

リプレイス対応の強化と安定稼働性を向上した 中容量無停電電源装置

Medium-Capacity Uninterruptible Power Systems with Improved Replaceability and Stable Operation

川崎 大介 KAWASAKI, Daisuke

附田 原大 TSUKUTA, Motohiro

筒井 重男 TSUTSUI, Shigeo

停電や電源トラブル時の給電継続のため、工場や放送設備向けの中容量無停電電源装置（UPS）は需要が高まっている。各負荷設備の仕様に対応するため、中容量 UPS は多様な製品ラインアップが求められる。また、設備更新ニーズへの柔軟な対応や、安定稼働を実現する予知保全も望まれている。富士電機が新たに開発した中容量 UPS 「FX シリーズ」は、設置面積削減やバッテリー適用電圧範囲の拡大により、リプレイスにおける多様なニーズに対応が可能である。また、異常兆候検知機能による部品故障診断で、劣化が進んだ部品を故障前に交換でき、安定稼働性を向上させた。

The need to continue to supply electricity even in a power outage or power supply malfunction has been increasing the demand for medium-capacity uninterruptible power systems (UPSs) in factories and broadcasting facilities. The product line of medium-capacity UPSs need to include varied types to meet the specifications of individual load equipment. Also required are flexibly meeting the need for equipment replacement and predictive maintenance for stable operation. Fuji Electric has newly developed its “FX Series” medium-capacity UPSs to meet various needs for replacement by reducing their footprint and expanding the range of the battery voltage. A component failure diagnosis with abnormality symptom detection functions has allowed degraded parts to be replaced before failure, improving operational stability.

1 まえがき

工場や放送設備、通信設備などは中容量（10 ～ 100 kVA）200 V で稼働するものが多い。こうした設備では、小規模でさまざまな容量の電源システムが構築されており、停電や電源トラブル時でも給電を継続するため無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power System）の需要が高まっている。

そこで従来製品の仕様範囲を維持した上で、設置面積の最小化、バッテリー適用電圧範囲の拡大により、既設更新ニーズに柔軟に対応し、さらに富士電機独自の異常兆候検知機能による部品故障診断が可能な、中容量 UPS 「FX シリーズ」を新たに開発した。本稿では、リプレイス対応の強化と安定稼働性を向上した中容量無停電電源装置について述べる。

2 従来の中容量 UPS

2.1 概要

UPS は電圧変動や停電などの電源障害が発生しても、バッテリーに蓄えたエネルギーによって、定電圧、定周波数の出力電圧で負荷設備に安定した電力を供給する装置である。

図1に、停電・復電時の電流と電圧の波形データを示す。停電が発生して入力電圧が途絶しても、連続して安定した電圧を供給している。また、停電、復電の際の出力電圧の変動は2%以下で、電圧変動による突入電流発生が抑制されるため、負荷設備に影響を与えず、安定したシステム運用が可能となる。

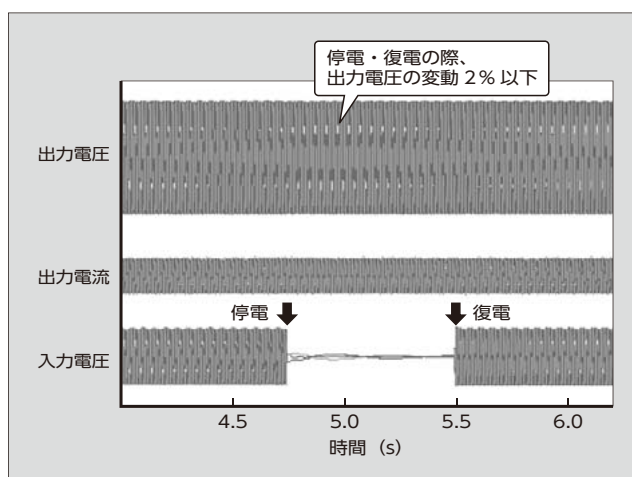


図1 停電・復電時の電流と電圧の波形データ

2.2 製品ラインアップ

富士電機の200 V系UPSの製品ラインアップ（従来製品）を表1に示す。多種多様な顧客仕様に対応するため、絶縁・非絶縁、三相・単相、容量10 ～ 100 kVAに対応した「UPS6000D-1」「UPS6100D-3」「UPS7100MX-3」の3シリーズで製品化していた。

2.3 従来機種の課題

(1) 小型化

設置面積が機種ごとに異なるため、リプレイスへの柔軟な対応が難しかった。また、設置面積の制約がある顧客に対応するため、さらなる小型化も必要であった。

(2) バッテリー適用電圧範囲の拡大

中容量UPSはバッテリー盤を組み合わせる構成が主となっているが、従来製品のバッテリー電圧は、360 V（180

表1 富士電機の200V系UPSの製品ラインアップ(従来製品)

