

配電線断線検出装置の開発

Development of Open-Circuit Protective Equipment for Overhead Distribution Lines

竹内俊夫* 西村光一*
 Toshio Takeuchi Kōichi Nishimura
 中山敬造** 能彦一彦**
 Keizō Nakayama Kazuhiko Nou

要 旨

配電近代化の一環として、架空配電線の断線事故に伴う公衆災害、欠相障害の未然防止が要望されている。今回 6 kV 級樹枝状配電線を対象として、断線点の負荷側電圧の異常によって起動し、各相をサイクリックに強制接地して検出保護を行なう断線検出装置を開発したので、方式の考え方および装置の動作を中心に述べる。

1. 緒 言

電力供給の信頼度向上と質的向上を目的とし、電力流通設備の近代化が着々と進められている。電力系統の中で配電線は需要家にもっとも近く、種々の社会的要請にこたえるために、特に積極的な近代化が望まれるところである。

配電線に事故が発生した場合には、保護継電器が動作して保護を行なうが、従来保護の対象としているのは短絡および地絡事故のみであり、断線事故は発生ひん度が少ないことと断線に伴う地絡事故によって検出することを期待し、特に専用の保護装置を設備していないのが現状である。しかし断線事故は公衆災害や欠相による負荷機器の損傷を生ずるおそれがあり、また電線の被覆化、道路舗装の整備につれて、その検出がますます困難になりつつある。

今回開発した断線検出装置は、樹枝状架空配電線の断線事故を対象としたものであり、以下その概要について述べる。

2. 断線検出保護方式

2.1 断線事故の様相

架空配電線は広い地域にわたり、常に自然の脅威にさらされているとともに、おもに道路に沿って架設されることから、各種の他物接触などにより事故が発生する機会が多い。通常の配電線事故は、絶縁破壊に基づく短絡、地絡などいわゆる電気的事故であるが、他物接触の場合や、短絡事故電流による電磁力あるいは事故電流継続による熔断など、機械的な断線事故に進展することもある。

断線事故では電線の垂下により、公衆災害を生じたり、低圧回路との混触により二次的に事故が拡大する危険がある。また樹枝状配電線では断線地点より負荷側の電圧が欠相状態となり、これを放置すると負荷電動機の焼損を招くおそれがあり、さらにループ配電線の断線事故では負荷電流相当の過大な零相分電流がループ内を環流することになるから、保護継電器の誤動作や焼損が発生する。したがって、断線事故はできるだけ早く検出し、その影響を最小にとどめねばならない。

断線事故には図 1 (a) (e) (i) に示すように、断線相数に応じて 1 線、2 線、3 線事故があり、短絡、地絡などの事故の併存状況および併存事故が断線点の電源側か負荷側かの組合せにより、図 1 に示すように多くの様相が考えられる。併存事故が電源側の場合には、変電所の配電線引出口に設置された短絡過電流リレーまたは地絡方向リレーによって検出し、保護を行なうことが期待できるが、その

