

第4世代臨界モード PFC 制御 IC「FA1B00N」

“FA1B00N” 4th-Generation Critical Conduction Mode Power Factor Correction Control IC

日朝 信行 HIASA, Nobuyuki

遠藤 勇太 ENDO, Yuta

矢口 幸宏 YAGUCHI, Yukihiro

近年、電子機器の小型・軽量化に伴いスイッチング電源の普及が進んでおり、LED 照明などの電子機器の長寿命化と低価格化、高信頼性化と電源コスト低減の両立が求められている。富士電機はこれらの要求に応えるため、第4世代臨界モード PFC（Power Factor Correction）制御 IC「FA1B00N」を開発した。従来品が持つ機能に加え、起動時のオーバシュート低減機能などの保護機能の追加、ならびに PFC 出力電圧や過電圧検出電圧の精度向上により、電子機器の信頼性向上と電源コスト低減を実現する。

As electronic devices become smaller and lighter, switching power supplies are becoming more widely used and are required to help electronic devices, such as LED lighting, to have a long life, low price, and high reliability while reducing power supply costs. To meet these demands, Fuji Electric developed the “FA1B00N” 4th-generation critical conduction mode (CRM) power factor correction (PFC) control IC. In addition to the conventional model’s functions, this IC features a startup overshoot reduction and other protective functions, as well as higher accurate detection for PFC output voltage and overvoltage. These enhancements enable it to improve the reliability of electronic devices and reduce power supply costs.

① まえがき

電子機器の小型・軽量化に伴いスイッチング電源の普及が進んでいる。スイッチング電源における高調波電流は、機器や配線設備の動作障害や力率低下をもたらし、皮相電力を増加させる。そこで、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・電子機器を四つのクラスに分類し、クラスごとに電源高調波電流の規制値を設定している。

この電源高調波電流および力率の問題を解決するために、アクティブフィルタ方式の力率改善（PFC：Power Factor Correction）回路が広く使われている。

PFC 回路においても、省電力化のために待機電力の削減や、軽負荷を含めた広い負荷領域での効率向上が求められている。⁽¹⁾

さらに、近年の LED 照明などの電子機器の長寿命化と低価格化に対する消費者の期待や要求を受け、PFC 回路においても高信頼性と電源コストの低減が求められている。

富士電機は、これらの要求に応えるため、LED 照明用途向けに高調波電流規制のクラス C を満足する臨界モード PFC 制御 IC「FA5601N」を量産している。この IC の特徴を継承しつつ保護機能をさらに強化し、電源コ

ストの低減に貢献する第4世代臨界モード^(注) PFC 制御 IC「FA1B00N」を開発した。

② 「FA1B00N」の概要

今回開発した FA1B00N の外観を図1に、従来品である FA5601N との性能比較を表2に示す。

FA1B00N のブロック図を図2に示す。FA1B00N は、端子配列および基本機能を踏襲することで FA5601N からの置換えができるので、電源を設計する際のリードタイムの短縮につながる。

従来品が持つ機能に加え、起動時のオーバシュート低減機能、PFC 出力電圧低下抑制機能と、 V_{CC} 電圧の過電圧保護機能を追加した。さらに、PFC 出力電圧制御の基準電圧 V_{fb} の精度および、過電流検出電圧の精度を向上させた。

