区間管理方式を用いた効率的な配電系統運用

正員 佐野 常世 (東京電力)

非会員 辰 巳 光 宣 (東京計算サービス)

Electric Distribution System Operation using A Section Management Method

Tsuneyo Sano, Member (Tokyo Electric Power Co.), Mitsunobu Tatsumi, Non-member, (Tokyo Computer Service Co., Ltd)

The high-voltage distribution system is connected in a tree branch configuration so as to meet the need for high reliability feeding. When a service interruption accident occurs, the faulty section is automatically separated and the healthy section carries out power flexibility from an adjacent system, thereby reducing the service interruption area. The faulty section in the distribution system is quickly located by means of time relays installed in some switchgears in the distribution system. However, the setting points of these time relay must be constantly monitored.

As such, we have proposed a "section management method" which can supervise each section unit of the distribution system. Based on this method, we then developed a prototype automatic distribution system for the overall management of time relays using internal software, facilities and customers feedback.

This paper describes operation of the distribution system in regard to the "section management method" was used as.

キーワード：配電系統運用，配電自動化システム，区間管理，事故復旧，ソフトウェア制御

1. まえがき

高圧配電系統は、面的に広がる電力需要に対応するために樹枝状に張りめぐらされている⁽¹⁾⁽²⁾。これを電力会社では、電源となる配電用変電所から電氣的につながる末端設備までを「1系統」とし、系統単位にユニークな名称を設定することにより管理する方式を一般的に用いている。従来、配電系統上に事故が発生すると、1系統上にあるすべての開閉器を自動的に開放し、故障復旧員が現場に出向して開閉器操作による系統の切り分けを実施後、メガーテスト等によって故障区間を発見していた。しかし昭和20年代後半から、供給信頼度の向上や事故探査業務の省力化などを目的として、系統上の開閉器に順送時限投入装置を装着し、変電所における配電用遮断機の再閉路動作と協調することによって、一定の時限で各区間を順次投入しながら自動的に故障区間を判別して切り離すとともに、順送復旧可能な健全区間を自動復旧する時限順送方式が採用されてきた。その後、情報伝送技術の発達に伴い、開閉器の遠方制御装置が開発され始めた昭和50年代からは、配電線自動制御用コンピュータの導入が始まり、線路機器の監視や制御などを自動に行う配電自動化システムが実運用され始めた⁽³⁾⁽⁴⁾。現在の配電自動化システムは、時限順送方式とともに、融通可能な隣接系統との連系が存在していれば、順送復旧不可能な健全区間も隣接系統からの逆送電融通による自動復旧が可能となっており、供給信頼度の面で

大きなメリットを示している⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

以上のように配電の系統運用は、配電自動化システムの出現により、事故復旧や系統切替の面で格段の進歩を遂げてきた。しかし系統を正しく効果的に運用するためには、系統に関係する設備や顧客の情報を詳細に把握する必要があるため、系統情報に様々な情報を付加させる必要がある。このような系統管理面を充実させた総合的な配電の系統運用を行うためには、現状で次のような課題が残されている。

それは、前述の配電自動化システムに代表される運用システムと設備データや需要家データの管理システムとが別々の目的に向かって開発されてきた経緯があるため、システム同士が連系されておらず、配電自動化システムからは設備や需要家の詳細な情報を把握できない点である。したがって、配電系統上に事故が発生した場合に把握できる情報は、配電自動化システム上で管理している重要設備や重要需要家のみであり、詳細な情報までをリアルタイムで正確に把握することができない。これは、配電系統を1系統単位に管理する配電自動化システムの系統管理方法に起因するものと考えられる。すなわち、配電系統は時限投入装置を装着した区分用自動開閉器により適当な区間に分割され、1系統ごとにそれぞれの区間を電源側から時限に沿って投入する順にユニークな名称を設定して管理されているものの、ここでいう「区間」の概念はあくまでも配電自動化システム上のものであり、管理系のシステムにこの概

念は存在しない。もし、管理系のシステムに現状の「区間」と同様の概念を導入しても、配電系統は日々切替わる度に区間アドレス情報も変化するため、メンテナンスに費やす労力が膨大となり、実用的なシステムの構築は難しいと考えられる。

