U.D.C. 621.316.925.4 : 621.311.22

最近の火力発電所用特殊継電器

Recent Protective Relays for Thermal Power Plant

比良清一* Seiichi Hira
住田璋治* Shōji Sumita

内　容　梗　概

電力需要の急増に伴い各地に続々と火力発電所が建設されつつあるが，そこに使用される保護継電器も従来の水力発電所用にはみられない特殊の性能を有するものが要求されてきた。タービン発電機の回転子過熱保護用逆相分過電流継電器，所内の各種補機用高圧誘導電動機の過負荷保護継電器などがそれで，これらは共通の特色としていずれも長限時の反限時特性を有している。そこでこれら長限時継電器に要求される特性と理論的考察，性能などについて述べる。

1. 緒　　言

電力需要の増大とその円滑な供給のため，電力消費地付近に大容量新鋭火力発電所が急速に整備されてきた。これに伴って火力機器用特殊継電器の必要性が増大し，日立製作所はこの要望に従って各種の新形継電器を開発した。本文においてはこれらのうち，特に長限時特性を必要とするタービン発電機保護用逆相分過電流継電器および電動機保護用過負荷継電器についてその概要を述べる。

一般にタービン発電機は回転数が高いため，負荷電流に逆相分電流を含む場合，回転子がその渦流によって過熱される。したがってこれを防止するため逆相分電流が所定の値以上になったとき，適当な限時をもって警報するか，負荷を遮断するかの処置をしなければならない。このためタービン保護用として逆相分過電流継電器が使用される[1]。

また火力発電所にはタービン，ボイラなどの各種補機用として多くの高圧誘導電動機が使用されているが，これらはその使命の重要性から，過負荷時に突然自動遮断するのは好ましくなく，その過負荷程度に応じて警報，限時遮断，瞬時遮断など適確な処理の行われることが望ましい。このため電動機の過負荷，短絡保護継電器が使用される。以下これらの継電器について述べる。

2. 逆相分過電流継電器

2.1 継電器に要求される限時特性の概要

一般に電気機器を保護する過電流継電器の電流一時間特性は，電流が増加するに従い指数的に動作時間の減少する反限時性としているが，この反限時特性は保護せんとする機器の温度上昇とよくマッチすることが必要である。

火力用タービン発電機の場合は，三相の負荷の不平衡により固定子に不平衡電流が流れると，それに含まれる逆相分電流により，回転界磁と同速反対方向の回転界磁が生じてやはり回転子を切り，そのため二倍周波数の制動電流が回転子表面を軸方向に環流し，回転子は温度上昇し過熱されてゆくのであるが，通常その回転子表面の温度上昇は次のHに比例して増加するとされている[2]。

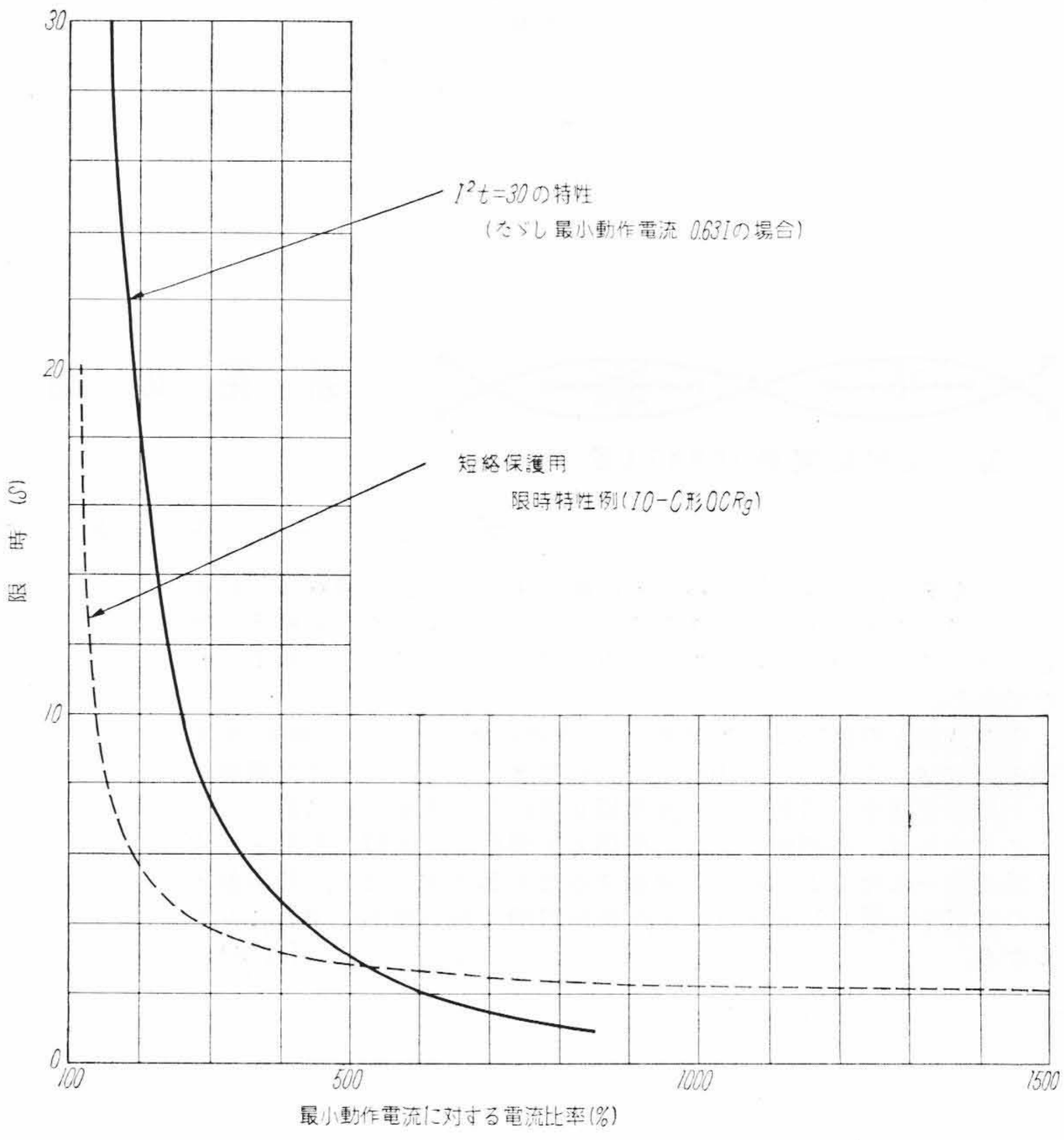
$$H=\int_0^t i_2^2\,dt=I_2^2\cdot t \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに　i_2：逆相分電流の瞬時値。

