

# FCB レス励磁システム

Excitation System without Field Circuit Breaker

曾我部 敏明 佐藤 文生 柴田 雅彦

■ SOGABE Toshiaki

■ SATO Fumio

■ SHIBATA Masahiko

界磁遮断器は、発電機の界磁回路を開閉するために使用され、放電抵抗を通して界磁巻線を短絡する放電極接点を持つ直流遮断器として広く使用されている。近年、界磁遮断器は、放電極接点を持つ特殊気中遮断器のため国際的にも製作するメーカーが少なくなり、汎用の遮断器を適用するようなシステム仕様要求が海外では一般的になってきている。

東芝はこのような状況において、界磁遮断器を使用せず汎用の遮断器を適用できるように、放電極接点の代わりにバイパス回路サイリスタスイッチを適用したシステムを開発し、イタリアのエネル・プロダチオーネ社 サルシス発電所に適用した。今後は、この方式を標準として国内、海外を問わず広く適用していく。

The field circuit breaker (FCB) has conventionally been used to open and close a generator field circuit. An FCB is a DC type breaker with a discharge contact. The number of FCB manufacturers throughout the world has decreased in recent years, while demand for the application of general-purpose AC circuit breakers has increased. As a result, requests for system specifications incorporating general-purpose circuit breakers have been increasing.

Toshiba has developed a new excitation system using the bypass thyristor switch system instead of discharge contact. This new system has been applied to the Enel Produzione Salsisu Power Plant in Italy. Hereafter, we will use the new system for excitation systems in general.

## 1 まえがき

近年、発電機の励磁装置の直流主回路を切り切りする界磁遮断器 (FCB) が製造中止傾向となり、近い将来には製造会社が限定されて高価格となり入手困難が予想される状況に至っている。海外の励磁装置メーカーは、既に FCB に代えて、交流側に遮断器を設け界磁電流のバイパス回路のサイリスタスイッチと組み合わせる、交流遮断方式の励磁システムを多用するようになってきている。東芝としても、標準的に交流遮断方式の励磁装置の採用を始めることとし、FCB レス励磁システム方式の開発・検証を行ったので、以下にそのシステムの概要と特長について述べる。

## 2 FCB レス方式のシステム概要

従来の発電機界磁回路の FCB 方式に代わる FCB レス方式は、励磁主回路の交流電源側に放電極を持たない汎用の交流遮断器を適用し、従来の FCB の放電回路をバイパス回路サイリスタスイッチと放電抵抗器から成る回路に変更したシステムである。FCB の放電極と同じ機能となるように、交流側に設置した交流遮断器を開放する際にバイパス回路サイリスタスイッチを点弧させ、界磁電流をサイリスタスイッチ回路側に転流させ、交流遮断器を問題なく開放可能とし