そこで著者は、配電系統の管理運用を「1系統」ごとではなく線路用開閉器で囲まれた「1区間」ごとに行う「区間管理方式⁽⁷⁾」を提案し、系統運用の専門的知識を組み込んだメンテナンスフリーとなる集中制御方式の配電自動化プロトタイプシステム(以下、プロトタイプシステムという)を開発した。これにより、運用系システムと管理系システムが連系され、配電系統事故時の詳細な停電情報をリアルタイムかつ正確に把握することが可能となった。さらに、事故復旧手順をシステムが自動的に作成するようになったため、システム操作者の労力が軽減し、システム運用が簡単かつ確実に行えるようになった⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

以下本論文では、区間管理方式の内容を詳述し、この方式を用いた総合的な配電系統運用の自動化方式について具体的な実現プランとその有効性を述べる。

2. 配電系統運用の現状

〈2.1〉配電系統構成 高圧配電系統は、一般的に配電用変電所から引き出された幹線があり、幹線から負荷形態の必要に応じて分岐線が樹枝状に延びている。この線路は、時限装置を装着した区分用自動開閉器により適当な区間に分割され、さらに連系用自動開閉器によって隣接する配電線路と連系がとれる形態を成している。地中配電系統も基本的な系統構成の考え方は同様である。これを多分割多連系方式という(図1)。

図1 多分割多連系方式配電系統
Fig.1. An outline of distribution system.

〈2.2〉系統事故復旧 配電系統上に事故が発生した場合における、現状の配電自動化システムを用いた一般的な復旧方法を述べる。系統上に事故が発生した場合には、変電所の保護装置が動作して配電用遮断機が遮断し、線路の区分用開閉器は無電圧状態を感知して自動的に開放する。一定時間後に配電用遮断機が再閉路すると、1区間ごとに系統上の区分用開閉器の時限装置が順次印加され、あらかじめ設定された時間後に区分用開閉器を順次投入していく。故障点が含まれる区間の電源側区分用開閉器が投入されると変電所の保護装置が再度動作して配電用遮断機が遮断し、線路の区分用開閉器の無電圧開放を行う。さらに故障点が

含まれる区間を構成する自動開閉器を開放状態のままロックし、「事故区間」として系統上から分離する。配電用変電所側では、配電用遮断機の1回目の再閉路から再遮断までの時間を計測し、事故区間を把握して、「〇〇系統の〇〇区間」というユニークな系統名と区間名からなる事故区間のアドレス情報を得る。すなわち、あらかじめ系統上の各区間がある一定時間ごとに順次投入されるような時限を各区分開閉器に設定しておき、変電所側では配電用遮断機の投入から遮断までを計測した時間から事故区間を特定するという、変電所側と系統上の各開閉器が一体となった分散処理方式を用いている。次に故障点を含まない健全区間の復旧について述べる。まず順送復旧可能な健全区間は、配電用変電所からの2回目の再閉路により区分用開閉器が再度順次投入して復旧する。ここまでは、昭和20年代後半に普及した方式が現在でも用いられており、配電自動化システムに依存している部分は存在しない。しかし逆送復旧可能な健全区間については、配電自動化システムの出現により、隣接系統との負荷などの関係を自動的に計算して判断し、配電自動化システムから系統上の開閉器へ投入指令を伝送することにより、自動的に逆送電による復旧を行うことが可能となった⁽¹⁰⁾。

これらの方式は、事故区間の探索と健全区間の復旧が短時間で自動的に行えるため、現在では各電力会社の主流方式となっている。しかしシステムを確実に運用するためには、①事故区間アドレス情報を理解するためには、事故系統上における事故区間の位置を前もって把握しておく必要がある、②系統上の区分開閉器に対する時限の設定値は人間の判断に委ねられている、③実際に時限の設定作業を行うためには、現場の開閉器設置柱まで出向し昇柱して操作を行う必要がある、などのように人間に依存している部分が多く残されている。電力会社の営業店によっては、1カ月あたり20~30回も開閉器の時限設定作業を行っているのが実態である。

また、系統事故による供給支障情報の把握面においても、配電自動化システムはマクロな需要家の負荷データしか保持していないため、詳細な供給支障情報を把握するためには多大な労力と時間を費やさなければならないといった課題も残されている。

