UPS 応用電源

本木　　泰（もとき　やすし）　　倉島　和義（くらしま　かずよし）　　岸　　俊宏（きし　としひろ）

1　まえがき

UPS（Uninterruptible Power Supply），SPS（Stanby Power Supply）の基本要素技術である①高周波 PWM（Pulse Width Modulation）技術，②自立運転時の瞬時電圧制御，③並列運転制御技術，④系統連系時の瞬時有効・無効電力制御を駆使しながら最新の低損失 IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を用いて変換器を構成し，装置効率を追求した大容量の変換装置を今回開発し，電力応用分野へ適用した。一つは二次電池，すなわちレドックスフロー電池と組み合わせた単機 1,500 kVA 風力発電出力平滑化装置（システムとしては 6,000 kVA）であり，もう一つは単機 1,500 kVA 周波数変換装置（システム容量としては 3,000 kVA）である。以下に二つの大容量変換装置の適用例を紹介する。

2　大容量風力発電出力平滑化装置

2.1　装置の概要

近年，全国各地に大容量の風力発電設備が導入されつつある。風変動に比例した発電電力をそのまま各地域の電力系統に接続した場合，系統電源の電圧変動の要因となり出力平滑化装置が必要となる。今回開発した装置は，レドックスフロー電池を用いた単機容量 1,500 kVA の大容量風力発電出力平滑化装置である。

2.2　単機装置の仕様・システム構成・外形寸法

表 1 に単機装置の仕様を示す。主回路変換機の構成は IGBT を用いた高周波 PWM 方式で，運転方式は系統連系運転である。直流電源は高サイクルユースのレドックスフロー電池で，直流電圧変動範囲は 410 ～ 690 V である。

交流系統は 6,600 V/50 Hz への接続で交流受電端定格容量は 1,500 kVA（単機あたり）である。効率の規定は装置の通常運用容量である 500kW，1,000kW 時において片側効率（DC–AC または AC–DC 変換効率）は 95 %以上，系統側の高調波電流含有率規定は総合 5 %以下，各次 3 %以下，入力力率は 0.95 以上である。

表１　装置の仕様

項　目		仕　様
方　式	主回路・変換方式	自励式電圧形高周波ＰＷＭ方式（素子IGBT）
	制御方式	電圧形電流制御方式
	運転方式	系統連系
	冷却方式	強制空冷方式
直流入出力	直流分岐数	6分岐
	直流電圧範囲	ＤＣ４１０～６９１Ｖ
	直流最大電流	連続７００Ａ（直流1分岐あたり）
交流入出力	相　数	三相3線式
	定格電圧と変動範囲	6,600 V±5%
	定格周波数と変動範囲	50 Hz±1 Hz
	交流受電端定格容量	連続1,500 kVA/変換器盤1セット（連続6,000 kVA/変換器盤4セット）
	変換効率	95 %以上（変換器盤1セットあたり交流端で500 kW/1,000 kW充電・放電時にて）
	高調波電流含有率	総合5 %以下　各次3 %以下
	力　率	0.95以上
制御応答		制御応答時間は－100～＋100 %にて1秒以内のこと
騒　音		70 dB以下
外形寸法		W8,800×D1,250×H2,300（mm）

装置の基本性能である制御応答については交流側 6,600 V での有効電力変動応答が－100 %（充電 1,500 kVA）から＋100 %（放電 1,500 kVA）のステップ指令に対して 1 秒以内の応答を目標としている。

図 1 に大容量風力発電出力平滑化システム構成を示す。システム容量としては 6,000 kVA であり，単機 1,500 kVA の装置を 4 台並列で系統連系運転させることで実現している。

図 2 に装置の外観を示す。単機の装置寸法は W8,800 × D1,250 × H2,300（mm）である。

本木　　泰

UPS および応用電源装置の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ(株)機器本部神戸工場電源装置設計部課長補佐。電気学会会員。

