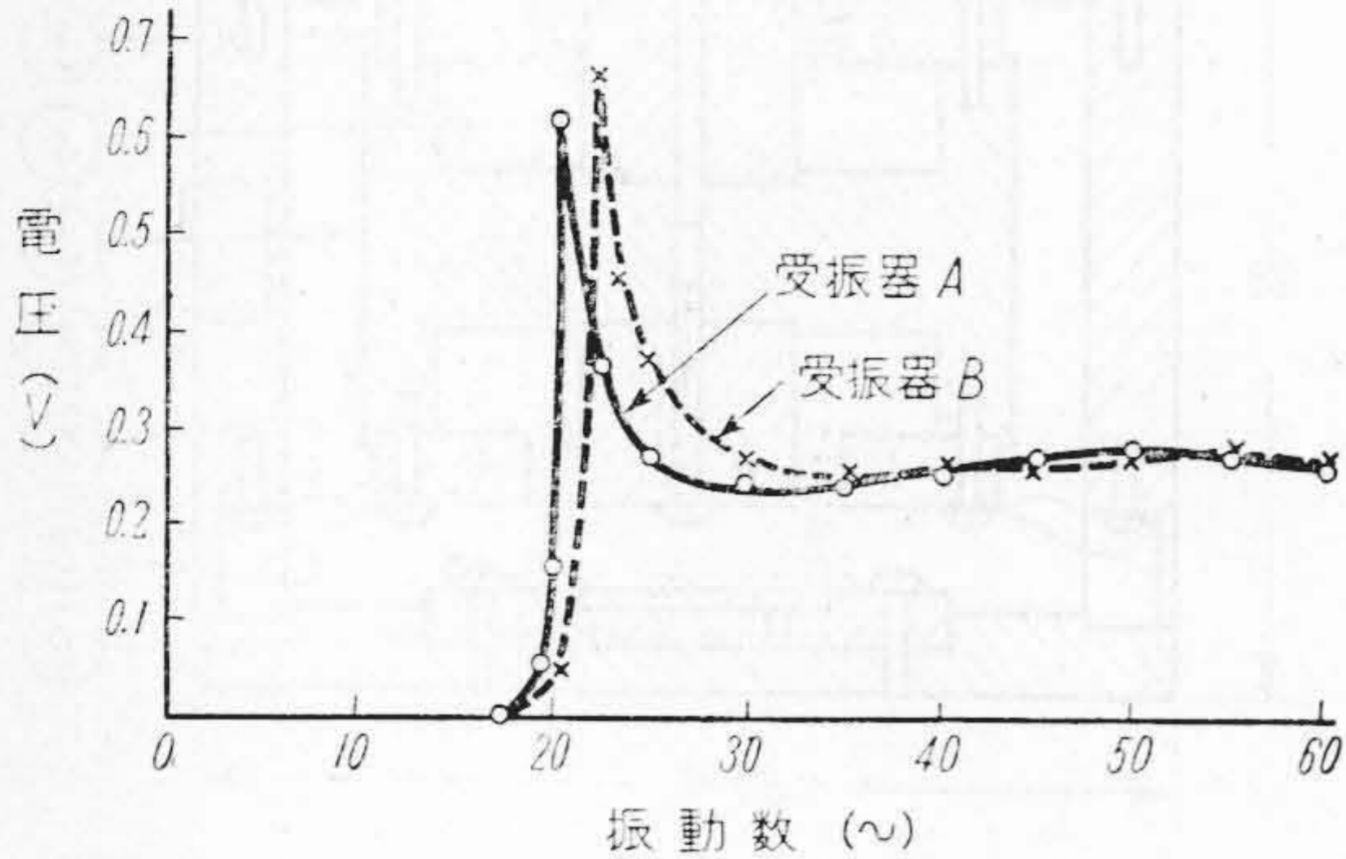
第4圖 受振器
Fig. 4 Vibration Pick Up.



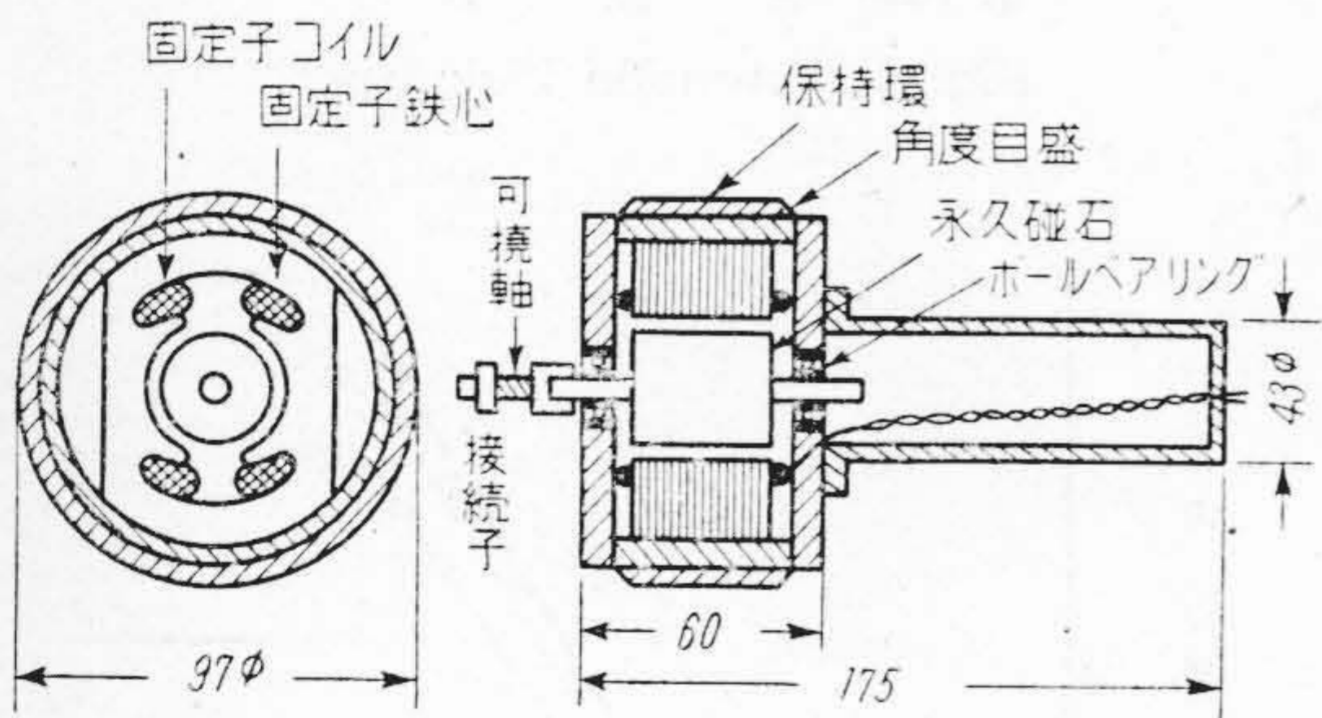
第5圖 受振器の振幅特性
Fig. 4 Amplitude Characteristics of Vibration Pick Up.

