

力 率 の 自 動 制 御

小林 栄二* 櫻井 泰男** 藤木 勝美**

Automatic Control of Power Factor

By Eiji Kobayashi, Yasuo Sakurai and Katsumi Fujiki

Hitachi Research Laboratory and Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Automatic power factor control system of synchronous machines by means of relays has long been in use. However, this relay system has some incidental shortcomings such as the defacement of contactor, breakdowns inherent to its function on the vibrating machine, a long lag in controlling time, etc. For this reason, the trend is recently towards the adoption of continuous control system which utilizes rotating amplifier or magnetic amplifier.

The writers, in an effort of developing this new system, devised an iron core type continuous power factor detector, and, by its combined use with rotating amplifier or with magnetic amplifier, established the automatic power factor control system for synchronous motors and the line power factor control system using the synchronous condenser.

In this article, the studies of the detector are disclosed by way of the analysis and the practical application to synchronous motors for driving Ward-Leonard system controlled winding machines and to the power factor control of distribution line through the use of small-sized synchronous condenser.

[I] 緒 言

同期電動機の力率を希望値に自動制御したり、或いは同期調相機の力率を自動的に変化し線路力率を希望値に保つて有効適切な運転を行うことは既に行われているがその制御方式は継電器による不連続（断続）制御方式が多く用いられている⁽¹⁾。この方式は継電器接点の磨耗、機械的振動による破損、制御の遅れの長大等の欠点がある。最近各種制御には継電器による方式に対し回転機型増幅機或いは磁気増幅器による連続制御方式が採用される傾向にある。

筆者等は同期機の力率制御を連続的に行うために鉄心による特殊な力率変化検出装置を考案し、これと回転機型増幅機或いは磁気増幅器と組合せることにより同期電動機の負荷変動に伴なう力率変動を一定値に保ち過渡負

荷に対する脱出回転力の増大と電力使用の合理化を計り次に送配電線の負荷力率変動に伴なう力率変動をこれに並列接続された同期調相機の力率を変化することにより一定値に自動制御することを行つたので、その概要の報告を行う。

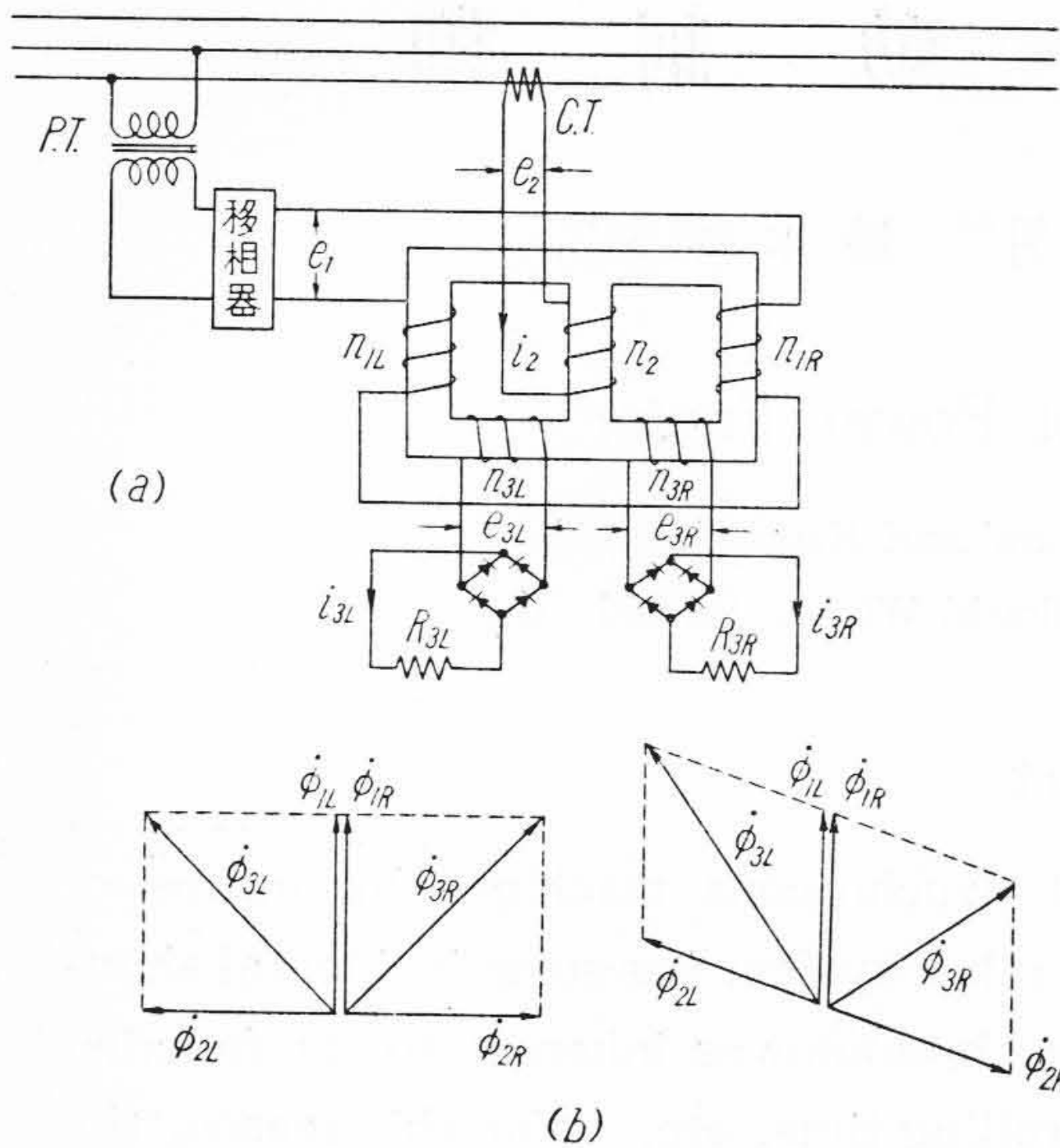
[II] 鉄心型力率変化検出装置

(1) 原 理

第1図 (a) はその接続を、(b) は原理を示す。変圧器よりの電圧要素は移相器を通じて n_{1L} n_{1R} に、変流器よりの電流要素は n_2 にそれぞれ図示の極性で印加されている。 n_{3L} n_{3R} はそれぞれ出力線輪で整流器を通じて負荷抵抗器 R_{3L} R_{3R} に接続されている。線路力率が所定値の時に電圧、電流線輪に加わる電圧と電流の位相差が 90° になる如く移相器を調整する。その時電圧線輪により生ずる磁束をそれぞれ ϕ_{1L} ϕ_{1R} 、電流線輪により生ずる磁束をそれぞれ ϕ_{2L} ϕ_{2R} とし両出力線輪を貫くそれら