〈2.3〉配電情報の管理 次に、配電部門で保持しているデータの現状の管理方式について述べる。配電部門の業務に必要な情報には、配電自動化システムで管理している上位を含めた系統構成の情報、設備管理システムで管理している電柱・塔類・変圧器などの配電設備の情報、需要家管理システムで管理している需要家の契約情報があり、それぞれ固有のシステムを構築して管理している。ここで、設備管理システムと需要家管理システムとは、共有情報として引込線の情報、すなわち需要家とその供給設備(電柱や塔類など)との結び付きの情報を保持しているため、互いに連系された関係にあり、それぞれのシステムから必要な情報を引き出すことが可能である。しかし、配電自動化

システムと設備や需要家の管理システムとは共有情報が存在せず、互いのシステムが連系されていない(図2)。

図2 配電情報管理システムのリンク
Fig.2. Linkage of distribution information management systems.

これは、それぞれのシステムが異なる目的のために開発されてきたことに由来している。配電自動化システムは、配電機器の監視や制御などを自動的に行うことによって、系統切替や事故復旧の効率化を図ることを目的として開発されてきたため、系統構成・開閉器状態・需要家のマクロな負荷データなど、運用のための必要最小限のデータのみ管理されている。これに対し、設備管理システムや需要家管理システムは、設備や需要家情報を詳細に管理することにより、資産管理や設備の計画・建設に役立たせることを目的として開発されてきたため、設備の容量・施設年月・型式や需要家のミクロな負荷データなど、膨大な量のデータが管理されている。

しかし、高度情報化社会が急速に進む現代においては、需要家の高供給信頼度の維持要請が年々向上してきているため、配電の系統運用においても、系統切替や事故復旧の手順作成に設備や需要家の詳細な情報を勘案することが必要不可欠となってきており、システム相互のデータ共有化が重要な課題となってきた。

そこで著者らは、これらの課題を解決するために、運用系と管理系のシステムが共通の概念でデータを管理することができる「区間管理方式」を提案した。

3. 区間管理方式

〈3.1〉区間管理方式の概念 配電系統上で事故による停電が発生した場合には、前章で述べた通り、区分用自動開閉器で囲まれた区間単位に復旧や切り離しが行われて事故点を絞り込んでいくことから、「停電」が発生する最小単位とは、系統上の開閉器で囲まれたエリアであると考えられる。したがって、開閉器で囲まれたエリアを1つの区間と設定し、この「区間」を系統管理の基本単位とすることによって、配電系統は互いが開閉器で接続された区間の集合体と見なすことができる。さらに、区間は互いが電力線で接続された電柱の集合体と見なすことができ、電柱は引込線を介して接続された需要家の集合体と見なすことができる(図3)。

図3 区間管理方式の概念図
Fig.3. A notion of a section management method.

すなわち、区分用または連系用自動開閉器で囲まれたエリアを「区間」と定義し、プロトタイプシステム内に登録されているすべての区間に対してユニークな名称を設定する。各区間はそれを囲む開閉器名をキーとして保持することにより、区間同士の連系状態を把握できるようになる(例えば、図3の区間CはAS2, AS3, AS5をキーとして保持することにより、それぞれ区間B, D, Eとの連系を持っていることが把握できる)。さらに、1つの配電系統は区間を寄せ集めることにより構成され(例えば、図3の系統は区間A, B, C, D, Eで構成されている)、各区間は、そのエリア内に含まれる電柱を寄せ集めることにより構成される(例えば、図3の系統の区間Bは電柱12~17号柱で構成されている)。したがって、これらの系統・区間・設備(電柱)の各データを図4に示すレコード形式に則って管理することにより、階層的に管理することが可能となる。

〔配電系統レコード形式〕

インデックスキー部		レコード本体部		
レコードID	配電系統コード	構成区間数	構成区間レコード群	
			第1構成区間	第2構成区間
				

〔区間レコード形式〕

インデックスキー部		レコード本体部		
レコードID	区間コード	構成電柱数	構成電柱レコード群	
			第1構成電柱	第2構成電柱
				

〔電柱レコード形式〕

インデックスキー部		レコード本体部		
レコードID	電柱コード	構成需要家数	構成電柱レコード群	
			第1構成需要家	第2構成需要家
				

図4 レコード形式
Fig.4. Record format.

さらに前章で述べた通り、電柱は引込線を経由して需要家と連系しているため、配電系統データから需要家データまでを一連の tree 構造で管理することができ(図5)、運用系システムと管理系システムのデータ共有が実現する。

図5 データの tree 構造
Fig.5. Tree structure.

