

水銀整流器変電所の尖頭負荷制限装置について

今野喜一郎* 桑島千秋** 浅野次夫***

Peak Load Limiting Devices for Mercury Rectifier Operated Substations

By Kiichiro Konno, Chiaki Kuwashima & Tsugio Asano
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The load characteristics of a mercury rectifier can be varied by means of the grid control. The mercury rectifier at the Chigasaki Substation of the Japan National Railways provided with the peak load limiting device having drooping character sets an example of it.

In this device, the phase shifting apparatus makes the principal part being newly developed to work electrically, and having a good responsivity and high reliability.

The above device has been put into operation since April, 1951 and is showing a satisfactory performance by reducing the load current to about 3,500 A which would reach 5,500 A without this device.

This device has a wide adaptability, being suited not only to peak load limiting but also to phase-shifting of the static Leonard set, constant current device, etc.

The paper deals with its principles, characteristics, and the test results.

[I] 緒 言

水銀整流器は格子の採用により、その信頼度を高めると共に、平復巻特性、垂下特性、定電流特性等を持たせる事が可能となり、又、インバータ、周波数変換器、静止レオナード等の新しい応用分野が開かれて来た。ここに紹介する尖頭負荷制限装置も、水銀整流器に垂下特性を持たせ、尖頭負荷を或る値に制限するもので、水銀整流器の新しい応用分野を開くものである。

従来、負荷電流に応じて水銀整流器を格子制御するには直流変流器とトルクモーターにより機械的に誘導型移相器を駆動する方式、又は直流変流器と油圧駆動式誘導型移相器を使用する方式等が一般に用いられていたが、これ等の方式はいずれも機械的連動部分を含む為、即応性に於て十分でなく、保守も厄介である不利点があつた。尖頭負荷制限装置に於ては、すべて純電氣的に動作

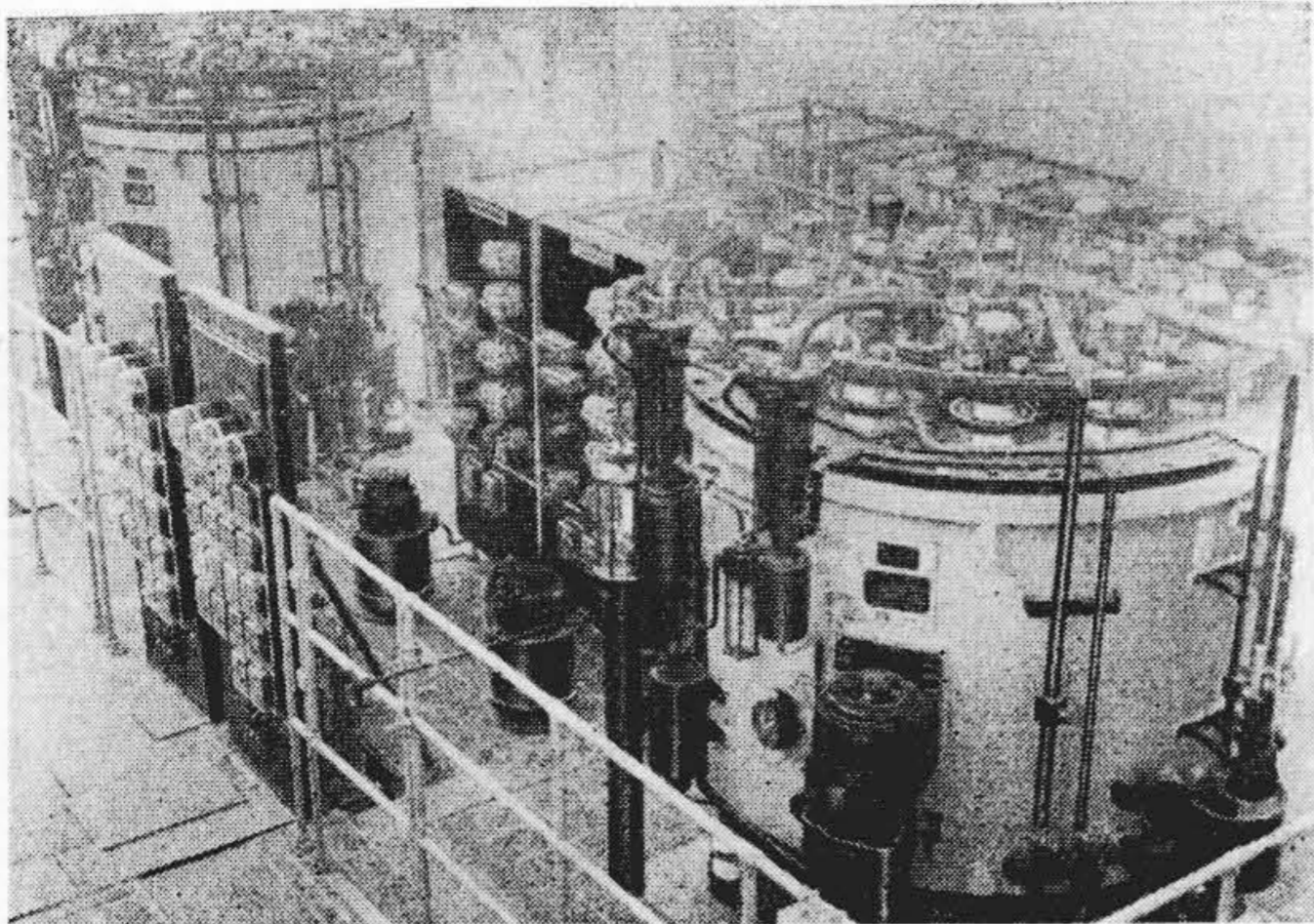
する新移相方式を使用した。上述の欠点を脱し、この種目的に使用する移相方式としては、一進歩を示したものと云うべく、その結果は興味が多いので、紹介する次第である。なお、本論文は尖頭負荷制限に関するものであるが本装置は僅かの変更により、静止レオナード、定電流装置等上述の用途に使用し得、最も適当したものであると信ずる。

[II] 茅ヶ崎変電所と尖頭負荷制限

日本国有鉄道茅ヶ崎変電所は、隣接の二宮変電所より遠方制限監視せられる、国有鉄道としては最初の無人変電所である。その主器は水銀整流器 2 台であつて、60 kV 受電、1 段逓降方式の整流器用変圧器を有している。水銀整流器は 1,500 V 2,000 kW. 重負荷公称定格で、風冷式再冷器を有する循環水冷方式のものである。その外観を第 1 図に示した。

本変電所の負荷は最初の計画では約 5,000 A であり

* ** *** 日立製作所日立工場



第 1 図 1,500 V 2,000 kW 水銀整流器外観
Fig. 1. Outside View of 1,500 V 2,000 kW Mercury Arc Rectifiers

無人変電所である関係から、その信頼度を増加する目的で、最大負荷を制限し、隣接変電所に負荷を移してやる様に計画せられた。このためには水銀整流器を格子制御する事により、直流電圧を予定せられた負荷分担の場合の饋電線電圧に等しくしてやればよい事になる。又、この目的に使用する移相装置は

- i) 電鉄負荷の急変に対し十分即応出来る事
- ii) 無人変電所である点から、特に信頼度の高い事
- iii) 尖頭負荷制限値は調整可能である事
- iv) 短絡、又は逆弧に際しての遮断に支障ない事等の諸特性が要求せられる。我々は上記を満足するものとして、可飽和リアクトルと抵抗の組合による新移相装置を採用した。

「Ⅲ」 新移相装置の原理及び構造

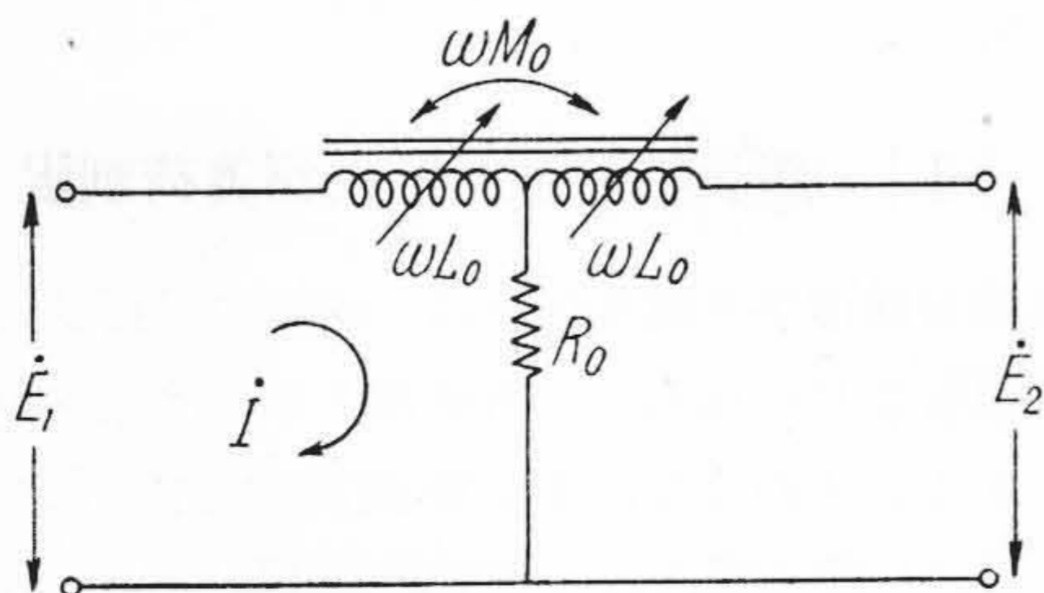
第 2 図は新移相装置の原理を示す電気回路図である。

図に於て

\dot{E}_1 = 入力電圧

\dot{E}_2 = 出力電圧

$\omega L_0, \omega M_0$ = 可変リアクタンス



第 2 図 移相回路図 (单相無負荷の場合)
Fig. 2. Circuit Diagram Showing the Principle of Phase-Shifting Device (Single-Phase, No Load)

