制御電源レス 地絡保護継電器の開発





政巳* 日野

電鉄用直流変電所に設置されている直流高圧接地継電器(地絡保護継電器)は、変電所の接地マット・レール間の電圧を 監視するとともに、変電所構内で地絡事故が発生した際の電圧上昇を検知し、関係する遮断器への開放指令により速やかに 地絡点への電気の供給を停止する装置である。しかし、地絡の状況によっては、事故点だけでなく周辺設備へダメージを与 える危険性があるとともに、制御電源と混触することで、地絡保護機能が働かなくなるおそれもある。そこで、万が一地絡 が発生しても確実に電気を停止できる保護システムを実現するため、制御電源(直流110V)を必要としない制御電源レス地 絡保護継電器の開発を行った。これまでに、装置の試作を完了し、地絡事故を模擬した不安定な入力電圧に対する安定出力 を確認するなど、目標とした性能レベルを達成できたので、その結果を報告する。

▶キーワード:直流き電保護、直流地絡、混触、直流高圧接地継電器、制御電源レス

はじめに

電鉄用直流変電所のき電保護システムの一つである直 流高圧接地継電器(64P)は、変電所の接地マット・レー ル間の電圧(電位差)を監視するとともに、変電所構内 で地絡事故が発生した際の電圧上昇を検知し、関係する 遮断器への開放指令により速やかに地絡点への電気の供 給を停止する装置である。しかし、地絡の状況によって は、事故点だけでなく、周辺設備へダメージを与える危 険性があるとともに、制御電源と混触することで、地絡 保護機能が働かなくなり、被害を拡大するおそれもある。

そこで、地絡保護機能の信頼性向上を目的に、保護装 置を駆動するための制御電源(直流110V)を必要としな い制御電源レス地絡保護継電器の開発を行った。

電鉄用直流変電所のき電保護システム

2.1 直流き電システム

直流き電システムでは、図1に示すように、数キロ~十キロ程度 の間隔で設置された変電所(輸送密度が高いほど間隔が短 い) において、特別高圧66kVなどから降圧し、整流器により整 流された1500V (標準電圧) の直流電圧が、き電線、トロリ線 に供給されている。また、隣接する変電所から並列に列車の運 転に必要な電力を供給しており、これを「並列き電方式」という。

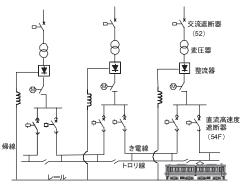
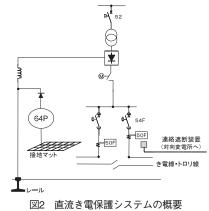


図1 直流き電システム概要

2.2 直流き電保護システム

変電所構内や沿線における地絡・短絡事故発生時の列車の 運転支障を最小限とするため、信頼性の高いき電保護システムの 構築が必要である。

直流き電保護システムの概要を図2に示すとともに、直流き電保護 システムに使用されている主な保護継電器(装置)を以下に示す。



(1) 直流高速度遮断器 (54F)

通常のき電回路の「入」、「切」のほか、き電回路の過電流を 遮断器自体で検出し、高速で回路の遮断を行う遮断器である。

(2) き電線故障選択装置 (50F)

電車負荷電流と故障電流の電流変化(ΔI)の相違を利用 し、事故時の急峻な電流変化を検出し、事故回線のみに遮断 信号を送出する保護継電器である。

(3) 連絡遮断装置

直流き電システムでは、並列き電方式を採用しているため、 片側の変電所に近い箇所で事故が発生した場合に、条件によ っては対向する変電所での事故検出が困難となる。そのため、 事故を検出した変電所で遮断した際に、隣接変電所の対向す る回線の高速度遮断器に遮断信号を送り、事故区間を確実に 停電させる装置である。

(4) 直流高圧接地継電器 (64P)

変電所構内で地絡事故が発生した際の接地マット・レール間 の電位上昇を検知し、直流高速度遮断器および交流遮断器へ 遮断指令を送出する。また、現地確認を行うまで遮断器の投入 を行えないように、遮断器の投入回路を鎖錠するとともに、連絡 遮断装置により隣接変電所の対向回線の遮断指令を行い、速 やかに地絡点への電気の供給を停止する保護継電器である。

