

40,000 kVA 負荷時タップ切換変圧器ならびに制御装置

40,000 kVA Transformer with On-Load Tap Changing Equipment and Control Equipment

池田正一郎* 桜木 義祐*

内 容 梗 概

最近負荷時電圧調整器は送電々圧の調整、電力連繫系統の無効電力制御などに超高压大容量器がますます採用される機運にある。

日立製作所では、北海道電力巖松発電所にて 170 kV 十勝幹線と 60 kV 系統を連繫し、両系統間の無効電力制御を行うための 40,000 kVA 負荷時タップ切換変圧器と制御装置を完成した。

変圧器は高压中性点側で負荷時タップ切換を行うが、制振遮蔽と側路コンデンサの採用により信頼性を高めている。本体とタップ切換機構部とは分離できる構造となっており、タップ切換機構部を切離して本体のみを普通の直接々地変圧器として使用できる。

連繫系統における無効電力の制御方式は自動力率調整継電器を使用し供給電力に応じた無効電力を供給するよう自動制御されている。

そのほか 170 kV 母線保護方式は総合変流器による電圧対向式を採用し回路構成を簡潔にしている。

〔I〕 緒 言

電力系統の電圧調整あるいは系統間の無効電力制御のための有効かつ経済的な手段として、負荷時電圧調整器が広く採用される。

北海道電力株式会社においては、超高压 170 kV 十勝幹線と、60 kV 系統を巖松発電所で連繫し、両者の無効電力制御を行うため我国最大容量の 40,000 kVA 負荷時タップ切換変圧器を設置されることになった。日立製作所においては、この変圧器ならびに制御装置を鋭意製作中であつたが、このほど現地据付を完了した。

本器は負荷時タップ切換変圧器として、超高压大容量の記録品であるばかりでなく、重要幹線の連繫に用いられるため、絶縁は勿論タップ切換機構の信頼度向上に努力が払われた。本稿においてはこの負荷時タップ切換変圧器とこれによる無効電力制御装置について大要を説明する。

〔II〕 仕 様

本器の仕様は下記の通りである。

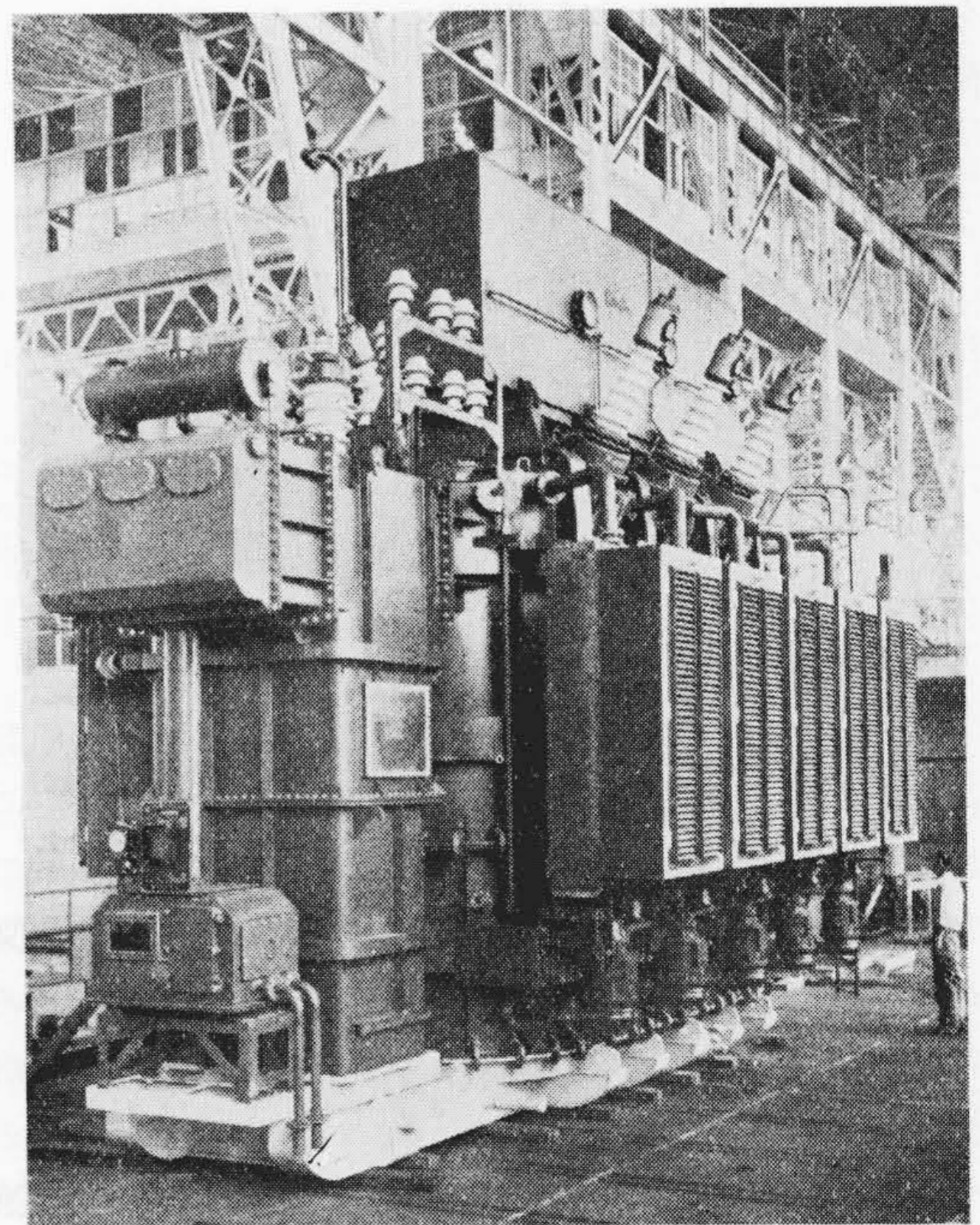
容 量	40,000 kVA
一 次	66 kV △
二 次	F 195.5—R 187—F 178.5 kV 人
負荷時電圧調整範囲	±5% 9 タップ
三相	50～ 送油風冷式内鉄型
絶縁階級	一次 60 号
	二次 140 号 中性点 60 号
	機構部 30 号