R_0 = 抵抗

とすれば

$$\dot{E}_1 = R_0 \dot{I} + j\omega L_0 \dot{I} \dots\dots\dots (1)$$

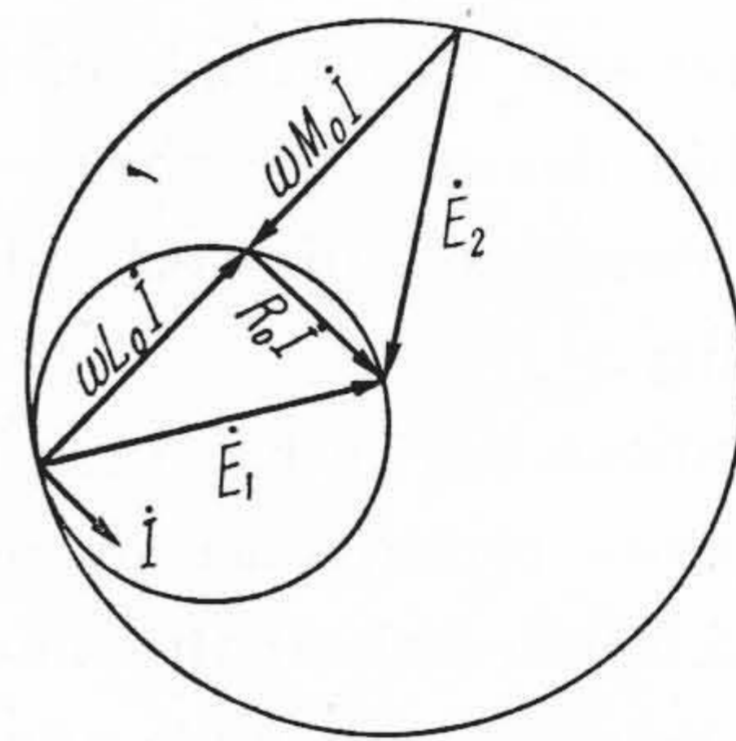
$$\dot{E}_2 = R_0 \dot{I} - j\omega M_0 \dot{I} \dots\dots\dots (2)$$

が成立し、(1)(2)式より \dot{E}_2 を求め、 $\omega L_0 = \omega M_0$ (結合係数 $K=1$) と置けば

$$\begin{aligned} \dot{E}_2 &= \dot{E}_1 \left\{ \frac{R_0^2 - \omega^2 L_0^2}{R_0^2 + \omega^2 L_0^2} - j \frac{2\omega L_0 R_0}{R_0^2 + \omega^2 L_0^2} \right\} \\ &= \dot{E}_1 e^{-j\theta} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\text{但 } \theta = \tan^{-1} \left(\frac{2\omega L_0 R_0}{R_0^2 - \omega^2 L_0^2} \right) \dots\dots\dots (4)$$

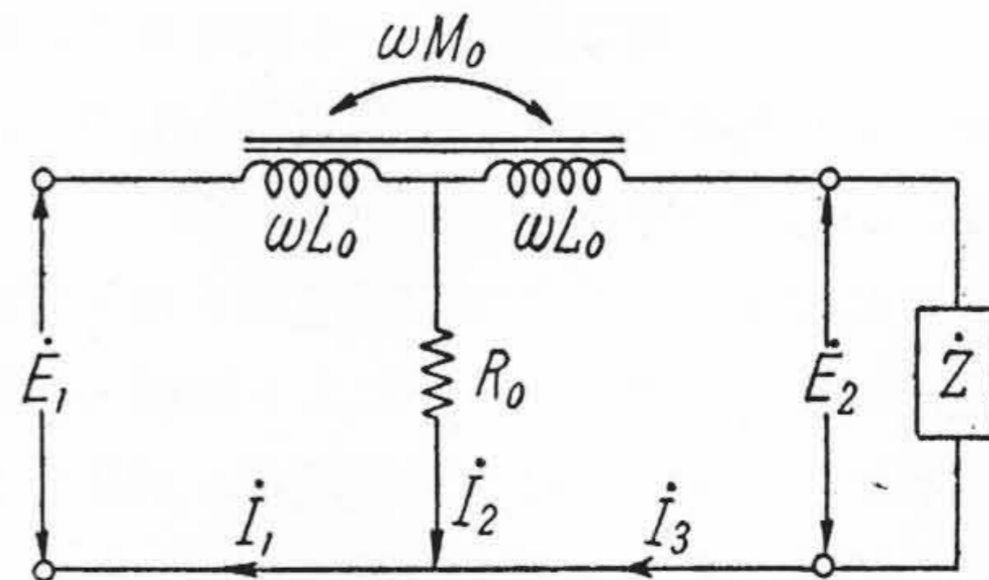
となり、出力電圧 \dot{E}_2 は入力電圧 \dot{E}_1 と大いさ等しく位相が θ だけ異なる。 θ は ωL_0 が 0 から ∞ に変化する場合には 0° から 180° 変化する。即ち、 \dot{E}_2 のベクトル軌跡を描けば第 3 図に示す通り、 \dot{E}_1 を半径とする半円を描く。



第 3 図 ベクトル図 (单相無負荷の場合)
Fig. 3. Vector Diagram of Voltage \dot{E}_2 in Fig. 2

これは、第 2 図に示す回路が、移相装置として使用し得られる事を示すものである。

移相装置出力側に負荷がある場合の出力電圧及び移相角につき計算を行つて見る。この場合の電気回路図を第 4 図に示した。負荷のイмпीडダンスを \dot{Z} とし、各回路の電流を図に示す如く、 $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$ とすれば、連立方程式



第 4 図 移相回路図 (单相負荷ある場合)
Fig. 4. Circuit Diagram Showing the Principle of Phase-Shifting Device (Single-Phase, with Load)

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 \dots\dots\dots (5)$$

$$\dot{E}_1 = \dot{I}_1 j\omega L_0 + \dot{I}_2 R_0 + \dot{I}_3 j\omega M_0 \dots\dots\dots (6)$$

$$0 = \dot{I}_3 j\omega L_0 + \dot{I}_3 \dot{Z} + \dot{I}_1 j\omega M_0 - \dot{I}_2 R_0 \dots\dots\dots (7)$$

が成立し、(5)(6)(7)式より $\dot{I}_1 \dot{I}_2 \dot{I}_3$ を求め、 $\omega L_0 = \omega M_0$ (結合係数 $K=1$) と置けば

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 (\dot{Z} + R_0 + j\omega L_0)}{R_0 \dot{Z} + j\omega L_0 (\dot{Z} + 4R_0)} \dots\dots\dots (8)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_1 (\dot{Z} + 2j\omega L_0)}{R_0 \dot{Z} + j\omega L_0 (\dot{Z} + 4R_0)} \dots\dots\dots (9)$$

