

S1-4-5.

車両故障に伴う Δ I 形故障選択継電器 (50F) の動作事例解析

Analysis of the Phenomenon of stopping power-supply due to Unnecessary Operation of ΔI Type DC Feeding System Fault Detection Relay (50F) Caused with Car Troubles

○岡 大輔 (西日本旅客鉄道)

早野 治 (西日本旅客鉄道)

正 [電] 川原 敬治 (西日本旅客鉄道)

工藤 幸一 (西日本旅客鉄道)

Daisuke OKA, Osamu HAYANO, Keiji KAWAHARA, Kouichi KUDO

West Japan Railway Company, 1-5-2, Kita Tennoji-cho, Abeno-ku, Osaka City

In DC electric railways, it is desired to avoid unnecessary operation of ΔI type DC feeding system fault detection relay (50F) caused by fault current of car trouble. We found that setting a wait determined from fault current waveform is effective for avoiding unnecessary operation of 50F. This paper shows an outline of the new protection system and calculation results using measured current of car troubles

Keyword: DC substation, Δ I type DC feeding system fault detection relay (50F)

1. はじめに

直流き電回路において電車線等の短絡・地絡故障が発生した場合、遮断器の動作によって速やかに故障電流を遮断する必要がある。直流電化当初はき電回路保護を直流高速度遮断器に付随する過電流継電器のみで行っていたが、車両容量の増大に伴って故障電流と負荷電流の区別が困難となり、現在の直流電鉄用変電所には図1のように Δ I 形故障選択継電器(以下、50F)や連絡遮断装置が設備されている。50Fは電流増加変化分(Δ I)を検知し、そのΔ Iが一定値以上となったときに動作する保護装置である。

J R 西日本のある電力保全管理区(変電所 15 箇所・き電区分所 2 箇所)における昨年度の 50F

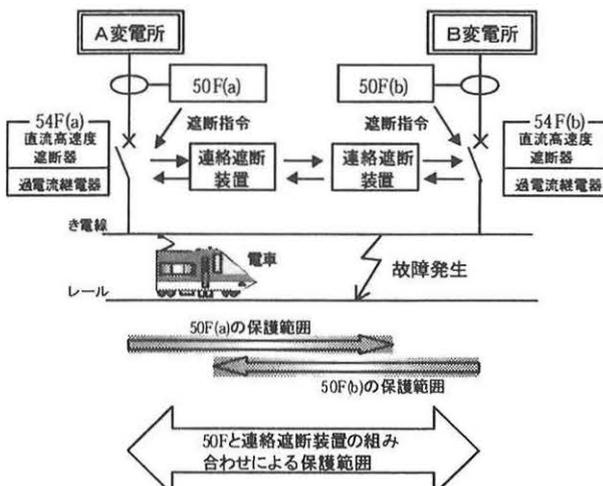


図1. 直流き電システムにおける保護の概要

動作事例は 50 件であり、その内訳を図 2 に示す。図 2 における原因不明には、乗務員からの申告はなかったが、電流波形を分析すると車両故障と推定できるものが数多く見受けられた。つまり、車両故障に起因する 50F の動作が大半を占めており、空転を含めると 84% に至っていることが分かる。車両故障は、本来、車両側で保護すべき事象であるので、変電所の保護装置との協調を考慮すれば 50F の不要動作が少しでも軽減し、安全・安定輸送に貢献できるのではないかと考え、まず、車両故障における電流波形を分析することにした。

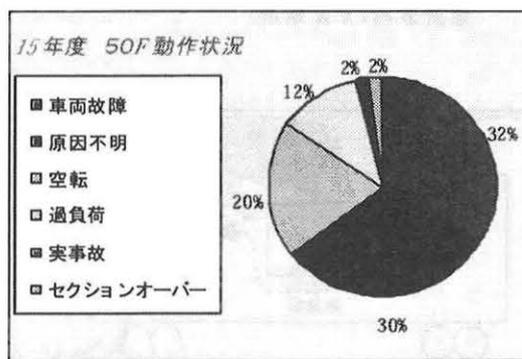


図2. 平成 15 年度における 50F の動作状況

2. 車両故障電流の解析

今年の 6 月 25 日に X 変電所・Y 変電所間で発生した車両故障によって X 変電所の 50F が 2 回連続して動作したので、X 変電所に設置してある情報計測装置(保護継電器が動作した際、故

