

火力発電プラント向け電気制御・保護装置

柳川茂幸*
井上智義*
安藤聖人*

Electrical Controller and Protection Unit for Thermal Power Station

Shigeyuki Yanagawa, Tomoyoshi Inoue, Masato Ando

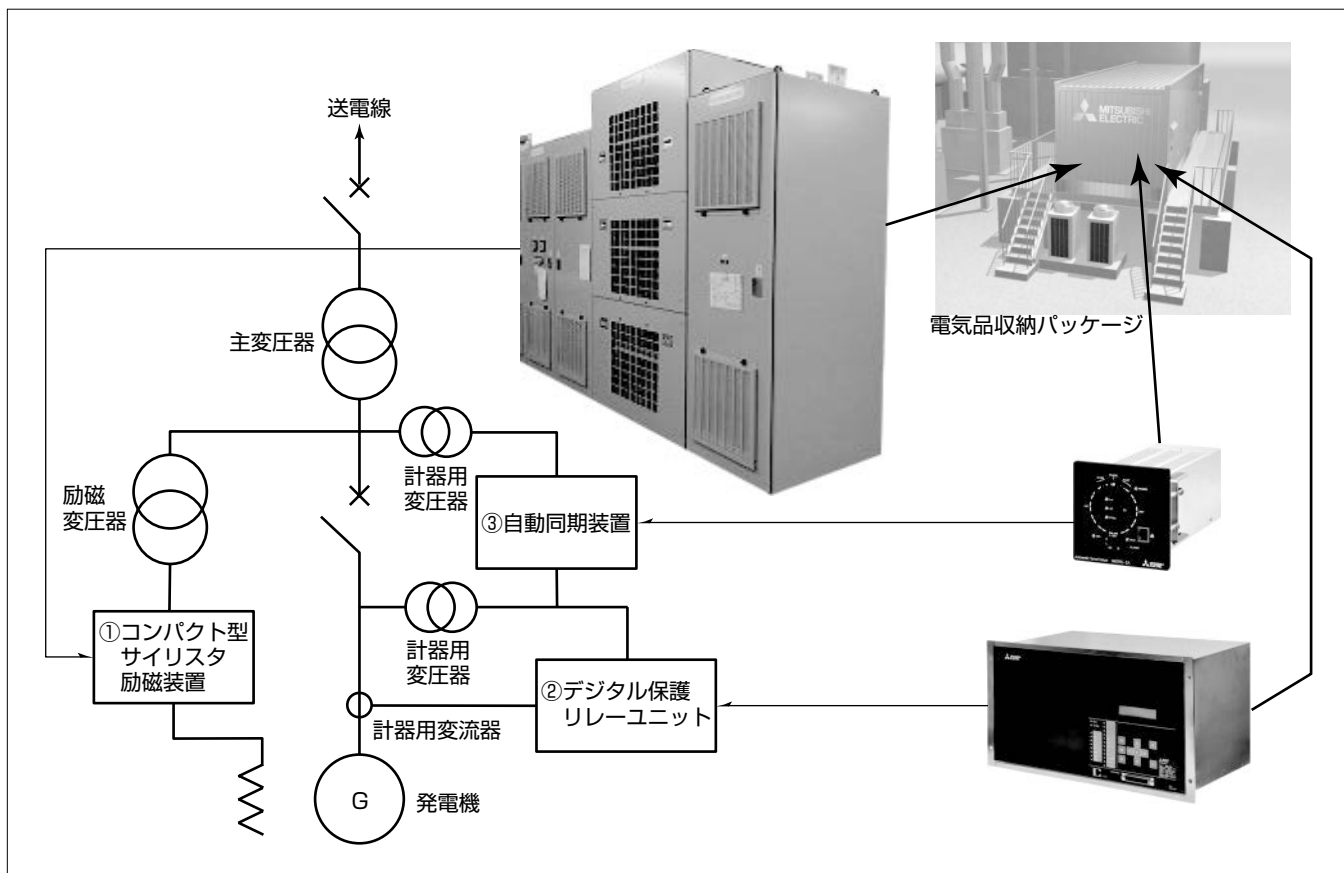
要 旨

近年の電力事業自由化の進展に伴い、一般電気事業者に限らず異業種から参入した新規事業者による電力販売が可能となり、電力事業を取り巻く市場環境は急速に変化している。現在、我が国の発電電力量の大部分は火力発電所から供給された電力が占めており、今後の新規入札電源も火力発電が主体的となることから、火力発電所に対する経済性評価に基づく建設・運用コストの低減検討が積極的に行われている。特に、三菱電機納入品が直接的にかかわる建設コストでは、大きなファクタを占める土建コストを低減するため、建屋に収納する電気品のコンパクト化への要求が多い。また、海外の発電事業者では電気品をコンテナタイプのパッケージに収納して屋外仕様化し、建屋そのもの

を設置しないケースも多い。

当社はこれら発電事業者の要求に応じていくため、主回路系統構成の合理化検討や電気品のコンパクト化に主眼を置いた開発に取り組んでいる。

本稿では、火力発電プラントに適用している電気制御・保護装置に注目して、ここ数年に当社が開発した製品群を述べる。これらの製品はいずれも従来品と同等以上の性能・信頼性を確保しながら優れたコストパフォーマンスとコンパクト化を実現しており、発電事業者の要求に応えられるものと考えている。また、本稿で述べる製品群の開発に際し、新規適用した技術に着目して開発フェーズでの当社の技術成果についても述べる。



火力発電プラントの電気制御・保護を担う当社製品群

火力発電プラントの主回路構成に①コンパクト型サイリスタ励磁装置、②デジタル保護リレーユニット“MELPRO-HA”、③自動同期装置“MEGPIC-II A”を示す。従来品と同等以上の性能・信頼性を担保しつつ、従来製品から大幅なコンパクト化設計を行うことで電気品の設置スペースの縮小に寄与している。図の右上に示す電気品収納パッケージに実装することも考慮し、建屋を設けない発電プラントへの対応も可能としている。

