

誘導電動機の三相短絡電流

Three-Phase Shortcircuit Current of Induction Motors

奥 田 健 三*
Kenzō Okuda

内 容 梗 概

誘導電動機の三相短絡電流計算式として準精密計算式と簡略計算式とを導き、実験値と比較検討の結果、計算値と実験値の相違は10%で十分実用しうることを確認した。次に開閉器具または保護装置の整定に必要な最大短絡電流の発生条件を求め、利用しやすい形にまとめた。

1. 緒 言

船舶内の短絡電流に対する保護器具の遮断容量の選定基準は、従来公認されたものがなく、各国とも現在討議の段階にある。わが国においても短絡電流の計算基準を確立し、船内配電方式、保護器具の種類および遮断容量を適正化する気運に向っている。

ところで船舶内の短絡電流供給源の一つとして誘導電動機のあることは周知のとおりであり、日立製作所においても研究を進めてきたのでその結果につき述べる。

短絡電流の解析に当っては種々の文献があるが、ここでは Lyon の著書⁽¹⁾を参考にして数値計算に便利のように整理するように努めた。これらの計算式を実験により比較検討を行うため、2 HP および 21 HP 電動機につき詳細に検討を行い計算式の有効なことを確認した。

最後に保護器具の遮断容量の決定に必要な最大短絡電流（非対称分を含む）の発生条件に言及し、一般の利用に便ならしめた。

2. 三相短絡電流の計算式

任意のすべりをもって回転している誘導電動機の基本式は、鉄損を無視すれば第1図のような回路とみなすことができ、(1)(2)式で与えられる。

$$(\gamma_{\alpha} + x_{\alpha}D)i_{\alpha 1} + x_m D i_{\beta 1} e^{jn\tau} = v_{\alpha 1} \dots\dots\dots (1)$$

$$x_m D i_{\alpha 1} e^{-jn\tau} + (\gamma_{\beta} + x_{\beta}D)i_{\beta 1} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

ここに

γ_{α} = 固定子抵抗

x_{α} = 固定子自己リアクタンス（漏えいリアクタンスではない。）

γ_{β} = 回転子抵抗

x_{β} = 回転子自己リアクタンス

x_m = 相互リアクタンス（励磁リアクタンス）

n = 同期速度を1とする場合の回転子の速度

$i_{\alpha 1}$ = 固定子電流の正相分

$i_{\beta 1}$ = 回転子電流の正相分

$v_{\alpha 1}$ = 固定子端子に印加される正相電圧

添字 α = 固定子に関する量を示す

添字 β = 回転子に関する量を示す

添字 1 = 正相分に関する量を示す

添字 2 = 逆相分に関する量を示す

$$\tau = \omega t = 2\pi f t$$

$$D = \frac{d}{d\tau}$$

(1)式は固定子に関する電圧平衡式であって、 $i_{\alpha 1}$, $v_{\alpha 1}$ は電源の角速度 ω を有し、 $i_{\beta 1}$ はすべり速度を有し、 $(i_{\beta 1} e^{jn\tau})$ は電源角速度を有する。(2)式は回転子に関する電圧平衡式であって、左辺2項はともにすべり速度を有する。

(1), (2)式において

$$D i_{\beta 1} e^{jn\tau} = e^{jn\tau} D i_{\beta 1} + i_{\beta 1} D e^{jn\tau} = e^{jn\tau} (D + jn) i_{\beta 1} \dots\dots\dots (3)$$

$$D i_{\alpha 1} e^{-jn\tau} = e^{-jn\tau} D i_{\alpha 1} + i_{\alpha 1} D e^{-jn\tau} = e^{-jn\tau} (D - jn) i_{\alpha 1} \dots\dots\dots (4)$$

この関係を用いて(2)式を整理すれば次式のようになる。

$$x_m (D - jn) i_{\alpha 1} + \{\gamma_{\beta} + x_{\beta} (D - jn)\} i_{\beta 1} e^{jn\tau} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

(1), (5)式より固定子電流を求めると、

$$i_{\alpha 1} = \frac{\gamma_{\beta} + x_{\beta} (D - jn)}{(\gamma_{\alpha} + x_{\alpha} D) \{\gamma_{\beta} + x_{\beta} (D - jn)\} - x_m^2 D (D - jn)} v_{\alpha 1} \\ = \frac{\{\gamma_{\beta} + x_{\beta} (D - jn)\} v_{\alpha 1}}{(x_{\alpha} x_{\beta} - x_m^2) D^2 + (\gamma_{\alpha} x_{\beta} + x_{\alpha} \gamma_{\beta} - jn x_{\alpha} x_{\beta} + jn x_m^2) D + (\gamma_{\alpha} \gamma_{\beta} - jn \gamma_{\alpha} x_{\beta})} \dots\dots\dots (6)$$

いま次のようにおく。

$$\begin{cases} k_{\alpha} = \frac{\gamma_{\alpha}}{x_{\alpha}} \\ k_{\beta} = \frac{\gamma_{\beta}}{x_{\beta}} \\ \sigma = 1 - \frac{x_m^2}{x_{\alpha} x_{\beta}} \\ v_{\alpha 1} = V_{\alpha 1} e^{j\tau} \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

(6)式の右辺分母を $(x_{\alpha} x_{\beta})$ で除し、(7)式を代入すると、

$$i_{\alpha 1} = \frac{\{k_{\beta} (D - jn)\} \frac{v_{\alpha 1}}{x_{\alpha}}}{\sigma D^2 + (k_{\alpha} + k_{\beta} - jn\sigma) D + (k_{\alpha} k_{\beta} - jn k_{\alpha})} \\ = \frac{k_{\beta} + (D - jn)}{D^2 + \left(\frac{k_{\alpha} + k_{\beta}}{\sigma} - jn\right) D + \frac{k_{\alpha}}{\sigma} (k_{\beta} - jn)} \cdot \frac{V_{\alpha 1} e^{j\tau}}{\sigma x_{\alpha}} \dots\dots\dots (8)$$

(8)式を解くに当り、まず

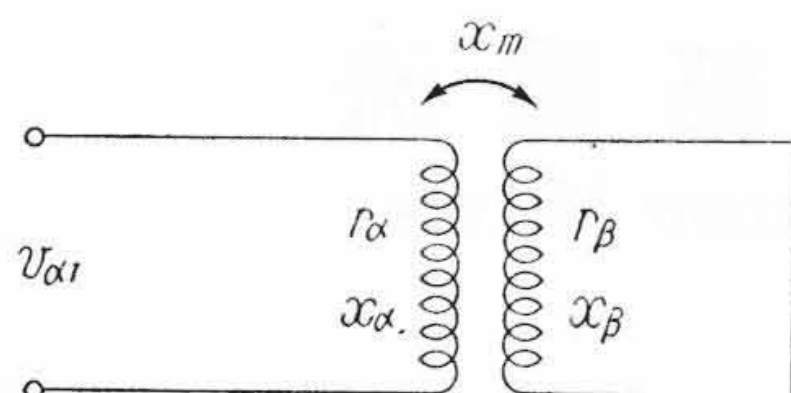
$$D^2 + \left(\frac{k_{\alpha} + k_{\beta}}{\sigma} - jn\right) D + \frac{k_{\alpha}}{\sigma} (k_{\beta} - jn) = 0 \dots\dots\dots (9)$$

なる特性方程式の根 (P_1 , P_2 とする) を求める。

$$P_1, P_2 = \frac{1}{2} \left\{ - \left(\frac{k_{\alpha} + k_{\beta}}{\sigma} - jn \right) \pm \sqrt{\left(\frac{k_{\alpha} + k_{\beta}}{\sigma} - jn \right)^2 - \frac{4 k_{\alpha}}{\sigma} (k_{\beta} - jn)} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

$k = k_{\alpha} = k_{\beta}$ とおけば(10)式は

* 日立製作所日立研究所



固定子 回転子
第 1 図 誘導電動機回路図

$$P_1, P_2 = \frac{1}{2} \left\{ \left(-\frac{2k}{\sigma} + jn \right) \pm \sqrt{\left(\frac{2k}{\sigma} - jn \right)^2 - \frac{4k}{\sigma} (k - jn)} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \left(-\frac{2k}{\sigma} + jn \right) \pm \sqrt{\frac{4k^2}{\sigma^2} (1 - \sigma) - n^2} \right\}$$

$$= \left(-\frac{k}{\sigma} + j \frac{n}{2} \right) \pm j \sqrt{\frac{n^2}{4} - \frac{k^2}{\sigma^2} (1 - \sigma)} \quad \dots\dots\dots (11)$$

したがって、(8)式は

$$i_{\alpha 1} = \frac{k_{\beta} + D - jn}{(D - P_1)(D - P_2)} \cdot \frac{V_{\alpha 1}}{\sigma x_{\alpha}} e^{j\tau} \quad \dots\dots\dots (12)$$