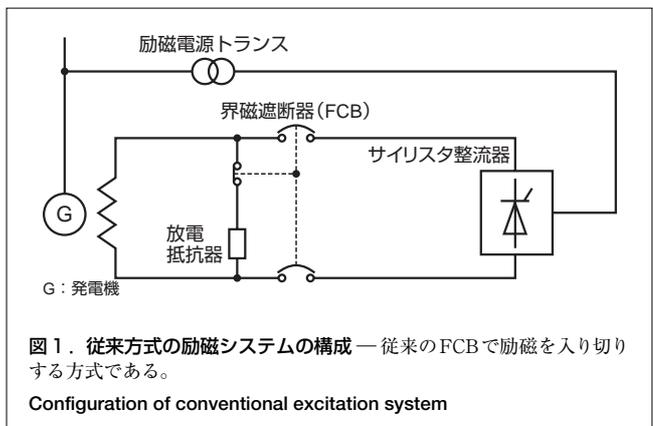


図1. 従来方式の励磁システムの構成 — 従来の FCB で励磁を切り切りする方式である。

Configuration of conventional excitation system

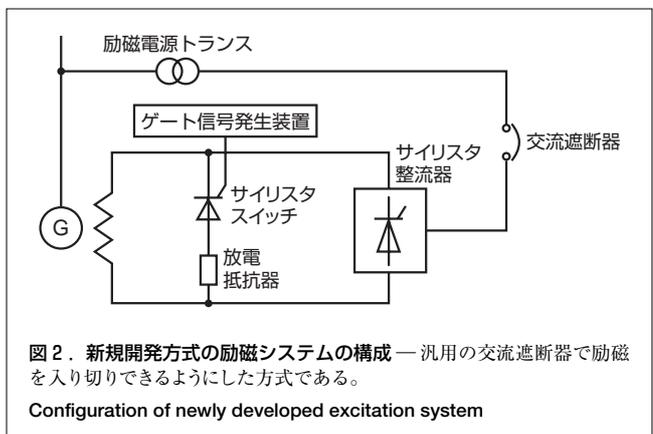


図2. 新規開発方式の励磁システムの構成 — 汎用の交流遮断器で励磁を切り切りできるようにした方式である。

Configuration of newly developed excitation system

たシステムである。従来のFCB方式のシステム構成を図1に、FCBレス方式のシステム構成を図2に示す。

### 3 FCBレス励磁装置の主回路

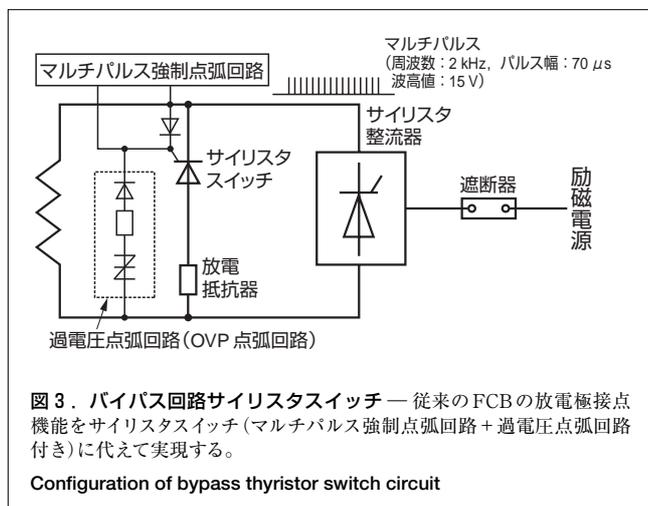
FCBレス励磁システム装置の主回路は、交流電源側に設置される交流遮断器(以下、遮断器と呼ぶ)と、従来FCBの放電極と同じように遮断器開放時に界磁電流をバイパスさせるバイパス回路サイリスタスイッチと放電抵抗器で構成される。以下に、開発したシステムの主要部であるバイパス回路サイリスタスイッチ部について述べる。

当社が開発したバイパス回路サイリスタスイッチ方式を図3に示す。

交流遮断方式では界磁電流遮断時に遮断器(気中遮断器(ACB)／真空遮断器(VCB)など)に異常な高電圧発生の負担をかけず、また遮断時のアーク放電による接点寿命消耗を極力少なくするためにも、遮断時バイパス回路のサイリスタスイッチを速やかに点弧させ界磁電流を転流させることが大事である。

当社としては、サイリスタスイッチの点弧方法として次の2方式を並列使用して、点弧の即時性と信頼性を確保することにより遮断の安全性を確保している。

- (1) マルチパルス強制点弧方式 遮断指令と同時に連続のマルチパルスを印加する方法
  - (2) 過電圧(OVP)点弧方式 遮断器が電流遮断時に発生する高電圧を検出して点呼パルスを印加する方法
- 通常動作は、遮断器開放と同時にマルチパルス強制点弧パルスでバイパス回路サイリスタスイッチが点弧する。一方、遮断時の高電圧を検出して点弧パルスを印加するOVP点弧方法はバックアップの位置付けである。なおOVP点弧の動作レベルは、運転中の誤動作がないようにサイリスタ整流器異常電圧保護のレベルより十分高い値とし、遮断器開放時に