1. ま え が き

近年の電力事業の自由化の進展に伴い、一般電気事業者に限らず異業種から参入した新規事業者による電力販売が可能となり、火力発電設備の建設コストの低減要求は厳しさを増している。当社はこれらの課題に対応していくため、火力発電設備の電気制御・保護装置の分野で、次の装置を新規開発して市場に投入している。

- (1) コンパクト型サイリスタ励磁装置
- (2) デジタル保護リレーユニット
- (3) 自動同期装置

本稿では、これら新機種の仕様を述べるとともに、高いコストパフォーマンスとコンパクト化を実現するためにクリアした技術課題について述べる。

2. コンパクト型サイリスタ励磁装置

2.1 パッケージ収納化への課題

当社では、発電所建設コストの削減や現地工程の短縮を目的として、特に海外向けガスタービン複合サイクル発電プラントを中心に電気品をパッケージへ収納する取組みを進めている。対象設備は保護リレー盤、監視盤等の制御盤が中心であったが、さらにサイリスタ励磁装置もパッケージへ収納しようとした場合、輸送制約から寸法制限があるパッケージに対して励磁装置の盤サイズが大きいほか、保守作業時のアクセスが前後面ともに必要となる点で、既存機種のパッケージ収納は困難であった。

2.2 基本仕様

現行機種と今回開発したコンパクト型サイリスタ励磁装置の仕様比較を表1にまとめる。表1に示すように、サイリスタ整流器1並列当たりの定格電流を従来比以上としながら、装置の奥行き寸法を従来比半分とし、パッケージへの収納に対応させている。

2.3 パッケージ収納化への取組み

(1) 盤内冷却方式の見直し

従来機種では、盤上部に配置した軸流ファンによってサイリスタ整流器を含めて盤内部を一括で冷却していたが、盤の上部にファン用モータが突出するため励磁装置の外形寸法が大きくなりがちであった。今回開発したコンパクト型サイリスタ励磁装置では、冷却ファンの取付け方法を工夫することによって、盤内の風量を均一化できるように改善した。さらに最適な風導設計を実施した結果、冷却効率の向上によって、1並列当たりの定格電流を10%程度増やせる効果が得られた。