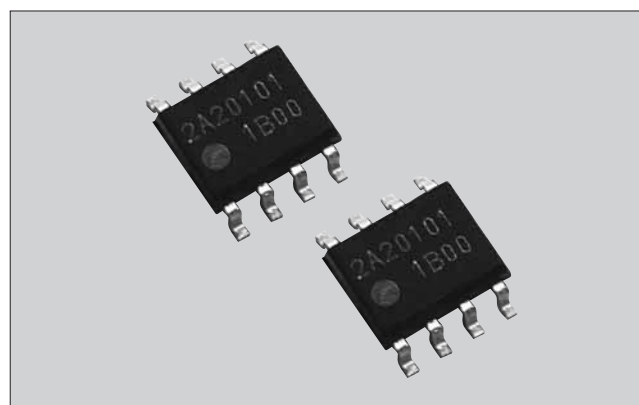


図1 「FA1B00N」

〈注〉 臨界モード：インダクタに流れる電流が0 Aになったときに MOSFET をオンにする動作モード

表1 高調波電流規制（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	PC、TV

表2 従来品との性能比較

項 目	FA1B00N	FA5601N
ターンオン タイミング検出	ZCD*巻線	ZCD巻線
制御方式	オン幅固定制御	オン幅固定制御
起動時オーバシュート 低減機能	あ り	な し
PFC出力電圧 低下抑制機能	あ り	な し
V _{CC} 電圧過電圧保護	あ り	な し
V _{fb} 基準電圧	2.5 V±1.0%	2.5 V±1.4%
過電流検出電圧	0.65 V±2.0%	0.65 V±3.1%
軽負荷時 スイッチング動作	最大発振周波数制限	最大発振周波数制限

*ZCD: Zero Current Detection

これらの機能の追加や精度の向上により、電源のコストの低減と信頼性を向上した。

2.1 動作説明（オン幅固定制御）

FA1B00N は、自励発振を利用して臨界動作する PFC 制御 IC である。図3に概略動作回路を、図4にスイッチング動作における各部の波形を示す。

図4の時刻 t_1 において、MOSFET (Q_1) がオンすると、インダクタ (L_1) の電流 I_{L1} はゼロから上昇する。同時に、IC 内部の RAMP 発振器の出力 V_{ramp} が RT 端子の抵抗 R_3 で決まる傾きで上昇する。

時刻 t_2 において、 V_{ramp} とエラーアンプの出力である誤差増幅電圧 V_{comp} を PWM コンパレータ (PWM comp.)

が比較し、 $V_{ramp} > V_{comp}$ で Q_1 をオフする。 Q_1 がオフすると、 I_{L1} は反転し、昇圧ダイオード (D_1) を通して出力側に電流を供給しながら、 I_{L1} は減少し、補助巻線の電圧 V_{sub} も反転しプラスの電圧が発生する。

時刻 t_3 において、 I_{L1} が完全にゼロに戻ると Q_1 のドレイン・ソース電圧 V_{ds} は Q_1 のドレイン・ソース間の寄生容量と共振し、急速に低下する。同時に V_{sub} も急速に低下する。

時刻 t_4 において、 V_{sub} がゼロ電流検出電圧以下になるタイミングをゼロ電流検出コンパレータで検出し、 Q_1 をオンさせる。この動作の繰返しにより、IC は臨界動作する。

上記動作において、PFC 回路の負荷が一定の場合、 V_{comp} は一定となるため、オン幅も一定となる。このとき、インダクタのピーク電流は式(1)で与えられる。

$$I_{max} = \frac{V_{in}}{L} \times T_{on} \quad \dots\dots\dots(1)$$

I_{max} : L_1 のピーク電流

V_{in} : 入力電圧

L : L_1 のインダクタンス値

T_{on} : オン幅

式(1)において、 L 、 T_{on} は一定のため、 L_1 のピーク電流は V_{in} に比例し、その波形は入力電圧と同じ AC 波形となる。この動作により力率改善が可能となる。

