

交通変電システムの最新技術と今後の展望

西川孝雄*
田中 憲*
上田達也*

Latest Technologies and Future Outlook of Transportation Substation System

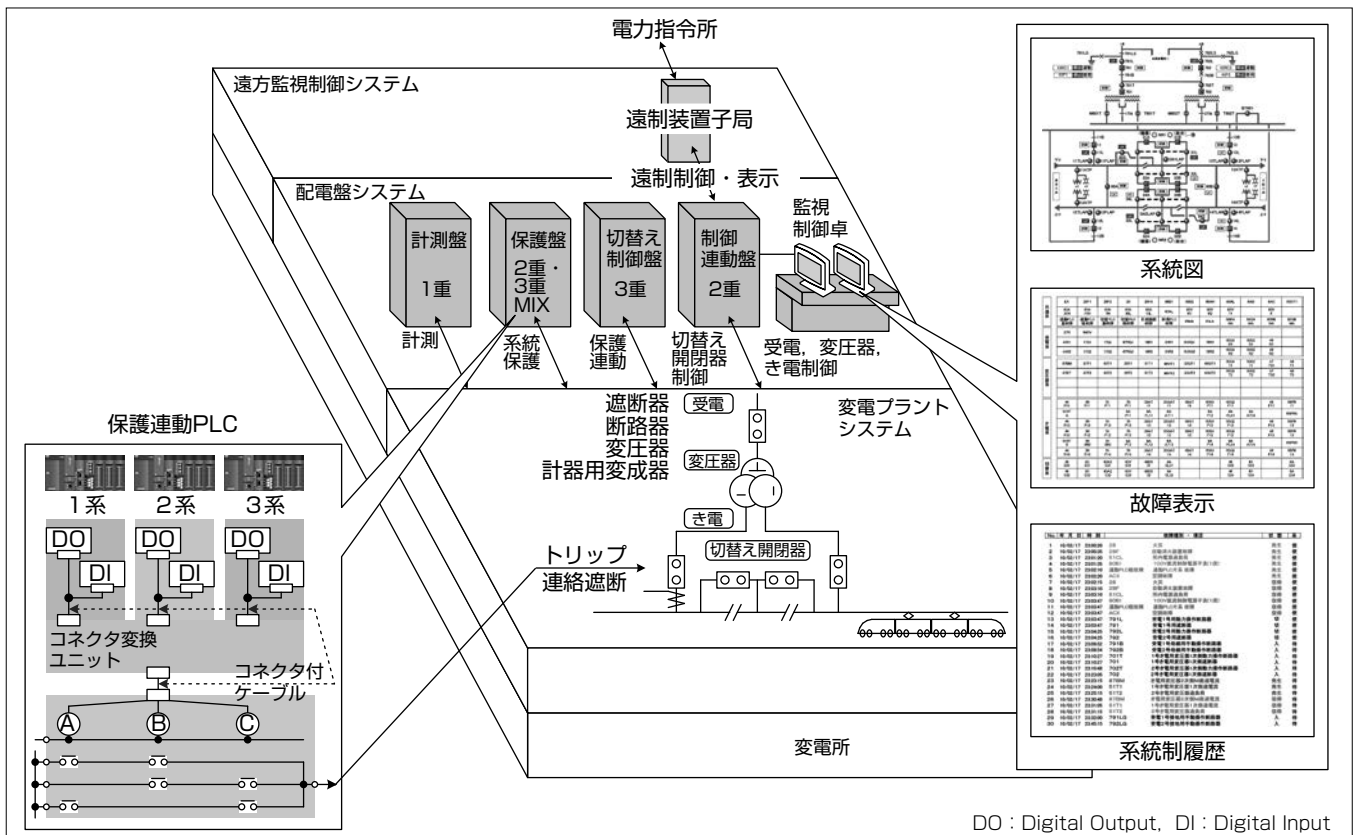
Takao Nishikawa, Ken Tanaka, Tatsuya Ueda