(2) 盤裏面からの保守アクセスの廃止と奥行き寸法半減

パッケージ収納時、収納品はパッケージの壁面に接して配置されており盤裏面からのアクセスは不可能となる。従来は、保守作業として導体の増し締めを行う際に裏面からのアクセスが必要となっており、パッケージへの収納が困難であった。コンパクト型サイリスタ励磁装置では、導体の配置、盤内部品の配置、内部金具の取付け方法を見直すことで導体の増し締めも前面から実施できるようにして、盤裏面からの保守作業を不要とした。また、導体ルート、部品配置の見直しによって、従来機種の奥行き寸法2,000mmに対して1,000mmへ半減させることが可能となった。励磁装置の奥行き寸法の比較を図1に示す。

表1. コンパクト型サイリスタ励磁装置の仕様比較

比較項目	現行機種	開発機種
盤サイズ	幅3.2×奥行2.0×高さ2.3(m) (14.72m ³)	幅4.6×奥行1.0×高さ2.3(m) (10.58m ³)
保守スペース	盤の前後面に必要	盤前面だけ
サイリスタ整流器1並列当たり定格電流	2,064A	2,230A
冷却方式	盤一括冷却	サイリスタ素子ごとの冷却

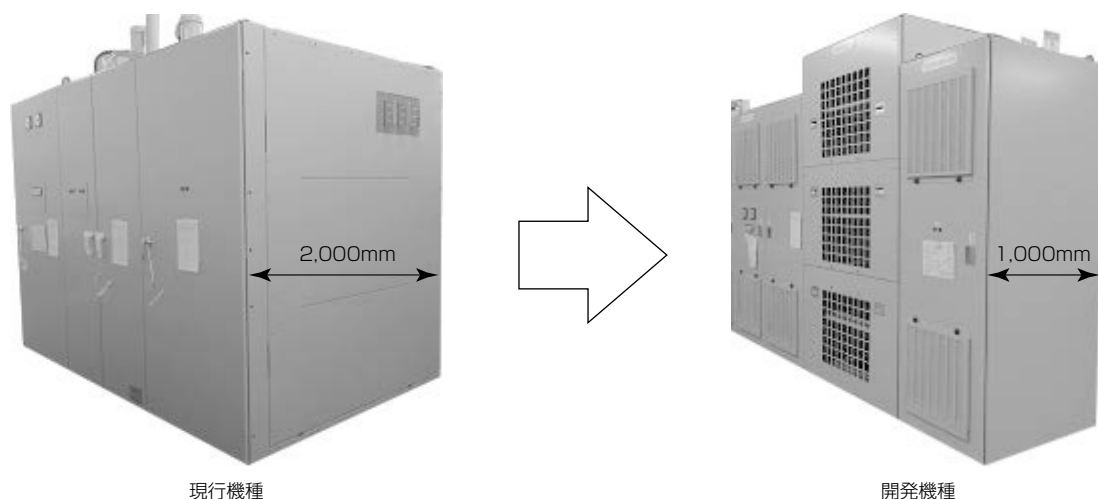


図1. コンパクト型サイリスタ励磁装置の奥行き寸法比較

3. デジタル保護リレーユニット

3.1 開発コンセプト

今回開発したデジタル保護リレーユニットの外観を図2に示す。従来、国内／外の向け先に応じて使い分けをしてきた保護リレー機種の統合を図るため、ハードウェアは海外系統・変電市場に投入済みの機種である“MELPRO-HAシリーズ”に新ユニットタイプを加える形でラインアップを拡大した。

保護リレーのハードウェア仕様はIEC60255/JEC2500シリーズに対応するとともに、北米市場への投入も考慮して、北米の安全規格であるUL (Underwriters Laboratories) 認証も取得手続き中である。また、国内向け電力事業で培った豊富な保護制御技術も取り込んで保護アルゴリズムを構築しており、ハードウェア、ソフトウェアのどちらの観点でも、国内／外に共通して適用できる機種として開発した。