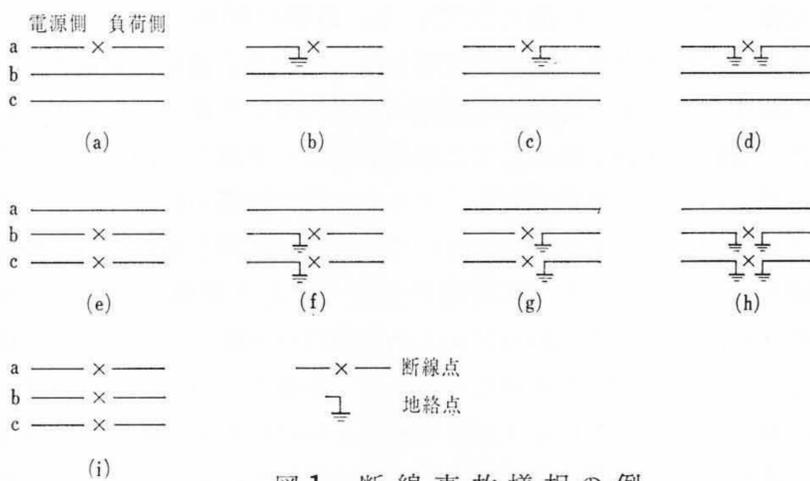


図 1 断線事故様相の例

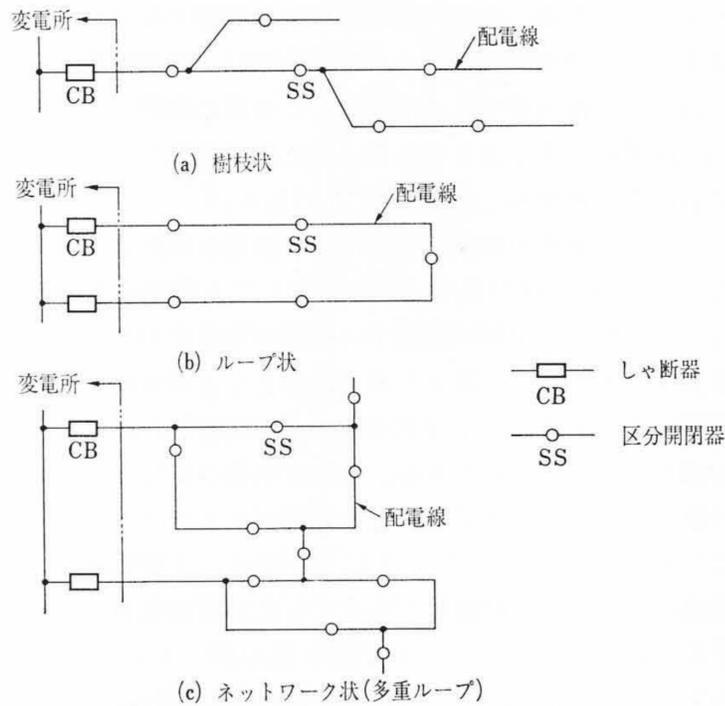


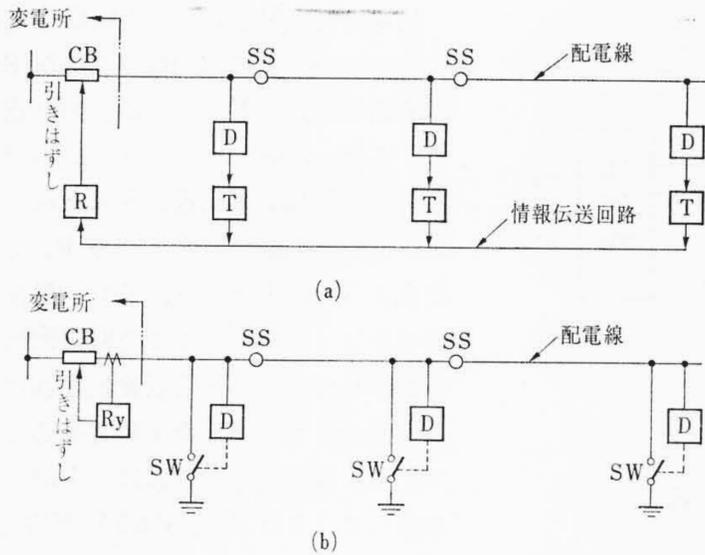
図 2 配電方式

ほかの場合には検出できないことが多い。また電線垂下による地絡事故の場合にも、絶縁電線の使用と道路舗装の普及につれて地絡点抵抗がきわめて大となる傾向にあり、従来の保護リレーのみでは完全な保護ができない。したがって配電線の断線検出に対して専用の保護方式を適用する必要がある。

2.2 断線事故の検出方式

断線検出方式は配電方式と関連づけて検討する必要がある。図 2 は配電方式の代表例を示すものであり、(a) は従来から一般に適用されている樹枝状構成、(b) (c) は密度の高い重要負荷に対し供給信頼度向上を目的としたループ構成である。ループ配電線では負荷

* 東京電力株式会社技術研究所
 ** 日立製作所国分工場



CB:しゃ断器 Ry:保護リレー R:信号受信回路
SS:区分開閉器 T:信号送信回路 SW:故障発生
D:断線検出器

図3 断線保護方式

の性質上、電線断面積が大きく機械的強度が高いこと、保護継電装置も高速動作が可能な高級なものが適用され事故が高速に除去されることから、断線事故に至る機会が少なく、またたとえ断線を生じてても零相分電流の環流またはその電流を抑制するための零相リアクトル端子電圧の上昇などにより、比較的容易に検出することができる。したがって樹枝状配電線の断線事故がもっとも重要であり、以下これを中心に検討する。

断線事故の検出方式としては、

- (a) 断線により電線がゆるみ、張力が減少したことを利用するなど機械的条件の変化を検出する方式
- (b) 欠相により負荷電流が不平衡になることを検出する方式
- (c) 欠相により断線点より負荷側の電圧が不平衡となることを利用する方式
- (d) 配電線に商用周波と区別できる信号電流を添加し、断線により信号伝送が断となることを利用する方式

