

電力用機器保護継電装置のデジタル化

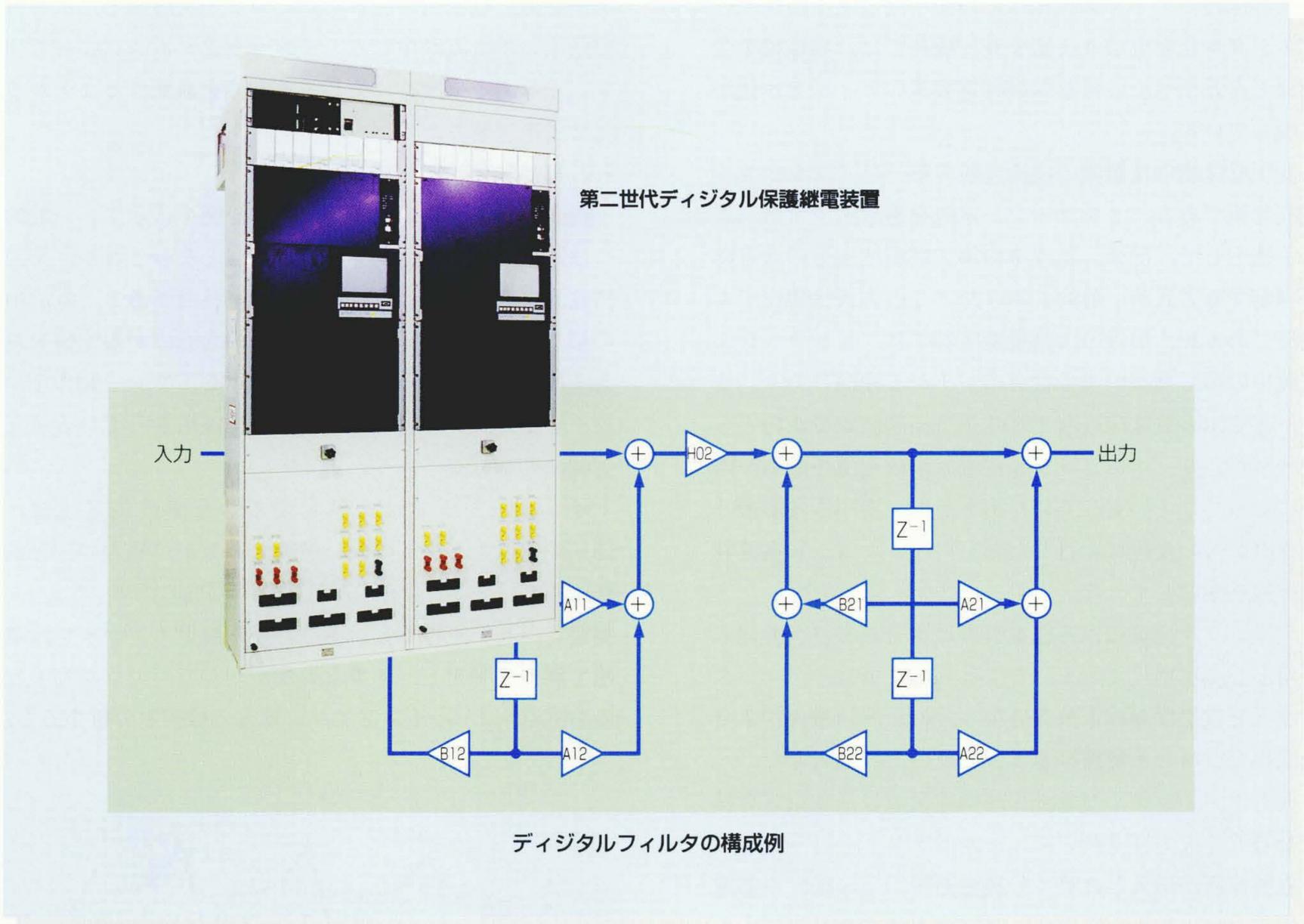
Digital Protection Relay for Transformer and Generator