を用いた結果第 8 圖の如く正弦波が安定に得られた。起電力は 3000 r. p. m. に於て 2 V である。固定子側板には角度目盛を施し固定子保持環との間の移相量を讀む様にしてある。第 9 圖は被調整回轉機との結合位相を一定に保つ爲の金具で、可撓軸を用いてある爲精密な心出しは要しない。第 10 圖は全装置である。

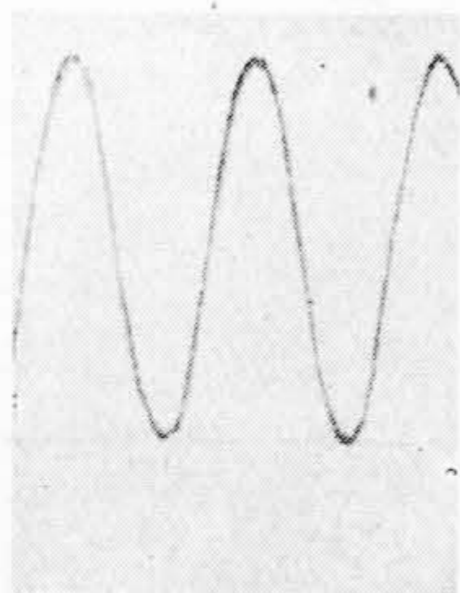
第 11 圖に於て \vec{OA} = 受振器電壓、 \vec{AB} = 發電機電壓



第 6 圖 受振器の周波數特性
Fig. 6 Frequency Response of the Vibration Pick Up.



第 7 圖 正弦波發電機
Fig. 7 Sine Wave Generator.

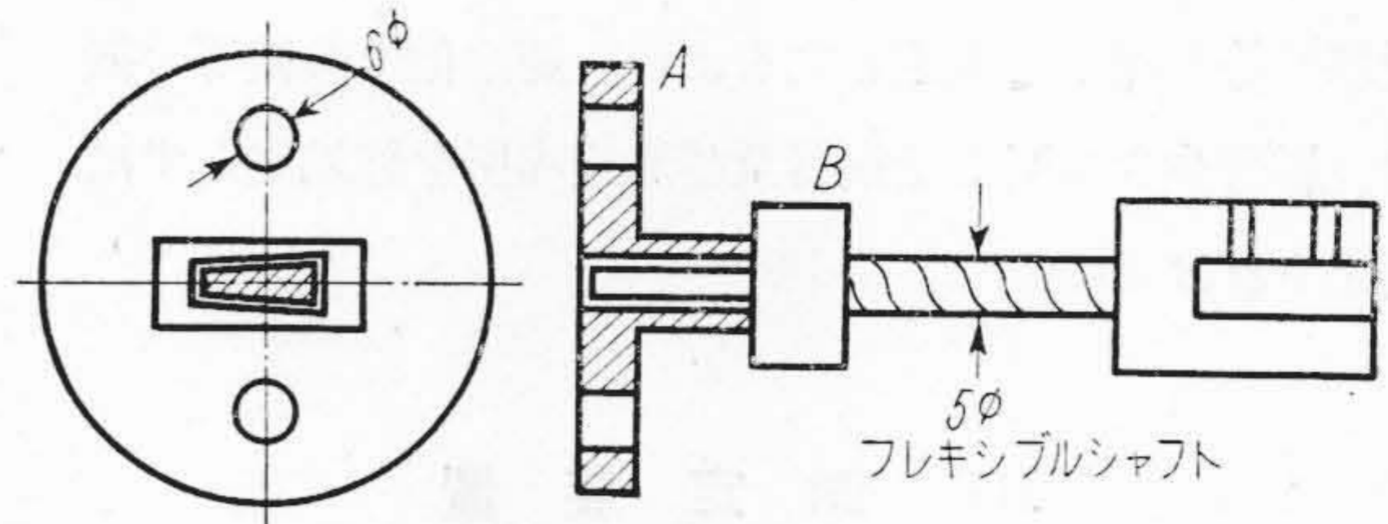


第 8 圖 正弦波發電機波形
Fig. 8 Wave Form of the Sine Wave Generator.

とし G の固定子を回轉機の回轉方向に移相して \vec{AB} の位相を BCD の如く遅らせれば、合成電壓は \vec{OB} \vec{OC} \vec{OD} の如く變化して最大 \vec{OB} 最小 \vec{OD} を得る。