これを解いて

$$i_{\alpha 1} = \left\{ \frac{k_{\beta} + P_1 - jn}{(P_1 - P_2)(P_1 - j)} e^{p_1 \tau} + \frac{k_{\beta} + P_2 - jn}{(P_2 - P_1)(P_2 - j)} e^{p_2 \tau} \right\} \frac{V_{\alpha 1}}{\sigma x_{\alpha}}$$

$$- \left\{ \frac{k_{\beta} + P_1 - jn}{(P_1 - P_2)(P_1 - j)} + \frac{k_{\beta} + P_2 - jn}{(P_2 - P_1)(P_2 - j)} \right\} e^{j\tau} \frac{V_{\alpha 1}}{\sigma x_{\alpha}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

(13)式において、最初の 2 項は過渡項であり、あとの 2 項は定常項である。

いま求めんとするのは誘導電動機が定常運転を行っている場合の三相短絡電流であるから(1)(2)式において $v_{\alpha 1}$ を $(-v_{\alpha 1})$ とするときの電流と、 $v_{\alpha 1}$ による定常電流との和を求めればよい。ところが $v_{\alpha 1}$ 以外に起電力はないので、 $-v_{\alpha 1}$ を印加するときの定常電流と $v_{\alpha 1}$ を印加するときの定常電流は大きさ等しく符号反対である。したがって三相短絡電流は $-v_{\alpha 1}$ を加えるときの過渡電流に等しい。すなわち、(13)式より明らかなように、三相短絡電流の正相分は

$$i_{\alpha 1} = \left\{ \frac{k_{\beta} + P_1 - jn}{(P_1 - P_2)(P_1 - j)} e^{p_1 \tau} + \frac{k_{\beta} + P_2 - jn}{(P_2 - P_1)(P_2 - j)} e^{p_2 \tau} \right\} \frac{V_{\alpha 1}}{\sigma x_{\alpha}}$$

$$\times \frac{(-V_{\alpha 1})}{\sigma x_{\alpha}} = \left\{ \frac{k + P_1 - jn}{(P_1 - P_2)(P_1 - j)} e^{j n_1 \tau} + \frac{k + P_2 - jn}{(P_2 - P_1)(P_2 - j)} e^{j n_2 \tau} \right\}$$

$$\cdot \frac{(-V_{\alpha 1})}{\sigma x_{\alpha}} e^{-\frac{k}{\sigma} \tau} = \left\{ (A_1 + jB_1) e^{j n_1 \tau} + (A_2 + jB_2) e^{j n_2 \tau} \right\}$$

$$\cdot \frac{(-V_{\alpha 1})}{\sigma x_{\alpha}} e^{-\frac{k}{\sigma} \tau} = \left\{ C_1 e^{j(n_1 \tau + \phi_1)} + C_2 e^{j(n_2 \tau + \phi_2)} \right\}$$

$$\frac{(-V_{\alpha 1})}{\sigma x_{\alpha}} e^{-\frac{k}{\sigma} \tau} \quad \dots\dots\dots (14)$$

上式において

$$k = k_{\beta}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = -\frac{k}{\sigma} + jn_1 \\ P_2 = -\frac{k}{\sigma} + jn_2 \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (15)$$

n_1, n_2 に関しては(11)式参照。

$$\frac{k + P_1 - jn}{(P_1 - P_2)(P_1 - j)} = A_1 + jB_1$$

$$= \sqrt{A_1^2 + B_1^2} e^{j(\tan^{-1} \frac{B_1}{A_1})}$$

$$= \sqrt{A_1^2 + B_1^2} e^{j\phi_1}$$

$$= C_1 e^{j\phi_1} \quad \dots\dots\dots (16)$$

$C_2 e^{j\phi_2}$ も(16)式に準ず。

$$v_{\alpha 1} = V_{\alpha 1} e^{j\tau}$$

$$= \frac{1}{2} V e^{j(\theta - \frac{\pi}{2})} \cdot e^{j\tau} \quad \dots\dots\dots (17)$$

ただし $\theta = \alpha$ 相電圧位相角

(17)式を(14)式に代入すれば

$$i_{\alpha 1} = \left\{ \frac{C_1}{2} e^{j(n_1 \tau + \phi_1 + \theta - \frac{\pi}{2})} + \frac{C_2}{2} e^{j(n_2 \tau + \phi_2 + \theta - \frac{\pi}{2})} \right\} \frac{(-V)}{\sigma x_{\alpha}}$$

$$\cdot e^{-\frac{k}{\sigma} \tau} \quad \dots\dots\dots (19)$$

したがって a 相短絡電流は

$$i_a = i_{\alpha 1} + i_{\alpha 2}$$

$$= \left\{ C_1 \cos \left(n_1 \tau + \phi_1 + \theta - \frac{\pi}{2} \right) + C_2 \cos \left(n_2 \tau + \phi_2 + \theta - \frac{\pi}{2} \right) \right\}$$

$$\frac{(-V)}{\sigma x_{\alpha}} \cdot e^{-\frac{k}{\sigma} \tau} = \{ C_1 \sin(n_1 \tau + \phi_1 + \theta) + C_2 \sin(n_2 \tau + \phi_2 + \theta) \}$$

$$\frac{(-V)}{\sigma x_{\alpha}} \cdot e^{-\frac{k}{\sigma} \tau} \quad \dots\dots\dots (20)$$

(20)式が a 相電圧 $v_a = V \sin(\tau + \theta)$ において短絡するときの電流を与える式で、これを準精密計算式と呼ぶことにする。(20)式を導くに当り設けた仮定は大抵の場合成立するが、たとえば $k_{\alpha} \neq k_{\beta}$ が成立しないような機械あるいは電動機端子に直列に接続される線路インピーダンスを含めて等価的な電動機として考える場合には、(10)式から P_1, P_2 を求めこれを(13)式に代入すればよい。このほか(13)式は事故などにより運転中の電動機を別電源に切替える場合の突入電流や、起動電流の計算などに用いられることはいうまでもない。

簡略計算式

電動機の抵抗分は通常少なく (k : 小), かつ運転中はほぼ同期速度に等しい ($n \div 1$) ので、特性方程式の根は(11)式から次のように表わすことができる。

$$P_1 = -\frac{k}{\sigma} + j1$$

$$P_2 = -\frac{k}{\sigma} \quad \dots\dots\dots (21)$$

上式を用いて C_1, C_2, ϕ_1 および ϕ_2 を求め(20)式に代入すると

$$i_a = \{ \cos(\tau + \theta) - \cos \theta \} \frac{V}{\sigma x_{\alpha}} e^{-\frac{k}{\sigma} \tau} \quad \dots\dots\dots (22)$$

すなわち、(20)式では電源周波数よりやや小さい成分 n_1 と低周波成分 n_2 とからなっているが、(22)式では電源周波数成分と直流分とからなっている。(22)式が簡略式で、(20)式に比し計算の労力のはるかに少なく実用的な計算式である。なお(22)式は日高氏が発表されたもの⁽²⁾と同じ内容をもつものである。