中村 知治* Tomoharu Nakamura

佐々木 宏* Hiroshi Sasaki

永田 和範** Kazunori Nagata

山中 義一* Yoshikazu Yamanaka



第二世代デジタル保護継電装置

デジタルフィルタの構成例

第二世代デジタル保護継電装置とデジタルフィルタの構成例

デジタルフィルタの採用などでデジタル化のメリットを生かすことにより、アナログ装置では実現できなかった新しい機能を実用化した。例えば変圧器保護継電装置では、電流・電圧の瞬時値から変圧器内部リアクタンスを演算し、その時間的变化に着目して、インラッシュ電流と事故電流を識別する方式を開発した。発電機保護装置では、従来のリレーの特性保証周波数が定格の ± 5 Hzであったものに対し、25 Hz~90 Hzの広域の特性を実現し、発電機起動時の低周波状態での保護性能を大幅に向上させた。

発電機、変圧器の保護のデジタル化は、デジタル化によって信頼性、保守性が向上したことはもちろんのこと、保護方式にも新しい技術が導入されている。

変圧器保護では、電圧印加時に生じるインラッシュ電流と事故電流の識別方式が技術課題である。従来、電流中に含まれる第二高調波成分の含有率でこれらを判定してきた。しかし、最近の大容量変圧器ではインラッシュ電流中の第二高調波成分の含有率が低くなりつつあり、この方式では両者を判別しきれない傾向が出てきてい

る。そのため、これに代わる方式として、リアクタンス変化幅に着目した新しい判別方式を実用化に向けて開発中である。

発電機保護では、起動・負荷遮断などの運転モードを考えると、低周波域から、90 Hz程度の高い周波数領域での保護性能の確保が必要である。そのため、デジタル化による演算アルゴリズムのくふうで、25 Hz~90 Hzの範囲で保護性能を確保できるようにした。

*日立製作所 国分工場 **日立製作所 大みか工場

1. はじめに

電力系統は、発電機や変圧器をはじめとする各種の電力用機器で構成されている。これらの機器を保護することは、電力系統保護上で重要な課題である。

機器保護のデジタル化は、1980年代の変圧器保護のデジタル化を皮切りに始まり、現在では、発電機を含むほとんどすべての機器保護継電装置のデジタル化が実現している。

変圧器保護継電装置の技術課題の第一はインラッシュ電流対策である。インラッシュ電流を事故電流と識別する手法として、従来、電流中の第二高調波成分の含有率で判定する方式が一般的であった。この方式は現在でも主流であるが、最近の大容量変圧器では、インラッシュ電流中の第二高調波成分含有率が下がる傾向にある。また一方で、事故電流に含まれる第二高調波成分が増えるケースがあり、インラッシュ電流と事故電流の識別が困難になってきている。その対策として、変圧器巻線のリアクタンスの変化に着目した新しいインラッシュ電流判別方式を検討している。

デジタル発電機保護継電装置は水力および火力発電所として実用化されている。日立製作所は、デジタル水力発電機保護継電装置の第1号機を関西電力株式会社成出発電所の可変速揚水実証プラントに納入した。

火力用デジタル発電機保護継電装置は、東京電力株式会社五井火力発電所でフィールドテストを行ったのが日立製作所が納入した第1号機である。その後、中部電力株式会社川越火力発電所、東京電力株式会社横浜火力発電所などの新設プラントを中心に採用されている。