倉島　和義

UPS および応用電源装置の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ(株)機器本部神戸工場電源装置設計部。

岸　　俊宏

UPS および応用電源装置の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ(株)機器本部神戸工場電源装置設計部。

図１　システム構成

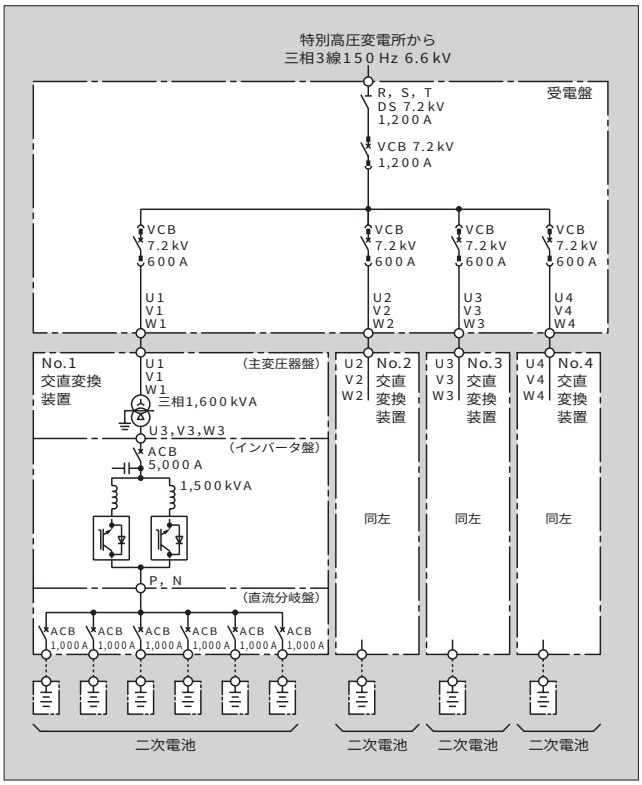
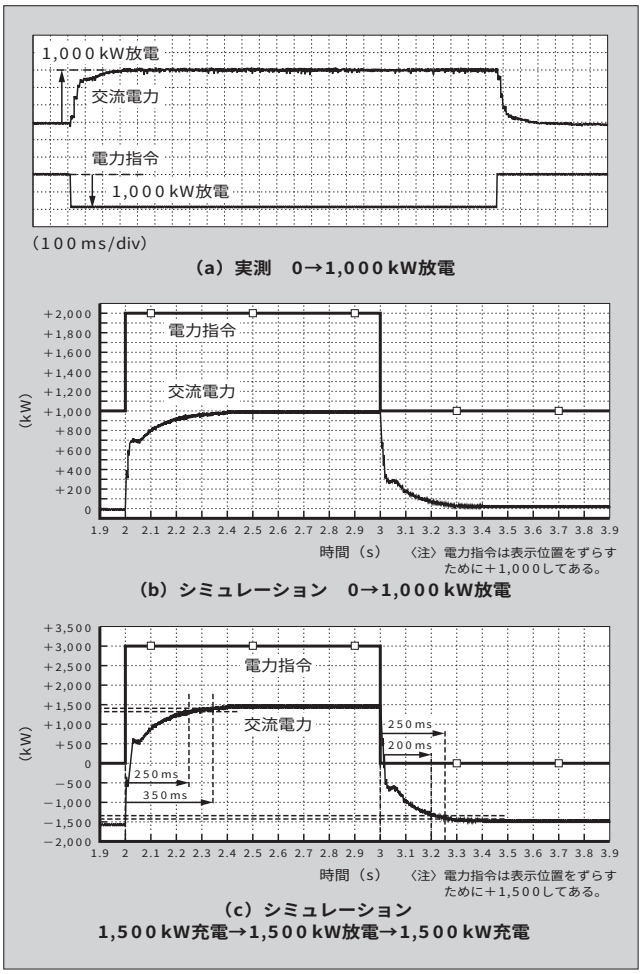


