U. D. C. 621.316.925

SDB 形 母 線 保 護 継 電 器

Differential Relay for Bus Protection —Type SDB

三 木 義 照* 井 上 浩** 本 名 孝 男***
Yoshiteru Miki Hiroshi Inoue Takao Honmei

内 容 梗 概

最近の発変電所の大容量化にともなう母線規模の拡大，ならびにその構成の複雑さに起因する母線保護の問題点を解決するため，新しくSDB形母線保護継電器を開発したのでその概要を述べ，問題点に対する解決方法を示した。

1. 緒 言

発変電所の母線事故は，送電線などの事故に比べ，そのひん度は小さいが，これが系統に与える影響は非常に広く，しかも大きい。最近のように発変電所が大容量化し，超高圧連係で系統容量が増大してくるとますますこの傾向が強い。一方これにともない母線構成も単一母線から二重母線，さらには連係二重母線へと複雑になってきている。したがって，今日，母線保護継電器に要求される条件は，非常に過酷なものになっている。すなわち

（1） 最大外部故障電流が過大となるばかりでなく，これと最小動作内部故障電流の比である保護率も高いものが要求される。 従来では短絡保護の場合この保護率[1]は20～30で十分であったが，最近ではこれを越えるものが出現している。

（2） 母線構成が複雑になってきたため，故障母線の選択遮断が要求される。 このためCT 2次の切換が容易な継電器でなくてはならない。また内部に異系統を含む場合の一括母線保護も要求されることがある。

（3） 故障電流が過大となるので，CT 飽和の影響を極力さけるためCT 2次負担はできるだけ小さくする必要がある。

（4） 地絡保護も抵抗接地，直接接地を問わず高速度遮断が望まれる。

（5） 母線接続端子数が増加し，その運転も複雑になっているので，母線切換にともなう端子数の増減により感度の変動ならびに協調のくずれない継電方式が要求される。

以上のような最近の母線保護の問題点を解決するため，新しくトランジスタを使ったSDB形母線保護継電器を開発したので，以下その概要を述べる。

2. 母線保護継電器のトランジスタ化

従来，母線保護継電器には電磁形継電器が用いられていたが，これをトランジスタ化することにより下記に示すような特長が得られる。

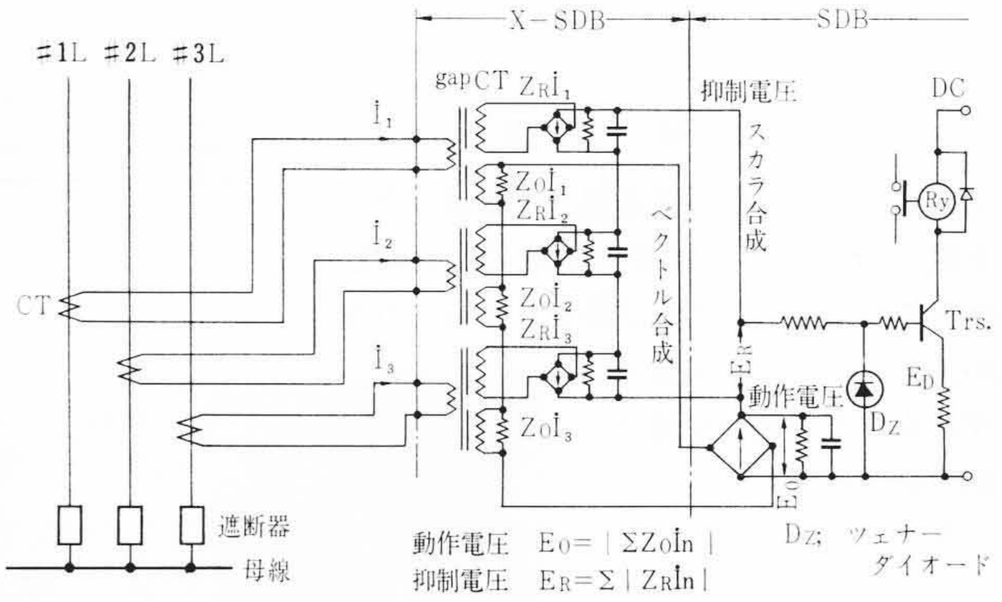
（1） 送電線の母線切換によりCT 2次回路の接続変更が必要な場合，CT 2次電流を電圧変換して動作させるので2次側の切換が容易となる。

（2） 検出感度が向上し，CT 負担が軽くなるので地絡保護にも適用できる。

（3） 負担を軽くすることができるので磁気回路の飽和の影響が少なく，かつリミッタ回路を活用するなどにより保護率を大きくすることができる。

（4） 可動部，接点機構にもとづく障害がなくなる。

* 日立製作所日立研究所
** 日立製作所国分工場
*** 日立製作所那珂工場



第1図 SDB形母線保護継電器の原理説明図

以上のように母線保護継電器のトランジスタ化は，最近の母線保護の問題点を解決する有力な手段となりうる。本継電器をトランジスタ化するに際し次のような注意を払っている。

（1） トランジスタとしては温度特性の良いシリコンを用い，回路的には電圧比較回路，スイッチング回路として用いることにより，温度の影響をほとんど受けない良好な特性を得ている。

（2） リミッタ回路ならびにサージ吸収回路を設け，トランジスタに過電圧，過電流ならびに高周波サージが加えられることのないようにしている。

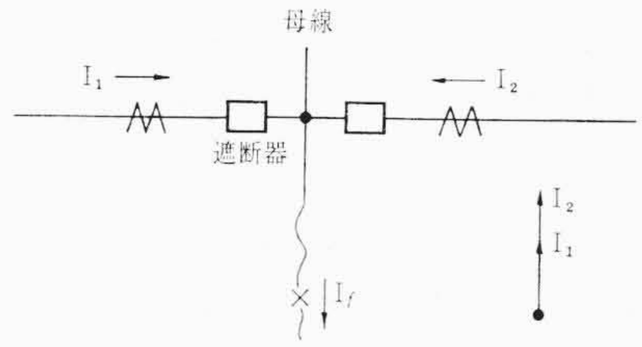
（3） トランジスタとしては，製作不良にともなう初期不良を取り除いた高信頼度のトランジスタを用いているので継電器として十分な信頼度を有する。