(20), (22)式において漏えい係数 σ を正確に決定することは困難な場合が多いので、そのようなときには(7)式の関係を用いて

$$\sigma x_{\alpha} \div x' = \text{一次および二次漏えいリアクタンスの和}$$

$$= \text{過渡リアクタンス}$$

$$\frac{k}{\sigma} \div \frac{\gamma}{x'}$$

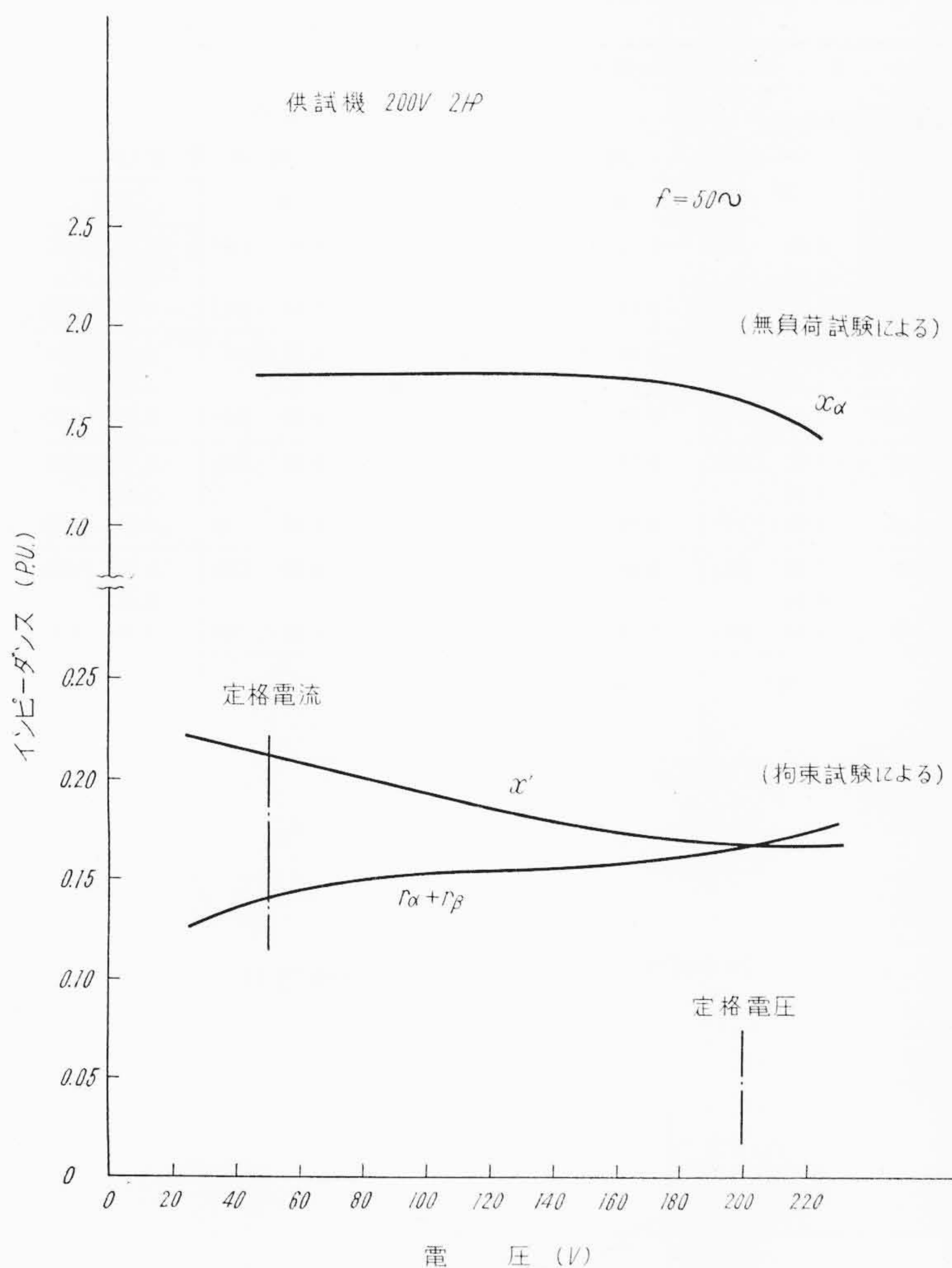
$$\text{ここに } \gamma = \frac{1}{2}(\gamma_{\alpha} + \gamma_{\beta})$$