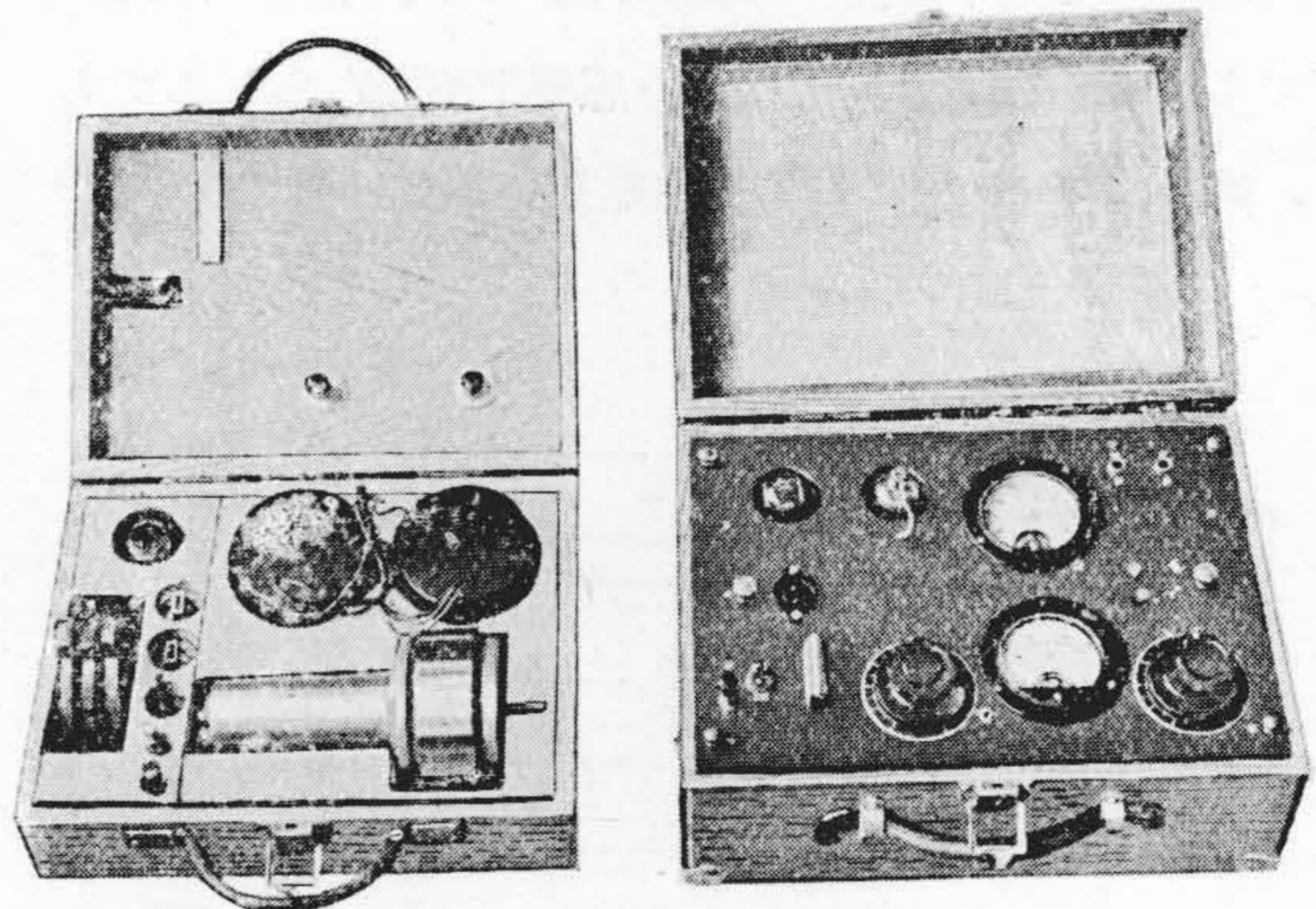
$$\vec{OB} - \vec{OD} = 2 OA = h_1 - h_2 = H \text{ であるから}$$

H は振動の大きさに比例した値で \vec{A} , \vec{B} 等の大き A, B を表わす。位相角は h_1 , h_2 其他何れで決めてもよいが、

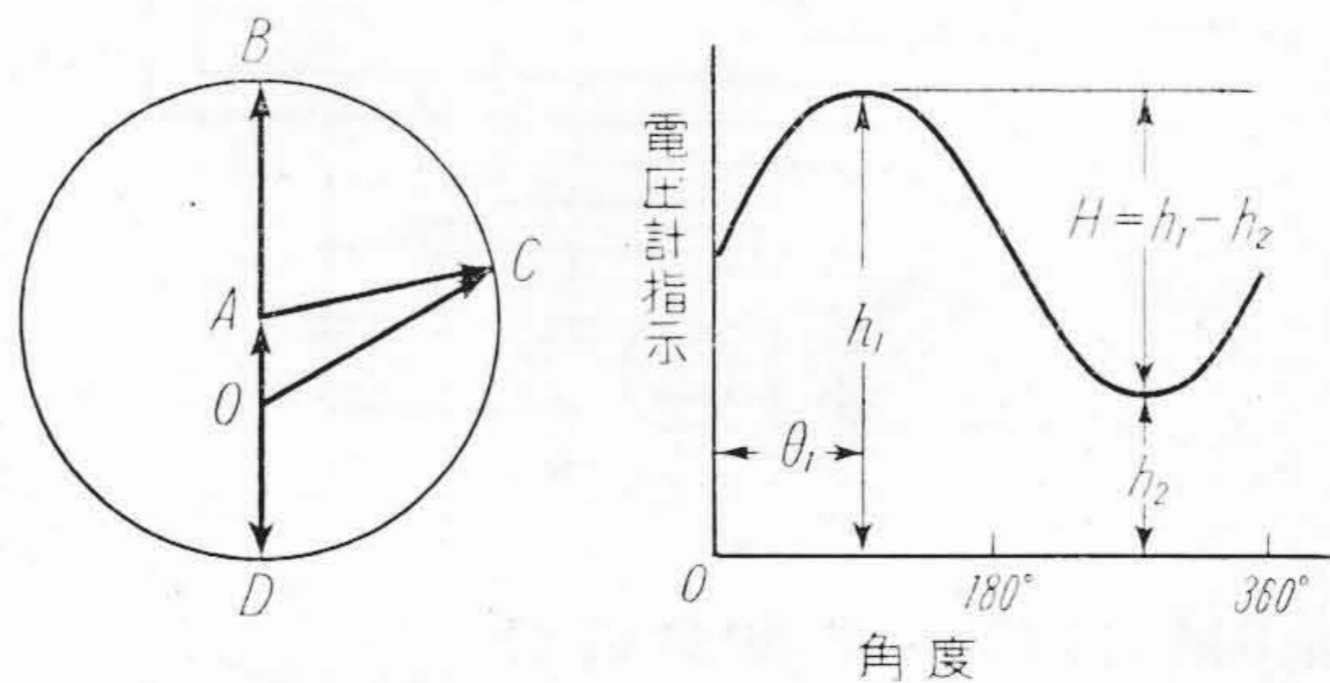


被調整回轉子に A を取付け、正弦波發電機軸に附けた B を A に挿入する。

第 9 圖 結合金具
Fig. 9 Coupling Device.



第 10 圖 回轉平衡調整装置
Fig. 10 Dynamic Balancing Meter for High Speed Machine.



第 11 圖 計器指示説明圖
Fig. 11 Illustration of Meter Indication.