I_2：単位法で表した逆相分電流で発電機定格電流を1とする。

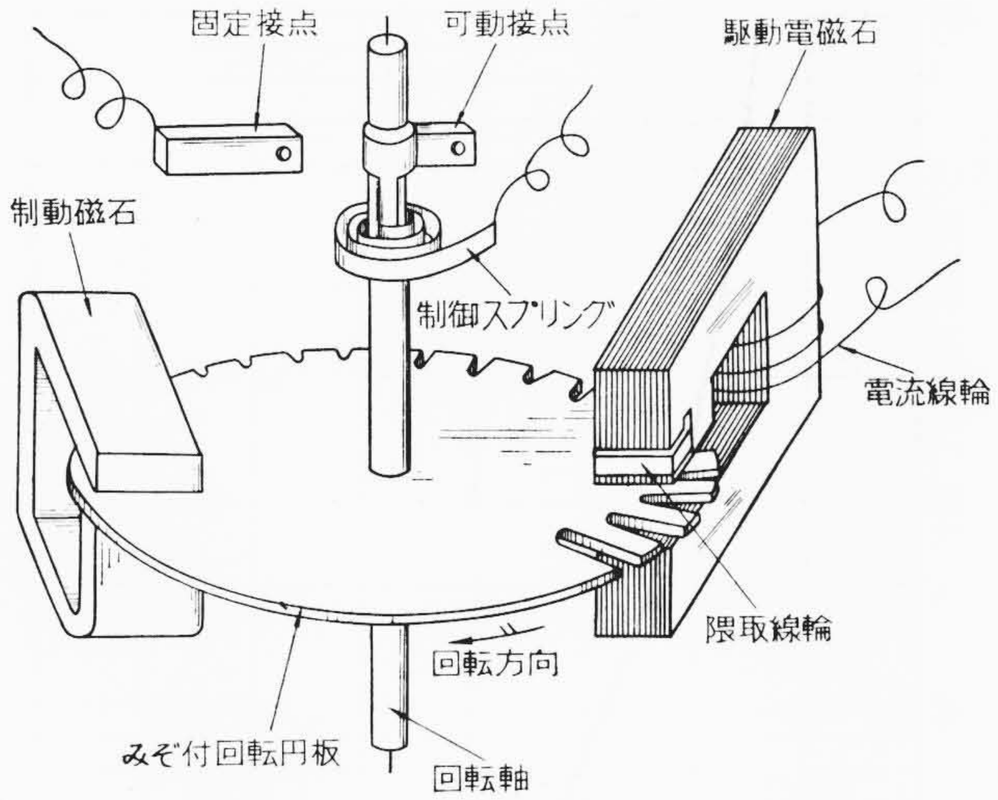
t：時間(s)

このHの値は機器の温度上昇を安全な範囲で許容限界点を定めれば定数となり，タービン発電機の場合はその構造上 $H=30$ なら回転子がなんらの損傷をも受けず安全に運転できる限度とされている[2]。この $H=30$ とは逆相分電流 $I_2=1$ のときには30秒間は安全であることを意味する。したがってこれを保護する過電流継電器の限時特性はほぼ $I_2^2\cdot t=30$ の曲線に沿うものであればよいことになる。**第1図**の曲線はこれを表わしたもので，従来の短絡保護継電器の限時特性に比較するとかなり特性の異なった長限時特性が必要とせられていることがわかる。



第1図　$I_2^2\cdot t=30$ の特性曲線

* 日立製作所多賀工場



第２図　誘導形回転円板式継電器原理構造図

2.2　限時特性の理論的考察

長限時要素としては誘導円板形継電器を使用するが，これには変圧器式とくま取線輪式の二種類があり継電器の動作時間検討に関する限り，いずれも同じように取扱うことができるので**第２図**のように，くま取線輪式について述べる。これはひとつは今回開発せる継電器がタービン発電機の逆相分過電流継電器のように，逆相分電流のみを取出すフィルターネットワークを利用するため小勢力継電器を目標としたためでもある。

電流線輪の巻かれた電磁石はくま取線輪の移相効果により移動磁界を生じ，回転円板に矢印の方向の回転力を発生する。この回転力は円板軸にとりつけた渦巻状制御スプリングの制御力にうちかったとき円板を回転させる。

電流線輪による磁束が線輪電流に比例するとすれば，電磁石により円板に与えられる回転力Tは，線輪電流Iの自乗に比例する，したがって回転円板の抵抗をRとすれば，回転力Tは

$$T = k\frac{I^2}{R} \quad \cdots\cdots(2)$$

ここに　k:　継電器定数

限時整定目盛最大（一般に最大値はレバーNo. 10 とする）のときの回転力を T_0，このときの円板の抵抗を R_0，起動電流を I_0 とすれば，

$$T_0 = k\frac{I_0^2}{R_0} \quad \cdots\cdots(3)$$

一方このときの制御スプリングの偏位角およびその単位角あたりの回転力をそれぞれ θ_0, τ とすれば，制御スプリングによる制御回転力は $\theta_0 \cdot \tau$ で表わされる。したがって軸受部の摩擦を無視すれば

$$T_0 = \theta_0 \cdot \tau \quad \cdots\cdots(4)$$

となる。つぎに円板周囲に深さの異なったみぞを設け，駆動トルクと制御スプリングトルクとを補償させる条件のもとに，円板位置が最大限時位置より θ だけ移動した位置にある場合，電流線輪に I_0 の K倍の電流を通じたときの回転力を T_1 とすれば

$$T_1 = K^2 \cdot k \cdot \frac{I_0^2}{R_0} \cdot \frac{(\theta+\theta_0)}{\theta} \quad \cdots\cdots(5)$$