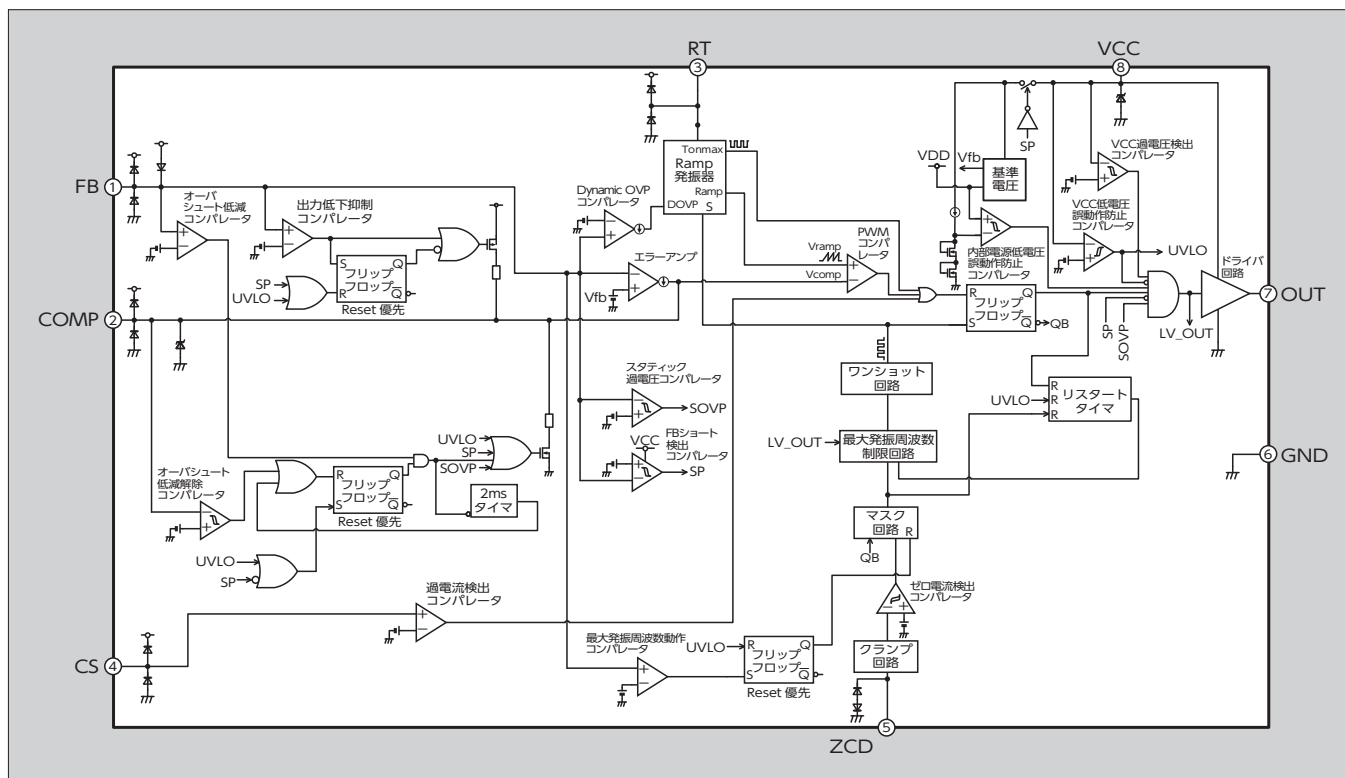


図2 「FA1B00N」のブロック図

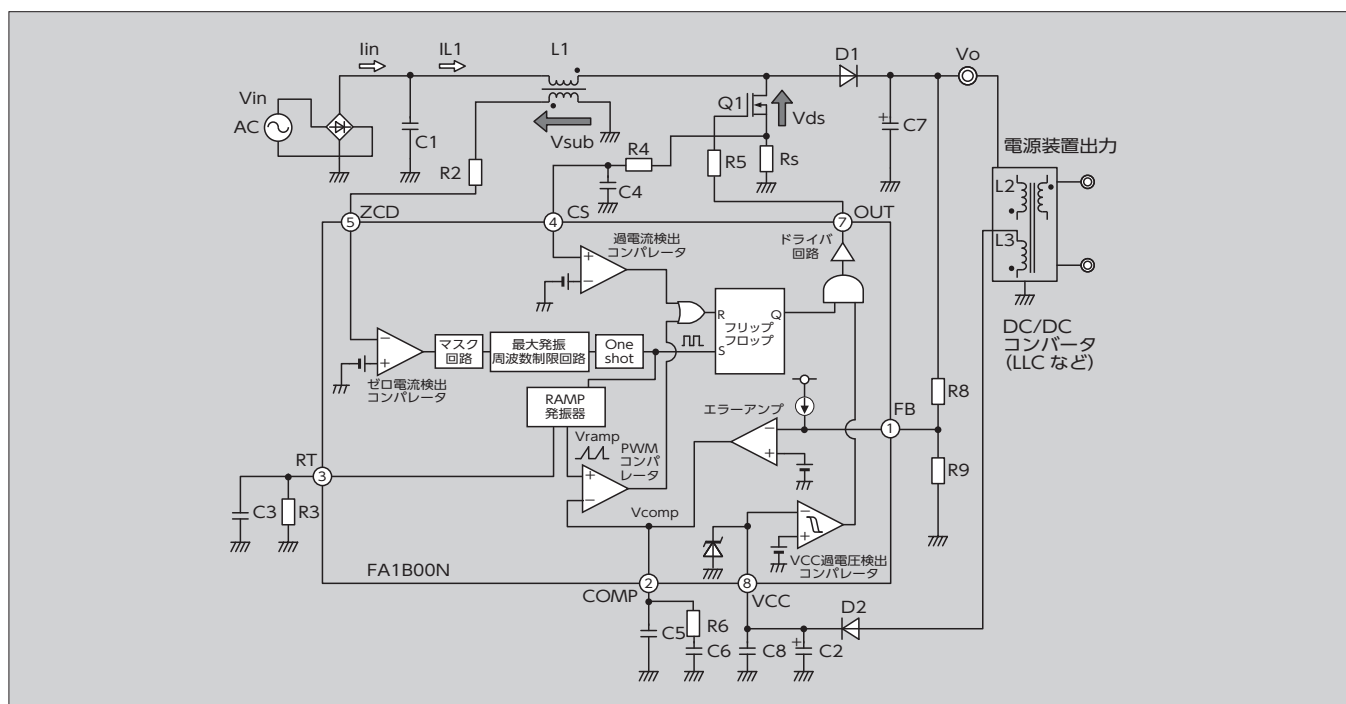


図3 概略動作回路

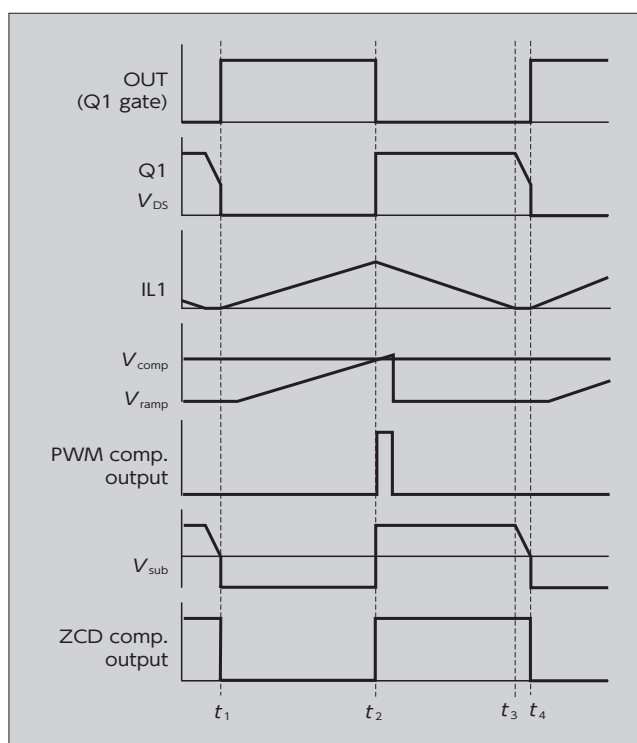


図4 スイッチング動作における各部波形

③ 特徴

3.1 オーバシュート低減機能

PFC回路では、AC入力電圧の周波数成分を持った出力電圧リップルが発生する。この出力電圧リップルがPFC制御ICの動作に与える影響を低減するためには、一般的にCOMP端子に接続するコンデンサ容量を大きくして