例えば \dot{h}_1 に終始一定して決めればよい。尚 $\vec{OA} > \vec{AB}$ なる時は H は $2\vec{AB}$ 一定となるから $\vec{OA} < \vec{AB}$ なることが必要で、この爲 R_1R_2 により電流計 (A) の最大振れは $2\vec{AB}$ 以下なる様にして置く。

振動の性質上若し受振器電圧に高調波を含む場合の影響を考えると、正弦波発電機電圧を $G \sin \omega t$ とし、受振器電圧を

$$P \sin(\omega t + \theta) + \sum_2^n P_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad \text{とす}$$

れば、整流型電流計の指示は波形に甚しき歪を伴わぬ限り次式に比例する。

$$I = \frac{1}{T} \int_{-\varphi_0/\omega}^{-\varphi_0/\omega + T/2} \left[Q \sin(\omega t + \varphi) + \sum_2^n P_n \sin(n\omega t + \theta_n) \right] dt \quad \dots\dots\dots(10)$$

但し $Q = \sqrt{G^2 + P^2 - 2GP \cos \theta}$ 、 φ_0 は合成波の瞬時値が零となる位相角で T は基本波の週期である。

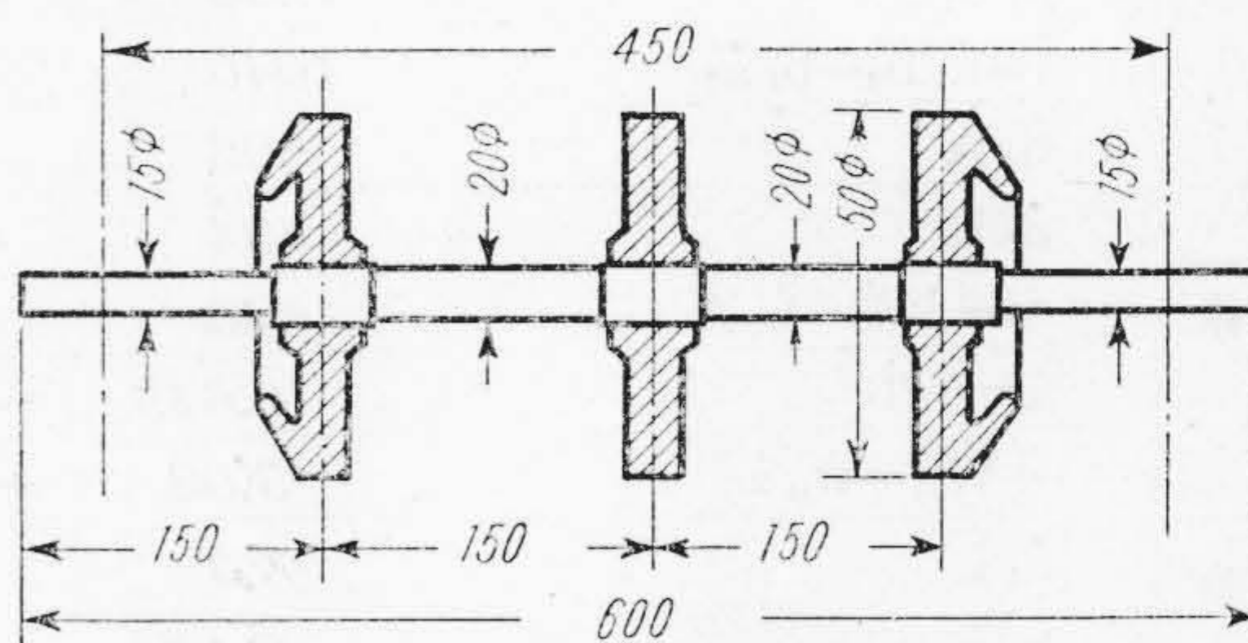
(10) 式は

$$I = \frac{1}{\pi} \left[Q + \sum \frac{P_n}{n} \cos(\theta_n - n\varphi_0) \right], \quad n=3, 5, 7, \dots\dots$$

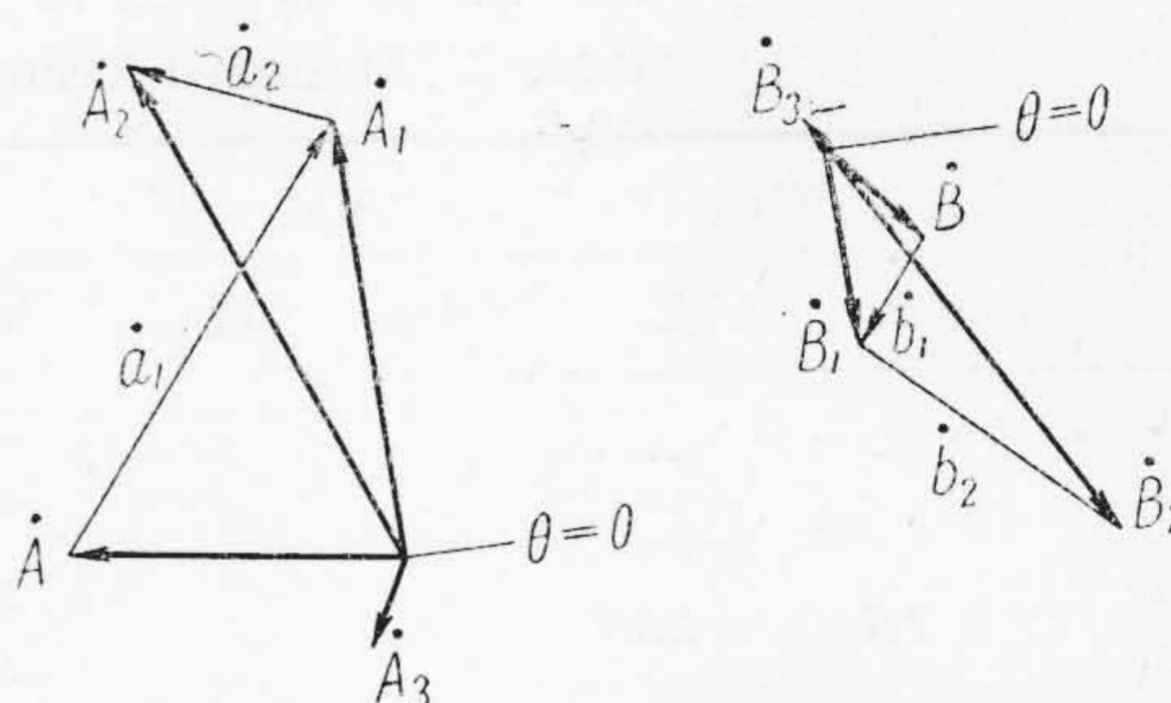
であるから偶数調波は無影響で奇数調波も次数に逆比例して少となる。假に第3調波が30%としても誤差は最大 $\pm 30\% \div 3 = \pm 10\%$ 程度である。

[IV] 實驗結果

(1) 模型回轉子の平衡調整 第12圖の回轉子は不平衡少く従つて振動も微弱であるが、兩軸受を片持式振動板の上に載せ、この振動板の振動ベクトルを測定し、



第12圖 模型回轉子
Fig. 12 Model Rotor.



第13圖 模型回轉子の振動ベクトル變化
Fig. 13 Variation of Vibration Vectors in case of Model Rotor.