3. SDB形母線保護継電器

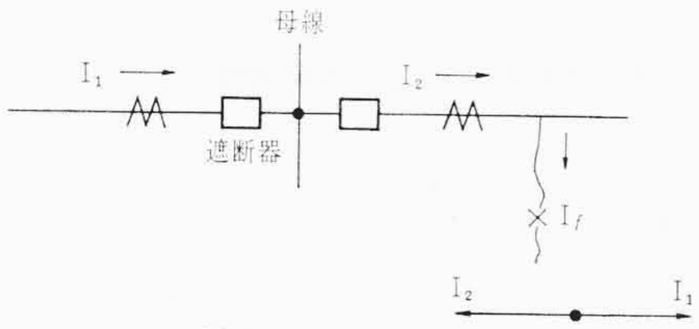
SDB形母線保護継電器の動作原理は，日立製作所で長い歴史を有するスカラ抑制付電流差動継電器 (ADB)[2] と同一原理によっているが，CT 2次入力部に gap CT を設け電流を電圧変換して動作させている。また電圧検出部には，特に信頼度の点で考慮されたシリコントランジスタを使用している。

3.1 動 作 原 理

第1図はSDB形母線保護継電器の原理説明図で，母線に接続された各回線の電流はCTによりそれぞれの gap CT に導かれる。 この gap CT では，入力電流に比例した動作電圧，抑制電圧をそれぞれ発生する。 これらの電圧は，gap CT のため広範囲な直線性を有するとともに，過渡直流分の影響[2]をほとんど受けないようになっている。 また gap CT の1次(電流入力側)と2次(電圧出力側)の結合は非常に疎になっているため，CT 2次負担はこの gap CT の1次側の励磁負担により決まり gap CT 2次側の電圧負担にはほとんど影響されない。 したがって母線切換にともなうCT 2次回路の接続変更はこの gap CT の2次側にて安全かつ容易に行なわれる。

