

第2世代 LLC 電流共振制御 IC 「FA6A00N シリーズ」

2nd Generation LLC Current Resonant Control IC, “FA6A00N Series”

陳 建 CHEN Jian

山田谷 政幸 YAMADAYA Masayuki

城山 博伸 SHIROYAMA Hironobu

LLC 電流共振電源は、ソフトスイッチング、デューティ比 50% の共振制御、リーケージトランス構造という特徴があり、スイッチング電源の高効率化、低ノイズ化、薄型化に適している。富士電機は、第1世代の LLC 電流共振制御 IC 「FA5760N」の特徴を継承しながら、さらなる低待機電力化や保護機能を充実した第2世代の「FA6A00N シリーズ」を開発した。待機電力を従来よりもさらに約 2 割削減しながら、世界で初めて高精度の二次側過負荷保護機能を内蔵した。過電流保護機能は遅延時間を外部で調整することが可能である。

LLC current resonant power supply, which is characterized by soft switching, resonance control with a duty ratio of 50% and leakage transformer structure, is suitable for efficiency improvement, noise reduction and profile lowering in switching power supply. Fuji Electric has developed the 2nd generation “FA6A00N Series,” which inherits the characteristics of the 1st generation LLC current resonant control IC, “FA5760N,” and is enhanced with lower standby power and improved protective functions. It integrates the world’s first high-precision secondary side over-load protection function while further reducing the standby power by approximately 20%. For the over-current protection function, the delay time can be externally adjusted.

1 まえがき

スイッチング電源は、各種電子機器に用いられ、省電力化や省スペース化の要求に応えるため、高効率化、低ノイズ化、薄型化が急速に進んでいる。LLC 電流共振電源は、高効率、低ノイズのソフトスイッチング技術と、薄型のリーケージトランス構造を使用しているという特徴がある。この特徴により、電源の高効率化、低ノイズ化および薄型化に適しているため、スイッチング電源としては中間容量の 100 ~ 500 W の電源に使われている。しかし、LLC 電流共振電源は、起動時や重負荷時および低入力電圧時にスイッチング貫通現象^(注)が発生しやすい。この現象によるパワー MOSFET の破壊や励磁電流による軽負荷時の効率低下などの課題を抱えており、用途は限定的であった。

そこで、これらの課題を解決するため、富士電機は独自の新制御方式を採用した LLC 電流共振制御 IC 「FA5760N」を製品化^{(1),(2)}した。FA5760N は PFC コンバータと専用待機コンバータを不用とした LLC 共振コンバータであり、高効率、低待機電力かつ小型の電源システムの構成が可能である。これにより、PFC コンバータなしの 50 W 程度の電源にも採用されるようになり、適用範囲が広がった。

今回、富士電機は第1世代 LLC 電流共振制御 IC 「FA5760N」の特徴を継承しながら、さらなる低待機電力化、保護機能の充実、高品質化、低システムコストを実現し、かつ設計自由度の高い LLC 電流共振電源を実現する

〈注〉スイッチング貫通現象：ブリッジスイッチ回路において、一方のパワー MOSFET のボディダイオードに電流が流れているときに、対向のパワー MOSFET がターンオンし、瞬間的に大電流が発生する現象である。

