

構内配電・ビル内配電における二、三の検討

八木 修三(やぎ しゅうぞう)

横山 武夫(よこやま たけお)

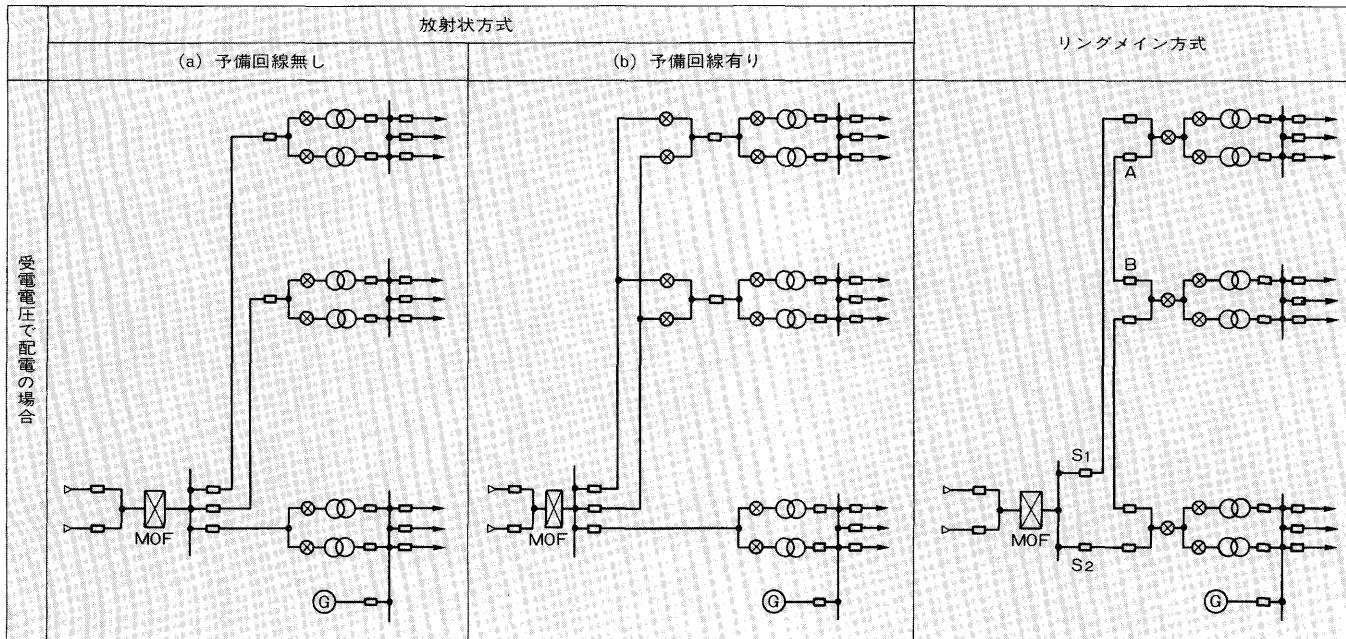
① まえがき

近年、OA機器の急速な普及、高度情報通信網の実用化により、これらを導入して付加価値の向上を目指したインテリジェントビルの新設や既存ビルのインテリジェント化が、増加している。一方、工場の生産設備においては、生産性向上のためのFA化・省エネルギー化が進められている。これら設備の機能を十分に発揮させるために、配電方式や受変電設備の信頼性、安全性の向上が図られることは当然のことながら、電源から負荷端に至る配電系の電圧変動の抑制、高調波の軽減、不平衡対策など電気の質の向上も重要な課題となってきた。

本稿では、構内及びビル内配電に関する最近の幾つかのテーマのうち二、三を選んで検討する。

- (1) リングメイン配電方式の検討
- (2) 三相不平衡負荷に対する検討
- (3) 多頻度急しゆん変動負荷に対する検討

図1 配電方式比較



八木 修三

昭和36年入社。鉄鋼プラント・一般産業・ビル用電気設備のシステム設計及び工事計画に従事。現在、総合技術第二部プラント建設部課長。

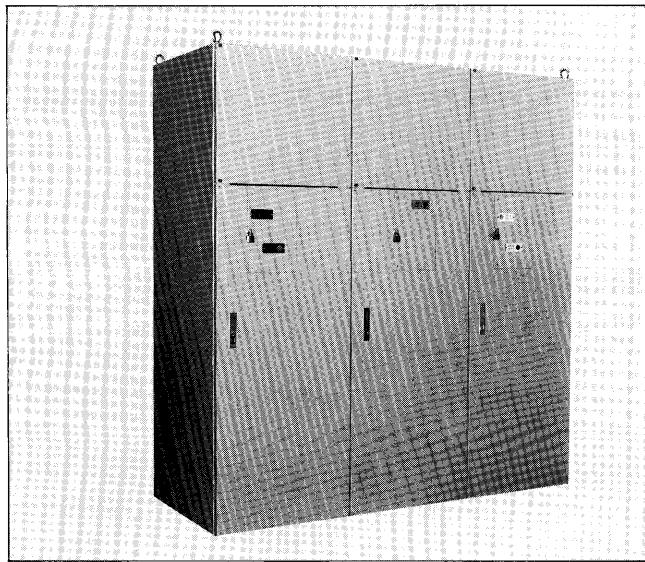


横山 武夫

昭和35年入社。一般産業・ビル用受配電設備・自家発電設備のプラント技術企画に従事。現在、設備機器事業部技術部担当課長。



図2 リングメインユニットの外観



路に対する保護システムの工夫例について概要を紹介する。

2.1 配電方式の比較検討

リングメイン配電方式は、分散するサブステーションの受電部を、リング状に結線した主回路方式であり、他の配電方式との結線比較を図1に、リングメインユニットの外観一例を図2に示す。この方式は、リング状の中央部付近に設置されたサブステーションの受電部開閉器の開閉状態によって次の名称で呼ばれている。

