

省電力電源装置の開発

佐藤 秀夫

小林 孝弘

電源装置の小型・高効率化は機器の効率化を図る上で大変重要なテーマであり、スイッチング電源装置はその目的に沿って進歩してきた。特に変換効率においてはパワー半導体や回路技術の向上に伴い、格段に向上し、小型化に貢献している。近年は地球環境の問題から機器の待機時の消費電力削減が話題となっている。家電製品においても、待機電力削減が製品の販売を左右するところとなっている。オフィス機器（コンピュータ、ディスプレイ、プリンタ、ファクシミリ、複写機、スキャナ、複合機）においては、日米両政府の合意の下に実施されている省エネルギー基準の国際エネルギー・スタープログラム（ENERGY STAR Program）により、2006年1月以降製造される製品から、一定の省エネルギー基準をクリアした機器に対し、国際エネルギー・スタープログラム（以下エナジースターという）のロゴ表示が認められている。このような背景から、機器の待機時の消費電力削減が極めて重要な状況となっている。本稿では、インパクトプリンタ用に業界初となるアモルファス粉圧コアをスイッチングトランジスに応用した省エネルギー型電源の開発事例を紹介する。

開発方針

省エネルギー（以下省エネという）実現のため、装置側仕様を含め電源としての仕様の無駄を徹底して削減することにし、開発方針を以下の通り設定した。

TIPS【基本用語解説】

エナジースター

- ・アメリカ環境保護局が推進する電機機器の省電力化プログラム
- ・目的：エネルギー消費を効果的に抑えるための機能を備えた製品の開発、普及の促進
- ・対象製品は家電製品、産業機器、コンピュータ等
- ・インパクトプリンタの待機時入力電力は5.74W以下に規制

- ① 地球環境対応…省エネ化、有害物質の排除
- ② エナジースター・クリア
- ③ 変換効率の向上（特に待機時の変換効率の向上）
- ④ 徹底した仕様のスリム化
- ⑤ 従来回路方式にとらわれない電源回路
- ⑥ フェライトに代わる新素材コアの採用
- ⑦ 特許調査（抵触の防止）

目標仕様

エナジースター・クリアと共に容積・コスト1/2化を目標とし、仕様を以下の通り設定した。

① エナジースター・クリア

13W⇒5.74W以下（目標値：5W以下）

② 変換効率：定格時10%UP 待機時20%UP

定格時：73%⇒83%以上

待機時：35%⇒55%以上

③ 部品点数：1/2化

159点⇒80点以下

エナジースター・クリアのためには電源部の変換効率向上対策が必要であるが、プリンタ全体での消費電力削減が最重要である。図1にヘッド、制御回路、電源部の削減目標値を示す。

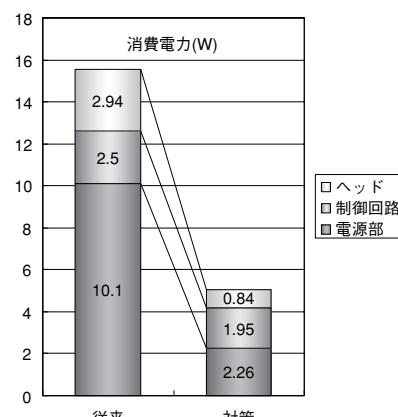


図1 待機電力削減目標値

目標達成のための具体的施策

目標達成のための具体的施策を次の通り設定した。

(1) プリンタの消費電力削減

① ヘッドの消費電力削減…待機時無負荷化

待機時のヘッドの励磁電流による消費量が大きいため、待機時に回路遮断または待機モードに負荷設定を行う。

② 回路の消費電力削減…待機負荷制御

制御回路の省電力化を図ると共に待機モードの負荷設定を行う。

③ ソフトウェア

ソフトウェアによる待機モードの負荷制御を行う。

(2) 電源の変換効率向上

電源の変換効率向上のため、以下の施策を行う。

① 出力チャネル（Ch）数削減

$+42V/+5V/+3.3V/\pm12V$: 5Ch \Rightarrow 2Ch化を行う。

$+3.3V$ については装置側で必要に応じて持ち、 $\pm12V$ はオプションとして常時実装をなくした。

$+42V$: ヘッド、モータ

$+5V$: ロジック、センサ、LED

② スイッチング回路の部品削減

ディスクリート構成からIPD (Intelligent Power Device) を使用する方に変更する。IPDは回路ロスが少ないので待機電力削減に効果がある。