なお本器は厳寒の地に設置されるのでコンサーベータの調整容量は 120°C と指定されている。

〔III〕 構 造

巻線は内部から低圧、高压の順に同心に配置され、高压巻線は高さ方向の中央部から線路端子を出してブッシングに接続される。上下巻線は並列に使用され上下端にタップを設けてある。

高压巻線は制振遮蔽⁽¹⁾を施してあるため、衝撃電圧印



第1図 40,000 kVA 負荷時タップ切換変圧器
66/195.5~178.5 kV¹三相送油風冷式
Fig. 1. 40,000 kVA Transformer with On-Load Tap Changing Equipment. 66/195.5~178.5kV Three-Phase Forced-Oil, Forced-Air-Cooled

* 日立製作所日立国分分工場

加時の巻線の対地異常電圧ならびに巻回間の異常電位差を軽減する。

絶縁階級は直接々地系統のため二次線路側 140 号, 中性点 (直接々地) 側 60 号, 負荷時タップ切換機構部 30 号となっており, 制振遮蔽と側路コンデンサにより絶縁の信頼度は高い。

タップ巻線は開路型がすぐれているので⁽²⁾これを採用した。タップ電圧は無電圧調比装置により 3 段階に切換られ, さらに 187 kV タップを基準にして $\pm 5\%$, 9 タップが負荷時電圧調整装置によつて切換られる。

負荷時タップ切換機構は, リアクトル, 調比装置, 油入開閉器よりなり, 本体とは別槽に収められている。特長を列記すればつぎの通りである。

(1) 高圧中性点側直接切換で絶縁階級 30 号としたから絶縁構造は容易となり重量, 油量ともに少く保守点検に便利である。

(2) 連続定格のリアクトルと油入開閉器を使用し, 一連のカム機構により確實容易に切換が行われる。万一タップ切換が渋滞し負荷電流と横流とが重畳しても焼損することはない。