要 旨

社会インフラとして重要度がますます高まっている鉄道で、交通変電システムは安全・安定輸送を支えるために、電車へ安定した電力を供給するという重要な役割を担っている。近年、多数の最新技術を応用した変電設備が導入されている。

特に進化している新幹線の変電所配電盤は、静止形装置を主部品として採用したマイクロエレクトロニクス (Micro Electronics : ME) 配電盤の導入が進められており、近年の鉄道事業者のニーズとして、更なる高信頼性、省スペース化、高機能化が求められている。

三菱電機のME配電盤は、制御の中核となるプログラマブルロジックコントローラ (Programmable Logic Controller : PLC) を、機能の重要度や目的に応じた最適な多重化方式にすることで、信頼性と性能を各々高いレベルで両立させている。特に、複数部品のユニット化や、PLCの機能集約を行うことによって、構造のコンパクト化と同時にシステムのシンプル化を実現している。さらに、高性能のPLCを適用するとともに、必要に応じてマルチCPU構成にすることで、制御・保護の高速化を実現している。



新幹線向け変電所配電盤

変電所配電盤は、遮断器、断路器、変圧器などから構成される変電所内の各機器の監視・制御・保護を行う機能を持つ。新幹線の変電所配電盤は、制御連動盤、切替え制御盤、保護盤、計測盤などの機能単位で分割された複数の盤で構成される。配電盤は、遠方監視制御装置を介して、電力指令所からの情報受渡しを行っている。

*神戸製作所

1. ま え が き

交通変電所配電盤として、最新のME技術を採用したME配電盤が導入されている。日本の大動脈である新幹線では、更なる電力安定供給を実現する上で、配電盤の高い信頼性が必要とされる。さらに、近年の鉄道事業者のニーズとして、保守性が高く、よりシンプルな構成の配電盤システムが求められている。当社は、これらの要求に応えるため、信頼性向上を図りつつコンパクト化、高機能化を実現したME配電盤を製品化している。

本稿では、新幹線向けME配電盤の標準的な機能、構成について述べる。また、当社配電盤システムの特長である高信頼性・コンパクト化・高機能化の面を中心に、配電盤の最新の技術動向と今後の展望について述べる。

2. ME配電盤システム

2.1 ME配電盤

新幹線の変電所は、電力会社から送られてきた電力を変圧器で電圧・相の変換を行い、電車に供給する設備である。配電盤は、変電所の変圧器や遮断器などの機器の監視・制御や、主回路の故障を検出し、異常部分を切り離すなどの機能を持っている。監視・制御・保護を確実にを行い、電車への安定した電力供給と事故波及防止を行うという重要な責務がある。

従来は、補助リレーなどの機械式の主部品を用いたメカ型の配電盤が採用されていた。近年導入が進んでいるME配電盤は、静止形装置を主部品として採用しており、制御にPLCを、保護にデジタル式のプロテクションリレーを用いている。

2.2 ME配電盤の機能及びシステム構成

新幹線の変電所配電盤は、機能単位で分割された複数の盤から構成されている。変電所の各機器の監視・制御をつ

かさどる制御連動盤及び切替え開閉器の制御を行う切替え制御盤には、連動PLC及び切替えPLCを実装する。また、主回路の異常時に遮断器を開放する系統保護及び断路器開放などの保護連動を行う保護盤には、保護継電器及び保護連動PLCを実装する。ME配電盤の構成を表1に、ME配電盤の外観を図1に示す。

ME配電盤の各PLC間、遠方監視制御装置間など、各装置間の接続を容易にするために、ネットワークにLANを用いている。制御用、計測保全用といった機能ごとにLANを分離することで、LANトラフィック増大による制御遅延を排除し、システムの安定性と応答性を向上させている。ME配電盤のシステム構成を図2に示す。