いる。しかし、コンデンサ容量が大きくなると起動時の V_{comp} の応答に遅れが生じ、PFC回路の出力電圧が上昇し、オーバシュートが発生する。

また、電源のコストを低減するため、PFC回路の出力に接続する電解コンデンサの定格電圧（耐圧）は、PFC回路の出力設定電圧に対して十分な耐圧マージンを確保していないことが多い。そのため、起動時にPFC回路の出力電圧が電解コンデンサの定格電圧の近くまでオーバシュートし、電解コンデンサの寿命を縮めたり、破壊に至る可能性がある。

このような問題を解決するため、FA1B00Nは、起動時にPFC回路の出力電圧のオーバシュートを低減する機能

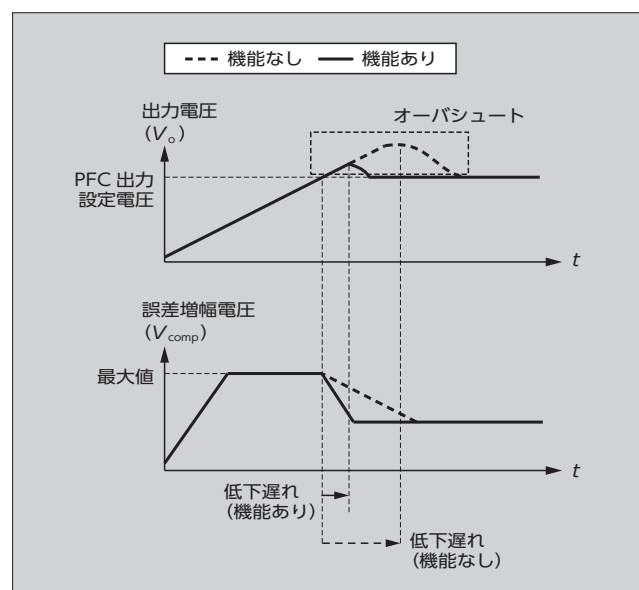


図5 オーバシュート低減機能の動作波形

を内蔵している⁽³⁾。図5にこの機能の動作波形を示す。

PFC 制御 IC は、 V_{comp} が高い程大きな電力を PFC 回路の出力に供給する。起動時は PFC 回路の出力電圧を設定電圧まで上昇させるために大きな電力が必要なので、 V_{comp} は最大値まで上昇する。しかし、PFC 回路の出力電圧が設定値まで到達しても、COMP 端子に接続されたコンデンサの影響で V_{comp} の低下が遅れる。そのため、電力を過剰に供給し、PFC 回路の出力電圧にオーバシュートが発生する。そこで、FA1B00N では、起動時に PFC 出力電圧が設定電圧値に到達したときに V_{comp} を一時的に引き下げることで電力の過剰状態を解除し、起動時のオーバシュートを低減している。これにより、耐圧マージンが小さい電解コンデンサを安全に使用でき、電源のコストの低減につながる。

3.2 PFC 回路の出力電圧低下抑制機能

電源のコストを低減するために、PFC 回路の出力に接続する電解コンデンサの容量を小さくすることが望ましい。しかし、電解コンデンサの容量が小さい場合、PFC 回路の後段に接続する DC/DC コンバータの負荷が急増すると、PFC 回路の出力電圧が大きく低下する。図6(a)に従来の動作波形を示す。PFC 回路の出力電圧が低下すると、 V_{comp} が上がり、出力電圧を設定電圧値まで上昇させようとする。しかし、COMP 端子に接続されたコンデンサの容量が大きいと V_{comp} の応答が遅れるため、出力電圧の低下が発生する。この出力電圧が DC/DC コンバータの最低入力電圧を下回ると、DC/DC コンバータが停止し、負荷に電力を供給できなくなる場合がある。

そこで、FA1B00N は、PFC 回路の出力電圧低下を抑制する機能を内蔵した。図6(b)にこの機能の動作波形を示す。

FA1B00N では、PFC 回路の出力電圧が PFC 出力電圧低下抑制しきい値よりも低くなると V_{comp} を強制的に引き上げ OUT 端子のオン幅を広げ、電力の供給量を増やすことで、PFC 回路の出力電圧の低下を抑制する。その結果、安定した出力電圧を後段の DC/DC コンバータに供給でき