シリーズ	絶縁方式	相 数	電圧 (V)	容量 (kVA)
UPS6000D-1	絶 縁	単 相	200/100	10 ～ 100
UPS6100D-3		三 相	200	
UPS7100MX-3	非絶縁			

セル) または 384V (192 セル) のみであった。このため、リプレースの際にバッテリー盤は更新せずに残し、UPS のみを更新したいという顧客ニーズに対応できない場合があった。

(3) 力率改善

従来の中容量 UPS の定格負荷力率は 0.8 が主流であったが、最近は入力力率 0.9 を求める設備も増えてきた。こうしたより多くの電力を必要とする顧客ニーズに対し、従来製品では 1 ランク容量が大きい UPS を選定することが多かったが、コストやサイズの点で顧客要望を満たせない場合があった。

(4) 設置工期の短縮

従来製品では、UPS 盤と入出力盤をそれぞれ搬送し、現地で配線接続作業を行っていたが、工期長期化の一因となっていた。

(5) 安全性向上

中容量 UPS の保守に関しては、24 時間対応の保守体制を取るなど、給電継続を確実にするための取組みがされている。こうしたきめ細やかな保守サービス体制に加え、異常兆候検知機能による部品故障診断などの安全性向上技術を新たに適用することで、UPS の安定稼働性のさらなる向上が必要であった。

③ 中容量 UPS 「FX シリーズ」

3.1 概要

従来製品の仕様範囲を維持した上で、新たに開発した中容量 UPS の FX シリーズに集約した。FX シリーズの製品ラインアップを表 2 に示す。系列拡充を図る一方で、プラットフォーム設計を採用し、シリーズ全体の外形寸法は最終的に 2 種類にする予定である。また、部品の共通化により故障時の部品交換が容易となるなど、従来製品より保守性も向上している。

開発した「UPS6600FX」(絶縁、三相、200V タイプ 50kVA 機)の外観を図 2 に、仕様を表 3 に示す。

表2 「FX シリーズ」の製品ラインアップ

シリーズ	絶縁方式	相 数	電圧 (V)	容量 (kVA)
UPS6600FX	絶 縁	単 相	200/100	10 ～ 100
UPS7600FX		三 相	200	
	非絶縁			



図2 「UPS6600FX」(絶縁、三相、200V タイプ 50kVA 機)

表3 「UPS6600FX」(絶縁、三相、200V タイプ 50kVA 機)の仕様

項目		性能・仕様
UPS方式		常時インバータ給電方式
定格出力容量		50kVA
交流入力	相数(線数)	三相3線
	電圧	200/210V±15% (220Vはオプション)
	周波数	50/60Hz±5%
	力率	0.98以上
	電流高調波ひずみ率	5%以下
交流出力	相数(線数)	三相3線
	電圧	200/210V±1% (220Vはオプション)
	負荷力率	0.9(遅れ)
	過渡電圧変動	5%以下(負荷0⇔100%)
	出力電圧ひずみ率	2%以下(線形負荷) 5%以下(整流器負荷)
	外部同期周波数範囲	±5%以下
	過負荷耐量	125% 10min 150% 1min

3.2 動作

図 3 に FX シリーズの主回路ブロック図を示す。交流を直流に変換する整流器と、直流を交流に変換するインバータからなる常時インバータ給電方式を採用している。さらに直流入力にはバッテリーの充放電制御を行うチョッパが接続される。

交流入力が正常範囲にある通常運転状態では、インバータによって定電圧定周波数の安定した電力を負荷に供給する。整流器は UPS 交流入力電流の力率がほぼ 1 の正弦波となるように制御を行い、チョッパは蓄電池の充電を行う。交流入力に停電が発生すると、チョッパはバッテリーの電圧を適正な直流電圧に昇圧し、インバータは安定した交流に変換して供給する。