十分低い値に切り替えて、マルチパルスで点弧できなかった場合に遮断器の電流遮断で発生するアーク電圧でも十分検出できるようにしている。

### 4 FCBレス励磁システムのバリエーション

FCBレス主回路の構成は、界磁回路の異常電圧保護方式や使用遮断器によりバリエーションが発生する。それぞれについて以下に概要を示す。

#### 4.1 界磁異常電圧保護方式による主回路種別

当社では、界磁異常電圧保護方法として従来から採用しているセレンアレスタ方式と、海外での仕様により適用しているサイリスタアレスタ方式(双方向OVP方式)がある。

**4.1.1 セレンアレスタ適用FCBレス方式** 界磁回路とサイリスタ整流器を異常電圧から保護するためにセレンアレスタを用いたシステム構成にするとともに、遮断器開放時に界磁電流をバイパスさせるサイリスタスイッチと放電抵抗器を設けた方式である(図4)。

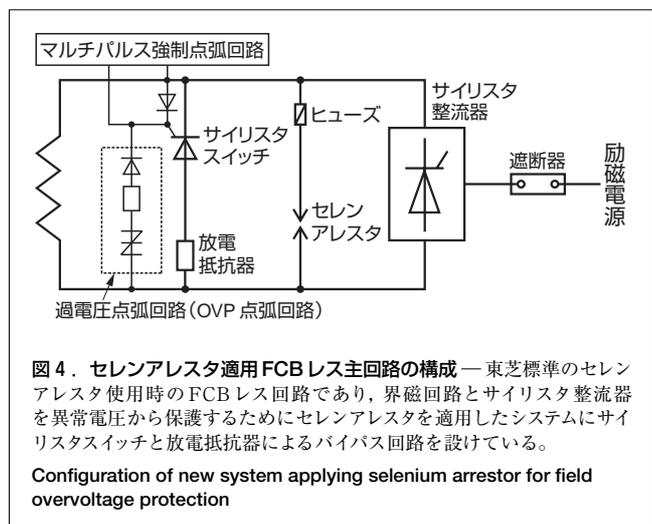
**4.1.2 サイリスタアレスタ適用FCBレス方式** 界磁回路とサイリスタ整流器を異常電圧から保護する双方向OVP回路で構成し、片方のOVP回路で遮断器開放時の界磁電流をバイパスさせる方式である(図5)。

#### 4.2 適用遮断器による主回路の種別

従来のFCBの代わりに適用する遮断器により、励磁主回路構成が異なる。システムとしてACB適用FCBレス方式、VCB適用FCBレス方式、DC(直流)ブレーカ適用FCBレス方式の3種類の基本バリエーションがある。

ACB適用FCBレス方式システムの構成を図6に、VCB適用FCBレス方式システムの構成を図7に、DCブレーカ適用FCBレス方式システムの構成を図8に示す。

なお、それぞれの構成は当社標準セレンアレスタ方式で表記している。



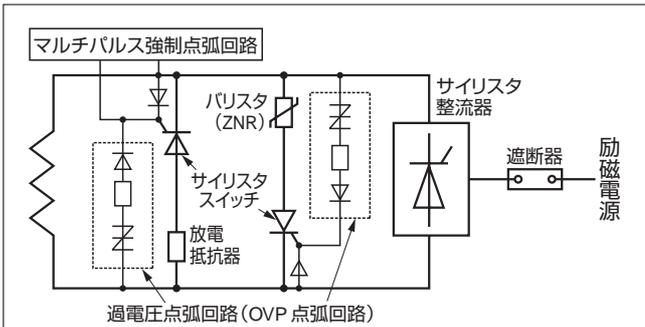


図5. サイリスタアレスタ適用FCBレス主回路の構成 — 海外標準の双方向OVP方式適用時のFCBレス回路であり、界磁回路とサイリスタ整流器を異常電圧から保護する双方向OVP回路を適用したシステムである。片方のOVP回路をバイパス回路としている。