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所日立工場



第 1 図 検出装置の接続及び原理図
Fig. 1. Connection and Principle Diagram of Detector

の合成磁束をそれぞれ ϕ_{3L} ϕ_{3R} とすると線路力率が変化すれば $\phi_{3L} \geq \phi_{3R}$ となり n_{3L} n_{3R} に生ずる電圧は力率変化により相異を生ず。この出力直流電圧を回転機増幅機或いは磁気増幅器の二つの差動界磁又は励磁線輪に与え（磁束差動型）、或いは両電圧を一度び差電圧（電圧差動型）にした後に一つの界磁又は線輪に与えて増幅し、その出力にて同期機の界磁を制御して力率の自動制御を可能ならしめるものである⁽²⁾。

(2) 検出装置の解析

(A) 検出感度

所定力率のとき n_{3L} n_{3R} を貫く磁束を ϕ_{3u} ($\phi_{3L} = \phi_{3R}$) 電圧電流線輪により与えられる磁束をそれぞれ ϕ_1 ($\phi_{1L} = \phi_{1R}$)、 ϕ_2 とせば、位相角変化 α° に対し ϕ_3 の変化が最大になる ϕ_1 と ϕ_2 の関係を求めると、

$$\phi_{3u} = \sqrt{\phi_1^2 + \phi_2^2} = K \dots \dots \dots (1)$$

$$\phi_{3\alpha} = \sqrt{\phi_1^2 + \phi_2^2 \pm 2\phi_1\phi_2 \sin\alpha} \dots \dots \dots (2)$$

$\phi_2 = x\phi_1$ とおけば

(1), (2) より

$$\phi_{3\alpha} \sim \phi_{3u} = \sqrt{\phi_1^2(1+x^2 \pm 2x \sin\alpha)} \sim K \dots \dots (3)$$

(1) より

$$\phi_1 = \frac{K}{\sqrt{1+x^2}}, \text{ これを (3) に代入すれば}$$

$$\phi_{3\alpha} \sim \phi_{3u} = K \left(\sqrt{1 \pm \frac{2x}{1+x^2} \sin\alpha} \sim 1 \right) \dots \dots (4)$$

これが最大なるための条件を求めると、

$$x = 1 \text{ 即ち } \phi_1 = \phi_2$$

が求まる。即ち所定力率時に電圧、電流線輪に生ずる

磁束を等しく選べば検出量は最大になる。このときの検出感度は

$$\frac{\phi_{3\alpha} - \phi_{3u}}{\phi_{3u}} = \sqrt{1 \pm \sin\alpha} \sim 1 \dots \dots \dots (5)$$

となり、両 n_3 線輪の差としては、

$$S_{\max} = \sqrt{1 + \sin\alpha} - \sqrt{1 - \sin\alpha} \dots \dots \dots (6)$$

が得られる。又一般に $\phi_1 \neq \phi_2$ の場合は

$$S = \sqrt{1 + \frac{2x}{1+x^2} \sin\alpha} - \sqrt{1 - \frac{2x}{1+x^2} \sin\alpha} \dots \dots (7)$$

となる。

(B) 線輪巻数の決定

検出感度を最大にするため $\phi_1 = \phi_2 = \phi$ とせば、所定力率のときは、

$$\phi_3 = \sqrt{2}\phi$$

$$e_1 = 4.44 f n_1 2\phi \times 10^{-8} \dots \dots \dots (8)$$

$$e_2 = 4.44 f n_2 2\phi \times 10^{-8} \dots \dots \dots (9)$$

$$e_3 = 4.44 f n_3 \sqrt{2}\phi \times 10^{-8} \dots \dots \dots (10)$$

となる。所定力率時に両 R_3 に相等しい電流 i_{3u} が要求されるとすれば、

$$e_{3u} = R_3 i_{3u} \text{ となり (10) より}$$

$$n_3 = \frac{R_3 i_{3u}}{4.44 f \sqrt{2}\phi} \dots \dots \dots (11)$$

となり ϕ に適当な一定値を与えると n_3 が求まる。次に (9) より

$$\frac{e_2}{n_2} = 4.44 f 2\phi \times 10^{-8} \dots \dots \dots (12)$$

これに一定 ϕ を与えると $\frac{e_2}{n_2}$ が決定される。ここで変流器二次側より負荷を眺めたインピーダンスを z_2 、二次電流を i_2 とすれば、

$$\frac{z_2}{n_2} = \frac{4.44 f 2\phi}{i_2} \times 10^{-8} \dots \dots \dots (13)$$

となる。負荷 R_3 出力線輪 n_3 なるとき各種 n_2 に対する z_2 を求め、これより得た $z_2 - n_2$ 曲線と (13) 式の交点より n_2 を求めることが出来る。

次に (8), (9) 式より、

$$\frac{e_1}{n_1} = \frac{e_2}{n_2} = 4.44 f 2\phi \times 10^{-8} \dots \dots \dots (14)$$

が得られこれに e_1 を与えると n_1 が求まり、逆に n_1 を与えると e_1 が求まる。このようにして n_1 n_2 n_3 が求まる。ここでは磁束差動型のものについて述べたが電圧差動型のものについても求めることが出来るが省略する。