第2世代 LLC 電流共振制御 IC 「FA6A00N シリーズ」を開発した。

2 製品の概要

FA6A00N シリーズの外観を図1に、ブロック図を図2に示す。また、主要定格を表1に、主な機能を表2に、製

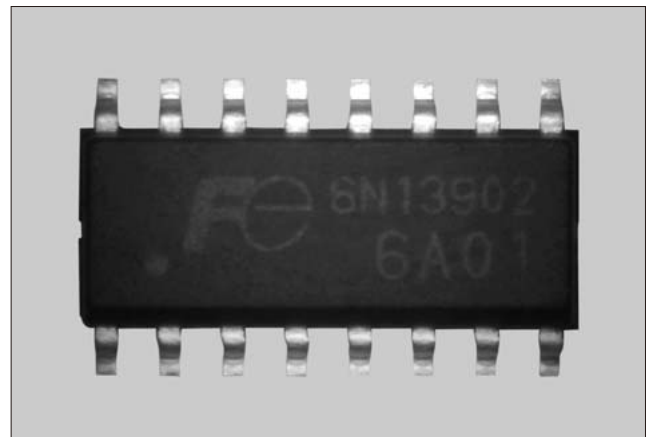


図1 「FA6A00N シリーズ」

表1 主要定格

項目名	定格値
ハイサイド電源対地電圧	-0.3 ~ +630 V
ハイサイド電源電圧 (V _{BS})	-0.3 ~ +30 V
ローサイド電源電圧 (V _{CS})	-0.3 ~ +30 V
VH端子入力電圧	-0.3 ~ +600 V
最大許容オフセット電源電圧 dv/dt	±50 kV/μs (max.)
全損失	0.83 W
動作ジャンクション温度	-40 ~ +150 °C