図２　装置の外観

2.3　システム構成およびインバータの構成

本システムは風力発電システム群から地域の電力系統に接続される箇所に発電システム群と並列に設置されている。それぞれの装置では主連系変圧器 1,600 kVA にて電圧変換してインバータに接続している。PWM インバータは最新の低損失 IGBT（第五世代 IGBT）を用いて変換器を構成し，750 kVA ユニット二つをリアクトル結合させることで定格容量 1,500 kVA を実現している。直流母線はレドックスフロー電池（6 分岐）に接続し，効率規定を満足するために直流電圧マッチングのためのチョッパは採用せず，シンプルなインバータ構成としている。

図３　制御性能結果



2.4　試験結果

(1)　効　率

直流電圧変動範囲の平均値において 500 kW，1,000 kW の充電・放電時ともに実測 95.2 %以上を達成した。

(2)　高調波電流含有率

1,500 kW 充電時において 4.54 %であった。

(3)　入力力率

1,500kW 充電時において 0.996 を達成した。

(4)　制御性能

図３にシミュレーション結果と運転動作時の実測結果を示す。シミュレーション結果によれば 0→1,000 kW 放電のステップ応答ではオンオフ時ともに約 400 ms 以内で動作が完了する。工場での実測結果も同様の応答速度を満足しており，仕様を十分満足する結果となっている。

3　大容量周波数変換装置

3.1　装置の概要

UPS に接続されるバッテリーは停電時のバックアップ電源と直流中間回路の電圧を安定させる役割がある。最近，整流器が PWM 制御により直流中間回路部の応答が速いため，出力特性はバッテリーの有無にかかわらず同等の特

性を得ることができる。また，UPS は高信頼度が要求される電源であるため，容易に並列冗長運転などのシステムが構成可能である。

このような背景のもと，バッテリーを付けない UPS が周波数変換装置として特別な工場設備などにも導入されている。ここでは単機容量 1,500 kVA の 3 台並列冗長運転で，システム容量 3,000 kVA の周波数変換装置について説明する。

表２　周波数変換装置の仕様

項目		仕様
方式	主回路方式	自励式電圧形
	主回路素子	IGBT（1,400 V　400 A）
	制御方式	PWM方式
	冷却	強制風冷
入力	定格電圧	370 V
	定格周波数	50 Hz
	相数および線数	三相3線
	入力容量	1,500 kVA
	入力高調波電流	5 %以下
	入力力率	98 %以上
出力	定格電圧	440 V
	定格周波数	60 Hz
	相数および線数	三相3線
	負荷力率	0.7（遅れ）～1.0
	定格容量	1,500 kVA連続
	過負荷耐量	150 %　1分間
	電圧精度	±1.0 %以内
	過渡電圧変動	±5 %以内（負荷急変0↔100 %時）
	整定時間	50 ms以内
	波形ひずみ率	3 %以下（直線性負荷） 5 %以下（100 %整流負荷）
	電圧不平衡比	±2 %以内（100 %不平衡負荷時）
	周波数精度	±1.0 %以内
外形寸法		W7,600×D1,300×H2,300（mm）

3.2　単機装置の仕様・システム構成・外形寸法

表２に 1,500 kVA 周波数変換装置の仕様を示す。

図４に大容量周波数変換システム構成を示す。本システムは，4,000 kVA 入力変圧器，3 × 1,500 kVA 周波数変換装置および 3,000 kVA 出力変圧器から構成されている。

入出力仕様は，入力が三相 3 線，3,300 V，50 Hz，出力が三相 3 線，3,300 V，60 Hz で，50 Hz を 60 Hz に変換し電力を供給する。

1,500 kVA 変換装置は，整流器部には PWM 整流器方式を採用することにより，高力率・低高調波特性を，インバータ部には瞬時値制御の高周波 PWM インバータを採用することにより，負荷変動特性・低ひずみ率特性を有している。