【Ⅲ】同期電動機の力率制御³⁾

ミル、巻上機等時間的に甚しく変動する負荷に使用される同期電動機の力率を自動制御して、負荷の大きさ如何にかかわらず力率を 100% に保つようには電動

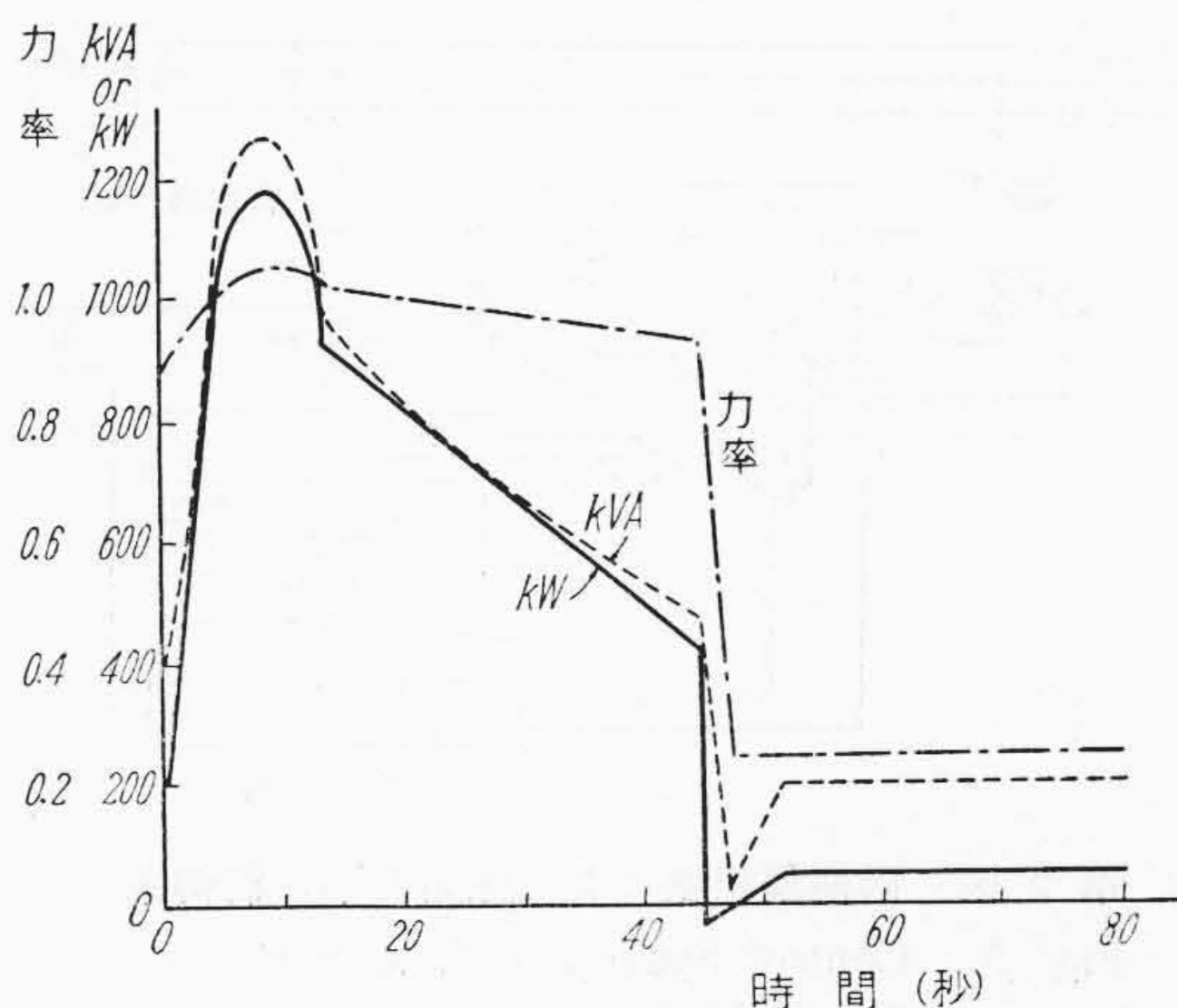
機の大きさを軽減するのに役立つ。その理由は、元来かくの如き間歇負荷に対しては、負荷一週期の自乗平均 kVA を定格 kVA として定格出力を決定するため、或る kW に於いて力率が 100% になるように励磁電流を固定しておく、その点以上は遅れ力率、以下は進み力率となつてともに大部分力率の悪い点で運転されることになり機械の寸法が大きくなる。所が力率制御を行えばこの弊は除かれる。即ち経済設計に於いては定格 kW で力率 100% の励磁を与えた場合は、脱出回転力は 150% 程度であるが、巻上機等では 200~250% が要求される。ために短絡比の大きい機械とするか、予め過励磁するかにはしなければならない、いずれにしても機械寸法が大になる。然るに負荷に応じて励磁を制御すると負荷の増加につれて自動的に脱出回転力も大きくなるため、機械としては経済設計の大ききで十分であることになり、この点に於いても経済的である。

第 2 図は巻上機用同期電動機負荷の一例で、負荷及びそれにとまう力率、入力 kVA の変化を示す。励磁は定格出力に於いて力率 100% の場合である。この負荷一週期に於ける自乗平均 kW は 590 kW であるが kVA は 670kVA となり kW は kVA の 88% となる。このような場合に無負荷に近い状態まで完全に力率制御するとせば約 90% の機械で済むことになる。換言すれば通常の方法では平均力率約 90% で運転していることになり、力率制御を行つて始めて同期機の特長を發揮出来ることになる。この場合励磁電流も変動するので回転子側の容量も自乗平均で計算すると約 90% となる。前述の脱出回転力を附与するために通常の方法では経済設計より 15% 許り余裕をとらねばならぬので両方考慮すればこの例のように休止時間の比較的大きい負荷に対しては電氣的部分を 20% 位小さく設計し得ることになる。

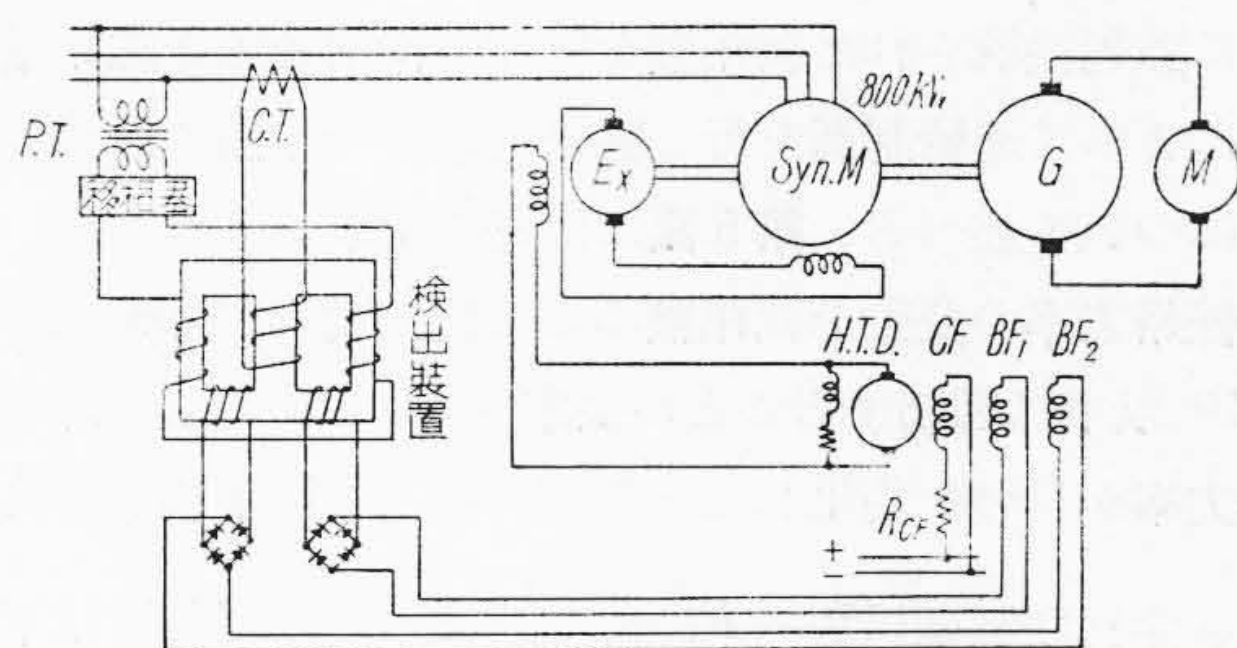
ここで問題になるのは、無負荷状態で励磁が自動的に極小の値におかれているときに、次に負荷が急激にかかった際の脱調の危険性についてである。これに対して考えられる対策は、(1) 回転増幅器の速応性にまつこと、(2) 一定負荷以下に於いて制御の精度をおとすか或いは制御の範囲外とすること等が考えられるが、実際では同期機の瞬間脱出回転力は定常脱出回転力より著しく大きく、その間に回転増幅器が追従制御するので脱調のおそれはない。