(1) オープンリング方式

リングのほぼ中央付近の開閉器（例：図1のA又はB）をオフ状態で配電する方式で、リング内で事故が発生した場合は、地絡及び短絡のいずれに対しても、送電元（図1のS₁又はS₂）で検出及び切離しを行い、事故区間両端の開閉器により事故区間を除去したあと健全区域への再送電が行われる。

(2) クローズドリング方式

リング内開閉器のすべてを閉じた状態（閉ループ）で運用する方式である。

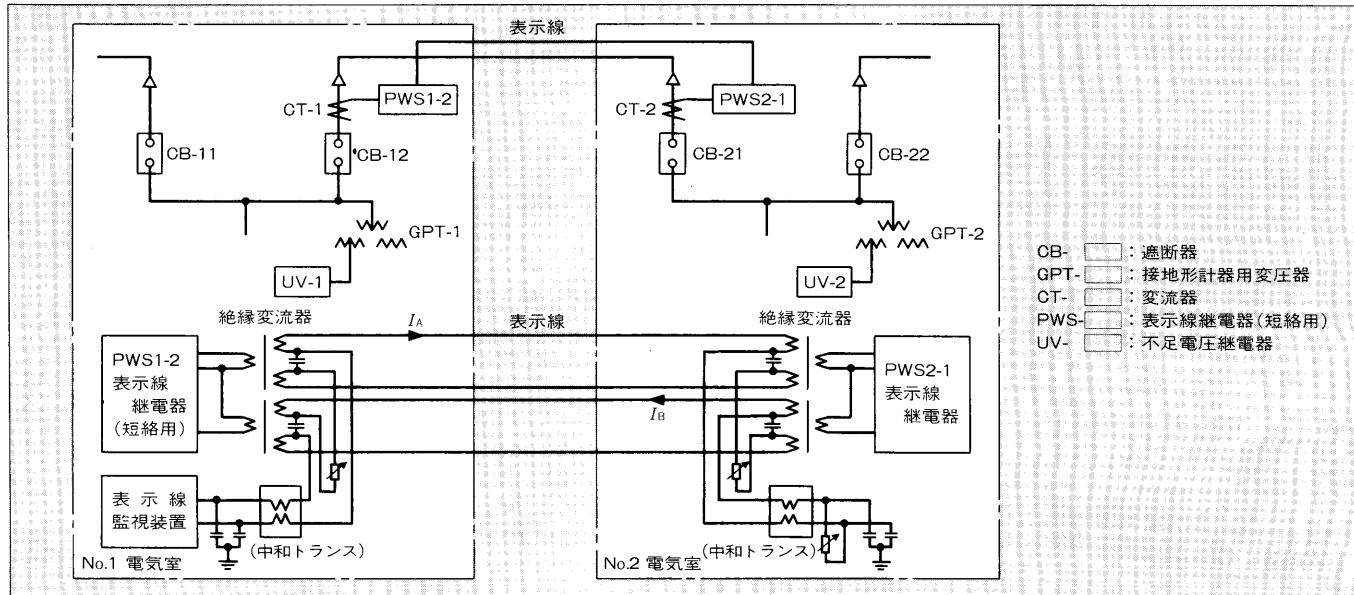
この主回路構成では、前項(1)のオープンリングに比較し、特別の検出リレーシステムを用意しなければリング内での事故発生点の判別が不能となるので、この保護上の本質的要件を満たす配慮（保護継電方式の採用）が必要とされる。一方、ひとたび事故が発生しても、故障点の自動検知とそれをベースとした自動解離、継続送電が可能となる。

現在、数多く使用されている構内の高圧放射状配電方式との比較では、サブステーション数が多く、かつ広域であればあるほどケーブル本数、長さ、工事費などが削減され、経済的メリットが大きく、配電線路での事故確率も低減される。また、次の2.2節に示す特長が期待できるほか、電圧変動、電圧降下などのばらつきが小さくなり、電源の質も向上するが、その保護方式は広範囲の協調が必要なので、かかる観点でのシステム計画に留意することが重要である。

2.2 リングメイン配電方式の特長

- (1) 電力供給の信頼性が格段に向上する。
 - (a) 常時2回線受電となり、片回線事故では停電しない。
 - (b) 保守にも停電は不要となる。
- (2) 無停電増設が可能であるため、負荷増設対応が容易となる。
- (3) ケーブル全長が短くなり、配線材料及び工事費が大幅に安くなる。
- (4) リング内開閉器を負荷開閉器とすることにより、前記(1)～(3)の特長と経済性を合わせ持った配電システムを提供できる（オープン方式）。
- (5) 事故区間を自動的に切り離し、給電が継続できる（クローズド方式）。
- (6) 全地域に対し、均等に品質の高い電力供給が可能とな

図3 表示線継電方式(短絡保護用)の機器構成図



る（クローズド方式）。

2.3 クローズドリング配電(高圧)における短絡保護方式

普通高圧回路では類例は少ないが、リング方式における上述の特長を生かす目的で、重要工場設備への構内高圧配電回路に適用した例を含む保護系のあらましを図3に示す。

この配電方式の短絡保護は、事故点を確実に検知しての区間処理が必要であること、また保護区間亘長も数百mと比較的の短距離であることから、表示線継電方式（短絡保護用）を採用している。

(1) 基本原理

図3に表示線継電方式の機器構成図を示す。

この継電方式は、系統の保護区間ごとに、相手端CT二次電流(I_B)を表示線を介して自端CT二次電流(I_A)と比較・監視させておき、保護区間内で事故時に両CT端子間に生ずる電流値の差($|I_A + I_B| > 0$)を利用した差動原理の極めて信頼性の高い保護方式である。