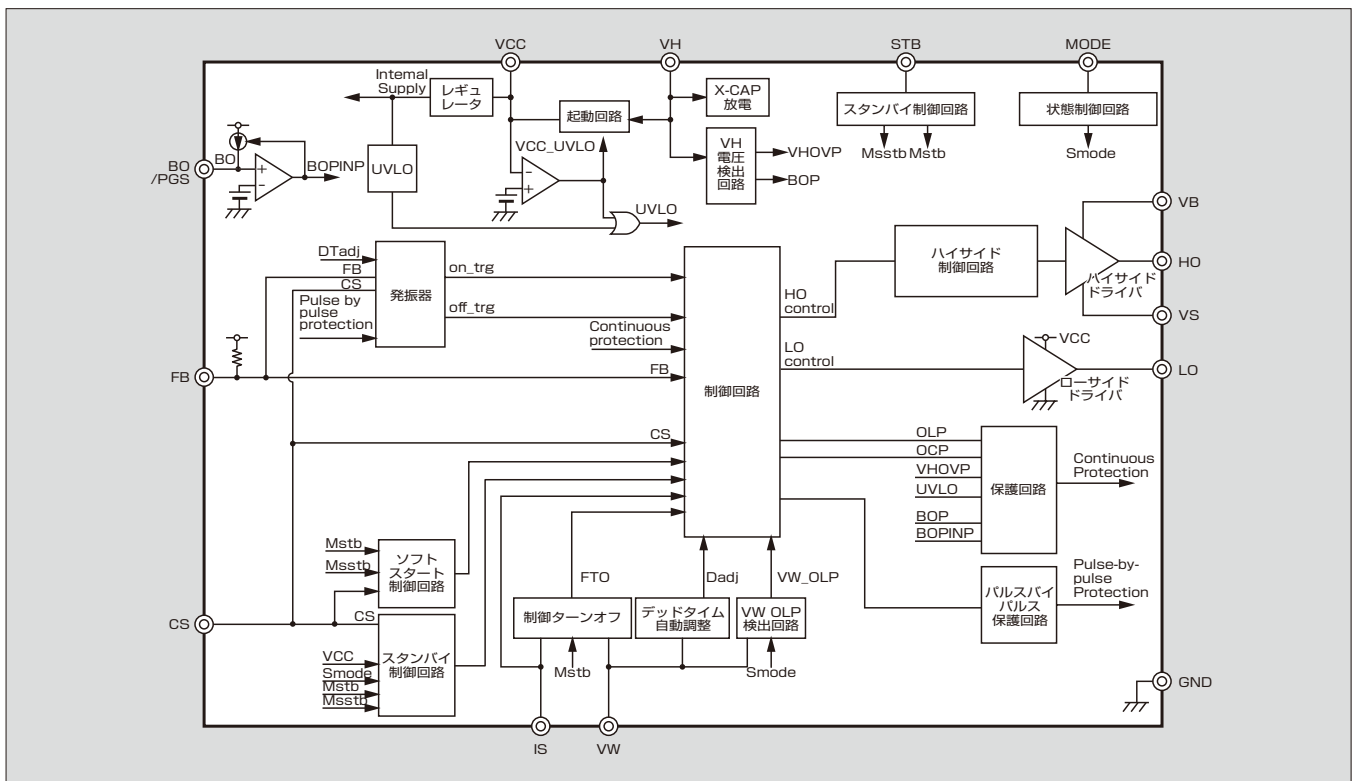


図2 「FA6A00N シリーズ」のブロック図

表2 主な機能と端子

機能	端子 (No.)
起動回路	VH(1), VCC (10)
低電圧誤動作防止回路	VCC (10), VB (16)
状態設定機能	MODE (7)
X-CAP放電機能	VH (1)
固定ブラウンイン・ブラウンアウト	VH (1)
可変ブラウンイン・ブラウンアウト	BO (3)
過電圧保護	VH (1), VCC (10)
遅延時間可変の過電流保護	IS (8), MODE (7)
過負荷保護	VW (9), FB (4)
過熱保護	内蔵
外部ラッチ信号入力	MODE (7)
強制ターンオフ機能	VW (9), IS (8)
デッドタイム自動調整機能	VW (9)
高精度過負荷保護機能	VW (9)
ソフトスタート機能	CS (5)
低待機動作モード	VCC (10), CS (5), VH (1)
パワーグッド信号	PGS (3)

品系列を表3に示す。FA6A00N シリーズの LLC 電流共振制御 IC の概要は次のとおりである。

- (a) LLC 電流共振回路を制御する 3.3V, 5V および 30V の耐圧制御回路
- (b) ハーフブリッジ回路のハイサイドおよびローサイドスイッチ素子を直接駆動できる 630V 耐圧ドライバ回路
- (c) 低消費電力で IC 起動を実現する 600V 耐圧起動素子

表3 製品系列

製品名	3番端子	過負荷保護	過電流保護
FA6A00N	PGS端子	自動復帰	ラッチ停止
FA6A01N	PGS端子	自動復帰	自動復帰
FA6A10N	BO端子	自動復帰	自動復帰
FA6A11N	BO端子	ラッチ停止	ラッチ停止

子内蔵

(d) JEDEC 準拠の 16 ピン SOP (Small Outline Package)

ハイサイドとローサイドの両出力は、高精度 50% デューティ比で交互に動作し、動作周波数範囲は 38k~350kHz である。

3 特徴

3.1 低損失バースト制御

第1世代の FA5760N は、VCC 端子と CS 端子でヒステリシスバースト制御を行い、待機コンバータなしで世界トップレベルの低待機電力を実現した。第2世代の FA6A00N シリーズは、加えてバースト制御の最適化を行い、FA5760N より待機電力をさらに約 2 割削減した。

LLC 電流共振制御は、ハイサイドとローサイドのデューティ比を 50% とし、スイッチング周波数でゲインを制御している。図3に電流共振ゲイン図を示す。周波数の変動範囲は、通常動作時は原理的に狭く、バースト動作時は広がる。