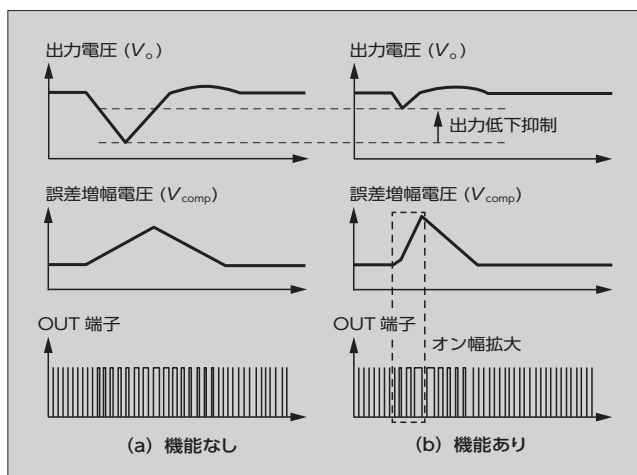


図6 PFC 出力低下抑制機能の動作波形

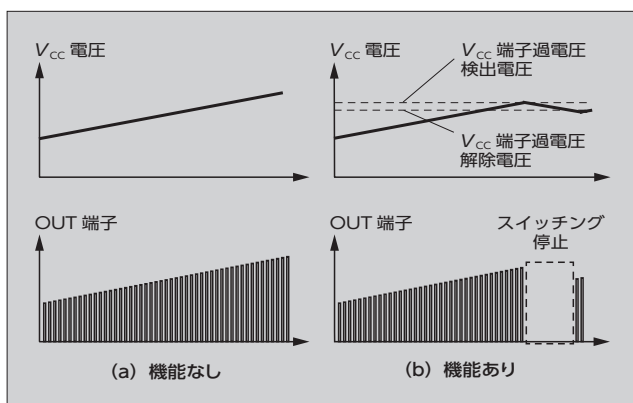


図7 V_{cc} 電圧の過電圧保護機能の動作波形

る。また、容量の小さな電解コンデンサが使用できるので電源コストの低減につながる。

3.3 V_{cc} 電圧の過電圧保護機能

PFC 制御 IC の V_{cc} 端子への電圧供給は、一般にトランスの補助巻線 (L_3) を使用して AC 入力電圧を降圧させ、補助巻線に発生する電圧をダイオードで整流し、コンデンサで平滑させて供給する。この方式は、過負荷などで電源の出力電流が大きくなった場合、 V_{cc} 端子に接続された IC 内部の回路や MOSFET が破壊する可能性がある。そのため、保護用にツェナーダイオードを接続することがある。

FA1B00N は、図7に示すように V_{cc} 端子電圧が V_{cc} 過電圧検出電圧に達すると、OUT 端子のスイッチングを停止し、MOSFET を過電圧破壊から保護する機能を内蔵している。この機能により、 V_{cc} 端子に接続された IC 内部の回路や MOSFET のゲートを保護するためのツェナーダイオードが不要となり、電源のコストの低減につながる。

このような保護機能以外にも、PFC 回路出力電圧制御の基準電圧の精度を向上させた。これにより PFC 回路の出力電圧の上限が下がり、PFC 回路に接続される電解コンデンサの耐圧に対するマージンが、従来よりも大きくなり、電解コンデンサの破壊が防止できる。

また、MOSFET に流れる過電流の検出精度を向上させた。その結果、過電流発生時に即時に MOSFET をオフすることで過電流を制限することができるので、MOSFET などの電源部品の破壊を防止し、電源の信頼性を向上できる。

3.4 軽負荷時の高効率化 (最大発振周波数制限)

臨界動作では、軽負荷時にスイッチング周波数が増加するため、MOSFET のスイッチング損失が増加し、効率が低下するという問題があった。

FA1B00N は、軽負荷時の効率を改善するため、従来品の FA5601N と同様に最大発振周波数制限機能を持っている。軽負荷時にスイッチング周波数が RT 端子の抵抗で決まる最大発振周波数 F_{max} 以上になると、インダクタ電流がゼロになるタイミングを検出しても、 $1/F_{max}$ よりも