(2) 表示線継電装置の構成

表示線継電装置は、継電器本体と絶縁変流器及び各装置間を連係する表示線によって構成されている。

継電器本体は、主CT二次電流を単相電流に変換する総合変流器の部分と事故点が保護区間の内側か、外側かを判別する比率差動継電器部分で構成されている。一方、装置間を連係する表示線が、短絡又は断線をした場合、装置は通常の電流で動作して保護区間の不必要的停電を紹いでしまうので、事故検出継電器の一つである不足電圧継電器（高速形）と組み合わせて装置の動作条件としている。これら表示線を常時監視する装置を保護区間ごとに設けている。

絶縁変流器は、表示線に万一誘起される高電圧から、装置を保護するために用いられているが、ケーブル施工時に、十分な絶縁距離をもたせて表示線を布設することも必要である。なお、表示線は高耐圧形電力保安ケーブルを標準として採用している。

図4 地絡保護方式の基本原理図

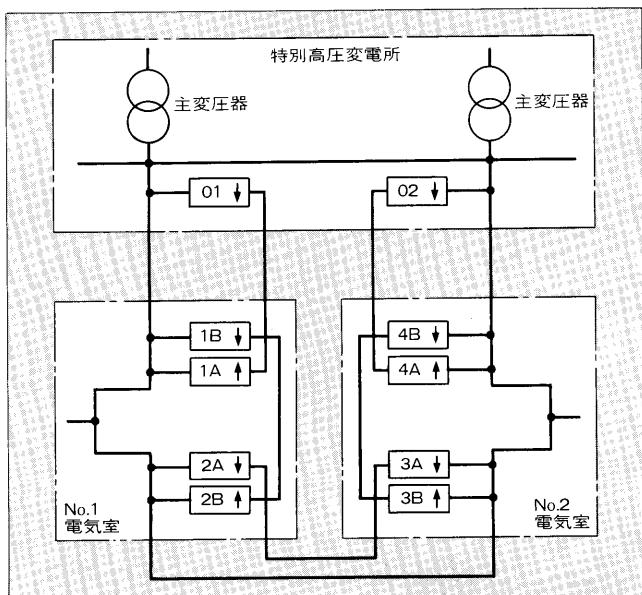


表1 短絡保護用継電器の定格仕様

電気的用途	短距離送電線短絡保護	三相交流回路の高速度不足電圧検出
原理・名称	静止形表示線継電器	整流形高速度不足電圧継電器
形 式	SGAR13PH-01	DQVRD2NA
定 周波数(Hz)	50,60	50,60
電圧AC(V)	—	110
電流AC(A)	5 (三相平衡にて)	—
整定範囲AC	3-4-6-8-10A	60-65-70-75-80-85-90V
制御電源DC(V)	110	125

(3) 定格・仕様

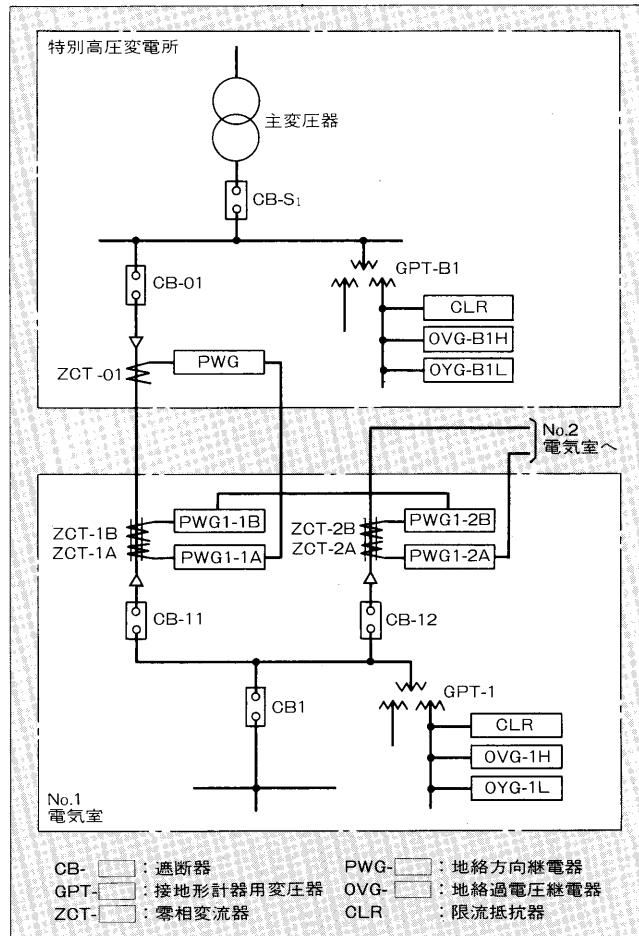
表1に短絡保護用継電器の定格仕様を示す。

2.4 クローズドリング配電(高圧)における地絡保護方式

本2章のはじめに述べた高圧非接地系、特に閉ループにおける地絡区間保護には、この接地系に特有の地絡時の異常波形などへの安定した動作と高い検出感度、零相循環電流に基づく障害の除去をすべて満たすことが求められる。

ここには、いわゆる（零相）電流差動方式その他との比較を含めた適正保護方式の採用や目標検出感度水準の定め方を含む種々の検討がなされねばならない。かかる配慮をもって計画実施した適用例の概要を以下に示す。

