

産業用受変電設備の保護方式

Protection Equipment for Industrial Substations

宮川義夫* *Yoshio Miyagawa*市川博昭* *Hiroaki Ichikawa*

一般産業設備における受変電保護方式の基本は、生産設備動力源としての電力系統への依存度の高さにも関連し、主回路機器や保護継電器個々の高信頼度化追求のもと、事故の波及を極限に抑える、いわば事故極限化指向のもと進歩改良が加えられ、ほぼ確立されたと言える。

一方、今日の大容量受変電設備においては事故極限化の保護方式に加えて、受変電設備を生産システムの一貫としてとらえ、事故時システムの機能を最大限継続させるため、電源である受変電設備を監視、保護する機能を要求されるケースが多く、これらを負荷選択しゃ断装置として開発、納入してきた。本稿は、これら電源保護方式の考え方、及び受変電保護方式の基本について述べる。

1 諸 言

産業用受変電設備の保護方式は、設備の生産対象や形態にもよるがその基本方式は次の2項目に分類される。

- (1) 設備システムとしての受変電設備電源保護方式
- (2) 受電点及び受電点以降の短絡・地絡保護方式

これに加えて受電点以降、構内側系統における地絡保護方式は、電力系統との関連が変圧器バンクにより分離されることにより独自の方式をとる。すなわち、非接地系10A(15A)接地系、100A接地系などが用いられており、その適用上の留意点について述べる。

2 受変電設備電源保護方式

2.1 電源保護方式の考え方

受変電設備において受電のほか、これと並列運転を行なう自家発電設備などをもつ場合において、これらの受電停止又は発電機停止は健全電源への影響が大きく、全停電事故へと拡大する危険性を多く含んでいる。この場合、健全電源を保護するいわゆる電源保護方式は、健全電源継続運転可能最

大負荷を残し、プラントの生産システム上決定される非重要負荷を選択しゃ断する負荷選択しゃ断方式となる。

負荷選択しゃ断方式には種々の方法が行なわれているが、独立した保護システムにより最適選択しゃ断を行なうことが最も好ましい。

2.2 負荷選択しゃ断装置⁽¹⁾

これら健全電源保護方式としての負荷選択しゃ断装置(日立SUPER, TRIP25)について、図1に示す系統例で説明する。

主な入力情報として、受電電力、発電電力及び被選択しゃ断負荷の電力をアナログ量にて取り込む。本系統での電源停止事故としては、受電停止と自家発電停止があり図2に本装置のシステム構成を示す。

2.3 受電停止

この場合、受電にて分担している負荷がすべて自家発電にかかり、一般的に発電機過負荷耐量は時間的、容量的に裕度が少なく、過負荷分は瞬時にしゃ断する必要がある。しゃ断する過負荷分は、次のアナログ演算により事前決定される。