次にワードレオナード式巻上機用発電機駆動同期電動機の力率自動制御に既述検出装置と回転型増幅器 (H.T.D) とを用いた例を示す。第 3 図は回路を示す。

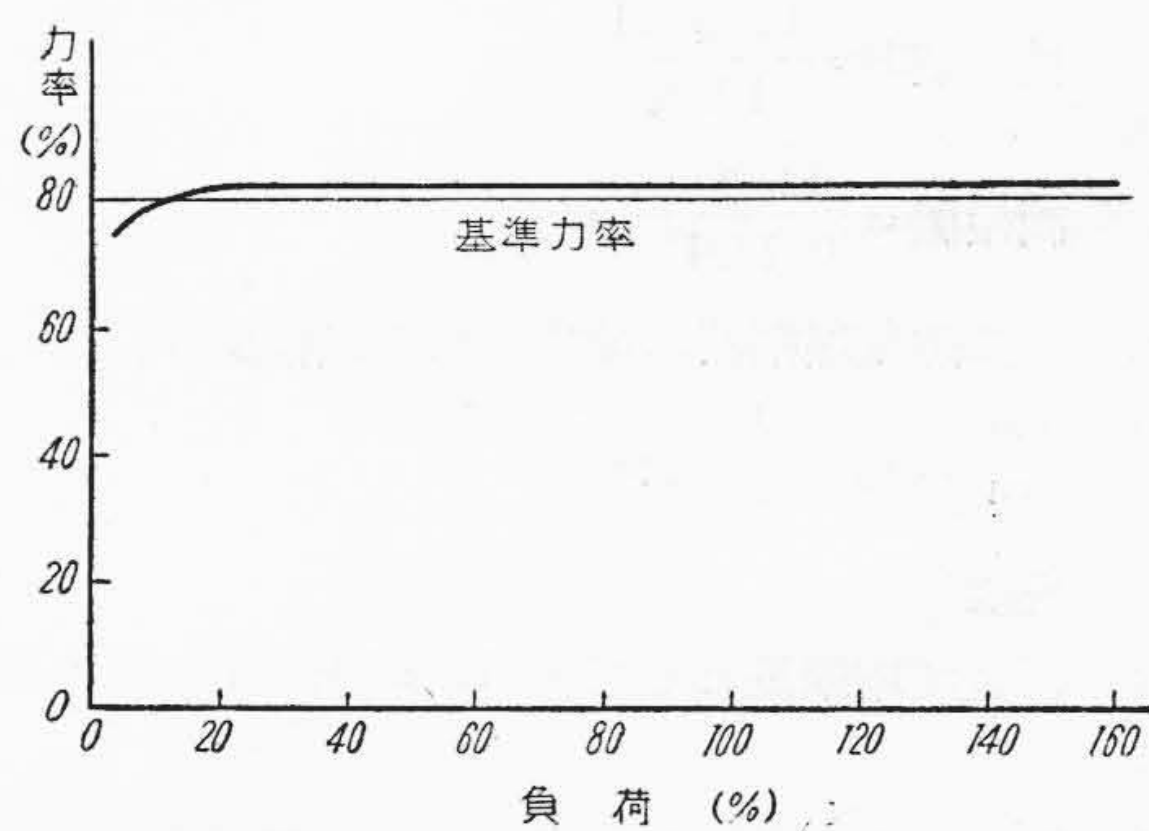
電動機仕様	出力	800 kW
	電 圧	3,300 V
	極 数	8 回転数 900 r. p. m.