チョッパについては、前述の動作のほかに、過負荷時、

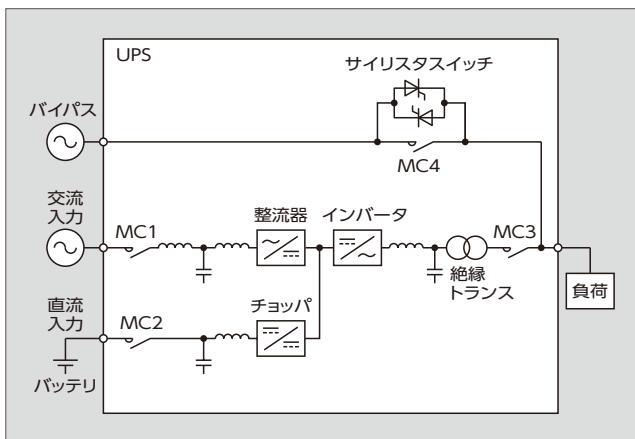


図3 「FXシリーズ」の主回路ブロック図

入力電圧低下時、ならびに復電時にバッテリーから系統に徐々に電力を切り換える復電パワーウォークイン時など、交流入力とバッテリーの両方から負荷に電力を供給する際のバッテリーの放電制御動作も行っている。

装置に障害が発生した場合など、インバータが電力を供給できない際は、電力の供給をインバータからバイパスに切り換える動作が行われる。

3.3 特徴

(1) 小型化

FXシリーズを構成する多様な製品群を考慮しつつ、部品選定・部品配置と冷却構造を最適化した。これにより、従来製品の中で設置面積が最大の機種に対し、幅を700 mm から 600 mm に短縮し、設置面積を14%削減した。図4にUPS6600FX（絶縁、三相、200 V タイプ 50 kVA 機）の外形を示す。

(2) バッテリー適用電圧範囲の拡大

FXシリーズはチョッパを搭載し、直流電圧を制御することで、バッテリー電圧を288～384 V（144～192 セル）

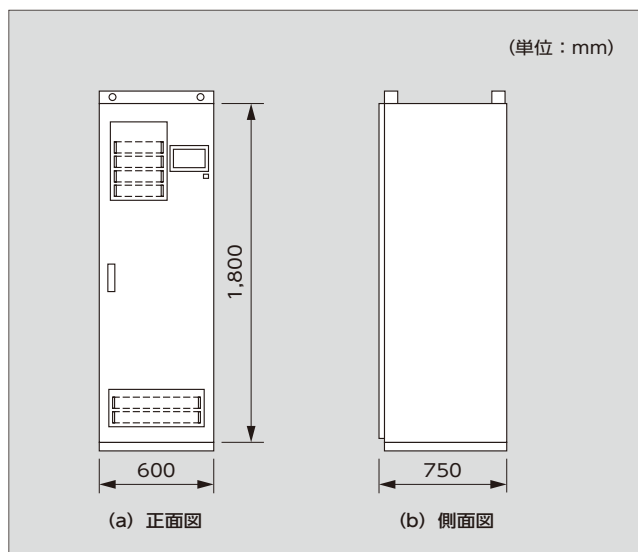


図4 「UPS6600FX」（絶縁、三相、200 V タイプ 50 kVA 機）の外形

に対応できるようにした。

これによりUPSと組み合わせるバッテリー盤の適用範囲は、富士電機の従来製品だけでなく、他社製品にも対応できるようになった。また、UPS出力容量に対して最適なバッテリー電圧の選択が可能になった。

(3) 定格負荷力率0.9への対応

力率向上のためにUPSの出力性能を向上させると、装置発熱量が増加するため、冷却構造が大型化する。そこでFXシリーズは、冷却構造の効率化により冷却性を向上させることで、装置の外形寸法を大型化することなく、中容量UPSにおいて定格負荷力率0.9を他社に先駆けて実現した。

(4) 設置工期の短縮

UPS6600FXの50 kVA以下の製品ではUPS盤と入出力盤をあらかじめ組み合わせて、盤間で配線作業ができる構造にすることで、盤を一体化し搬送するようにした。これにより、現地での盤間配線作業を不要にし、設置工期短縮を実現した。

(5) 保全性向上技術

(a) 異常兆候検知機能による部品故障診断

FXシリーズでは、故障停止時の故障箇所の特定制品性能劣化に関して、数値解析に基づいた推定を行う、富士電機独自の異常兆候検知機能による部品故障診断（特許出願中）⁽¹⁾を搭載した。

これは、UPSの電流波形、電圧波形の振幅および微分値（時間変化）を多変量解析技術で解析して、劣化の度合いを表す指標である劣化推定値を算出し、しきい値との乖離（かいり）から、部品の劣化診断や交換時期予測を行うものである。

一例として、出力フィルタのカットオフ周波数を模擬的に上げることで、フィルタ性能が劣化した状態を再現し、この時の出力電圧・電流の波形と、これらのデータを多変量解析して得られた劣化推定値を示す（図5）。出力フィルタが性能劣化すると、出力電力や出力電流にUPSのスイッチングリプルが漏れるため、出力波形のひずみが増加するが、図5の出力電圧や出力電流の波形