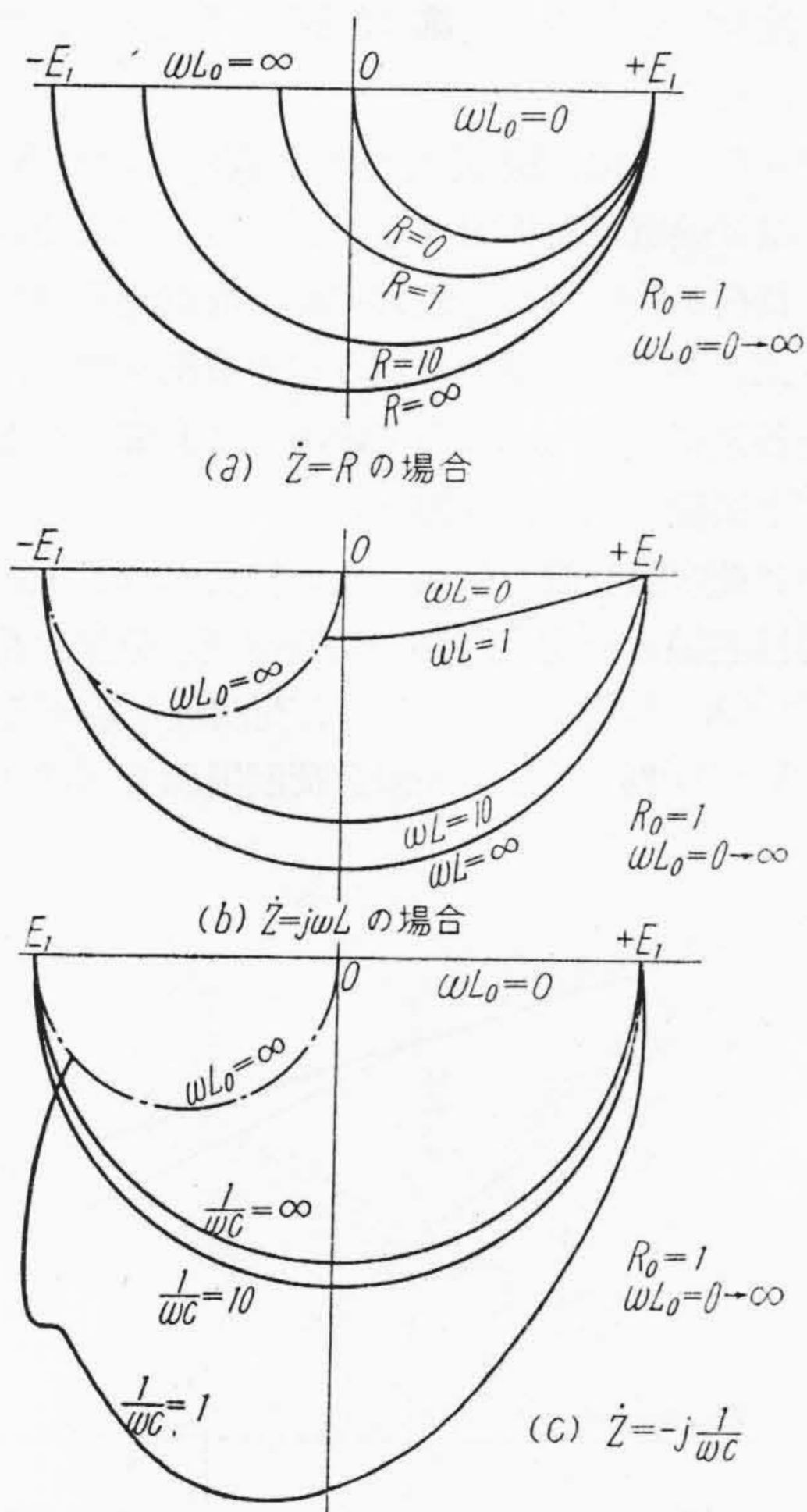
$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{E}_1 (R_0 - j\omega L_0)}{R_0 \dot{Z} + j\omega L_0 (\dot{Z} + 4R_0)} \dots\dots\dots (10)$$

となる。(10)式より出力電圧 \dot{E}_2 は

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_3 \dot{Z} = \dot{E}_1 \left\{ \frac{\dot{Z}^2 (R_0^2 - \omega^2 L_0^2) - 4\omega^2 L_0^2 R_0 \dot{Z}}{R_0^2 \dot{Z}^2 + \omega^2 L_0^2 (\dot{Z} + 4R_0)^2} - j \frac{2\omega L_0 R_0 \dot{Z} (\dot{Z} + 2R_0)}{R_0^2 \dot{Z}^2 + \omega^2 L_0^2 (\dot{Z} + 4R_0)^2} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

として求められる。

(11)式に $R_0, \omega L_0, \dot{Z}$ の値を代入すれば、出力電圧



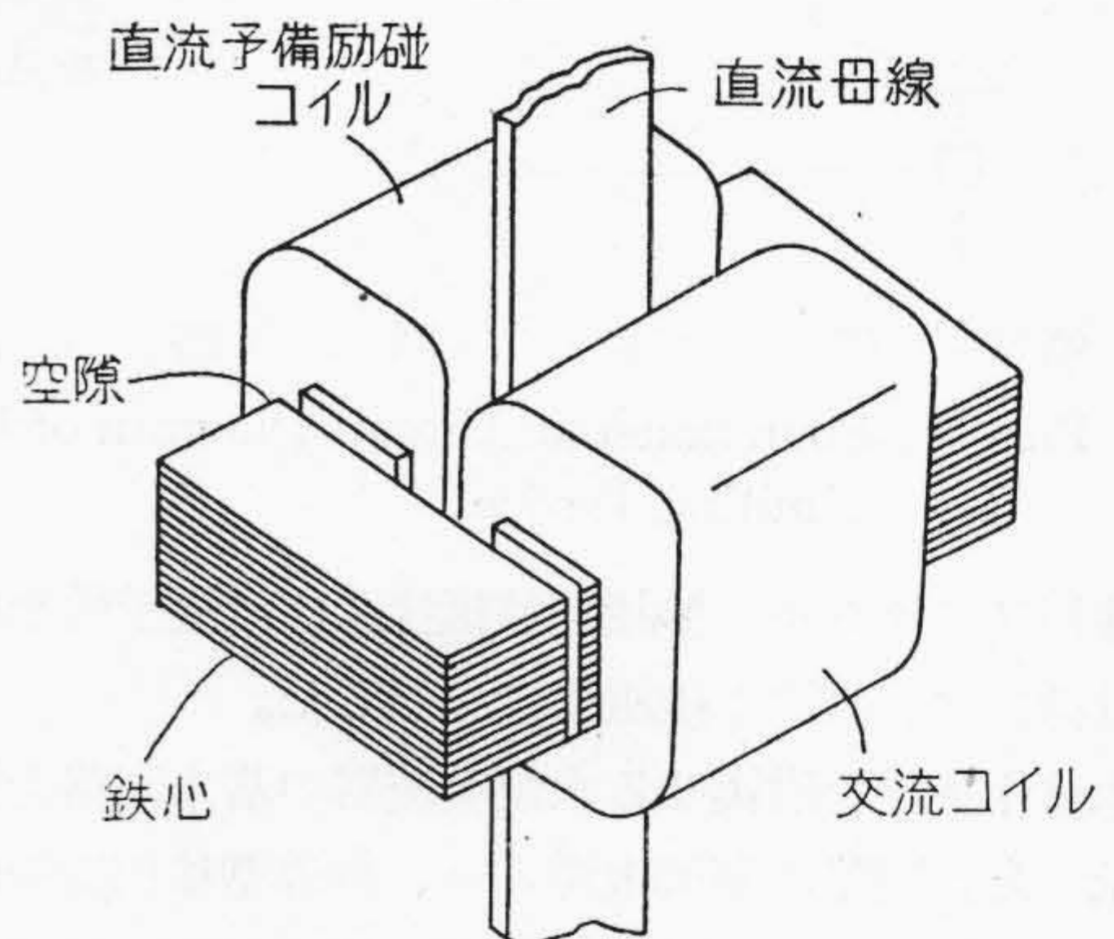
第5図 ベクトル図 (単相負荷 \dot{Z} がある場合)
Fig. 5. Vector Diagram of Voltage \dot{E}_2 in Fig. 6

\dot{E}_2 の大きさ、及び移相角が求められる。

(11)式に於て負荷のインピーダンス \dot{Z} が無限大の場合が上述第2図の場合となり、インピーダンスが小さくなるにつれ、出力電圧 \dot{E}_2 は大きさ、及び移相角は第2図の場合より外れて来る。即ち、出力電圧 \dot{E}_2 の軌跡は第3図の半円より外れてくる。その軌跡は負荷が純抵抗、又はインダクティブの場合内側に、キャパシティブの場合には外側に外れる。 \dot{Z} が純抵抗、インダクタンス、キャパシタンスの場合のベクトル軌跡の例を第5図(a)(b)(c)に示した。

従つて、負荷のインピーダンスを適当にキャパシティブにする事により、負荷ある場合に於ても、出力電圧の大きさを入力電圧と等しくする事が可能である。

以上の結果、第4図に示す回路を三相に組合わせた電気回路は移相装置として使用し得る事が明瞭である。この回路を尖頭負荷制限装置として使用する上に於て、負荷電流に応ずる可変リアクタンスを得る手段として、我々は第6図に示す如き移相リアクトルを採用した。第6図は空隙を有する鉄心入りリアクトルであつて、鉄心の飽和度をこれを貫通する直流母線の負荷電流に応じて変化させる事により、リアクタンスを変化させるものである。