とすればよい。

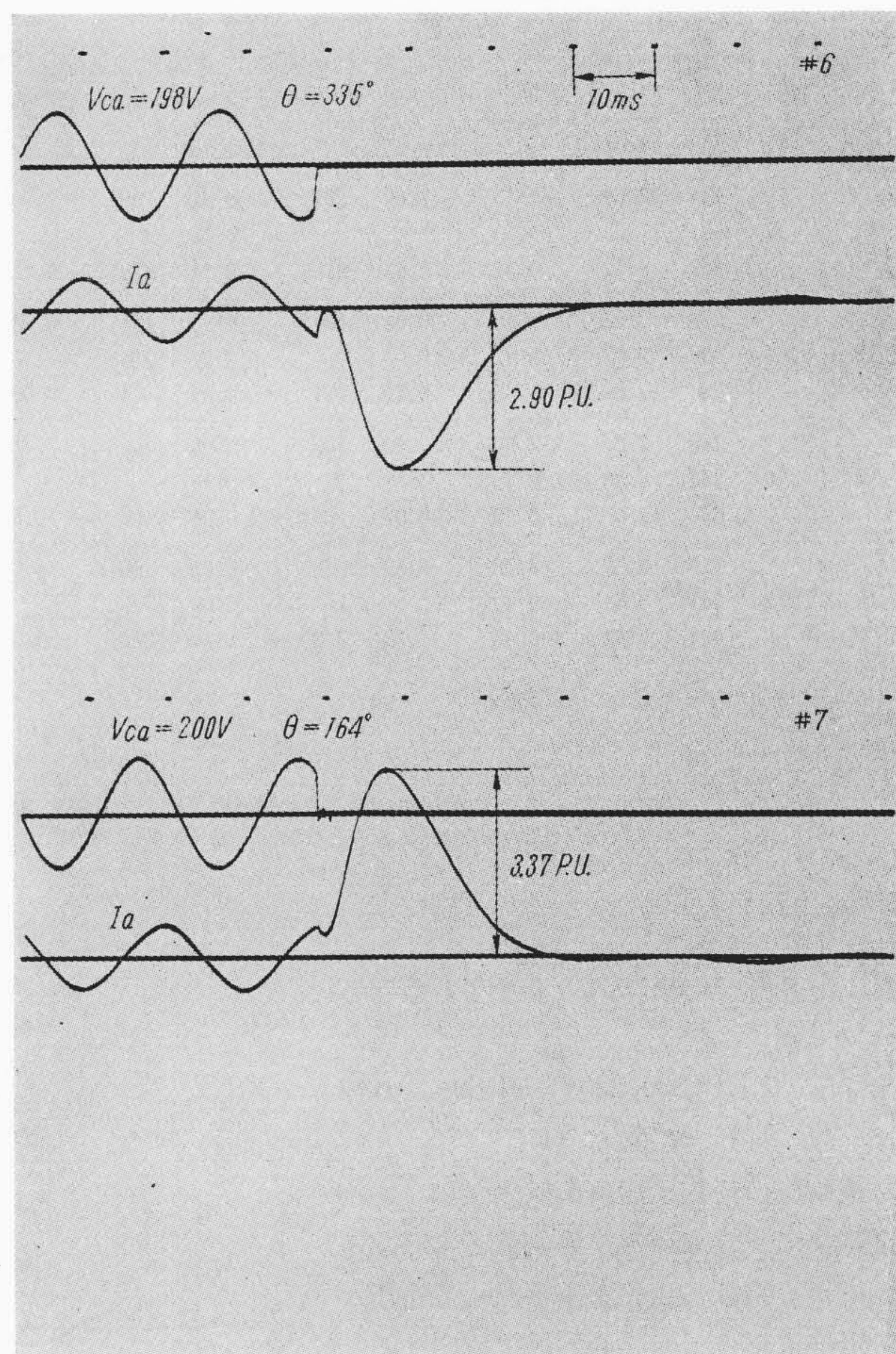
3. 実験ならびに検討

3.1 実験

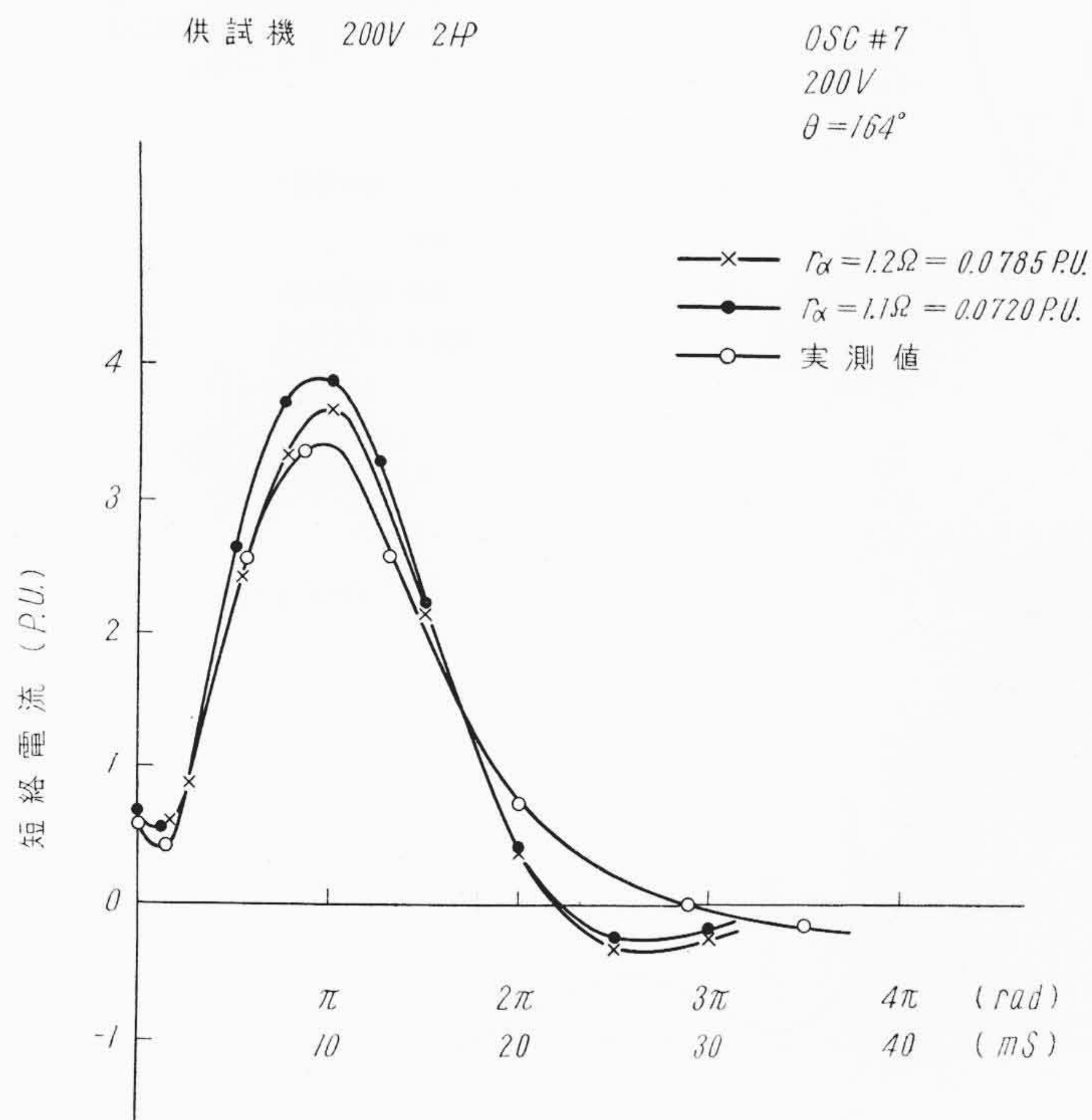
前章において導いた短絡電流計算式を実験により比較検討を行



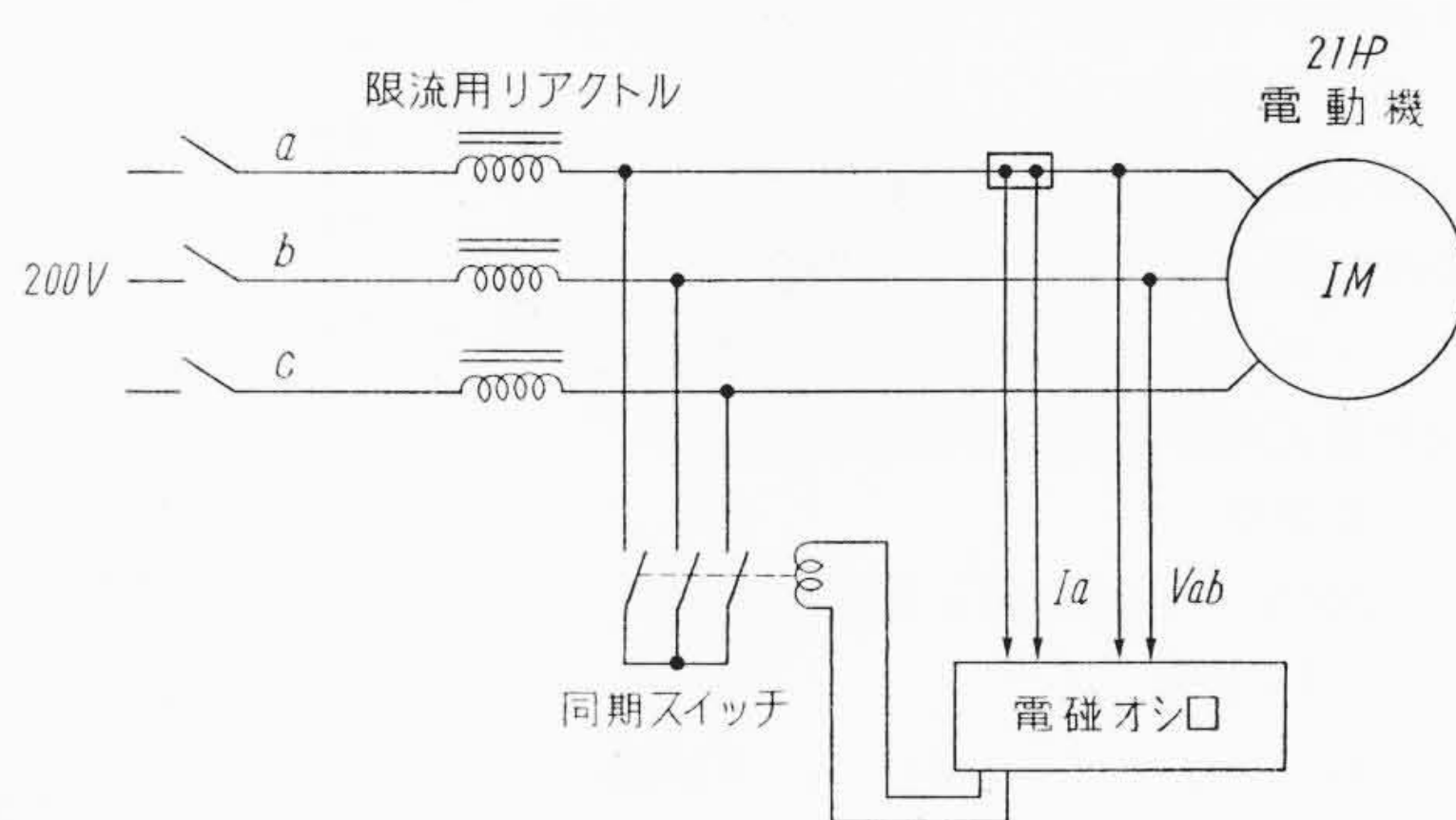
第2図 電動機定数測定結果



第3図 三相短絡電流オシログラム



第4図 短絡電流曲線



第5図 実験回路図

第1表 21 HP 特殊かご形電動機定数測定結果

すべり S	測定法	過渡インピーダンス (P.U.)	備考
1	50 $\sim$ 拘束試験	$0.068+j0.165$	定格電流における値
	50 $\sim$ 拘束試験	$0.068+j0.114$	定格電圧における値 (1)
0	低周波拘束試験	$0.057+j0.199$	JIS-C-4207による (2)
	低周波拘束試験	$0.056+j0.113$	10.8 $\sim$ における実測値に飽和の影響を考慮 (3)*

注: (1)~(3) は第2表の番号に対応する

* 飽和の影響は次のように考える

10.8 $\sim$ の実測値 $\times$ 50 $\sim$ の拘束リアクタンス(定格電圧における値)50 $\sim$ の拘束リアクタンス(10.8 $\sim$ の試験の際と等しい通電電流における値)

第2表 220V 21HP 特殊かご形電動機の三相短絡電流検討結果一覧表

試験電圧 201V $f=50\sim$

オシロ番号	短絡位相角 θ (度)	時 間		短 絡 電 流 (P.U.実効値基準)										
				実測値	設 計 値		拘束試験値飽和考慮(1)		低周波拘束試験値					
									飽 和 無 視(2)		飽 和 考 慮(3)			
		(度)	(rad)		精	簡	精	簡	精	簡	精	簡		
11	17	154	2.69	-7.73	-7.00 (91)	-6.95 (90)	-7.75 (100)	-6.98 (90)	-6.13 (79)	-6.08 (79)	-8.66 (112)	-8.10 (105)		
		404	7.05	0		-0.93		-0.47		-0.80		-0.66		
		483	8.42	0.31	-2.52(-813)	-2.71(-873)	-0.41 (-133)	-1.12 (-361)	-2.18 (704)	-2.37(-764)	-1.15(-371)	-1.74(-561)		
12	161	188	3.28	6.10	6.64 (109)	6.35 (104)	6.94 (114)	5.81 (95)	6.30 (103)	5.54 (91)	6.55 (107)	6.95 (114)		
		520	9.07	0.27		2.69 (1015)		1.03 (389)		2.10 (792)		1.49 (561)		
		733	12.8	1.05	0.12 (11)	-0.04 (-4)	0.09 (8)	-0.01 (-1)	0.07 (7)	-0.04 (-4)	0.19 (18)	-0.01 (-1)		
13	10	153	2.67	-7.00	-7.40 (106)	-6.96 (100)	-7.83 (112)	-7.01 (100)	-6.15 (88)	-6.10 (87)	-8.68 (124)	-8.12 (116)		
		484	8.46	0		-2.55		-1.08		-2.31		-1.68		
		688	12.0	-0.97	-0.07 (8)	-0.06 (6)	-0.06 (6)	-0.01 (2)	-0.10 (11)	-0.04 (5)	-0.09 (9)	-0.03 (3)		
15	213	119	2.08	7.78	6.85 (88)	6.72 (86)	8.02 (103)	7.45 (96)	5.85 (75)	5.89 (76)	8.58 (110)	8.32 (107)		
		364	6.35	0		-0.09		-0.04		-0.07		-0.07		
		424	7.41	-0.46	1.39(-302)	1.74(-382)	-0.46 (100)	0.84(-184)	1.19(-262)	1.53(-335)	0.27 (-58)	1.25(-274)		
(計算値) (実測値) $\times 100\%$ 第1波平均値				(100)	(99)	(95)	(107)	(95)	(86)	(83)	(113)	(111)		