など種々の原理が考えられる。これらはそれぞれ特長をもっているが、(a)は検出器を各電柱間ごとに設置する必要があり、検出器自体の実用化にも難点がある。(b)は負荷電流の大小および負荷自体の不平衡の影響を受けやすく、また検出点と断線点の間に負荷があるときは検出できないおそれもある。次に(d)は配電線の電氣的条件には左右されないが、送受信器、結合装置などが必要であり、経済的に不利であるばかりでなく、配電線の信号伝送特性をじっくりと調査してからでないと適用できない不利がある。したがって原理的には(c)の方式がもっとも簡単、確実であり、実用化も容易であると考えられる。

2.3 保護方式

断線事故はその発生を検出するだけでなく、事故配電線の電源しゃ断器を自動的にしゃ断する必要がある。断線の検出は配電線上の検出器によって行なわれるから、その動作を変電所に連絡せねばならない。

情報連絡の手段としては

- (a) 図3(a)に示すように各配電線ごとに専用の情報伝送回路を施設して、変電所しゃ断器を直接的に制御する方式
- (b) 図3(b)のように、検出点において強制的に配電線事故を発生させ、変電所引出口の保護リレー動作により、間接的にしゃ断器を制御する方式

がある。(a)は専用の表示線などを利用すれば実施可能であるが、断線保護の目的だけに表示線を施設することは経済的でない。また配電系統の変化にも対応しにくいから、(b)が実用的にすぐれている

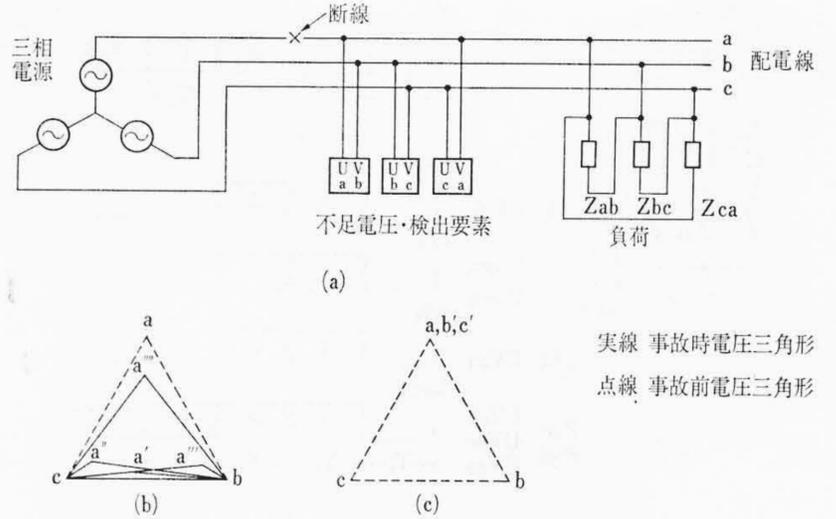


図4 断線時の電圧

と考えられる。

変電所に設置される保護リレーは短絡および地絡保護用であるが、短絡事故では配電線電圧の低下、事故電流が大きいため事故発生用開閉器の大容量化などの欠点があり、強制的に発生させる事故様相としては1線地絡事故とすることが望ましい。

3. 電圧検出強制接地方式

以上のように、断線検出保護方式としては、断線点より負荷側の電圧不平衡を検出して強制接地を行ない、変電所の地絡保護リレーを動作させて保護を行なう方式が適している。強制接地点は断線検出点すなわち断線個所より負荷側であるため、1線および2線断線に対しては効果があるが、3線断線に対しては保護できない。しかし、併存事故を伴わない3線断線はきわめて稀であり、無視しても差つかえないと考えられる。

3.1 断線時の電圧

図4(a)に示すように配電線に断線が発生したときの負荷側電圧は、おもに負荷の様相により決定される。1線断線(a相とする)の場合には、電圧三角形は図4(b)のようであり、負荷インピーダンス Z_{ab} , Z_{ca} の大きさや力率の相異により、 $\Delta a'bc$, $\Delta a''bc$, $\Delta a'''bc$ のように変化する。また負荷に電動機が含まれると、その内部誘起電圧により、 $\Delta a''''bc$ のように電圧が相当維持される場合もある。しかしいずれの場合にも不足電圧要素 UV_{ab} , UV_{ca} のいずれか、または両者が動作する。2線断線の場合には図4(c)のように電圧三角形は消滅し、不足電圧要素が3相とも動作する。

不足電圧要素はできるだけ高感度とすることが事故検出に好都合であるが、常時の配電線電圧の変動によって誤動作せぬよう余裕を見込み、定格値の約75%に低下したときに動作するものとした。

3.2 強制接地相の選択

断線を検出し強制接地によって変電所リレーを動作させるためには、リレーがもっとも動作しやすい条件とする必要がある。変電所の地絡方向リレーを動作させるには、健全1相を強制接地して1線地絡事故状態とするのが最適であり、2線地絡および断線相地絡(負荷側)では零相電圧が小さくなり不利である。