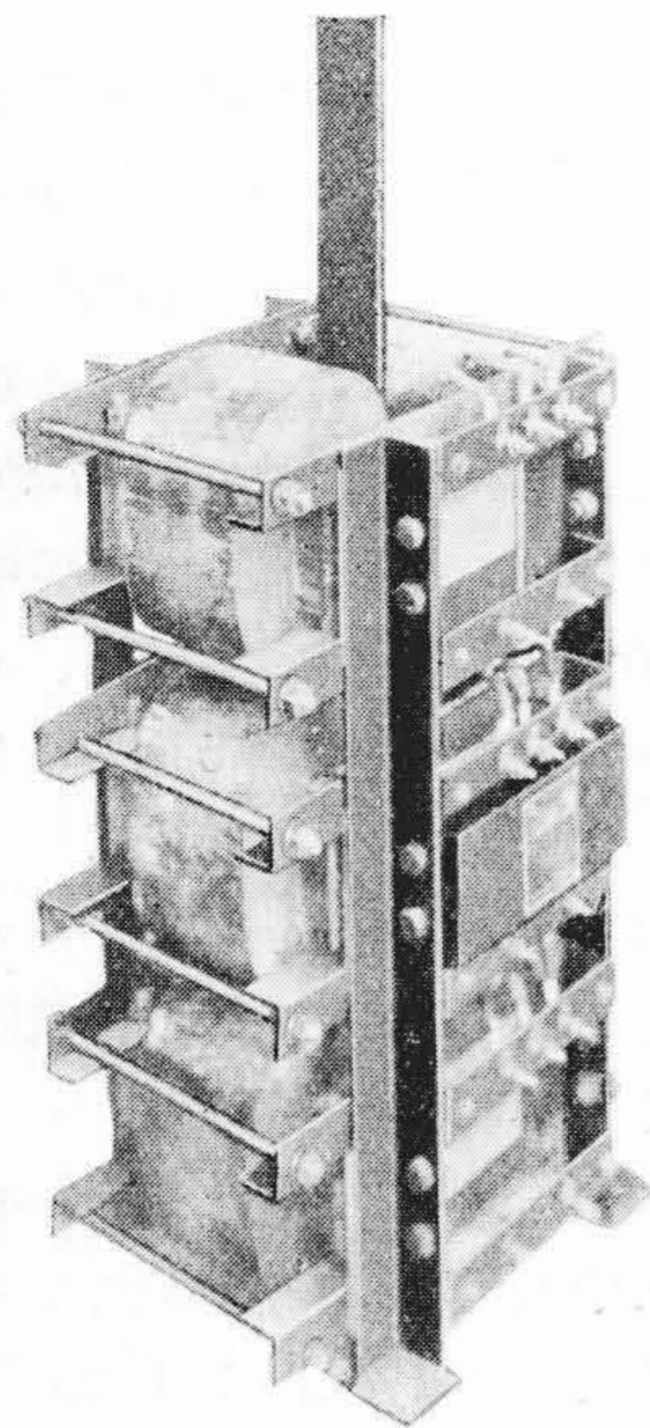


第6図 移相リアクトル構造説明図
Fig. 6. Structure of Phase-Shifting Reactor

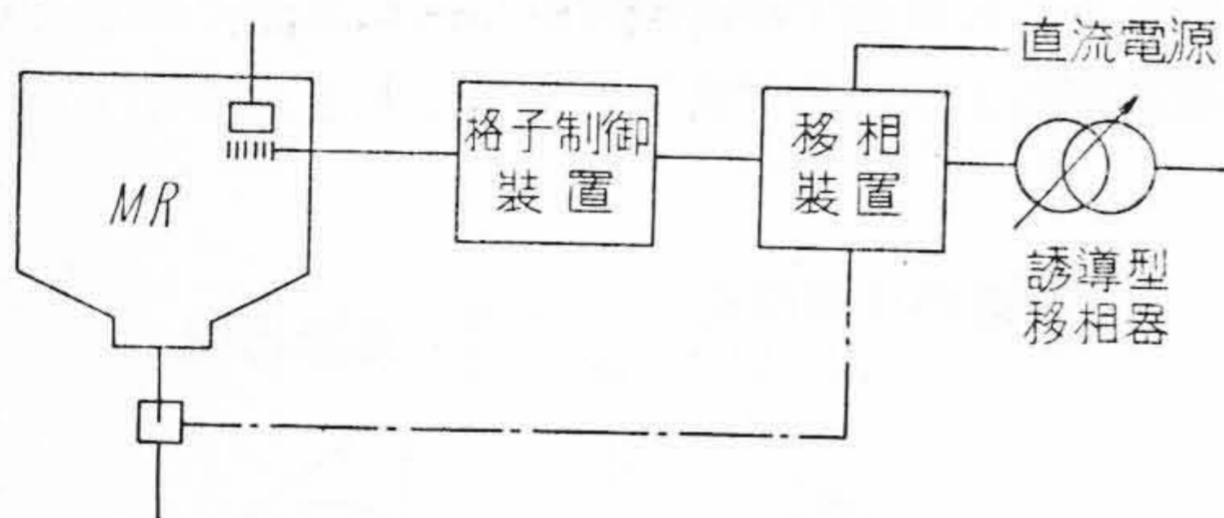
空隙は負荷電流による移相角の大きさを調整するために設けた。又、移相リアクトルには直流予備励磁巻線を設け、負荷電流が増加した場合に遅れ移相角が大となる様にし、且つ各相移相リアクトルの特性の差を補償する様にした。又、直流予備励磁巻線は最大移相角を調整する目的にも使用せられる。(特許出願中)

上記移相リアクトルの外観を第7図に示した。

移相調整抵抗 R_0 は可変の必要はないが、この抵抗値を変える事によつても移相角の大きさを調整できるので、タップを設け調整可能とした。



第7図 移相リアクトル外観
Fig. 7. Outside View of Phase-Shifting Reactor

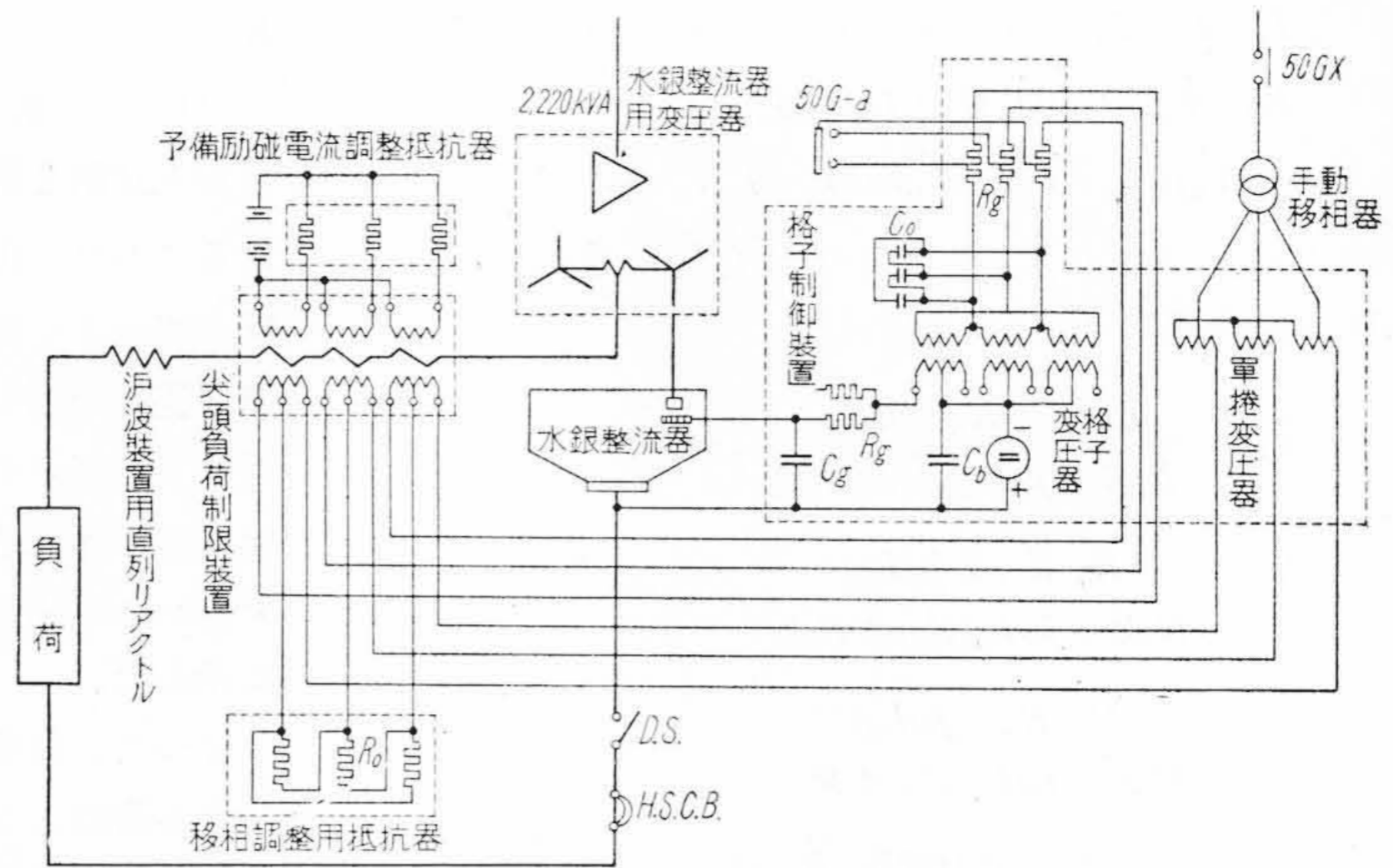


第8図 基本回路図
Fig. 8. Fundamental Circuit Diagram of Load-Limiting Device

移相リアクトル、移相調整抵抗及び直流予備励磁電流加減抵抗は、直流母線組枠に収納した。

本移相装置を附属せる水銀整流器の基本回路を第8図に示した。回路は制御電源より、誘導型移相器を経て、本移相装置に入り、本移相装置の出力電圧を格子制御装置に加えるものである。誘導型移相器は本移相装置移相特性曲線の最も適当した部分を使用するための調整用として設けたものである。第9図に詳細接続図を示した。

尖頭負荷制限装置は、上述の原理に基づき、直流母線が鉄心を直接貫通する構造をもっているため、負荷電流変化と鉄心の飽和度の変化の間には時間的ずれがないから、負荷電流変化による移相の遅れは、移相リアクトルの交流巻線並びに、格子制御回路のインダクタンスによるもののみで、数サイクルに過ぎず、即応性は極めて大きい事が云える。



