無停止化技術を適用した直流電源

保高　伸洋（ほたか　のぶひろ）　　軽部　邦彦（かるべ　くにひこ）

1　まえがき

近年のIT分野における市場規模の拡大には目を見張るものがある。それに伴い，使用されるハードウェア，例えばパソコン，サーバ，ストレージなどの装置需要も伸長し，より高度な信頼性が求められている。特に，電源の停止によりシステムダウンが発生することは万が一にもあってはならない。そのため，無停電電源装置（UPS）を装置の前段に配置し停電に備えることが一般的である。

しかし，最近のハードウェアの特徴として，装置に内蔵されている直流電源を直接バッテリーでバックアップして停電に備える，１台の電源が動作不能になっても電源システムとして正常に機能するように複数の直流電源を並列接続する，などの対策を取り入れるケースが増えている。

富士電機では30年間にわたり，高い信頼性が要求される情報通信システム，FA機器用直流電源の開発に取り組んでいる。直流バックアップを適用した電源は開発機種の約20％あり，多様なお客様の要求に応えてきた。以下に富士電機の直流バックアップ技術と電源の高信頼化のための並列冗長技術，これら技術を応用した製品例について紹介する。

2　無停止化技術

2.1　直流バックアップ

図1に一般的な直流電源のブロック図を示す。出力A～Cは，交流入力電圧値がこの電源の動作可能範囲にあれば停止することなく出力される。しかし何らかの原因で交流入力が，停電あるいは動作範囲から逸脱した場合，その時間によっては出力の停止，電圧の低下という負荷に対して大きな問題を発生する。

このような事態を回避するため，商用入力と直流電源の間に交流出力の無停電電源を挿入し，対策が取られている。しかし最近では，省スペース，省エネルギーという観点から，直流電源の内部にバッテリーバックアップの機能を搭載した直流出力の無停電電源が注目されてきている。

図１　直流電源回路のブロック図

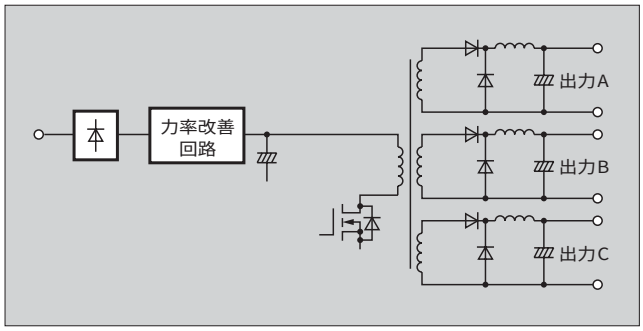


図２　直流電源回路＋バッテリーバックアップ回路１

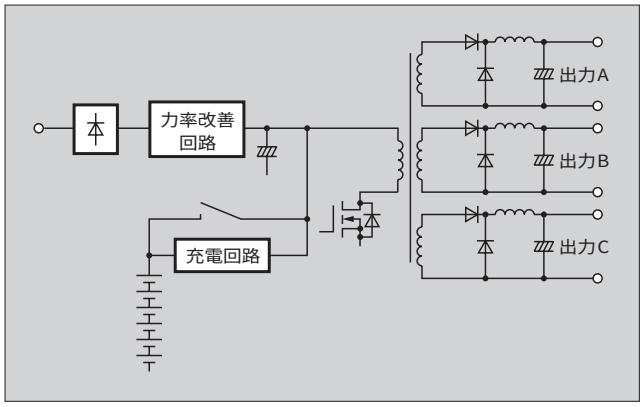
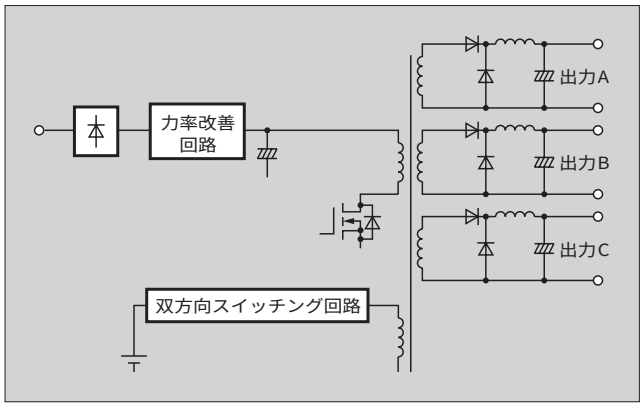