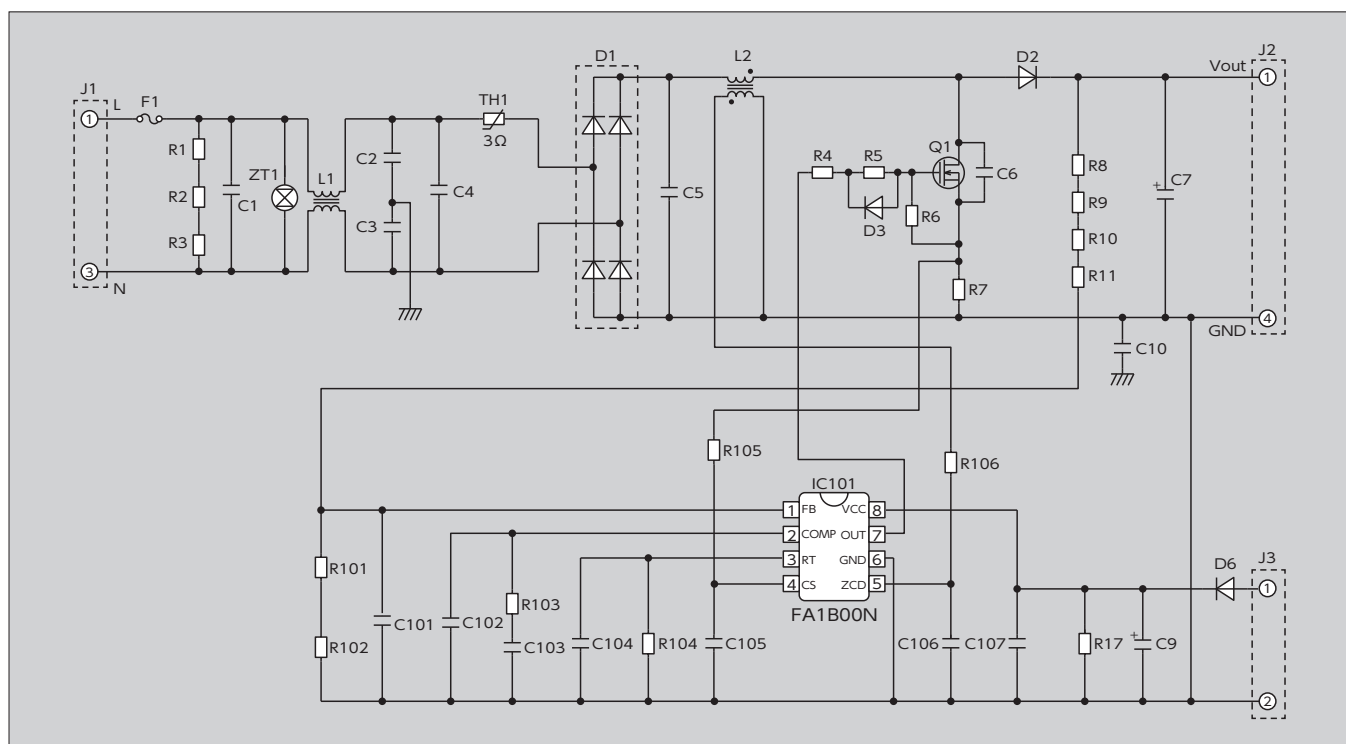


図8 応用回路例

遅い周期でターンオンする。この最大発振周波数制限機能により、スイッチング周波数の増加を抑制するため、スイッチング損失が減り、軽負荷時の効率が向上する。さらに、MOSFETの発熱も少なくなり放熱用ヒートシンクが小さくなるので、電源のコスト低減につながる。

4 応用回路例

図8に、LED照明を想定したPFC回路の応用回路例（入力90～264V、出力390V、150W）を示す。

図9に示すように、標準的な入力電圧（110V、220V）でかつ定格負荷（150W）において、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。