Configuration of new system applying thyristor switch system for field overvoltage protection

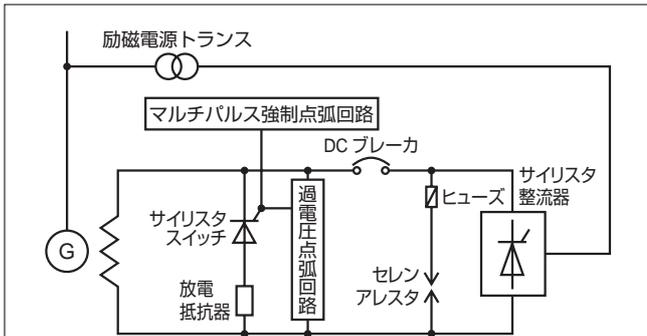


図8. DCブレーカ適用FCBレス方式システムの構成 — 発電機界磁の直流主回路側にDCブレーカを設置し励磁の入り切りを行う方式であり、既設更新時に主回路盤構成を変更しないで対応ができるメリットがある方式である。

Configuration of new system applying DC circuit breaker

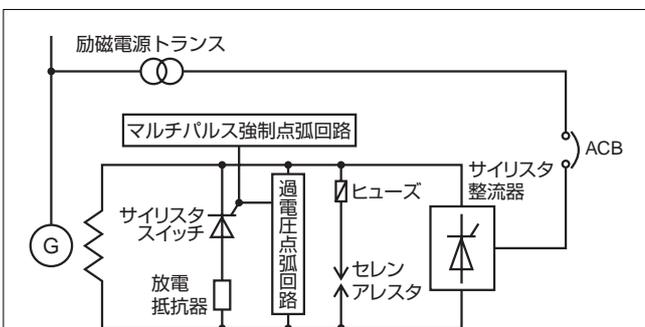


図6. ACB適用FCBレス方式システムの構成 — サイリスタ整流器の交流電源側に遮断器を設置し励磁の入り切りを行う方式であり、一番標準的な方法で中小容量の発電プラント向けに最適な方法である。

Configuration of new system applying air circuit breaker (ACB)

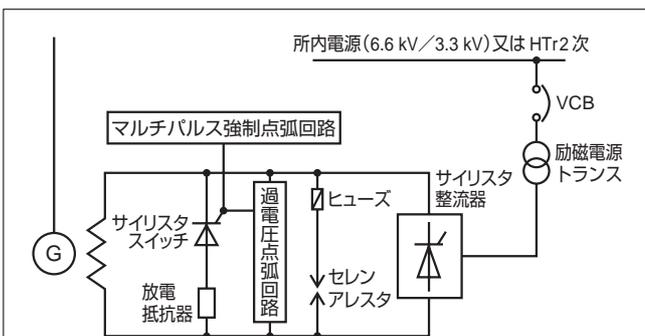


図7. VCB適用FCBレス方式システムの構成 — 励磁電源トランスの高圧側に遮断器を設置し励磁の入り切りを行う方式であり、中から大容量の発電プラント向けに最適な方法である。

Configuration of new system applying vacuum circuit breaker (VCB)

### 4.3 適用遮断器によるシステム適用制限

現状は、すべての定格の励磁装置に適用できる汎用の遮断器がないため、遮断器の種類により適用制限がある。それぞれの使用限界を見極めてシステムの選定をする必要がある。

**4.3.1 ACB適用方式の限界** ACBは低圧仕様のため、励磁のシーリング仕様が強く励磁電源トランスの2次電圧がACBの定格電圧を越える場合は、この方式は適用できない。

現状容易に入手可能なACBの最大定格電圧はAC(交流)750Vであり、現状はこれが適用限界である。

**4.3.2 VCB適用方式の限界** VCBは、遮断定格の限界があるため発電機端子から励磁電源を供給する一般の主回路構成は適用できず、励磁電源は6.6/3.3kV所内電源又は所内変圧器(HTr)から供給するシステム構成が適用の条件となる。その場合VCBは、定格仕様の制限はなく、すべての定格容量の発電プラントに適用できる。