第1表 模型回轉子平衡調整ベクトル測定値

Table 1 Measured Vectors (Model Rotor).

ベクトル	\dot{w}_a		\dot{w}_b		\dot{h}_1		\dot{h}_2		\dot{H}		振幅 (μ)
	グラム	度	グラム	度	h_1	θ_1	h_2	θ_2	H	θ_1	
\dot{A}	—	—	—	—	43	-190	14	-10	29	-190	40
\dot{B}	—	—	—	—	31	-50	21	-230	10	-50	14
\dot{A}_1	5	+270	—	—	49	-270	11	-90	38	-270	—
\dot{B}_1	—	—	—	—	34	-90	18	-270	16	-90	—
\dot{A}_2	5	+270	5	0	56	-250	8	-70	48	-250	—
\dot{B}_2	—	—	—	—	47	-60	7	-240	40	-60	—
\dot{A}_3	3.08	+220	1.45	+133	28	-120	20	-300	8	-120	11
\dot{B}_3	—	—	—	—	25	-240	22	-60	3	-240	4

備考: $\dot{A}_3 \dot{B}_3$ は調整後の値。角度は回轉方向に測つた値を正とする。

第 2 表 模型 回轉 子 平衡 調整 計算 表
Table 2 Calculated Vectors (Model Rotor).

	A 側		B 側			
	量	度	量	度		
計	\dot{a}_1	43.4	+49	\dot{b}_1	10.5	-127
	\dot{b}_2	27.8	-43	\dot{a}_2	17.8	+157
	$\dot{a}_1 \dot{b}_2$	1206	+6	$\dot{b}_1 \dot{a}_2$	187	+30
算	$\dot{i} = \dot{a}_1 \dot{b}_2 - \dot{b}_1 \dot{a}_2$	1040	+1	—	—	—
	$\dot{b}_2 \dot{A}$	806	-233	$\dot{a}_2 \dot{B}$	178	+107
	$\dot{a}_1 \dot{B}$	434	-1	$\dot{b}_1 \dot{A}$	305	-317
	$\dot{m} = \dot{a}_2 \dot{B} - \dot{b}_2 \dot{A}$	640	-48	$\dot{n} = \dot{b}_1 \dot{A} - \dot{a}_1 \dot{B}$	303	+134
	$\dot{\alpha} = \dot{m} / \dot{i}$	0.615	-49	$\dot{\beta} = \dot{n} / \dot{i}$	0.291	+133
驗	$-\dot{W}_A = \dot{w}_a \dot{\alpha}$	3.08	+221	$-\dot{W}_B = \dot{w}_b \dot{\beta}$	1.45	+133
	$\dot{a}_1 \dot{\alpha}$	26.7	0	$\dot{a}_2 \dot{\beta}$	5.18	+290
	$\dot{b}_1 \dot{\alpha}$	6.46	-176	$\dot{b}_2 \dot{\beta}$	8.1	+90
算	$\dot{A} + \dot{a}_1 \dot{\alpha} + \dot{a}_2 \dot{\beta}$	0	—	$\dot{B} + \dot{b}_1 \dot{\alpha} + \dot{b}_2 \dot{\beta}$	0	—

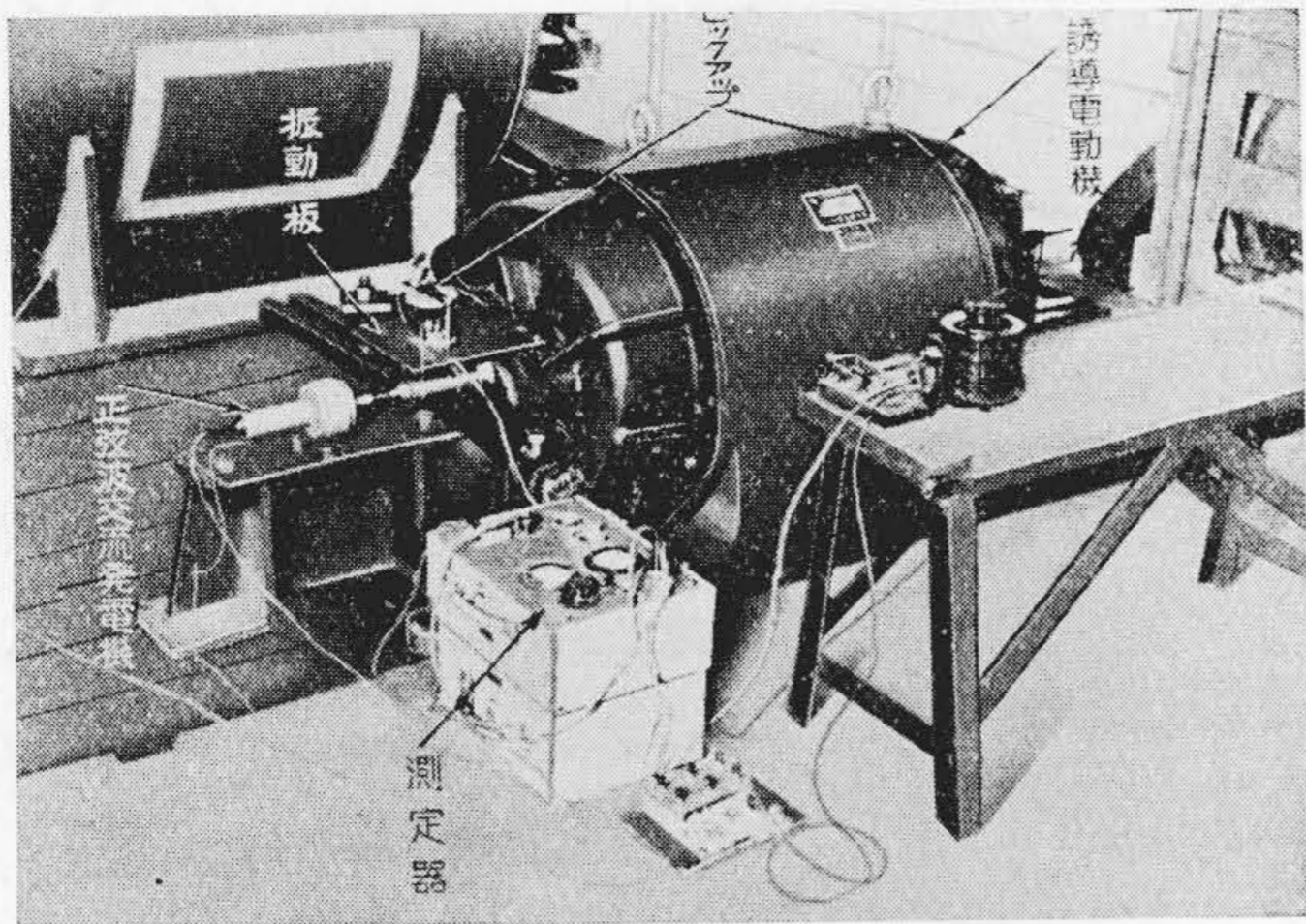
第 3 表 誘導 電動 機 平衡 調整 ベクトル 測定 値
Table 3 Measured Vectors (Induction Motor).