2.3 ME配電盤の付帯機能

ME配電盤は、2.2節で述べた基本的な機能以外にも、多くの付帯機能を具備している。その例を次に示す。

表1. ME配電盤の構成

種別	主な機能	多重化構成
制御連動盤	受電、変圧器、き電の各機器の制御	2重(PLC)
切替え制御盤	切替え開閉器の制御	3重(PLC)
保護盤	系統保護、保護連動、インタロック	2重(保護継電器) + 3重(PLC)

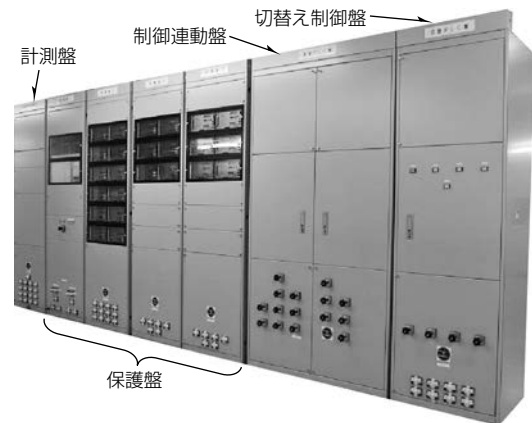
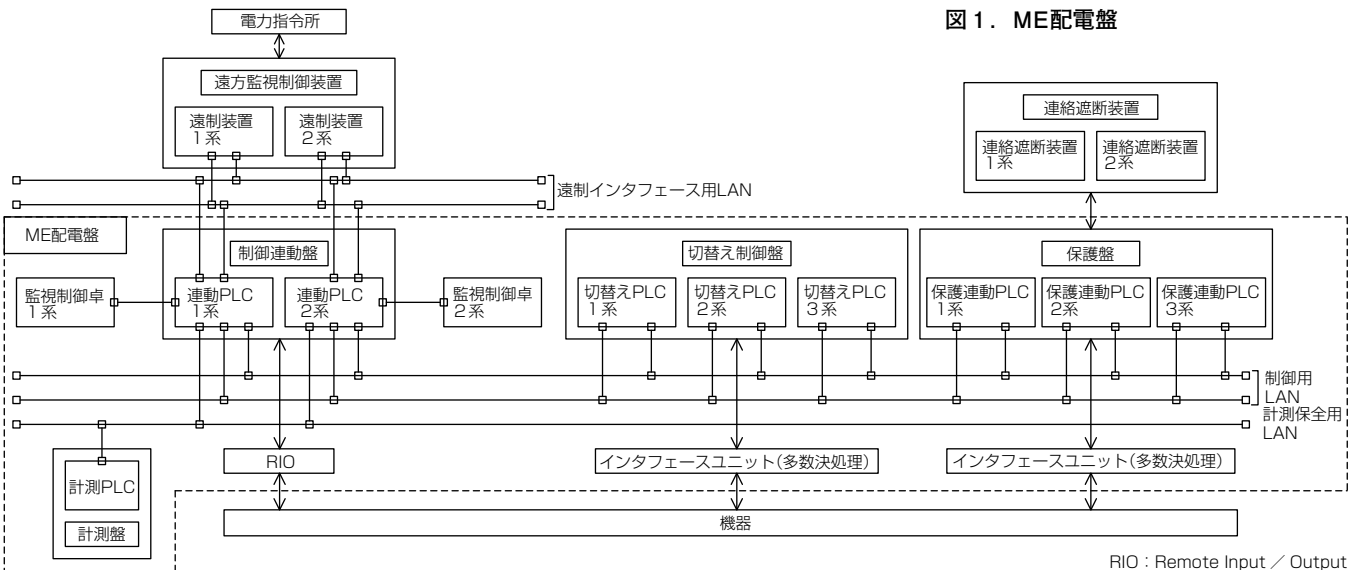