高信頼度化として 1,500 kVA 周波数変換装置を 3 台並列運転し，1 台は冗長として構成している。

3.3　装置の特長

本装置の特長は次のとおりである。

(1)　高力率・低高調波

整流器は PWM 整流器により入力力率をほぼ 1 としており，省エネルギー化を図っている。また，高調波電流 5 %以下と系統に対して高調波電流を抑制した。

図４　大容量周波数変換システムの構成

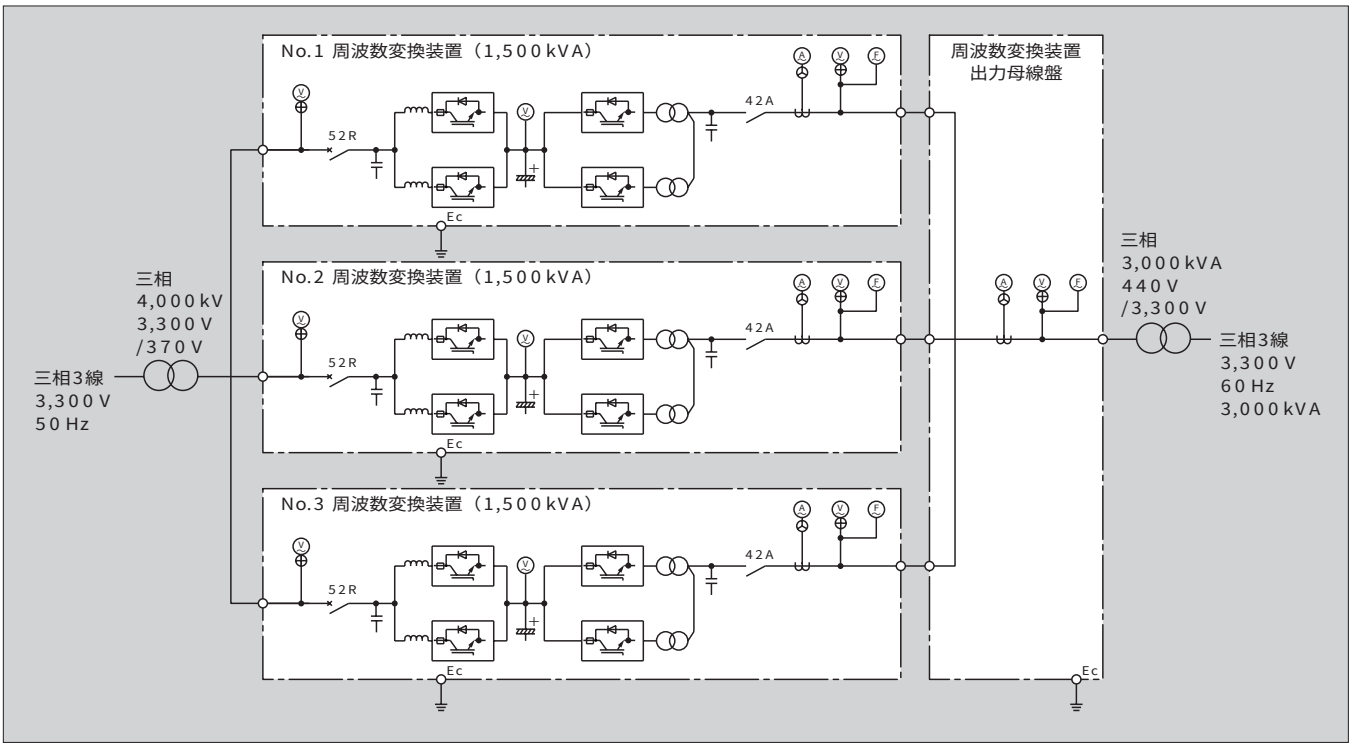
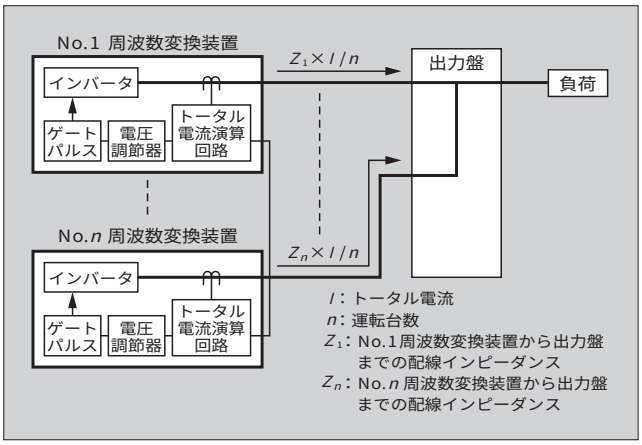