ベクトル	\dot{w}_a		\dot{w}_b		\dot{h}_1		\dot{h}_2		\dot{H}		振 幅 μ
	グラム	度	グラム	度	h_1	θ_1	h_2	θ_2	H	θ_1	
\dot{A}	—	—	—	—	27	-120	20.5	-300	6.5	-120	3
\dot{B}	—	—	—	—	41	-30	9.5	-210	31.5	-30	15
\dot{A}_1	15	-250	—	—	29	-90	20.5	-270	8.5	-90	—
\dot{B}_1	—	—	—	—	59	0	4	-180	55	0	—
\dot{A}_2	—	—	10	-40	43.5	-120	35	-300	8.5	-120	—
\dot{B}_2	—	—	—	—	67.5	-120	5	-300	62.5	-120	—
\dot{A}_3	22.4	-153	2.74	+42	28	-180	25	0	3	-180	1.5
\dot{B}_3	—	—	—	—	30	-210	19.5	-30	10.5	-210	5

備考: $\dot{A}_3 \dot{B}_3$ は調整後の値。振幅は SIP 振動計にて測つた値。

第 4 表 誘導 電動 機 平衡 調整 計算 表
Table 4 Calculated Vectors (Induction Motor).

	A 側		B 側			
	量	度	量	度		
計	\dot{a}_1	4.2	-41	\dot{b}_1	32	+30
	\dot{b}_2	69.5	-147	\dot{a}_2	2	-120
	$\dot{a}_1 \dot{b}_2$	292	-188	$\dot{b}_1 \dot{a}_2$	64	-90
算	$\dot{i} = \dot{a}_1 \dot{b}_2 - \dot{b}_1 \dot{a}_2$	310	+160	—	—	—
	$\dot{b}_2 \dot{A}$	452	-267	$\dot{a}_2 \dot{B}$	63	-150
	$\dot{a}_1 \dot{B}$	132.5	-71	$\dot{b}_1 \dot{A}$	208	-90
	$\dot{m} = \dot{a}_2 \dot{B} - \dot{b}_2 \dot{A}$	485	-94	$\dot{n} = \dot{b}_1 \dot{A} - \dot{a}_1 \dot{B}$	95	-117
	$\dot{\alpha} = \dot{m} / \dot{i}$	1.56	-254	$\dot{\beta} = \dot{n} / \dot{i}$	0.306	-277
驗	$-\dot{W}_A = \dot{w}_a \dot{\alpha}$	23.5	-144	$-\dot{W}_B = \dot{w}_b \dot{\beta}$	3.06	-317
	$\dot{a}_1 \dot{\alpha}$	6.55	-295	$\dot{a}_2 \dot{\beta}$	0.612	-37
	$\dot{b}_1 \dot{\alpha}$	50	-224	$\dot{b}_2 \dot{\beta}$	21.3	-64
算	$\dot{A} + \dot{a}_1 \dot{\alpha} + \dot{a}_2 \dot{\beta}$	0	—	$\dot{B} + \dot{b}_1 \dot{\alpha} + \dot{b}_2 \dot{\beta}$	0	—