IR東日本では、64P動作時の輸送影響範囲を限定するため、 変電所構内、構外の事故判別を行う構内・構外判別機能付 64P (64PB) を導入している。

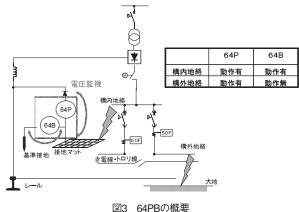
64PBが動作すると停電範囲が広範囲となるため、変電所構 外の事故においては、事故回線の選択可能な50Fの検出・動作 時間および連絡遮断装置による対向回線の遮断時間を考慮し て(50Fによる保護動作時間を待つ)64PBの動作時間を設定 している。

直流高圧接地継電器の動作概要

64Pは、接地マット・レール間の電圧を監視し、事故時 に発生する電圧が整定値を超えた場合に動作するもので ある。整定値は、400V、500V、600Vの3タップから選択 可能であるが、JRでは、一般的に500Vに設定している。 構内、構外地絡判別が可能な64PBは、従来の64Pに加え、 変電所構内地絡時に接地マットとの間に有意な電位差が 得られるように施工した基準接地と接地マット間の電位 差を監視する64Bを新たな要素として加えたものである

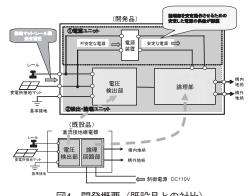
(図3)。64Bの整定値は、30V、40V、50Vの3タップから選 択可能である。

構内地絡の場合、接地マット電位が上昇し、接地マッ トとレール間電位差を監視している64P(P要素)が動作 するとともに、接地マット・基準接地間の64B(B要素) が動作し、構内地絡と判定する。一方、構外地絡の場合 は、基準接地と接地マット間の電位差に変化はなく、従 来の64Pと同様に、接地マット・レール間の64Pのみが動 作し、構外地絡と判定する。



制御電源レス地絡保護継電器の開発概要

図4に、開発した制御電源レス地絡保護継電器のシステム 概要を示す。現在使用されている装置では、保護継電器の 論理部の駆動用に、制御電源(直流110V)を供給する必要 がある。このため、地絡箇所によっては直流1500Vの電気と 制御電源の混触が発生し、地絡保護機能が働かなくなるリス クがある。そこで、万が一混触が発生しても、確実に保護機 能を維持するため、外部からの電源供給を不要とする制御 電源レス地絡保護継電器を開発した。外部からの制御電源 の代わりに、監視対象である接地マット・レール間に発生する 過電圧を利用し、自ら必要な電源供給を行う仕組みとした。



開発概要(既設品との対比)

装置は、定電圧回路(電圧制限回路)により論理部へ 安定した電源を供給する「電源ユニット」と地絡判定を 行う「検出・論理ユニット」の2ユニットで構成される。

今回の開発では、地絡事故時に、アークを伴い不安定に変動する接地マット・レール間電圧から、いかにして論理部の駆動に適した安定電源を作るかが最大の課題となった。そこで、開発手順として、最初に電源ユニット単体を試作し(図4の①)、その性能を検証したたうえで、検出・論理ユニットを組み合わせた地絡保護継電器の開発を行った。

5. 電源ユニットの開発

5.1 電源ユニットの主な仕様

電源ユニット開発における主な仕様を以下に示す。

- (1) 接地マット・レール間電圧 (入力電圧) に対し、地 絡保護継電器論理部の駆動用電圧10Vを出力する。なお、 地絡事故と判定する最低の整定値400Vの半分の200V以上 の入力電圧において、確実に10Vを出力する。
- (2) 接地マット・レール間の過電圧入力耐量を直流2kV、 1分間とする。
- (3) JEC-2500 (電力用保護継電器) の常規使用状態による ほか、表1の絶縁性能(絶縁抵抗、商用周波、雷インパルス)を有する。