〈3.2〉初期構築 区間管理方式を実際に利用するためには、システムに登録されている全系統の膨大な量の区間データを新たに構築しなければならない。その際に、すべてのデータを人間が1つずつ確認しながら構築していくことは時間的な無駄が多いため、計算機によるサポートが必要である。そこで著者らは、設備管理システムが保持するデータを利用して、区間データの新構築を計算機によりある程度自動的に行った。構築方法は次の通りである。

設備管理システムでは、架空線であれば電柱単位に配電設備の設置状態が管理されており、電柱同士のつながりや開閉器の設置状態を把握することができる。したがって、開閉器の設置柱をスタート地点として電柱同士のつながりを辿っていき、次の開閉器設置柱に到達した時点で終了することにより、その軌跡で通過したすべての電柱を1つの区間と定めることができる。ただし設備管理システムでは、系統構成の管理は行っていないため、分岐柱や二重架線柱に設置してある開閉器の接続状況や、電柱間の中間接続状況などの区間データを構築するために必要なデータを把握することができず、人間による手補正が若干必要である。しかし、この方法を用いることにより、計算機で95%以上の区間データを自動的に構築することができ、さらに区間管理方式の概念自体が配電系統構成の概念を基本に発案されているため、現状のシステム仕様に大幅な変更を加えることなく簡単に導入することが可能である。

〈3.3〉データ管理上の効果 運用系システムと管理系システムに区間管理方式という共通の概念を導入することにより、双方のシステムが連系され、各々のシステムで保持する情報の共有化が実現する。その結果として、配電部門で保持するすべての情報を任意のシステムから引き出すことが可能となり、ユーザーにとって利用できるデータの選択範囲が広がることとなる。

しかし、運用系の配電自動化システムに区間管理方式を導入するためには、システムの持つ供給信頼度面のメリットを低下させることなく系統運用を行えることが必須条件

となるため、系統切替や事故復旧などの運用面についても十分な検討が必要である。次章に、これらの検討を行った結果として、系統運用のあらゆるノウハウを必要とする事故復旧の区間管理方式を用いた実現手段を述べる。

4. 区間管理方式を用いた事故復旧手順

配電系統事故時の自動復旧手順決定問題は、効率的な開閉器操作手順を決定する問題であり、組合せ最適化問題として、知識ベースや数理計画法などを利用したさまざまな手法が提案されてきた^{(11)~(21)}。しかし、これらの多くは負荷融通の最適化を目指した報告が多く、原系統への復旧方法(再送電)を問題とした報告は少ない。これは、系統の管理を1系統単位に行っている既存の方法で、系統上に設置してある区分用開閉器の位置関係を把握するためには、電源からの設備のつながりを辿っていかねばならず、原系統への復旧(すなわち区間ごとの点灯順位の決定)は、あらかじめ系統上に設定してある区分用開閉器の時限に委ねる既存方式のほうがより簡単に解決できると考えられるためである。ところが、配電自動化システムに区間管理方式を導入した場合には、系統を区間単位で管理していることにより、区分用開閉器の位置関係を容易に把握できるため、系統上にあらかじめ時限を設定しなくても、事故が発生した直後にその時点の系統構成に合わせた復旧手順を自動的に作成することが可能となる。したがって、事故復旧のための開閉器操作手順は従来の方式と同様であるが、恒常に行っている系統の管理面で大幅な業務の省力化が期待できる。区間管理方式を用いた事故発生から自動復旧終了までのフローを図6に示し、以下に事故復旧手順の作成方法を述べる。

図6 事故復旧処理手順
Fig.6. Interruption restoration processing.