第 2 図 負荷週期に於ける力率変化曲線
Fig. 2. Variation of Power Factor in a Duty Cycle

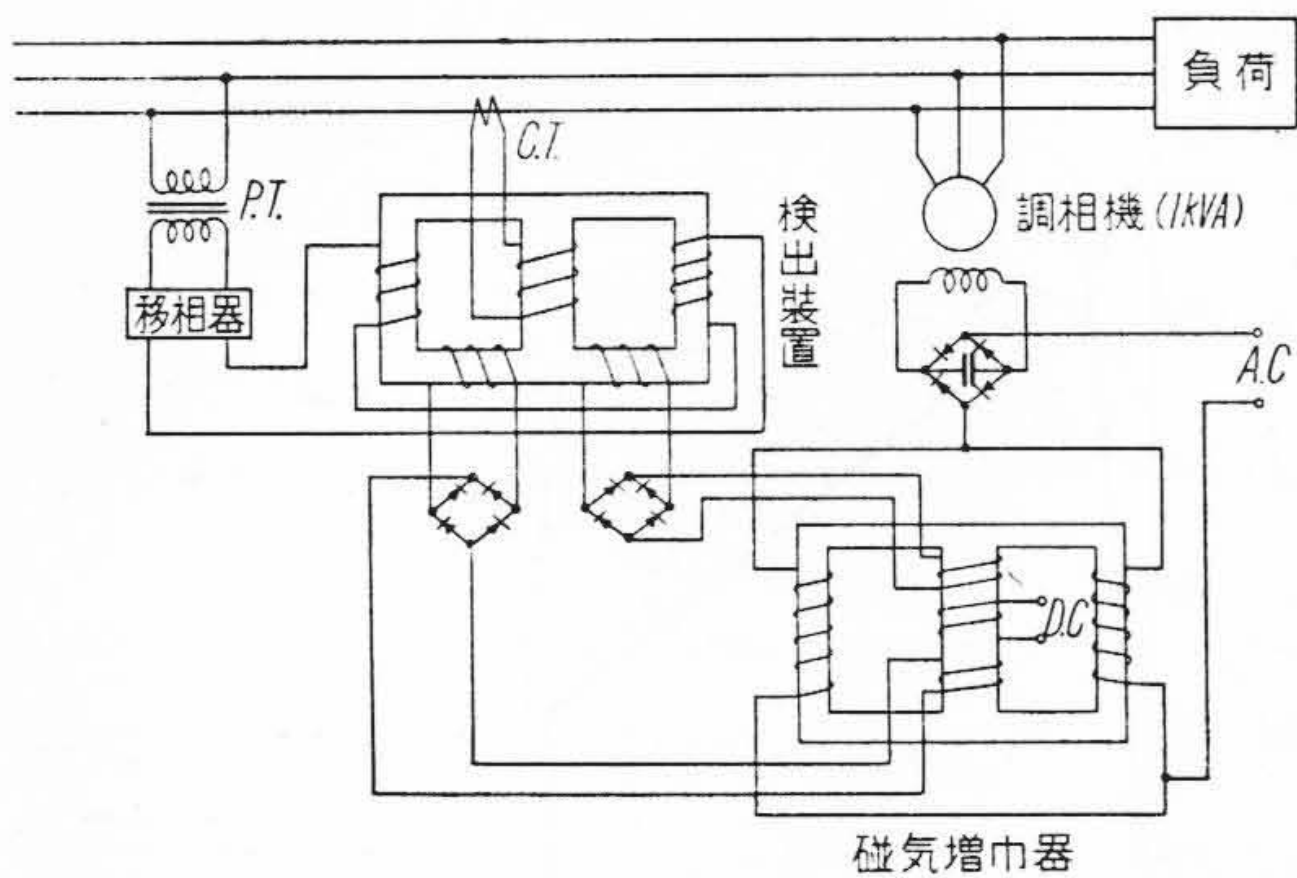


第 3 図 同期電動機の力率制御系
Fig. 3. P.F. Control System of Synchronous Motor



第 4 図 800 kW 同期電動機の力率制御特性
Fig. 4. Characteristic Curve of Power Factor Controlling of 800kW Synchronous Motor

本機は配電線力率改善の目的を含めて力率進み 80% に制御するようになつている。基準力率は前記検出装置の移相器によつて任意に選定することが出来る。第 4 図はその静特性を示す。部分負荷から過負荷に至るまでよく力率制御が行われていることがわかる。



第 5 図 同期調相機による線路力率の制御系
Fig. 5. Control System of Line P.F. by Synchronous Condenser

[IV] 同期調相機による線路力率の自動制御

送配電線の負荷変動にともなう線路力率の変動を、それに並列接続された調相機を既述の検出装置と磁気増幅器によつて連続制御を行い線路力率を一定値に保つ実験例について述べる。第 5 図に回路を示す。

線路力率の変動を調相機による自動制御で例えば約 1/10 以下に抑制することが要求されたとする。即ち線路力率が 10% 変化したときこれを 1% 以下におさえたいとすれば制御係数 $R\left(\frac{1}{1+\text{増幅度}}\right)$ は 1/10 以下にする必要がある。したがつて全系の入力出力間の力率増幅度を 9 以上に保つことが要求される。第 5 図供試回路の各機器の増幅度 (或いは変換係数) は実測によれば、