ここで、仕様(1)において、入力電圧200V以上を採用したのは、入力電圧200V以上を地絡事故に至る危険領域と判断して、200Vで確実に電源を確立し、整定値(400V)に達した際に瞬時に演算を行うためである。

表1 電源ユニット絶縁性能

項 目 印加箇所	絶縁抵抗	商用周波耐電圧 AC50Hz 1 分間	雷心心 MX 耐電圧
主回路端子一括 〜出力端子一括 ・アース間	1,000V メガ 50M Ω以上	5,000V	$\pm 4{,}500\mathrm{V}$
出力端子一括~ アース間	500V メガ 10MΩ以上	2,000V	$\pm 4,500 \mathrm{V}$

図5に、開発した電源ユニットの外観、表2に、電源ユニットの概算の寸法、重量を示す。

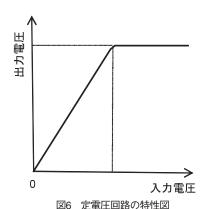
表2 電源ユニット寸法

縦	横	奥行	重量
190mm	210mm	230mm	1. 5kg



図5 電源ユニットの外観

開発した電源ユニットは、主に、分圧回路、ツェナーダイオードを用いた定電圧回路、および入力側と出力側の絶縁を確保する絶縁回路により構成される。図6に示すように、定電圧回路は、入力電圧が一定値(開発した電源ユニットにおいては200V)に達するまでは、出力電圧が比例的に増加し、一定値を超えると、入力電圧に対して一定値(10V)を出力する回路である。



5.2 電源ユニット工場内試験

開発した電源ユニットの基本性能を確認するため、以下の工場内試験を実施し、仕様を満足する結果が得られた。

- (1) 入出力電圧特性入力電圧の変化に対する出力電圧特性
- (2) 負荷特性 出力(負荷)電流の変化に対する出力電圧特性
- (3) 出力応答特性 負荷容量の変化に対する出力電圧の立ち上がり特性
- (4) 交流入力試験 交流入力による不動作確認
- (5) 雷インパルス試験 雷インパルスによる絶縁性能の確認

(6) 直流2kV入力試験 入力電圧の過電圧耐量の確認

(7) ヒートサイクル試験

恒温槽内で温度 $(-10^{\circ}C\sim50^{\circ}C)$ 、湿度を一定のサイクルで変化させた後、上記の試験を実施

5.3 電源ユニットの機能確認試験

機能確認試験では、工場内試験で確認できないアークを伴い不安定に変動する入力電圧に対する出力電圧の安定性を確認した。

図7および図8に、電源ユニット機能確認試験に使用した試験用電源回路およびアーク試験回路の概要を示す。

試験は、JR東日本研究開発センター大電流試験棟内のアーク試験装置(すり板昇降装置)を使用し、すり板・トロリ線間に強制的に間隙をつくりアークを発生1)させ入力電圧を変動させることにより実施した。電源回路および抵抗の組み合わせにより、直流1800V、1000Aまでの連続通電試験が可能である。

電源ユニットの入力電圧は、直流900Vからアーク発生 により生ずるアーク電圧値を差し引いた値となる。

入力電圧などの高電圧測定は、分圧器(400:1)により測定器に適した電圧に変換して測定を行った。

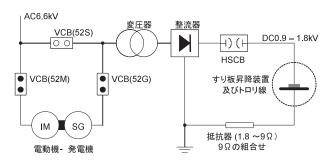


図7 試験用電源回路

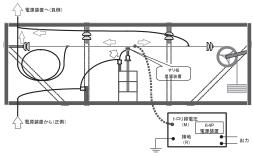


図8 電源ユニット試験回路概要(アーク試験装置)

5.4 電源ユニット試験結果

図9に、電源ユニット機能確認試験結果の一例を示す。 図に示すように、アークを伴い不安定に変動する入力に 対し、一定の出力電圧(10V)が得られた。

試験結果において、10V出力が一時的に低下している箇所が見られるが、これは、アーク電圧の大幅な変動により入力電圧が200V以下となったためであり、仕様に基づく正常な動作である。