③ ヘッド出力回路の過電流保護方法の簡素化

従来方式である2次側積分 ($\int V \cdot T$) 検出「へ」の字垂下から「フ」の字垂下に変更する。従来はヘッド出力を維持するため、出力の電圧 (V) \times 電流 (I) \times 時間 (T) 特性を“へ”の字特性としていたが、負荷短絡時の過大電流（過負荷）を保護する必要があり、回路が複雑になっていた。負荷短絡時の過負荷を時間で検出し、一定時間以上を異常と検出する方法である。回路を簡素化するため、安全性を確保しながら時間検出をなくした“フ”の字特性とした。図2にダイナミック負荷特性を示す。

ただし、この場合はヘッド出力をより維持しなければならないため、出力容量を大きくする必要がある。そこで平均出力容量を大きくすることなく最大出力のみ大きくすることを検討した。瞬時出力電流を保証する電源の容量を1/2にできる。図3に従来との負荷特性の比較を示す。

従来方式では、B \Rightarrow C点で積分検出し電圧変動範囲の下限値一杯まで出力を保持する。C \Rightarrow D点では出力の垂下状態が拡大する。D点で出力低下を異常検知し出力を遮断する。

対策ではD点まで出力を保持しD点到達点で出力を遮断する。

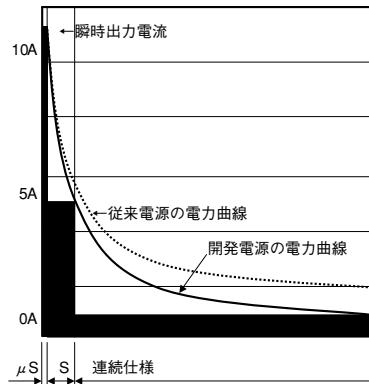


図2 ダイナミック負荷特性

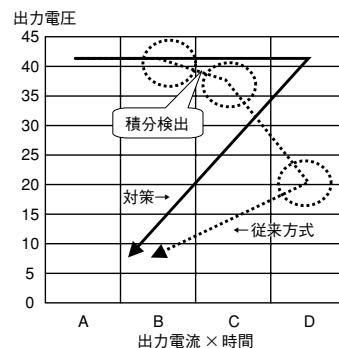


図3 負荷特性比較

④ 2次側制御素子の省エネ

マルチチャネルの $+5V$ 出力回路は、従来3端子レギュレータなどによるドロップ方式を用いることが多かったが、ロスが大きい欠点があった。そこで効率の良い降圧チョップ方式を採用することにした。さらに、1チップ化し回路の簡素化も図ることとした。

⑤ スイッチングトランジストのコアロス削減

スイッチングトランジストにダイナミック負荷に対応できる飽和磁束密度の大きいコアを採用するにあたり、コア材にアモルファスを使うことを検討した。しかし、従来の結晶構造のアモルファスは加工し難く、その殆どがリボン型であり、スイッチングトランジストのE型への応用例はなかった。そのため、我々は業界初となる粉体アモルファスを使うこととした。粉体アモルファスは結晶構造を持たない合金で、最大磁束密度が高くエネルギー損失が少ないので、ダイナミック負荷に効果大、また、低保磁力のためヒステリシス損が小さく、コアロスが少ないので待機時の電力削減に効果大と考えた。粉体アモルファスの特徴は以降に記す。

⑥ ノイズ抑制回路の最適化

EMC対応などのノイズ抑制のための過剰な抑制回路（ス

ナバ) は変換効率を悪化させる要因になるため、最適化を求めた。

⑦ ブリーダ抵抗の削除

マルチチャネル出力の主回路 (+42V) は副回路 (+5V) の出力を補償するため、一定量の出力容量が必要でありブリーダ抵抗を挿入する例が多いが、変換効率を悪化させる要因である。そこでブリーダ抵抗を削除することを検討した。