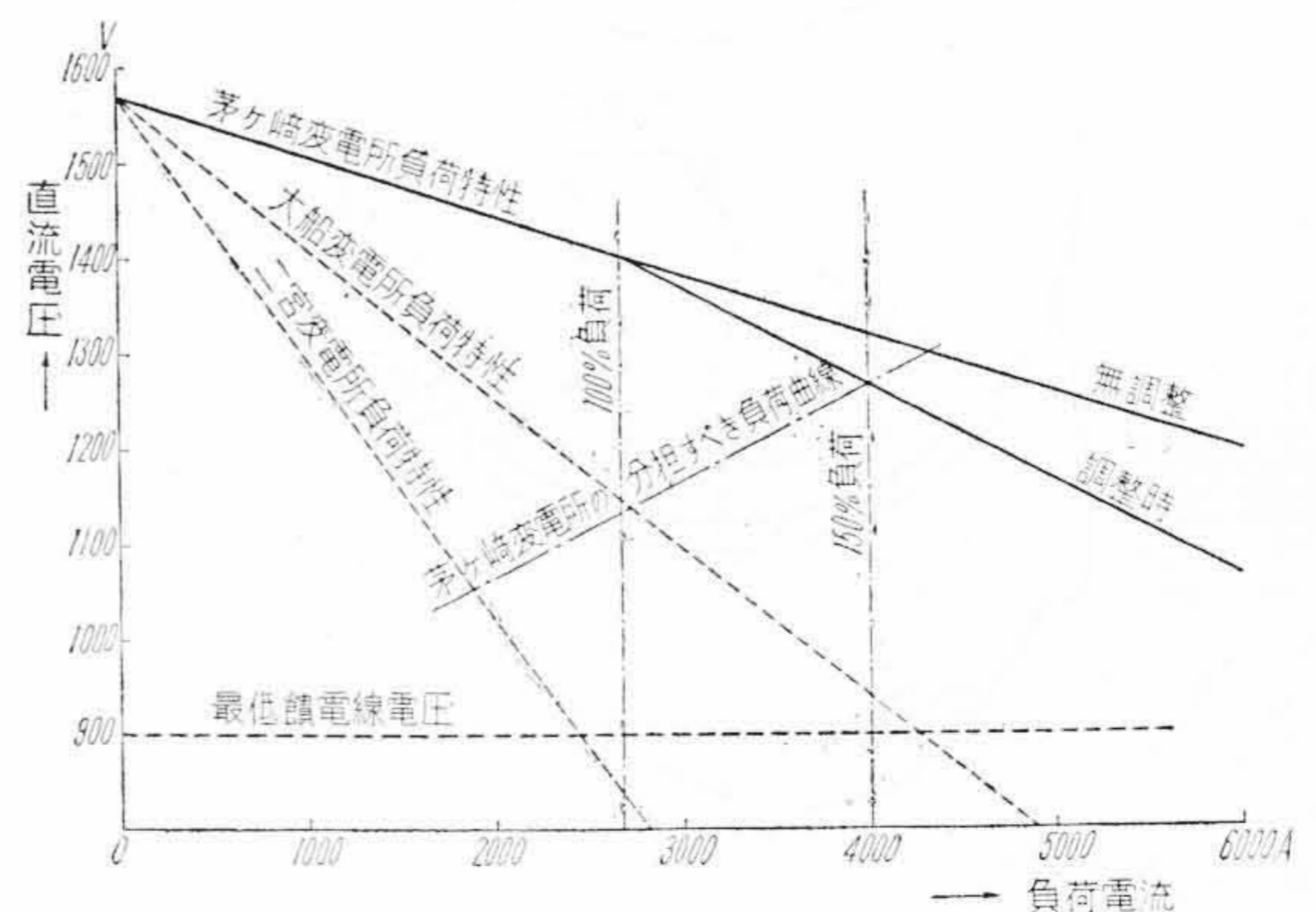
第9図 尖頭負荷制限装置結線図
Fig. 9. Sequence Diagram of Load-Limiting Device

[IV] 試験結果

設計の最初に於て予想せられた、茅ヶ崎変電所の送電線電圧降下を考慮に入れた負荷特性、並びに隣接変電所二宮、及び、大船変電所の茅ヶ崎変電所饋電点に於ける負荷特性を図示すると、第10図実線、及び、点線で示す通りになる。

予想せられる饋電線最大尖頭負荷は7,000 Aであるから、饋電線電圧を仮定すると、二宮、大船変電所の分担する負荷が決定され、最大尖頭負荷電流7,000 Aから差引けば、茅ヶ崎変電所の負うべき負荷が求められる。これを各饋電線電圧について求め、これ等をつないだものが図中鎖線で示した曲線となる。

尖頭負荷制限装置を使用しない場合には、上記鎖線と負荷特性曲線との交点が茅ヶ崎変電所の分担負荷となり約4,300 A (160%)となる。負荷制限し始める負荷を2,666 A (100%)とし、尖頭負荷制限値を4,000 A (150%)



第10図 電圧調整計画図
Fig. 10. Plan of Voltage Control

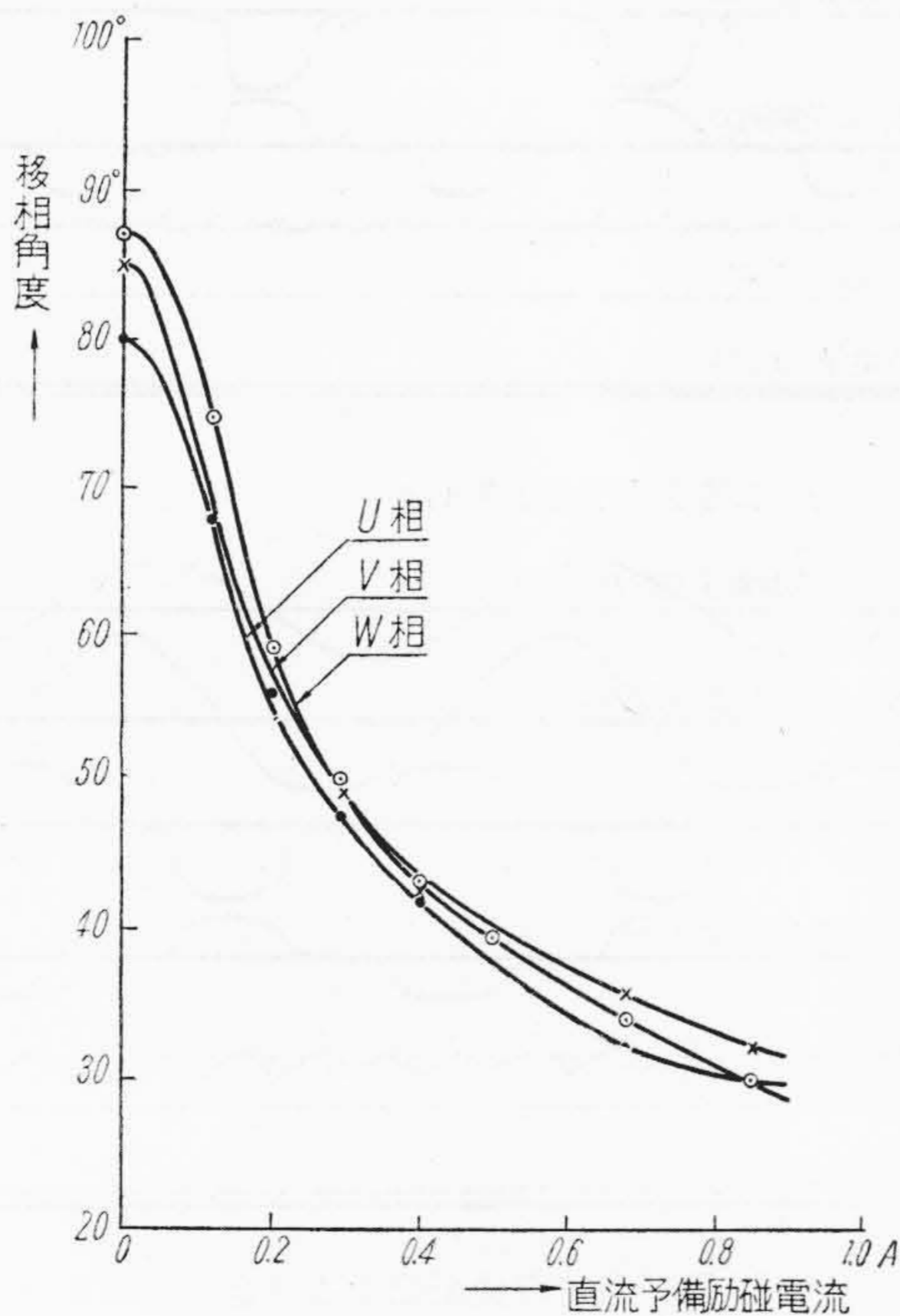
%) とすれば、尖頭負荷制限装置により調整した場合の負荷特性曲線は図示の如く、4,000 A (150%) に於て格子率約 93% としてやればよく、必要なる移相角は約 22° である。

図中に示した最低饋電線電圧は車輛の方から要求せられるものであつて二宮、大船変電所のみにては 7,000 A の負荷に対しては、この電圧を下廻る事となり、茅ヶ崎変電所の新設により饋電線電圧は遙かに高くなり、スピードアップに寄与する事がうかがわれる。以上の計画に対し、移相装置の移相特性、尖頭負荷制限装置を使用した場合の負荷特性等の試験結果につき述べる。

