

第3世代臨界モード PFC 制御 IC 「FA1A00 シリーズ」

3rd-Gen. Critical Mode PFC Control IC “FA1A00 Series”

菅原 敬人 SUGAWARA, Takato

矢口 幸宏 YAGUCHI, Yukihiro

松本 和則 MATSUMOTO, Kazunori

電子機器に広く用いられているスイッチング電源には、高調波電流を抑えるために力率改善（PFC）回路が必要である。富士電機は、電源の消費電力の削減と低コスト化という市場要求に応えるため、PFC 回路用の第3世代臨界モード PFC 制御 IC 「FA1A00 シリーズ」を開発した。ボトムスキップ機能により軽負荷時の効率を改善するとともに、パワーグッド信号出力機能により電源回路の部品の削減を可能にした。また、オーバーシュート低減機能や基準電圧精度の向上などにより、安全性を向上した。

Switching power supplies, which are widely used for electronic devices, are required to have a power factor correction (PFC) circuit to reduce harmonic current.

In order to meet the market demand for less power consumption and lower cost of power supplies, Fuji Electric has developed the third-generation critical mode PFC control IC “FA1A00 Series” intended for PFC circuits. The bottom-skip function has successfully improved the efficiency under low load and the power good signal function has reduced the number of power circuit parts. Safety has also been improved by having an overshoot suppression function and improved reference voltage accuracy.

1 まえがき

電子機器の小型化や軽量化を図るためにスイッチング電源の利用が広く普及しているが、スイッチング電源ではコンデンサインプット型の整流・平滑回路が採用されているため、大量の高調波電流が発生する。高調波電流の増加は、機器の動作障害や力率低下による無効電力の増加などの問題を発生させる。高調波電流を一定の値以下に抑えるため、国際規格 IEC 61000-3-2 において、表1に示すように電気・電子機器がクラス A～D に分類され、それぞれに規制値が設定されている。

この高調波電流および力率の問題を解決するためには、力率改善（PFC：Power Factor Correction）回路が必要であり、特に高い力率を出すことができるアクティブフィルタ方式の PFC 回路が広く使われている。これに対し、富士電機は PFC 回路を制御する IC を多数製品化している⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

また、地球環境の悪化を抑えるため、電気製品全般での省エネルギー化が重要になっている。アメリカの ENERGY STAR プログラムやヨーロッパの EuP (Energy-using Products) 指令など、電子機器の消費エネルギーを制限する規格などが設けられ、年々その規制が厳しくなっている。

例えば、待機電力の規制、ならびに軽負荷を含めた広い

負荷領域での最低効率や平均効率に対する規制がある。このため、PFC 回路の制御 IC においても、待機電力の削減や、軽負荷時の効率を向上させることが求められている。

さらに、近年の電子機器に対する低価格化の要求と消費者の安全意識の高まりを受け、電源においてもコストの削減と安全性の向上の両立が強く求められている。

富士電機は、これらの要求に応じて第2世代臨界制御 IC 「FA5590 シリーズ」⁽³⁾ に続き、第3世代臨界制御 IC 「FA1A00 シリーズ」を開発した。電源のコストの低減と低待機電力が可能であり、軽負荷時の効率を改善するとともに保護機能を強化した。

2 製品の概要と特徴

FA1A00 の外観を図1に、FA1A00 と FA5590 の性能比較を表2に示す。PFC 回路における軽負荷時の効率向上、電源のコストの低減、安定性や安全性の向上などの要求に応えるものであり、FA1A00 は次に示す特徴を持っている。

(1) 軽負荷時の効率向上

○ボトムスキップ機能

交流 240 V, 10% 負荷において効率を 14% 向上した。

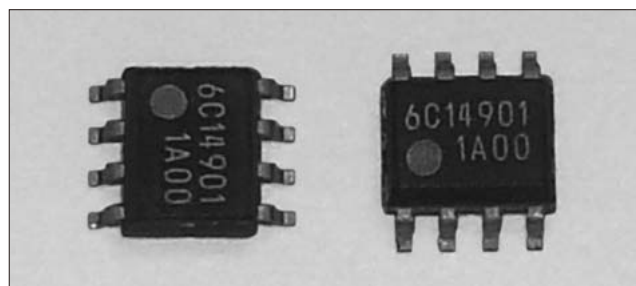


図1 「FA1A00」

表1 高調波電流の規制（IEC 61000-3-2）の分類

分類	代表的な機器
クラスA	白物家電、音響機器
クラスB	手持ち電動工具、アーク溶接機
クラスC	照明機器
クラスD	テレビ、PC

表2 臨界PFC制御ICの性能比較

項目		FA1A00	FA5590
高効率	軽負荷時スイッチング周波数	200kHz (AC240V, 10%負荷で 効率14ポイント改善)	600kHz
	パワーグッド信号出力機能	あり	なし
安定性	軽負荷時安定機能	あり	なし
	ゼロ電流検出電圧	-4mV±3mV	-10mV±5mV
安全性	オーバーシュート低減機能	あり (オーバーシュート 電圧10V低減)	なし
	基準電圧	2.5V±1.0%	2.5V±1.4%
	過電流検出電圧	-0.6V±2.0%	-0.6V±3.3%