(3) 小型・薄型化

形状について、可能な限り薄型化を図ることとした。

基板上の部品高さを42mmから20mmまで薄くする。薄くすることで放熱が難しくなるが、効率を上げることにより達成することとした。

(4) 有害物質排除

有害物質排除については、RoHS対応とした。

図4に開発電源のブロック図を示す。整流・平滑部に倍電圧整流方式を採用し、100V/200V入力の兼用化を図った。ただし、中国向けについては200V専用とした。DC/DCコンバータ部は“フ”の字垂下特性を持った1チップのモジュール(IPD)を採用し、部品削減を図った。スイッチングトランジスタに業界初となるアモルファス粉圧コアを応用し、小型・高効率化を図った。+5V出力回路は高効率化を優先し、降圧チョッパ方式を採用した。

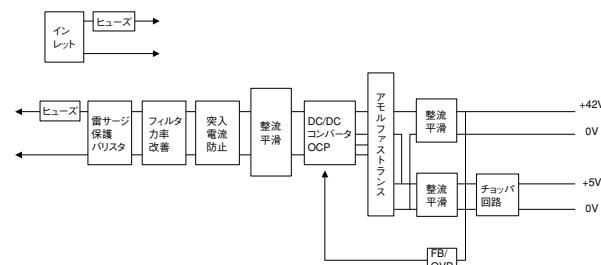


図4 ブロック図

粉体アモルファスの特徴

粉体アモルファスは1999年に崇城大学のエネルギー工レクトロニクス研究会から発表され、当社は、2002年同研究会から粉圧コアの紹介を受けた。2004年に粉体の量産化が可能となり、E型コアの加工技術が確立された。開発を進めるにあたり、コア成型メーカーと共同でスイッチングトランジスタ用E型コアの開発を進めることとした。

従来、圧粉成型アモルファスのリングコアはあったが、E型のオープンタイプは当社とコア成型メーカーで共同開発をスタートさせた。

圧粉成型アモルファスの効果(特性)

圧粉成型アモルファスの大きな効果(特性)は以下の通りである。表1にフェライトとの比較を示す。

① 飽和磁束密度が大きい

磁気飽和し難いため、瞬時出力を大きく必要とするダイナミック負荷前提のプリントに効果が大きい。

② コアロスが少ない

低保持力のためヒステリシス損が小さく、コアロスが少ないため、エナジースター対応に効果が大きい。

③ 小型化、薄型化が可能

同性能であれば、コアの高さはフェライトの1/2

④ フェライトの代替が可能

圧粉成型のため、成型加工が容易である。

表1 粉体アモルファスの特徴^{1) 2)}

| 項目 | フェライト | 粉体アモルファス | 特徴 | フェライト比 |
|----------|------------------------|---|--|--------------|
| 主材料 | Fe | Fe ₂ Si ₂ B ₂ (or Al) 鉄、珪素、 ボロン またはアルミニウム | 粉体で結晶構造を持たない合金であるため、電子の移動が容易なため、磁性の強度を示す最大磁束密度が他の合金よりも高く、エネルギー損失も少ない | 体積あたりのコスト約2倍 |
| 飽和磁束密度 | 4.9KGauss | 10.4KGauss | 飽和磁束密度が大きいため、磁気飽和し難い | 2倍以上 |
| 瞬時出力電力 | 47W/mm ³ | 108W/mm ³ | 瞬時出力が大きい⇒SIDM:定格の10~20倍(Duty:30%) | 2倍以上 |
| 最大出力電力 | 14W/mm ³ | 39W/mm ³ | 体積あたりの最大出力電力が大NIP、メカトロ系:定格の3~4倍/汎用ダイナミック負荷電源:2倍 | 3倍以上 |
| 定格出力電力 | 4W/mm ³ | 11W/mm ³ | 体積あたりの定格出力電力が大 | 2倍以上 |
| コアロス | 2,500KW/m ³ | 570KW/m ³ | 低保持力のためヒステリシス損が小さく、コア発熱少 | 1/2以下 |
| 使用温度範囲 | 120°C | 150°C | 結晶化温度が高いため、高温で使用可能 | 25%UP |
| 大きさW×D×H | 10×35×42 | 10×27×20 | 同性能であれば、高さ低い | 1/2以下 |
| 重さ | 52g | 25g | 同性能であれば、軽い | 1/2以下 |
| 成形法 | 粉体焼結 | 圧粉成形 | 従来は管帶(結晶構造)であったが、粉体の圧粉成形が可能になったことで、フェライトの代替が可能となった | — |