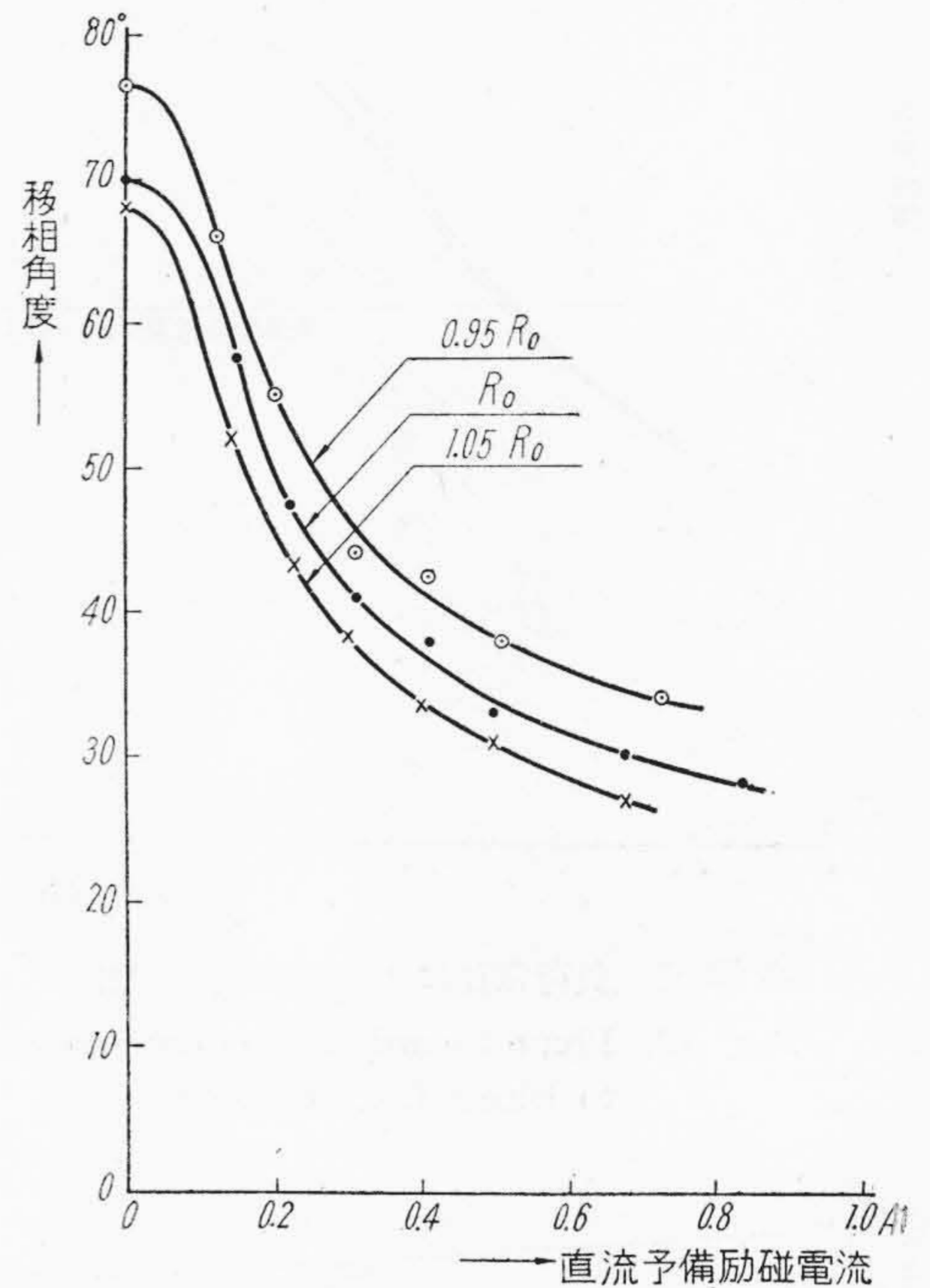
1) 直流予備励磁電流と移相角

移相リアクトルの直流予備励磁電流を変化した場合の移相角を第 11 図に示した。第 11 図は水銀整流器無負荷の場合の測定値である。図に於て明らかなる如く、直流予備励磁電流を増加した場合、移相角変化の割合はゆるやかになり、移相角変化範囲は約 60° で、直流予備励磁電流を著しく増加しても、この値には大きな変化はない。又、直流予備励磁電流の方向を逆にした場合には、移相角曲線は縦軸に対称の曲線となる。

UVW 相の移相角の差は僅かであり、漏洩磁束によるインダクタンスの差に基くものであるが、各相の直流予



第 11 図 直流予備励磁電流による移相角の変化
Fig. 11. Phase Retard Angle Corresponding to D.C. Exciting Current of Phase-Shifting Reactor



第 12 図 移相調整抵抗による移相角の変化
Fig. 12. Phase Retard Angle Correspond to Resistance of Adjusting Resistor