$$\text{検出装置} = \frac{0.09(A)}{10(\%)} = \alpha_1$$

$$\text{調相機} = \frac{11(\%)}{0.1(A)} = \alpha_3$$

したがつて磁気増幅器に要求される増幅度 α_2 は

$$\frac{0.09}{10} \times \alpha_2 \times \frac{11}{0.1} \geq 9$$

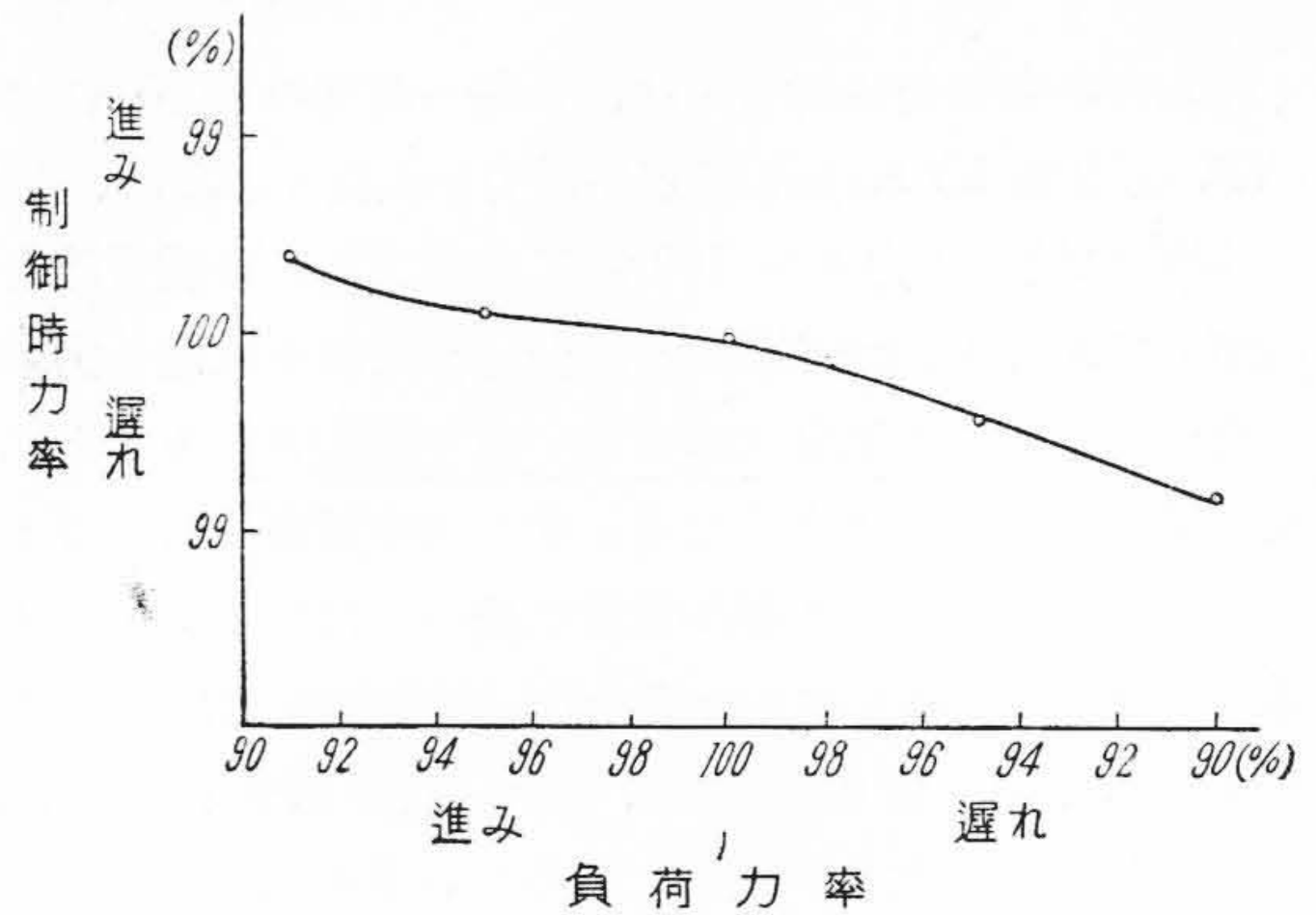
$$\therefore \alpha_2 \geq 10$$

となり、電流増幅度として約 10 以上のものを必要とする。

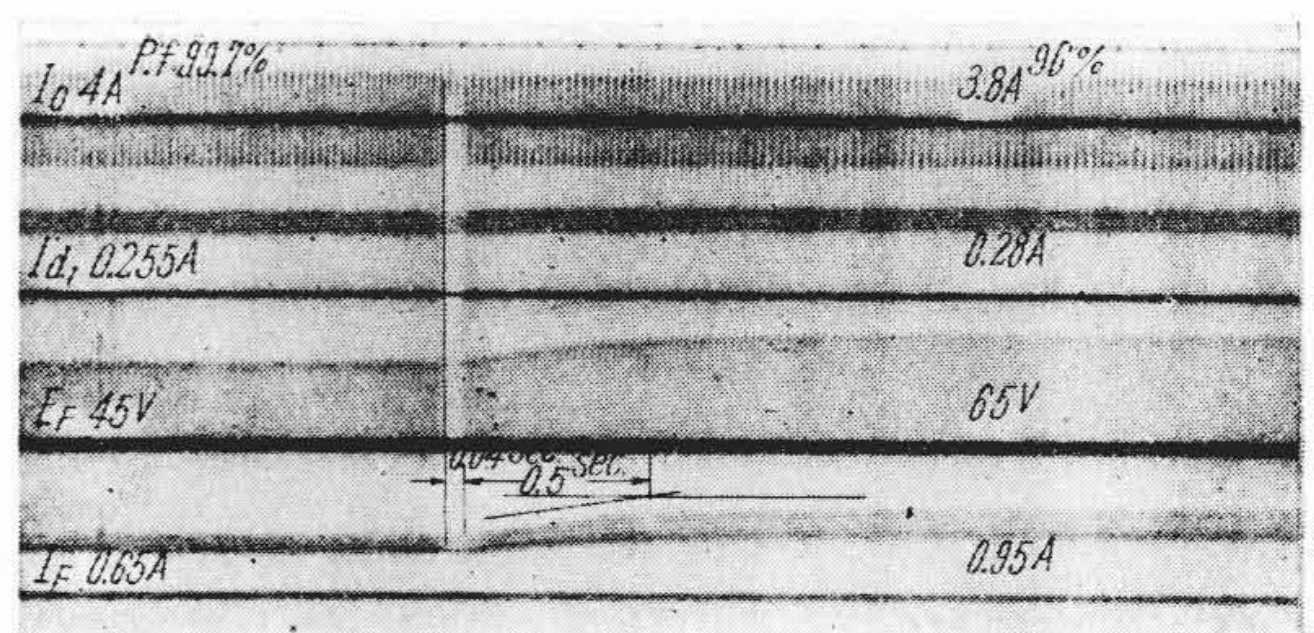
第 6 図はこのようにして構成された制御系の静特性を示し、

	遅れ		
無制御時力率	90	95	100
制御時力率	99.2	99.5	100
	進み		
無制御時力率	91	95	100
制御時力率	99.6	99.9	100