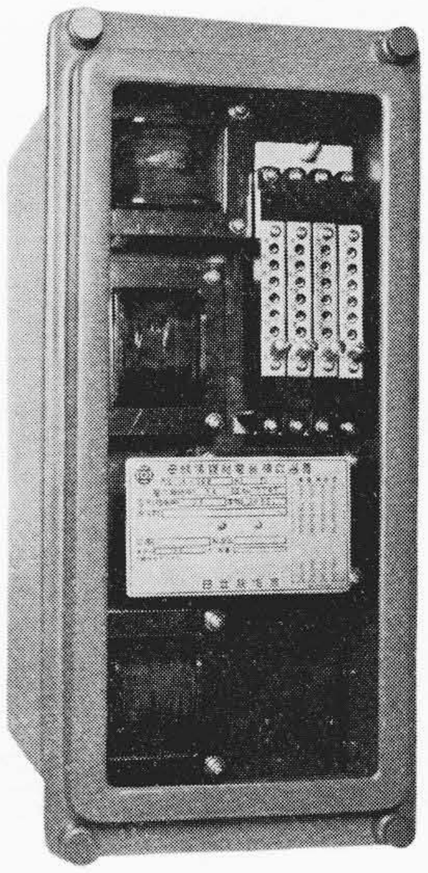


(a) 内部故障

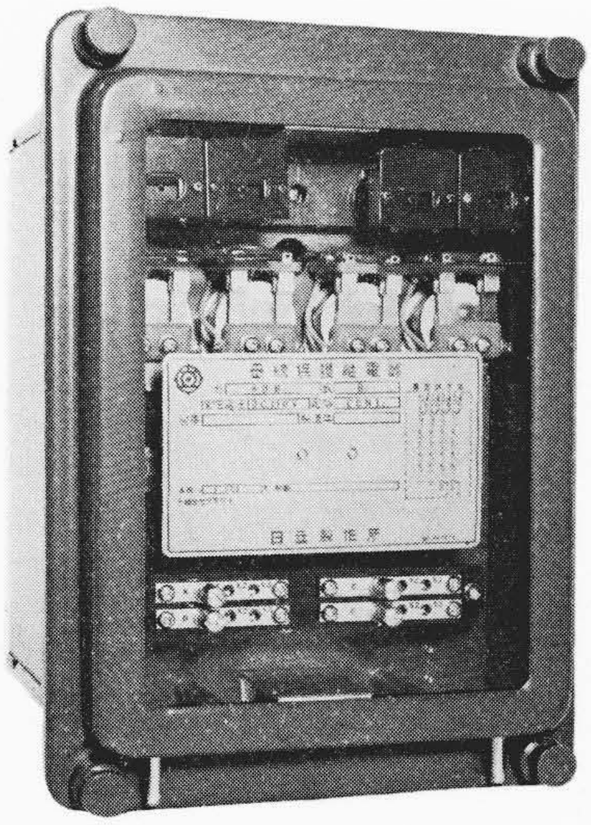


(b) 外部故障

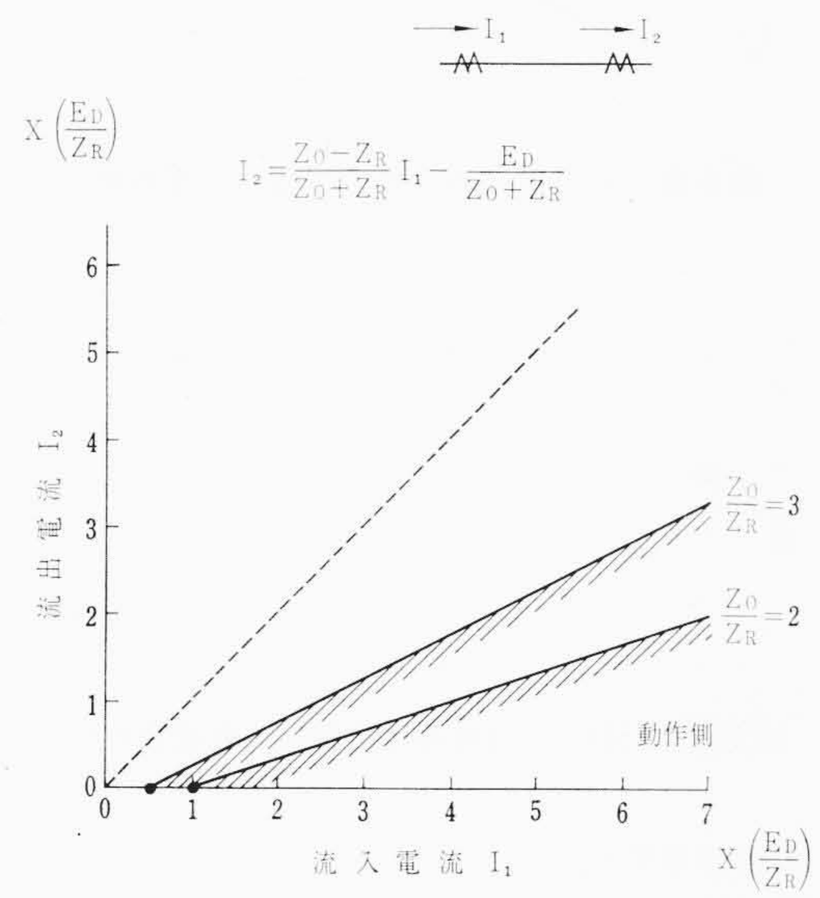
第2図 2 端 子 母 線



第4図 X-SDB 補 助 箱



第5図 SDB 形 継 電 器



第3図 ス カ ラ 抑 制 の 効 果

gap CT の2次側に発生した各回線の動作電圧はすべて直列にベクトル合成されるので，電流差動のようなCT2次の分流による感度の低下は起こらない。しかし各gap CTの2次側の電圧発生巻線は直列インピーダンスを持っているのでこのための感度低下は発生する。したがってこの直列インピーダンスが電圧検出部の入力インピーダンスに対し十分小さくなるよう2次巻線に並列に抵抗を設け10～20端子程度の多端子でも適用できるようにしてある。このベクトル合成された動作電圧は最後に整流平滑され直流電圧 E_0 となり(1)式で表わされる。

$$E_0=\left|\sum_{n=1}^{n} Z_0\dot{I}_n\right|=Z_0\left|\sum_{n=1}^{n}\dot{I}_n\right| \quad \cdots\cdots(1)$$

ただし， $\dot{I}_n$： 各回線のCT2次電流

Z_0： gap CTによる動作電圧変換比

一方各回線の抑制電圧はまず整流平滑された後に直列合成，すなわちスカラ合成される。この合成電圧を E_R とすると(2)式に示されるようになる。

$$E_R=\sum_{n=1}^{n}\left|Z_R\dot{I}_n\right|=Z_R\sum_{n=1}^{n}\left|\dot{I}_n\right| \quad \cdots\cdots(2)$$

ただし， Z_R： gap CTによる抑制電圧変換比

これら二つの動作電圧 E_0 と抑制電圧 E_R は，さらに直列差動され，得られた差電圧はトランジスタによる電圧検出回路により電圧判定される。動作電圧 E_0 が抑制電圧 E_R より大きければ差電圧は正となりトランジスタ(Trs.)は導通し直流継電器 R_y が動作する。したがって本継電器の動作式は(3)式に示すようになる。

$$E_0-E_R=Z_0\left|\sum_{n=1}^{n}\dot{I}_n\right|-Z_R\sum_{n=1}^{n}\left|\dot{I}_n\right|>E_D \quad \cdots\cdots(3)$$

ただし， E_D： 差電圧検出回路の感度電圧

まず第2図に示す基本的な2端子系について本継電器の動作を説明する。

第2図(a)に示す内部故障の場合，$\dot{I}_1$ と $\dot{I}_2$ を同相と仮定し，その大きさをそれぞれ I_1, I_2 とすれば動作電圧 E_0 は(4)式に，抑制電圧 E_R は(5)式に示される。

$$E_0=Z_0(I_1+I_2) \quad \cdots\cdots(4)$$

$$E_R=Z_R(I_1+I_2) \quad \cdots\cdots(5)$$

したがってこれらの差電圧は(6)式になる。

$$E_0-E_R=(Z_0-Z_R)(I_1+I_2) \quad \cdots\cdots(6)$$

ここで故障点電流 I_f，すなわち I_1 と I_2 の和が継電器の最小動作感度電流 I_0 より大きければ継電器は動作する。I_0 は(7)式により与えられる。

$$I_0=\frac{E_D}{Z_0-Z_R} \quad \cdots\cdots(7)$$

ただし， $Z_0>Z_R$ とする

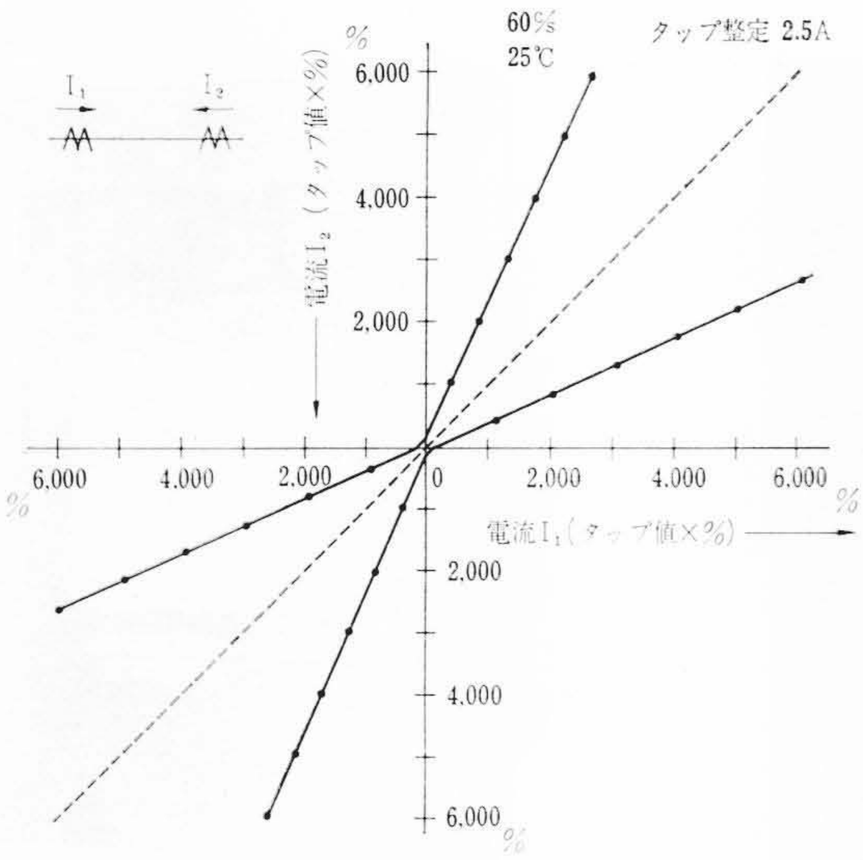
つぎに第2図(b)に示す外部故障の場合，$\dot{I}_1$ と $\dot{I}_2$ は大きさ等しく方向が反対であるので動作電圧 E_0 は零となり，抑制電圧は(5)式と同じく零とならないので差電圧は負になり継電器は動作しない。しかしこれはCT誤差がない場合であり，実際には故障電流が過大な場合，CT特性の不均一とか，多端子における電流の不平衡のためCT誤差による動作電圧が発生する。このような場合の動作を説明するため流出端CTに $n\%$ の負誤差があると仮定してみる。動作電圧 E_0 は(8)式に示されるように零とはならない。