図10に示すように、高調波電流特性は、照明機器に必要な国際規格IEC 61000-3-2のクラスCを満足している。

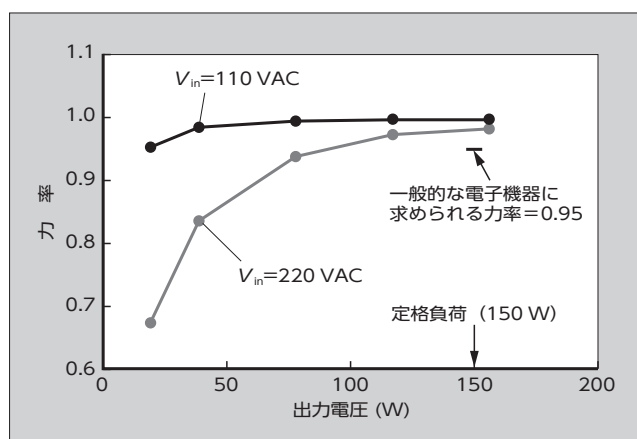


図9 力率特性

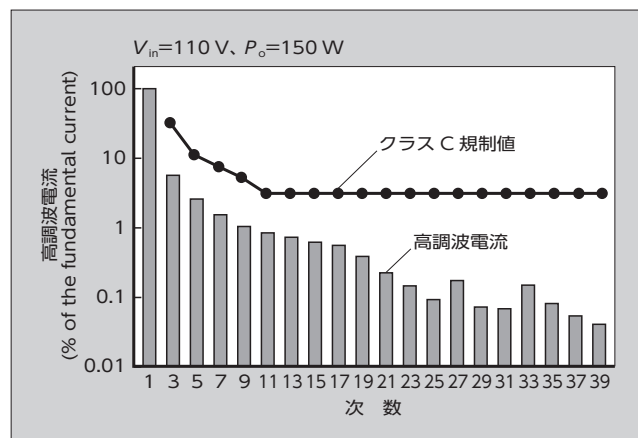


図10 高調波電流特性

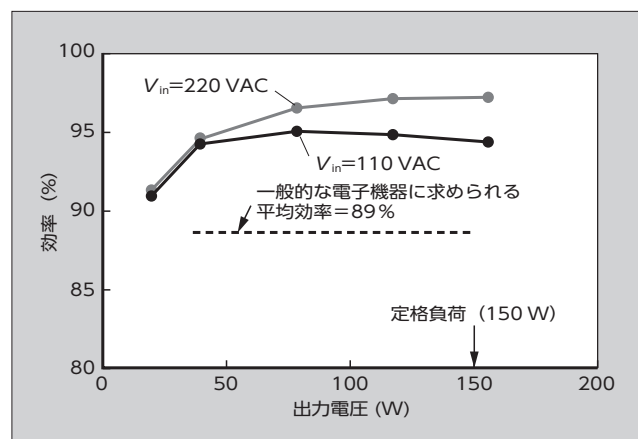


図11 効率特性

図11に示すように、標準的な入力電圧（110V、220V）の平均効率（負荷が25%、50%、75%、100%時の効率の平均値）は、一般的な電子機器に求められる89%以上を確保している。

5 あとがき

第4世代臨界モードPFC制御IC「FA1B00N」について述べた。本ICにより、待機電力の削減や、軽負荷を含めた広い負荷領域での効率向上、信頼性の向上、電源コストの低減が可能となる。

今後も、さらなる低待機電力化、高効率化を行うとともに、電源部品削減を可能とする製品を提供していく所存である。

参考文献

- (1) 日朝信行ほか. 第4世代臨界モードPFC制御IC「FA1B00シリーズ」. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.4, p.230-235.
- (2) 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.

- (3) 菅原敬人ほか. 第3世代臨界モードPFC制御IC「FA1A00シリーズ」. 富士電機技報. 2014, vol.87, no.4, p.263-267.



日朝 信行

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産業事業部産業ディスクリート部。



遠藤 勇太

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産業事業部産業ディスクリート部。



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産業事業部産業ディスクリート部。





＊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。