強制接地相の選択は、断線事故相の検出が確実であれば容易であるが、断線時の電圧は図4のように負荷インピーダンスによって変化するため、不足電圧検出要素の動作では判別できない。すなわち図4(b)において電圧三角形が $\Delta a'bc$ の場合には不足電圧要素 UV_{ab} , UV_{ca} がともに動作するが、 $\Delta a''bc$ の場合には UV_{ca} のみ、 $\Delta a'''bc$ では UV_{ab} しか動作が期待できない。また1配電線の各区間に断線検出装置を設置したとき、断線事故の地点によっては、それより負荷側にある多数の装置が同時に動作し、異相を接地することにより、全体として2線地絡となることがある。

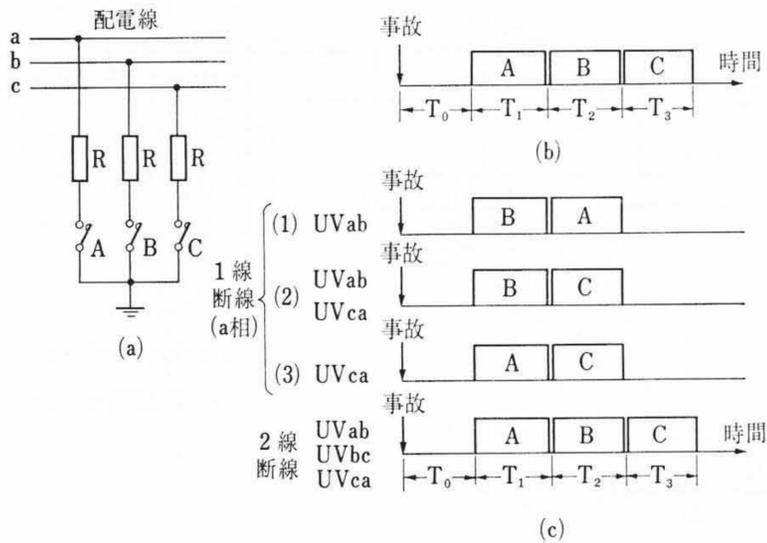


図5 強制接地相の選択

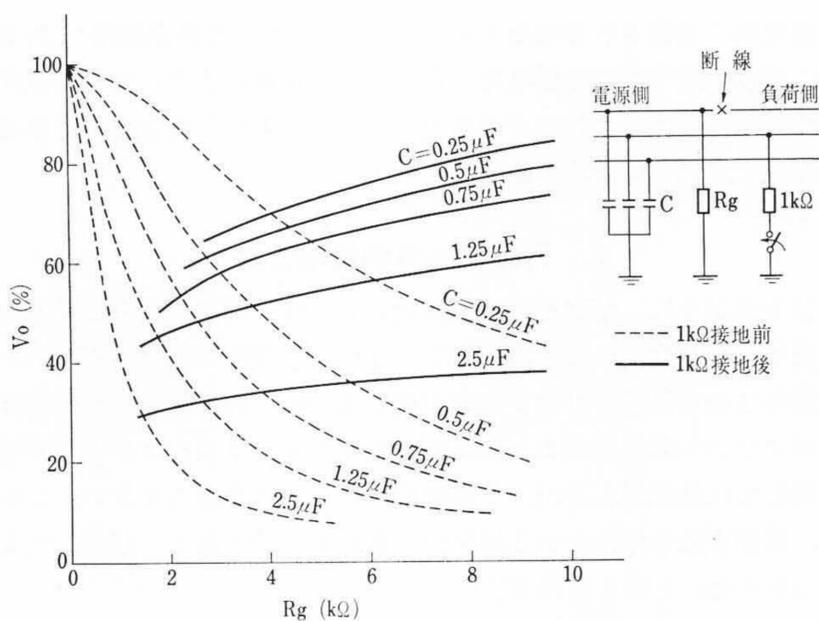


図6 地絡点抵抗と零相電圧

この対策としては、サイクリック接地方式と選択接地方式が考えられる。強制接地は図5(a)のように、抵抗Rを通して開閉器A、B、Cのいずれかを動作させることにより行なわれる。サイクリック方式は図5(b)のように断線事故の種類に無関係に、事故発生後時間 T_0 経過すればA、B、Cの順に動作させる方式である。選択方式は不足電圧要素の動作相に応じて接地相を選択するものであり、図5(c)のようにa相1線断線を例にとれば、 UV_{ab} 動作時はB、A、 UV_{ab} 、 UV_{ca} がともに動作するとB、C、さらに UV_{ca} のみのときはA、Cの順に接地が行なわれる。2線断線では不足電圧要素が3相とも動作するためサイクリック式と同様の動作が行なわれる。