(3) 油入開閉器は耐弧メタル付補助接点を使用しているため, 寿命が長い。

(4) タップ切換機構部が万一故障の際にはこの部分を切離して, 本体のみを通常の直接々地の変圧器として使用できる。

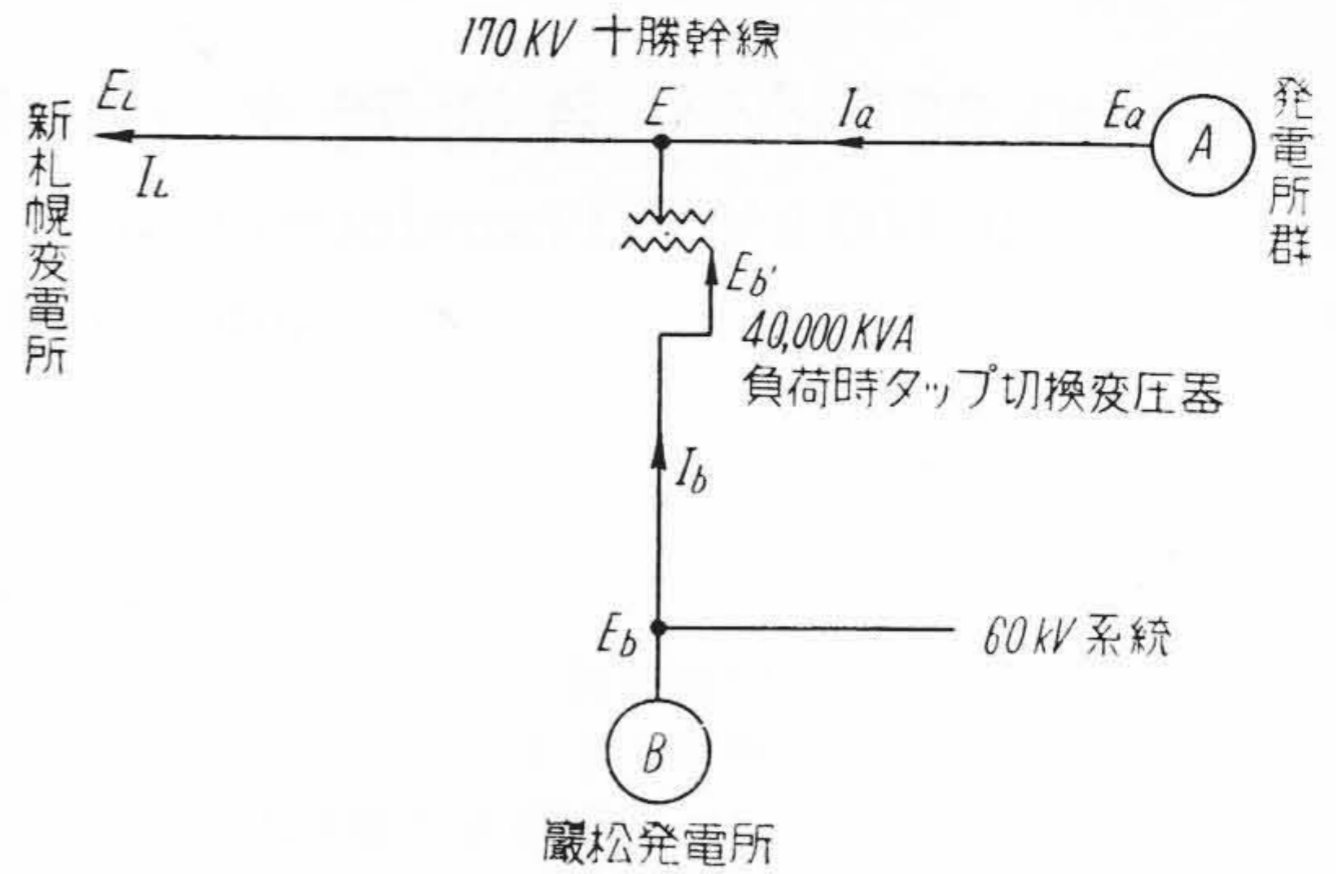
[IV] 制 御 方 式

今回納入された負荷時タップ切換変圧器は 170 kV 十勝幹線と 60 kV 系統とを巖松発電所において連繋するのに使用されるものである。その制御は 60 kV 系統の力率を一定範囲に維持するよう自動的にタップ切換を行うよう設計されている。以下その概要を紹介し参考に供したい。