しかるに(３)，(４)式より　$k \cdot \frac{I_0^2}{R_0} = \theta_0 \cdot \tau$ であるから，

$$T_1 = K^2 \cdot \tau \cdot (\theta+\theta_0) \quad \cdots\cdots(6)$$

次に回転部分の軸のまわりの慣性能率をJ，制動定数をNとすれば円板回転の運動方程式は

$$J \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + N \cdot \frac{d\theta}{dt} + \tau \cdot \theta = K^2 \cdot \tau \cdot (\theta+\theta_0) - \tau\theta_0 \quad \cdots\cdots(7)$$

これを解けば

$$t \fallingdotseq \frac{1}{\alpha_1} \log e \left\{\left(1-\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) \cdot \left(\frac{\theta+\theta_0}{\theta_0}\right)\right\} \text{ (s)} \quad \cdots\cdots(8)$$

ここで α_1，α_2 は慣性能率J，制御定数N，ねじり定数τ，電流倍数Kなどによって定まる定数である。

すなわち(８)式より継電器の限時が得られるわけである。したがって本式の各部の値を適宜定めれば任意の動作時間，特性が得られる。

2.3　逆相分過電流継電器

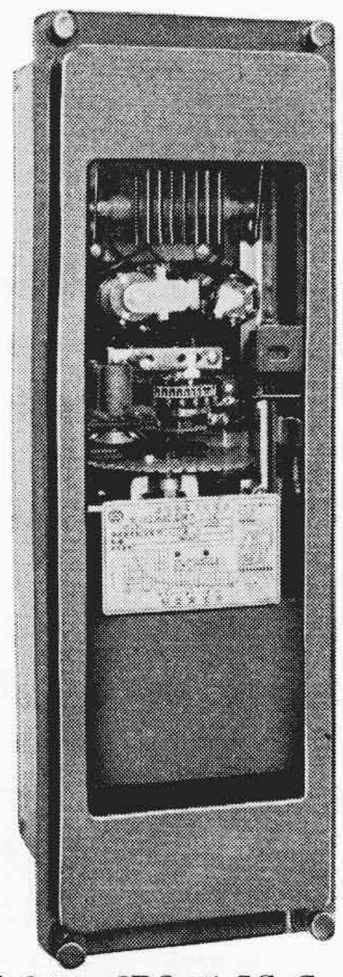
前項の考察のもとに設計製作した IPO 形 SC-G_2 式逆相分過電流継電器の外観を**第３図**に，同じく内部接続図を**第４図**に示す。

負荷電流を $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ とし補助変流器を通して $\dot{I}_b - \dot{I}_a, \dot{I}_c - \dot{I}_b$, を抵抗およびリアクトルよりなる負荷に印加すれば，その合成端子電圧 $\dot{e}$ は次のとおりあらわされる。

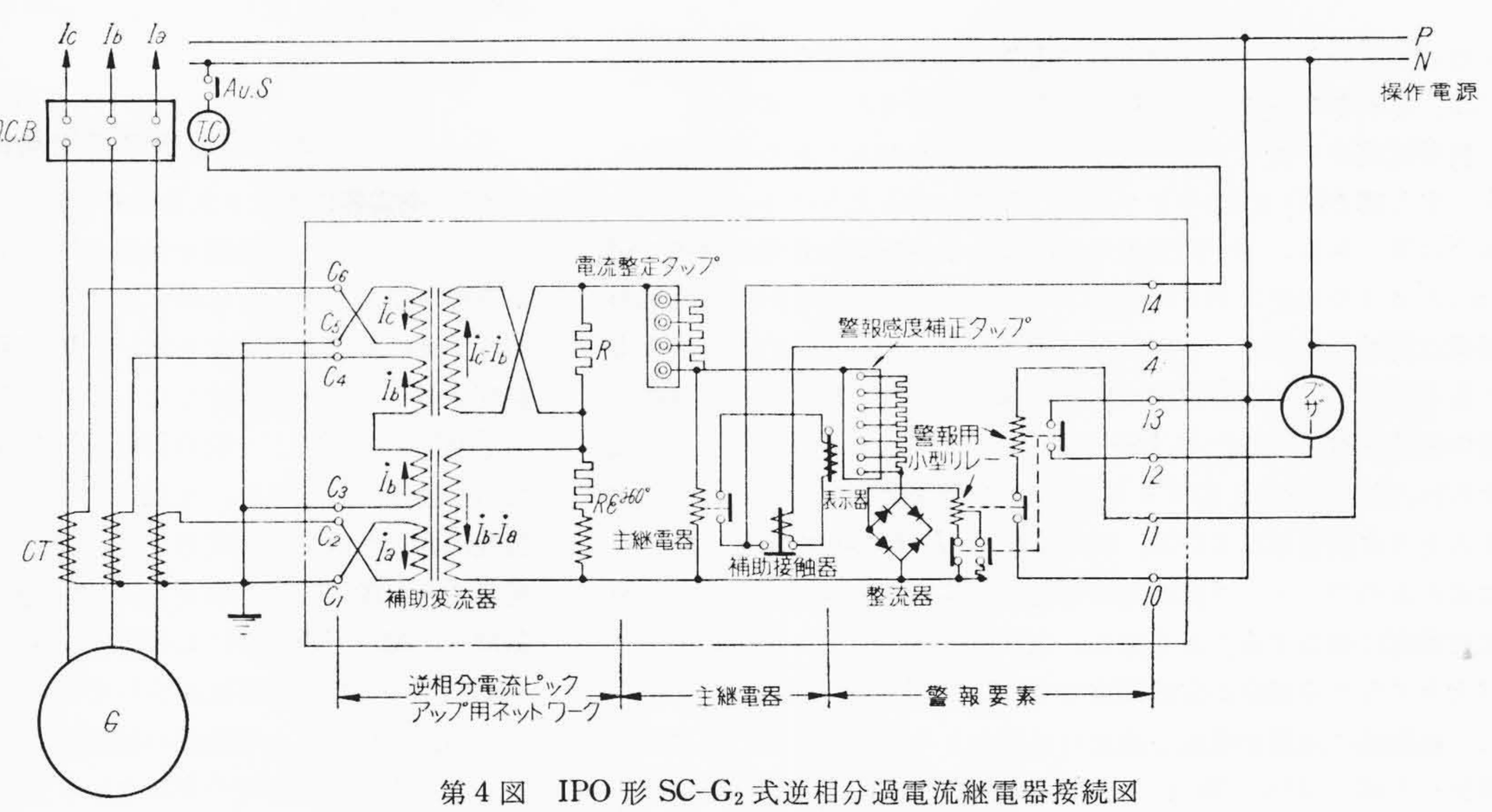
$$\dot{e} = (\dot{I}_b - \dot{I}_a) R\varepsilon^{j60} + (\dot{I}_c - \dot{I}_b) R \quad \cdots\cdots(9)$$