障電流波形を記録する装置) のデータを基に故障電流の解析を行った。1 回目の 50F 動作時の波形を図 3 に示す。図 3 において、①部では、なんらかの原因で車両故障が発生し、それを車両側で検知して限流遮断したことによって電流が減衰していることが分かる。なお、事故当該車両は 103 系であり、103 系が製造された時代の技術ではスペースの関係から故障電流を遮断するような遮断器を搭載することができなかったため、図 4 に示すように、真空開閉器 (VCB) を開放して故障電流を断流器 (抵抗) にバイパスさせ、最終的に負荷断流器 (LB) で遮断する限流遮断方式が採用されている。②部は、X 変電所の 50F が故障電流を検知し、17H 回線の直流高速遮断器 (以下、HSCB とする) に開極を指示し、故障電流を遮断している。この場合、車両側で先に限流遮断が行なわれ、1000A 程度に抑制されて LB による最終遮断を待っている状態なので、変電所の HSCB が遮断する必要はないと考えられる。

また、今回の車両故障では、変電所の 50F 動

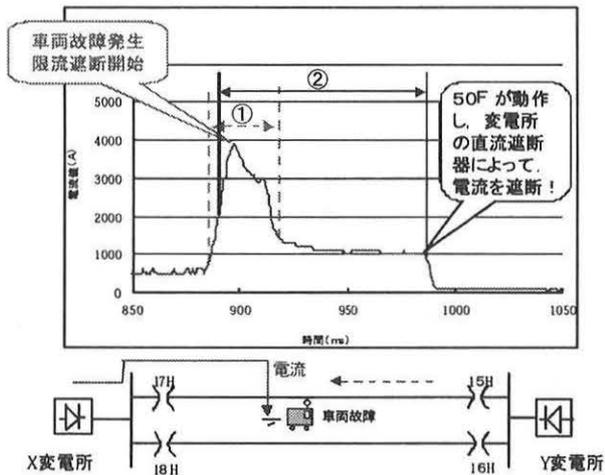


図 3. 車両故障による 50F 動作 (1 回目) 時の電流波形 (X 変電所)

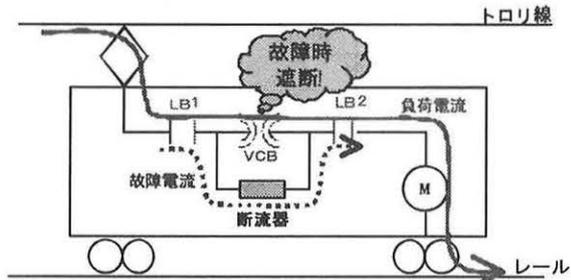


図 4. 車両における限流遮断の概要 (103 系)

作が 2 回あり、その 2 回目の故障電流波形を図 5 に示す。図 5 では、1 回目の 50F 動作と同様に車両側で限流遮断が行なわれたが、車両の VCB の極間で再発弧現象が発生したため、再び大電流が発生していることが分かる。この場合、

車両側では故障電流を遮断することが出来ないため、変電所において遮断する必要があります。今回の障害事例から、同じ車両故障でも、車両側で故障電流を遮断して保護できる場合とそうでない場合があることが分かる。このことは、安全安定輸送の観点から車両と変電所の保護協調を検討する際、電流波形で車両故障を変電所側で判別する上で、重要な問題であると考えられる。つまり、車両故障の判別は、単に車両側の故障であるか否かというだけでなく、変電所側で故障電流を遮断すべきか否かを判別する必要があると言える。

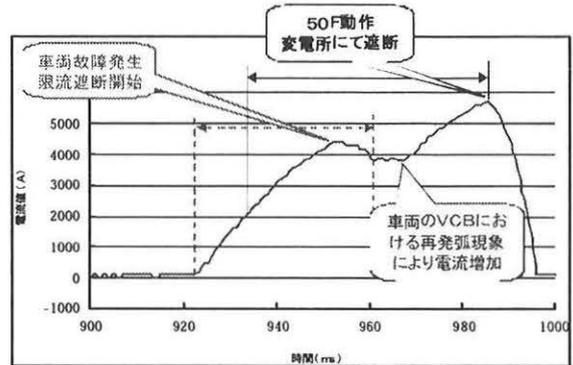


図 5. 車両故障による 50F 動作 (2 回目) 時の電流波形 (X 変電所)

3. 車両故障判別方法の概要

先述した X 変電所の車両故障事例からも分かるように、同じ車両故障でも変電所で遮断すべき故障と車両側において限流遮断が完了し、変電所の HSCB によって遮断する必要のない故障があることが分かった。今回、この 2 つの故障電流波形をパターン化し、変電所側で判別することを検討した。

図 6 において、故障電流①は、変電所直近で接地事故が発生した場合を想定した故障電流波形例であり、故障電流②は、今回 X 変電所で発生した 1 回目の車両故障電流波形を基に限流遮断しなかった場合を想定した電流波形である。故障電流①と②の違いは、車両や架線・レール

