

80 PLUS 適合の高効率フロントエンド電源

High-efficiency Front End Power Supplies Certified as 80 PLUS

軽部 邦彦 KARUBE Kunihiko

多和田 信幸 TAWADA Nobuyuki

中原 智喜 NAKAHARA Tomoki

交流電源から直流電源に変換するスイッチング電源は、多くの電子機器に搭載され、電子機器の進歩とともにその市場は拡大している。富士電機は、小型、高効率、高品質が要求される情報通信関連のフロントエンド電源を含むスイッチング電源の開発・製品化を行い、80 PLUS プログラムが推進する電源の高効率化に注力している。5機種が“Gold”ランクに、1機種が“Platinum”ランクに適合している。最新の半導体素子の適用によりさらなる電源の効率向上、高電力密度化を進め、新たに設定された“Titanium”ランクへの適合も進めている。

Switching power sources that convert from AC to DC are installed in many electronic devices, and their market is expanding as these devices are becoming more advanced. Fuji Electric has developed and released switching power sources including front-end power sources for information communication applications, an area that demands compactness, high efficiency, and high quality. We are focused on increasing power source efficiency as promoted by the 80 PLUS program. We have released five models certified as Gold level, and one model certified as Platinum level. By using the latest semiconductor elements, we are continuing to improve power source efficiency and increase high power density, and working toward compliance with the newly established Titanium level.

① まえがき

交流電源から直流電源に変換するスイッチング電源は、多くの電子機器に搭載されている。2012年度の世界市場規模は1兆7,000億円と推定され、電子機器の進歩とともにその市場は拡大している。富士電機は、35年間にわたり、情報通信分野や産業分野の多様なお客さまのニーズの変化に対応した電源開発に取り組んでいる^{(1),(2)}。

② フロントエンド電源

フロントエンド電源は、サーバやストレージシステムに



図1 3,000 W出力フロントエンド電源

入力される、AC100Vあるいは200Vの商用交流電圧を整流・平滑により、DC54、48、12Vなどの直流電圧に変換するスイッチング電源である。例えば、2011年の11月、1秒間に1京回の演算性能を国内のスーパーコンピュータが達成したことが話題になった。このコンピュータシステムに使用されるフロントエンド電源を、富士電機が開発・製品化した。図1に、その外観を示す。この電源は交流200Vを直流48Vに変換し、出力電力は3,000Wである。小型、高効率、高品質が要求される難易度の高い電源であった。

富士電機では、このような情報通信関連のフロントエンド電源を含むスイッチング電源の開発・製品化に注力しており、80 PLUS プログラムが推進する、電源の高効率化に注力している。

本稿では、この“80 PLUS”に適合した高効率フロントエンド電源について紹介する。

③ 80 PLUS “Platinum” 適合フロントエンド電源

サーバやハードディスク装置に一般的に使われるスイッチング電源の効率向上が求められている。その一つの指標として80 PLUSという業界団体のガイドラインがある。このガイドラインには二つの分類がある。一つは、単出力(2出力の場合もある)で並列冗長運転が可能な電源である。もう一つは、マルチ出力(2出力以上)で並列冗長運転の規定がない電源である。効率の要求は、前者のほうが高く、六つのランクに分類されている⁽³⁾。

富士電機の電源は、5機種が表1に示す“Gold”ランク

〈注〉80 PLUS : 260 ページ「解説1」参照

表1 80 PLUS 効率ガイドライン

80 PLUS ランク	負荷率*			
	10%	20%	50%	100%
80 PLUS Titanium	90%	94%	96%	91%
80 PLUS Platinum	—	90%	94%	91%
80 PLUS Gold	—	88%	92%	88%
80 PLUS Silver	—	85%	89%	85%
80 PLUS Bronze	—	81%	85%	81%
80 PLUS Standard	該当なし			