いずれの方式でも、1線断線のときは時間 T_1 または T_2 において、また2線断線の場合には時間 T_1 、 T_2 または T_3 において、健全相の1線接地とすることができる。

サイクリック式はもっとも単純であるが、1配電線の各所に設置された装置相互間で相合わせを行なう必要がある。選択式は各所の装置の不足電圧要素の動作状態が相異なる場合でも、図5(c)の(1)と(2)、または(2)と(3)の組合せに限られると考えてよく、また接地相は不足電圧要素の動作相に対応するため、相合わせの必要はないが装置構成がやや複雑となる。

3.3 接地抵抗値

強制接地の抵抗値は変電所地絡方向リレーの感度特性を考慮して決定する必要がある。リレー動作を確実にするには、抵抗値が小さいことが望ましいが、逆に接地抵抗器および開閉器の定格が大となり不経済となるから、適切な値を選択せねばならない。

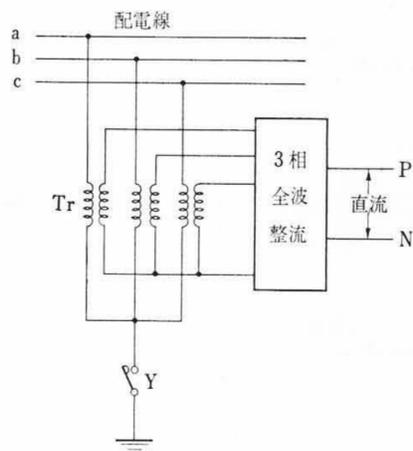


図7 電源回路

図6は代表例として、1線断線電源側地絡時の地絡点抵抗 R_g と零相電圧 V_0 の関係を示したものである。図の点線のように R_g が小さければ V_0 は大となり、リレーに流れる零相電流も大となってリレーは確実に動作する。一方 R_g が大となると V_0 は小となり、リレー動作は期待できなくなるが、ここで断線検出装置が動作して健全相を強制接地すれば、図の実線のように V_0 を上昇させることができる。強制接地抵抗値は、上記の点を考慮して $1k\Omega$ 程度(6.6kV配電線)が適当である。

3.4 動作時間

電圧検出強制接地方式の断線検出装置の動作時間は、変電所の保護リレーおよび配電線の時限式事故捜査器の動作時間を考慮して決定する必要がある。

断線事故が発生したとき短絡または地絡事故が併発し、変電所リレーが応動する場合がある。図5(b)、(c)のように事故発生後時間 T_0 を経て強制接地を開始する。したがって T_0 は変電所リレーの応動時間に余裕をみた時間とする。

時間 T_0 中に変電所リレーが動作しないときには、強制接地を開始するが、図5(b)、(c)のように一つの相の強制接地時間 T_1 、 T_2 および T_3 も T_0 と同程度以上であればよい。

一方配電線が区分開閉器によって区分され、時限式事故捜査器が適用されている場合には、事故捜査器のY時限(当該区間に事故がなく、区分開閉器の投入によって事故が再発せぬことを確認する時間)中に、断線検出装置が一連の動作を完了する必要がある。通常Y時限は約12秒に整定されているから、 T_0 、 T_1 、 T_2 および T_3 はそれぞれ約2.5秒が適当である。

3.5 装置電源

断線検出装置は配電線上に設置されるため、装置動作に必要な電源としては配電線電圧を利用し、特殊な専用電源を設けないことが望ましい。そのため本装置では図7のように変圧器 T_r を介して3相電圧を取り出し、これを整流して直流電源を得るようにしてある。開閉器Yは常時開路であり、平常時および1線断線時には問題ないが、2線断線を生じたときには図4(c)のように電圧三角形が消滅するので、装置電源は全く失われることになる。したがってこの場合には開閉器Yを復帰させ、健全1相の対地間電圧を利用するようにしてある。すなわち配電線は中性点非接地方式であるため、健全相対地電圧は一般には利用できないが、通常の配電線は各相対地静電容量を有しているから、装置の負荷が過大でなければ、対地電圧から装置電源が得られることになる。

4. 断線検出装置

4.1 構成および動作

図8は本装置の構成説明図である。断線事故が発生すると入力変圧器の二次側に接続された不足電圧要素の動作によって検出し、制御回路に指令を与える。制御回路は強制接地相の選択と接地開閉器の制御を行なうものである。装置にはサイクリック接地方式が採用されており、開閉器A、BおよびCに順次一定時間の投入指令を与え、3相一巡の強制接地が行なわれる。不足電圧要素および制御回路は半導体回路によって構成されている。整流回路は入力交流電源を整流し、低圧の半導体回路電源と高圧の開閉器制御用電源をつくっている。断線事故の発生および断線相数(1線または2線)によって、整流出力電圧が変化するため、半導体回路電源には簡単な