図1. ME配電盤



RIO : Remote Input / Output

図2. ME配電盤のシステム構成

1号受電				
故障名	整定値			
	現在値	変更値	整定範囲	
51R1 短絡限時(1)	動作電流(A)	3.5	Lock(99.9)~1~12A (0.1A Step)	
	動作時間(5/4%)	4.0	0.25~0.5~50 (0.5 Step)	
	動作特性	反限時1 反限時2 反限時3	強反限時1 強反限時2 強反限時3	超反限時1 超反限時2 超反限時3
	復帰特性	反限時 反限時2	定限時1 定限時2	
短絡限時(2)	動作電流(A)	99.9	Lock(99.9)~1~12A (0.1A Step)	
	動作時間(5/4%)	0.25	0.25~0.5~50 (0.5 Step)	
	動作特性	反限時1 反限時2 反限時3	強反限時1 強反限時2 強反限時3	超反限時1 超反限時2 超反限時3
	復帰特性	反限時 反限時2	定限時1 定限時2	
SOR1 短絡瞬時	動作電流(A)	10.0	Lock(99)~2~80A (1A Step)	
51GR1 地絡定限時	動作電流(A)	99	Lock(99.9)~0.1~1.5A (0.05A Step)	
第2高調波抑止(f2/f1)(%)	動作時間(Sec)	0.0	INST(0.0)~0.1~1.0s (0.1s Step)	
	動作時間(Sec)	0.0	INST(0.0)~0.1~0.5s (0.1s Step)	
	動作時間(Sec)	10	NO USE(8)~10~25% (5% Step)	

図3. 整定値表示・変更の画面イメージ

(1) 保全データ収集機能

機器の動作時間や動作回数などの計測、事故波形記録、系統事象のログ収集、計測値をもとにした帳票作成などを可能にした。

(2) 保護継電器の整定値表示・変更機能

保護継電器に搭載された通信機能を活用し、配電盤の監視画面への保護継電器の整定値一覧表示及び画面操作による整定値変更を可能にした(図3)。

3. システムの特長

3.1 高信頼性

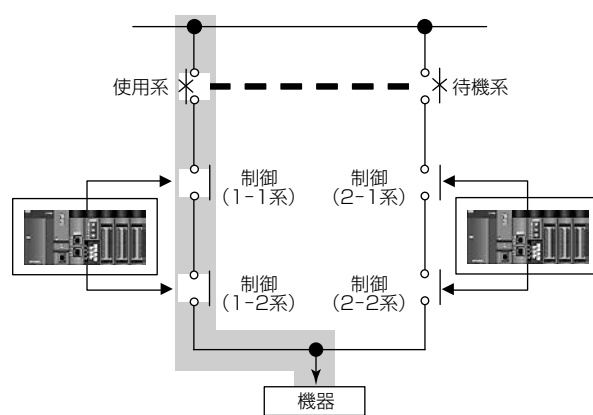
配電盤のPLCは、信頼性・大きさ・性能などを総合的に考慮し、それぞれの機能に応じた最適な多重化方式を用いている。連動PLCは2台のPLCによる2重化(使用系・待機系)切替え方式に、切替えPLC及び保護連動PLCはより信頼性を高めるために、3台のPLCによる3重化多数決論理方式にしている。多重化方式を図4に示す。

(1) 2重化(使用系・待機系)切替え方式

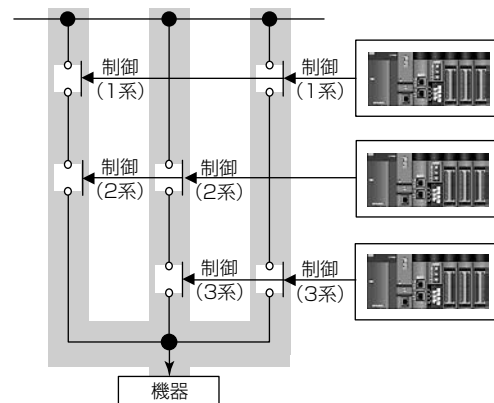
2重化(使用系・待機系)切替え方式とは、使用系の異常が発生した場合、自動で待機系からの出力に切り替わる方式である。使用系PLCの正常時でも、内部の演算は使用系・待機系PLCの両方で行うが、出力は使用系PLCだけで行うホットスタンバイ方式を採用することで、使用系PLC故障時の制御不応動を防止し、信頼性を確保する。また、PLCの制御出力は、信頼性を確保しつつ制御遅れを最小とするために、出力接点を2重化している。