〈4.1〉再送電 配電系統上に事故が発生した場合に判明した事故配電系統コードから、その系統を構成する区間名と各区間を構成する開閉器番号を抽出する。これらの抽出した情報からマトリクスを構成し、各開閉器を電源側から順に1区間ずつ点灯していくように再送電手順を作成する。その後、決定した開閉器の投入順位に沿って、実系統上の開閉器に対して1開閉器ごとに開閉器投入時限(X時限)に基づいて投入指令を出し、1区間ずつ点灯していく。システム側は、投入指令を送る開閉器番号をキーとしてこれから点灯する区間名を把握している状態となり、事故検出時限(Y時限)に基づいて事故区間を探索していく。事故検出時限中に変電所の保護装置が再動作してCBが再遮断した場合は、再送電不成功となり、最後に点灯した区間を事故区間として抽出する。変電所の保護装置が再動作すること無くすべての区間が点灯されて原系統に復旧した場合は、再送電成功として自動復旧を終了する。

次に再送電のための、開閉器の投入順位決定アルゴリズムの概要を述べる。なお、説明を分かり易くするために、図7に示す系統を例題として述べる。

まず、区間名を要素とする*i*行と開閉器番号を要素とする*j*列からなるマトリクスを定義し、事故配電系統コードから抽出された区間名と、再送電時に投入操作を行う候補となるCBと区分用開閉器の開閉器番号からマトリクスを構成する(表1)。

表1 マトリクス作成例
Table.1. Implementation example of a matrix.

行 (<i>i</i>)	区間名	列 (<i>j</i>)						
		1	2	3	4	5	6	7
		開閉器番号						
		CB	2	3	4	5	7	9
1	A		1					
2	B		1	1	1			
3	C				1	1	1	
4	D						1	
5	E					1		1
6	F							1
7	G	1		1				

マトリクスは、各セルを $S_{i,j}$ とし、それぞれの各区間名を構成する開閉器番号を示すセルは「 $S_{i,j}=1$ 」、それ以外のセルは「 $S_{i,j}=0$ 」と初期値を設定する。例えば、「区間G」は「CB」と「SW3」で構成されているため、「区間G」を示す7行目($S_{7,j}$)は、「CB」を示す1列目($S_{7,1}$)と「SW3」を示す3列目($S_{7,3}$)がそれぞれ「1」となり、その他の列が「0」となる。(図上では「0」を省略する。)

ここで、「CB」を示す $S_{7,1}$ をスタート地点として設定し、「 $S_{i,j}=1$ 」となるセルの探索を開始する。まず行方向に探索し、「 $S_{i,j}=1$ 」となる $S_{i,j}$ が抽出されたら、その列において今度は列方向に探索していく。そして、列方向への探索時に新たな「 $S_{i,j}=1$ 」となるセルが抽出されたら、その $S_{i,j}$ を順次記憶し、その行において再び行方向に探索していく。もし途中経路で枝分かれが生じたら、まず片方のブランチを探索し、探索終了後にもう一方のブランチを探索していく。この処理を「 $S_{i,j}=1$ 」となるセルがすべて探索されるまで繰り返す(表2)。

表2 マトリクス探索例
Table.2. Searching example of a matrix.

行 (<i>i</i>)	区間名	列 (<i>j</i>)						
		1	2	3	4	5	6	7
		開閉器番号						
		CB	2	3	4	5	7	9
1	A							
2	B							
3	C							
4	D							
5	E							
6	F							
7	G							

さらに、区分用開閉器の投入順位を決定するための集合 $[W_k]$ を定義し、

$$[W_k] = \{p_k, q_k\} \dots\dots\dots (1)$$

投入区間名を示すマトリクス上の行番号を入力する行 $[p_k]$ と、投入開閉器番号を示すマトリクス上の列番号を入力する行 $[q_k]$ からなる投入順位テーブルを構成する。

図7 配電系統例
Fig.7. Example of distribution line.

次にテーブル上で、CBを示す $S_{7,1}$ を $[W_1]$ の要素 $\{p_1\}$, $\{q_1\}$ に入力し、

$$p_1=7, q_1=1 \quad \dots\dots\dots(2)$$

さらに記憶した $S_{1,1}$ を順番に $[W_k](2 \leq k)$ の要素 $\{p_k\}$, $\{q_k\}$ へ入力していく。

$$p_k=i, q_k=j \quad \dots\dots\dots(3)$$

最終的にマトリクス上の探索経路が無くなり、テーブル上への入力が済んだ時点ですべてを終了する。例題におけるテーブルの作成例を表3に示す。

表3 投入順位テーブル作成例
Table.3. Implementation example of table making
priority level of order operating switchgear.