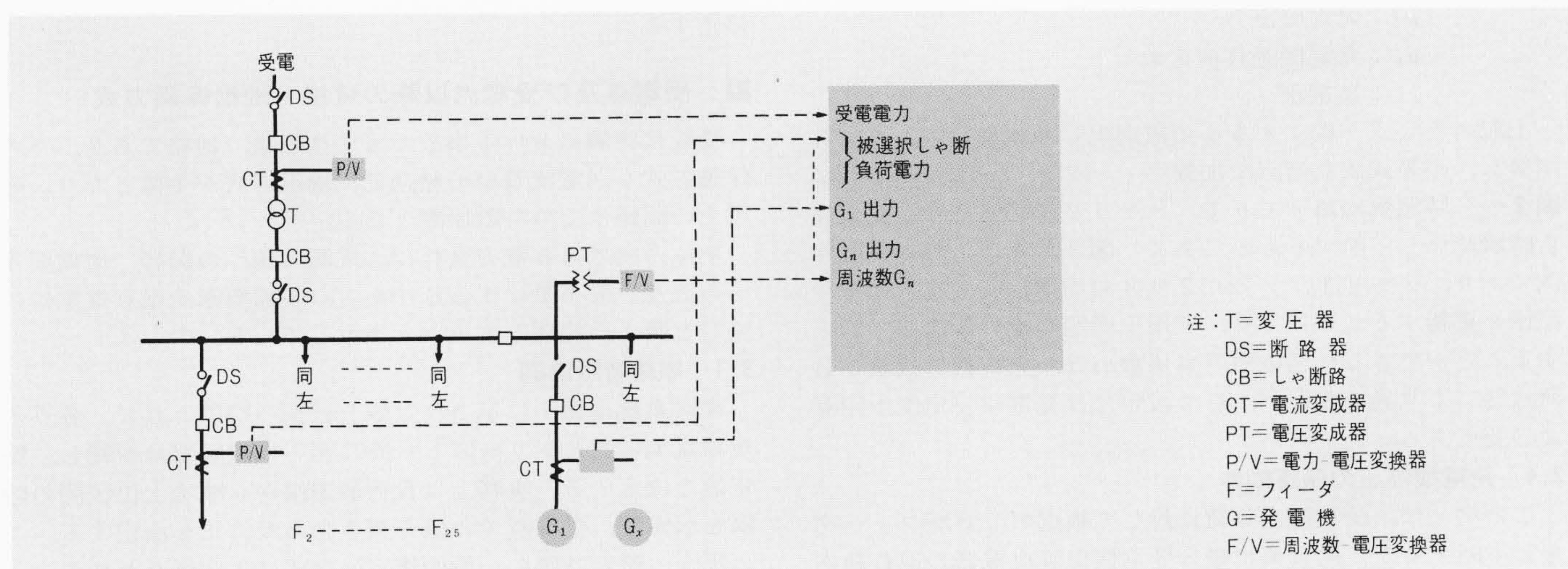


図1 複数電源をもつ受変電設備
設備例を示す。

受電のほか、これと並列運転する自家発電機をもつ複数電源の受電

* 日立製作所大みか工場

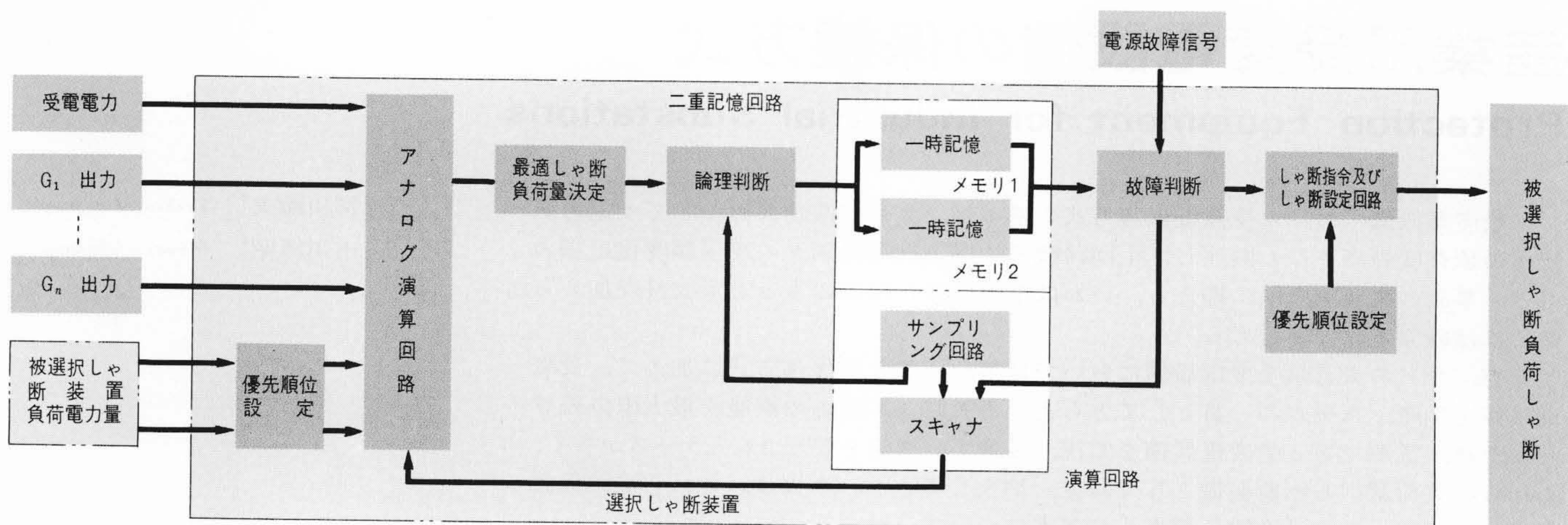


図2 システム構成図 一時記憶回路を二重化し、片側記憶回路の記憶更新中は、他方の記憶回路の内容でしゃ断指令される。

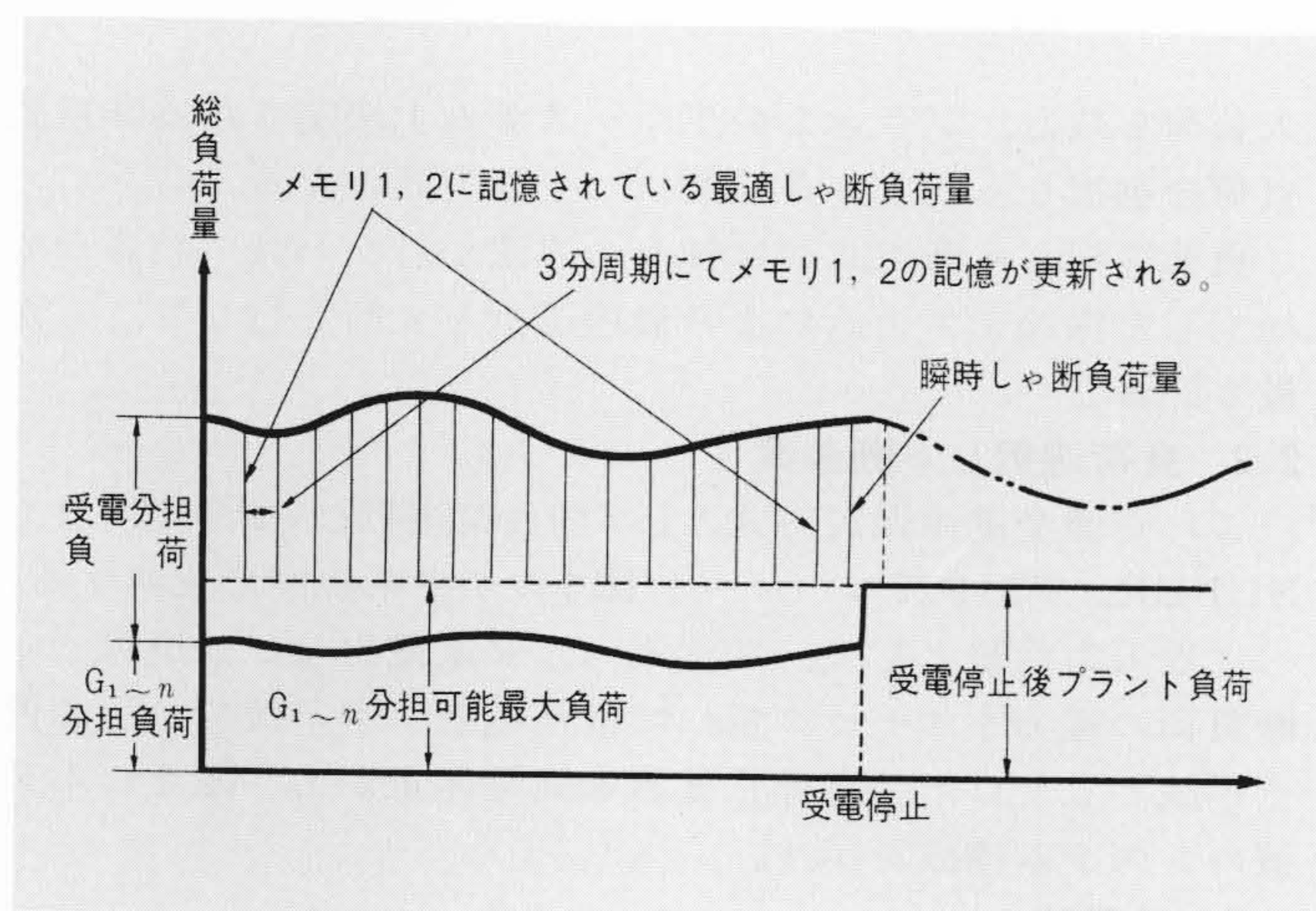


図3 受電停止の保護動作 受電停止の場合は、メモリ1、又はメモリ2いずれかの記憶がしゃ断指令となり、自家発電機を保護する。

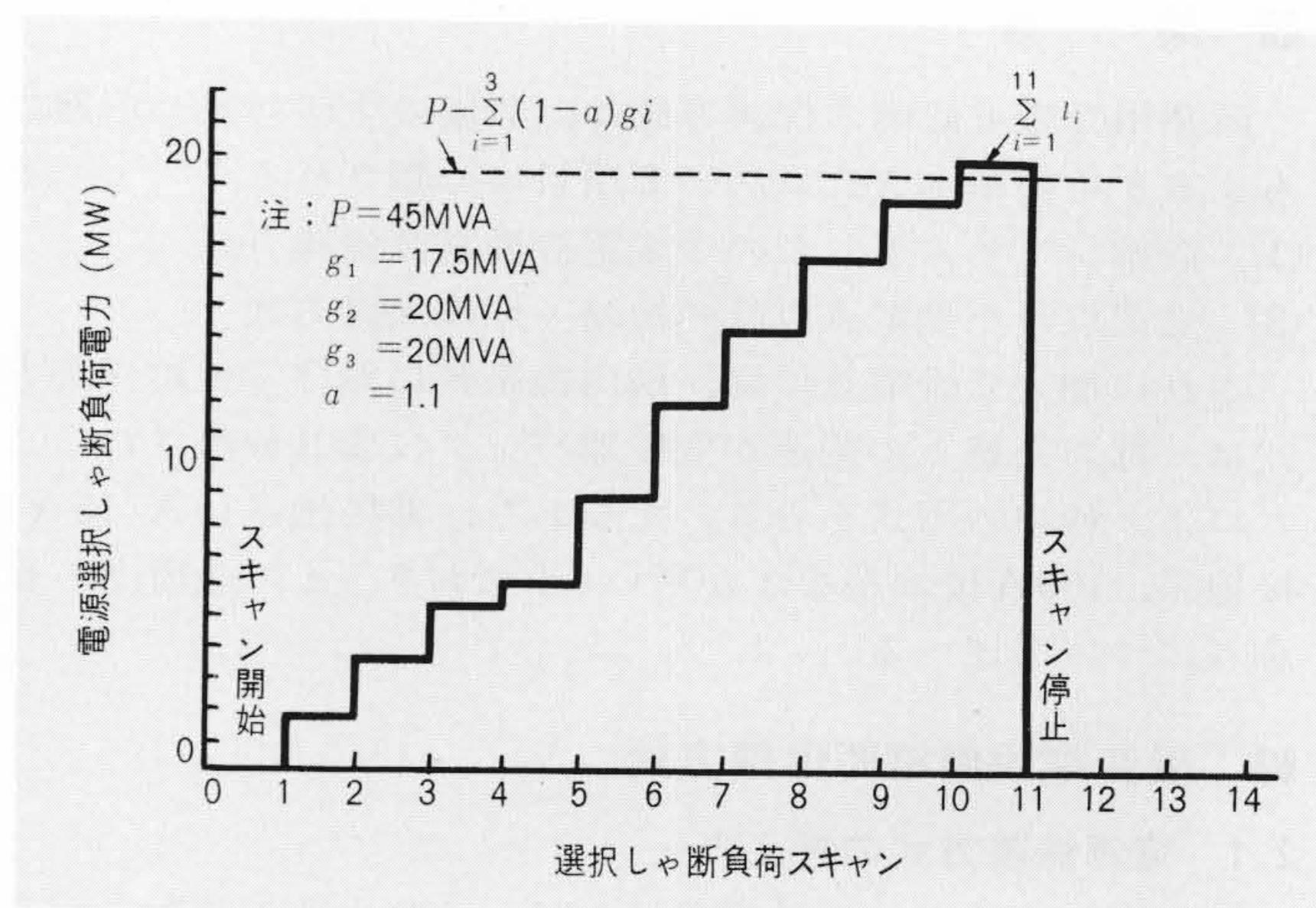


図4 選択しゃ断の演算 実際の負荷に対する最適演算の実例を示す。