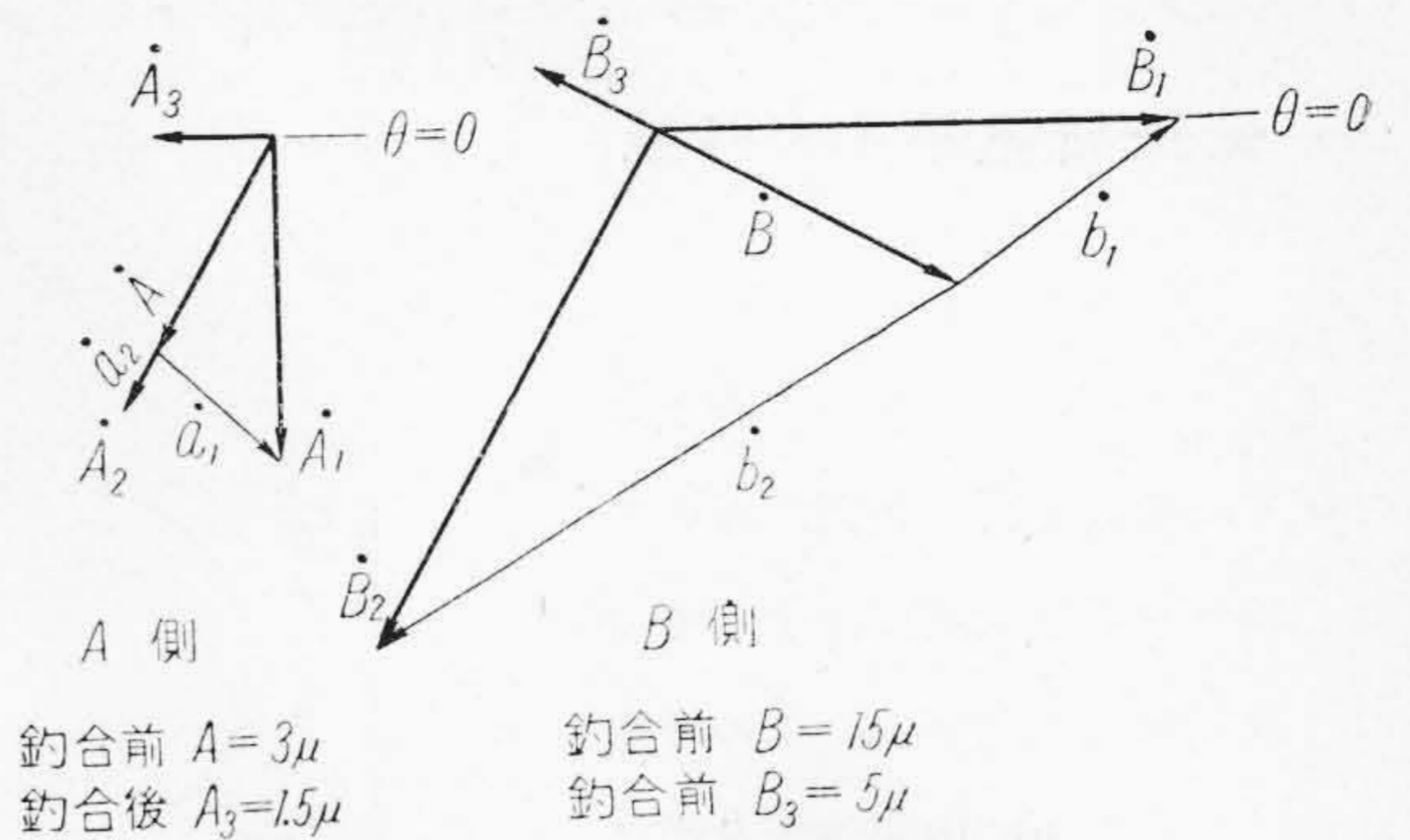


第14圖 3600 r.p.m. 110 kW 誘導電動機のフィールドバランス

Fig. 14 Field Balancing of 3600 r.p.m. 110 kW Induction Motor.

3000 r.p.m. に於ける平衡調整を行つた。計算に便利なる様豫め第1表、第2表の如き用紙を作製しておき、第1表に測定値を記入し第2表に計算値と驗算値を記入する。これにより計算の手順を早め記録を兼ねる。第1表に於て振幅 (μ) は振動板の先端に附けた細隙をランプにて照明し 150 倍顯微鏡にて讀んだ値で、最初 40μ (A側) 及び 14μ (B側) であつたが、第2表に算出された調整量 $-\dot{W}_A$ 及び $-\dot{W}_B$ を附けた結果第1表の \dot{A}_3 , \dot{B}_3 の如く 11μ (A) 及び 4μ (B) となり 1 回の調整で振動は $1/3$ 以下となつた。第13圖はこの時のベクトル變化圖である。

(2) 誘導電動機の平衡調整 供試電動機は 110 kW 3600 r.p.m. 3300 V 型式 EFU-KK で、これの兩軸受の振幅は 3600 r.p.m. に於てそれぞれ 3μ 及び 15μ であつた。これは普通のダイナミックバランスマシンでは不平衡量を檢出すること困難な程度であつた。軸受に鐵板 (250×220×10) を取付け、その上に受振器を載せ 3600 r.p.m. に於ける振動ベクトルを測定した。第14圖は試験の状況である。既知量の付け方は \dot{w}_a を附けて測定した後 \dot{w}_a を取外して \dot{w}_b を付ける第2法によつた。第3表は測定結果、第4表は計算結果第15圖はこの場合のベクトル變化圖である。調整重量算出量 $-\dot{W}_A$, $-\dot{W}_B$ を附けた結果第3表に示す如く SIP 振動計による振幅は A 側 1.5μ B 側 5μ に減少し、電流



第15圖 誘導電動機の振動ベクトル變化

Fig. 15 Variation of Vibration Vectors in case of the Induction Motor.

計による値 H もその割合で減少している。

[V] 結 言

回轉機の振動ベクトルを電氣的に測定し、豫め用意したベクトル計算表に記入しつゝ簡単な計算により調整重量を決定することによつて定格速度に於ける振動を一回の調整で數分の一に減少せしめ得ることを示した。本装置は可搬式で取扱簡單なることを特長とし、計算は驗算を含めて約1時間程度で出来る。本装置により動的平衡調整作業が短縮される他、平衡のとれた回轉子に就て不平衡量と振動性質との關係を明かにすることが出来る。

本研究は戦時中行つたもので、故和島博士並に藤久保副工場長より終始御激勵を賜つた。又實驗については佐藤春枝、廣原弘兩君の熱心なる助力を得た。茲に併せて感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

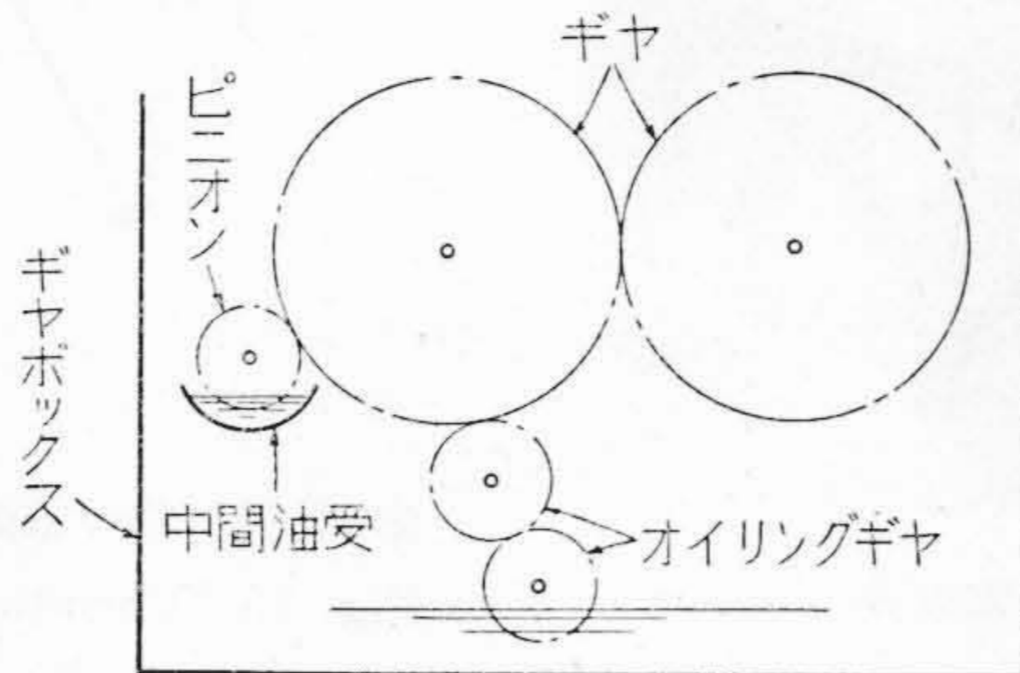
- (1) F.C. Rushing, B.A. Rose: Elec. J. 34, 441, 1937.
- (2) 今尾: 特許第 157085 號
- (3) E. L. Thearle: Trans. A. S. M. E. 54, 131, (1934)
- (4) Timoshenko: Vibration Problems in Eng'g., 38, 1935

登録新案第 378184 号

安 井 厚

ギ ャ ボ ッ ク ス

オイリングギヤによつて本ギヤリングに給油を行う装置においては、給油が平常状態に達するまでは或る時間を要する。この考案はピニオンの下に中間油受を設けたもので、起動時はこの中間油受にたまつた油により潤滑されるの