投入順位 $[k]$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
行番号 $[p_k]$	7	2	1	3	5	6	4			
列番号 $[q_k]$	1	3	2	4	5	7	6			

この結果、開閉器の投入順位および区間の点灯順位は、テーブルにおける各集合 $[W_k]$ の要素 $\{p_k\}$, $\{q_k\}$ をそれぞれ $i=p_k, j=q_k$ と置き換えてマトリクス上の区間名および開閉器番号と照合することにより決定する。例えば、 $[W_1]$ の要素は $p_1=7, q_1=1$ となるため、それぞれ $i=7, j=1$ と置き換えてマトリクス上の7行1列が示す区間名と開閉器番号とを照合することにより、1番最初に投入する開閉器は「CB」、CBの投入により点灯する区間は「区間G」ということが分かる。例題の最終的な計算結果を表4に示す。

表4 計算結果
Table.5. A calculation result.

投入順位	1	2	3	4	5	6	7
投入開閉器番号	CB	3	2	4	5	9	7
点灯区間名	G	B	A	C	E	F	D

再送電は、このように決定された投入順位に沿って開閉器を順次投入していき、開閉器投入直後の事故検出時限中にリレーの動作によるCBの再遮断が行われた場合に、事故点が存在する区間を特定することができる。ここで事故区間として特定された区間を構成する開閉器は、再投入されて事故が再発生することを回避するために、システム上において投入指令を受付けない状態(ロック状態)にし、再々送電や逆送電で投入させる開閉器の候補から除外して事故区間をシステム上から完全に分離させ、再送電を終了する。

〈4.2〉再々送電 再送電不成功となり事故区間が特定されたら引き続き再々送電を行う。再々送電手順は、再送電時に再トリップした直前に投入した開閉器番号を抽出し、それを含めた以降の投入開閉器番号を削除して作成する。その後、作成した手順に沿って事故区間の手前の区間まで再送電と同様に順次開閉器を投入していく。ここで、順送復旧可能区間がすべて正常に点灯する前に変電所の保護装置が再動作してCBが再遮断した場合は再々送電不成功となり、事故区間不明として全停状態のまま自動復旧を終了し、順送復旧可能区間がすべて正常に点灯した場合は再々

送電成功として逆送電フローへ進むことは、通常の運用形態と同様である。

〈4.3〉逆送電 事故区間より負荷側に未点灯区間が残っており、容量に余力を残す隣接系統と遠方操作可能な開閉器で接続している場合には、その隣接系統からの逆送電による融通を行う。逆送電融通は、電流許容制約、電圧降下制約、事故終了後に行う原系統への切戻し手法の制約などといった種々の制約条件を考慮し、系統運用の安定性を十分に満足させる融通系統の選択が重要である。また、隣接系統だけで条件を満足させられない場合には、多段切替に発展させて融通を行うことも必要である。

融通系統が決定したならば、引き続き切替手順の作成を行う。区間管理方式を用いた逆送電手順の作成方式は、未点灯区間を対象としてマトリクスを構成し、前述の制約条件を判断しながら開閉器の操作順位を決定していく。基本的には、再送電手順の決定アルゴリズムに種々の制約条件の判断が加味されるだけである。今回開発したプロトタイプシステムにおいても、これらの検討は十分に行われている。しかし、本論文の主題は、データ共有化のための新管理方式を提案することにあるので、既知の考え方に基づいて検討した逆送電手順の作成方式に関する内容の詳細な記述は省略する。

以上により、区間管理方式を用いた場合においても、事故復旧手順の作成が可能であることを確認することができた。しかし、プロトタイプシステム内部で事故復旧手順の作成を行うと、時限の制御を系統上の開閉器自体で行えなくなる。したがって、プロトタイプシステム内部で時限の制御まで一括して行うことが必要となってくる。そこで、プロトタイプシステム内部で時限の制御を行う方法について検討した結果を次項に述べる。

〈4.4〉時限について 今までは区分用開閉器自体に時限が設定されていたため、その開閉器の時限装置に電源が印加されると同時に開閉器投入時限(X時限)と事故検出時限(Y時限)がスタートしていた。しかし本プロトタイプシステムでは、これらの時限の制御をすべてシステム内部で実現するため、システムが開閉器へ投入指令信号を出したと同時にこれらの開閉器投入時限と事故検出時限をスタートさせることとなり、時限のスタート時期が今までと異なる。1回線事故時における時限の概念を図8に示す。

図8 時限概念図(1)

Fig.8. A notion of fault detecting relay (1).