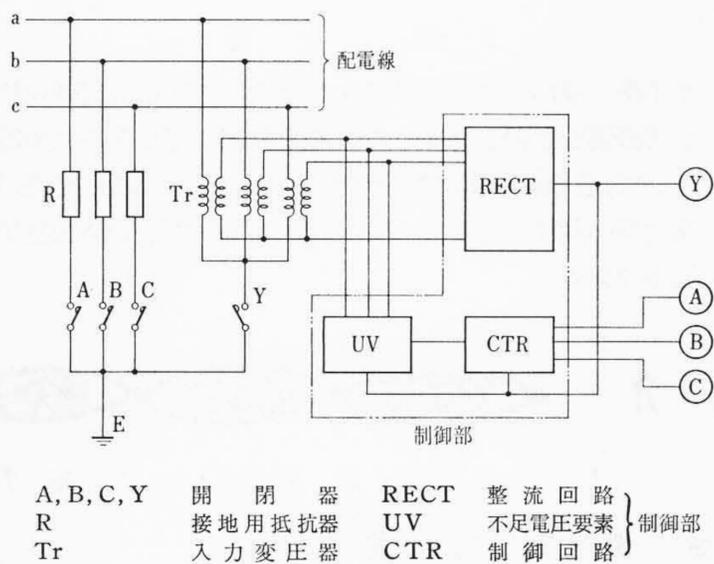


図8 断線検出装置構成説明図

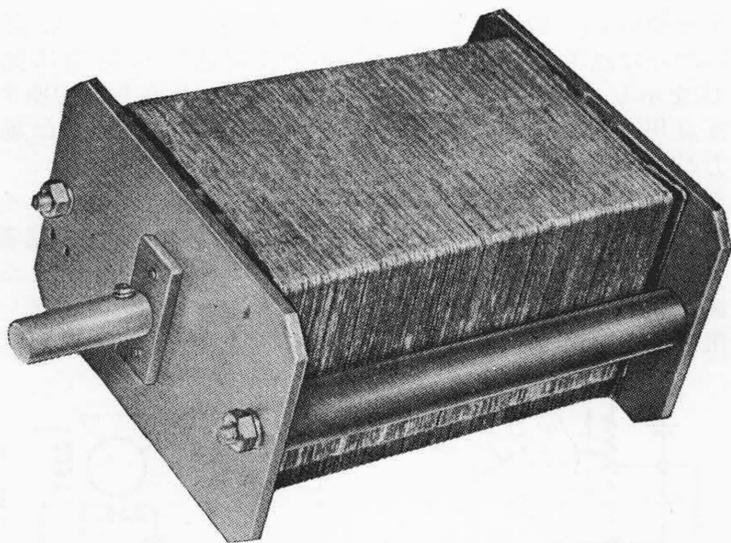


図9 接地抵抗体

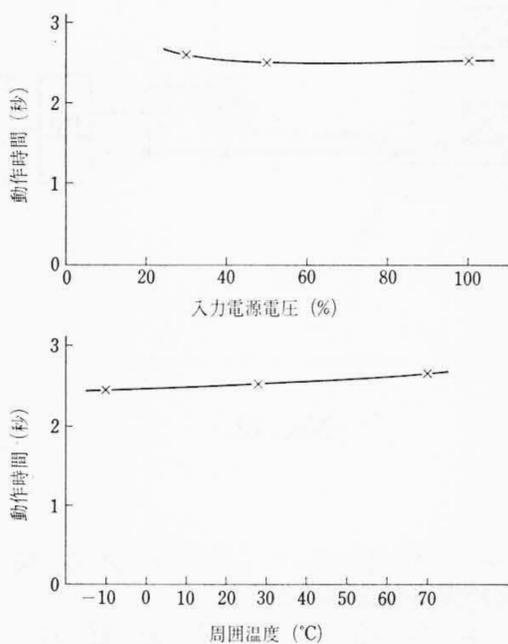
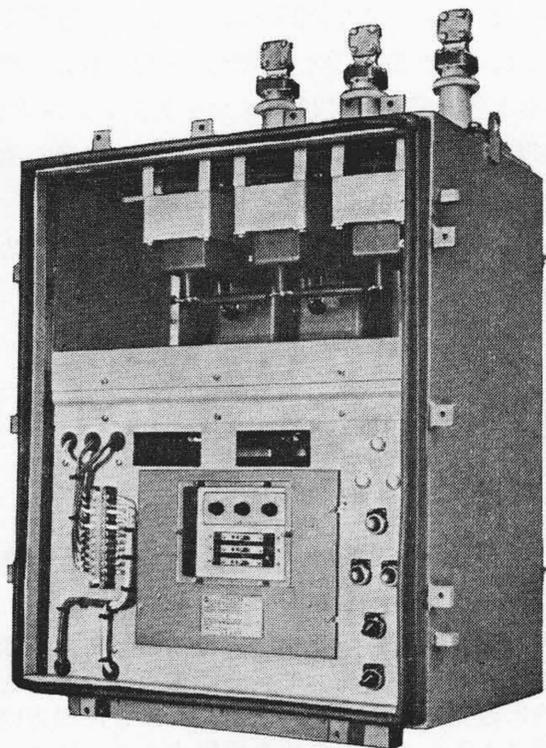