注: (1)~(3) については第1表の備考欄参照 括弧内の値は(計算値)/(実測値)の百分率
精=準精密式(20)による計算値 簡=簡略式(22)による計算値

う。供試機の仕様は次のようなものである。

容量 2HP 200/220V 50/60 $\sim$ 6極
三相 普通かご形

電動機の定数は無負荷試験ならびに拘束試験により求める。両試験とも印加電圧による定数の変化をみるため低電圧から定格電圧まで変化せしめて測定する。

第2図は測定結果であって、自己リアクタンス x_a はほぼ一定なのに対し、漏えいリアクタンスは電圧の増加に伴って減小する。抵抗は逆に増加しているが、これは試験中の過電流による巻線の温度上昇によるものである。

第3図は定格電圧で無負荷運転中の電動機の端子で三相短絡する場合のオシログラムの一例である。本例につき短絡電流計算式(20)を用いて検討を行う。

計算条件

200V 短絡時のa相電圧位相角

$$\theta = 164^\circ$$

$$x_a = 1.68 \quad x_m = 1.59 \quad \gamma_a = 0.0785$$

$$k = 0.0465 \quad \sigma = 0.098$$

$n = 0.996$ (リアクタンス, 抵抗は単位法による)

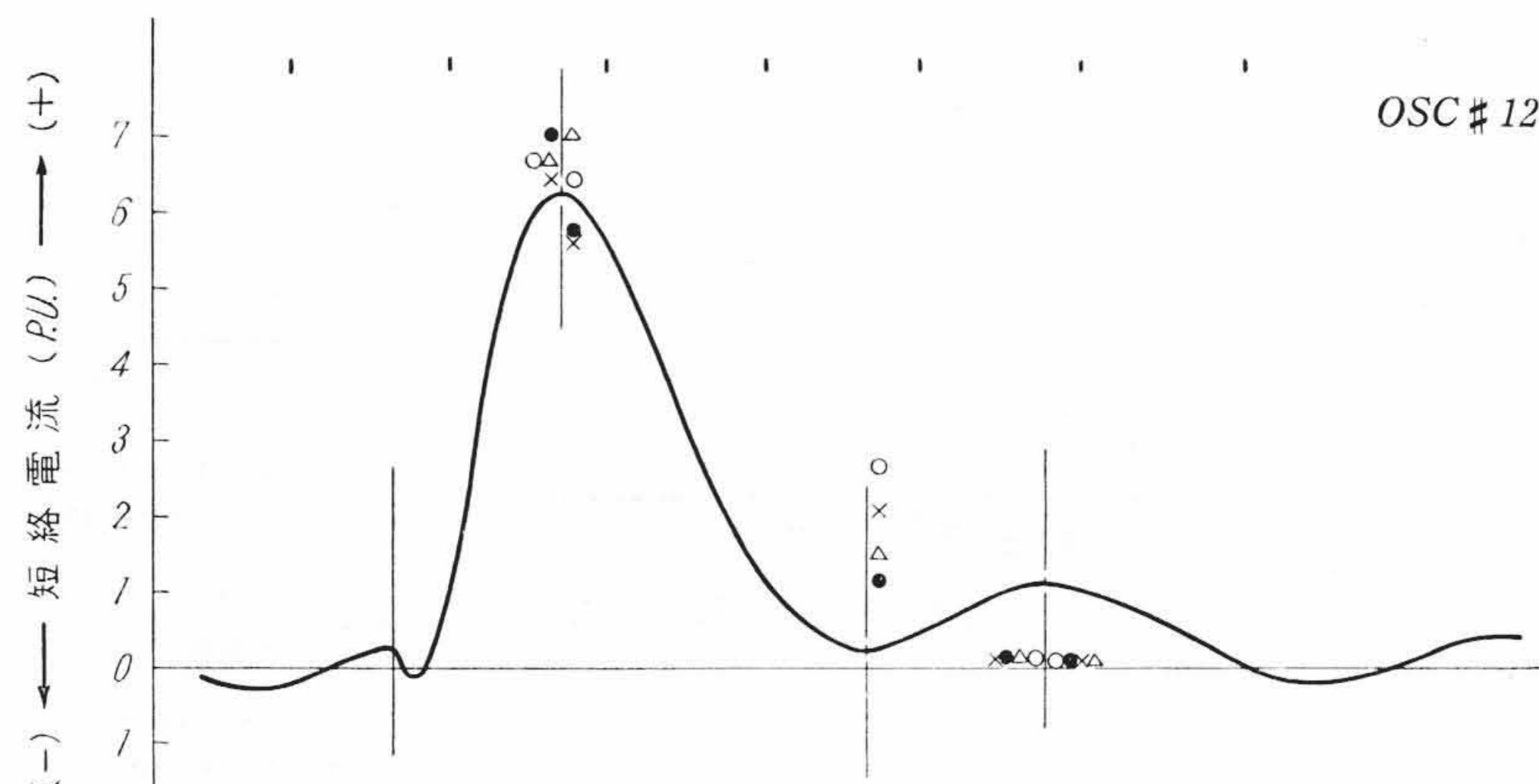
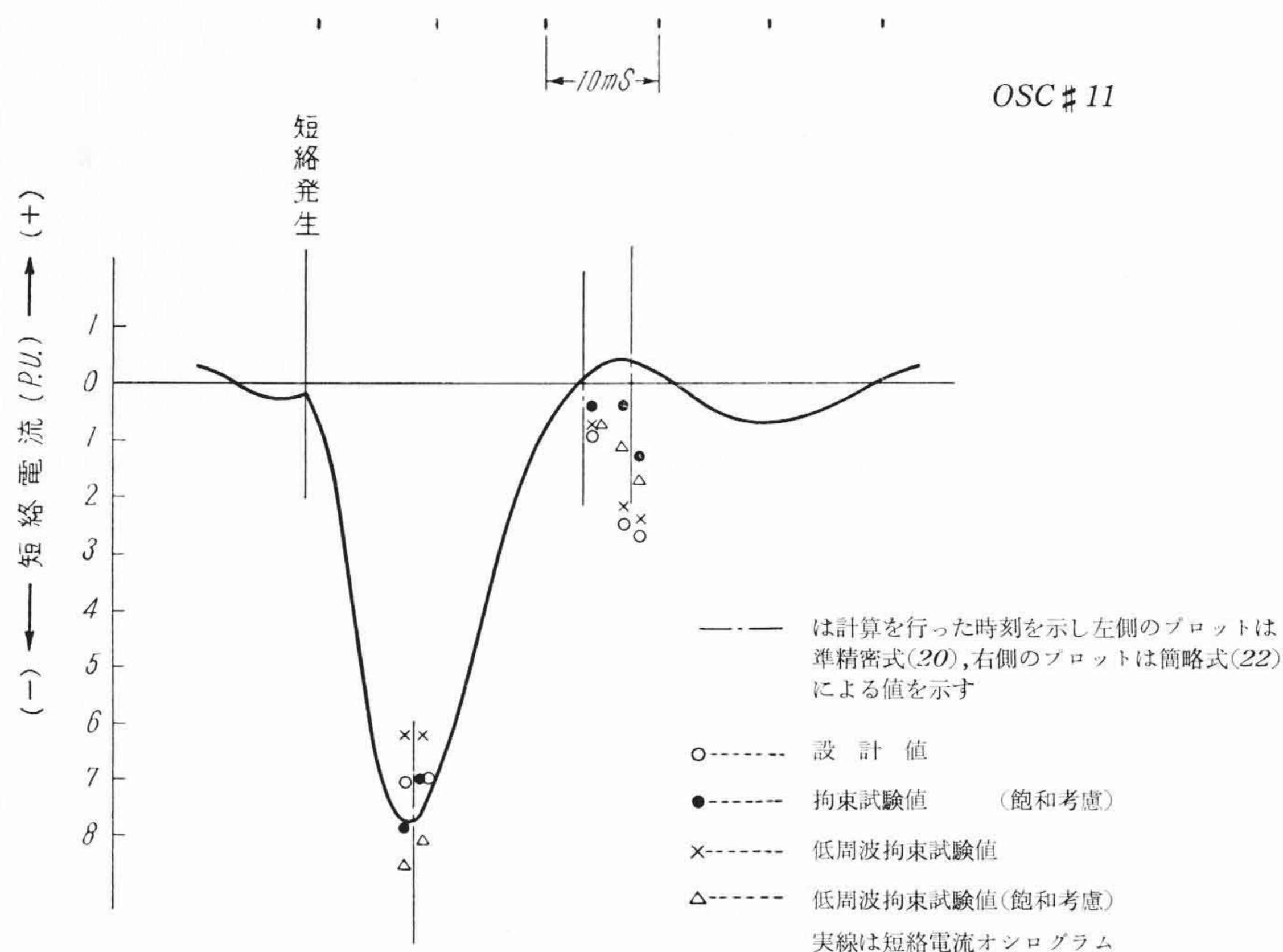
$$(11) \text{式より} \begin{cases} P_1 = -0.475 + j0.710 \\ P_2 = -0.475 + j0.286 \end{cases}$$

$$(16) \text{式より} \begin{cases} C_1 e^{j\phi_1} = 2.18 e^{j(-87^\circ 50')} \\ C_2 e^{j\phi_2} = 2.28 e^{j(92^\circ 40')} \end{cases}$$