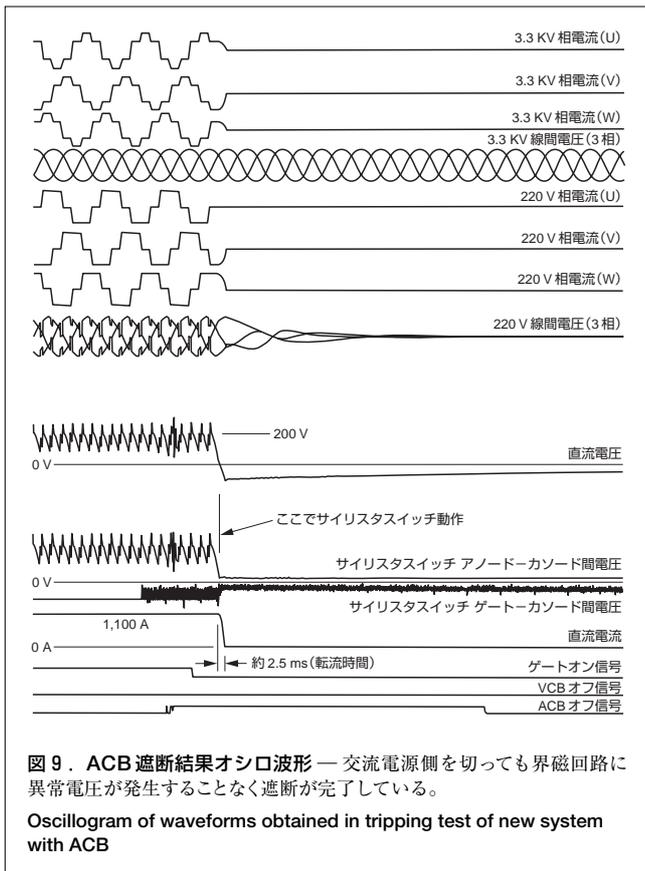
この方式で、励磁電源が喪失するような場合は、VCBが直流遮断をしないように、VCB開放と同時にメインのサイリスタ整流器のツイストペア(又はバイパスペア)を行い、短絡状態にする制御が必要となる。

**4.3.3 DCブレーカ適用方式の限界** DCブレーカは、従来のFCBと同様に発電機の界磁回路に設置されるため既設更新などには有利な方式であるが、機械式ラッチ方式のものは現状では海外製に限られ入手が困難である。また、現状で入手可能なDCブレーカの最大定格はDC 2,000V-DC 6,000Aであり、これが適用限界である。

なお、使用条件を判断して汎用のACBを適用しても問題はない。

## 5 モデル試験

マルチパルス強制点弧のサイリスタスイッチを放電時のバイパス回路として設けることで、交流遮断の励磁方式を採用できるか検証した。発電機界磁モデル回路に1,100A程度のDC電流を流し遮断試験を行い、良好な結果が得られた。次にモデル試験の結果を示す。



### 5.1 ACB 適用 FCB レス方式モデルの試験結果 (図9)

ACBが遮断を開始後1/6サイクル程度でサイリスタ整流器がゲートロックされる。界磁回路電圧が負側に入ると同時に、マルチパルス強制点弧でバイパス回路サイリスタスイッチがオンしてバイパス回路ができる。このため、ACBの主接点極間にはまったく高電圧は発生せず、すっきりと遮断が完了している。

主回路から放電回路への転流は、2.5 ms程度で完了している。実際の界磁回路では励磁電源トランス側の時定数で違ってくるが%インピーダンスとしては大差ないので、実際も同程度の時間で転流が完了すると考えられる。