図10 制御用限時回路特性

定電圧回路を併用している。2線断線時にはいったん電源がなくなり、開閉器Yが復帰してその接点を閉じ、健全相対地電圧を入力とするが、整流回路出力電圧は低く、Yは復帰したままの状態を保つ。

開閉器類は抵抗を介して接地されるため小形、小容量であり、A、BおよびCはコイルを励磁しプランジャを吸引して投入する。Yは吸引コイルによりスプリングに反抗して強制的に開放されており、電圧が消滅するとスプリングの力により投入される。

強制接地用の抵抗はコンパクトで、これにじゅうぶんの熱容量をもたせるため、良質のニクロム板を積層したものをを用いている。層間絶縁にはマイカを用いており、全体をがい子支持により絶縁している。図9は抵抗体の外観である。



(正面扉を取りはずしたところ)

図11 断線検出装置

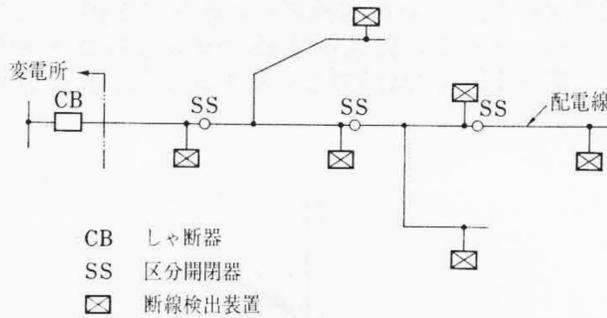


図12 断線検出装置の適用

表1 断線検出装置主要項目

| 項目 | 内容 |
|-----------|-------------------------------|
| 1. 形式 | LFD-R 屋外用柱上取付形 |
| 2. 定格電圧 | 6.9 kV |
| 3. 耐圧 | 高圧部 商用周波 22 kV インパルス 65 kV |
| | 低圧部 商用周波 2 kV |
| 4. 強制接地抵抗 | 1,000 Ω 以下 1分間隔, 5秒印加3回 |
| 5. 周囲温度 | -10~+70°C |

不足電圧要素は入力電圧を整流し、レベル検出回路により判定される。制御回路はCR積分回路を利用した2組の限時回路を交互に動作させ、 T_0 から T_3 までの4段の限時を測定するようにしている。これらに対しては半導体回路を用いており、電源電圧および周囲温度の変化に対してじゅうぶん良好な特性が得られるよう考慮されている。図10は限時回路の特性例を示したものである。

図11は制御部をも含めて一体構造とした場合の装置外観である。構造としては高圧部(抵抗器、開閉器など)と制御部に分割して装柱する方法もある。表1は本装置の主要項目をまとめたものである。

4.2 適用

本装置は断線事故点より負荷側の電圧不平衡によって事故を検出するため、適用に際しては図12に示すように配電線の末端に設置する必要がある。配電線が区分開閉器によって区分され、時限式事故捜査器と組合せて事故区間の検出をも行なうときは、各区分ごとに設置される。

装置は配電線柱上に設置されるため、とくに高信頼度で保守が容易なものとならなければならない。したがって強制接地相の選択はサイク

リック方式としたほうが装置を簡単にできる点で有利であるが、据付けに際しては、各地点の相別、相順が一致するよう相合せを必要とする。また半導体部品としてはシリコントランジスタを主体とし、温度変化の影響が少ない回路にするとともに、簡単な点検回路を備え、装置の健否を容易に判断できるようにしている。

配電線柱上は振動、衝撃、風雨などにさらされるため、装置は環境条件にじゅうぶん適合するよう考慮されている。

5. 結 言

電圧不平衡を検出して強制接地を行なう架空配電線用断線検出装置について概要を説明した。また工場模擬配電線ならびに実際の配電線において、各種断線事故を発生させ詳細な動作試験を実施した。その結果所期の動作を行なうことを確認した。引き続き長期現地試験を実施中である。