図5 地絡保護方式の機器構成図



(1) 基本原理

図4に地絡保護方式の基本原理図、図5に機器構成図を示す。

図2に示すように、系統の保護区間ごとに、通常高圧非接地系で使用されている信頼性の高い、数多くの実績を持っている地絡方向继電器を相対向(図において01—1A…02—4A)して設け、更にこれらの继電器は、互に保護区間の内側の方向性を持つように構成している。また继電器の動作状態は、常時表示線を介して相手端に送られており、事故区間の判別は、区間の両端继電器が動作したことを条件に行われる。

(2) 基本動作

この保護方式の基本動作は、次のようにステップ①から④まであり、各ステップでの必要機能について述べる。

(a) ステップ①

地絡過電圧の検知でリングをいったん開放する。これはクローズドリングで運用される場合には系統地絡事故時に零相循還電流が流れるため、この電流をいったんカットして、继電器が事故点を高感度で確実に検出できるようにするためである。また、リングを開放する遮断器をあらかじめ決めておくとともに、常時リング内の遮断器が、すべて閉路状態であることの確認も重要で、ここでは遮断器の接点信号が表示線を介して連係されている。

(b) ステップ②

ステップ①の回路状態で事故区間を検知し、これを記憶する。

リング開放状態で回路末端部の继電器に対しては、GPTを通して電源側方向への吸上零相電流を所要レベル以上確保することが必要で、 $3I_0=0.5A$ の限流抵抗器を選定している。

また、リングを開放する遮断器の引込点继電器は、GPTからの吸上零相電流が得られないので相手端へは继電器動作信号の代わりに、遮断器の接点“開”的条件を送っている。

(c) ステップ③

リングを再びクローズする。

(d) ステップ④

ステップ②で記憶した事故区間の両端遮断器を開放して事故点を切り離す。

(3) 定格・仕様

表2に地絡保護用继電器の定格・仕様を示す。

③ 三相不平衡負荷に対する検討

三相回路における広義の不平衡回路問題は、幅広い回路モードが関係しており、関係諸量の計算は非常に煩雑となる。すなわち、その理論的厳密解は、そのままでおよそ日常的実務の時間的制約にそぐわぬものが少なくない。そうした中で、主として定期的に運転されている三相非対称負荷に起因する不平衡問題は、非常用発電設備計画や、これを含む配電回路計画、負荷回路計画などに際して検討されねばならぬ身近な問題である。この中には、単相負荷群に対する変圧器構成計画(単三トランスの容量、台数計画、負荷平衡化用特殊トランス)の配置計画と負荷分配検討があり、また、メンテナンス計画を含む負荷運用管理上の必要条件と電源許容条件(特に発電設備を含めたトータルとしての逆相許容量)とのバランス、更に全体としての設備コストを勘案した総合評価がなされねばならない。

これら幾つかの検討課題の中で、定量的に適正計画を期する上で中心テーマとなるのが、電流電圧のアンバランスを支配する逆相成分の評価計算である。したがって、この逆相分(電流 I_2 、電圧 V_2)を、現場向きに、かつ基本において理論的合理性を保ちながら、計画手順と算式を簡便化しておくことと、これを日常的に使いこなすことが大事である。

上記のような定常運転を前提としたアンバランス問題だけなく、その他の変則的非対称回路状態を含む不平衡問題について系統だった検討も試みている。⁽¹⁾ 今回は、特に誌面の制約もあるので、上記検討例の中で設備計画時に取り上げるテーマの一部に限定すると同時に、その近似算法に絞って若干の補足を行いたい。

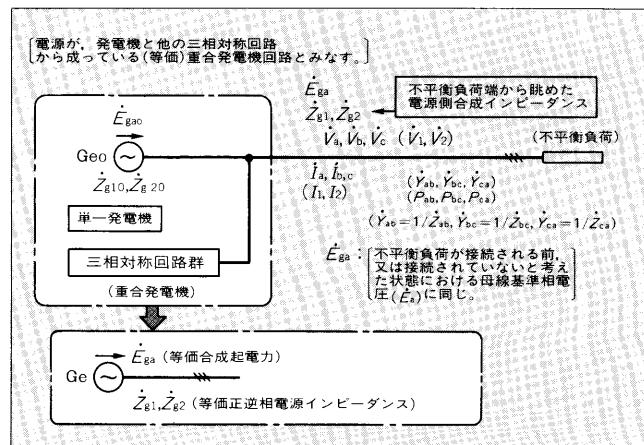
(1) 三相不平衡計算法の簡略化検討における留意点

一般に計算式が複雑化する不平衡計算法を簡便化するに

表2 地絡保護用继電器の定格仕様

電 気 的 用 途	非接地系配電線の選択地絡保護	地絡過電圧検出
原 理 ・ 名 称	静止形地絡方向继電器	静止形交流電圧继電器
形 式	DOWPA1HB	DQVWA1HB
定 格	周波数(Hz)	50, 60
	零相電圧AC(V)	110
	零相電流(A)	0.5
	整定範囲AC	固定
	制御電源DC(V)	110
特 性	動作電圧値($\phi=60^\circ$)(%)	零相電圧の5
	動作電流値($\phi=60^\circ$)(mA)	1.5
	最大感度位相角	電流進み60°

図6 三相非対称負荷を含む一般的な不平衡回路モデル



際しては、特に次に示す三つの観点から、あらかじめ基礎検討と手法の客観化をしておくことが肝要である。

- 対称分、特に正相成分と逆相成分の一般式で具体的に客観化できるものをつかみ、式の単純化のヒントとして生かすこと。
- 実用ベースの具体的な数値を用いて、一般式と簡略化算式の双方について根気よく数値計算を行い、結果の数値水準、増減傾向、その定性的妥当性のいかんなどの角度から計算手順と算式を吟味し評価しておくこと。
- (b)の数値検討を多角的視点からケーススタディし、更に他の近似的解析手法で推定可能な試算値との照合点検を行うこと。
- 電流電圧の対称分($\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{V}_1, \dot{V}_2, I_1 = |\dot{I}_1|, I_2 = |\dot{I}_2|, V_1 = |\dot{V}_1|, V_2 = |\dot{V}_2|$)の一般解