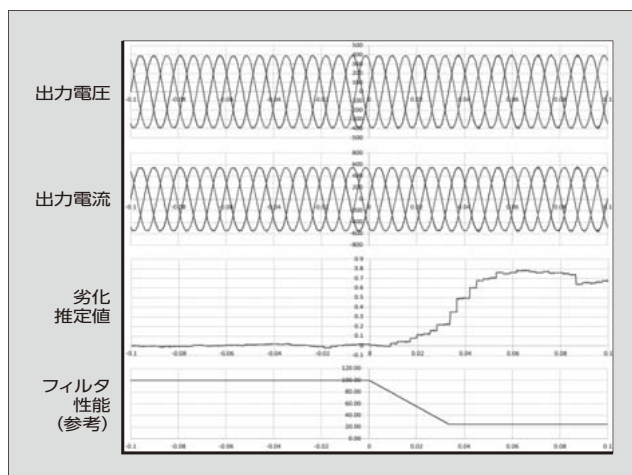


図5 出力フィルタ劣化時の動作波形と劣化推定値

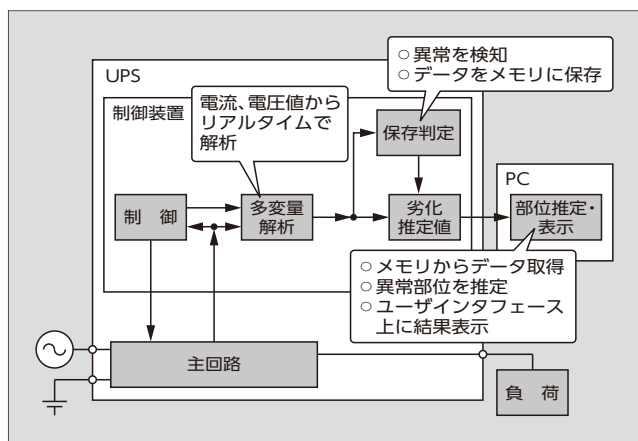


図6 数値解析の概要

には見かけ上、顕著な変化が見られない。しかし劣化推定値は出力フィルタの性能劣化を反映して変化する。

数値解析の概要を図6に示す。制御装置内で検出した電圧波形や電流波形をリアルタイムで解析し、算出した劣化推定値を基に異常を検知する。また、制御装置内のメモリにこれらのデータを保存する。

保守サービス員は定期的な保守の際に、保存された劣化推定値を取得し、これが納入時の値とどの程度乖離しているか比較することで、現状の部品の劣化状況を把握し、交換時期を予測する。図7に劣化推定値を使用した交換時期予測イメージを示す。劣化が進んだ部品を故障前に発見し、交換することで、障害発生を未然に防止できる。

また、万一UPSに故障などの障害が発生した際、保守サービス員が現地で対象機種からデータを取り出し、交換が必要な部位を短時間で推定する。この推定結果に基づいて、部品交換を実施することで、復旧までの時間を短縮できる(図8)。

(b) ワイドカラー液晶タッチパネルの採用

FXシリーズは、盤面に従来製品より大きな7インチワイドカラー液晶タッチパネルを採用し、シンプルで洗練されたデザインの操作画面に、運転状態、故障履歴や操作ガイダンスを表示させることで、保守性を向上させている。

(c) ネットワーク接続、運転状態監視対応

FXシリーズは産業機器の接続方式として広く採用されているModbus仕様の通信カードを標準で装備している。Modbusを用いた顧客設備のネットワークに接続することで、ネットワーク上でのFXシリーズの常時監視(運転状態監視、故障情報通知)が可能になる。