新案の紹介



登録実用新案 第841895号

神田 喜美雄・小野 邦男

非破壊焼入れ深さ測定装置

鋼材の焼入れ硬化層部と非硬化層部では磁気特性が顕著に異なるので、この差異を測定することにより硬化層部の厚さを求めることができる。特に磁気ヒステリシス曲線における保磁力は鋼材の硬度と密接な関係にあるので、この値を測定することによって硬化層部の厚さを正確に測定することができる。

この考案は保磁力の大きさを自動的に測定することにより焼入れ深さを測定するもので、測定を行なう場合にはまず切換スイッチ7の切換アーム8を接点9に入れ電流*i*および磁束φを図の0点から*a*点に増加させる。その後切換アーム8を接点9'に入れ換えれば、電流*i*はゼロとなるが磁束φは0*b*の値だけ残る。またこれと同時にホール素子11の回路が閉じられるからこの磁束φはホール

素子に検出されサーボモーター15を回転させしゅう動抵抗5のしゅう動子を動かす。励磁コイル3に逆方向の電流を加え、磁束φがゼロになった時点で平衡する。この時流れる電流は保持力に比例し0*c*の値を示し、電流計10によって読み取れる。さらに切換アーム8を接点9''に入れた後接点9'に入れれば逆方向に励磁した場合の保持力が測定できる。

この考案は以上のように簡単な構造であり、操作も切換スイッチを切替えるだけで、だれでも容易に自動的に行なえる。測定者の違いによる個人差もほとんどなく、さらに逆方向に電流を加えるときに電流を加えすぎるといった失敗がなく、測定時間も非常に短いなどの実用価値を有するものである。(西宮)

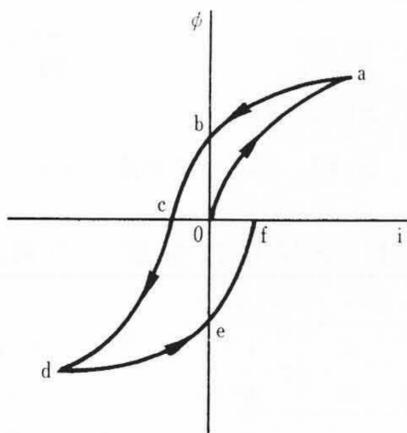


図 1

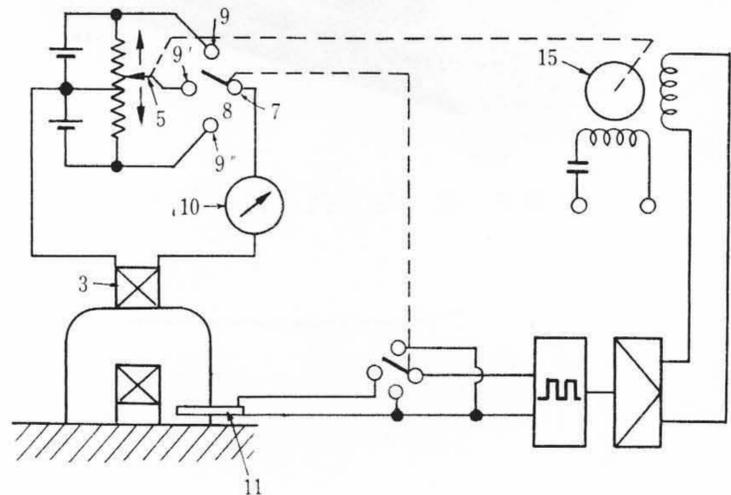


図 2

Vol. 51

日立評論

No. 12

目 次

■論 文

- ・プラズマ溶射の応用 (第1報)
- ・タービン発電機の励磁方式
- ・地下埋設変圧器の温度上昇
- ・水中モートル用放流形スラスト軸受の特性
- ・コンゴB.C.K. 鉄道納 1,500 PS ディーゼル電気機関車
- ・コンゴB.C.K. 鉄道納 1,600 kW 交流電気機関車
- ・H-8252 形 光学文字読取機
- ・指示電気計器の油制動装置
- ・毛布内部温度検知方式電気毛布の開発

- ・プラスチック電力ケーブルの絶縁診断
- 超小形ガス絶縁変電設備特集
- ・超小形ガス絶縁開閉装置の展望
- ・中部電力株式会社守山変電所納 77 kV 超小形ガス絶縁開閉装置
- ・ガス絶縁開閉装置ガスしゃ断器の開発
- ・SF₆ ガスの絶縁特性
- ・ガス絶縁用開閉装置用材料の開発
- ・ガスしゃ断器管理上の化学的諸問題

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内1丁目4番地
郵便番号 100

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
郵便番号 101

振替口座 東京20018番