$$E_0=Z_0(I_1-I_2)=Z_0\cdot\frac{n}{100}I_1 \quad \cdots\cdots(8)$$

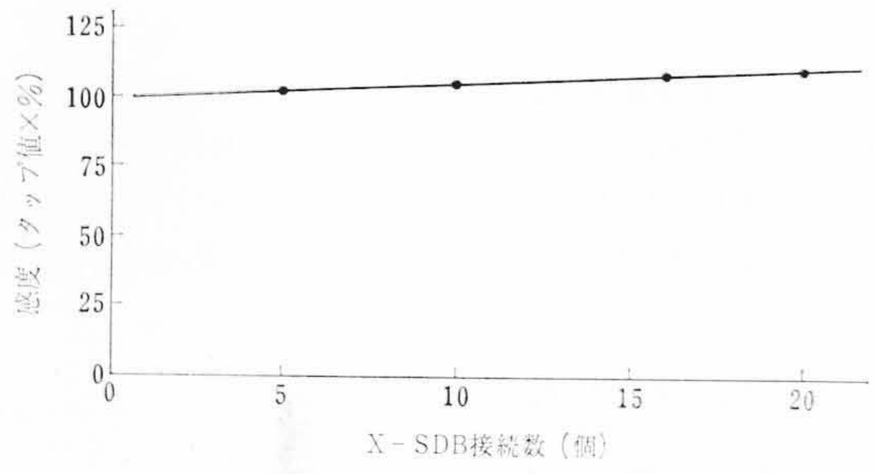
一方抑制電圧 E_R は(9)式に示すようになる。

$$E_R=Z_R(I_1+I_2)=Z_R\frac{200-n}{100}I_1 \quad \cdots\cdots(9)$$

したがって差電圧は(10)式となる。



第6図　SDB形母線保護継電器電流差動特性



第7図　多端子接続時の感度変化

$$E_0-E_R=\frac{I_1}{100}\{Z_0n-Z_R(200-n)\} \quad \cdots\cdots(10)$$

流出端CTに$n\%$の誤作を生じても本継電器が動作しないためには(10)式の差動電圧は負とならなければならないのでZ_0とZ_Rには(11)式の関係が成立する。

$$\frac{200-n}{n}>\frac{Z_0}{Z_R}>1 \quad \cdots\cdots(11)$$

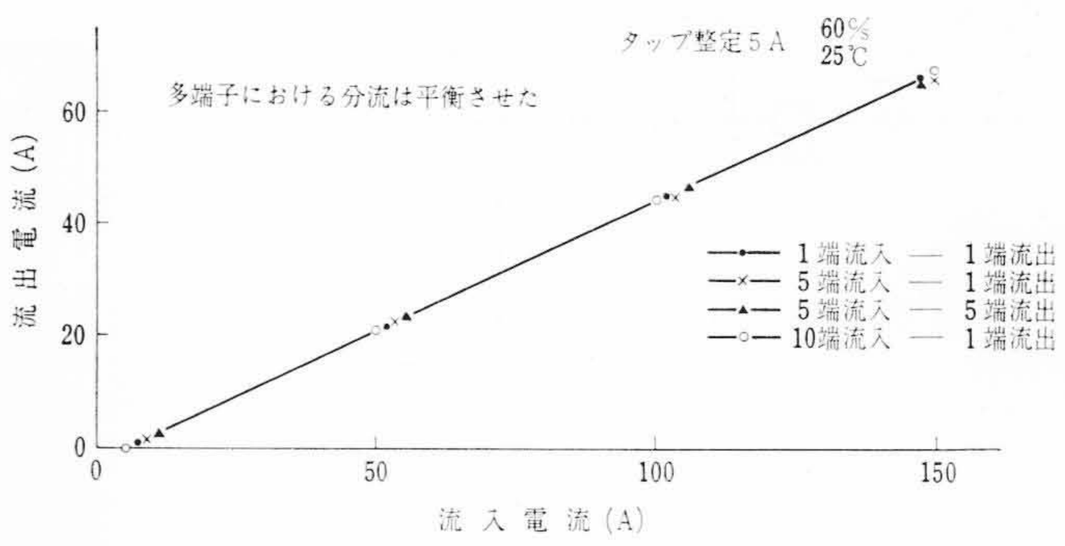
(11)式より$Z_0/Z_R=2$とすると$n=67\%$，$Z_0/Z_R=3$では$n=50\%$までCT誤差が許される。この関係を電流差動特性で示すと**第3図**のようになる。以上2端子の場合について説明したが，多端子の場合も流入端，流出端に分けて考えれば2端子の場合と同様のことがいえる。以上述べたように本継電器はスカラ抑制によりCT誤差による誤動作を防ぐほか，過渡直流分の問題，多端子および母線切換にともなう感度の変動，協調，接続変更の問題を解決するほか，CTの負担低減を図り，飽和の影響を少なくするとともに感度を向上させて抵抗接地系における地絡保護をも可能にしている。また電流差動方式であるため内部に異系統を含む場合の一括母線保護も行なうことができる。