I_a，I_b，I_c を対称分に分けて(９)に入れると

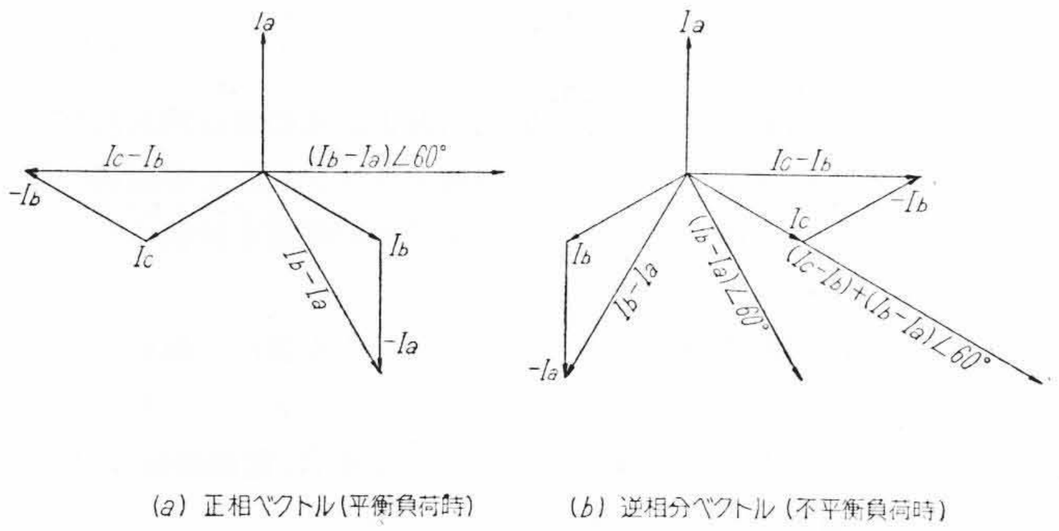
$$\dot{e} = 3a^2\dot{I}_2 \quad \cdots\cdots(10)$$



第３図　IPO 形 SC-G_2 式
逆相分過電流継電器

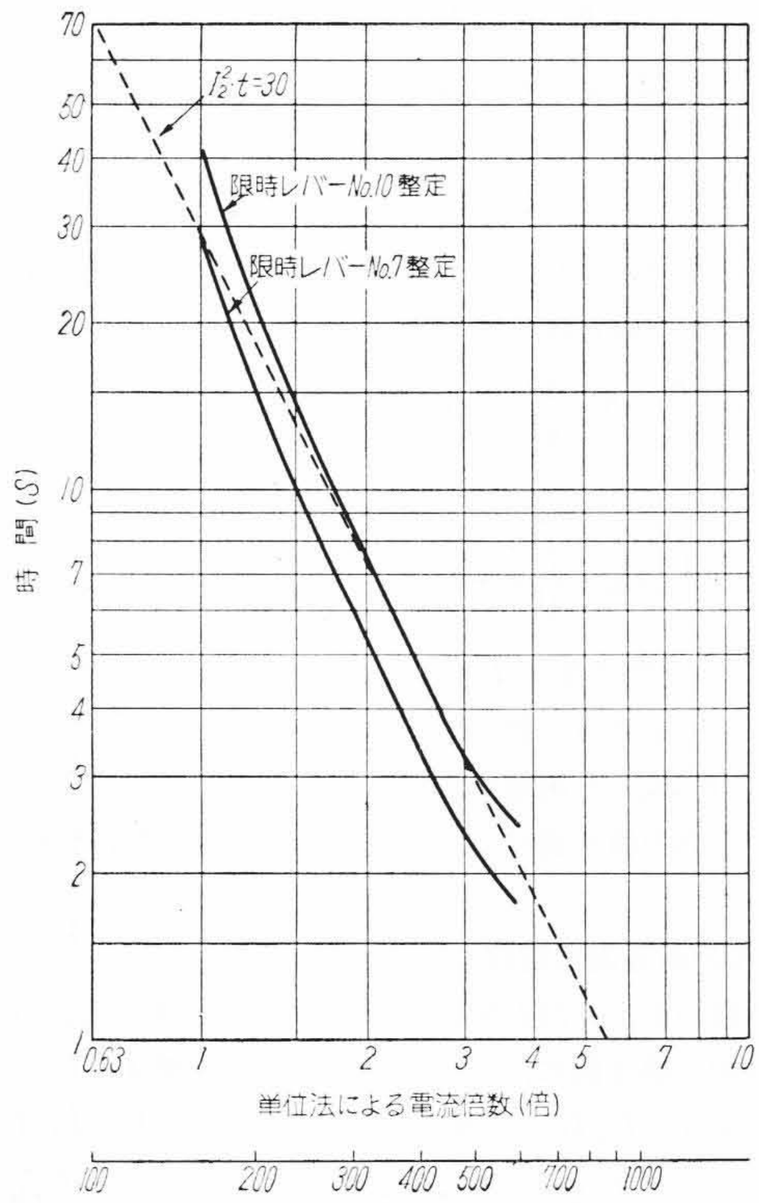


第４図　IPO 形 SC-G_2 式逆相分過電流継電器接続図



(a) 正相ベクトル(平衡負荷時)　　(b) 逆相分ベクトル(不平衡負荷時)