バースト動作時の周波数を図4に示す。周波数が高い領

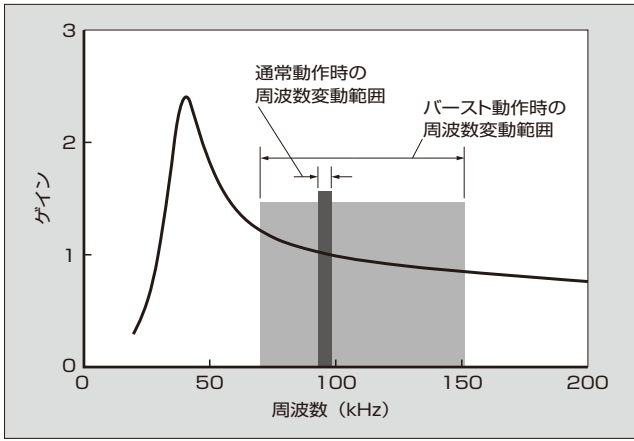


図3 電流共振ゲイン図

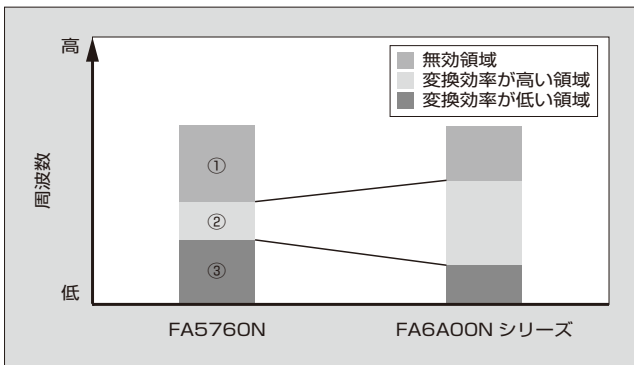


図4 バースト動作時の周波数

域①はゲインが低く、スイッチングを行ってもエネルギーの転送ができない無効領域である。周波数が低い領域③はゲインが高く、励起電流が大きいいため、エネルギー転送の効率が悪く、変換効率が低い領域である。FA6A00N シリーズは無効領域と変換効率が低い領域を削減し、変換効率の高い領域②を広げることで低待機電力化を実現した。また、音鳴りも同時に抑制している。

3.2 高精度の過負荷保護機能

第1世代のFA5760Nは、一次側の補助巻線P2(図5)を利用してVCC端子に電源を供給するとともに、ハードスイッチング防止および貫通電流防止を実現した。第2世代のFA6A00Nシリーズは、FA5760Nの機能を継承しな

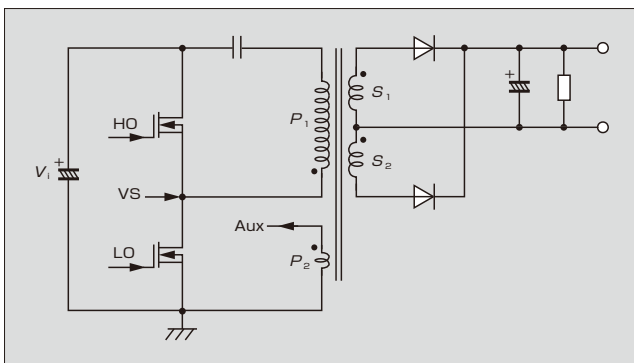


図5 電流共振の簡易回路図

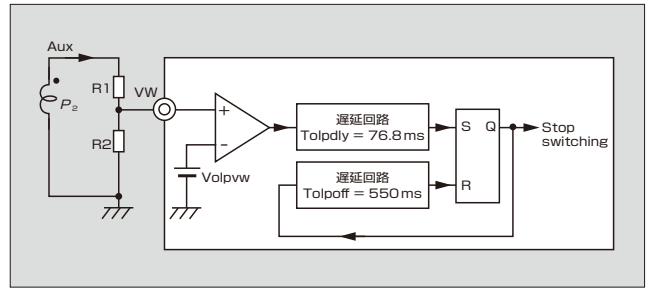


図6 高精度過負荷保護機能の回路構成

がら、この補助巻線を使用して高精度の過負荷保護機能を世界で初めて内蔵した。

過負荷保護機能とは、電源システムを保護するため、負荷が定格負荷の約1.5倍になった場合、一定の遅延時間後にスイッチングを停止する機能である。この機能の精度が悪化すると、出力電力が不足したり、出力電力に制限がかからなくなったりするため、過負荷保護として満足に使えなくなる。さらに、過負荷保護レベルは入力電圧が広範囲に変化しても、過負荷レベルは一定の範囲(±20%程度)に抑えなければならない。