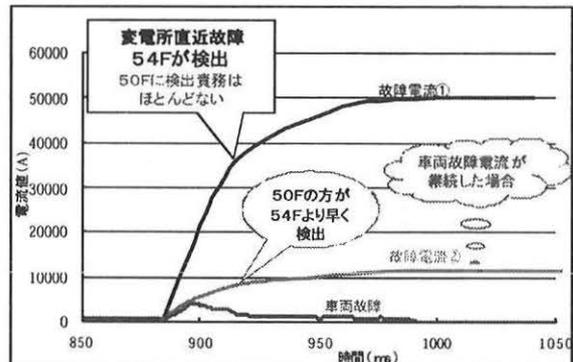


図 6. 変電所直近故障時の電流および車両故障電流と保護継電器の動作責務

系の抵抗やインダクタンスに起因しており、故障電流①は、変電所において遮断する必要性があり、故障電流②のような電流は、車両側で遮断すれば良いと考えられる。また、故障電流①は、比較的突進率が大きいため、54F (HSCB の自動遮断)の方が、その保護の必要性から 50F よりも先に動作するので、50F による検出責務はほとんどないと考えられる。したがって、故障電流②のように、比較的突進率の小さい(電流立ち上がりの小さい)電流をターゲットに絞って、車両故障と変電所で保護すべき故障を判別する方法を検討することにした。

車両故障の場合、必ず車両の VCB が開放されて限流遮断が行われるので、一旦電流が減衰する。今回はこの点に着目して車両故障判別方法を考案した。本判別方法を X 変電所の 50F 動作事例(1回目)を例にして図7に示す。

図7において、故障が発生して電流が立ち上がり、従来であれば 50F の整定値を超えた ΔI を検知することによって HSCB に開放指令を出力しますが、考案手法では、50F に判別期間(第1判別区間)を設け、整定値を超える ΔI を検知しても判別期間内に電流の減衰傾向があれば、HSCB への開放指令を保留し、車両の VCB 開放による電流の減衰を期待して 50F の動作を抑止する。なお、判別区間中も電流が増加し続ければ、HSCB へ開放指令を発信し、直ちに電流を遮断する。さらに第1判別区間に電流の減衰傾向を検知して HSCB への開放指令を保留していても、車両側の VCB の再発弧現象が発生して、再度電流の増加を検知した場合は、直ちに 50F から HSCB に開放指令を出力させる(第2判別区間)ようにすればすべての車両故障を除去することはできないが、車両故障による 50F の不要動作を安全に軽減できると考えられる。

ここで重要な問題となるのは、第1および第2判別区間の保留時間であるが、単に固定した時間で保留してしまうと、故障電流の突進率によっては HSCB で遮断する際に電流が大電流となり、HSCB に過大なストレスを与える場合がある。そこで、故障電流における突進率によって

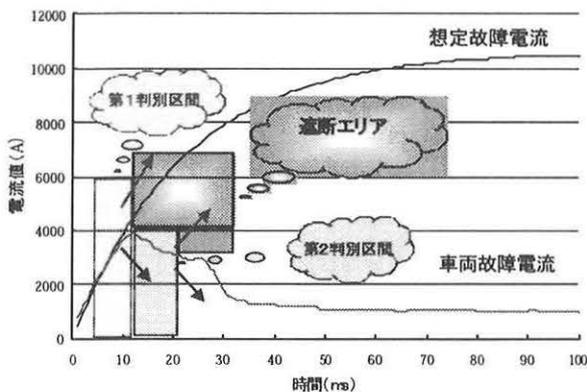


図7. 50F の出力保留期間を考慮した車両故障の判別原理

10~30ms の範囲で保留時間を決めれば、突進率の大きな故障電流は直ちに遮断され、また、突進率の比較的小さい電流は時間をかけて遮断の必要性を判断できるので、より安全・確実に車両故障を判別できると考えられる。

その概念図を図8に示す。図8は今回紹介した車両故障によって 50F が動作した2例で車両や変電所で遮断しなかった場合の想定電流を示しているが、1回目よりも2回目の方が車両が変電所から遠ざかっているため、き電回路のインダクタンスが増加している分故障電流の突進率が小さくなっている。ここで、例えば、50F の整定値が 2000A であったとすると、突進率の大きい電流の保留時間を 10ms とした場合と突進率の小さな電流の保留時間を 20ms とした場合を比較しても HSCB が遮断する電流は同程度となることが分かる。つまり、故障電流の突進率によって保留時間(判別時間)を決定すれば車両故障を判別し、必要があれば故障電流を安全に遮断できると考えられる。