第5図　逆相分電流ピックアップネットワークのベクトル図



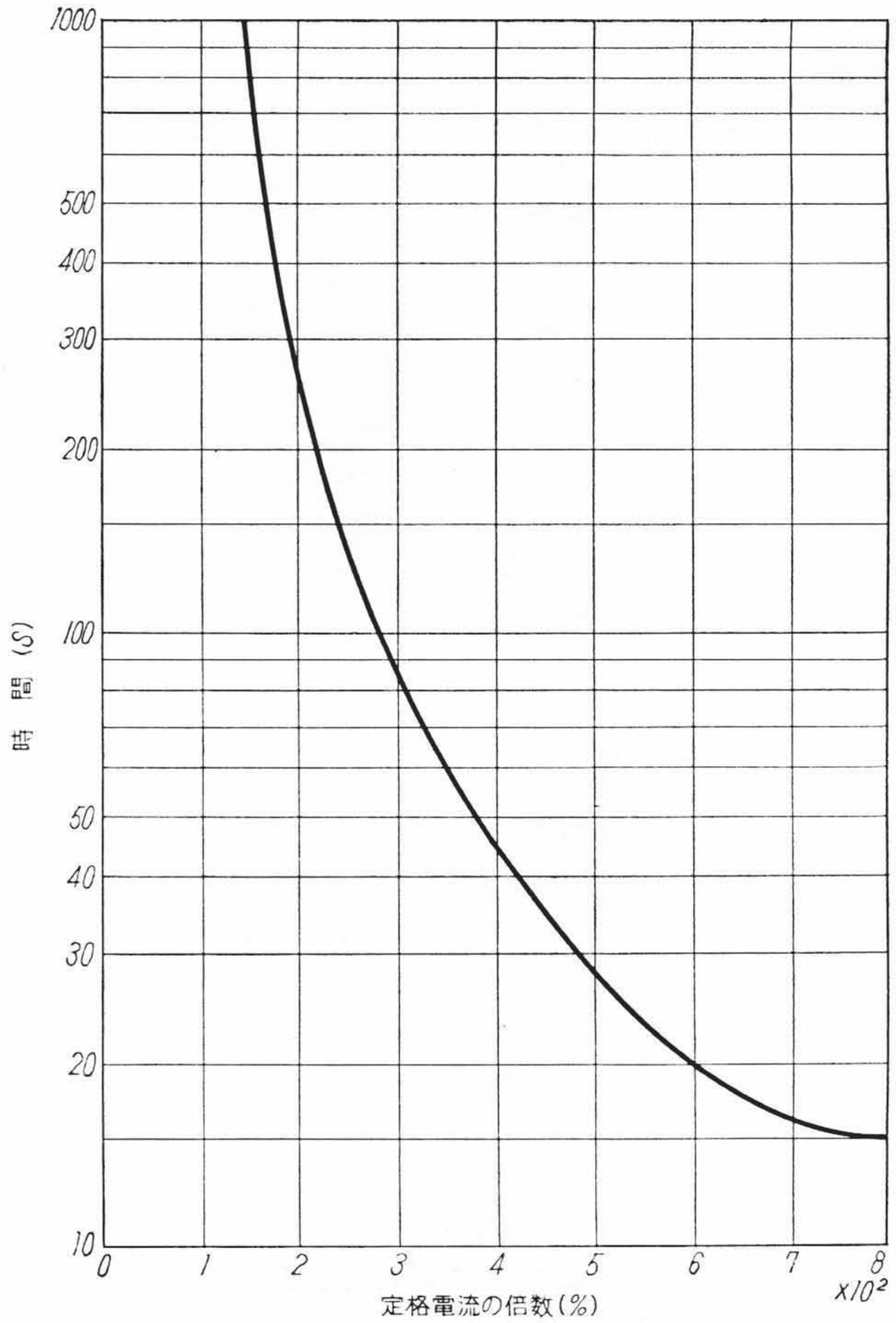
第6図　IPO形 SC-G_2 式逆相分過電流継電器の限時特性

$$\text{ここに}\quad a=-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

となり抵抗ならびにリアクトルの大きさを上式を満足するように選べば，ネットワーク出力は逆相分電流に比例することになる。

負荷電流が平衡している状態では正相電流のみであり(10)式からも，また**第5図**(a)のベクトル図からもわかるようにネットワーク出力は零である。不平衡電流の場合，含まれる逆相分電流は**第5図**(b)のような電圧出力となる。この電圧により駆動される継電器の要素は誘導円板形のくま取要素と小形電話リレーを用いた警報要素がある。発電機の定格電流に応じた C. T. 二次電流に対し継電器の動作電流を整定するため 1.9—2.2—2.5—2.8A の4個のタップが設けられ，限時要素はこのタップ値で動作，警報要素はその40%で動作するように調整されている。限時特性を $I^2\cdot t=30$ を満足するように定めるので，タップ値は定格電流の約63%に，警報要素の動作値は約25%に相当することとなる。実際運転において，負荷の不平衡が大きくなり逆相分が定格電流の25%に達すると警報要素が動作し，運転員に注意を喚起し適宜の処置をとらしめ，さらに逆相分が増加した場合 $I^2\cdot t=30$ に相当する限時ののちに，遮断器引はずしを行うことになる。

限時要素の限時を実際の製品について試験した結果は**第6図**のとおりであり，特性曲線は(8)式の理論式に基き設計されたが，実測の結果計算値とほぼ一致している。したがってこのような限時特性を有する逆相分過電流継電器を発電機に用いれば，特に回転子が円筒形の一体鍛造品であるため逆相分電流による影響が大きく，はなはだしい場合には局部的な過熱により機械的強度が非常な危険にさらされていた火力機の保護には有効であり，かつ主継電器動作前約25%前後の逆相分増大によって警報を発することは，突然主継電器が動作，引はずしを行い系統より分離することを避け，その間に十分保守員に適宜の処置をとらしむる余裕を与えるためますます効果的なものとしている。