FA6A00Nシリーズの高精度過負荷保護機能の回路構成を図6に示す。補助巻線電圧は抵抗分圧の V_w 電圧で検出する。この分圧抵抗の推奨精度は±1%である。 V_w 電圧はしきい値電圧 V_{olpww} を超えると過負荷状態と認識し、過負荷状態が76.8ms継続すると、スイッチングを停止する。検出精度を高めるため、 V_{olpww} のばらつきは高精度の±3%以内に設定した。製品化したものは、スイッチング停止時間が550msになるとリスタートする自動復帰版と、リスタートしないラッチ停止版である。

過負荷保護動作時の波形を図7に示す。過負荷保護の動作になると、スイッチングが停止してエネルギーの転送がなくなり、出力電圧が下がる。

図8に、過負荷保護動作電力の入力電圧に対する依存性を示す。FA5760Nでは、一般的な共振電流の検出で過負荷保護を行っているが、入力電圧の範囲が広い場合には、

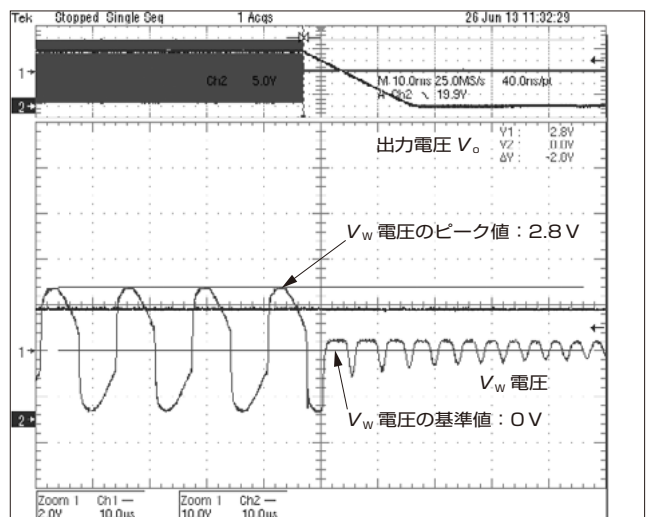


図7 過負荷保護時の動作波形

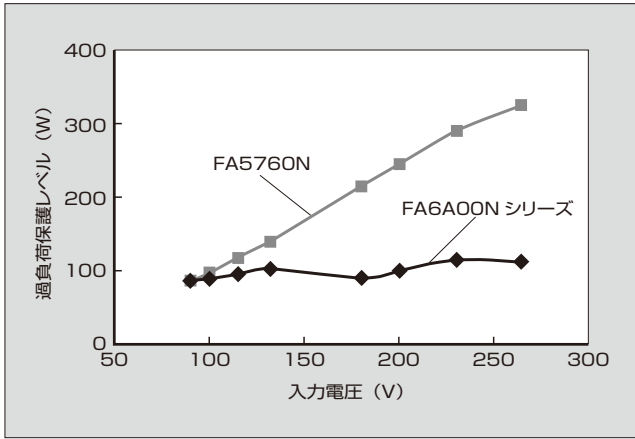


図8 入力電圧と過負荷保護動作電力

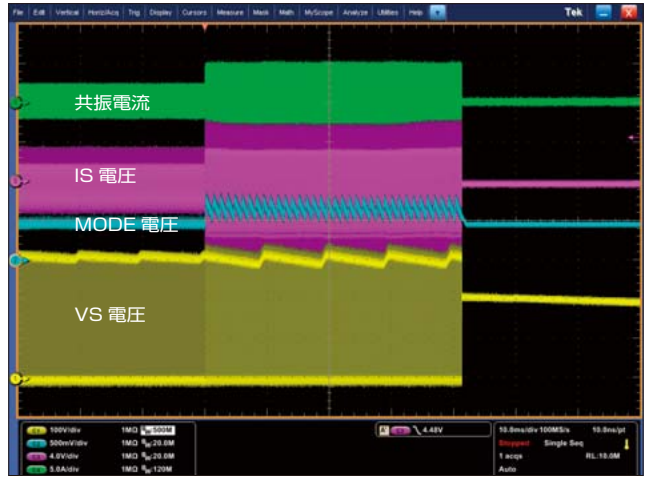


図9 過電流保護動作時の波形

過負荷保護レベルの入力電圧依存性が大きく、専用の過負荷保護回路を追加する必要があった。FA6A00N シリーズは、入力電圧が変動しても、過負荷保護レベルの変動が小さく、専用の過負荷保護回路がなくても高精度の過負荷保護機能を構築することができる。結果的に電源システムの部品点数を削減でき、電源システムのコストダウンが可能である。