*入力電圧AC230V用の場合

に、1機種が“Platinum”ランクに適合し、登録されている(2012年4月時点)。なお、80 PLUSに登録されている機種は、Goldランクが131機種、Platinumランクが88機種である。AC230Vのガイドラインに製品を認証している企業は、情報装置メーカー、電源メーカー合わせて43社ある(2012年4月時点)。

フロントエンド電源への要求事項は、小型、高効率、並列冗長機能、および外部との通信機能である。外形寸法については、図章で紹介した3,000Wの電源はSSI(Server System Infrastructure)という規格に適合したもののだが、最近の傾向として顧客の装置の小型化に合わせ、基本的には高さが1U(44.5mm)で、19インチ幅のラックに3~4台収納できる。

GoldとPlatinumの効率の差は2%であるが、データセンターなどの大規模システムでは、数千台の電源が使用されることを考えるとこの差は大きい。例えば、消費電力が10MWとすると損失電力の差は、2%で200kWとなる。さらに、冷却装置も200kW分少なくできるので、いっそうの省エネルギー効果が得られる。

4 2,500W出力AC-DCフロントエンド電源「FH02500UAD」

図2に電源の外観を、表2に主な仕様を示す。フロントエンド電源FH02500UADの特徴は、制御回路にアナログICを用いるのではなく、DSP(Digital Signal Processor)によるデジタル制御を採用していることである。図3に、本電源のブロック図を示す。

PFC(Power Factor Correction: 力率改善)回路とフルブリッジ絶縁インバータ回路および全波整流回路の制御に、デジタル制御を採用している。

4.1 デジタル制御のメリット

デジタル制御を行うことで、次に示すメリットが得られている。

(1) アナログ制御では困難であった、負荷率に応じた制御

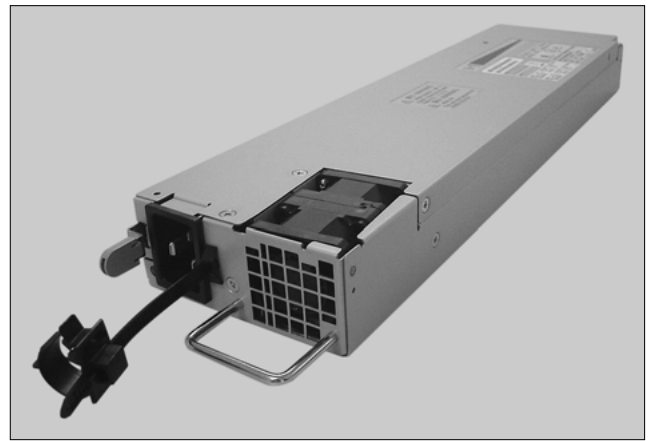


図2 2,500W出力AC-DCフロントエンド電源「FH02500UAD」

表2 「FH02500UAD」の主な仕様

項目		仕様	
入力特性	入力電圧	AC100/200V	
	周波数	50/60Hz	
	突入電流	20A以下	
	効率	94%以上 (80 PLUS Platinum適合)	
	力率 高調波電流規制	98% (負荷率50~100%) JEIDA EN61000-3-2 (準拠)	
出力特性		ch. 1	ch. 2
	出力電圧	+54V	+12VSB
	定格電流	46A*1	4A
	最小電流	0.4A	0A
	リップルノイズ	480mVp-p	120mVp-p
	総合変動	±5%	±5%
	過電圧保護	51~55V	—
	過電流保護	110~150%	100~150%
環境条件	動作温度/湿度	0~+50℃*2/20~95%RH	
	保存温度/湿度	-40~+70℃/20~95%RH	
	耐振動	0.5G 3~60Hz 1cycle/2分×5	
	加熱保護	あり	
規格	安全規格	UL/CSA/TÜV/CCC	
	ノイズ規格	CISPR/FCC Class A (準拠)	
その他	寸法	W102×D355×H41 (mm) (突出部含まず)	
	質量	2.5kg以下	
	出力/体積	1.68W/cc	
	冷却条件	強制風冷	