(2) 電源のコストの低減

○パワーグッド信号出力機能

n-MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) を1個追加し、シャントレギュレータを1個、抵抗を2個、コンデンサを1個、それぞれ削減した。

(3) 動作安定性の向上

○軽負荷時安定機能

(4) 安全性の向上

○オーバーシュート低減機能

オーバーシュート電圧を10V低減した。

○基準電圧精度の向上

○過電流検出精度の向上

2.1 ボトムスキップ機能

インダクタ電流がゼロになってからMOSFETをオンにする臨界動作のPFC回路は、軽負荷時にスイッチング周波数が増加してMOSFETのスイッチング損失が増加し、効率が悪化するという問題がある。

富士電機では、臨界モードPFC制御ICの世代を重ねるごとに軽負荷時のスイッチング周波数を低減する機能を改良してこの問題に対処している。

表3に、各世代の周波数低減機能および軽負荷時スイッチング周波数を示す。第1世代のFA5500は800kHz、第2世代のFA5590は600kHz、第3世代のFA1A00は200kHzと軽負荷時のスイッチング周波数を低くし、効率を改善している。

図2に、ボトムスキップ機能の動作波形を示す。臨界動作では、MOSFETの V_{DS} の第1ボトムを検出して

表3 周波数低減機能および軽負荷時スイッチング周波数

世代	型式	周波数低減機能	軽負荷時 スイッチング周波数
第1世代	FA5500	なし	800kHz
第2世代	FA5590	最大スイッチング周波数 制限機能	600kHz
第3世代	FA1A00	ボトムスキップ機能	200kHz

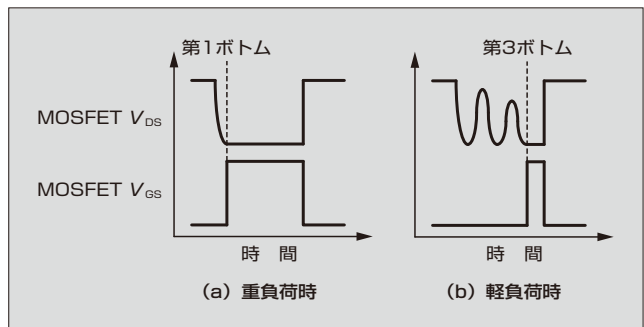


図2 ボトムスキップ機能の動作波形

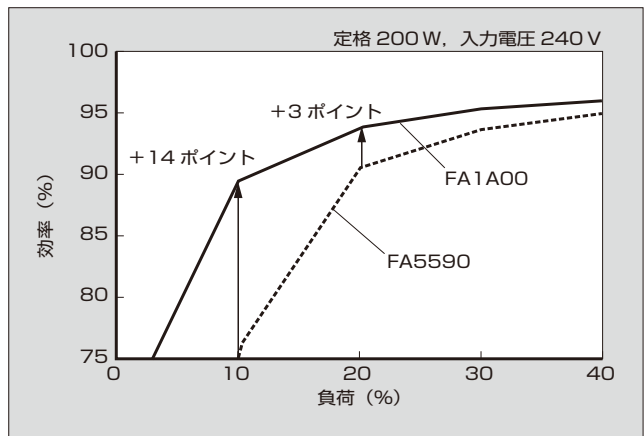


図3 軽負荷時の効率

MOSFETをターンオンしている。FA1A00では、重負荷時は通常の臨界動作と同様に第1ボトムでMOSFETをターンオンしているが、負荷が軽くなるのに合わせて、ターンオンのタイミングを第1ボトムから第2ボトム、第3ボトムと遅らせる。この動作によって、MOSFETがオフしている期間が長くなり、スイッチング周波数が低くなる。

図3に、200W定格電源におけるFA5590とFA1A00の軽負荷時の効率を示す。FA1A00の効率は、ボトムスキップ機能によってFA5590に比べて20%負荷で3ポイント、10%負荷で14ポイント改善している。