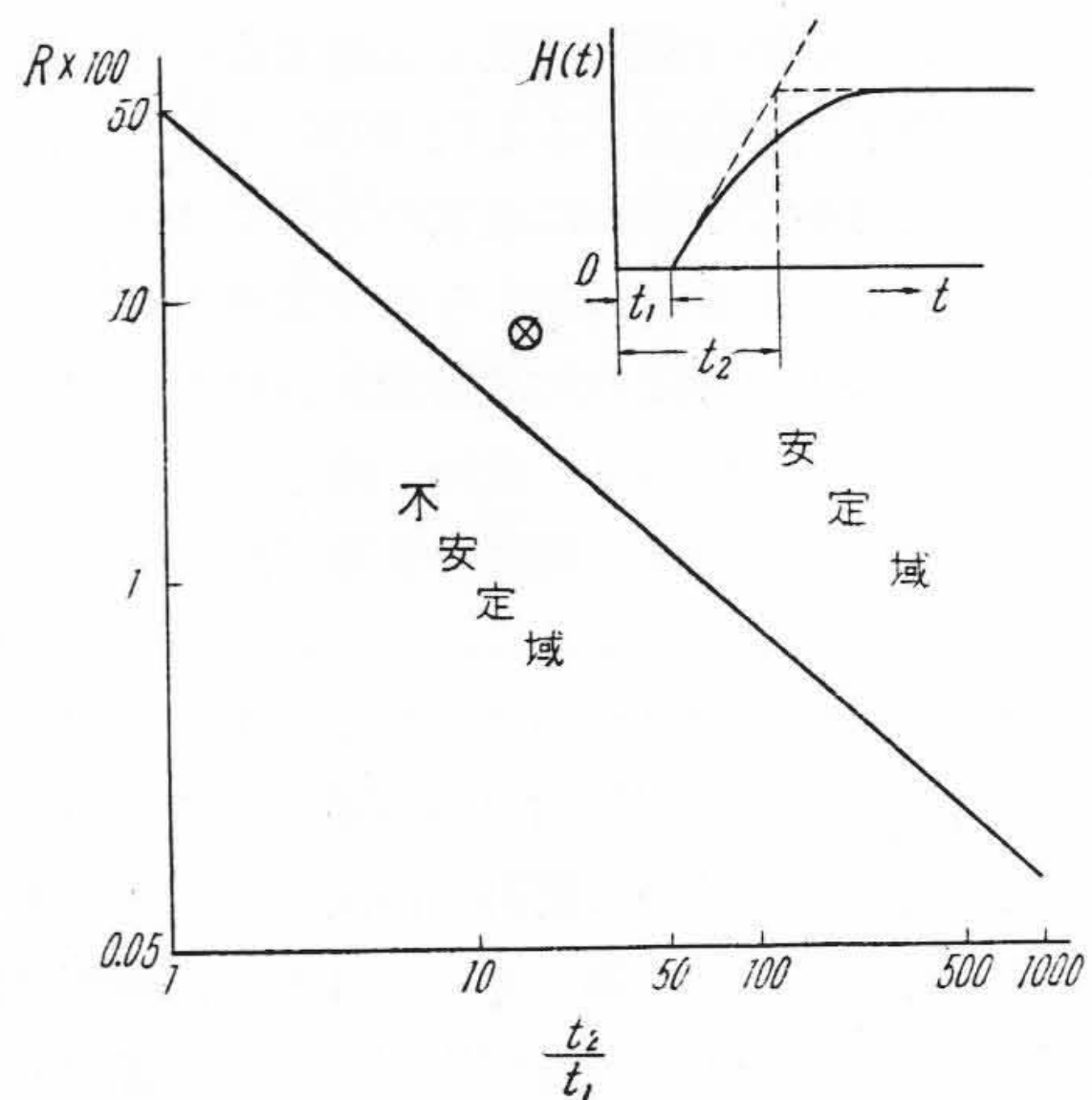
となり所期の目的が達せられている。



第 6 図 線路力率自動制御時の静特性
Fig. 6. Static Character of Line P.F. Control

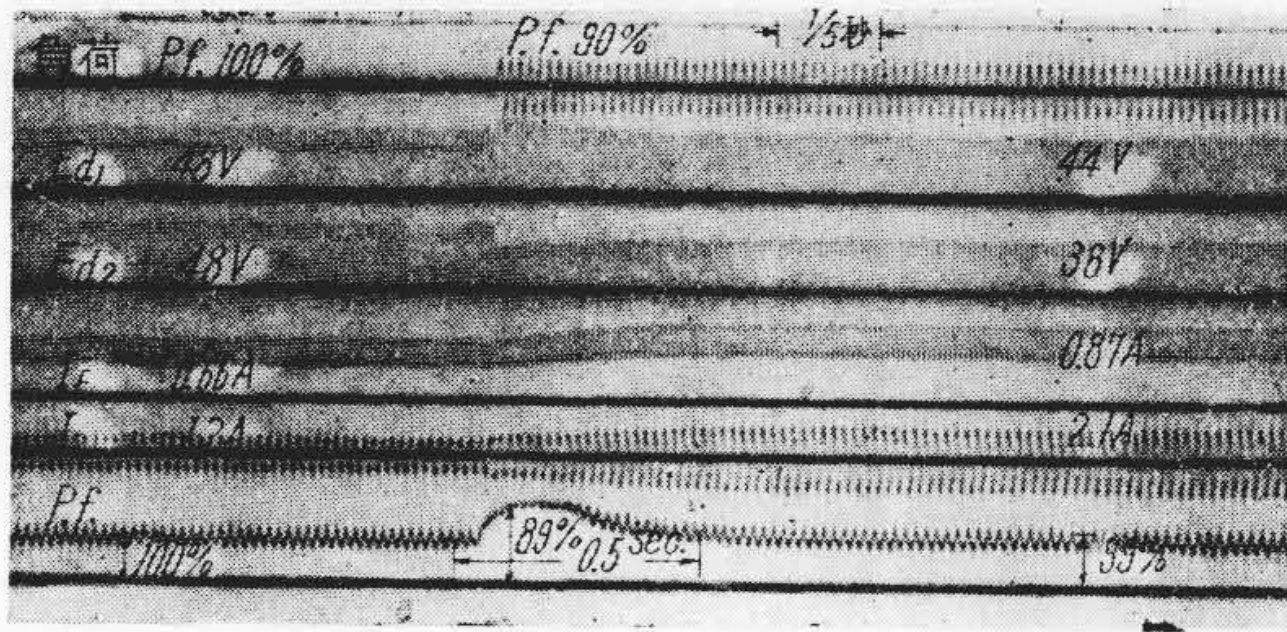


第 7 図 通過函数波形
Fig. 7. Wave Form of Transfer Function



第 8 図 Küpfmüller 氏の自動制御安定度判別図
Fig. 8. Küpfmüller's Discrimination Diagram of Stability in Automatic Control System

次に動特性の検討を行う。第 7 図オシログラムは検出器の入力が単位函数的に変化した場合の調相機界磁電流 I_F までの変化を示す。即ち通過函数波形は約 0.04 秒の死時間 (t_1) 後 0.5 秒の時定数 (T) をもつた波形を



第 9 図 線路力率自動制御時の動特性
Fig. 9. Dynamic Character of Line P. F. Control

示している。したがって、

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{t_1 + T}{t_1} = \frac{0.04 + 0.5}{0.04} = 13.5$$

となる。又一方第 6 図静特性の遅れの部分の制御係数 R は $1/12 \sim 1/10$ を示しているなのでその平均の $1/11$ をと

ると、 $R \times 100 = \frac{1}{11} \times 100 \approx 9$ が求まる。

この両値を第 8 図に示す Küpfmüller 氏の安定度判別図面⁽⁴⁾上に求めると安定域に存在するであろうことが予知される。第 9 図オシログラムは線路力率が 100% より急激に遅れ 90% に変化したときの過渡特性を示し、臨界制動的な変化をし振動を行わずに 99% の力率に回復制御されていることが見られる。即ち K 氏の判定法で予知した如く実験的にも安定域に存在する良好な自動

制御が行われていることを知ることが出来る。

[V] 結 言

鉄心の磁束変化により力率変化を連続的に検出する装置を提唱し、次にこれと回転機増幅器或いは磁気増幅器による巻上機用同期電動機の力率自動制御及び線路力率変動を同期調相機を制御することにより一定値に保つ自動制御方式の実施例について述べた。

最後にこの研究を行うに当り御指導を賜った日立工場後藤部長、日立研究所今尾主任研究員に、又種々御助言或いは御助力を頂いた泉、山本両課長村山、田附両係長及び吉田、金子、近野の諸氏に厚く御礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 和島：自動電圧調整器 293 (昭 4)
- (2) 特許出願中
- (3) 桜井、小林：電気三学会東京支部連合大会論文集 4.20 (昭 26. 11)
- (4) K. Küpfmüller：Über die Dynamik der selbsttätigen verstärkungsregler. E. N. T. 5, 459 (1928)