*1: 100V系入力時は23A

*2: 35~50℃は出力ディレーティングあり

方式の切り換えが容易にでき、軽負荷時の効率向上を実現した。負荷率20%で従来比2ポイント以上改善した。

(2) スイッチングノイズの影響を大きなフィルタ回路を設けずに電源内部の情報処理により排除でき、外部との通信時の出力精度の向上を実現した。モニタ精度を5ポイント改善している。

- (3) 制御回路の部品数を従来比で 30% 削減して小型化を実現した。
- (4) リードタイムの短縮やモディファイ対応については、パソコンとの通信機能によりハードウェア回路を変更せずに定数の設定や変更が可能となり、従来比約 20% の出荷試験時間の短縮を実現した。
- (5) ソフトウェアによる制御のためシミュレーションの精度が高く、スイッチング電源の動作の机上検討が容易になった。

富士電機はデジタル制御のソフトウェア開発に、設計支援ツールを使用している。設計支援ツールは、ブロック図形式でプログラムを記述すると、コードを自動生成するので、さまざまな顧客の要求に対して短期間で制御ソフトウェアを開発できる。図 4 に、ソフトウェア設計支援ツールの画面例を示す。

図 5 は、負荷を 100% と 75% との間で変動させたときの出力電圧と出力電流の波形を示している。変動幅は ±1.5% であり、アナログ制御と比較しても遜色のない良好な結果が得られている。

4.2 高効率化の手法

Platinum ランクの高効率を実現した技術手法を次に述べる。

(1) 整流回路と PFC 回路の 1 段構成

従来の方式は、整流回路と PFC 回路の直列 2 段構成で

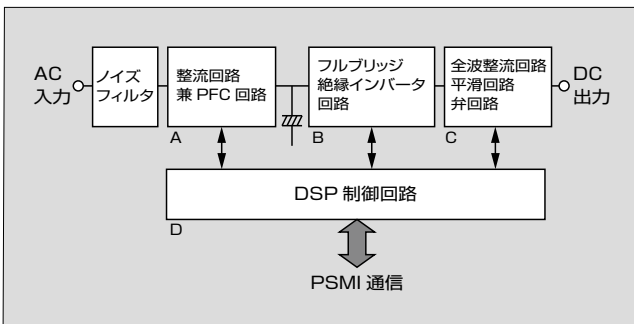


図 3 「FH02500UAD」のブロック図

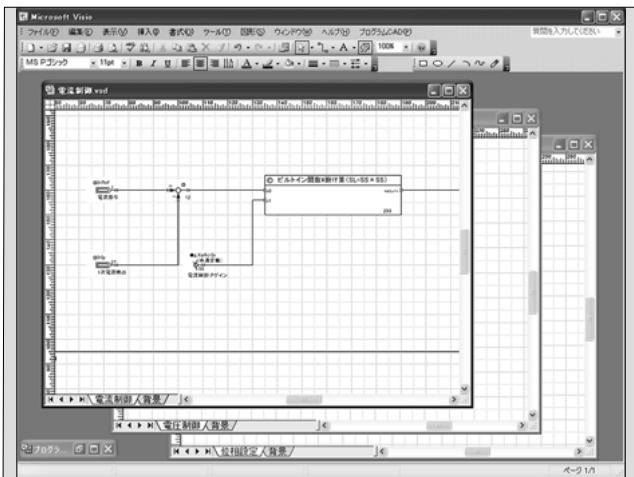


図 4 ソフトウェア設計支援ツールの画面例

入力電流が正弦波になるよう制御し、安定した直流中間電圧（フルブリッジ絶縁インバータ回路の入力電圧）を得ていた。一方、FH02500UAD ではこれらの機能の一つにまとめた方式を開発し、変換段数を 1 段に減らした（図 3：A 部）。

(2) SiC ダイオードと SJ-MOSFET の適用

PFC 回路およびフルブリッジ絶縁インバータ回路のスイッチング半導体に、SiC（炭化けい素）ダイオードと SJ（Super Junction）-MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）を適用することで、スイッチング損失と導通損失を改善した（図 3：A、B 部）。