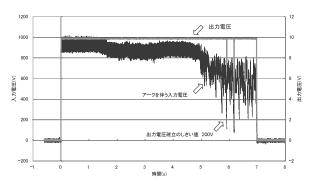


図9 電源ユニットの試験結果

6. 制御電源レス地絡保護継電器の開発

5章の試験結果に示すように、不安定に変動する入力電 圧に対し、論理部駆動用の安定出力が得られることを確 認したため、電源ユニットと検出・論理ユニットを組み 合わせた、制御電源レス地絡保護継電器の開発を行った。

6.1 制御電源レス地絡保護継電器の主な仕様

開発した制御電源レス地絡保護継電器は、既設の地絡保護継電器と同様に、変電所構内・構外の地絡判別が可能である。接地マット・レール間電圧を監視するP要素(400V、500V、600V)と接地マット・基準接地間の電圧を監視するB要素(30V、40V、50V)の整定タップを設けており、それぞれの入力電圧が整定値を超えた場合に各要素が動作し、表3に示す判定条件をもとに、構内・構外地絡の判定を行う。

表3 構内・構外地絡判定および動作時間

	P要素	B要素	動作時間
構内地絡	動作有	動作有	15ms
構外地絡	動作有	動作無	400ms

変電所構内地絡時は、速やかに動作出力を行う必要があり、交流地絡や瞬時ノイズなどの不要動作を回避する時間を考慮して構内地絡の動作時間を15msとした。

一方、構外地絡においては、事故回線の把握、輸送障害を最小限にとどめる目的から、前述した50Fの検出時間を考慮して構外地絡の動作時間を400msとした。

図10に、制御電源レス地絡保護継電器の外観を示す。 制御電源レス地絡保護継電器は、取付架台に2つのユニットを配置し、下部に各種端子台を配置する構成とした。

表4に、制御電源レス地絡保護継電器の概算寸法、重量を示す。

表4 制御電源レス地絡保護継電器寸法

縦	横	奥行	重量
530mm	700mm	350mm	19.5kg



図10 制御電源レス地絡保護継電器の外観

6.2 制御電源レス地絡保護継電器工場内試験

開発した制御電源レス地絡保護継電器の基本性能を確認 するため、電源ユニット試験で実施した試験項目のほか下記の 工場内試験を実施し、仕様を満足する結果が得られた。

- (1) 最小動作電圧測定各整定電圧値に対する最小動作電圧値の測定
- (2) 動作時間測定 整定電圧値に達してから動作出力までの動作時間の測定
- (3) 消費電流測定 電源ユニットの許容電流10mA以下での装置駆動を確認

6.3 制御電源レス地絡保護継電器の機能確認試験

電源ユニット機能確認試験と同様に、すり板昇降装置を用いて、制御電源レス地絡保護継電器の機能確認試験を実施した。 図11に、構外地絡(P要素整定値600V)の機能確認試験 結果の一例を示す。

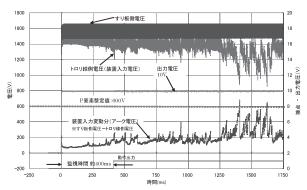


図11 機能確認試験結果(構外地絡)

本試験では、電源電圧からアーク電圧を差し引いた値を装置の入力電圧としたため、試験開始直後にほぼ電源電圧と同じ電圧(1500V)が入力され、出力電圧10Vの確立とP要素の監視が開始される。アークによる入力電圧の変動が見られるが、出力電圧は安定しており、仕様の動作時間内(構外地絡の電圧監視時間:400ms)で出力されていることを確認した。

また、動作出力後の装置の出力電圧についても、大幅に変動する入力電圧に対して、安定した出力が得られていることを確認した。

図12に、図11の試験における、電源立ち上がり箇所の拡大図を示す。構内地絡の動作時間15msを考慮した場合、出力最大値の90%に達するまでの応答時間は約1.0msであり、問題のない応答時間である。