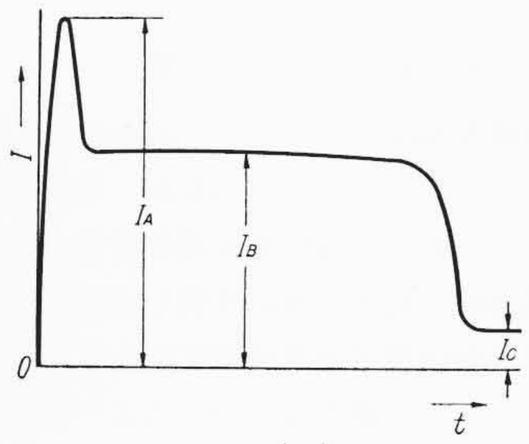
(中容量高圧誘導電動機の一例)

第7図　電動機温度上昇特性

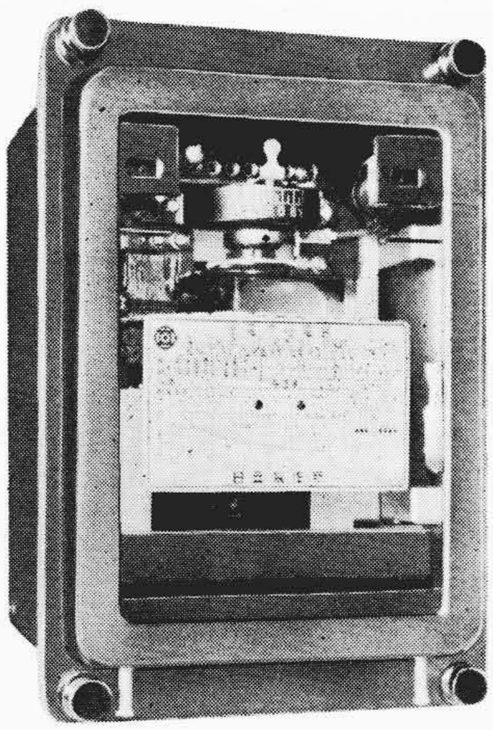
3. 電動機保護用過負荷継電器

3.1 継電器に要求される限時特性

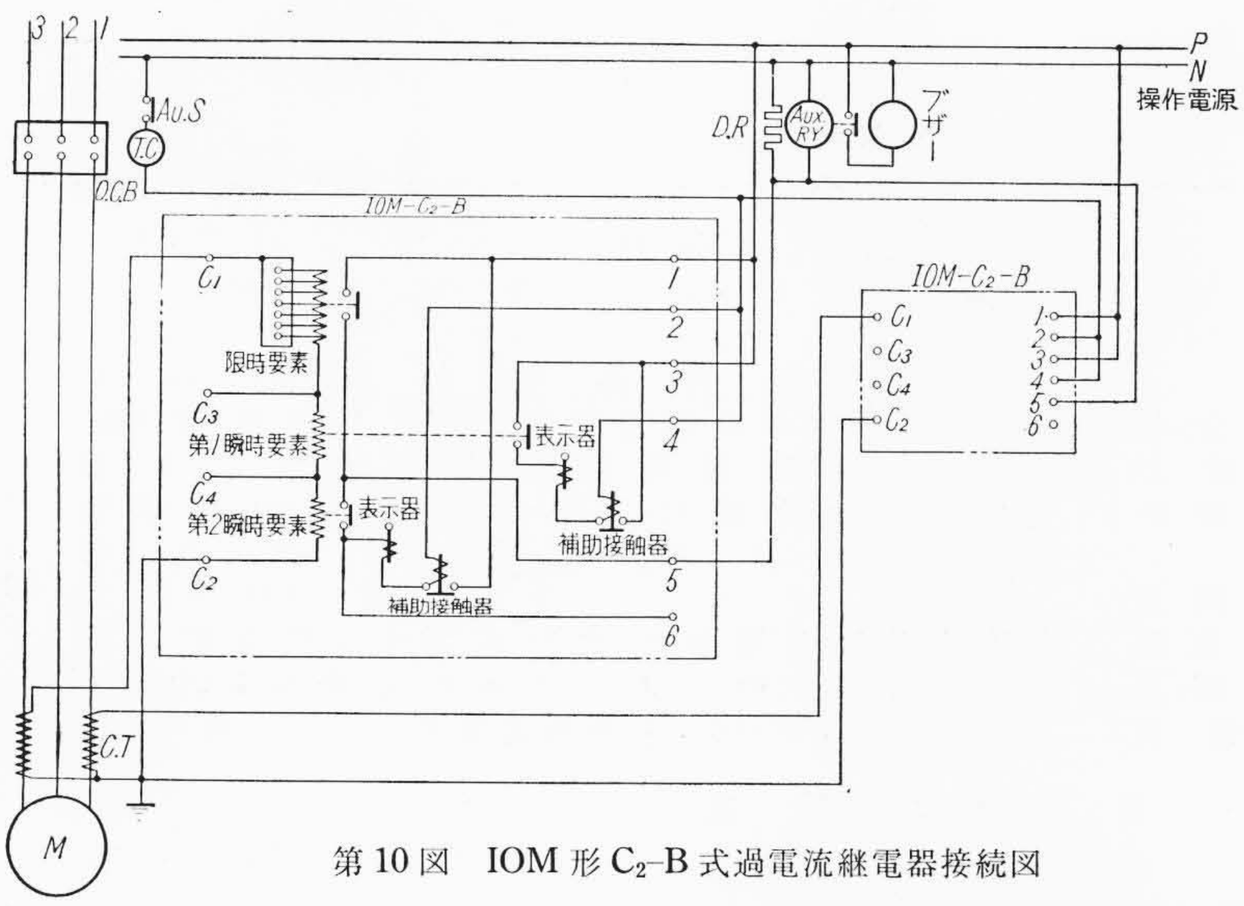
一般に高圧誘導電動機を保護する場合は，過負荷によって電動機の巻線が温度上昇し，危険に達する前に動作するよう継電器の限時特性が選ばれなければならない。**第7図**は中容量高圧誘導電動機の温度上昇特性の一例を示したものである。すなわちこの特性においても前項と同様に，一般の過電流継電器の特性と比較し，かなり異なった特性が要求され，またその動作限時も極端に長い。一方この特性に合った継電器では万一電動機付近の回路に短絡故障を生じた場合，その動作時間がおそく，配線を焼損することはもちろん，電動機変圧器などの機器にも損傷を与える結果となり好ましくない。したがってこの保護継電器としては別に短絡保護用継電器が必要であるが，これはまた電動機の起動時に誤動作をしないようにするため，よくその起動電流の有様をとらえ適確な整定を行った上使用されなければならない(3)。突入電流，起動電流，定格電流の関係はポンプ，ファン，ミルなどの負荷の種類により異なるがその様子は