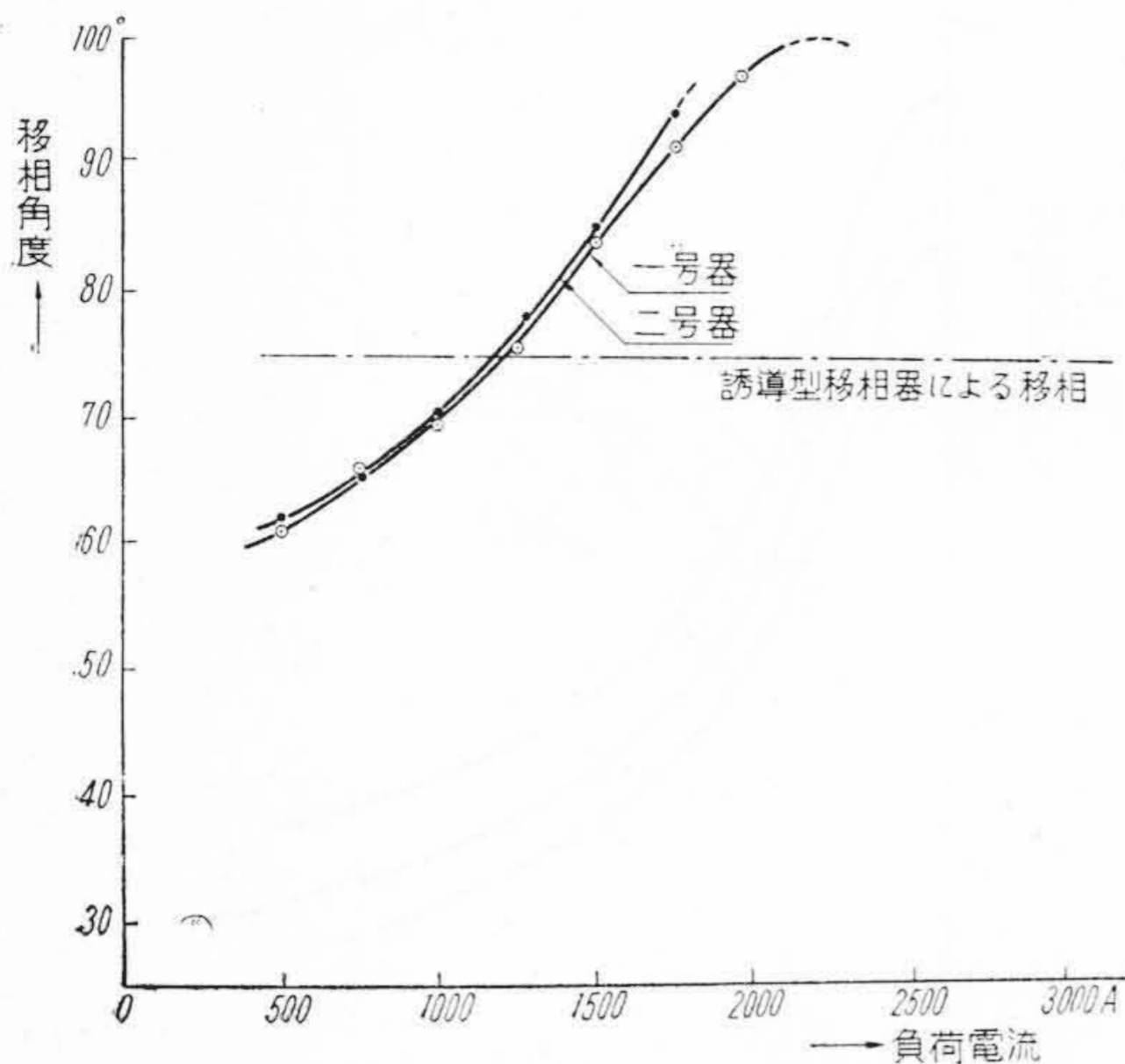
備励磁電流を調整する事によつて、各相間の差は殆んどなくする事が出来る。

2) 移相調整抵抗と移相角

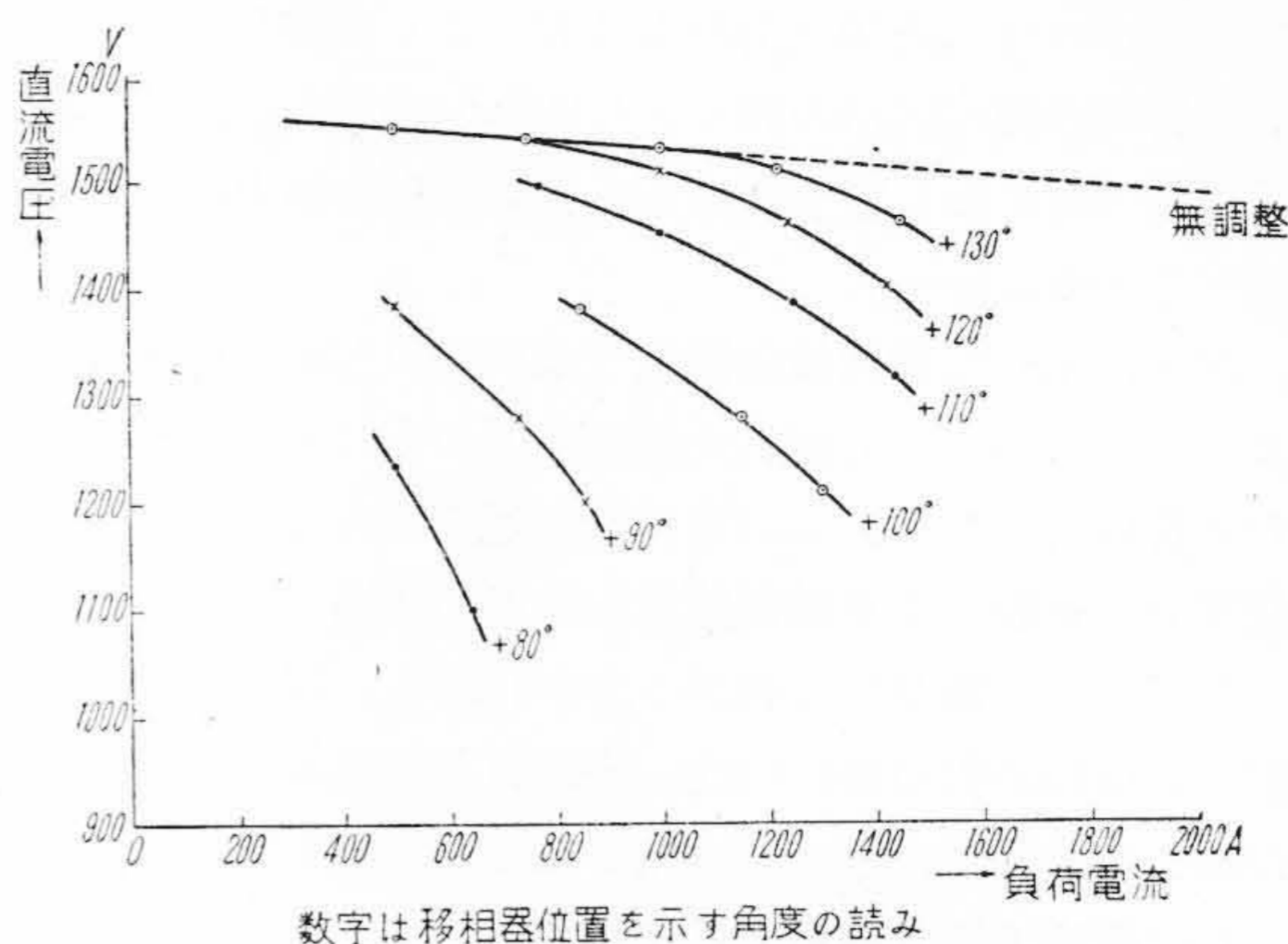
移相調整用抵抗 R_0 を変化させた場合の移相角の変化を第 12 図に示した。第 12 図は第 11 図と同様水銀整流器無負荷の状態に於て測定したものである。第 12 図より、移相調整抵抗を 10% 変化させる事により、約 5° の移相角の差が得られる。この事は、同じ直流予備励磁電流に対し、移相調整抵抗を変える事により、移相角の大きさを調整し得る事を示すものである。

3) 負荷電流と移相角

直流予備励磁電流及び、移相調整抵抗を一定にし、負荷電流を変化させた場合の移相角の変化を、第 13 図に示した。移相角曲線は負荷電流が更に増加した場合には、最大値に達した後下る。この事は第 11 図の測定結果からも考えられる。第 13 図に於て、誘導型移相器により、予め図中の鎖線で示す位置まで移相して置けば、曲線と鎖線との交点に相当する負荷電流 1,200 A 以上に於ては格子制御が行われる事となる。誘導型移相器による移相の大きさを調整する事により、格子制御し始める負荷電流の値、及び、格子率を変化させ得る事は、図より明らかである。又、図に於て 1,200 A 以下に於ては、格子位相は進み位相をとるが、進み角度が尖頭波電圧の巾以

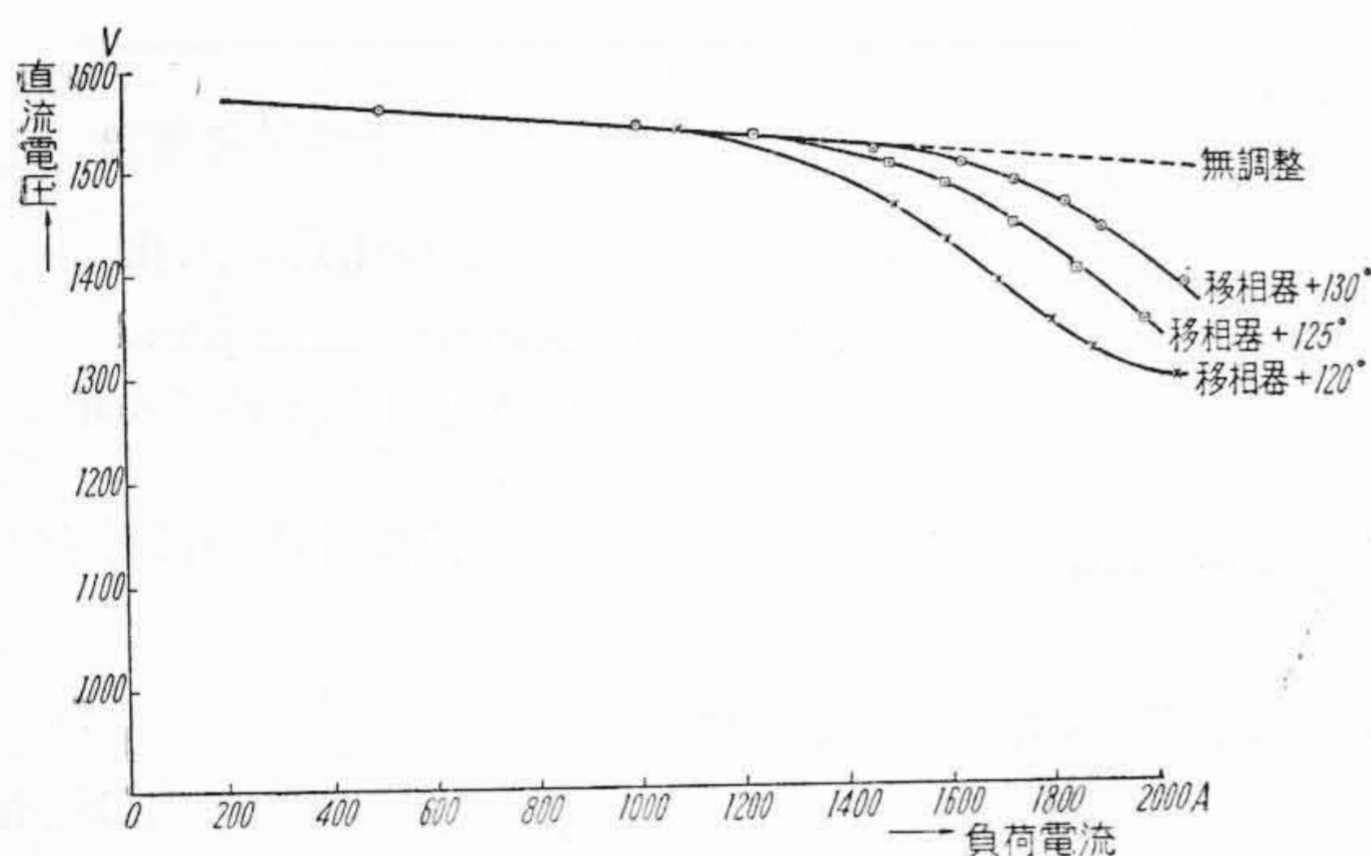


第13図 負荷電流による移相角の変化
 Fig. 13. Phase Retard Angle Corresponding to Direct Load Current



第15図 誘導型移相器位置を変へた場合の負荷特性曲線

Fig. 15. Curves of Voltage-Load Current Character, (When Phase Retard Increased by Phase-Shifter)