以上のように、機器保護継電装置は保護対象機器ごとに異なった特徴を持っており、技術課題も機器の特質に依存している。

ここでは、変圧器保護継電装置と発電機保護継電装置についておのおのの開発技術を中心に、これらデジタル化の状況について述べる。

2. 変圧器保護装置

2.1 保護方式

変圧器の故障モードとして考えられるのは、(1)巻線の地絡、(2)巻線の相間短絡、(3)巻線の層間短絡の三つである。

これらの故障を高感度に検出するリレーとして、一般的に比率差動方式のリレーを採用している。

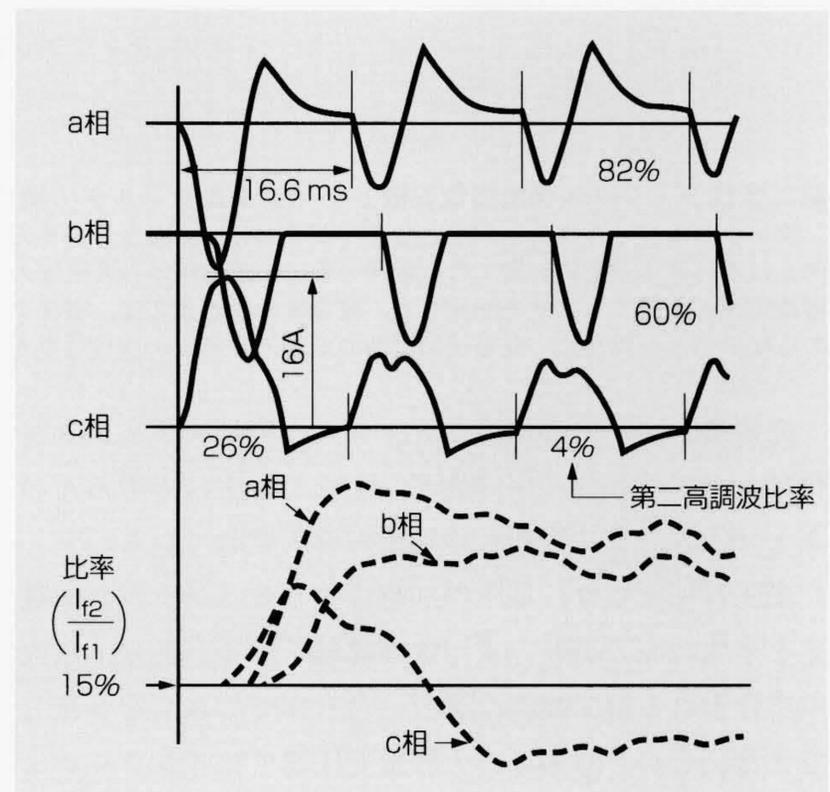
2.2 インラッシュ電流対策

比率差動方式を採用する場合、最も問題となるのはインラッシュ電流対策である。インラッシュ電流とは、無励磁状態の変圧器に電圧を印加したときに、変圧器の鉄心の飽和のために一次巻線に生ずる電流で、このとき二次側巻線には電流が流れないために一次巻線と二次巻線の電流に差電流が生じる。インラッシュ電流によって生ずる差電流と事故時に生じる差電流を識別することが重要な技術課題である。

2.2.1 第二高調波抑制方式

代表的なインラッシュ電流波形を図1に示す。一般的には同図に示すように半波整流波形となっており、第二高調波成分を多く含んでいることが特徴である。電流中の第二高調波成分を検出して、その含有率が規定値を越える場合にインラッシュ電流と判定し、リレー動作をロックする方式が、現在最も一般的に採用されている第二高調波抑制方式である。

インラッシュ電流を判定する含有率の規定値は、15~30%以上とするのが一般的であるが、最近の大容量変圧器では、この含有率が低くなる傾向にある。しかし、判定レベルを下げると、事故時の電流をインラッシュ電流と誤って判定し、不要な抑制がかかる可能性が高くなるおそれがある。インラッシュ電流の様相を分析すると、



注：変圧器；18 MVA 66 kV
変流器；300/5 A (n>20) 二次出力

図1 インラッシュ電流波形の例

インラッシュ電流は多くの第二高調波を含んでいる。その特性を利用してインラッシュと事故電流を識別している。

三相の中のいずれか一相は第二高調波成分の含有率が高くなる特性があることがわかった。

日立製作所は、この特徴を生かして三相和抑制方式と呼ぶインラッシュ電流判定方式を採用し、前述した問題に対応している。この方式は、電流の三相分の第二高調波成分の合計値と、各相の一相分の基本波成分の割合で判定する方式である。この方式では、判定レベルを15%以上の大きな値としても、十分インラッシュ電流と事故時の電流を識別することができる。

2.2.2 リアクタンス変化幅法

都心部では最近、地中ケーブル送電線の増加や大容量調相設備の導入による系統の静電容量の増大のため、事故時に低次高調波が発生するようになっている。その結果、現状の第二高調波抑制方式では事故電流とインラッシュ電流の識別が困難となるケースが出ている。