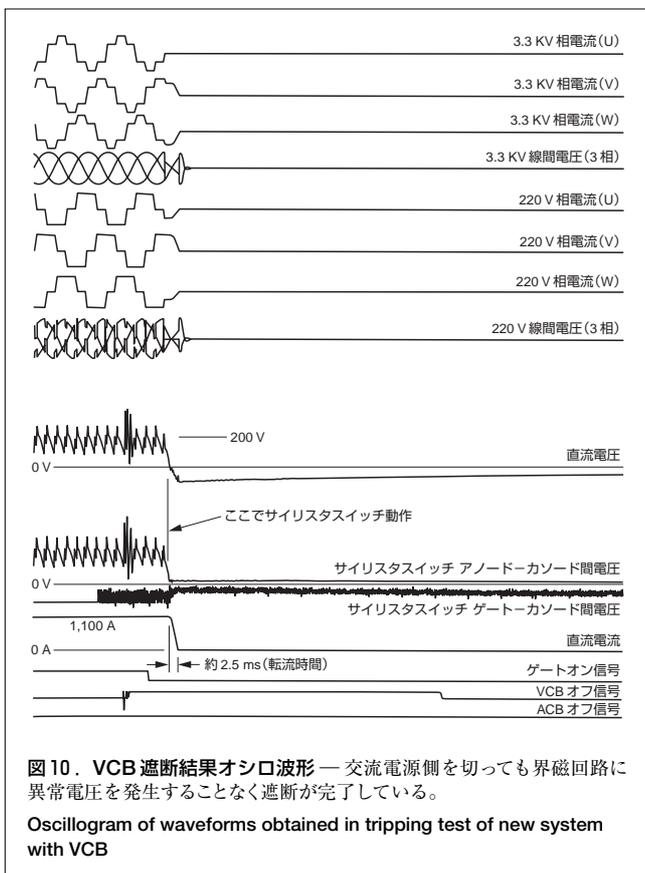
### 5.2 VCB 適用 FCB レス方式モデル試験結果 (図10)

VCBが遮断を開始後1/6サイクル程度でサイリスタ整流器がゲートロックされる。ACB適用の場合と同様に、界磁回路電圧が負側に入ると同時にバイパス回路サイリスタスイッチがオンしてバイパス回路ができる。このため、VCB適用の場合でも主接点極間にまったく高電圧は発生せず、すっきりと遮断が完了している。

## 6 あとがき

FCBレス励磁システム方式は、当社の励磁システムで培ってきた技術を継承し、マルチパルス強制点弧のサイリスタスイッチを遮断器開放時の放電回路として適用することにより、汎用の交流遮断器を用いて安全で信頼性のある発電機の界磁主回路の開閉システムを実現したものである。開発したシステムは、イタリアのエネル・プロダチオーネ社 サルシス発電所に初適用し、現在、現地試験中で計画どおりの機能を持つことが確認できた。

今後は、適用遮断器別に更なるシステム標準化と発電機容量ベースでの用品標準化を行い、国内、海外を問わず広く適用していきたい。



曾我部 敏明 SOGABE Toshiaki

東芝システムテクノロジー(株) 技術サービス部 専門技術支援担当シニアスペシャリスト。励磁システムを主体に電機関係改良保全システムエンジニアリングに従事。

Toshiba System Technology Corp.



佐藤 文生 SATO Fumio

電力・社会システム社 火力・水力事業部 火力エンジニアリングセンター主務。電機関係改良保全システムエンジニアリングに従事。電気学会会員。

Thermal Power & Hydroelectric Power System & Services Div.



柴田 雅彦 SHIBATA Masahiko

電力・社会システム社 府中電力・社会システム工場 発電制御システム部主査。励磁制御装置の開発設計に従事。電気学会会員。

Fuchu Operations - Industrial and Power Systems & Services