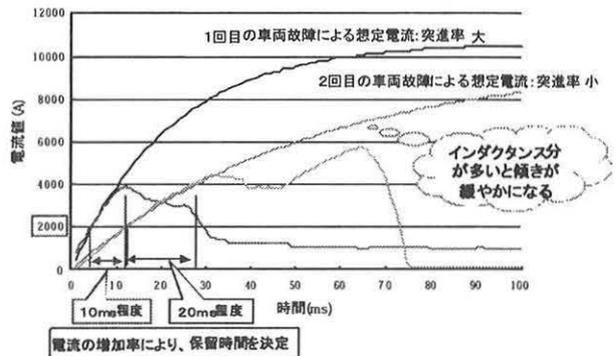


図8. 車両故障電流の突進率と 50F (整定値: 2000A) の出力保留期間の関係

4. ΔI の変化率による故障電流の判別法

故障電流の突進率を把握すれば保留時間を決定できることが分かったので、今回、故障電流における ΔI の変化率によって突進率を演算してパラメータ化し、その ΔI の変化率によって保留時間を決定する方法を検討した。50F には電子形・MEF 形・ウィンド形など、検出原理や ΔI 値の定義が異なる様々な種類がある¹⁾²⁾が、今回は電子形 50F を対象とし、電子形 50F の基本的な構成が図9のように表せるので、情報計測装置で得られた一次電流(き電電流)データを汎用の過渡現象解析ソフトを用いて模擬的に ΔI を演算した³⁾⁴⁾。図5で用いた X 変電所の 50F 動作事例(2回目)の電流波形を 50F の出力値(ΔI)に演算した結果を図10に示す。図10より、 ΔI 波形(演算値)が故障電流波形によく追従していることが分かるので、この ΔI の変化量を用いて保留時間を決定しても問題ないことが分かる。

4) 森本, 長谷, 川原: 「直流き電用 ΔI 演算模擬回路」, 平成 15 年電気学会全国大会 (2003)

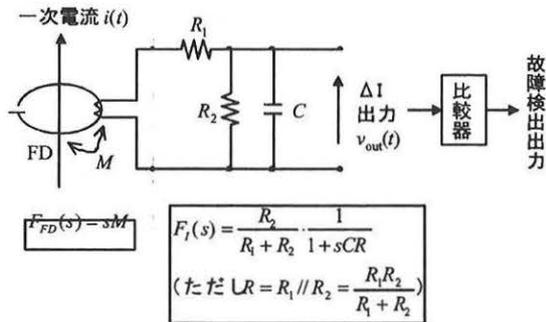


図9. 電子形 50F の基本回路

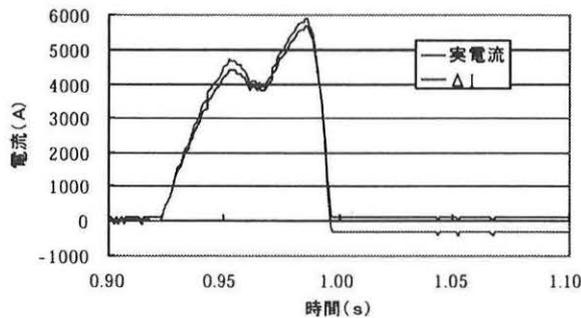


図 10. 故障電流波形と 50F 模擬回路で演算した ΔI 波形

5. 終わりに

今回, 故障電流波形の分析を行うことにより, 突進率の違いによって 50F の HSCB への出力をある時間保留することで, 従来, 変電所の HSCB を開放する必要のない車両故障を可能な限り除去し, 安定輸送に貢献する方法を考案した。今後, 更なる研究を展開し, 動作確認や試験データを採取することによって, 特に ΔI の変化量と 50F 出力保留時間の関係を定量化し, 実用にむけ取り組んでいく予定である。なお, 車両の VVVF 車化に伴い, 車両の主回路に含まれるインダクタンスが増加傾向にあるので, 車両故障における電流の立ち上がりは今後小さくなることが予想され, 本考案手法によって車両故障を判別することが容易になる傾向になっていることを確認している。

参考文献

- 1) 「直流電気鉄道における保護及び保護協調に関する調査」, 電気学会技術報告第 542 号 (1995)
- 2) 内田, 伊東, 谷: 「パソコンによる直流 ΔI 形故障選択装置のシミュレーション」, 電気学会交通・電気鉄道研究会, TER-93-33 (1993)
- 3) 長谷: 「き電回路に関する計測技術」, 鉄道と電気技術, 2002 年 7 月号, 日本鉄道電気技術協会