電圧 V は 1.0 [P.U.] (実効値基準) であるから, a相短絡電流は(20)式より次のように与えられる。

$$i_a = \{2.18 \sin(0.710 \tau$$

$$-87^\circ 50' + 164^\circ) + 2.28 \sin(0.286 \tau$$



第6図(1) 短絡電流実測値と計算値の比較

$$\begin{aligned}
 & +92^\circ 40' + 164^\circ \} \times \frac{(-1.0)}{0.098 \times 1.68} e^{-\frac{0.0465}{0.098} \tau} \\
 & = \{-13.2 \sin(0.710 \tau + 76^\circ 10') - 13.9 \sin(0.286 \tau \\
 & + 256^\circ 40')\} e^{-0.474 \tau} \dots\dots\dots (23)
 \end{aligned}$$

ただし上式では計算の便宜上 $\sin$ の中の τ は(度)、括弧の外の τ は(rad)の単位を用いるものとする。

第4図は(23)式による計算結果と実測値とを示すもので両者はきわめてよく一致している。なお同図では $\gamma\alpha = 0.0720$ P. U. とする場合についても併記してある。これは $\gamma\alpha$ が元来小さな値であり測定に誤差をとめないやすいので、その点を考慮して抵抗値を小さく目にとってその影響を検討するためである。計算値と実測値とを最大値につき比較すると

$$\begin{aligned}
 \gamma\alpha = 1.2\Omega = 0.0785 \text{ P. U. : } & \frac{3.68}{3.37} \times 100\% = 109\% \\
 \gamma\alpha = 1.1\Omega = 0.0720 \text{ P. U. : } & \frac{3.92}{3.37} \times 100\% = 116\%
 \end{aligned}$$

で計算値のほうが9%だけ大きくでている。これに対し $\gamma\alpha = 0.0720$ P. U. $= 1.1\Omega$ と 0.1Ω だけ小さい値とすると16%大き目の結果となる。このように抵抗分は短絡電流の減衰に大きな影響を与えるか

ら、その測定は十分正確に行う必要がある。なお短絡後1〜以後では計算値と実測値との間に相違がみられるが、この機械の時定数 $(\sigma x\alpha) / (\omega \gamma\alpha) = 6.7 \text{ ms}$ というようにきわめて短い点を考えればこの程度の誤差は当然であろう。この機械につき定格電圧および $1/2$ 電圧で多数回短絡試験を行いその第1波につき検討したところ、計算値と実測値との相違は約10%程度で計算値のほうが大き目になる。

3.2 実験 2

前節では2HP 普通かご形機について述べたが、ここでは特殊かご形機の実験結果を記す。供試機の仕様は次のとおり。

容量 21 HP 220 V 50 $\sim$ 4極 三相

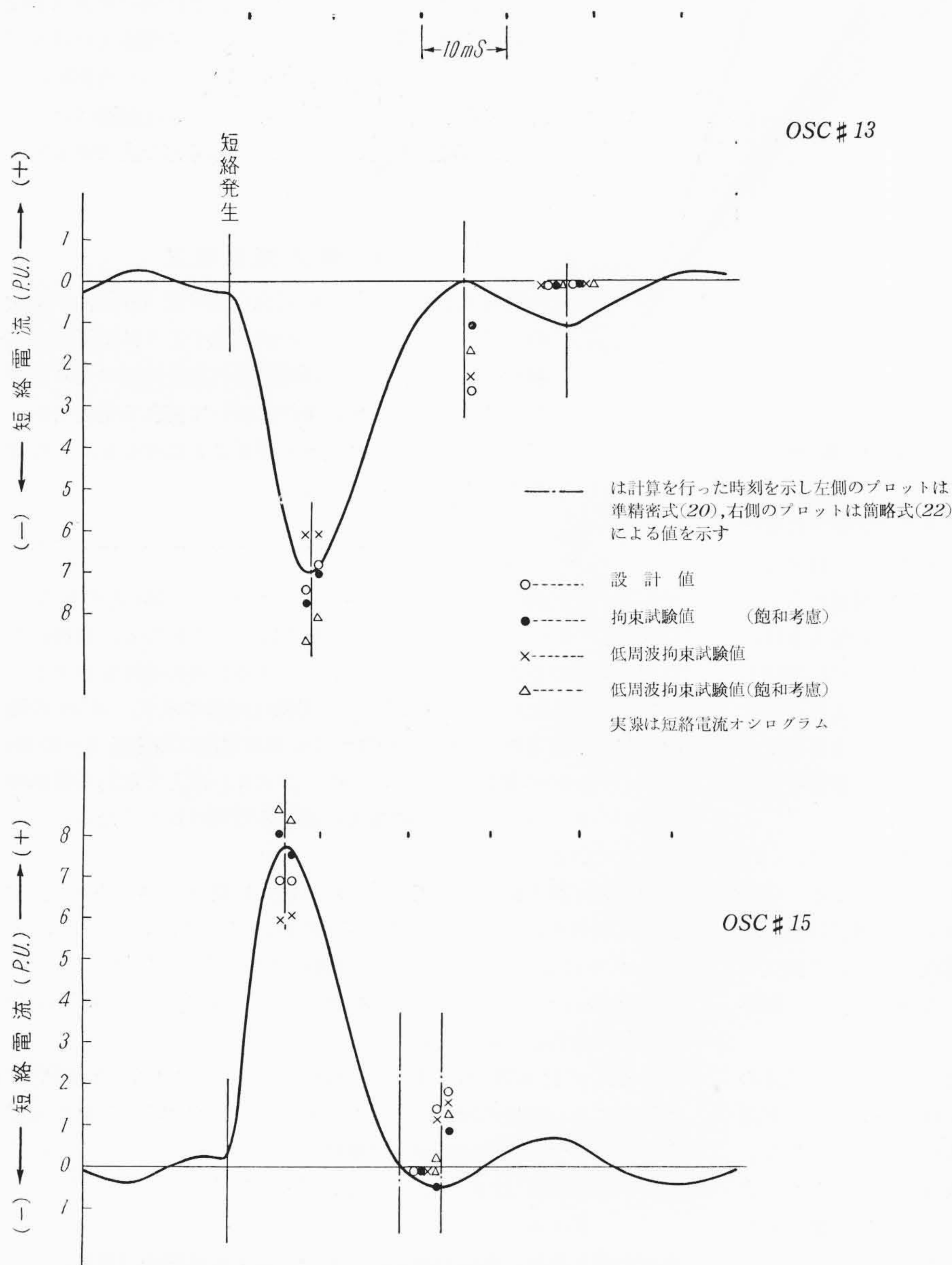
3.2.1 機械定数

第1表は機械定数測定結果をとりまとめたもので、拘束試験および低周波拘束試験により求める。短絡電流の計算に当り重要な飽和の影響をはくするため、拘束試験は低電圧から定格電圧まで印加電圧を変化して行う。このような測定は機械に非常に過酷になるので電磁オシログラフを高速回転して、ごく短時間内に行う。定格電圧におけるリアクタンスは、低電圧を印加して定格電流を流す時のリアクタンスの70%に減少しており飽和の影響はかなり大きい。なお短絡電流は運転中を対象にしているのであるから