また、Web/SNMP通信カードを搭載してネットワークに接続することにより、標準ブラウザ上でUPSの運

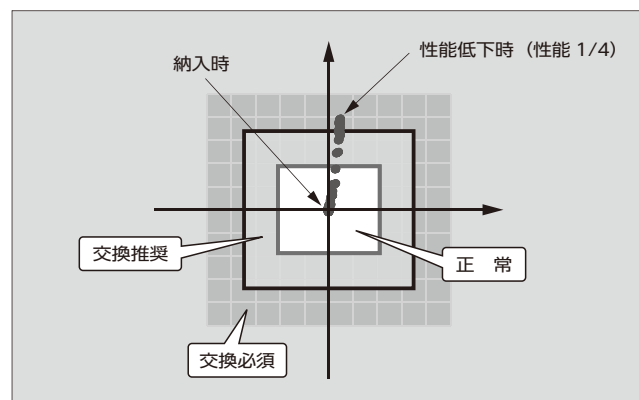


図7 劣化推定値を使用した交換時期予測イメージ

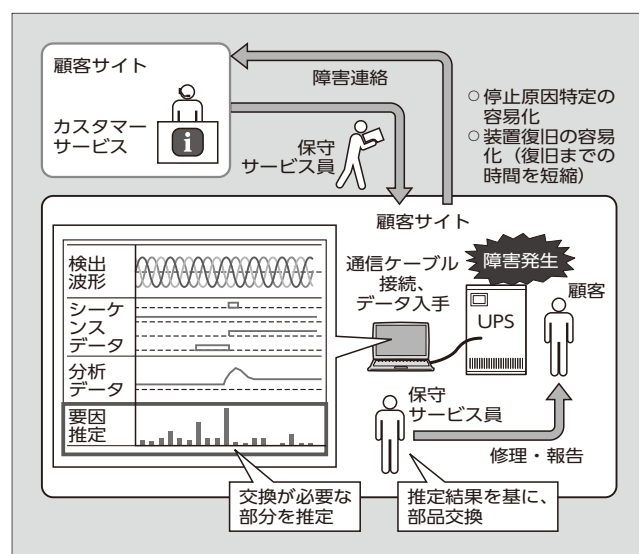


図8 障害発生時の対応

転状態を監視でき、故障情報をメールで通知する機能も備えている。

運転状態監視については、専用監視ソフトウェアにより、出力電力トレンド、UPS動作履歴、故障履歴などを監視することもできる。

3.4 開発設計における品質向上に向けた取組み

FXシリーズの開発段階では、シミュレータ(HILS: Hardware-in-the-Loop Simulator)を適用したソフトウェアの検証を実施した。図9に検証システムの概略図を示す。これによりバグやエラーを発見して修正し、製品の安定稼働を実現している。

また、実機検証では実現困難な入力条件、負荷条件における設備の挙動を模擬し、これまで発見が難しかった不具合をあらかじめ発見して修正するとともに、万一不具合が発生した場合の早期復旧、停止時間の最小化につながる知見を蓄積した。

〈注〉Modbus: Schneider Automation, Inc. の商標または登録商標

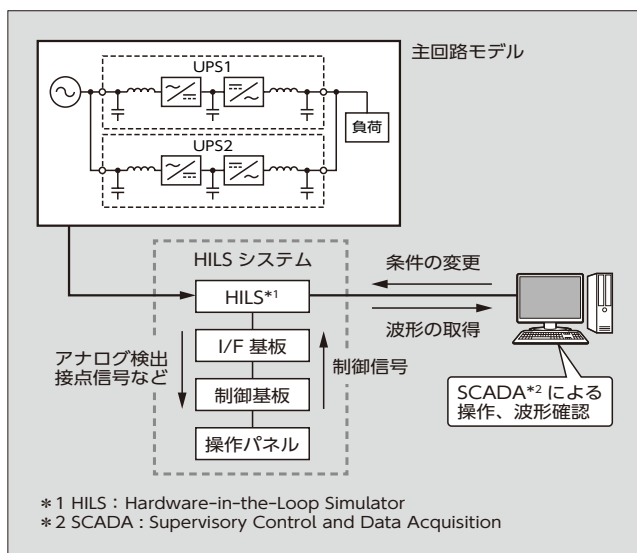


図9 検証システムの概略図

4 あとがき

リプレース対応の強化と安定稼働性を向上した中容量無停電電源装置について述べた。定格負荷力率を0.9とする出力性能向上を図る一方で、装置設置面積を削減してリプレース対応を強化し、加えて富士電機独自の予知保全に関する機能である、異常兆候検知機能を搭載して安定稼働性を向上させたことで、これまで以上に電源設備への幅広い適用が期待される。

今後は、本製品のラインアップの拡充を進めていき、

2023年度までに全機種の製品リリースを完了する予定である。また、異常兆候検知機能による部品故障診断を充実させていき、さらなる信頼性の向上を図り、お客さまの期待に応えていく所存である。

参考文献

- (1) 梅沢一喜ほか. 異常要因特定方法、異常要因特定装置、電力変換装置及び電力変換システム. 特開2020-137145. 2020-08-31.



川崎 大介

中大容量UPSの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ エネルギー事業本部開発統括部変換装置開発部主任。



附田 原大

中大容量UPSの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ エネルギー事業本部開発統括部変換装置開発部主任。



筒井 重男

M&A 戦略立案・実行業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ エネルギー事業本部施設・電源システム事業部電源システム技術第一部課長。



＊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。