3.2　構　　造

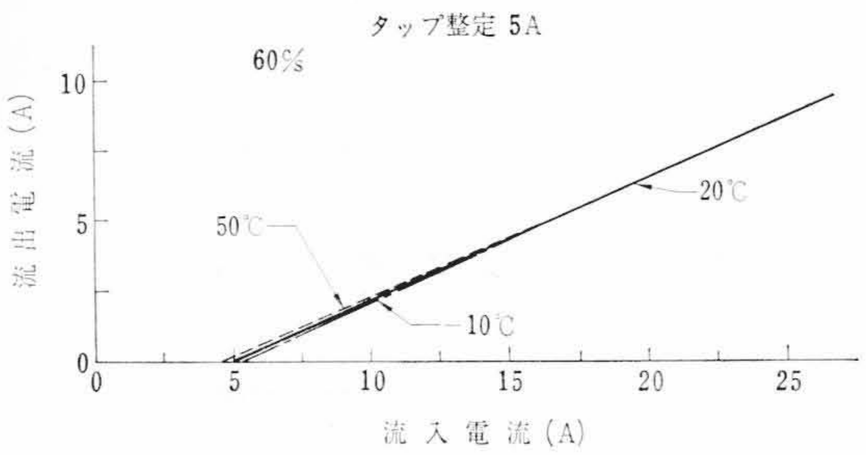
本継電器はCT2次電流により動作電圧，抑制電圧を導出する入力変換部X-SDBと，動作電圧，抑制電圧より差電圧をつくりこれを検出して終段リレーを動作させる差電圧検出部SDBよりなっている。これらは母線構成に応じて組み合わせて用いられる。

（1）　X-SDB形補助箱

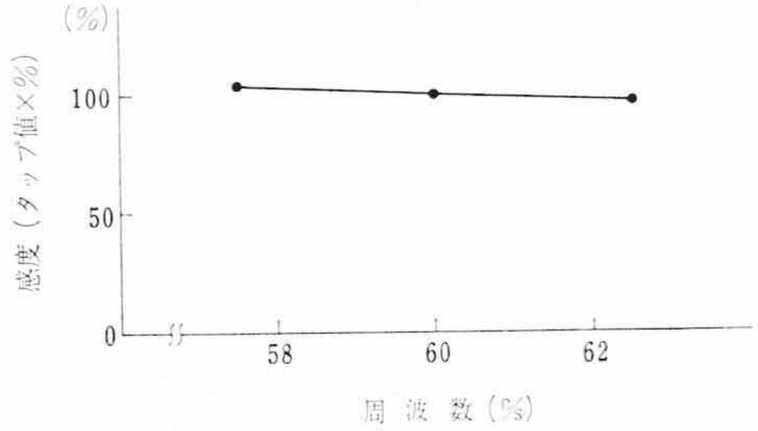
入力変換部は各回線ごとに区分する必要があり，**第4図**に示す外形のものにまとめられている。X-SDBには**第1図**に示す入力変換部を短絡用3相分，地絡用1相分，計4相分収納している。



第8図　多端子接続時の電流差動特性



第9図　SDB形母線保護継電器の温度特性



第10図　SDB形母線保護継電器の周波数特性

（2）　SDB形継電器

SDB形継電器は差電圧検出部を短絡用3相分，地絡用1相分，計4相分収納したものでその外形を**第5図**に示す。本継電器の主要部はシリコントランジスタを使った差電圧検出回路（**第1図参照**）でツェナーダイオードによるリミッタ回路とコンデンサ抵抗よりなるサージ吸収回路が付加されている。

本継電器の整定は，X-SDBによるタップ整定とSDBによる倍率整定で行なわれる。通常はX-SDBによるタップ整定だけでよいが，各回線のCT比が異なる場合にはタップ整定でCT比を合わせ，倍率整定で感度が整定できる。

本継電器は，操作用直流電源として所内バッテリーからのDC110Vを必要とするが内部にツェナーダイオードによる安定化回路を持っているのでその変動（90～140V）により特性が変化することはない。