事故検出時限は本来ならば開閉器の投入直後より開始させることが望ましいが、その場合にはシステムから開閉器への投入指令信号の伝送時間と開閉器が投入指令を受信してから実際に投入動作を行うまでの対応時間を考慮する必要がある。とくに伝送時間については、信号の伝送方式や伝送路の状態によって大きな差異が生じやすく、一意的に決定することが難しい。一方事故区間の抽出は、事故検出時限に十分な値(伝送時間の最大値+数秒程度)を設定し、開閉器投入時限との差異をある程度(1~2秒程度)持たせれば、実運用上において事故区間の検出誤りを避けられると考えられる。このような理由から、開閉器投入時限および事故検出時限については、開閉器の投入指令を出した直後より同時に開始させることが適当であり、一般性は失われないと考えられる。

ただし、複数回線の同時事故が発生した場合は、事故系統同士が協調をとりながら事故復旧を進めていかなければならず、今までの時限の概念と多少異なってくる。例題として3回線同時事故が発生した場合の時限の概念図を図9に示す。

図9 時限概念図(2)
Fig.9. A notion of fault detecting relay (2).

今までの再送電は、複数回線の事故が同時に発生しても、各系統の電源変電所と系統上の区分用開閉器にあらかじめ設定された時限に沿って、各系統ごとに単独に行われていた。すなわち、事故復旧手順があらかじめ作成されている状態で運用されていた。しかし今回のプロトタイプシステムでは、事故が発生してから事故系統の復旧手順を作成するため、手順作成のための時間(図8, 9の①と②)が必要となる。したがって、自動化システムのCPUを1台として運用する限り、複数回線の事故が発生した場合には、1回線ごとに手順を作成していくためすべての事故系統の復旧手順を作成する時間(図9のu)が必要であり、これらの処理が終了するまで再送電を行うことができない。また、再送電開始後においても、今回のプロトタイプシステムでは作成された手順に沿って各区分用開閉器へ投入指令を送るため、投入指令伝送のための時間(図8, 9の③)が必要

である。複数回線同時事故時には、1回線目における投入順位が1番の開閉器へ投入指令を送り、その後2回線目における投入順位が1番の開閉器へ投入指令を送る。この処理を続けて、事故系統すべてに対して投入順位が1番の開閉器へ投入指令の伝送が終了したならば、引き続き1回線目における投入順位が2番の開閉器へ投入指令を送り、以下同様の処理を行う。したがって複数回線同時事故時は、再送電が同時に開始することは無く、投入指令伝送時間分の遅れ(図9のv)が生じることとなる。さらに事故回線数によっては、X時限終了から次の区間のX時限開始までに空白の時間(図9のW)が生じてしまう場合がある。

そこで、プロトタイプシステム上で複数回線の同時事故が発生した場合を想定し、これら(図9の①, ②, ③)の処理時間についてシミュレーションを行ったところ、図10のような結果が得られた。なお、シミュレーションに用いた機種は、「日立ワークステーション3050(20MIPS)」である。

図10 シミュレーション結果
Fig.10. A simulation result.

一度に1000回線もの同時事故が起こる可能性は極めて低い。したがってこの結果より、現実には起こりうる可能性のある複数回線の同時事故時においても、実時間での処理が可能であり、本方式の妥当性を示すことができた。

5. 本方式の効果

区間管理方式の提案により、運用系システムと管理系システムの連系が実現し、各々のシステムで保持するデータを共有化することができたため、系統切替時の負荷情報や事故発生時の供給支障情報などをリアルタイムかつ詳細に把握することができるようになった。その結果、系統運用のきめ細かな対応や社会への情報提供の即時対応など、あらゆる面で利用できるデータの選択範囲を広げることができた。また、本方式は、既存のシステム仕様に大幅な変更を要することなく、初期構築の際にもほとんどが計算機を用いて自動的に構築できるため、容易に本方式の導入が可能であることも確認できた。

さらに、プロトタイプシステムによって運用面での有用性をシミュレートした結果、事故復旧手順の作成や時限の管理をすべてシステム内部で自動的に行えることを確認できたため、システム操作者が系統構成を前もって把握しておく必要がなく、時限設定メンテナンス業務も人間が行う必要がなくなるといった副次的な効果を確認することもできた。