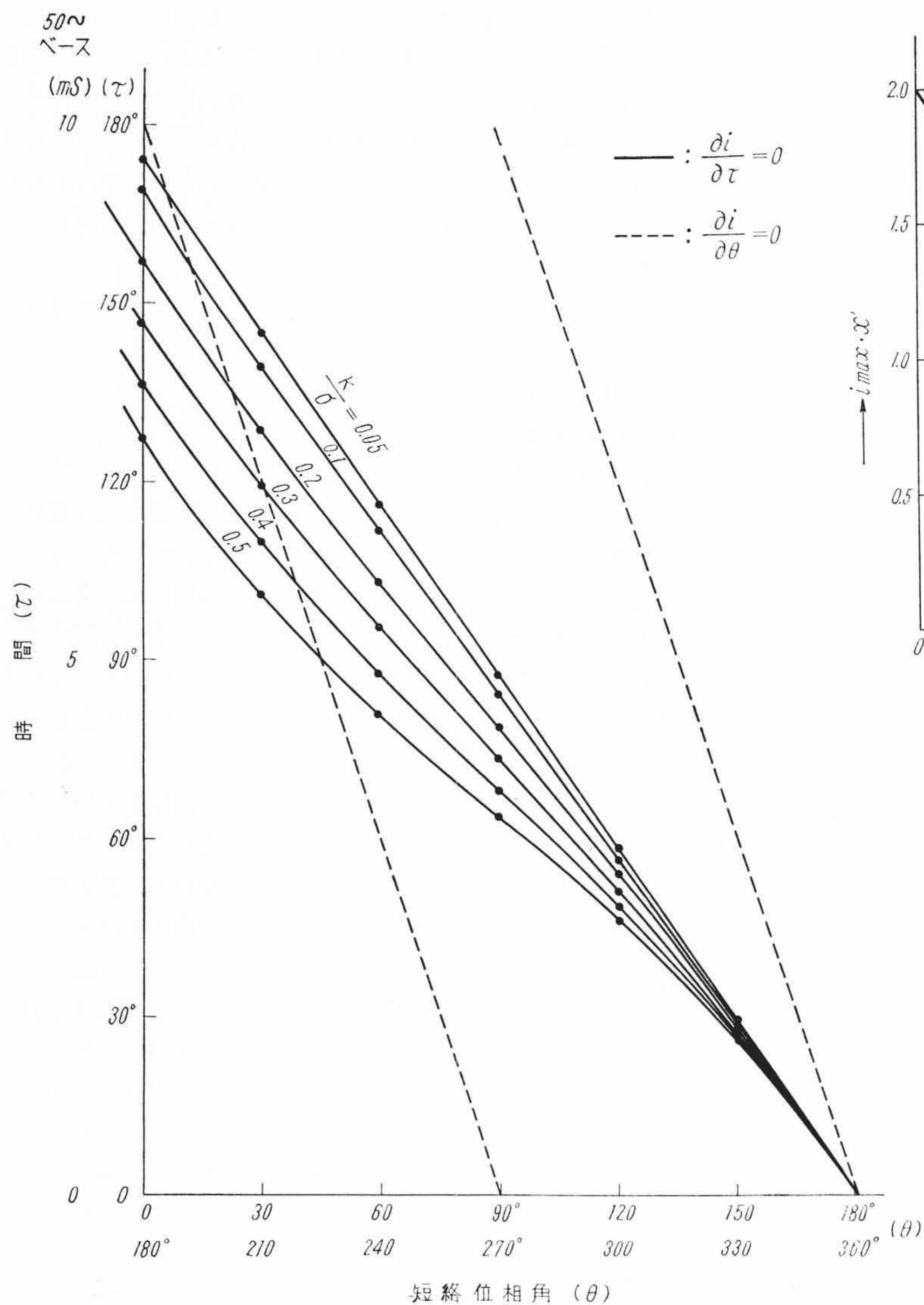
特殊かご形機では運転中の機械定数を明らかにする必要があり、この目的で低周波拘束試験を行う。第1表に示すように、定格周波数およびその $1/2$ 周波数におけるリアクタンスを測定して運転時のリアクタンスを推定するJIS-C-4207法では0.199 P. U. となるのに対し、10.8 $\sim$ における実測値は0.113 P. U. であってかなり大きな相違がある。この原因は測定時の電流したがって飽和の影響によるものと考えられる。

3.2.2 短絡試験ならびに検討

電動機の三相短絡の実験は第5図のような回路によるものとし、試験は定格電圧付近において行う。短絡電流計算にはいかなる方法で求めた機械定数を使用するのが妥当であるかを比較検討するため、前項に述べた各種方法による機械定数を用い、計算式は準精密計算式(20)および簡略計算式(22)を使用する。第6図および第2表は検討結果をとりまとめたものである。第2表によれば短絡後第1波の最大値を比較すると、計算値と実測値との相違は大体10%以内にはいるが、飽和の影響を考慮しない場合は14~17%ありかなり大きい。短絡電流の大きさからみると低周波拘束試験で、飽和を考慮しない場合がもっとも小さく出ており、以下設計値、拘束試験値、低周波拘束試験値(飽和考慮)の順に大きくなっている。これらを詳細に検討してみると、(1)設計値は非常によく合致しているが飽和の見込み方が多少少ないようである。(2)拘束試験値は本実験ではかなりよく合致しているが、特殊かご形



第6図(2) 短絡電流実測値と計算値の比較



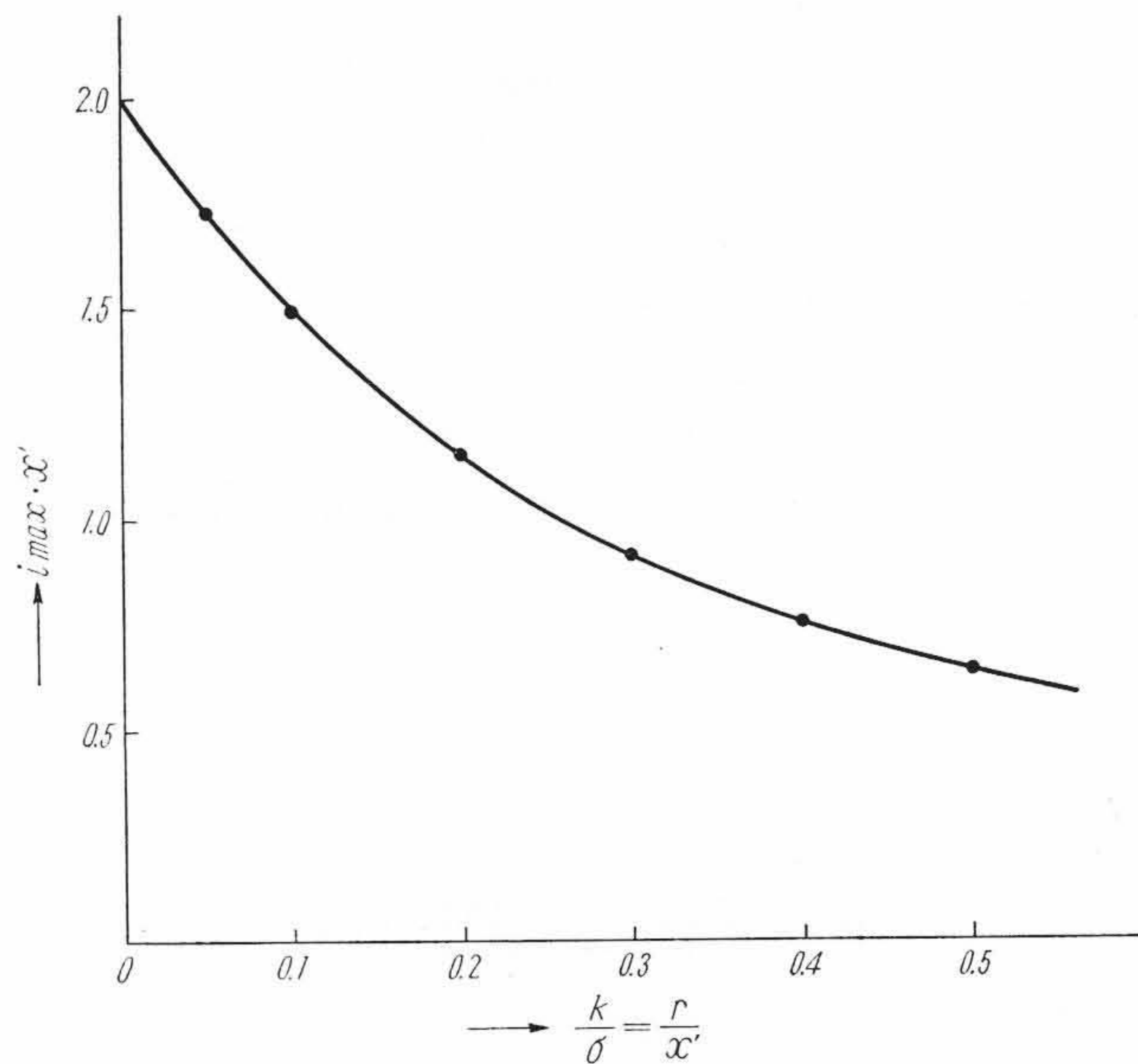
第7図 最大短絡電流発生条件

機では一般に運転時と起動時とで抵抗およびリアクタンスは変化するので、拘束試験値による計算結果が常に実測値と一致するとはいえない。(3)低周波拘束試験値(飽和考慮)は実測値のうちではもっとも現象に則した値であり、これによると約10%大き目に出てくる。この原因は飽和の影響を過大に見込んだことと、10.8msにおける値と運転時の値とが厳密には一致しないためと考えられる。(4)低周波拘束試験値(飽和無視)は前記3方法による値より誤差が大きいかつ実測値より少な目に出ており飽和の影響を無視できないことを示している。

以上の結果から短絡電流の検討に使用する定数としては、(1)設計値を用いる場合には飽和の影響を考慮する必要がある。(2)拘束試験値(飽和考慮)を使用する場合は特殊かご形機では起動時と運転時とで機械定数がことなるから設計値などを用いて補正する必要がある。(3)低周波拘束試験値を用いる場合は飽和の影響を考慮に入れる必要がある。

このように飽和の影響のはあくが重要になってくるが、前述のように定格電圧における拘束試験は実際的ではない。そこで実用的には100%—200% log-log 延長法を用いるのが妥当であろう。