$$P - \sum_{i=1}^m (1 - \alpha_i) g_i \leq \sum_{i=1}^n l_i \quad (1)$$

P : 受電電力
 g_i : 発電機出力
 α_i : 発電機過負荷定数
 l_i : 被選択

上記の不等式が成立するまで被選択しゃ断負荷電力を加算演算し、不等式成立時点で加算フィードをしゃ断負荷として図2の一時記憶回路メモリ1、メモリ2に記憶させ、受電停止時瞬時にしゃ断するものである。図3、4はこの保護動作例であり、メモリ1、メモリ2は3分周期程度で交互にその記憶を更新することにより、実用上問題のない最適しゃ断とすることができる。発電機過負係数 α_i は、発電機形式及び負荷状態により異なるため、その設定には発電機安定度上注意が必要である。

2.4 発電機停止の保護動作

この場合は、受電側過負荷に対して被選択しゃ断フィードをしゃ断するが、過負荷耐量は受電側保護継電器の過負荷応動も含め、時間的、量的に裕度があり次式により発電機停止後、負荷選択しゃ断を行なう。

$$\Delta P_G \leq p - P \quad (2)$$

ΔP_G : 受電過負荷量
 p : 受電使用電力

P : 受電供給可能電力

$\Delta P_G > 0$ で順次負荷しゃ断を行ない、(2)式の成立でしゃ断停止する。

3 受電点及び受電点以降の短絡・地絡保護方式

受変電設備における事故の大半は短絡、地絡であり、その保護方式も過電流及び地絡過電流継電方式が主体となり、適用上の問題はその時限協調となる。

上位系統である電力会社は、電源系統への影響、他需要家への波及を最小限にする意味から、各需要家受電点継電器の整定を表1の範囲とするよう指示している。

3.1 短絡時限協調

構内系統は表1に示された値を最長の時限として、各点の短絡電流に対しシリーズしゃ断に至らぬ時限だけ短縮し、整定値を決定する。実務上は負荷最末端から順次上位区間の時限を設定し、受電点での値を突き合わせ修正し決定する。この場合、整定時限の一般的決定は次式により行なわれる。