図5　IGBT パワーモジュールの外観

図6　個別 *IZ* 制御方式



(2)　低ひずみ率で過渡電圧変動が少ないソフトスタート機能

インバータは PWM 方式で，瞬時値制御により 100 % 整流負荷においても電圧波形ひずみ率 5 %以下とし，0↔100 %の負荷急変においても電圧変動±5 %以内を実現した。また，起動時の出力電圧のソフトスタート機能（出力電圧をゆるやかに上げる）により，負荷側の変圧器への突入電流を抑制することができる。

3.4　IGBT パワーモジュール

図 5 に IGBT パワーモジュールの外観を示す。本モジュールは標準化を志向して，整流器部とインバータ部は共用ユニット化している。モジュールは IGBT 素子，ゲート駆動回路，スナバ，直流中間コンデンサ，ヒューズおよび冷却フィンから構成されている。また，モジュールの主回路への接続をプラグイン式のトレイ構造とすることで収納盤前面からの取付け，取外しを容易にし，保守性を向上させている。IGBT 素子には第五世代 1,200 V，450 A を採用して，直流回路の高圧化と低損失を実現している。

3.5　制御方式

(1)　制御装置

制御は，DDC を採用し入力力率 1 の電流制御，直流電圧一定制御および出力電圧一定制御を行っている。また，DDC 基板には高性能プロセッサを複数個搭載し，それぞれがシーケンス制御用，整流器・インバータ制御用および高速判定シーケンス用として制御と異常監視の独立化を図り高信頼度化を実現している。

(2)　並列システムの分担電流均等制御

大容量並列システムでは装置外形も大きく，また，運転台数が増えるにつれてレイアウトに制限が発生し，各装置とその出力をつなげる出力盤までの配線のインピーダンスが均一とすることができず，各装置の出力電流にアンバランスを生じるという課題がある。この対策として**図 6** に示す個別 *IZ* 制御方式を開発し，各装置と出力盤の電圧降下補正分をトータル電流検出から算出し，出力電圧に加算して出力盤での電圧を一定制御し現地の配線ケーブルを意識せず設置でき，また，並列運転台数を最大 8 並列まで可能とした。

4　あとがき

UPS 応用電源として，大容量風力発電出力平滑化装置は課題である高効率，低高調波，高力率，そして，高速制御応答を満足できる結果が得られた。また，周波数変換装置については大容量，高信頼度の装置を完成させた。

最新のパワーエレクトロニクス技術を結集したものであり，今後も多方面にこの応用技術として広範な開発を推進する所存である。

最後に，大容量風力発電出力平準化装置の開発・設計・製作にあたり，多大なご指導・ご協力をいただいた住友電気工業(株)殿に深く感謝する次第である。

参考文献

(1)　小松木和成，藤倉政信．二次電池電力貯蔵用交直変換装置．富士時報．vol.74, no.5, 2001, p.278–282.

(2)　馬場謙二ほか．新幹線車両走行試験用周波数変換装置．富士時報．vol.74, no.5, 2001, p.322–326.

e-Front runners

＊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。