図３　直流電源回路＋バッテリーバックアップ回路２



保高　伸洋

交流無停電電源および直流安定化電源の研究・開発に従事。現在，富士電機ハイテック(株)設計開発部長。

軽部　邦彦

高周波交流電源および直流安定化電源の研究・開発に従事。現在，富士電機ハイテック(株)設計開発部担当課長。電気学会会員。

図４　直流電源回路＋バッテリーバックアップ回路３

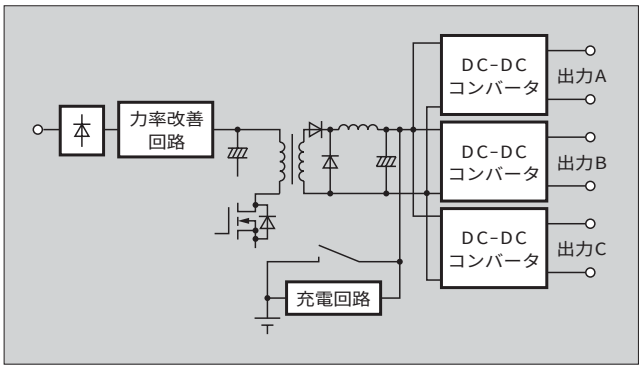


表１　バッテリーバックアップ方式の比較

項　目 ＼ 回路構成方式	図2	図3	図4
商用運転時効率	○	○	△
バッテリー運転時効率	○	△	○
バッテリー個数	△	○	○
安全規格対応	△	○	○

図２～**４**に直流電源にバッテリーを接続し無停電電源機能を装備した例を示す。

図２は直流電源の直流高電圧部に充電器とスイッチ回路を設け，商用入力が正常の場合はバッテリーを充電，異常の場合はバッテリーから放電する。

図３は直流電源の絶縁トランスの部分にもう一つ巻線と双方向スイッチング回路を追加し，その回路の入力としてバッテリーを接続したものである。商用入力が正常の場合はトランスから双方向スイッチング回路を経由してバッテリーを充電し，異常の場合はバッテリーからトランスにエネルギーを供給する。

図４は**図２**，**図３**の回路方式と異なり，二次側トランス巻線出力は一つだけにして，A～Cの出力を得るために個別のDC-DCコンバータを用いている。バッテリーはトランス巻線出力のところに充電器とスイッチを設け，商用入力が正常な場合はバッテリーを充電，異常の場合はバッテリーから放電する。

上記三つの回路方式を比較すると，**図２**の回路は電源の高圧ラインにぶら下がるためバッテリー電圧が数百V必要であり直列数が増加する。しかしバッテリー運転時の効率は商用運転時に比べて5％程度向上するので数kWクラスの装置に適用例がある。**図３**の回路はバッテリーで動作する場合，バッテリー電圧をいったん高周波電圧に変換してトランスに供給している。そのため変換回路での損失が発生する。この方式のバッテリー運転時の電源効率は60％台である。一方，**図４**の方式はバッテリーからスイッチを介してDC-DCコンバータに供給するのでバッテリー運転時の効率は85～90％となる。しかしDC-DCコンバータがスイッチング変換回路として直列に含まれるため，商用運転時は**図３**の回路のほうが2～3％ほど効率はよい。

図５　並列冗長方式

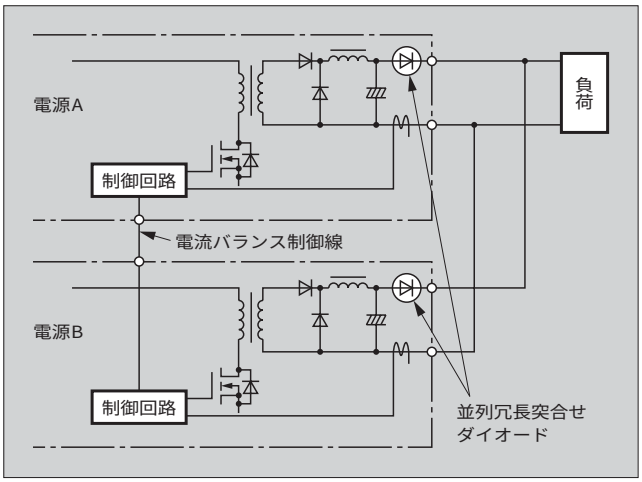


表１にバッテリーバックアップ方式の比較を示す。

2.2　並列冗長

直流電源自身が故障した場合，負荷にエネルギーを供給することができなくなりシステムダウンを招いてしまう。この状況を回避するために複数の電源を並列接続して，そのうちの１台が故障してもシステムダウンしない電源構成を $N+1$ 冗長という。例えば，400 Wの電力を必要とするシステムに対して，１台の直流電源の出力が200 Wのものを用いると，２＋１冗長（３台構成）となり，１台故障しても400 Wシステムに電力を供給し続けることができる。最近の事例では1,500 W × 36台の並列冗長システムを製作した実績がある。