$$\text{保護機器の過電流短時間耐量時限} > R_n = R_{n+1} + S \quad (3)$$

$$S = B_{n+1} + O_n + \alpha \geq 0.35 \sim 0.4 \quad (4)$$

但し、 R_n : 上位より第 n 区間継電器の動作時間

R_{n+1} : 第 $n+1$ 区間継電器の動作時間

S : 区間の継電器動作時限整定差

B_{n+1} ：第 $n+1$ 区間しゃ断器のしゃ断時間
 O_n ：第 n 区間継電器の慣性動作時間
 α ：余裕時間（0.05秒を考える）

(3)式の成立が難しい場合は、瞬時要素付誘導形、高速度形、あるいは区間保護継電装置である表示線継電器、母線保護継電器を採用し、区間故障の高速除去を行ない成立を図る必要がある。

(4)式については B_{n+1} を5サイクルとし0.1秒、慣性動作時間 O_n を0.2秒とし、最低やむを得ない場合は0.35秒の時限差を考え、一般的には0.4秒を採用する。

3.2 地絡時限協調

表1の地絡継電器の整定は電力系統から見た場合、需要家受電点が最末端であるとしたものであり、事実、構内側は変圧器バンクにより零相回路が分離されるため、この値がそのまま採用される。変圧器バンク二次については、これと同様

な考えを取り最末端を表1と同じ整定とし、以下これと協調をとる。但し、変圧器バンクにより接地系統が分離されたことにより、その時限協調は短絡の場合に比べ容易な場合が多い。

4 構内系統の決定とその保護方式

受変電設備における構内系統の構成は、その生産対象により独自の形態を取るものも多いが、系統電圧による影響が大きい。この場合の保護方式も、短絡・地絡保護方式が主体であり、短絡については前述の考え方を延長したものとなる。

地絡保護方式では、構内系統電圧が特別高圧の場合は100A以上の抵抗接地方式が、高圧の場合は非接地方式、又は10A、15A接地方式及び100A接地方式がとられる。図5はこれらの方式を単線接続図にて示したものであり、方式決定上の留意点を次に述べる。

表1 受電点継電器整定値 系統側の電力会社は、需要家受電点の継電器整定を決めている。

用途	継電器の種類	整定値			備考
		要素	動作電流値	限時値	
短絡保護	瞬時要素付過電流継電器又は高速度過電流継電器+限時過電流継電器	瞬時	変圧器二次短絡電流の150%	—	* 電力会社によっては、設備容量を基準にするところもある。
		限時	契約最大電力の150~170%*	変圧器二次短絡時に0.6秒以下	
地絡保護	地絡過電流継電器	—	完全地絡時地絡電流の30%**	完全地絡時に0.2秒以下	** 変流器の特性差などにより誤動作しない範囲で、できるだけ小さいことが望ましい。