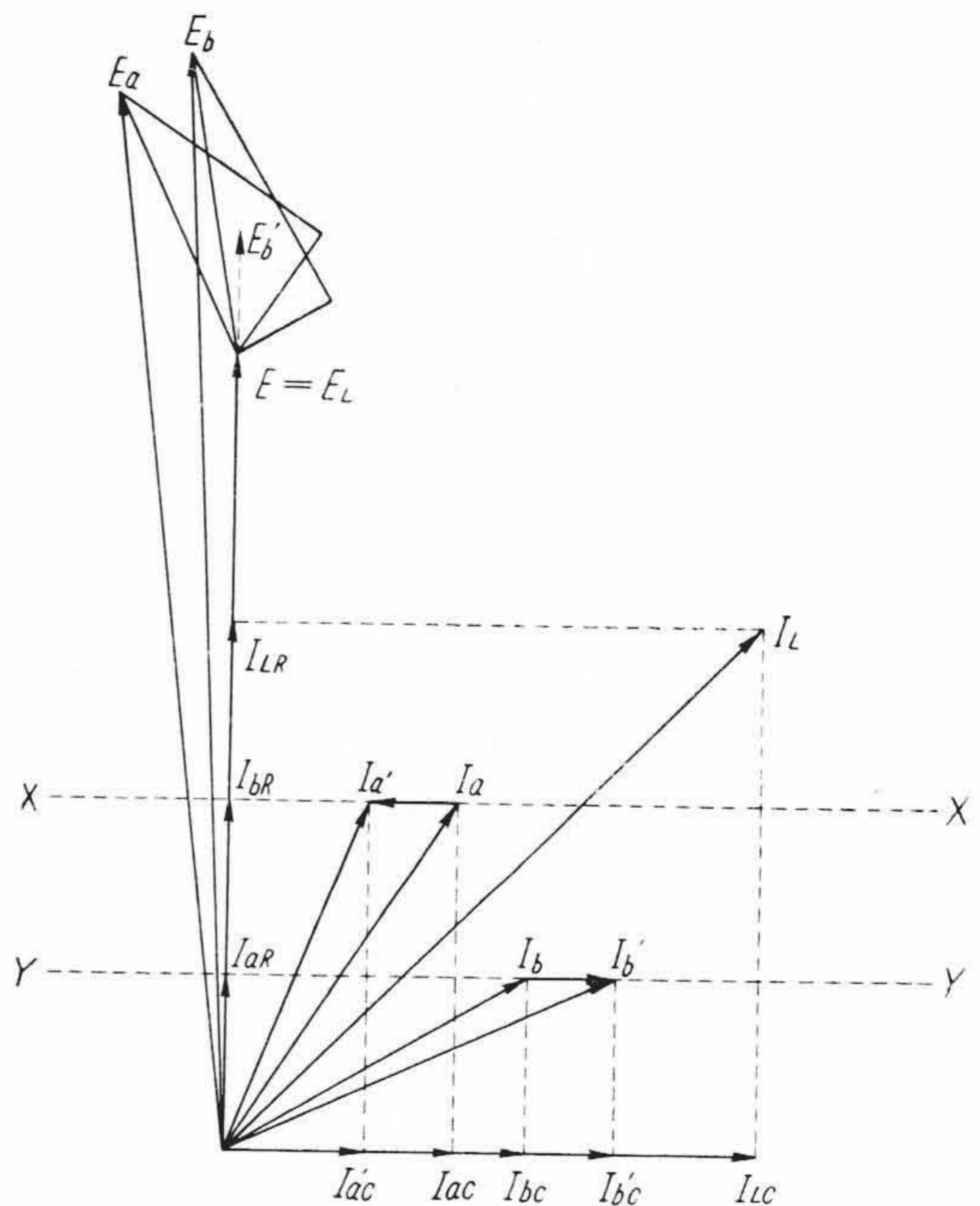
(1) 連繋系統における無効電力の制御

第 2 図は系統を示す略図である。①および②発電所群より電圧 E_L , 電流 I_L の負荷に給電する場合, 連繋点において両発電所群よりそれぞれ I_a, I_b を供給する。この関係をベクトルで示すと第 3 図のようになる。第 2 図および第 3 図において E_L, I_L は負荷によつて定まり各発電所よりの I_a, I_b は発電所の出力, 電圧および回路インピーダンスにより決定される。この場合簡単に考えるため $E = E_L$ と仮定すると発電所の電圧 E_a, E_b は第 3 図ベクトルのようになって平衡状態を維持されることになる。

いまこの状態に対し第 2 図の位置に電圧調整用の負荷時タップ切換変圧器を置き連繋点電圧 E と同位相の電



第 2 図 連 繋 回 路 説 明 図
Fig. 2. Connection Diagram of Interconnecting System



第 3 図 連 繋 回 路 ベ ク ト ル 説 明 図
Fig. 3. Vector Diagram for Interconnecting Circuit Shown in Fig. 2

圧 E_b' を加えたとなれば局部電圧 E_b' により両発電所間に無効循環電流が流れる。循環電流の位相は回路インピーダンスによつてきまるが抵抗分は少くリアクタンス分が大きいのが普通であるためほぼ局部電圧 E_b' に対して直角に近くなる。したがつて I_b は I_b' に変化しそれによつて I_a は I_a' に変化する。

いま仮りに負荷および両発電所出力を一定に押えておいたとなれば局部電圧 E_b' は無効分電流によつてのみ消費されねばならない。したがつて E_b' の加減によつて I_a は X-X 線上を, I_b は Y-Y 線上を相関連して移動することになる, いずれの場合も両者の合成たる I_L に変りはない。

上述のように分岐点に負荷時タップ切換変圧器を設けその電圧を加減することにより系統間の無効電力の分布を自由に制御しうることがわかる。前記説明においては $E_L = E$ という仮定を設けたが I_a , I_b の任意調整によつて (A) (B) 両発電所より連繫点に至る電圧降下も同時に調整されることになる。

今回設置された負荷時タップ切換変圧器は 60 kV 巖松発電所側に力率調整継電器を設け連繫点における 60 kV 側の力率を一定に保つよう自動的に調整しうるようにしたものである。このことは 60 kV 系統の分担すべき無効電力量をもつとも合理的に選定し、かつその自動調整を可能ならしめたものである。