第2表によれば短絡後1サイクル以降の百分率誤差はかなり大きいですが、この機械の時定数 $\tau = 6$ ms という点を考慮して第6図をみればむしろ計算式は忠実に短絡電流を表わしているといえよう。



第8図 最大短絡電流曲線

準精密式と簡略式とによる計算結果の相違は第2表によれば第1波の最大値において簡略式のほうが平均して5%少な目に出ている。しかし実測値に対する誤差は両計算式でそれほど大きな相違はないので、簡略式を用いるほうが計算労力の点で実用的であろう。

4. 最大短絡電流

誘導電動機の三相短絡電流の最大値(非対称分を含む)は(20)式、または(22)式に示すように短絡発生位相角により変化する。開閉器具の容量決定に当り必要なのはもっとも過酷な条件において流れる電流であって、これを最大短絡電流と呼ぶことにすると、この電流をうるための必要条件は

$$\frac{\partial i_a}{\partial \tau} = \frac{\partial i_a}{\partial \theta} = 0 \quad \dots\dots\dots (24)$$

である。 i_a に関しては(22)式を用いることとし、(24)式の結果を (k/σ) をパラメータにとって示すと第7図のようになる。同図において曲線群の交点が最大短絡電流を発生するための条件を示すことはいうまでもない。1kW以上の電動機は同図に示す。 (k/σ) の範囲に包含されるので、通常電動機の最大短絡電流は短絡後5~10ms(50msの場合)の範囲で発生し、 (k/σ) が大きいほどすなわち電動機容量が小さいほど、最大短絡電流に達する時間は短くなることが示されている。

第8図は第7図によって与えられる最大短絡電流の条件をみたす短絡位相角 θ および短絡後の時間 τ において、定格電圧における $i_{\max} \cdot x'$ を計算したものである。同図により $(k/\sigma) = (r/x')$ が与えられれば $i_{\max} \cdot x'$ が求まり、これを x' で除して最大短絡電流 $i_{\max}$ をきわめて容易に求めることができる。

一般に x' は0.15~0.25 P. U.の範囲にあり、 r は0.01~0.05 P. U.の範囲にあり容量の増加にともない抵抗分は減少する。したがって非対称分を含む最大短絡電流は概略

10 kW 以下.....5~7 P. U.

10 kW 以上.....7~8 P. U.

程度の値となり、容量の増加にともない最大短絡電流(単位法による)は若干増加の傾向にあるものと考えられる。

5. 結 言

誘導電動機の三相短絡電流計算式を導き計算しやすい形に整理した。この計算式では鉄損を無視しており計算値は多少大き目に出るが、実測値との相違は約10%以下で十分実用に供しうる。計算式としては準精密式と簡略式とを示してあり、両者の相違は数%（計算例では平均5%）で概略値を知りたい場合には簡略計算式はきわめて有効である。

短絡電流に対する保護器具の遮断容量決定に必要な最大短絡電流の発生条件を求めた。これを用いれば機械定数が与えられれば、き

わめて簡単に最大短絡電流を決定することができる。

終りに、終始ご激励を賜った日立製作所日立研究所今尾部長、高林主任研究員ならびに日立工場山本部長に衷心より謝意を表する。また種々ご検討を賜った日立製作所日立工場平岩主任、亀戸工場設計課のかたがた、実験および資料整理に当られた当研究室の野原、竹田両君に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) W. V. Lyon: Transient Analysis of A. C. Machinery
- (2) 日高: 船内短絡電流専門委員会資料 No. 31



新 案 の 紹 介



登録実用新案第507459号

若 森 俊 郎・神 尾 昌 史

シ ー プ

構 造

シープ本体1の中央外周にはロープ2の案内溝となるべき溝1aを形成し、両端外周には円筒部1b, 1b'を形成する。

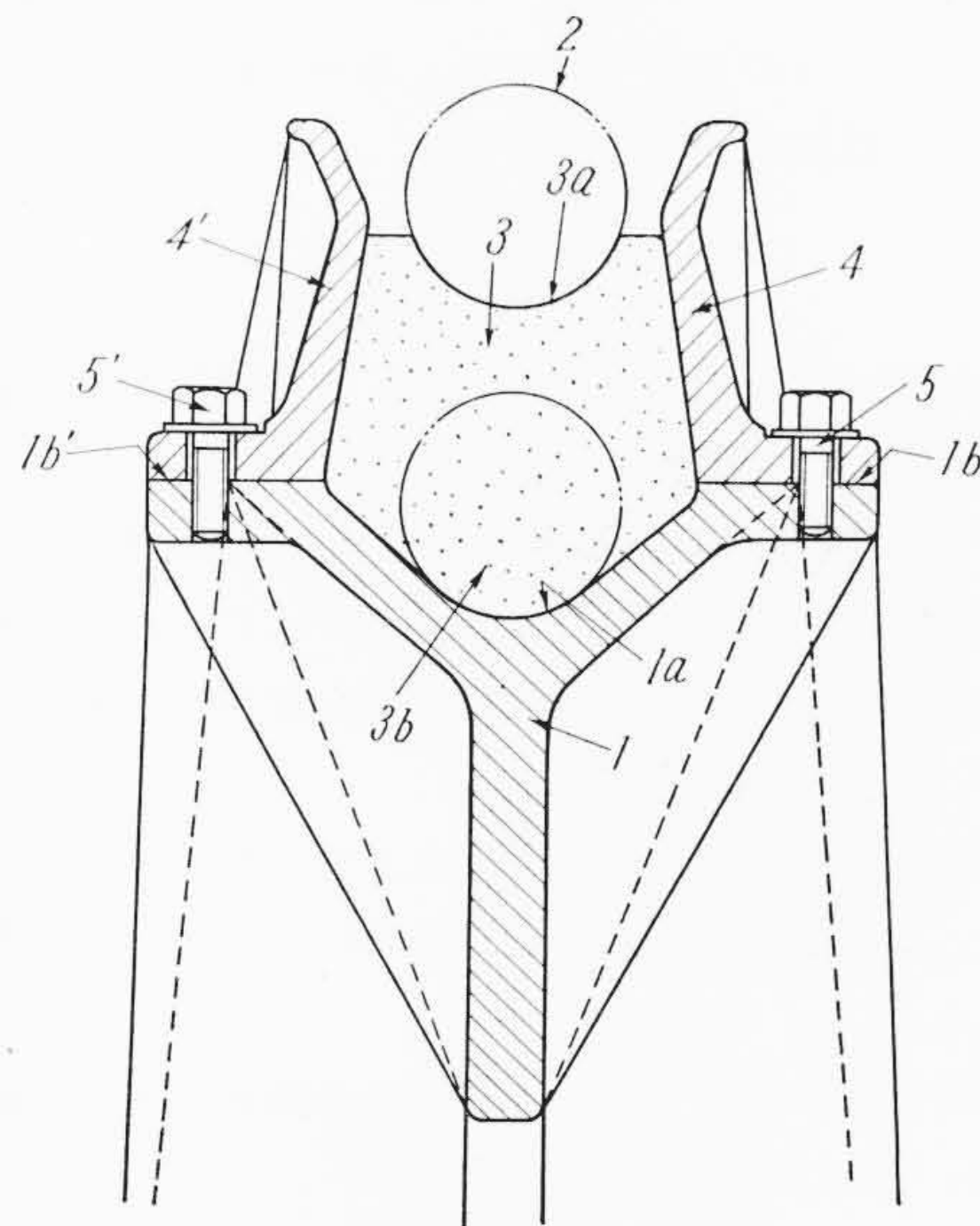
内側に溝1aに一致した突起部3bを形成し外側にロープ2の案内溝3aを形成したゴムブロック3をおさえ片4, 4'により挟持し、そのおさえ片をボルト5, 5'により円筒部1b, 1b'に固定する。

効 果

従来のシープではゴムブロックとシープ本体とは円筒面で接触しているため、ゴムブロックが完全に損耗した場合はロープが不安定となりシープの役目を果さなくなる。したがってゴムブロックのとりかえ時期がきていることがわかっていても、いろいろな都合によりすぐとりかえられないときはこまる結果となる。

この考案のシープでは、ゴムブロックが完全に損耗しても、シープ本体の溝1aがロープ2の案内溝となるのですこしも支障をきたすことがなく、またボルト5, 5'のとりはずし、とりつけにより容易にゴムブロックをとりかえることができるばかりでなく、ゴムの内力分布にも無理がなくゴムブロックの寿命もながくなる。

(富 田)



本誌第43巻 第10号(先号)に誤りがありましたので、つつしんで訂正いたします。

お わ び

第1頁 論文題名、英文 Irom (誤), Iron (正)

” 内容梗概, 1,170 t (誤), 1,170 φ (正)

” 第2項(2)右段1行目, 1,500 万 (誤), 150 万 (正)

” 第1表, ロール寸法4行目, 1,140 φ (誤), 1,170 φ (正)

第2頁 第2表, 仕様の欄の5行目, 1,150 φ (誤), 1,170 φ (正)