FA1A00を使用すると、ENERGY STARプログラムなどの規格に対応できるようになる。また、MOSFETの損失が低減することで発熱も小さくなる。そのため、放熱のためのヒートシンクが小さくなり、電源のコストの低減につながる。

2.2 パワーグッド信号出力機能

一般的な電源は、PFC回路で交流入力電圧90~264Vを400V程度に昇圧し、後段のDC/DCコンバータでさらに電圧を変換して負荷へ供給している。DC/DCコンバータは、PFC回路で昇圧された電圧で動作するように設計されているため、PFC回路の出力電圧が一定電圧以下に低下すると誤動作を起こすことがある。そのため、電源には、PFC回路の出力電圧を監視し、一定電圧以下になった場合にDC/DCコンバータを停止する回路が使われている。

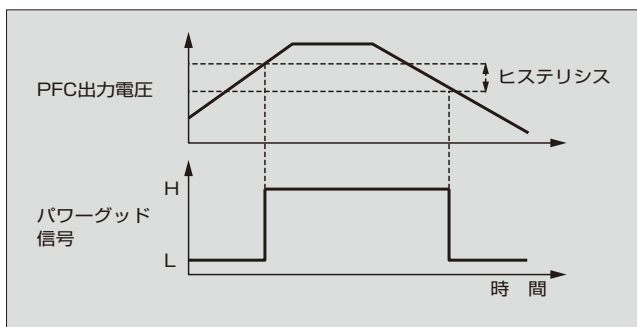


図4 パワーグッド信号出力機能の動作波形

FA1A00では、この回路の機能を内部に取り込んでいる。図4に、パワーグッド信号出力機能の動作波形を示す。PFCの出力電圧が一定電圧以上に上昇したときにパワーグッド信号をLからHに、一定電圧以下に低下したときにHからLにする。この信号を後段のDC/DCコンバータに伝達することで電源における出力電圧監視回路の削減が可能となり、電源のコストの低減を図ることができる。なお、パワーグッド信号の切替えの電圧にはヒステリシスを設けており、チャタリングが発生せず安定に動作する。

FA1A00は、PFC出力電圧を監視するための端子を備えている。また、パワーグッド信号出力を既存の発振周波数設定端子と共用することにより、端子の数を増やすことなく前述の機能を実現している。

2.3 軽負荷時安定機能

PFC回路には、2.2節で述べたとおり90~264Vという幅広い入力電圧がかけられる。低入力電圧で重負荷のときに電力が供給できるようにパルス幅制御のゲインを高く設定すると、高入力電圧で軽負荷のときにはゲインが高すぎて不安定動作となり、出力電圧のリプル電圧が高くなる場合がある。この場合、PFC回路の後段に接続されるDC/DCコンバータの誤動作や、スイッチングノイズの増加などの問題が発生する。

FA1A00では、低入力電圧で重負荷のときにだけゲインを高くし、高入力電圧で軽負荷のときにはゲインを低くすることで、電力を安定して供給できる機能を内蔵している。

図5に、軽負荷時安定機能の動作波形を示す。PFC回路の出力電力はMOSFETのオン幅で制御される。MOSFETのオン幅は、ターンオンから右肩上がりて増加

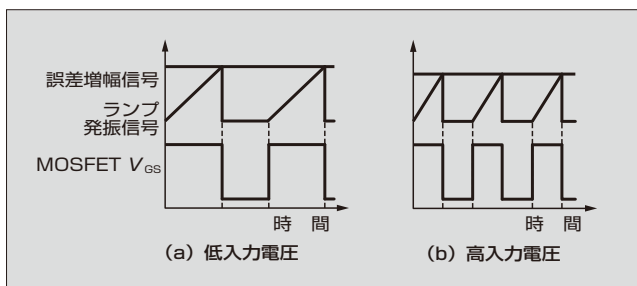


図5 軽負荷時安定機能の動作波形

するランプ発振信号が、出力電圧とIC内部の基準電圧の誤差増幅信号に到達してターンオフすることで決定される。そのため、制御のゲインはランプ発振信号の傾きに依存する。

ランプ発振信号は、傾きが小さいほどゲインが高く、大きいほどゲインが低くなるため、FA1A00では高入力電圧で軽負荷のときにランプ発振信号の傾きを大きくする機能を内蔵した。これにより、高入力電圧軽負荷時に制御のゲインを低くして動作を安定化させることができる。