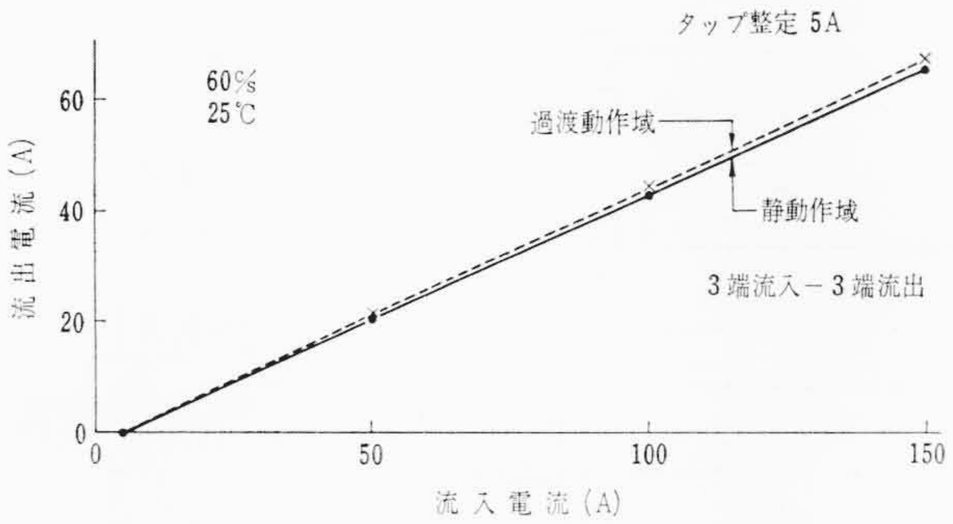
3.3　特　　性

（1）　電流差動特性

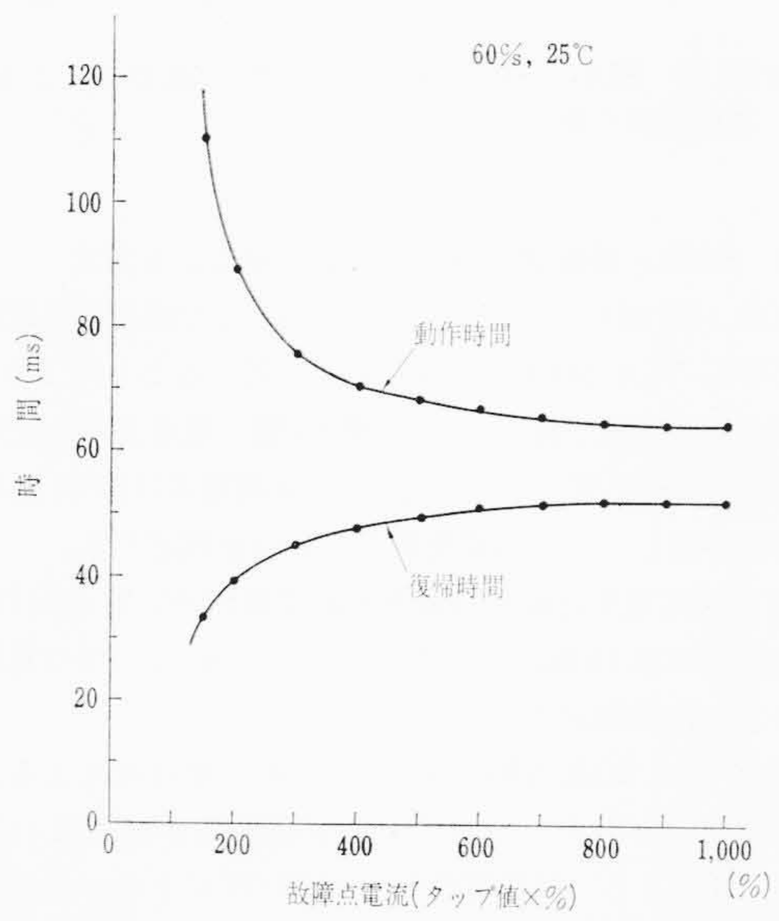
本継電器の電流差動特性を**第6図**に示す。その比率特性は任意の回線数の母線で，(流入電流－流出電流)/流出電流＝130%となるようにした。差動特性の直線性はタップ値の50倍，すなわち保護率50を目標に構成している。

（2）　多端子における感度変化

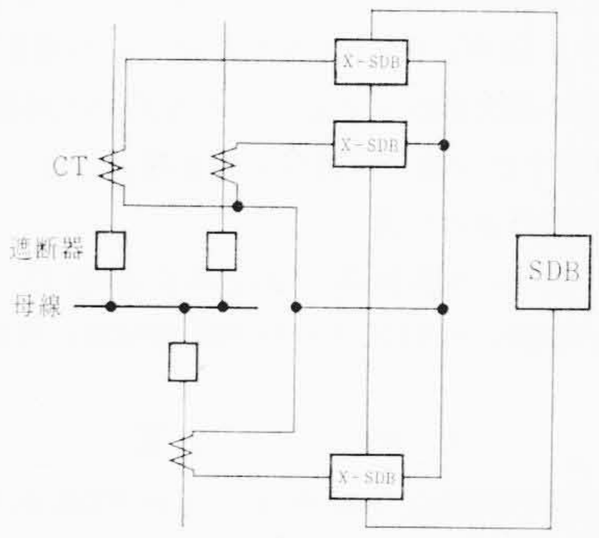
本継電器は直列差動のため，分流による感度変化はないが，gap CT2次巻線のインピーダンスによる電圧降下があるため端子数



第 11 図　SDB 形母線保護継電器の過渡特性



第 12 図　SDB 形母線保護継電器の動作時間



第 13 図　SDB 形母線保護継電器による単一母線の保護

が増すと感度が若干低下する。**第7図**は1端子より流入する場合の感度が無電流端子の増加により低下する様子を示したもので20端子の場合でもその感度低下は10% 以内にはいっている。**第8図**は流入流出端子を種々組み合わせて電流差動特性の変化をみたもので，その変化はほとんどない。

（3） 温 度 影 響

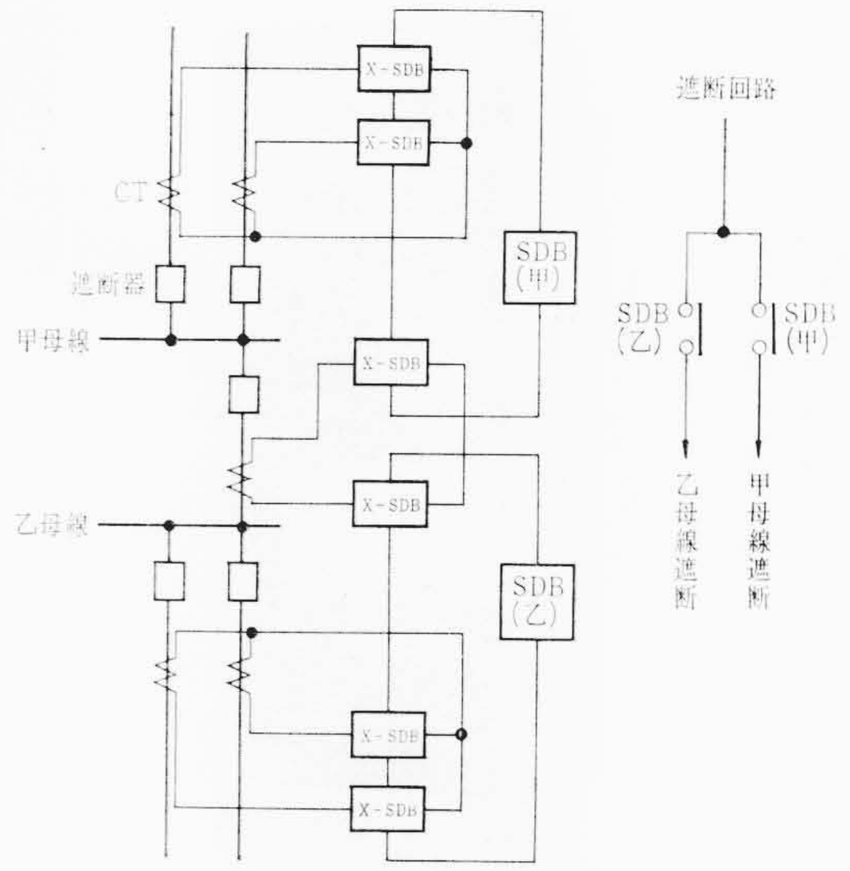
第9図は周囲温度の影響を電流差動特性でみたもので，各電流域にわたり 20℃±30℃ でその変化は ±5% 以内である。