(2) 力率調整継電器の動作原理

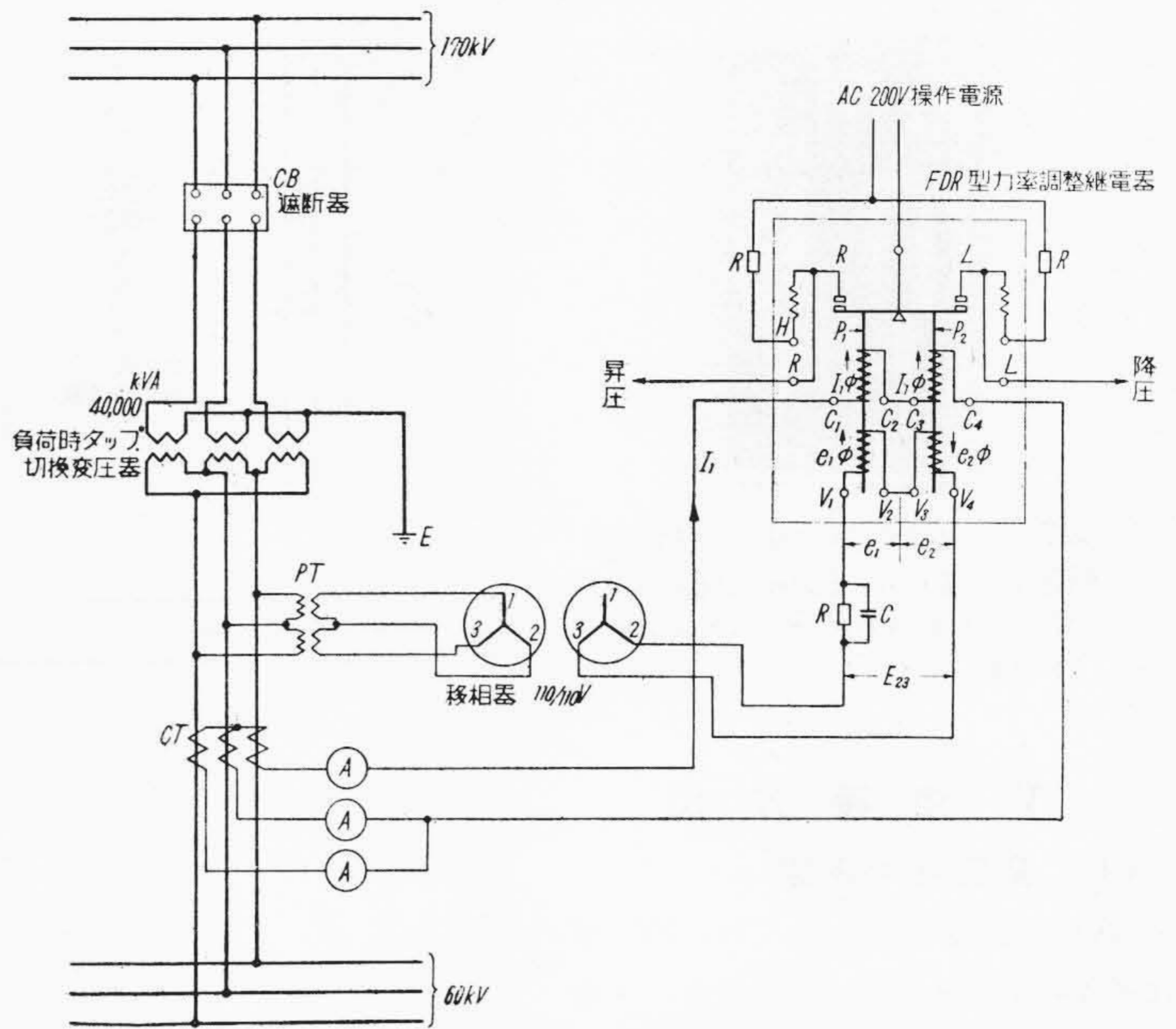
第4図は FDR 型力率調整継電器の接続関係を示し第5図および第6図はその動作原理を示すベクトル図である。第7図は写真である。第5図Aのように電流の位相角 θ を一定に維持しようとする場合、電位変圧器二次側に設けた移相器によつて E_{23} の位相を第5図Bのように θ だけずらして電流 I_1 の位相と直角ならしめる。電流、電圧のとり方は第4図を参照せられたい。この電圧を第4図力率調整継電器の電圧線輪に加え電流を電流線輪に与える。

継電器は第4図のように平衡桿型で左方のプランジャ P_1 と右方のプランジャ P_2 はおのおの E_{23} と I_1 によつて附勢されかつ電圧線輪に与えられる e_1, e_2 は P_1, P_2 おおの逆方向になるように接続される。 P_1 および P_2 に加わる吸引力をおのおの F_1, F_2 とすると第6図のごときベクトルをうる。なお電圧によつて生ずる磁束は外部回路に設けた R および C によつて電圧と同相になるように調整されている。