その対策の一つとして、インラッシュ電流発生時に生じる変圧器の内部リアクタンスの時間変化に着目した判別方式を検討している。リアクタンスの変化は、電圧印加時に変圧器の鉄心が飽和と非飽和を周期的に繰り返すことによって起こるものである。

インラッシュ電流発生時のリアクタンス変化と内部事故時のリアクタンス変化をシミュレーションによって求めた一例を図2に示す。

この方式は、変圧器各端子の電流電圧の瞬時値をディ

ジタルリレーに取り込み、演算によって変圧器内部リアクタンス L を求めるもので、デジタルリレーによって実現した方式である。求めた L と同様に、半サイクル前に求め記憶しておいたリアクタンスを比較し、その差が規定値を越えることで、インラッシュ電流と判定する。この方式については、ほぼ実用化の見通しを得ている。

3. 発電機保護装置

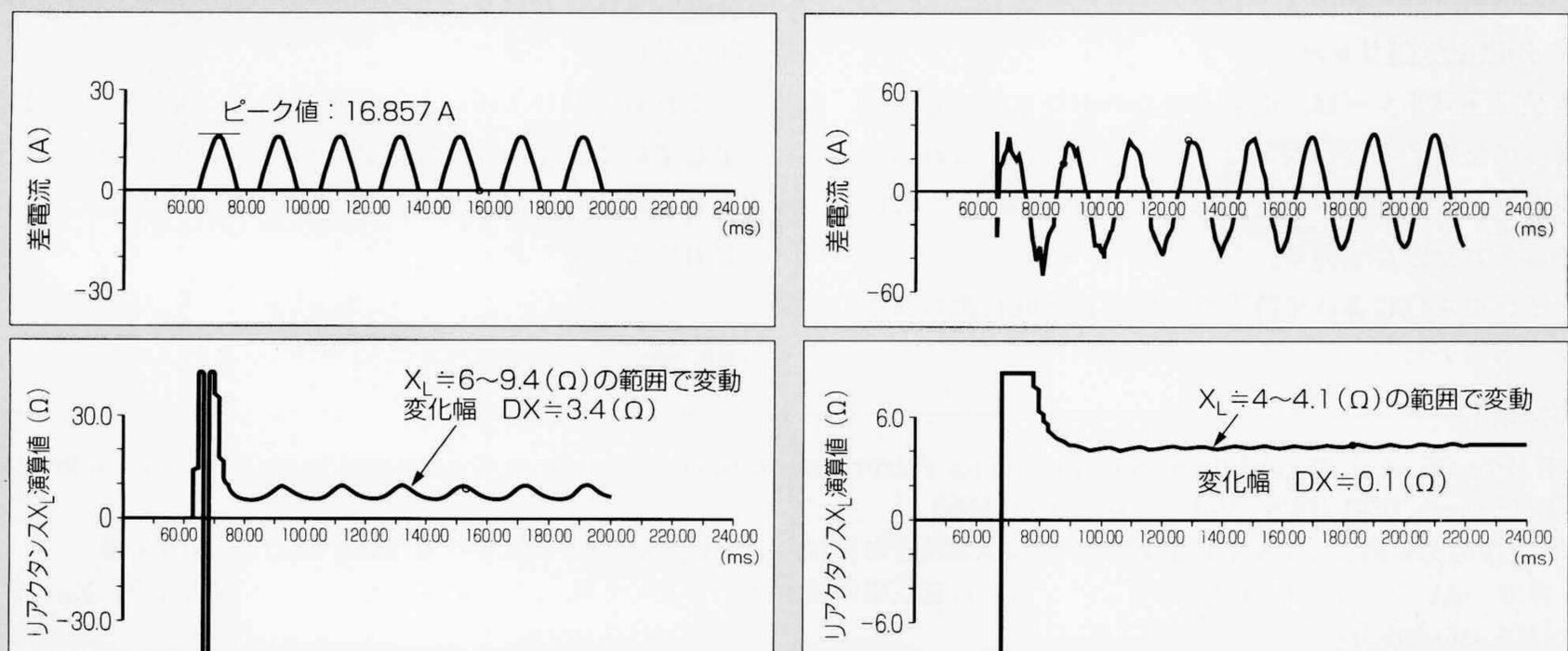
発電機保護装置のデジタル化については、1992年に、まず水力発電所用が実用化され、1994年に火力発電所用が実用化された。