このような冗長用電源は**図５**に示すような回路構成となっている。出力端子の手前にダイオードを挿入し，例えば電解コンデンサの短絡故障が発生した場合，他の並列接続された電源からの電流の回り込みを防止している。最近では効率向上のためダイオードをMOSFET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）に置き換えている例もある。

電源の故障は，出力の電圧低下や電圧上昇などいろいろなモードが発生するが，あらゆる故障に対し負荷の動作に影響なく運転を継続させるためには，出力電圧の過渡変動を抑える工夫も重要である。過渡電圧変動を抑える手法としては電流モード制御などによる電源の応答性の改善や，おのおのの電源の出力電流を能動的にバランスさせ，電流の変動値を小さくする電流バランス回路の採用などがある。電流バランス回路は電源の責務を低減させる効果もあり，信頼性向上にも有効である。

2.3　バッテリー

富士電機では環境問題に対応するため，はんだの鉛フリー化，RoHS（特定有害物質使用制限）対応に取り組んでいる。そのため，鉛バッテリーから，環境に優しいニッケル水素バッテリー，リチウムイオンバッテリーへの転換を行っている。また，鉛バッテリーに比較してニッケル水

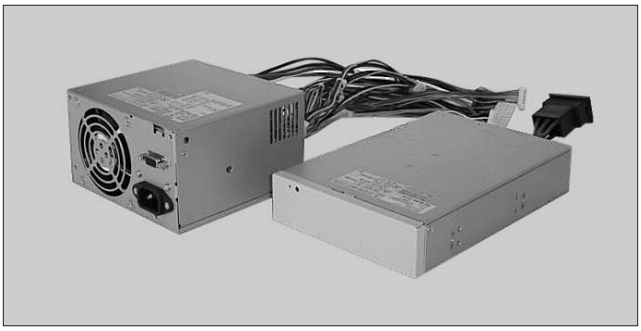
素バッテリーはエネルギー密度が約２倍なので，バッテリーユニットの小型化が可能である。