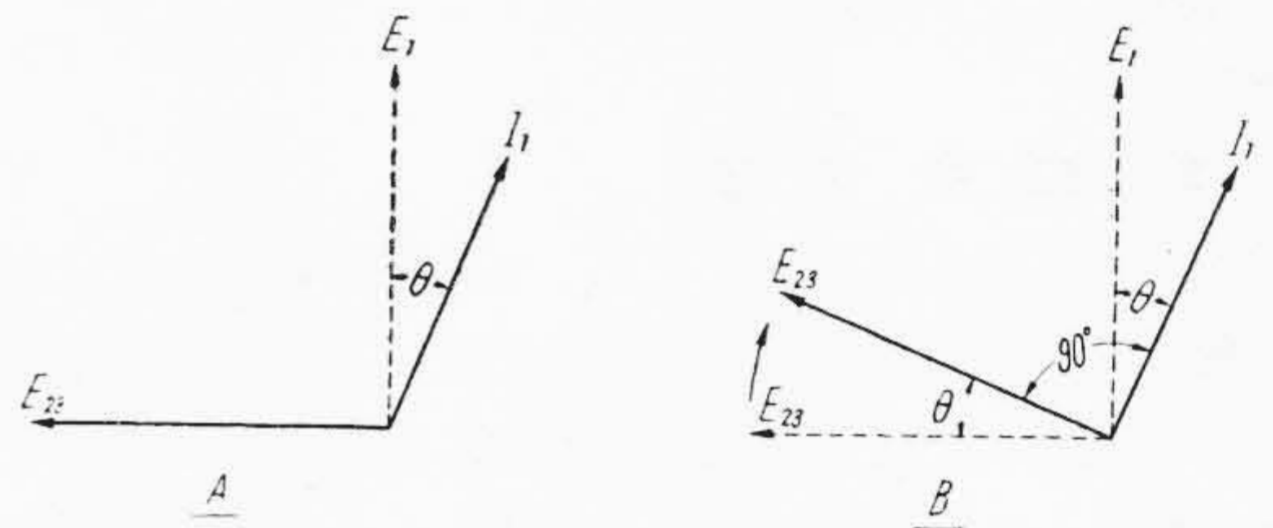
あらかじめ調整された力率角 θ においては $e_1\phi$ と $I_1\phi$ は 90° の差があるので P_1 に加わる吸引力 F_1 と P_2 に加わる吸引力 F_2 とは平衡状態にある。電流の位相が $\Delta\theta$ だけ遅れると F_1 は F_1' に減少し F_2 は F_2' に増大するので吸引力に差を生じ継電器接点を閉成する。電流位相が進んだ場合は上記と逆になる。このことは移相器による電圧 E_{23} の移相角がそのまま整定位相角すわち整定力率となる。

(3) 負荷時タップ切換変圧器の自動操作

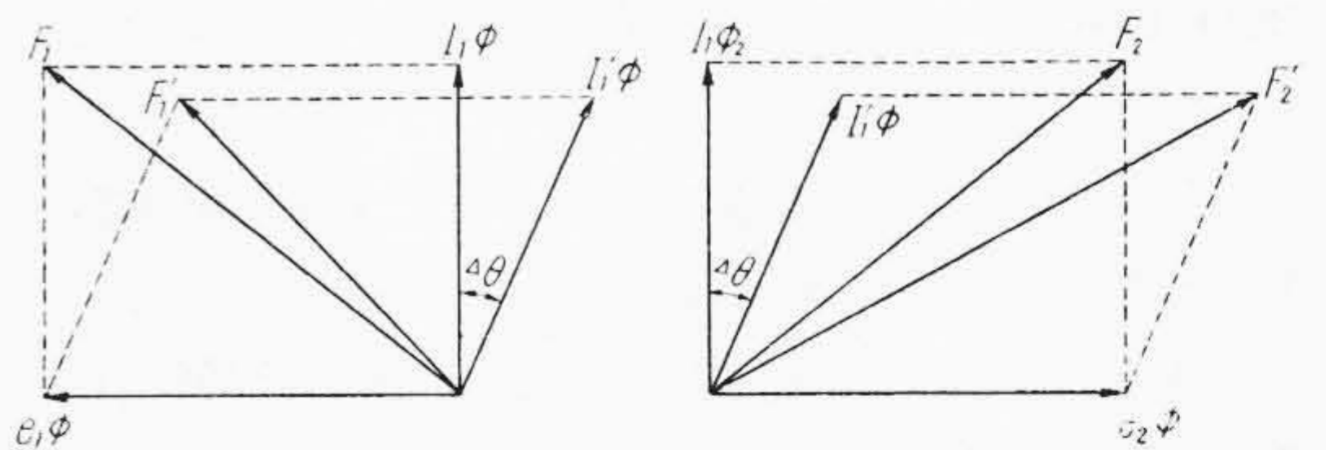
前述せるように力率調整継電器が動作した場合、限時継電器 (O-180 s 調整) によつて力率変化の継続的であ



第4図 自動力率調整継電器接続図
Fig. 4. Connecting Diagram of Automatic Power-Factor Controlling Relay