負荷率に対する効率特性を図 6 に示す。80 PLUS が指定している負荷率において 1～3 ポイント高い効率が得られている。

(3) 全波整流回路の導通損失の改善

従来は、48～60V クラスの電源では全波整流回路にダイオードを使用していた。近年のスイッチング半導体の進歩により、48～60V クラスの電源では、ダイオードを MOSFET に置き換え、半導体素子の導通損失を改善した（図 3：C 部）。

(4) 負荷率に応じたスイッチング方式の切換

従来は、ソフトスイッチングで動作する位相シフト方式でフルブリッジ絶縁インバータ回路を ZVS（ゼロボルトスイッチング）動作させ、素子のスイッチング損失を低減し効率を改善していた。しかし、位相シフト方式は、軽負

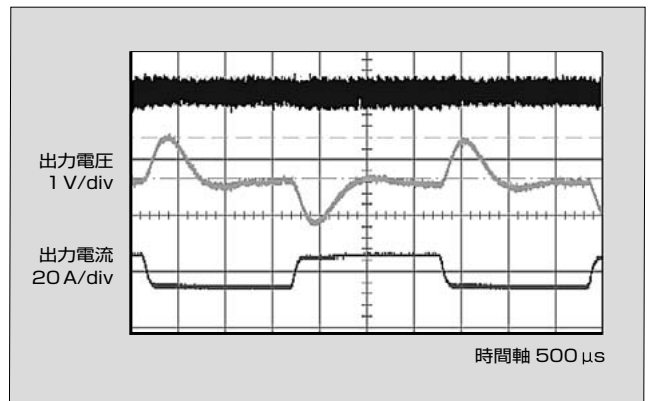


図 5 「FH02500UAD」の負荷変動波形

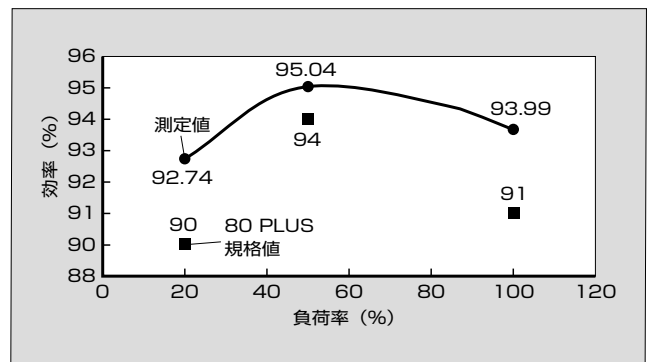


図 6 負荷率に対する効率特性

荷時にソフトスイッチング動作ができなくなり、効率が逆に低くなるという欠点があった。先に述べたデジタル制御の適用により、軽負荷時に位相シフト方式より効率の良いハードスイッチング方式に切り換えをすることで欠点を改善し、全領域での損失低減を実現した（図3：D部）。