2.4 オーバーシュート低減機能

PFC回路は、入力電源の周波数で発生する出力電圧のリプルを小さくするため、出力電圧制御の応答を遅く設定している。しかし、応答が遅いと起動時に出力電圧のオーバーシュートが発生する。さらに、近年、電源のコストの低減を図るために、実使用条件に対してマージンのない耐圧の電解コンデンサをPFC回路の出力に接続することが多くなっている。その場合、起動時のオーバーシュートによる一時的な過電圧がかかり、電解コンデンサの寿命が縮まってしまう。

FA1A00では、起動時に出力電圧が設定電圧まで到達すると、一時的に応答性を早くして出力電圧のオーバーシュートを低減する。図6に、オーバーシュート低減機能の動作波形を示す。

PFC制御ICは、誤差増幅信号が高いほど大きな電力を出力に供給する。起動時は出力電圧を設定電圧まで上昇させるときに大きな電力を必要とするため、誤差増幅信号は最大値まで上昇している。前述のとおり、出力電圧制御の応答を遅く設定しているため、出力電圧が設定電圧値まで到達しても、誤差増幅信号の低下が遅れ、電力を過剰に供給し、出力電圧のオーバーシュートが発生する。

FA1A00では、出力電圧が設定電圧値に到達したときに誤差増幅信号を強制的に引き下げることで応答遅れを小さくし、起動時のオーバーシュートを低減している。これにより、耐圧の低い電解コンデンサを安全に使用できる。