回路モデルとして一般性の高い図6の形で考えることにすると、正(逆)相電流電圧($\dot{I}_1(\dot{I}_2), \dot{V}_1(\dot{V}_2)$)は次式のように整理できる(詳細略)。基準位相は \dot{E}_{ga} である。

$$\dot{I}_1 = \frac{\Delta i_1}{\Delta} \cdot \dot{E}_{ga}, \dot{I}_2 = \frac{\Delta i_2}{\Delta} \cdot \dot{E}_{ga}, \dot{V}_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta} \cdot \dot{E}_{ga}, \dot{V}_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta} \cdot \dot{E}_{ga} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\Delta = (1 + 3 \dot{Y}_0 \dot{Z}_{g1}) (1 + 3 \dot{Y}_0 \dot{Z}_{g2}) - 9 \dot{Y}_1 \dot{Y}_2 \dot{Z}_{g1} \dot{Z}_{g2}$$

ここに、 $\Delta i_1 = 3 \dot{Y}_0 + 9 (\dot{Y}_0^2 - \dot{Y}_1 \dot{Y}_2) \dot{Z}_{g2}, \Delta i_2 = -3 \dot{Y}_1$

$$\Delta v_1 = 1 + 3 \dot{Y}_0 \dot{Z}_{g2}, \Delta v_2 = 3 \dot{Y}_1 \dot{Z}_{g2} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{また}, \dot{Y}_0 = (\frac{1}{3})(\dot{Y}_{bc} + \dot{Y}_{ca} + \dot{Y}_{ab}), \dot{Y}_1 = (\frac{1}{3})(\dot{Y}_{bc} + a^2 \dot{Y}_{ca} + a^2 \dot{Y}_{ab})$$

$$\dot{Y}_2 = (\frac{1}{3})(\dot{Y}_{bc} + a^2 \dot{Y}_{ca} + a \dot{Y}_{ab}), a = e^{j2\pi/3} \quad \dots \dots \dots (3)$$

である。また、 $|\dot{Y}_{ab}| = Y_{ab}, |\dot{Y}_{bc}| = Y_{bc}, |\dot{Y}_{ca}| = Y_{ca}$ とする。

(3) 対称分一般解を支配する不平衡基本変量の吟味

式(1)～(3)において、不平衡基本要素部分の独立変量は $\dot{Y}_0, \dot{Y}_1, \dot{Y}_1 \dot{Y}_2$ の三つである。更に、実用上の計算目的である対称成分(特にその逆相成分)に注目するならば、 \dot{Y}_1 については $|\dot{Y}_1|$ だけ算出できればよいことがわかる。そこで、 $|\dot{Y}_1|, \dot{Y}_1 \dot{Y}_2$ について整理すると次式が得られる。

$$|\dot{Y}_1| = (\frac{1}{3}) \cdot \sqrt{\dot{Y}_{bc}^2 + \dot{Y}_{ca}^2 + \dot{Y}_{ab}^2 + 2 \{ \dot{Y}_{bc} \dot{Y}_{ca} \cos(\Delta \theta_c - 2\pi/3) + \dot{Y}_{ca} \dot{Y}_{ab} \cos(\Delta \theta_a - 2\pi/3) + \dot{Y}_{ab} \dot{Y}_{bc} \cos(\Delta \theta_b - 2\pi/3) \}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta \theta_A = \theta_{ca} - \theta_{ab}, \Delta \theta_B = \theta_{ab} - \theta_{bc}, \Delta \theta_C = \theta_{bc} - \theta_{ca}$$

$$\theta_{ab} = \angle \dot{Z}_{ab}, \theta_{bc} = \angle \dot{Z}_{bc}, \theta_{ca} = \angle \dot{Z}_{ca} \quad \dots \dots \dots (5)$$

特に、 $\theta_{bc} = \theta_{ca} = \theta_{ab}$ が成り立つ場合は、

$$|\dot{Y}_1| = (\frac{1}{3}) \cdot \sqrt{\dot{Y}_{bc}^2 + \dot{Y}_{ca}^2 + \dot{Y}_{ab}^2 - (\dot{Y}_{bc} \dot{Y}_{ca} + \dot{Y}_{ca} \dot{Y}_{ab} + \dot{Y}_{ab} \dot{Y}_{bc})} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$= (\frac{1}{3}) \cdot \sqrt{(\frac{1}{2}) \{ (\dot{Y}_{bc} - \dot{Y}_{ca})^2 + (\dot{Y}_{ca} - \dot{Y}_{ab})^2 + (\dot{Y}_{ab} - \dot{Y}_{bc})^2 \}} \quad \dots \dots \dots (6)$$

となる。また、 $\dot{Y}_1 \dot{Y}_2$ も次式のように整理及び変形できる。

$$\dot{Y}_1 \dot{Y}_2 = \dot{Y}_{bc}^2 + \dot{Y}_{ca}^2 + \dot{Y}_{ab}^2 - (\dot{Y}_{bc} \dot{Y}_{ca} + \dot{Y}_{ca} \dot{Y}_{ab} + \dot{Y}_{ab} \dot{Y}_{bc})$$

$$= (\frac{1}{2}) \{ (\dot{Y}_{bc} - \dot{Y}_{ca})^2 + (\dot{Y}_{ca} - \dot{Y}_{ab})^2 + (\dot{Y}_{ab} - \dot{Y}_{bc})^2 \} \quad \dots \dots \dots (7)$$