これらの技術を用いたフロントエンド電源は、情報通信分野だけでなく産業用分野、例えば半導体製造装置でも、その小型、高効率、高品質に着目した顧客に採用されている。

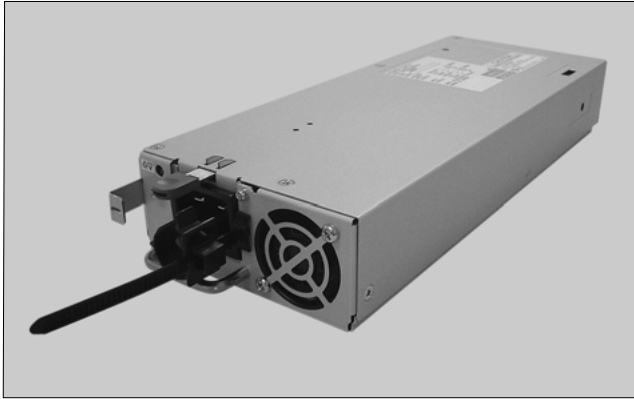


図7 2,100W 出力フロントエンド電源「FH02100JAD」

表3 「FH02100JAD」の主な仕様

項目		仕様	
入力特性	入力電圧	AC100/200V	
	周波数	50/60Hz	
	突入電流	15A以下	
	効率	94%以上 (80 PLUS Platinum適合)	
	力率 高調波電流規制	95% (負荷率100%) EN61000-3-2 (準拠)	
出力特性		ch. 1	ch. 2
	出力電圧	+12V	+5VSB
	定格電流	175A*	5A
	最小電流	0A	0A
	リップルノイズ	120mVp-p	50mVp-p
	総合変動	±3%	±5%
	過電圧保護	13.2~14V	5.5~6V
	過電流保護	105~117%	110~120%
環境条件	動作温度/湿度	0~+40℃/5~90%RH	
	保存温度/湿度	-20~+65℃/5~95%RH	
	耐振動	0.25G 5~55Hz 1cycle/5分×6	
	加熱保護	あり	
規格	安全規格	UL/CSA/TÜV	
	ノイズ規格	CISPR/FCC Class A (準拠)	
その他	寸法	W112×D279×H47 (mm) (突出部含まず)	
	質量	2.0kg以下	
	出力/体積	1.43W/cc	
	冷却条件	強制風冷	

*100V系入力時は80A

る。

なお、同一出力電力で出力電圧を12Vにした Platinum ランクの製品を現在開発している。

⑤ 2,100W 出力フロントエンド電源「FH02100JAD」

フロントエンド電源「FH02100JAD」の外観を図7に、主な仕様を表3に示す。

出力電圧が12Vと低いため、④章で説明した FH02500 UAD の3.8倍の出力電流となる。このため、フルブリッジ絶縁インバータ回路の2次側全波整流回路には、半導体素子の導通およびスイッチング損失を極力低減するために、プリント基板上に直接はんだ付けできる表面実装タイプの MOSFET を使用した。また、プリント基板の通電損失を低減するため、プスパーを併用した。さらに、平滑回路のコイルには平角板による巻線を用い、スペースの有効活用を図っている。

⑥ あとがき

80 PLUS に適合した高効率フロントエンド電源を紹介した。情報通信用装置は、社会の急速な ICT 化に伴い、より高密度化および省電力化している。これに合わせて装置の電源に対しても同様に、効率向上が求められている。80 PLUS には“Titanium”というランクが2011年に設定された。それまで最上位であった Platinum と比較して最大4ポイントの効率向上が求められ、また新たに負荷率10%で規定されており、電源メーカーにとってハードルがさらに高くなっている。

現在、お客さまのご協力を得ながら、Titanium への適合を目指して最新の半導体素子である SiC-MOSFET や GaN (窒化ガリウム)-MOSFET の適用技術を開発中である。また、トランスやコイルなどの磁気部品、大電流を流せるプリント配線板の特性向上にも注力し、さらなる電源の効率向上と高電力密度化を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 保高伸洋ほか. 情報通信を支える分散電源システム. 富士時報. 2007, vol.80, no.2, p.149-152.
- (2) 安東圭司ほか. エネルギー・環境ソリューションにおける電源技術. 富士時報. 2009, vol.82, no.2, p.127-132.
- (3) 80 PLUS プログラム, <http://www.80plus.org>. (参照 2012-04-10).
- (4) Mino, K. et al. “A Front-End Converter with High Reliability and High Efficiency”, ECCE. 2010, p.3216-3223.



軽部 邦彦

高周波交流電源および直流安定化電源の開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部パワーサプライ事業部パワーサプライ企画部主査。電気学会会員。



中原 智喜

直流安定化電源の主回路，制御回路の開発・設計に従事。現在，富士電機株式会社パワエレ機器事業本部筑波工場設計部。



多和田 信幸

直流安定化電源の主回路，制御回路の開発・設計に従事。現在，富士電機株式会社パワエレ機器事業本部筑波工場設計部。

特集
パワーエレクトロニクス機器





*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。