(1) ハードウェア構成

保護リレーを構成するプロセッサ、操作パネル、入力変換器、信号の入出力基板とこれらを接続する通信バス、及び電源装置を同一ユニットに収納した。火力発電所向けに定格周波数よりも低い周波数での運用(広帯域運用)を考慮するため、従来機種では入力変換器を特殊仕様品とする必要があり、保護リレー盤内の下部に別置きとしていたが、入力変換器も内蔵しオールインワンを実現した。

(2) ソフトウェア構成

国内電力会社向け保護リレー装置で適用してきたカスタマイズロジックを火力向けMELPRO-HAにも実装し、海外向け火力保護システムへの適用を可能とした。カスタマイズロジックは保護アルゴリズムソフトウェアとは別の領域で構成しており、保護リレー盤設計時に向け先に応じて専用ツールで構築する。また、この専用ツールは実装ロジックを視覚的に描画する機能を持っており、保護リレー盤の設計部門が実現するプラント保護インターロックと容易に整合性を確保できるようにしている。



外形寸法：幅483×奥行256×高さ266(mm)

図2. 火力向けデジタル保護リレーユニットMELPRO-HA

3.2 コンパクト設計の追求

当社では海外向け火力発電所を中心に標準単線結線図を適用しており、発電プラント仕様の最上流に当たる機器構成を標準化して下流側の機器仕様書のほか保護動作ロジック等の制御仕様も含めた標準化を行っている。今回開発した火力向けMELPRO-HAは、この標準単線結線図に基づいて計画した保護システムを最小構成で構築することを主目的としており、標準的な火力発電所内の主回路機器である発電機、主変圧器、所内変圧器、励磁変圧器の保護を表2に示す2種類のユニットで対応可能である。表2に示すとおり、発電機保護にかかわる全要素を発電機用リレーユニット“MGP-H1A”に、3台の変圧器(火力発電所内の主変圧器、所内変圧器、励磁変圧器)の保護を変圧器用リレーユニット“MGP-H2A”に高集約実装しており、リレー盤として構成した場合の保護システムの構成をシンプルなものとしている。なお、二重化の要求仕様がある場合には同一ユニットを重複実装して対応する。ユーザースペックとして最も指定が多いシステム構成であるMGP-H1A×2ユニットとMGP-H2A×2ユニットで構築したシステムと比較すると、従来機種“MELPRO-CHARGE”，又は汎用IED“Intelligent Electrical Device”を適用した保護リレー装置で盤2面を必要としていたところ、火力向けMELPRO-HA適用時は1面に実装することができ、装置面数を半減させている。

3.3 技術課題と克服に向けた取組み

火力向けMELPRO-HAの開発に際して取り組んだ技術課題は主に次の2点である。

(1) 広帯域対応

ガスタービン複合サイクル発電では発電機を同期電動機として運転し、原動機の起動用駆動源として使用するため、

表2. 火力発電プラント向けMELPRO-HA実装要素

発電機保護用ユニット (MGP-H1A)	変圧器保護用ユニット (MGP-H2A)	
VT異常検出	変圧器比率差動-1	主変圧器用
短絡距離	過電流(限時/瞬時)-1	
過励磁	地絡過電流-1	
不足電圧起動過電流	地絡差動-1	
電圧抑制付過電流	変圧器比率差動-2	所内変圧器用
起動時過電流	過電流(限時/瞬時)-2	
比率差動	地絡過電流-2	
界磁喪失	地絡差動-2	励磁変圧器用
周波数	変圧器比率差動-3	
逆電力	過電流(限時/瞬時)-3	
過電圧	過励磁	
逆相過電流	地絡過電圧	
地絡過電流		
地絡過電圧		
界磁地絡		
脱調検出		
地絡差動		
不足電圧		

◇一般論文◇

定格周波数よりも低い周波数での運用(広帯域運用)を考慮する必要がある。そこで、計器用変圧器(VT)及び計器用変流器(CT)信号に周波数検出機能を設け、広帯域で使用する要素に対して、フィルタゲインに補正をかける機能を付加している。

(2) 保護アルゴリズムの高集約実装

保護リレーシステムとしてのコンパクト設計を実現するため、単一リレーユニット内に保護アルゴリズムを高集約実装している。事故シミュレーション試験を含む総合的な検証を繰り返し実施し、集約実装した要素間の動作協調を確保するとともに、演算負荷が高まる事故除去中の動的な状態でも、種々の機能に支障がないことを確認して信頼性の高い保護システムに仕上げている。