（4） 周 波 数 影 響

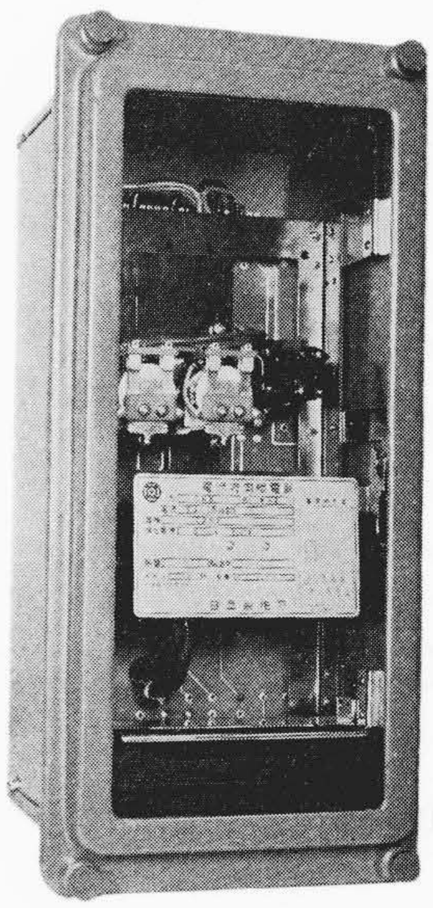
周波数による感度の変化は**第10図**に示すように ±2.5 c/s の変動で ±1.5% と小さい。

（5） 過 渡 特 性

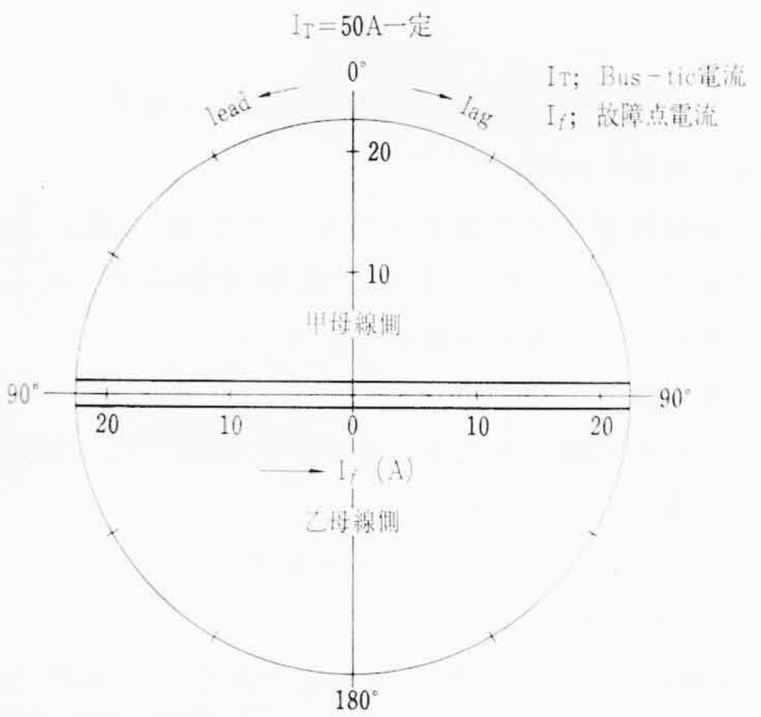
第11図は，直流分を多く含む回路(インピーダンス角85度)に



第 14 図　SDB 形母線保護継電器による二重母線の保護



第 15 図　電流方向比較形母線選択継電器—SHB-W

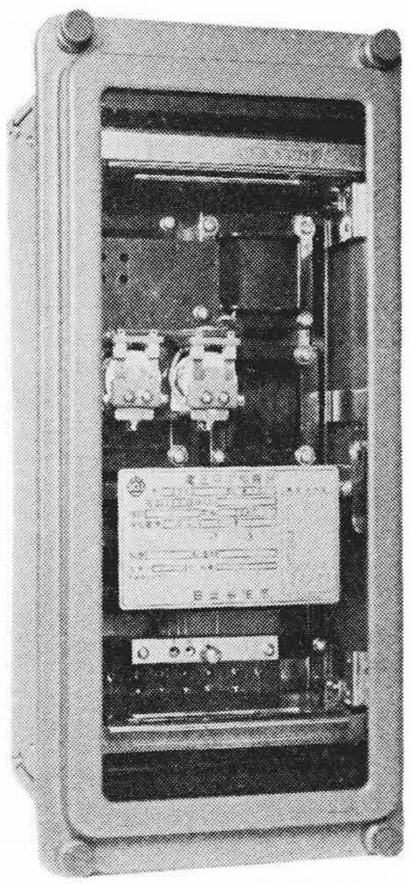


第 16 図　SHB-W 形母線選択継電器の位相特性

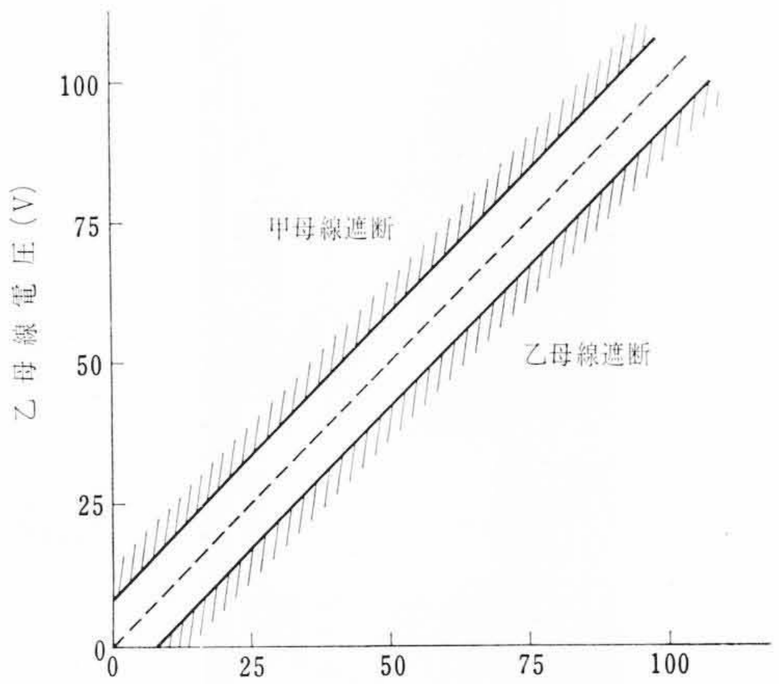
より，静特性と過渡特性の変化を電流差動特性で示したものでその変化は各電流域で3% 以下になっている。