第8図　電動機突入電流起動電流



第9図　IOM 形 C_2–B 式過電流継電器

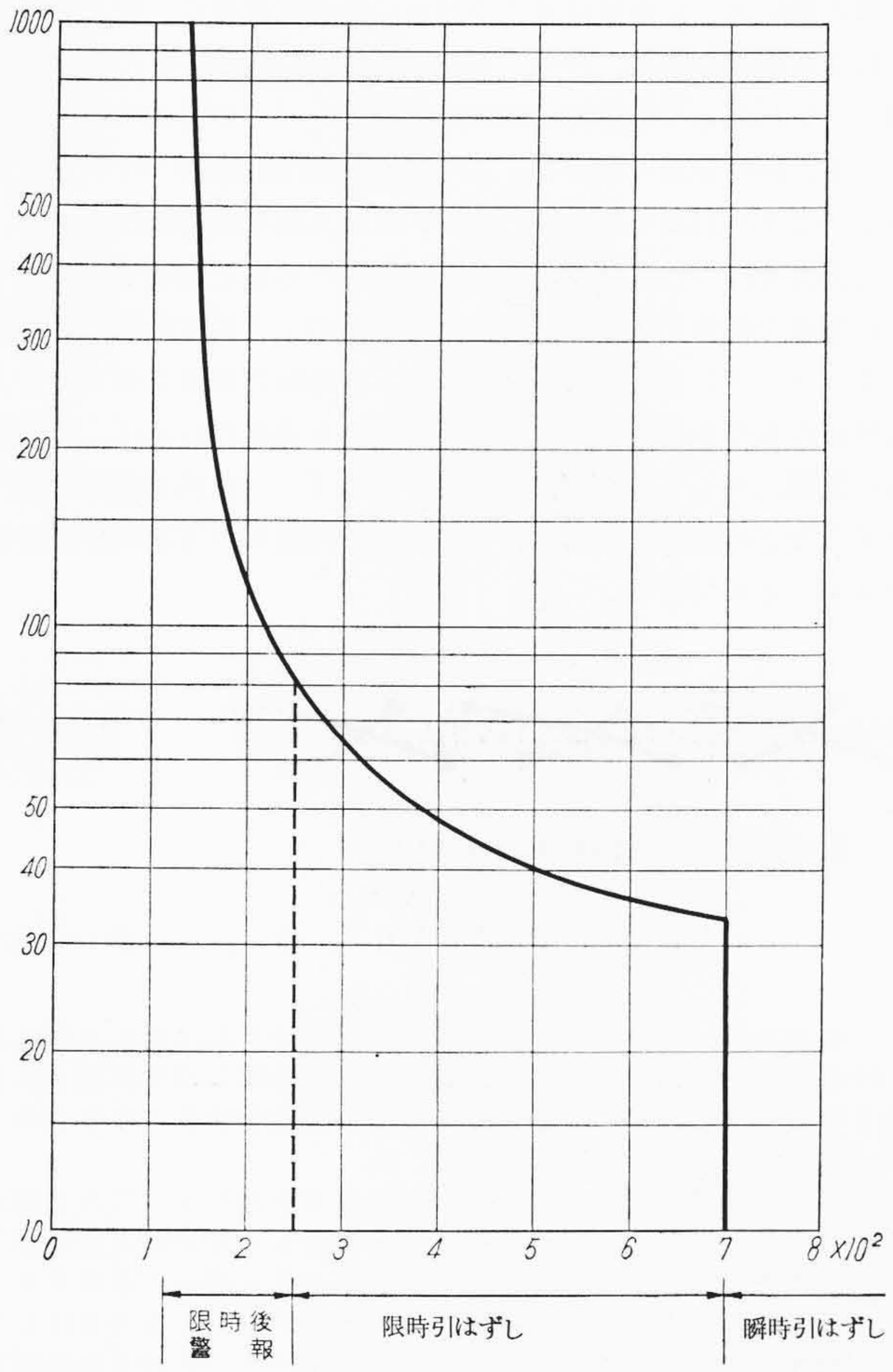


第10図　IOM 形 C_2–B 式過電流継電器接続図

第1表　電動機突入電流起動電流

負荷の種類	起動電流 $\left(\frac{I_B}{I_C}\right)$	突入電流 $\left(\frac{I_A}{I_B}\right)$
ポンプ	500～600%	130～150%
ファン	500～900%	
ミル	800～1,200%	

I_A：端入電流　I_B：起動電流　I_C：定格電流



（第1瞬時要素を電動機定格電流の700%，第2を250%に整定した場合）

第11図　IOM 形 C_2–B 式過電流継電器の限時特性

第8図（a）（b）に示すとおりで，負荷別による突入，起動，定格電流の関係は大体**第1表**に示す値となる。突入電流は第1波で起動電流の130～150%，第2波で 110～120% 程度で減衰は速いが，短絡保護継電器はこの突入電流で誤動作せぬように整定されなければならない。

3.2　電動機保護用過負荷継電器

第9図は IOM 形 C_2–B 式過電流継電器の外観で，その接続は**第10図**に示すとおり3要素より構成されている。限時要素は誘導円板形でこの動作感度は電動機の定格電流に応じて適宜整定する必要があるので7個の電流整定タップを有している。この要素はタップ値の 115% の過電流が流れたとき動作する。瞬時要素は2個あり，ともにヒンジ形電磁石で固定鉄心の一部たる中央磁極を調整することにより任意の動作感度が得られ，普通第1瞬時要素は短絡保護の目的上タップ値の約 700% 以上に整定され，第2は限時要素と組合わせてロッキング事故などの保護を主目的とするのでタップ値の約 250% 程度に整定される。これら3要素の接点を組合わせることにより過負荷時（約 250% 以下）には限時要素のみが動作し