6. む す び

本論文では、配電システムを系統単位ではなく開閉器で囲まれたエリア単位で管理する「区間管理方式」を提案し、その有効性について論じた。さらにこの方式を組み込んだプロトタイプシステムにおいてシミュレーションを行い、本方式の妥当性および有効性を示した。また、本論文では架空システムを例題として示したが、地中系統の場合でも区分・連系用開閉器の役割や系統構成の形態は同様であるため、架空システムと同程度のデータ量で本方式を適用することができることを著者らは確認している。

今回はプロトタイプシステム上でのシミュレーションに留めたが、今後は本システムを配電自動化システムに組み込み、実環境での有効性を検証していく考えである。

(平成6年10月25日受付, 平成7年1月23日再受付)

文 献

- (1) 高橋琢二・堀之内利之:「送配電工学」(昭57), 槇書店
- (2) 日原良造:「近代配電工学」(昭44), 電気書院
- (3) 門田:「配電近代化の歩み」(平6), 関東電気協会
- (4) J. Arrillaga, C. P. Arnold & B. J. Harker: "Computer Modelling of Electrical Power Systems" John Wiley & Sons Ltd., (1983)
- (5) 佐野光夫他:「配電自動化システム入門」(平3), オーム社
- (6) M. Imura & K. Ishige: "Measures for Improving Service Reliability on Power Distribution System" Advanced Electric Power Technology in Japan, Fuji Marketing Research Co., pp.244-254 (1981)
- (7) 山口・山田・佐野:「停電管理マッピングシステムの開発」, 第47回情報処理学会全国大会, 1, p. 385 (平5)
- (8) 佐野・山口:「区間管理方式を用いた配電系統事故区間抽出方式」, 電学全国大会, 13, p. 25 (平6)
- (9) 佐野・辰巳:「区間管理方式を用いた配電系統運用」, 電学電子・情報・システム部門大会, p. 347 (平6)
- (10) 関根泰次(監修):「配電技術総合マニュアル」オーム社, (平3)
- (11) 青木・佐藤・伊藤・桑原・金指:「電圧降下制約を考慮した配電系統の事故時負荷切換方法」, 電学論B, 108, 7, p. 329, (昭63)
- (12) 青木・奈良・佐藤:「復旧の優先順位を考慮した配電系統の事故時負荷切換え」, 電学論B, 110, 9, p. 711, (平2)
- (13) 青木・奈良・佐藤:「配電系統の接続変更手順決定方法」, 電学論B, 110, 9, p. 719, (平2)

- (14) C.E.Lin, et al.: "A Distribution System Outage Dispatch by Data Base Method with Real-Time Revision", *ibid.*, PWRD-4, No-1 (1989)
- (15) A.M.Stankovic & M.S.Calovic: "Graph Oriented Algorithm for the Steady-State Security Enhancement in Distribution Networks", *ibid.*, PWRD-4, No-1 (1989)
- (16) 奥田・渡辺・王・山崎・馬場:「二次系統における事故時復旧操作への知識工学の応用」, 電学論B, 107, 10, p. 509, (昭62)
- (17) 奥田・渡辺・山崎・馬場:「事例ベース形推論による二次系統の事故時復旧支援方式」, 電学論B, 108, 12, p. 553, (昭63)
- (18) 奥田・中川・山崎:「二次系統の事故時復旧支援における事例ベースの構築法」, 電学論B, 111, 3, p. 259, (平3)
- (19) 今村・叶井・川上:「配電融通問題へのファジィ推論の適用」, 電学論B, 113, 5, p. 493, (平5)
- (20) 中村:「最小木ならびに過負荷情報に基づく探索機構を用いた電力系統復旧における最終復旧系統立案方式」, 電学論B, 111, 5, p. 543, (平3)
- (21) 永田・佐々木・北川:「混合整数計画法の適用による復旧目標系統の決定」, 電学論B, 114, 2, p. 179, (平6)

佐野 常 世 (正員) 1965年1月30日生。1987年3月日本大学文理学部応用数学科卒業。同年4月東京電力(株)入社。現在, 同システム研究所に勤務。主として, 音声利用システム, マッピングシステムなどの研究開発に従事。

辰 巳 光 宣 (非会員) 1967年1月10日生。1990年3月高知大学理学部物理学科卒業。同年4月東京計算サービス(株)入社。現在, 同システムサービス部に勤務。主として, マッピングシステム, 音声認識システムの開発設計に従事。