3.3 遅延時間可変の過電流保護機能

負荷短絡状態になったとき、一定時間 T_{ocp} の間、過電流状態が継続するとスイッチングを停止する。この機能を過電流保護機能という。 T_{ocp} の設定が長すぎるとパワーデバイスが破壊する可能性がある。 T_{ocp} の設定が短すぎると起動時に過電流状態になり、負荷短絡状態と検出されて起動できない可能性がある。最適な T_{ocp} は電源によって異なるため、 T_{ocp} を外付け部品で調整できれば、電源設計の自由度が高まる。

FA6A00N シリーズは、 T_{ocp} の調整を状態設定用の MODE 端子と兼用し、端子数を増加することなく遅延時間可変の過電流保護機能を実現した。図9に実測波形を示す。共振電流が急に伸びるときに IS 端子で過電流状態と検出される。MODE 端子電圧は状態設定後に 0.5V にクランプされており、過負荷状態が検出されると 0.6V と 0.8V の間で発振する。発振回数が 36 回になるとスイッチングを停止して過電流から保護する。なお、一回の発振時間は MODE 端子に接続したコンデンサで調整することができる。

4 電源回路への適用効果

4.1 待機電力の削減効果

図10にアプリケーション回路例を、表4、表5にアプリケーション回路例の仕様と主な半導体部品を示す。また、

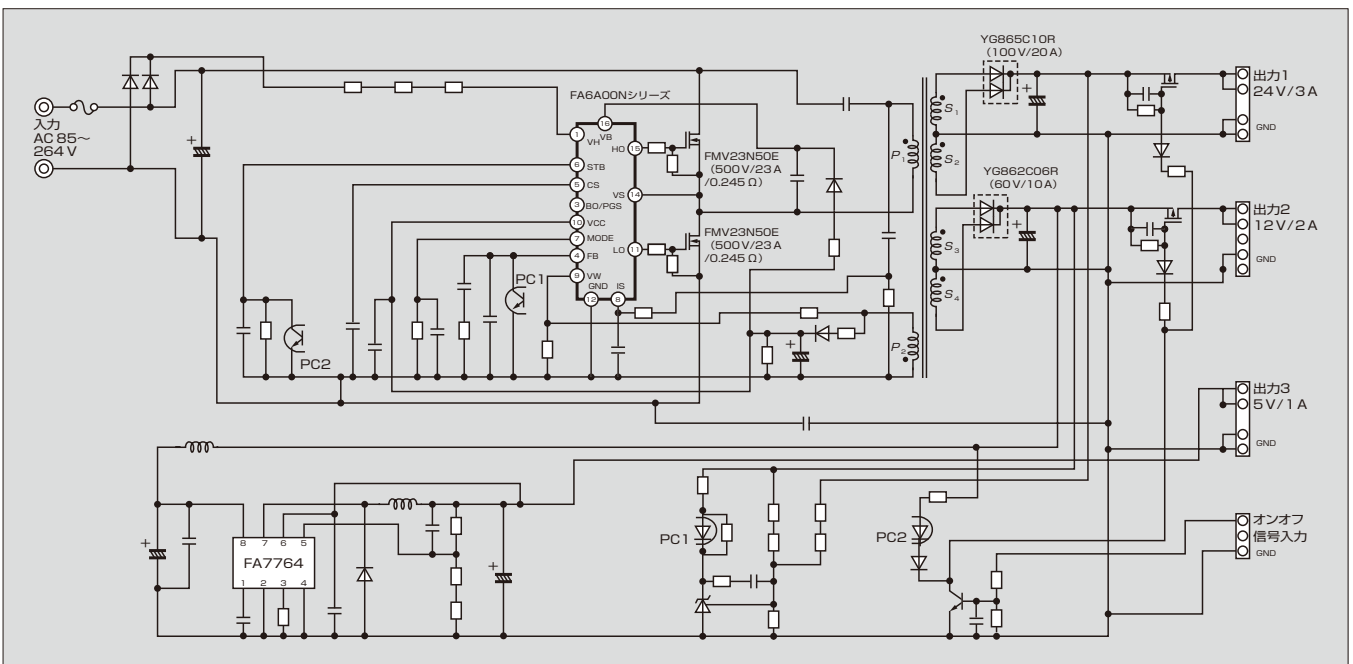


図10 アプリケーション回路例

表4 アプリケーション回路例の仕様