以上の式の変形整理結果から次の(4)項の特質を知ることができる。

(4) 一般式の定性的傾向

前項の式及びその誘導過程から一般解が示す次の特長を読み取ることができる。

- 各対称分算式(1)の共通要素 Δ (分母の式)は、同一電源条件に対する一組の非対称負荷($\dot{Y}_{ab}, \dot{Y}_{bc}, \dot{Y}_{ca}$)については、その相別配分に左右されない。
- 正相分(\dot{I}_1, \dot{V}_1)算式分子の $\Delta i_1, \Delta v_1$ も上記 Δ と同じく、非対称負荷の相別配分に左右されない。
- 逆相分についても、その大きさだけに注目する場合、つまり実用上のほとんどの場合に対し、もし各相の負荷力率を同程度にみなせる時は、正相分同様に、負荷の相配分の違いを考慮する必要がない(なお、不平衡負荷部分の各相成分を同一力率とみなす考え方、特に設備計画段階の前提条件として実状に適している)。
- 三相不平衡状態では、電源インピーダンスの介在が計算全般を飛躍的に困難にするのであるが、上記(a)～(c)の基本的数値が、この電源インピーダンス考慮を前提とした上で成り立っている。
- 不平衡状態を問題とするのが非常用電源などの弱い電源を対象としている前提で考えると、一般には、電源側の逆相インピーダンス(\dot{Z}_{g2})は正相インピーダンス(\dot{Z}_{g1})よりもかなり小さい。一方、発電機電源では一般に負荷容量(三相分合計)規模に応じた平均的母線電圧維持機能(AVRによる)が用意されているので、電圧不平衡が生じた状態においてもその正相インピーダンス(\dot{Z}_{g1})による母線の正相電圧、正相電流の大きさへの影響は極めて少ない。このAVRの影響は仮想的に起電力(\dot{E}_{ga})を固定値に仮定したモデルで式(1)、(2)の \dot{Z}_{g1} を零近くまで圧縮した状態にほぼ等価となる。この基本的特性と、先述の小さい \dot{Z}_{g2} との両者を考え合わせると、式(1)、(2)における \dot{Z}_{g1} が、 $|\dot{I}_1|, |\dot{V}_1|$ に及ぼす影響は、極めて軽微な範囲内に抑えられることとなる。すなわち、実用機(非常用電源)の特性内で考える限り、そのAVR機能が働いている状態での正規電圧、電流は、電源インピーダンスを無視した電圧平衡状態における値と実用上ほとんど差が生じない。後述する逆相分の略式算定の手順上、この特性は有効なよりどころとなる。

以上(a)～(e)の基本判断にたって、主テーマとなる逆相成分(I_2, V_2)の導出に絞った具体的算式と手順を以下に略述する。

(5) 逆相電流、逆相電圧(いずれも大きさ)の略算式

先に述べたとおり、電源インピーダンスによる電圧不平衡を考慮したとしても、電源設備に母線電圧(三相平均)維持機能がある限り、正相電流は電源平衡時の値をもって実用上代用できる傾向を利用することができます。すなわち、電源電圧平衡状態での正相電流は非対称負荷の総容量だけに注目するだけで簡単な式で算出できるし、[後述式(8)]一方、電流不平衡率(β_i)についても負荷容量の個別容量のみ、又は相別容量比率に着目するだけで比較的簡単な式で求まるからである。また、電流不平衡率 β_i が概ね簡便なる手順で算出できるのは、正相電流同様逆相電流も、実用上

無視できる誤差程度で電圧平衡状態での値を使用できるためである。この辺の具体的な数値例は省略する。

また、逆相電圧は電流から公式どおりに定まる。以上をまとめると、

$$I_2 = \beta_i I_1, \text{ ここに } I_1 = \frac{\sum P}{\sqrt{3} \cdot V_d} \quad (V_d : \text{常規線間値}) \quad \dots(8)$$

$$\beta_i = \frac{\sqrt{1+s^2+m^2-(m+s+m \cdot s)}}{1+s+m} \quad \dots(9)$$

$$\text{ここに, } s = P_s / P_m, m = P_m / P_M, P_M \geq P_m \geq P_s \quad \dots(10)$$

P_M, P_m, P_s は各相（線間）容量であり、設備計画時の近似的前提条件にみこして各相負荷の力率をほぼ同じと考えている。また V_2 は、上記により求まった I_2 を用いて、

$V_2 = Z_{g2} I_2$ (Z_{g2} : 母線側合成逆相分)(11) から計算できる。これらの実際の数値計算は極めて短時間で、また機械的に処理することができる。

(6) 電源インピーダンスを無視した時と考慮した時の差の検討

電流の正逆相成分の算定値（大きさ）について、実用上は電源インピーダンス無視（つまり電圧平衡）の場合の計算結果を用いて差し支えないとの判断をしてきている背景について補足しておきたい。何回か述べてきているように、主として問題にしているのは非常用発電設備のように、注目している（不平衡）負荷容量に対する電源容量規模が余り大きいかコンパラブルなケースである。したがって、結果としては、電圧ゆがみの程度を支配する逆相電流の大きさ（対電源定格値対比）も15%内外（ただし標準例）に制約を受けているべきであり、電源と負荷、及び配電系が合理的に計画されているプランのもとの電圧不平衡は、数%内外以下にとどまると考えられる。この時の電流対称分のゆがみは電圧ゆがみの程度をはるかに下まわる水準にとどまる（試算例略）。このことは先に一般解原式(1), (2)から定性的にも論拠付けした(4)項(e)の分析内容と整合がとれていることになる。