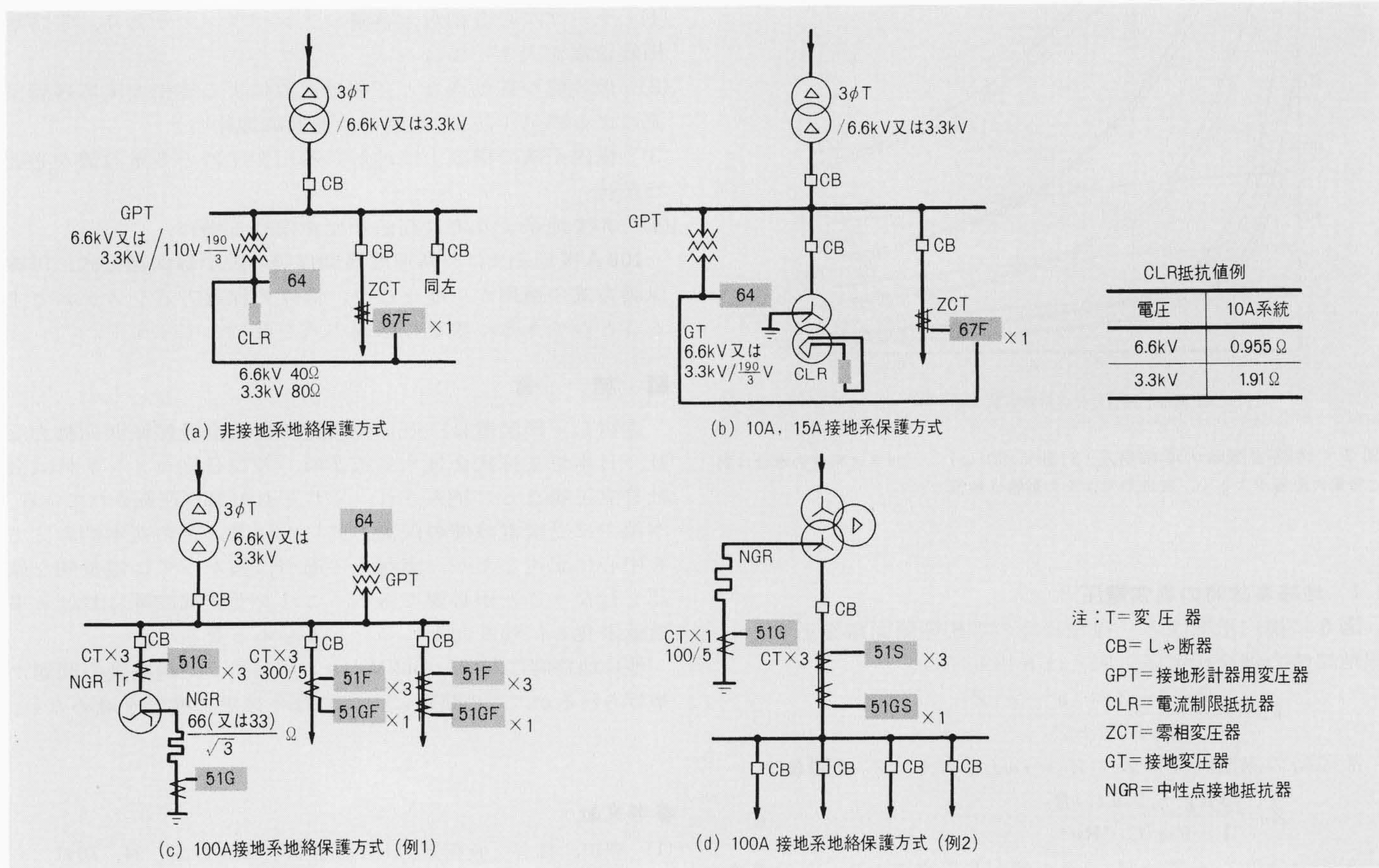


図5 地絡保護方式 非接地から100A接地までの地絡保護方式を、単線接続図で示す。

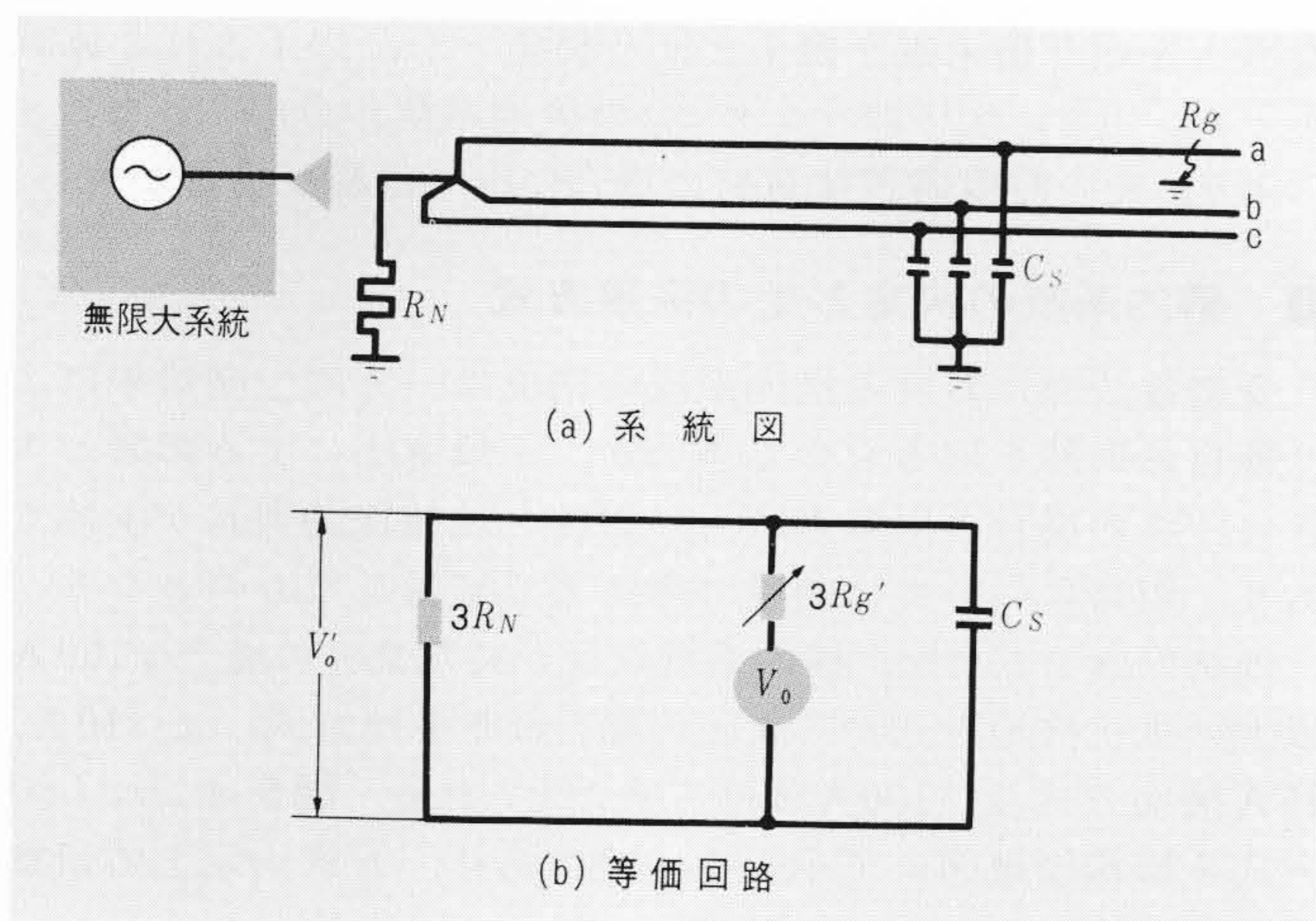


図6 一線地絡の系統図及び等価回路 構内系統での一線地絡について、系統図とその等価回路を示す。

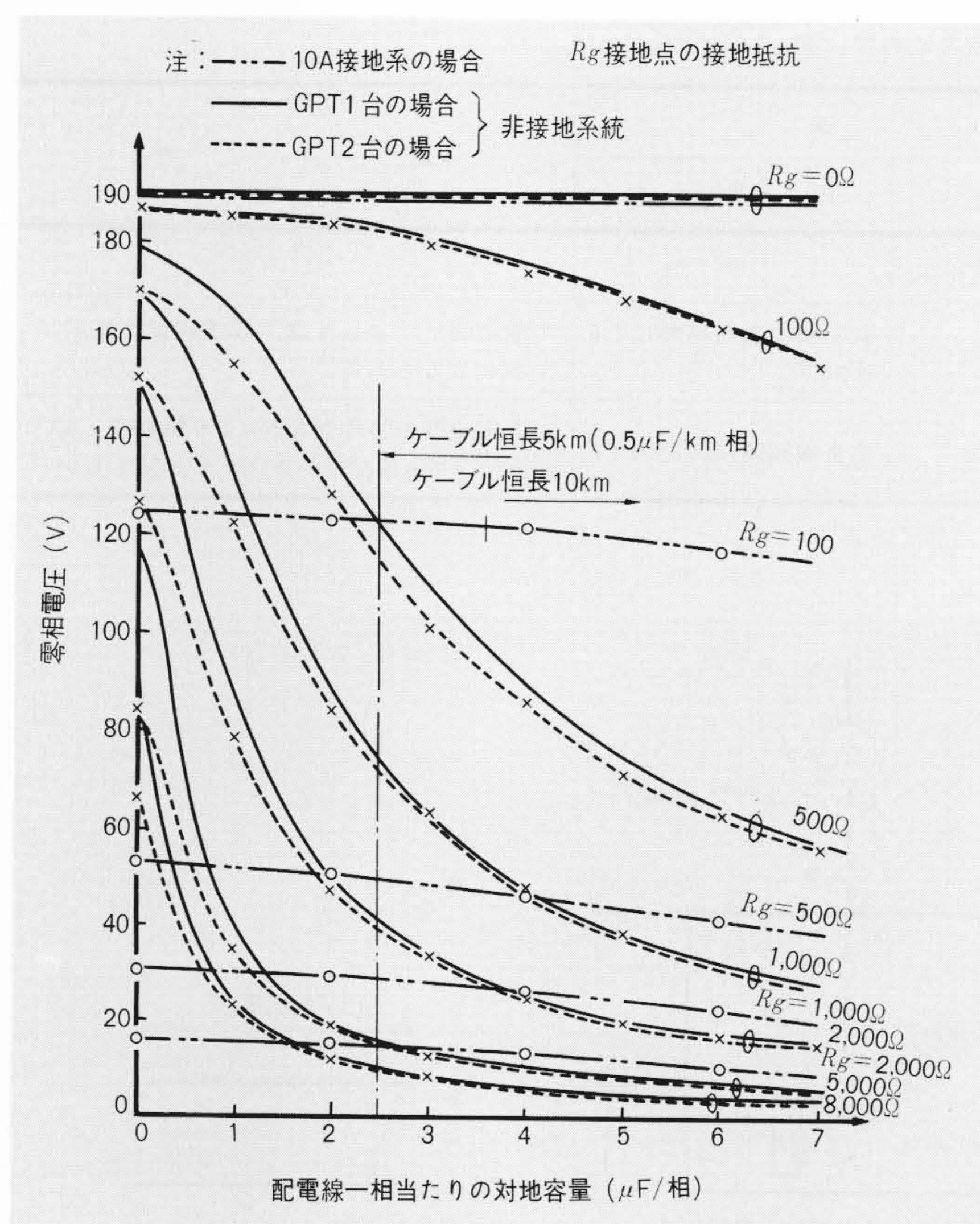


図7 地絡故障時の零相電圧(3.3kV 50Hz) 非接地系統の場合は対地容量の影響が大きく、接地系ではその影響は無視できる。

4.1 地絡事故時の異常電圧⁽²⁾

図6に構内系統図と一線地絡時の零相等価回路を示す。一線地絡時の健全相電圧、例えばb相電圧は、

$$V_b = \frac{(a^2 - 1)Z_0 + (a^2 - a)Z_2}{Z_0 + Z_1 + Z_2} E_a \quad (5)$$

故障時の過渡計算は $Z_1 = Z_2 = i\omega L$ と考え、 Z_0 は図6より

$$Z_0 = \frac{3R_g - j9\omega C_s R_N}{1 + 9\omega^2 C_s^2 R_N^2} \quad (6)$$

(5)式の分母 $Z_0 + Z_1 + Z_2$ の最小値が共振点であり、一般受変電設備の電源インピーダンスでは、 L 、 C_s 、 R_N での共振現象は発生しない範囲である。