項目	特性など
入力電圧	AC85~264 V
出力電圧/電流	24 V/3 A, 12 V/2 A, 5 V/1 A
出力電力	100 W (max.)

表5 アプリケーション回路例の主な半導体部品

部品名	型式名
制御IC	FA6A00Nシリーズ
ブリッジ部MOSFET	FMV23N50E (500 V/23 A/0.245 Ω)
ダイオード (24V)	YG865C10R (100 V/20 A)
ダイオード (12V)	YG862C06R (60 V/10 A)
5V DC/DCコンバータ	FA7764AN

図11 に負荷 35mW 時の実測待機電力を示す。FA6A00N シリーズは FA5760N に比べて待機電力を約 2 割削減できるため、待機電力の要求仕様が厳しい場合でも待機コンバータをなくすことが可能である。

4.2 回路部品点数の削減効果

図12 に一般的な LLC 電流共振電源の構成を示す。一

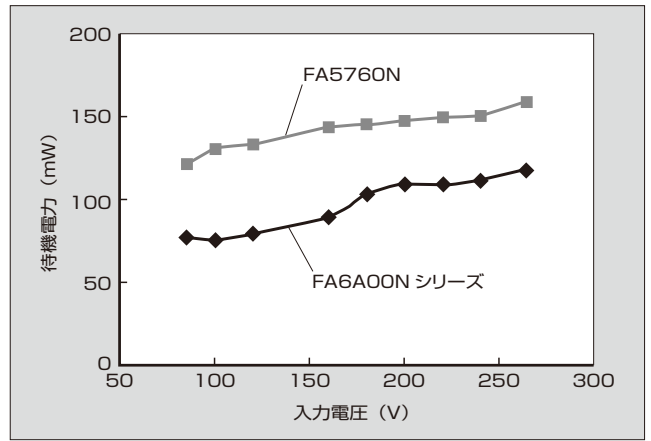


図11 負荷35mW時の待機電力

般的な LLC 電流共振電源は EMI (Electromagnetic Interference) ノイズ除去用のフィルタ、力率改善用の PFC コンバータ、待機コンバータおよび LLC コンバータで構成されている。FA6A00N シリーズの採用により、部品点数を大幅に削減することができるため、低コストの LLC 電流共振電源を構築することが可能になる (表6)。