て警報を発生して運転員に適善の処置をとらしめ，ロッキング事故時（約250～700%）にはまず第2瞬時要素が動作したのち限時要素が限時動作を行って自動的に遮断器引はずしを行い，さらに短絡事故時（約700～1,500% 以上）にはただちに第1瞬時要素が動作して瞬時引はずしを行う。

ここで限時要素に要求される特性は，前述のとおり電動機の過負荷温度上昇特性によくマッチしたものでなければならないが，さきに**第7図**に示した曲線は高圧中容量の誘導電動機の一例であって，これは電動機の構造，容量，回転数，負荷の種類などにより千差万別で，したがって継電器は個別的に限時レバーを整定する必要がある。また瞬時要素も前述のとおり突入電流で誤動作しない点に電流整定がなされねばならない。**第11図**は本器の限時特性である。

火力発電所の各種補機用として使用される高圧誘導電動機はそれぞれ重要な使命を有するため，本継電器のように電動機の過熱特性によくマッチした長限時の限時要素と瞬時動作要素2個を含む3要素構成のものを使用し限時，電流の整定を適確に行えば，軽過負荷時の警報，ロッキング事故時の限時引はずし，短絡事故時の瞬時引はずしなどの諸動作を行い，きわめて有効適切な電動機保護の役目を果すことができる。

4. 結　　言

誘導円板形過電流継電器はすでに数十年にわたり，電力関係者には最も普遍化されているものの一つであるが，最近の活発な新鋭火力発電所の建設に伴う新しい高性能保護継電器の強い要望のもとに，タービン発電機回転子過熱保護用逆相分過電流継電器，各種補機用高圧電動機の過負荷保護用過電流継電器などの長限時継電器が開発されたのである。これら継電器の使用により機器の特性によくマッチしたきわめて有効な保護が可能になったわけであるが，本稿ではこれらに要求される諸特性と，それに共通の特色である長限時動作の理論的解析，およびそれによって設計された上記各継電器の性能について述べたものである。

参　考　文　献

（1）広吉，大瀬，渡井：日立評論 別冊 23，49（昭 33-6）
（2）J. E. Barkle, W. E. Glassburn : T. A. I. E. E. 72, pt. Ⅲ 282～285(1953)
（3）F. J. Maginniss, N. R. Schultn : T. A. I. E. E. 63, 641～646 (1944)
（4）和島，田口：保護継電器（昭 12. 修教社書院）

新　案　の　紹　介

実用新案登録 第496721号

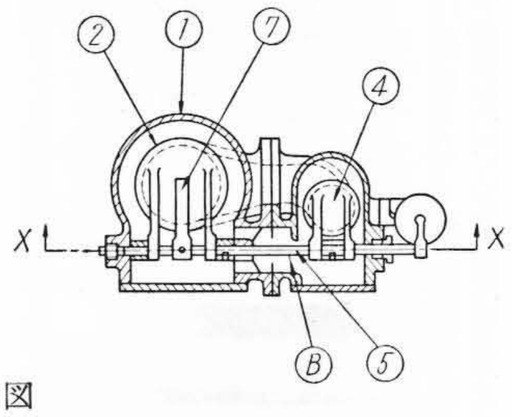
木暮 健三郎・山内 章正

ウォータハンマ防止用逆止弁装置

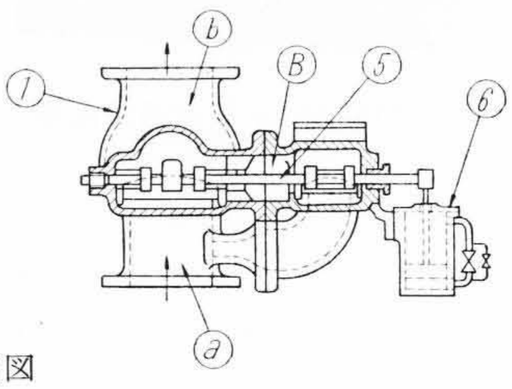
この考案は，主弁およびバイパス弁を同一または異なる軸に取りつけたバイパス緩閉形のものにおいて，主弁体1の出口側*b*に主弁軸5の貫通するバイパス通路*B*を設けた構造を特長とするものである。

ポンプの通常運転時には，流体は主弁2を押し上げて入口側*a*より出口側*b*に流れる。同時にアーム7を介して主弁軸5を回転してバイパス弁4を開放させるとともに，ダッシュポット6のピストンを上昇させる。もし，停電などにより逆流が起ると主弁2はただちに閉鎖するので，逆流液は通路*B*を流れてバイパス弁4を急閉鎖しようとする。しかし，ダッシュポット6によりその急閉鎖は緩和されるから，ウォータハンマの発生は防止される。

従来のものはバイパス通路が長くなり，装置全体が大形化する欠点があったが，この考案によれば逆流側バイパス通路を非常に短かくすることができるばかりでなく，バイパス弁を主弁体と並立させることができるから構造簡単となり，取りつけ空間および資材を非常に節約できる効果がある。



横断面図



X－X 断面図

Vol. 42　日　立　評　論　No. 11

目　次

分光光電光度計小特集
◎分光光電光度計による発光分析
◎干渉フィルタを用いた光電光度計
◎回折格子を使用した分光光度計
論　文
◎背圧蒸気タービン調整上の問題
◎直流電源昇圧用3,500 kW シリコン整流器
◎66 kV 7,500 kVA ケーブル直結形変圧器
◎誘導電動機の三相短絡電流
◎限取極誘導電動機の解析
◎客電車車体の軽量設計に関する考察（第3報）
◎農林省印旛沼排水機場ポンプ設備
◎電子計算機による水撃現象の計算法
◎日立有線放送電話装置
◎17形カラー受像管 430 AB 22
◎複導体送電線の捻回に関する理論的考察
◎特殊鋼中のバナジウムの定量法について
◎タンデムコンパウンド再熱蒸気タービンの保守点検

発行所　日立論評社
取次店　株式会社オーム社書店