3　応用例

3.1　FH0420BP

図６に外観，**図７**に回路ブロック図，**表２**に仕様を示す。

図６　FH0420BP の外観



外形寸法はタワータイプのパソコン筐体（きょうたい）に収まるサイズであり，バッテリーユニットは５インチベイ

図７　FH0420BP の回路ブロック図

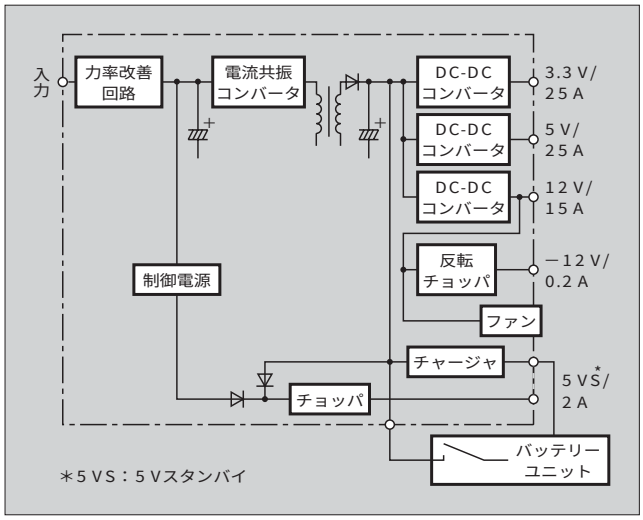


表２　FH0420BPの仕様

入力特性	入力電圧	AC100～240 V				
	定格周波数	50/60 Hz				
	突入電流	30 A以下				
	効　率	75～80％（AC受電時）/85％以上（バックアップ時）				
	力　率	99％（AC100 V）97％（AC240 V）				
出力特性	定格電圧	5 V	3.3 V	12 V	−12 V	5 VS
	定格電流	25 A	25 A	15 A	0.8 A	2 A
	ピーク電流	30 A	26 A	18 A	0.8 A	2 A
	最小電流	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A
	出力電力	定格　300 W　（ピーク　420 W　5秒間）				
	総合電圧精度	±5％以下	±5％以下	±5％以下	±10％以下	±5％以下
	最大リプル電圧	50 mVp-p	50 mVp-p	120 mVp-p	120 mVp-p	50 mVp-p
	最大スパイク電圧	100 mVp-p	100 mVp-p	200 mVp-p	200 mVp-p	100 mVp-p
	過電流保護	26.3 A以上	26.3 A以上	18.2 A以上	短絡保護	短絡保護
	過電圧保護	5.74～7.0 V	3.76～4.3 V	13.4～15.6 V	—	—
バックアップ	専用バッテリー型式	FH0300BU（5インチベイスロット搭載可能）				
	使用バッテリー	ニッケル水素バッテリー				
	バッテリー期待寿命	6～7年（周囲温度25 ℃環境）				
	バックアップ時間	8分（周囲温度25 ℃環境，初期値，300 W負荷時）				
インタフェース	ソフトウェア	Windows標準UPSサービス対応（対応OS　2000/XP/NT）				
	信号コネクタ	①D-sub　9ピンコネクタ（RS-232C）＊D-sub　9ピンストレートケーブル（別売）が必要 ②5ピンナイロンコネクタ（TTLレベル）				
構　造	外形寸法（W×D×H），質量	FH0420BP（電源部）　150×140×86（mm）　2.2 kg FH0300BP（バッテリーユニット）　146×220×42（mm）　9.2 kg				
その他	使用温度・湿度	0～50 ℃（0～45 ℃：バックアップ時）　20～85％RH				
	冷却方法	強制空冷				
	漏れ電流	1 mA以下（AC240 V）				
	雑音端子電圧	VCCIクラスB，FCCクラスB，EN55022クラスB　各準拠				
	高調波電流規制	IEC6100-3-2　クラスA，EN61000-3-2　クラスA　各準拠				
	安全規格	UL60950認証，CSA60950-1認証，EN60950　準拠				
	保証期間	納入後1年（常温常湿のもと。バッテリーは除く）				

スロットに収まる。この電源の特徴は次のとおりである。

(1)　電流共振コンバータの開発[1]

図7に示すようにトランス前置コンバータに電流共振方式を開発し，出力段のDC-DCコンバータ化による商用運転時のトータル損失の低減を図っている。当社比では，ハードスイッチングによるフォワードコンバータを適用した電源より約10％効率が向上している。

(2)　ニッケル水素バッテリーの採用

環境問題，放電容量，外形寸法を考えた結果，ニッケル水素バッテリーを採用した。バッテリーユニットを5インチベイスロットに収めるためには，直列数に制約があり，9V程度が限界である。そのため必要な12V出力には不足するが，(3)の対応により解決した。

(3)　昇降圧コンバータの新開発

この電源には12V出力が必須であり，降圧型DC-DCコンバータでは，バックアップ時のバッテリー電圧は放電終止付近で12V以上必要である。しかし，バッテリーの直列数に制限があるため，放電終止電圧が10V以下になる。そのため非絶縁昇降圧コンバータを新たに開発し適用した。本コンバータの適用により，バッテリーの直列数を増やすことなく安定した12V出力を供給することができる。

(4)　OSの電源管理機能対応

パソコンで使用される場合，OSに付属している電源管理機能に対応することが要求される。本電源はWindows[注]NT，2000，XPの電源管理機能に対応している。

図8　FH0120BPの外観

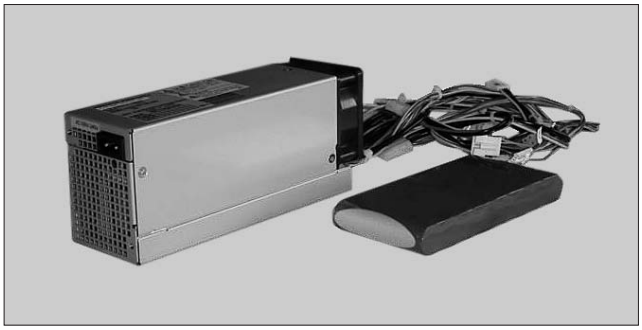


表3　FH0120BPの概略仕様

入力電圧	AC100～240V				
定格周波数	50/60Hz				
効　率	65～70％（AC受電時）/ 85％以上（バックアップ時）				
力　率	99％（AC100V）97％（AC240V）				
定格電圧	5V	3.3V	12V	−12V	5VS
定格電流	3A	6A	7A	0.2A	1A
使用バッテリー	ニッケル水素バッテリー				
バックアップ時間	13分（周囲温度25℃環境，初期値， 120W負荷時）				
外形寸法（W×D×H）	60×180×78（mm）				
質　量	1.2kg				

3.2　FH0120BP

図8に外観，**表3**に概略仕様を示す。回路構成はFH0420BPと同様にDC-DCコンバータを使用している。外形寸法はミニタワータイプのパソコン筐体に収まるサイズであり，バッテリーユニットは3.5インチベイスロットに収まる。