また、FA1A00では、前述の保護機能以外にも、出力電圧制御の基準電圧精度の向上や過負荷保護検出電圧の精度向上により、電源の安全性を向上している。

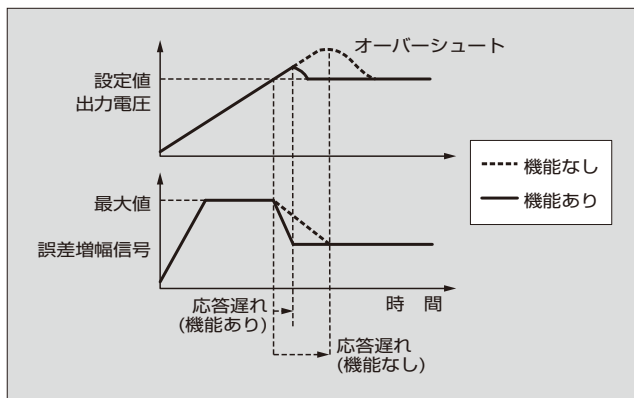


図6 オーバーシュート低減機能の動作波形

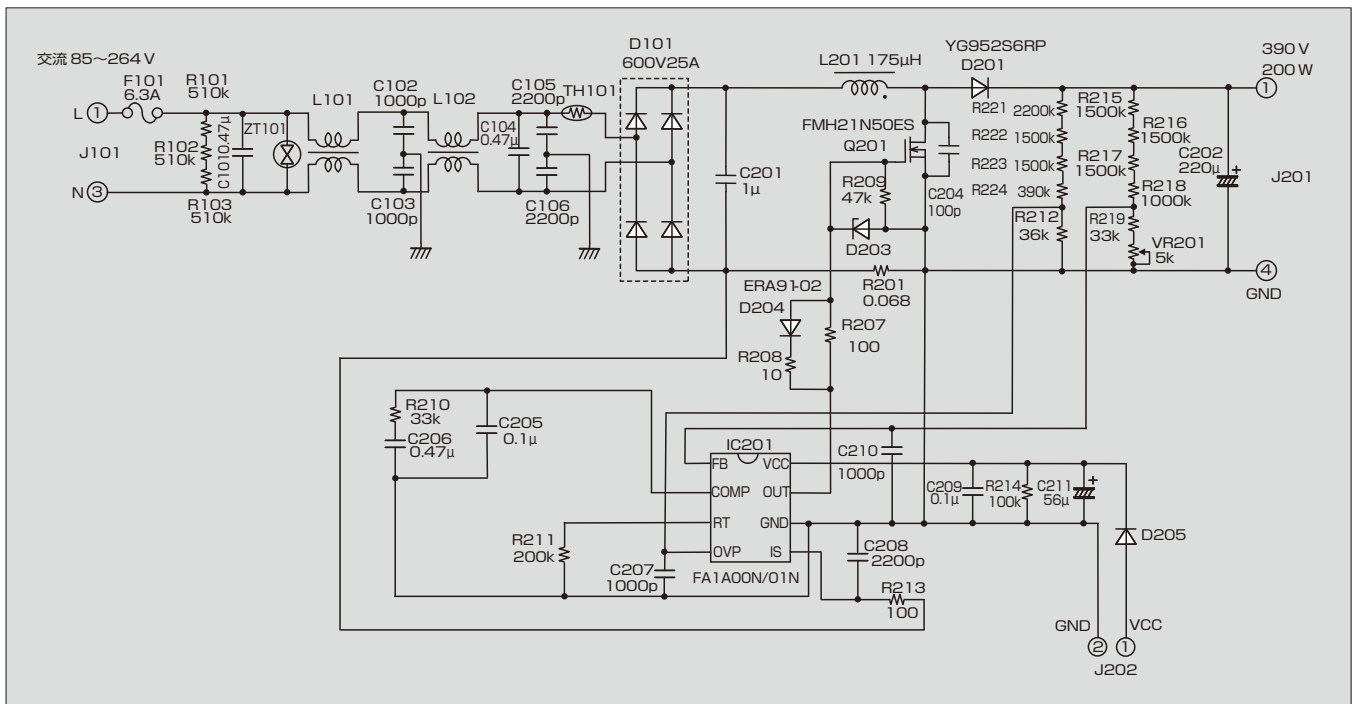


図7 応用回路例

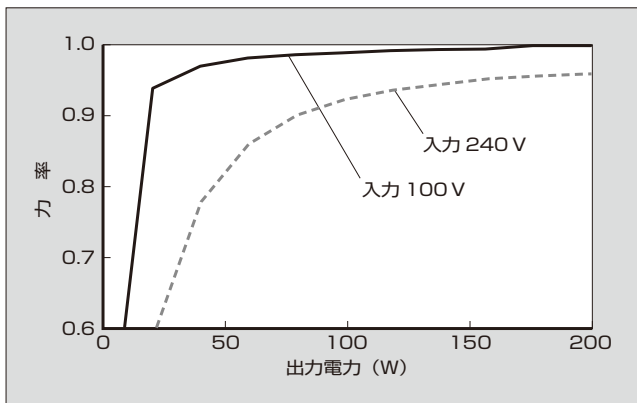


図8 力率特性

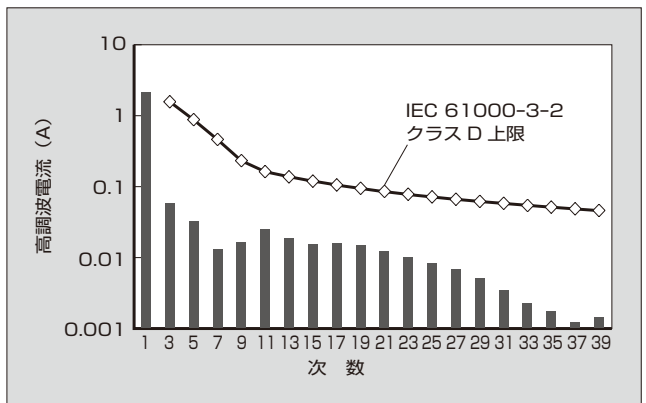


図9 高調波電流特性

3 応用回路例

図7に応用回路例(入力90~264V, 出力390V, 200W)を、図8に同回路で測定した力率特性を、図9に高調波電流特性を示す。

力率特性は、標準的な入力電圧(100V, 240V)の定格負荷で、一般的な電子機器に求められる力率0.95以上を確保している。高調波電流特性は、テレビやPCなどの電子機器に必要なIEC 61000-3-2のクラスDを満足している。

4 あとがき

スイッチング電源の待機電力の削減, 軽負荷時の効率改善, コスト低減, 安全性の向上を実現可能な第3世代の臨界モードPFC制御IC「FA1A00シリーズ」について述べた。今後も、市場の要求に応える機能を取り入れて系列化を行うとともに、年々厳しくなる規格・規制に合わせて開発を行っていく所存である。

参考文献

- (1) 鹿島雅人, 城山博伸. CMOS力率制御用電源IC. 富士時報. 2001, vol.74, no.10, p.551-553.
- (2) 鹿島雅人ほか. 連続モードPFC回路用電源IC「FA5550/51シリーズ」. 富士時報. 2007, vol.80, no.6, p.441-444.
- (3) 菅原敬人ほか. 第2世代臨界モードPFC制御IC「FA5590シリーズ」. 富士時報. 2010, vol.83, no.6, p.405-410.



菅原 敬人

スイッチング電源制御ICの開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部 ディスクリート・IC技術部。



松本 和則

スイッチング電源制御ICを主としたエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社営業本部半導体営業統括部応用技術部。



矢口 幸宏

スイッチング電源制御ICの開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部 ディスクリート・IC技術部。





*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。