(7) 不平衡負荷による電圧不平衡近似式

前(6)項その他で触れている電圧ばらつきを目安的に見定めたい時には次の近似式でその概略的上限値を算出できると考えられる（式のまとめ過程省略）。

$$(\Delta V)_{\max} (\text{p.u.}) = \sqrt{3} \cdot \beta_v = \sqrt{3} (V_2 / V_1) \quad \dots(12)$$

ここに β_v は、電圧不平衡率であるが、式中、 V_1 (正相分) はこれまでの説明からほとんど母線常規（1）電圧 (V_{BN}) に等しく、また V_2 は、既述、式(11)によって略式算出済みの量である。具体的な数値試算例（複数の方法）によれば、原式〔式(1), (2)〕による一般解に基づいた計算結果との対比結果を含めて、近似算法として必要と考えられる精度は得られている。

(8) 正相電流算式の今一つの解釈

先述の式(8)における $I_1 = (\sum p) / \sqrt{3} V_d$ なる計算式は、各相の力率をほぼ同一とみなすことにより、負荷の相別ばらつきのいかんに惑わされることなく三相分の総容量だけに注目すればよいことを表しているが、一方、対称座標法の電力に関する理論体系から考えると直感的にわかりにくい

側面がある。すなわち、相対変換である対称座標法では、対称分座標軸上の電力が一般には実際の三相電力と一致せず、

$$\dot{P}_{3\phi} \text{ (実際値)} = 3 \dot{P}_s \quad \dots(13)$$

$$\dot{P}_s = \dot{V}_0 \dot{I}_0^* + \dot{V}_1 \dot{I}_1^* + \dot{V}_2 \dot{I}_2^* \quad (* \text{印は共軸ベクトル}) \quad \dots(14)$$

と定義されているが、その辺からの考え方の問題がある。今、 I_0 (零相分) = 0 であり、かつこれまで述べてきたところにより、逆相電圧 V_2 は V_1 に比し、かなり小さく、かつ $I_2 \leq I_1$ も言えるので、

$$\dot{P}_s = 3 \dot{V}_1 \dot{I}_1^* \quad \dots(15)$$

一方、実際値 $\dot{P}_{3\phi}$ は、

$$\dot{P}_{3\phi} = \dot{V}_{ab} \dot{I}_{ab}^* + \dot{V}_{bc} \dot{I}_{bc}^* + \dot{V}_{ca} \dot{I}_{ca}^* \quad \dots(16)$$

(\dot{V}, \dot{I} とも線間値) であり、電圧ゆがみの相対値を閑却していることを加味すると、

$$\dot{P}_{3\phi} = P_{ab} \cdot e^{j\theta_{ab}} + P_{bc} \cdot e^{j\theta_{bc}} + P_{ca} \cdot e^{j\theta_{ca}} \quad \dots(17)$$

(ここに $\theta_{ab} = \angle \dot{Z}_{ab}$, $\theta_{bc} = \angle \dot{Z}_{bc}$, $\theta_{ca} = \angle \dot{Z}_{ca}$)

となる、ここで各相負荷の力率をほぼ同一と見なす時は、

$$|\dot{P}_{3\phi}| = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca} \quad (= \sum p) \quad \dots(18)$$

を得る、式(15), (18)から、

$$I_1 = (\sum p) / 3 V_1 = (\sum p) / \sqrt{3} V_d \quad \dots(19)$$

となる。これは式(8)の I_1 算式である。

(9) 回転機へ流れる逆相電流の大きさ

これまで求めてきた母線の逆相電圧 V_2 から電源側発電

図 7 SVC SFC 原理図

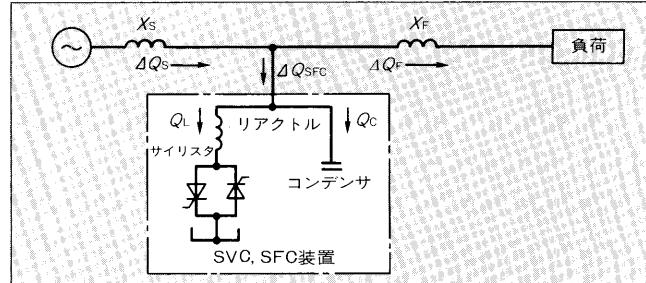
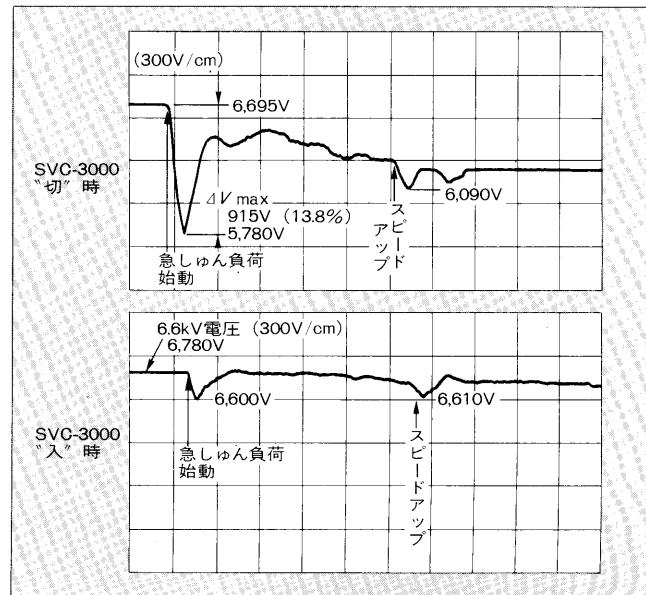