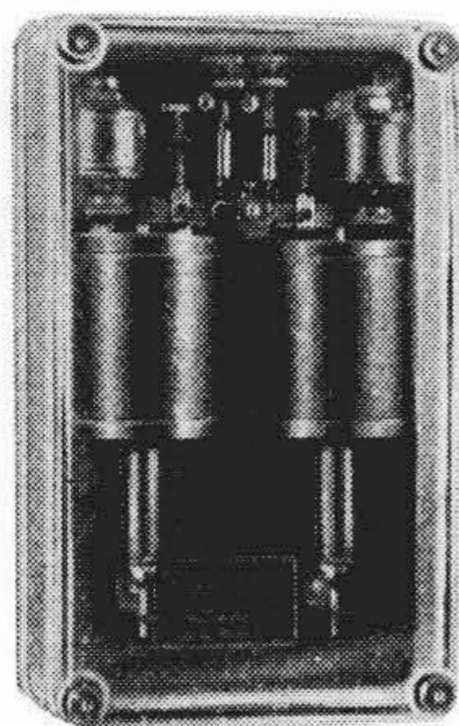


第5図 ベクトル説明図
Fig. 5. Vector Diagram of Relation E_{23} and I_1



第6図 力率調整継電器のベクトル説明図
Fig. 6. Vector Diagram of Automatic Power-Factor Regulating Relay

ることを確認して操作用電動機を正又は逆転せしめて昇圧または降圧のタップ切換操作を行わしめる。1タップごとに限時継電器によつて適当な休止時間を設けて必要以上に頻繁な切換操作を抑制している。勿論手動操作も可能であり、またタップの位置は配電盤上に設けられたタップ位置指示計によつて表示する。



第7図 FDR 型力率調整継電器
Fig.7. Type FDR Automatic Power-Factor Regulating Relay

〔V〕 保護方式

(1) 変圧器の保護

(A) 内部故障に対しては、IY 型比率差動電流継電器、ブッフホルツ重故障が動作し遮断器を遮断するとともに表示およびベル警報を行つている。

(B) タップ切換の渋滞、温度上昇、油面低下、ブッフホルツ軽故障、操作電源異常などが動作すれば表示するとともにブザーで警報している。

(2) 母線保護

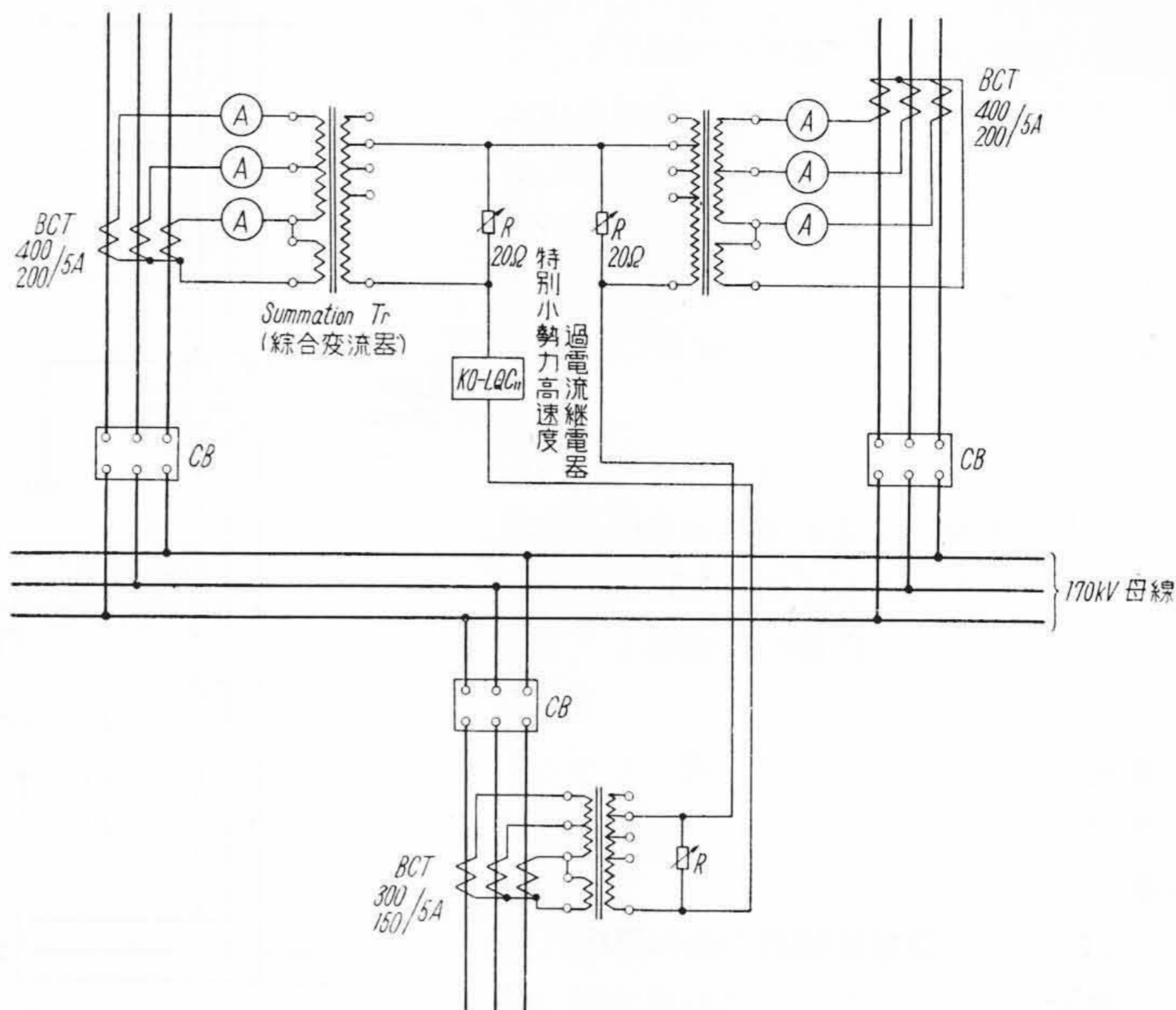
本方式は第8図に示すごとく保護区間各端に設けられた変流器の二次側に総合変流器を設ける。一次側を流れる各相電流は一括して総合変流器二次側の单相電流に変換される。この回路に抵抗Rを挿入しその両端電圧を常態および外部回路故障時には相対向するようにし、内部故障のときは電圧が逆方向となつて対向ループ回路内を故障相当電流が環流して特別小勢力高速度過電流継電器(KO-LQC₁₁)を動作せしめ保護遮断を行うようにしたものである。