第14図 負荷特性曲線
 Fig. 14. Curves of Voltage-Load Current Character

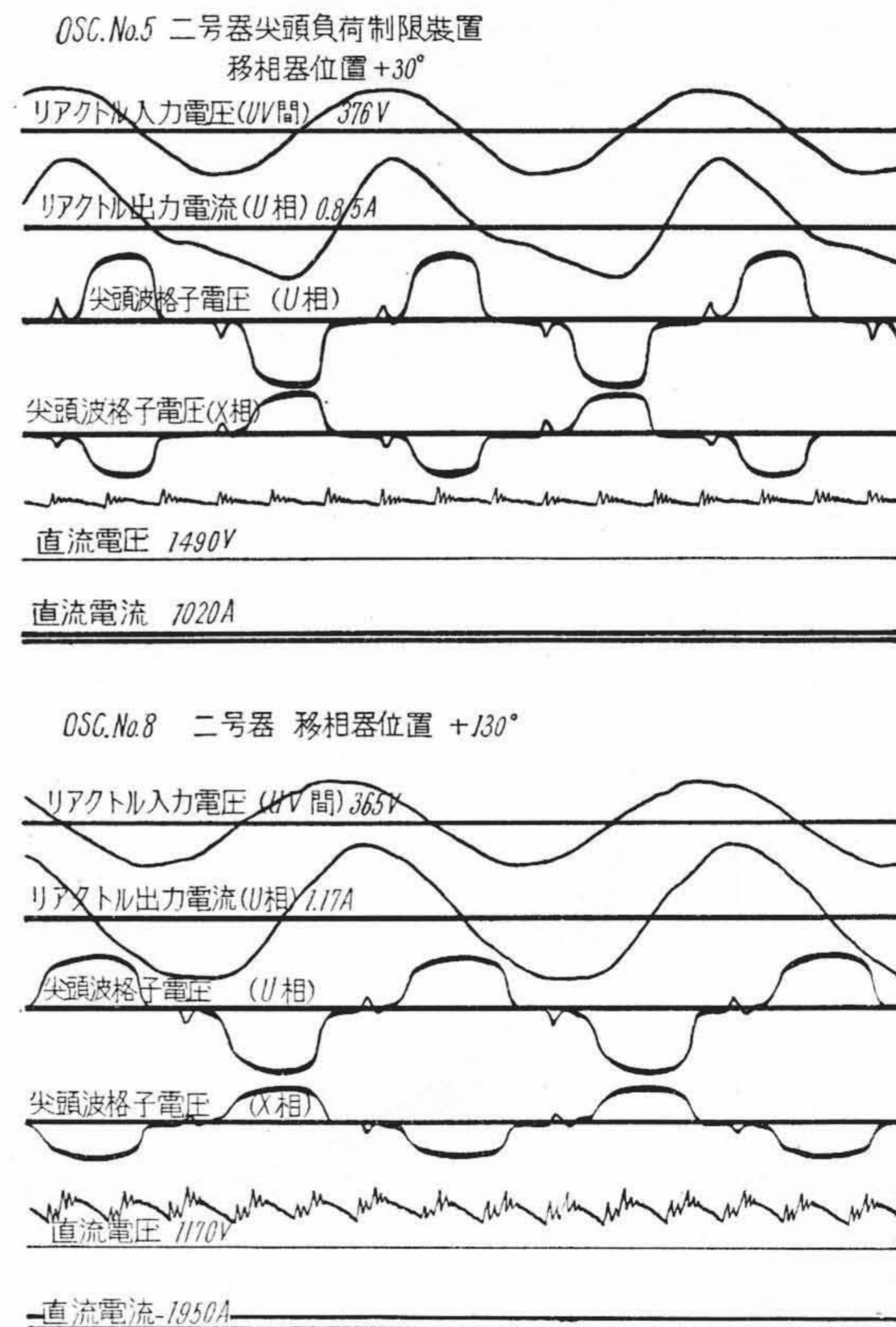
内であれば失弧の心配はない。

又、移相角曲線が最大値を有する山形曲線となる事は本移相装置を使用した場合の負荷特性曲線が、一旦格子制御により、無調整時の負荷特性曲線から離れるが、再び近づいて行く事を意味するもので、格子遮断特性を害はない事を示すものである。

負荷電流に対する移相角の大いさは、直流予備励磁電流の大いさ、及び移相調整抵抗の大いさを変える事により調整出来る事は、前述の特性から明らかである。

4) 負荷特性

尖頭負荷制限装置を使用した場合の負荷特性曲線を第14図に示した。前項に於て説明せる通り、誘導型移相器位置により、格子制御を始める負荷電流値と、格子率が変わる事が実測せられている。更に、誘導型移相器位置を広範囲に変化せしめた場合の負荷特性曲線を第15図に示した。



第16図 負荷電流変化せる場合の移相を示すオツシログラム

Fig. 16. Oscillogram of Grid Voltage, Phase-Shifted, D.C. Voltage and Current

又、移相リアクトル入力電圧、同出力電流、尖頭波変圧器二次電圧、直流電圧、負荷電流の波形を第 16 図に示した。負荷電流 1,020 A の場合 (OSC No. 6) と、1,950 A の場合 (OSC No. 8) とで尖頭波電圧位相が、変つている事がはつきりと看取せられる。

5) 並列運転及び実負荷運転

尖頭負荷制限装置を使用した場合の負荷特性は、直流予備励磁電流、移相調整抵抗、及び誘導型移相器位置等により広範囲に調整する事が可能であるが、これ等を調整して、2 組の整流器の並列運転を行つた場合の負荷の分担は第 1 表の通りで、かかる装置を使用しない場合の負荷分担と変りない結果となつている。

実負荷運転の結果は、無調整時、最大負荷約 5,500 A であるものが、尖頭負荷制限装置を使用した場合には約

第 1 表 並列運転時の負荷分担表

Table 1. Load Balance of the Two Mercury Arc Rectifiers in Parallel Running

直 流 電 圧	負 荷 電 流	
	No. 1 MR	No. 2 MR
1,515 V	520 A	510 A
1,515	750	750
1,500	990	980
1,440	1,200	1,250
1,430	1,400	1,500

3,500 A に制限せられており、本装置が急変負荷に即応して良く働作している事が判る。

又、格子遮断特性を害はない事は、3) 項に於ても述べたが、試験中、外線事故による短絡電流を異常なく遮断しており、この点も心配無い事が実証せられている。

[V] 結 言

以上茅ヶ崎変電所に採用した尖頭負荷制限装置につき原理、構造、特性、試験結果の紹介を終るが、本装置の利点としては、

- i) 機械的連動部分が無いので即応性が大である。
- ii) 可飽和リアクトルと抵抗との組合はせであるために信頼度が極めて大である。
- iii) 調整範囲が極めて広い。
- iv) 格子遮断特性を害はない。

等が挙げられ、回路の僅かの変更により、定電流装置、平復巻特性付与装置、周波数変換器、静止レオナード電源等の移相装置としての応用が可能であり、且これ等の用途に最も適しているので今後の御使用をねがつて止まない。

終りに臨み、設計の当初より試験迄、種々御便宜を賜つた運輸省、及び日本国有鉄道の関係各位、本移相方式の研究に当られた元日立研究所上川氏、御指導を頂いた毛利課長、村山係長に厚く御礼申上げる。

VOL 14. 日 立 NO.2

○日立ホイストに就いて(1)

○PM 111 型 150 MC-FM 無線電話装置
○PF 121 型

○印度に進出した 10,000 kW 火力発電設備

○アルマー整流管の特長

○日立蛍光ランプおよび日立蛍光ランプ用照明器具

東京都大井
坂下町 2717

日 立 評 論 社

誌代 一カ月 ¥ 60 円 8
六カ月 ¥ 210 円 48
一カ年 ¥ 420 円 96



最近登録された日立製作所の特許及び實用新案(1)

区分	登録番号	名称	工場名	発明考案者	登録年月日
特許	192156	真空管ベース接着法	茂原	{後藤恒夫 白井章	27年1.17
//	192157	船舶電気推進装置	日立	高橋乍人	//
//	192184	指示計器	多賀	滝貞夫	1.18
//	192185	カーボンパイル圧縮装置	日立	田中貞之助	//
//	192186	カーボンパイル抵抗装置	多賀	杉田虎之助	//
//	192187	捲上装置	日立	{滑川清助 田中貞之	//
//	192189	消弧装置	多賀	桑山正俊	//
//	192199	船用タービン油圧操縦装置	日立	{樋熊常雄 須藤常雄	//
//	192200	タービン油圧操縦保安装置	//	樋熊常雄	//
//	192201	スクレーパバケツ	亀有	安河内春雄	//
實用新案	388783	ポータブルベルトコンベヤ	亀有	{渋谷英実 森幸治	1.17
//	388784	空気原動機の回転弁装置	川崎	寺田勇夫	//
//	388785	送話制御装置	戸塚	北条徳	//
//	388786	攪拌タンク内冷温管装置	日立	{吉高見環 黒沢光	//
//	388787	変圧器真空乾燥用加熱装置	//	栗山卓	//
//	388788	水車入口弁開閉操作装置	//	小野正喜	//
//	388789	自動式貨幣投入電話機	戸塚	山田博三	//
//	388790	直流変流器	多賀	島田稔	//
//	388791	ピンの抜け止め装置	亀有	{亀井茂樹 龍和友明	//
//	388792	位置指示装置	多賀	滝貞夫	//
//	388793	遮断器引外装置	日立	滑川清	//
//	388794	操作レバーのノッチ止め装置	亀戸	{石原定男 平田利英	//
//	388795	蓋締付装置	日立	高須徳二	//
//	388796	汽罐給水調整弁	//	{杉村沼八郎 菅山三郎 次郎	//
//	388797	油入電器防爆装置	//	{滑前川清一 川愛	//
//	388798	空気力回転工具の軸受装置	笠戸	時政修己	//
//	388799	カム型開閉器	亀戸	{大鈴和利 幸丸治	//