図 8 富士電機 SVC の電圧変動抑制効果の一例



機と負荷側回転機（主として三相誘導電動機）へ流れる逆相電流が求まる。一般形として $I_2 = V_2/Z_2$ により定まる。ここに I_2 , Z_2 は注目している回転機の逆相電流と逆相インピーダンス（いずれも大きさ）である。これにより、発電機、誘導機各々における許容限界との対比を行い、電源容量及び負荷相配分の非対称限界がチェックされねばならない。単相負荷群に起因する不平衡問題の主題の一つは、本項の判断基準を得るところにある。

以上、定常的三相不平衡状態に対する共通的な特質と基本变量となる対称分に限定した近似算法の一例を述べたが、主要算式の誘導過程をはじめ、電源容量計画、配電回路計画、許容不平衡率に必要な負荷相配分計画その他に関する具体的な数値検討例については触れることができなかった。ただ、使用する計算式自体は単純なので、簡易計算法の一つとして生かせればと願っている。

④ 多頻度急しゅん変動負荷に対する検討

電力系統からの受電点又は特定変動負荷使用場所が、普通高圧で供給されている場合で、しかも、問題の変動負荷に対する相対的電源規模が小さく、

$$K_s = \frac{\text{注目している場所の電源側短絡容量}}{\text{変動負荷の発停、加減速時変動容量(遅れ力率)}}$$

で表される K_s の値（倍率）が余り大きくないうな時に本項の問題が生ずる。

一般に、大きな遅れ力率無効変動電力が、短いインターバルで増減するサイリスタ繰返し駆動電動機負荷や、溶接機負荷などが問題となる。この種の電圧変動を抑制する一般的手法としては、よく知られているように、電源側リアクタンス (X_s) と変動負荷遅れ無効電力（その変化分 ΔQ_f ）で支配される。 $\Delta V \propto \Delta Q_f \cdot X_s$ なる電圧変動 (ΔV) を抑制装置により高速コントロールできる無効容量 (ΔQ_f に見合った逆極性無効分 $\Delta Q_{SFC} \approx -\Delta Q_f$) によって、 ΔQ_f を補償することにより抑える方法がとられる（図7参照）。富士電機の標準品である静止形無効電力、フリッカ補償装置をサイリスタ制御による急しゅん変動負荷に適用した電圧変動抑制データの一部を図8に示す。

なお、計画時の必要情報としては、（無効電力）検出点から電源のリアクタンス (X_s) と変動最大無効電力 ($\Delta Q_{f_{max}}$) が基本となるが、補償装置の主目的いかんによっては電源側の抵抗分 (R_s) の影響度合（これには変動負荷中の有効電力変動分が関与する）を評価しておく必要も出てくる。問題となる変動負荷（三相）が、変動性状を異なる複数負荷からなる場合もあり、このような場合には、主たる多頻度変動負荷とは別に、低変動頻度ながらも大きな変動容量を示す他の特定負荷が存在するケースも出てくるため、こうした場合、主たる変動負荷に対し、折角専用の補償装置を設けても、他の一般負荷を含む許容運転総負荷容量を圧迫することがある。例えば、契約電力はできる限り低めに設定したいのであるが、契約電力にリンクした

受電点過電流継電器の不動作許容値内の計画稼動総容量をキープできなくなることがある。かかる場合に補償装置を上記のような複数の変動負荷に対し、共用式一組の補償装置でカバーする形（変動する Q の検出点をこのように選定する）で適用すると、同じ系統側給電線路設備と負荷設備における許容稼動容量を低いコストで向上させることができる。このような、複数の変動負荷を対象とするケースを含め、電圧変動・フリッカ補償計画の具体的な数値計画手順、特に、目標とする電圧変動抑制水準と電圧変動抑制の主目的をどこに設定するかにより変わる改善効果、事前評価上の注意事項などもあるが割愛する。

中小規模変動負荷を対象とした富士電機の同類補償装置としては、溶接機負荷に起因する電圧変動抑制事例もある。

一方、高調波対策の基本はまず高調波電流発生源の主な負荷となる電力変換装置自体における高調波成分低減（相数アップ、直列リアクトル設置など）が基本とされる。この高調波発生源の基本設計では、その容量規模（目安的には電源の短絡容量との相対比が一定水準以上の場合）によっては、負荷点から眺めた調波別インピーダンスマップ（並列コンデンサ機器回路を含む）をもとに、各母線並びに系統側への高調波電流流出分布と高調波電圧（いずれも対基本波比率）の水準を評価しなければならない。また、高調波源となる負荷の規模と電源規模及び近接需要家内負荷事情によっては、いわゆる高調波フィルタ装置の要否検討が必要になる場合も出てくることになる。この種の検討に際しても、施設電源とその負荷領域で考えれば、特別高圧受電の場合は概ねコンデンサ設備（直列リアクトルを含む）を主とする電力需要家設備の範囲内における高調波成分比率と、トータルとしての実効値評価が主体となっている。この高調波への配慮をする上からは、直列リアクトル（標準 6 %）を入れることが一般化しているが、小容量のものでもリアクトルを省くことは危険を伴うので注意を要する。

⑤ あとがき

以上、構内及びビル内配電に関する三つのテーマについて概要を紹介した。また、これらに関連する高調波・ノイズ・耐雷対策などの諸問題についても別の機会を得て取りあげていきたい。

今後、配電方式、受変電設備などに関連する性能向上、信頼性向上並びに安全性向上の要求はますます拡大していくものと思われるが、特にシステム構成にからむ諸問題については、十分に基礎検討を行い、信頼性及び安全性の向上に努めていきたい。

参考文献

- (1) 八木修三：定常的三相不平衡問題の実際的検討（その1）、（その2）：富士時報、Vol.55, No.12, p.851-857 (1982) 及び Vol.56, No.5, p.419-427 (1983)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。