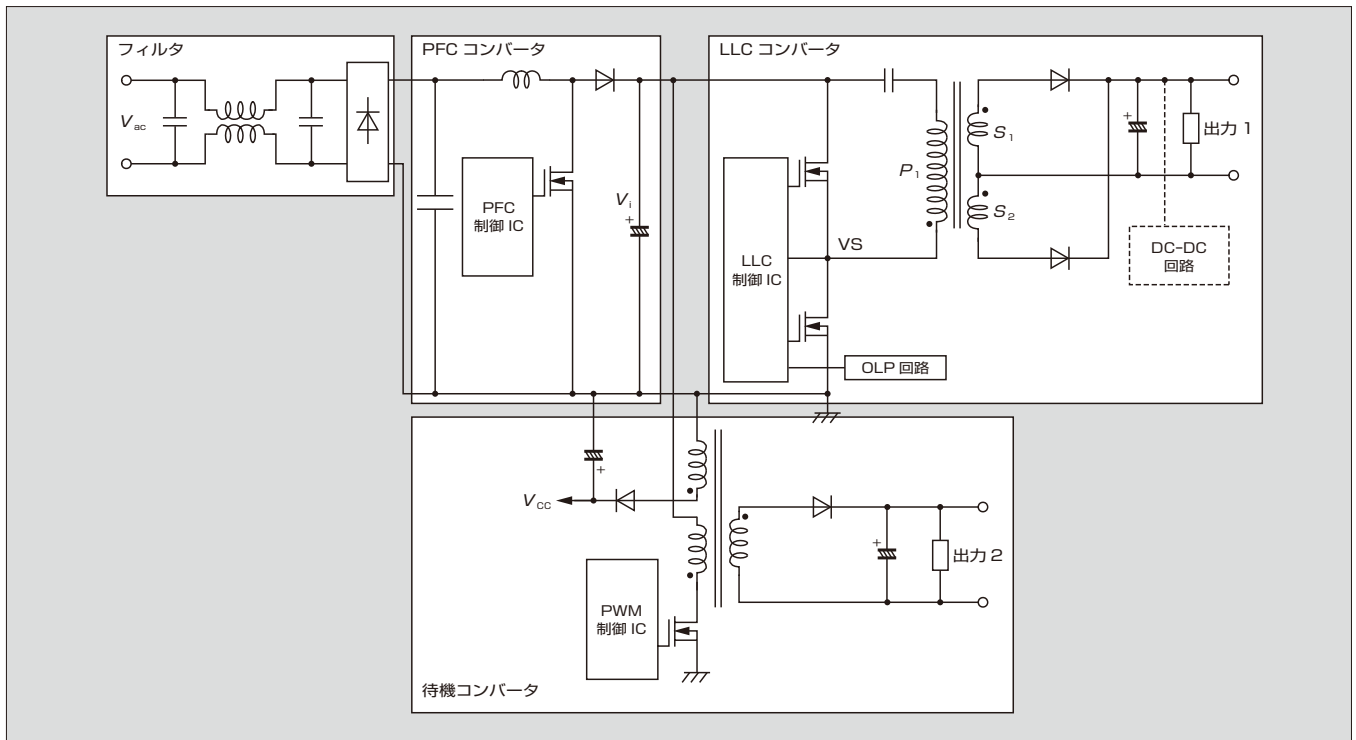


図12 一般的な LLC 電流共振電源の構成

表6 部品点数 (概数) の比較

	フィルタ	PFC コンバータ	待機コンバータ	LLCコンバータ			部品点数合計
				メイン	DC-DC	高精度OLP	
FA5760N	10	30	40	60	不要	10	150
FA6A00N シリーズ	75 W以上	10	30	60	20	不要	120
	75 W未満	10	不要	不要	60	20	不要

5 あとがき

第2世代 LLC 電流共振制御 IC 「FA6A00N シリーズ」について述べた。この IC は第1世代の「FA5760N」の特徴を継承しながら、高精度の過負荷保護機能などで電流共振制御のさらなる進化を成し遂げた。

今後もさらなる高効率化と低ノイズ化を実現する新技術の確立を図り、電源の小型化、薄型化に寄与する電源制御 IC の開発を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 山田谷政幸ほか. LLC電流共振制御IC 「FA5760N」. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.6, p.445-451.
- (2) 陳建. PFC及び待機用コンバータ無しで広入力電圧範囲に対応したLLC共振コンバータ. 第27回スイッチング電源技術シンポジウム. 2012, D2-2.



陳 建

電源 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。



山田谷 政幸

電源 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。工学博士。電気学会会員。



城山 博伸

パワー半導体のフィールドアプリケーションエンジニアに従事。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課長。工学博士。電気学会会員，電子情報通信学会会員。





*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。