で、時間的なおくれがなく始めから潤滑作用を良好にすることが出来る。給油が平常状態になれば、中間油受には徐々に油が補給されてたまり循環させられる。

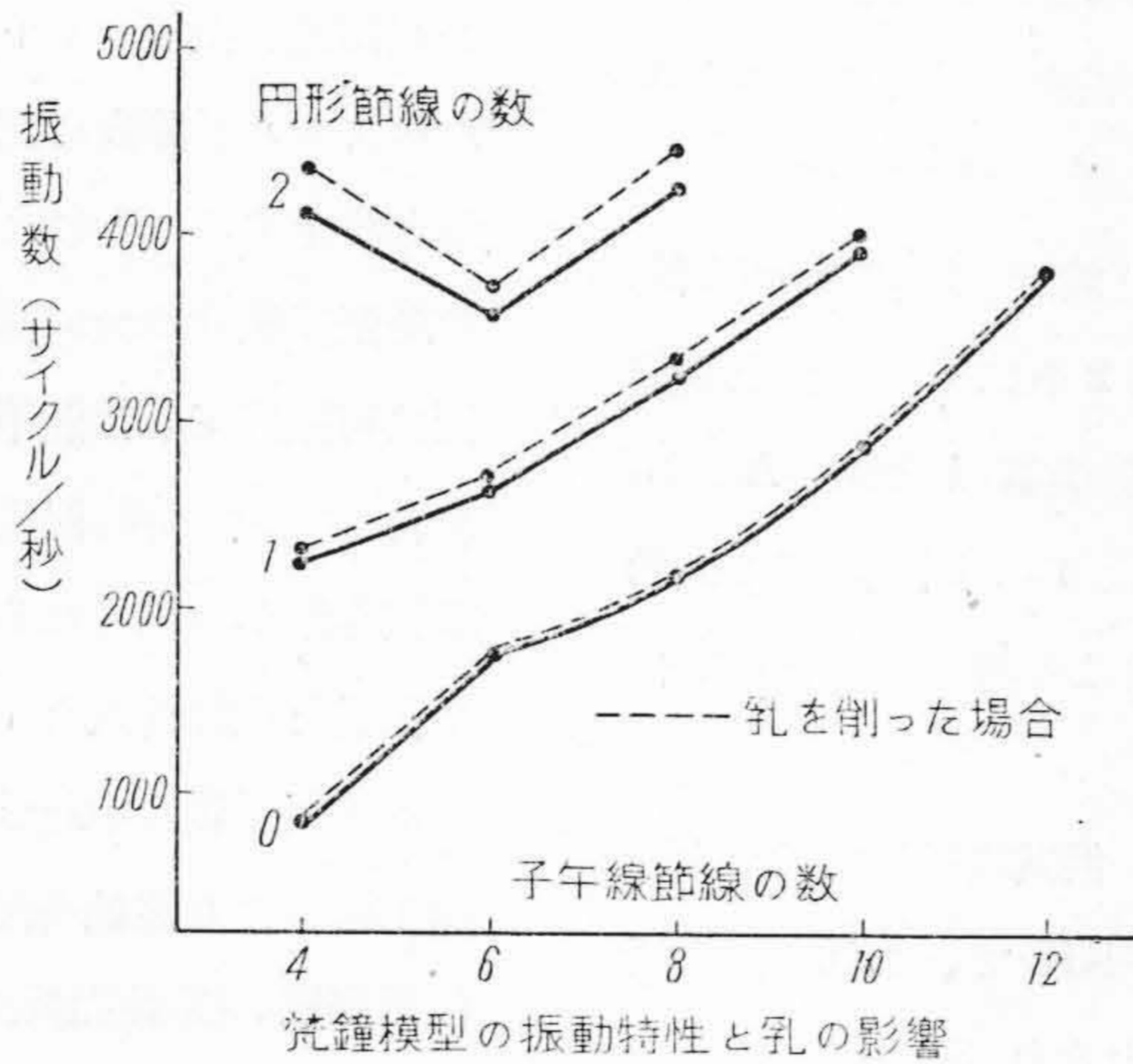
現在万能土堀機の減速機に実施し好成績をあげている。(富田)

梵 鐘 の 振 動 特 性

前 田 庸・佐 藤 玄 樹

鐘の音色は、其の鐘の有する固有振動に依つて定まる。従つて音色を考慮して鐘を製作する爲には、大きさ形状等が其の固有振動に如何に影響するかを知らねばならない。此の意味で一つの梵鐘模型について、固有振動の振動数振動様式及び減衰時間を測定し、次に其の乳の部分を取り取つて、特に乳の有無が鐘の音色に如何なる影響を有するかを調べた。

固有振動数を知る爲には、可變周波發振器の振動電流をMagnetic Speakerの Pole Piece で機械振動に換え、これで鐘を駆動した。駆動する振動数が鐘の固有振動数の一つに一致すれば、鐘は共鳴振動を起すが、之は別につけた電磁 Pick-up で容易に検知出来る。従つてこの時の發振器の周波数より固有振動数が判るのである。固有振動数で駆動しても駆動する場所がその固有振動の節線に一致するときは共振を起さない。逆にそれが腹に相等する部分では激しく共振する。故に駆動する場所を變えながら Pick-up に誘起される電圧を見れば、其の固有振動の振動様式が判る。減衰の早さは、共振状態にあ



る鐘から急に駆動機を外し、其の際の減衰音を電磁オシロに記録することに依つて測定された。

附圖の實線上の點は以上の如くして測定された固有振動の振動数と振動様式を示したものである。振動様式は縦方向に走る午手線節線の数と、水平方向に鐘を周る圓形節線の数で分類されているが、振動数の最も低い基音は圓形節線を持たず、午手線節線が4本のものであり、第一、第二高次振動迄は圓形節線を持たない

事が判る。又減速を測定した結果圓形節線を持たないものは、減衰の遅い事が判つた。従つて餘韻を尊ぶ梵鐘に於ては、かゝる圓形節線を持たない固有振動が重要である。乳を削つた場合の變化は圖中の破線上の點で示されている。圓形節線をもつ様式の固有振動では振動数が増しているが、圓形節線を持たないものでは殆んど變化がない。これは後者の振動様式では乳の部分が殆んど振動しない爲である。然るに梵鐘の音色にとつて重要なのは、この圓形節線をもたない固有振動である爲、結局乳の有無は音色に對して殆んど影響しないと考えられる。