表2 保護方式の比較(3.3kV系) 構内系統の代表的地絡保護方式の特徴を要約した。

	非接地系	10～15A接地系	100A接地系
選択地絡保護適用リレー	選択地絡継電器 IGF-C ₂ -B ₁ or SHGF-8R	同左 IGF-C ₃ -B ₈	過電流地絡継電器 IO-L-B ₁
充電電流の影響	あり 感度の低下	なし	なし
GPT多点設置	影響あり 感度の低下	なし	なし
広域構内 母線地絡保護 表示線地絡保護	適用困難	適用困難	適用可
経済性	第1	第2	第3
主な用途	一般需要家	広域構内	広域プラント構内

4.2 地絡保護方式からの検討

図6の等価回路より、一線地絡時に保護継電器入力となる V_0' の値は、次式で示される。

$$V_0' = V_0 / (1 + R_g / R_N + j3\omega C_s R_g) \quad (7)$$

(7)式の計算結果を対地容量及び地絡抵抗を変数として示したのが図7である。非接地系では、対地容量による影響が大きく、接地系とすればこれらの影響は無視できる。

このように V_0' は対地容量により低下するが、故障点への充電電流は保護継電器動作分として作用する。

特に充電電流の影響が大きい非接地系では、ケーブル対地容量による検出感度の変動分を確認し、場合によっては静止形の高感度形継電方式とする必要がある。