4. 自動同期装置

4.1 開発コンセプト

自動同期装置とは発電機を電力系統へ併入する際に、発電機側の電圧・周波数・位相を系統側に合わせるよう自動的に調整し、併入時の過渡電流が最小となるタイミングで併入遮断器を投入させる装置である。当社は、国内事業用火力向け自動同期装置として、“MEGPICシリーズ”を2001年から市場投入してきた。海外を含め電力会社以外のユーザーに対しては過剰仕様となるケースもあることから、これらのユーザーも含めて幅広く適用できる機種として図3に示す“MEGPIC-ⅡA”を開発した。従来機種であるMEGPICと比較したMEGPIC-ⅡAの特長は次のとおりである。

- (1) MEGPICと比較して、容積を20%以下に小型化した上で、電力規格B-402に対応した耐環境性能を実現した。
- (2) ユニット表面に保守ツール用インタフェースを装備し、整定作業のほか保守作業を外部パソコンから実施できるシンプルなマンマシンインタフェースを実現した。

4.2 コンパクト化

現行のMEGPICと比較して、次のとおり、容積で約80%のサイズダウンを実現した。

MEGPIC：幅280×高さ180×奥行270(mm) (0.0136m³)

MEGPIC-ⅡA：幅110×高さ110×奥行200(mm) (0.0024m³)

コンパクト化に伴い、専用の自動同期盤を設ける必要がなくなり、他の機能を持つ制御盤(保護リレー盤など)との



図3. MEGPIC-ⅡA

統合化を図ることが可能となった。また、盤実装時のパネルカット寸法を縮小化できるため、アナログタイプも含めた従来機種の更新に対しても、取り付けパネルを介することで短工期での更新を可能とした。

4.3 視認性と保守性の向上を実現

視認性と保守性を向上させるため、前面パネルにシンクロメータを採用した。従来機種のMEGPICでは、電力系統側・発電機側の電圧・周波数・位相の状態(同期がとれているかどうか)を装置で視認することができなかったが、この機種では同期成立状態のほか、非同期状態から同期成立にいたる過程もシンクロメータで確認することができ、プラント試運転時の視認性向上へも寄与している。

また、保守点検機能を保守用パソコンに持たせることで、従来機種では装置前面パネルで実施していた整定作業の操作性を高めることが可能となった。さらに、MEGPIC-ⅡAに付加したデータの蓄積機能と組み合わせると同期投入不成功時のMEGPIC-ⅡAの入出力状態を確認することが可能となった。MEGPIC-ⅡAに実装しているデータ蓄積機能は次のとおりである。

(1) 投入ログ

同期投入前後のVT信号及びMEGPIC-ⅡAのデジタル入出力信号のON/OFF状態を同期点の前後1秒間(合計2秒間)にわたって5msサンプリングで蓄積できる。

(2) エラーログ

エラー発生要因をコード表示させ、コード一覧から装置故障(内部要因)/システム異常(外部要因)のどちらが発生したのか確認可能である。

4.4 技術課題と克服に向けた取組み

現行のMEGPICシリーズと比較して80%のサイズダウンを実現するにあたって取り組んだ技術課題は次の2点である。

(1) 基板実装時の機能集約

表示用、入出力用のように機能ごとにプログラム可能な集積回路を構成すると基板サイズが大きくなるため、機能ごとの集積回路構成を止め、CPU基板だけにピン数と容量の大きいFPGA(Field Programmable Gate Array)を採用した。

(2) 汎用通信モジュールの活用

保守作業用CPUに汎用の通信モジュールを適用することで実装部品数を低減した。

5. む す び

火力発電プラントの電気品の市場に対し、当社は本稿で述べた電気制御・保護装置を順次投入している。現在は海外向け火力発電プラントへの適用が中心であるが、国内の発電事業者のほか、装置の部分的なチューニングを施して水力発電プラント等、多用途向けに拡販を行い、国内外を問わず、合理的な発電システムの構築に寄与していく所存である。