(2) 3重化多数決論理方式

2重化(使用系・待機系)切替え方式では、使用系の異常が発生した場合、待機系への切替えに数百ms程度の時間を要するため、切替え処理中の制御出力に遅れが生じる。切替えPLCと保護連動PLCで行う処理は、出力の遅れをできるだけ少なくする必要があるため、PLCを3重化構成とし、完全に独立して動作する3台の出力の多数決論理(2 out of 3)で制御する。これによって、PLC 1台の故



(a) 2重化(使用系・待機系)切替え方式



(b) 3重化多数決論理方式

図4. 多重化方式

障時でも他の2台のPLCで、切替えによる処理の遅れがないよう出力でき、処理の信頼性の向上を実現した。

3.2 コンパクト化

配電盤の更新工事では、限られた余剰スペースで行う必要があるため、配電盤の面数削減などのコンパクト化が必要である。一方、一定の性能と信頼性を確保するために、PLCの多重化や機能ごとのPLCを配置することで使用部品数量が増え、盤面数が増加することになる。そこで当社は、次に示すような複数部品のユニット化やPLCの機能集約を行った。その結果、標準的な変電所では専有面積を当社従来比約75%(盤幅計5,800mm)、き電区分所・補助き電区分所では約40%(盤幅計3,150mm・1,500mm)にするコンパクト化を実現した。

(1) RIO内蔵型インタフェースユニット

RIOは、PLCと外部装置や機器との信号の取り合いに用いる装置である。また、インタフェース(IF)ユニットは、リレー出力と電圧変換を行う装置である。従来、PLCで入出力処理を行う場合、RIO入力ユニット、RIO出力ユニット及びIFユニットの3つのユニットから構成し、相互間はコネクタ付きケーブルで接続していた。これらを一体化するとともに、従来IFユニットと同サイズで実現したRIO内蔵型IFユニットを開発した。RIO内蔵型IFユニットの外形・構成を図5に示す。RIO内蔵型IFユニットを制