発電機を保護するうえで考慮しなければならないことは次の2点である。

- (1) 運転周波数範囲が広いので、通常の定格周波数のみの電気現象把握だけでは十分に保護できない。
- (2) 過励磁保護などの複雑な耐量カーブを持ったものに対し、従来のアナログリレーでは機器の耐量に対して十分な協調がとれなかった。

3.1 周波数特性の広帯域化

火力発電の半速同期や揚水発電のサイリスタ始動などでは、10 Hzや25 Hzからの運転を考える必要がある。また、負荷遮断時には、周波数が上昇した状態も考える必要がある。従来のアナログリレーは、定格周波数の $\pm 5\%$ でしか性能を保証していなかった。唯一、プランジャ形



(a) インラッシュ電流とリアクタンスの変化

(b) 事故時の差電流とリアクタンスの変化

図2 インラッシュと事故時のリアクタンスシミュレーションの例

インラッシュ時には、30%程度のリアクタンス変化がある。この変化に着目して、インラッシュと事故電流を判別する。

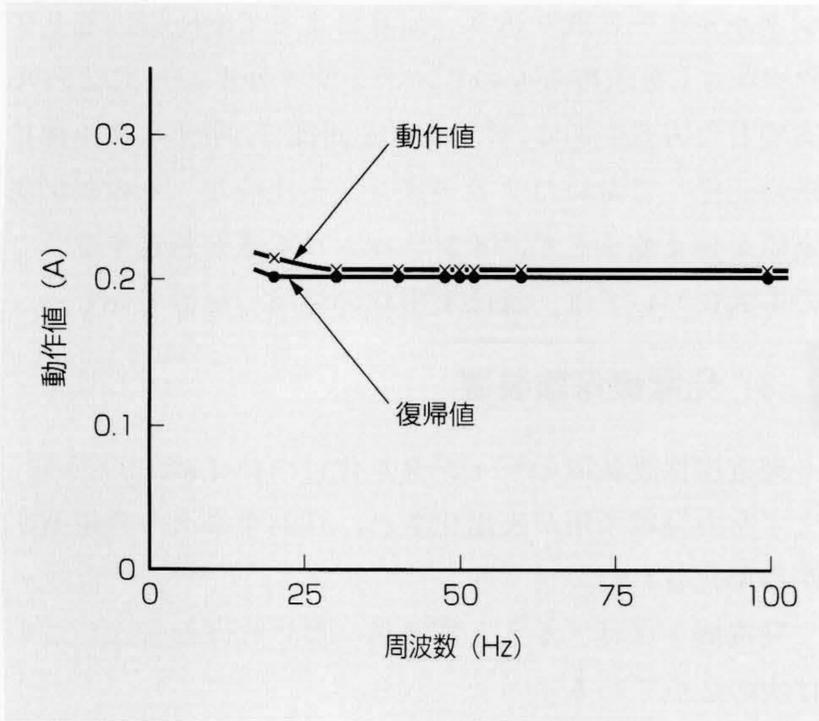


図3 発電機保護用比率差動継電器の動作値特性
25 Hzから100 Hzの広い周波数範囲で、安定した保護性能を実現した。

の過電流継電器が30 Hz程度までの広域保護性能を持っていたが、その感度誤差は非常に大きかった。

デジタル発電機保護継電装置では、デジタルフィルタの採用によって入力フィルタを広帯域でフラットな特性とした。また、実効値の算出方式として、同一入力の時系列的に連続する数サンプル分のデータを用いて実効値を演算する補正積分方式を開発し、過電流リレーだけでなく、電流差動リレーに対しても25 Hz~90 Hzの広帯域で安定な性能を持つものを開発した。特性の一例を図3に示す。