〈注〉Windows：米国Microsoft Corp.の登録商標

図9　FH2400BP2の外観

図10　FH2400BP2のブロック図

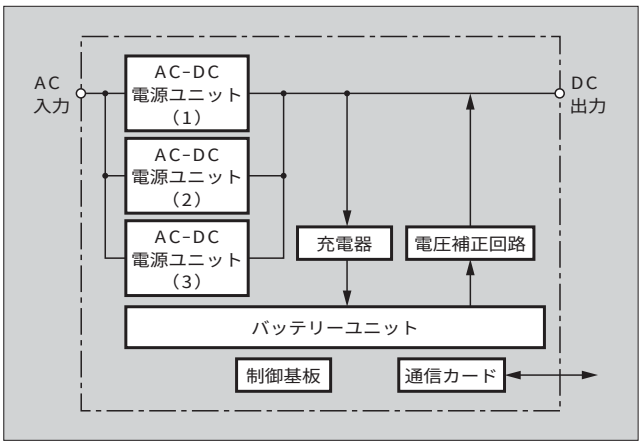


表4　FH2400BP2の概略仕様

入力電圧	AC180～264V
定格周波数	47～63Hz
効　率	81％
力　率	95％
出力定格電圧	48V
出力定格電流	50A
出力電力	2,400W
バックアップ時間	6分
外形寸法（W×D×H）	447×133×730（mm）
通信機能	オプションボード対応
その他	電源・バッテリーユニットはホットスワップ対応
	電源ユニットは並列冗長対応

3.3　FH2400BP2

図9に外観，**図10**に回路ブロック図，**表4**に概略仕様を示す。回路はAC-DC電源ユニットとバッテリーユニットから構成されており，外形寸法は19インチラックに収納できるよう設計されている。AC-DC電源は並列冗長構成をとっており，バッテリーユニットとともにホットスワップ対応である。

通信ネットワークに対応しており，Webブラウザを利用して遠隔地からの電源管理，操作が可能である。

4　あとがき

直流電源の無停止化技術とその応用例を紹介した。電流共振コンバータ，昇降圧DC-DCコンバータ，ニッケル水素バッテリーの適用によりタワータイプのパソコンに納まるサイズで，実出力300 W，ピーク420 Wの出力を実現した。また，並列冗長方式と直流バックアップ方式を組み合わせた19インチラックマウントタイプの電源を開発した。

これらの方式を適用した直流電源は，今後さらに多様化するお客様のシステム信頼性のニーズに対応できるものと考えており，さらなる系列化を進めていく所存である。

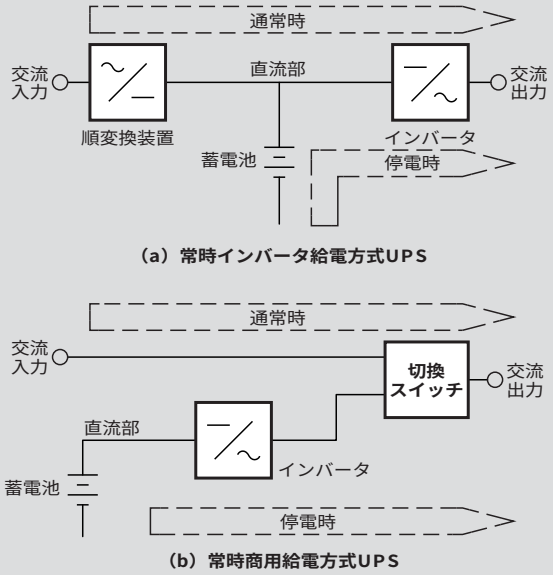
参考文献

(1)　鷄頭政和ほか．PWM制御方式電流共振コンバータの高効率化．電気学会全国大会．no.4-050, 2003.

解　説　「常時インバータ給電方式」と「常時商用給電方式」

常時インバータ給電方式のUPSは順変換装置とインバータの組合せで，常にインバータから負荷に電力を供給する。交流入力の停電や電圧変動などは，直流部の蓄電池により自然と安定化されるため，システムとしての信頼性が高く，高性能化が容易となる。しかし，通常時にもインバータから給電しているため効率の面では不利となる。

常時商用給電方式のUPSは切換スイッチとインバータの組合せで，停電が発生したときだけ，切換スイッチによりインバータから負荷に電力を供給する。通常時はインバータが待機状態で交流入力がそのまま交流出力となるため，損失が少なく高効率化は容易となる。しかし，通常時の出力電圧調整機能はなく，性能や信頼性は限定される。



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。