10A、15A抵抗接地系は、次の場合に特に有効と思われる。

- (1) ケーブルの各相対地容量にアンバランスがあり、常時零相残留電圧が大きい場合
- (2) 保護機が電動機などで起動電流による零相変流器残留電流による誤動作防止(起動中の他回線地絡時)
- (3) 構内系統の構成上接地形計器用変圧器の多重設置が必要な系統
- (4) 非接地系より更に高信頼度を求める場合

100A接地系では、高速度区間保護の表示線保護方式、母線保護方式の適用が可能となり、高度の保護方式システムとすることができる。表2に保護方式を要約して示す。

5 結 言

選択しゃ断装置は、既に昭和電工株式会社鶴崎共同動力会社、日本鉱業株式会社水島鉱業所、及び日立セメント株式会社日立工場などに納入され、それぞれ好調に運転されている。本稿では受変電設備の保護方式について、その基本的考え方を中心に記述したが、実務上の適用に当たっては定量的な確認を行なうことが必要である。これが受変電設備における事故極限化と信頼度向上につながるものとなろう。

他に地絡時に20kV、60kVよりの移行や、絶縁協調の問題が挙げられるが、この問題については今後更に検討を進めたい。

参考文献

- (1) 豊田、細谷「負荷選択しゃ断装置」日立評論 54, 1041 (昭47-12)
- (2) 電気学会編「工場配電」オーム社(昭45-2)
- (3) 電気協同研究 第29巻 第4号(昭49-1)