（6） 動 作 時 間

第12図は動作時間，復帰時間を示したもので3～4サイクルの高速動作である。



第17図　電圧比較形母線選択継電器—SDV_3-W



第18図　SDV_3-W 形母線選択継電器の差電圧特性

（7）　CT 2 次　負　担

CT 2 次の負担は継電器のタップ値電流で約 0.5 VA と低負担である。

4. SDB 形母線保護継電器の適用

（1）　単一母線の保護

これは母線保護方式の基本となるもので**第13図**のように各回線ごとに設けた X-SDB と 1 台の SDB を組み合わせることにより短絡保護ならびに地絡保護ができる。

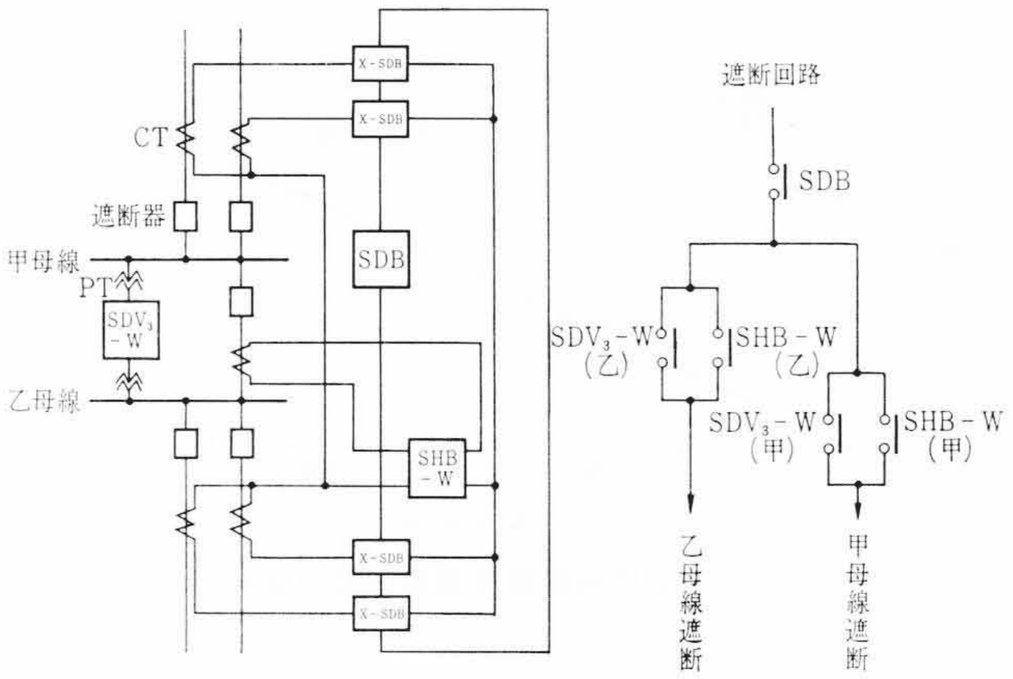
（2）　二重母線の保護

甲乙の二つの母線からなる二重母線の保護では，故障母線の選択遮断が必要である。

これには次にのべる二つの方式がある。

（i）　SDB 単独による方式

第14図に示すように甲乙両母線それぞれに SDB を設け，この両母線に接続されている回線ならびに母線連絡線の X-SDB をそれぞれの SDB に組み合わせる。 これにより甲乙両母線は独立に保護でき，故障母線の選択遮断ができる。しかしこの方式では回線の母線切換が行なわれる場合には，X-SDB 2 次の切換回路が必要である。



第19図　SDB，SHB-W，SDV_3-W の組合せによる二重母線の保護

（ii）　SDB と母線選択継電器の組合せによる方式

SDB と同様にトランジスタ化された母線選択継電器 SHB-W, SDV_3-W を SDB と組み合わせて用いることにより，さらに簡潔な保護方式が得られる。 **第15図**に電流方向比較形母線選択継電器 SHB-W の外形を示す。 本継電器は**第16図**に示す位相特性を有し，二つの電流相互の方向を判定する。

第17図に電圧比較形母線選択継電器 SDV_3-W の外形を示す。本継電器は**第18図**に示す差電圧特性を有し，二つの電圧相互の大きさを比較判定する。

第19図は SDB, SHB-W, SDV_3-W の組合せによる二重母線の保護方式を示す。 まず母線連絡遮断器が閉じている状態では，SDB による一括保護動作と SHB-W による一括差動回路電流と母線連絡回路電流との方向判定動作により故障母線の選択遮断を行なう。

また母線連絡遮断器が開かれている状態では SDB による一括保護動作と SDV_3-W による甲乙両母線の電圧比較動作により故障母線の選択遮断をする。この方式では回線の母線切換にともなう CT 2 次回路の接続変更を必要としない。

（3）　連係二重母線の保護

二重母線がさらに多数組み合わされた場合で，この場合にも（2）-（i）と同様に SDB により分割母線保護が可能である。

5. 結　　言

最近の母線保護の問題点を解決するため SDB 形母線保護継電器を開発し所期の特性を得ることができた。本継電器の適用範囲は非常に広く，単純な母線から連係二重母線のような複雑な母線にも適用が可能であるので将来の増設が予想される母線には特に有効である。

終わりに臨み，本継電器開発にあたり種々ご指導いただいた電力会社関係者各位に深く感謝する。

参　考　文　献

（1）　継電方式委員会（電研）中間報告：　母線保護継電方式（昭37-7）
（2）　高林，三田ほか：　日立評論　**42**, 773（昭 35-773）
（3）　三木，中山ほか：　昭 39 電気学会東京支部大会
（4）　7th National Symposium on R & Q. C（1961）