参考までに、入力電圧200V(10Vの出力電圧が確立する 最低電圧)では約1.7ms、動作出力を行う最低タップ電圧 である400Vの入力では、1500Vの試験と同様に、約1.0ms の応答時間を確保している。

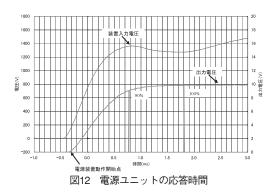


図13に、構内地絡(P要素整定値400V、B要素整定値30V)の機能確認試験結果の一例を示す。

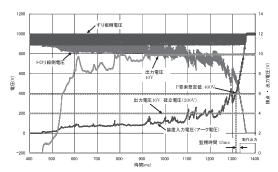


図13 機能確認試験結果 (構内地絡)

本試験では、すり板とトロリ線間の電圧(アーク電圧)を装置の入力電圧とした。また、試験回路の構成上、P要素、B要素ともに、同一の入力電圧にて試験を実施した。 試験開始直後はアークの発生がなく、すり板を下降させることにより、アークが発生し、アーク長が長くなるに

つれて、入力電圧(アーク電圧)が大きくなる。入力電圧が200Vの時点では、確実に10Vの一定の出力が得られている。さらに、アーク長が長くなり、整定値の400Vを超えた時点でP要素の監視が開始(B要素監視中)される。構内地絡検出の電圧監視時間は15msであり、構内地絡についても、仕様の動作時間内で出力されていることを確認した。

これらの試験結果から、変動する入力電圧に対し、出力電圧の安定性を確認するとともに、整定電圧値および、時間に応じた、保護継電器の動作出力が得られることを確認した。

7. フィールド試験

制御電源レス地絡保護継電器の工場内および大電流試験棟内での機能確認試験により、目標とした性能レベルを確認したことから、耐久性とノイズなどによる不要動作がないことを確認するためのフィールド試験を実施した。

7.1 フィールド試験回路概要

図14に示すように、フィールド試験時の制御電源レス 地絡保護継電器への入力電圧の取り込みは、既設64PB入 力端子からの並列接続とした。

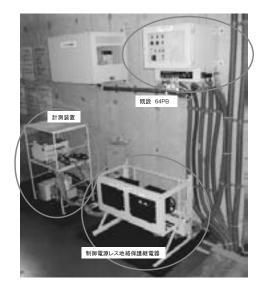


図14 フィールド試験機器配置概要

測定は、下記のいずれかのトリガ条件を満たした際に、 データの記録を行う設定とした。

- (1) 接地マット・レール間電圧150V以上(整定値500V)
- (2) P要素およびB要素出力接点動作時

7.2 フィールド試験結果

図15にフィールド試験で得られた測定結果の一例を示す。

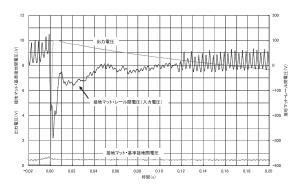


図15 フィールド試験測定結果の一例

測定結果から、接地マット・レール間電圧(接地マット側をマイナスとする)の急峻な変化に対して速やかに 出力電圧が立ち上がり、一定値に達した後、入力電圧の 低下とともに、出力電圧が減衰していることがわかる。

その際の接地マット・基準接地間電圧については、ほぼ一定であった。

現在も継続測定中であるが、前述したトリガ条件のも と約1ヶ月間の測定で得られたデータ数は、図15のデータ を含めて11データであり、整定値以下の急峻な入力電圧 変動により不要動作するような事象は発生していない。

8. おわりに

地絡保護機能の信頼性向上を目的に、外部からの制御 電源(直流110V)を必要としない地絡保護継電器の開発を 行った。当初の課題であったアークを伴う不安定な入力 電圧に対する電源ユニットの安定出力を実現したことが装 置開発における重要な要素であった。

今後も、フィールド試験を継続して実施するとともに、制御電源レス地絡保護継電器の導入を視野に入れた信頼性の高いき電保護システムの構築に向けた検討を実施する予定である。

参考文献

1) 林屋均:架線-パンタグラフ間アーク現象, p16, 社団法 人日本鉄道電気技術協会, 2007.5