3.2 過励磁保護リレー

過励磁保護リレーは、従来、機器の耐量カーブと協調をとって整定するのが困難なリレーであった。これは、ハードウェアの制約から特性カーブがあるパターンに限定されていたためである。

デジタル化によって特性カーブを比較的自由に設定

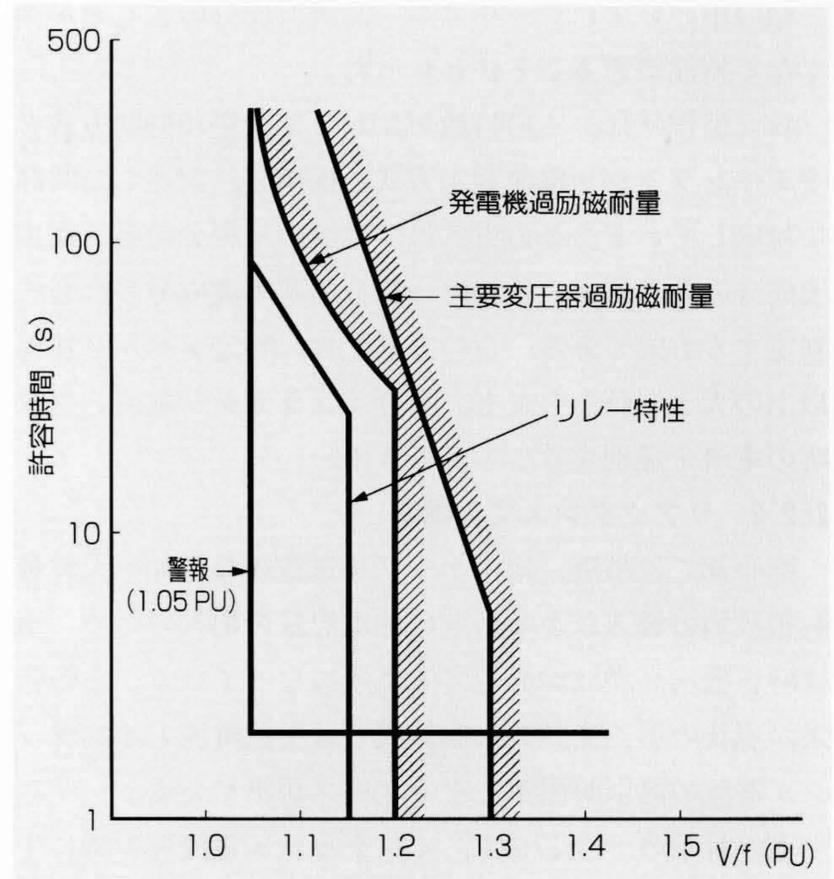


図4 発電機保護用過励磁保護継電器の特性
デジタル化により、発電機の耐量と協調のとれた整定ができるようになった。

できるようになり、通常の耐量カーブであれば十分に機器と協調のとれた整定ができるようになった。特性の一例を図4に示す。

4. おわりに

ここでは、電力システムを構成する主要な機器として変圧器と発電機に着目し、その保護技術とデジタル化の現状などについて述べた。

これら機器の保護のデジタル化は、現状ではほぼ完了している。今後は、保護装置のハードウェアの進歩とともに、さらに高機能化、保守性の向上が図れるように努力する考えである。

参考文献

- 1) K.Inagaki, et al.: Digital Protection Method for Power Transformers Based on an Equivalent Circuit Composed of Inverse Inductance, IEEE/PES, Vol.3, No.4 (Oct.1988)
- 2) 矢部：電力差動法による変圧器故障と励磁突入電流との判別, 電気学会論文集, Vol.116-B, No.3, 293~298 (平8-3)
- 3) 香田：領域遷移型磁化曲線動的推定法を用いた変圧器保護方式, 平成8年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.419, 435~436 (平8-8)
- 4) 佐々木, 外：変圧器保護用リアクタンス変化幅法, 平成8年電気学会保護リレー
- 5) 吉田, 外：PCM伝送方式変圧器保護継電装置の実用化, 平成8年電気学会全国大会
- 6) 北, 外：可変速揚水発電システムデジタル保護装置の開発, 平成2年電気学会全国大会