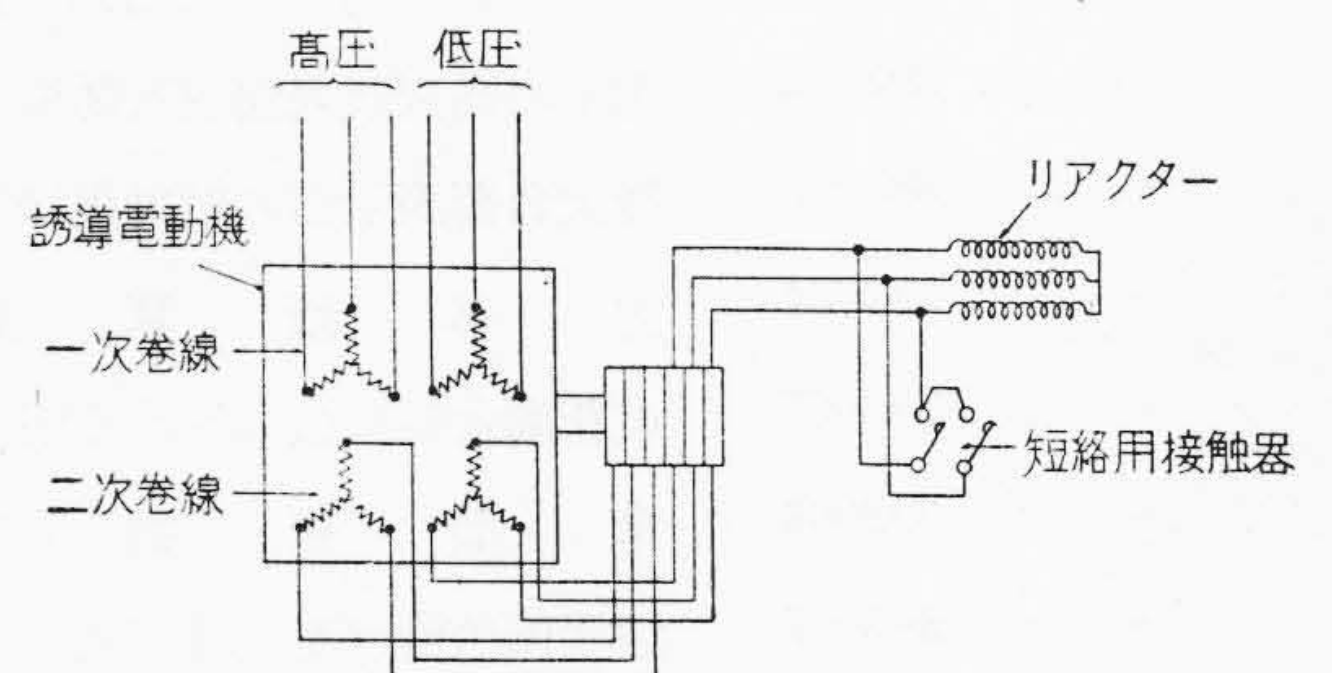


登録新案第 385621 号

益 江 紀 吉

昇 降 機 減 速 装 置

二重巻線型二速度誘導電動機により、昇降機の減速制御を行うに当り、誘導電動機が籠型回転子の場合、一次側を高速側より低速側に切換えたとき減速制動が急激にかゝり、乗籠に衝撃を与えて乗心地を害することがある。本案は図面に示すように巻線型二次回転子とし、二次回路に減速リアクターを挿入してなるもので減速に当り一次側を高压側より低压側に切換えた場合、二次誘起電圧の周波数が滑りに比例して変化する現象を利用し、自動的にリアクターのリアクタンスを制御して制動力を調整せんとするものである。制動当初の周波数高きところでは挿入リアクターのリアクタンス大なるため、制動は制限されて衝撃を緩和し、速度低下と共に周波数減少しリアクターのリアクタンスも減少するため、高速より



低速への減速制御が極めて円滑迅速に行われる。やがて低速の同期速度に達したときリアクターを接触器により短絡して減速制御を終了するものである。

(滑 川)

特 許 月 報

最近登録された日立製作所の特許及び實用新案

区 分	登録番号	名 称	工 場 名	氏 名	登録年月日
特 許	194418	遠心回流ポンプ	亀有工場	寺 田 進	27. 5. 15
"	194432	粗紡機のスピンドル及木管駆動装置	川崎工場	薄 正 四	"
"	194433	異なる車輪径を有する車輛に共用し得る速度計装置	多賀工場	滝 貞 夫	"
"	194434	開閉器接触部の冷却装置	亀戸工場	千 原 錦 吾	"
"	194435	回転型送油式電力遮断器	多賀工場	小 林 哲 郎	"
"	194436	回転型送油式多重切電力遮断器	日立工場	滑 川 清	"
"	194437	ドラグラインにおけるけん引ロープ保護装置	亀有工場	安 井 厚	"
"	194438	カーボンパイル抵抗装置	日立工場	田 中 貞之助	"
特 許	194439	規定回転数指示装置	日立工場	田 中 貞之助	27. 5. 15
實用新案	393050	戸閉機械における扉運動記録装置	亀有工場	{久保沢稔、金子栄、林照一	27. 5. 16
"	393051	液体膨脹式スプリンクラーヘッド感温部硝子殻	亀有工場	小 堀 威	"
"	393052	電気機関車主回路つなぎ箱	日立工場	小 林 邦 平	"
"	393053	速 度 計 装 置	多賀工場	滝 貞 夫	"
"	393054	水電解槽の保護装置	日立工場	永 井 英 一	"
"	393055	水電解槽保護装置	日立工場	永 井 英 一	"
"	393056	二車輛に共用し得る速度計装置	多賀工場	滝 貞 夫	"
"	393057	真空掃除用ハンドル	多賀工場	益 子 三 郎	"
"	393058	真空掃除器の吸込口	多賀工場	大 津 卓 郎	"
"	393059	真 空 掃 除 器	多賀工場	{大山津家卓郎、近藤彌太郎、木村博俊、小野正喜	"
"	393060	電子顕微鏡又はその類似装置の試料を交換する装置	中央研究所	{近藤彌太郎、木村博俊、小野正喜	"
"	393061	蝶型弁急閉鎖防止装置	日立工場	{深小野正喜	"
"	393062	齒車用高周波表面焼入誘導子	亀有工場	黒 木 隆 房	"
"	393063	最大負荷表示器の指針復帰装置	多賀工場	{米岡正四郎、宗像晋介	"
"	393064	力 率 積 算 計	日立工場	田 中 貞 之 助	"
"	393065	火花衝合熔接機に於ける熔接面加圧装置	日立工場	水 越 正 義	"
"	393066	傘 型 発 電 機	日立工場	{高木正郎、菊地彌十郎	"
"	393067	熔接棒送給速度制御装置	多賀工場	田 沢 阜	"
實用新案	393068	周波数測定装置	多賀工場	辻 田 正 一	27. 5. 16