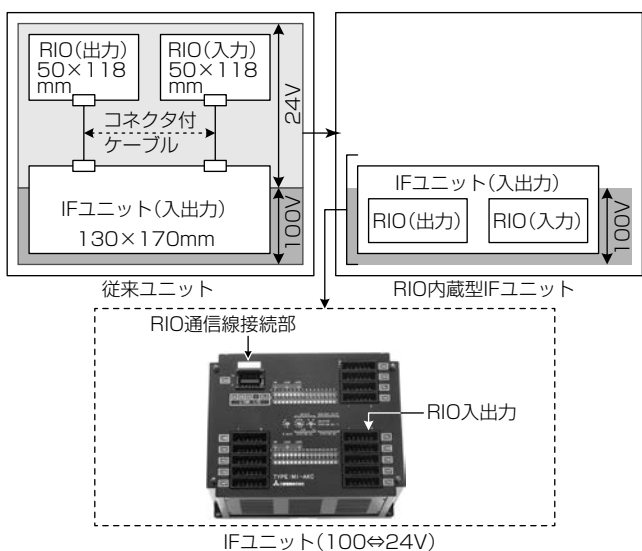


図5. RIO内蔵型IFユニット

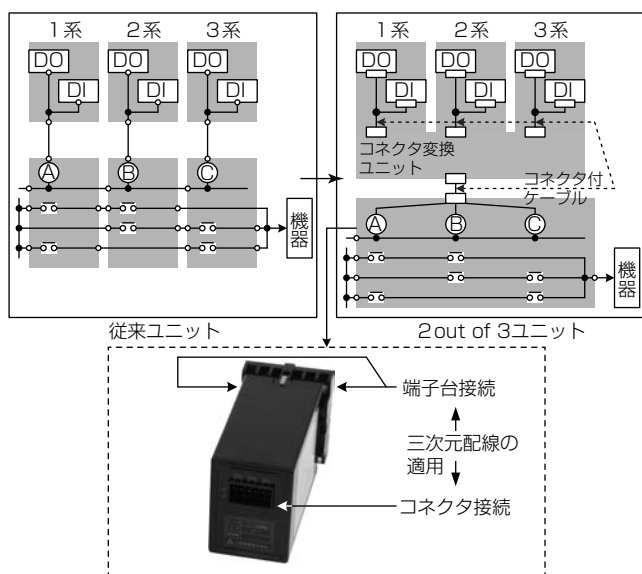


図6. 2 out of 3ユニット

御連動盤に使用することで、従来の制御連動盤と比較して約50%のコンパクト化を実現した。

(2) 2 out of 3ユニット

保護盤・切替え制御盤の3重化多数決論理回路は、従来、3個の補助リレーで構成していたが、この回路を基板化することによって、1つのユニットに内蔵した専用の出力、入力ユニットを開発した。さらに、このユニットは三次元配線を適用することによって、面積当たりの配線量を増やしてユニットの実装高密度化を行うことで、専有面積を従来比約30%にするコンパクト化を実現した。2 out of 3ユニットの外形・構成を図6に示す。

3.3 高機能化

高性能(基本演算処理速度：9.5ns)のPLC“MELSEC Qシリーズ”を採用することで、制御・保護の高速化を実現している。これによって、将来のシステム拡張にも対応可能な余裕のある性能としている。また、連動PLCにマルチCPU



図7. 監視制御卓の外観

を導入することで、高度な変電所保全情報機能を実現した。

機器操作機能を持つ監視制御ヒューマンインタフェースは、従来は監視制御盤方式で、制御は照光式押し釦(ボタン)、情報表示はLCDタッチパネルの組合せであった。当社は、大型LCDタッチパネルを新たに適用し、系統図や制御釦などを容易に操作・表示可能とした。さらに、監視制御卓方式にも対応できるように、産業用パソコンでの監視制御ヒューマンインタフェースを実現した。また、産業用パソコンはディスクレス、シャットダウン不要とすることで、信頼性、運用性も向上させている。監視制御卓の外観を図7に示す。

4. 今後の展望

鉄道事業者向けの変電所ME配電盤は、基本機能自体は成熟領域にあるが、ユーザーごとのニーズが多様化してきている。そこで、これらの多様なニーズに応えるため、新たなシステムの検討を行っている。その例について、次に述べる。

(1) 制御・保護機能の集約

配電盤の更なるコンパクト化を行いつつ、高性能・高信頼化を実現することを目的に、連動PLCと保護連動PLCの機能集約を行い、3重化多数決論理方式で出力するシステム構成にする。PLCは、従来に比べ約10倍の処理速度を持つ新型PLC“MELSEC iQ-Rシリーズ”を導入することによって、PLCの機能集約による処理の遅れがない制御・保護を行うことができる。

(2) システムラインアップの充実化

特に在来線などで、配電盤として信頼性を維持しつつシンプル化を図るために、PLCのCPU部だけを2重化して、RIOは1重化の構成にする。このシステムは、CPUの1台の故障時にも、正常側CPUにRIOが切り替わることで、信頼性と省スペース化を両立できる。

5. むすび

鉄道の運行を支える交通変電システムの中から、新幹線向けの変電所配電盤を中心に、最新技術と今後の展望について述べた。このシステムの導入によって、配電盤の信頼性の向上とコンパクト化、高機能化を実現し、新幹線の安定大量輸送に貢献している。今後も更なる客先ニーズを満たした交通変電システムを構築するために、絶えず開発に取り組み、機能向上・拡張を図っていく。