母線の短絡と接地事故に対して単に1箇の継電器を使用し簡単な回路でしかも確実な保護を可能ならしめている。本継電方式に使用される継電器(KO-LQC₁₁)は消費電力0.1VA 動作時間はタップ電流の5倍で30msである。

〔VI〕 結 言

本変圧器は電圧、容量ともに負荷時タップ切換変圧器としては記録的製品であるとともに制御装置は初めての力率調整を採用した。ここに無事完成したことはその衝に当たった者としてこの上ない喜びである。

近時負荷時電圧調整器は送電々圧の調整、母線電圧の調整、電力連繫系統の無効電力制御、環状回路の電力制



第8図 電圧対向式母線保護方式
Fig.8. Schematic Diagram Opposing Voltage Relaying System, Using Summation Transformer

御などを行うため、その採用はますます増大する機運にある。われわれ製作者は本変圧器ならびに制御装置の結果に満足することなく、今後も進歩発展に努力したいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 首藤：日立評論別冊 No. 7 (昭和29-7)
- (2) 首藤：日立評論別冊 No. 5 (昭和28-12)

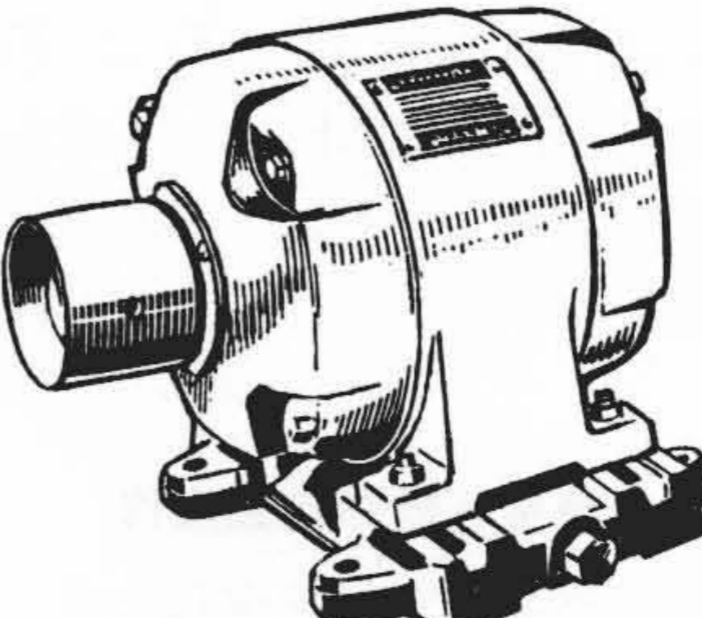
日立モートルの評判は

どこへ行つても絶対です。



日立モートルは各方面に於ける愛用者の方々へのゆきとどいたサービスと共に独特の一貫作業により安心して使つて頂ける力の強いそして寿命の永い優秀品であります

日立モートルの生産高と販売高がモートル界の第一位にある事によつてもその評判はわかりでしょう



日立製作所