アモルファス粉圧コアのコストは現状フェライトの約2倍となるが、同性能であれば体積は1/2でコストはイーブンに抑えられる。また、小型になるため巻線の使用量も少なくなり、相対コストは小さくできる。

省エネ効果

省エネ効果の最大の要因は、スイッチングトランジスタにアモルファス粉圧コアを使ったことであるが、装置全体として従来方式にとらわれず、徹底して仕様のスリム化を考え、無駄を取り除いたことでもあった。また、制御用IPDがアモルファストラnsコンバータに適した制御方法でもあった。

仕様(回路)のスリム化+アモルファストラns+IPDの相乗効果が目標仕様を達成することとなった。

待機電力削減による省エネ効果は次の通り。

ただし、プリンタは8h通電を前提とし、待機モードの稼動時間を75%とする。

1台当たりの待機電力の削減量：13-5=8 (W)

1カ月の稼動時間：8h×20日=160 (h)

1カ月の待機時の稼動時間：160h×0.75=120 (h)

とすると、プリンタ1台あたりの年間削減量は、

8 (W) ×120 (h) ×12カ月=11.5KWh/年となり、

年間稼動台数を150K台とすると、1,728,000KWh/年の省エネ効果となる。

開発成果

アモルファス粉圧コアの効果により、目標とした施策についてはほぼ達成できた。プリンタとしての開発成果を表2に示す。

表2 開発成果

| 基本仕様 | 従来プリンタ | 開発プリンタ | 効果 | 記事 |
|---------|---|--|--|----|
| 装置全体 | 外形寸法 465(W)×343(D)×235(H) | 425(W)×305(D)×200(H) | 69.2% | |
| 装置重量 | 約12Kg | 約9.7Kg | 80.8% | |
| 印字ヘッド仕様 | 24ピン(擬似ダイヤ) | 24ピン(擬似ダイヤ) | - | |
| 印字速度 | 漢字 通常 60cps 漢字 高速 120cps ANK 通常 90cps ANK 高速 180cps ANK 3倍速 220cps | 55cps 110cps 82.5cps 165cps 247.5cps | 91.7% 91.7% 91.7% 91.7% 112.5% | |
| 電源部 | 最大外形寸法 148(W)×258.5(D)×55(H) 容積 2.10 | 90(W)×180(D)×30(H) 0.48 | 22.9% 出力の2ch化効果 1チップモジュールの採用効果 「フ」の字垂下方式の採用効果 アモルファスコア採用効果 | |
| | 重量 1.0Kg以下 | 0.5Kg以下 | 50.0% | |
| 定格出力容量 | 58.92VA | 61.3VA | - | |
| 最大出力容量 | 691.63VA デューティ 200 μ S/674 μ S(29.7%) | 584.6VA 250 μ S/850 μ S(29.4%) | 84.5% - | |
| 出力ch数 | 5ch(40V,3.3V,5V,±12V) | 2ch(42V,5V) | -3ch | |
| 過電流保護方式 | 「へ」の字垂下方式 ヘッド回路 電流×時間積による検出 | 「フ」の字垂下方式 | 安全性up アモルファスコア +チップモジュール採用効果 | |
| 待機時消費電力 | 13W以下 | 5.1W以下 | 省エネ アモルファスコア効果 | |
| 効率 定格時 | 75%以上 | 87%以上(目標値:85%以上) | 省エネ アモルファスコア効果 | |
| 待機時 | - | 59%以上(目標値:55%以上) | | |
| 高調波電流 | クラスD | クラスA | 効率チップ 削除 規制緩和効果 | |
| 入力整流方式 | 全波整流 入力電圧 AC220V専用 | 倍電圧整流 AC100V/220V | 兼用化 ショート線切替 | |
| ノイズ規格 | | | | |
| 部品点数 | 159点 | 83点 | 52.2% 出力の2ch化効果 1チップモジュールの採用効果 「フ」の字垂下方式の採用効果 | |

- 待機電力については、従来比61%減の5.1Wでエナジースターの5.74Wをクリアできた。
- 変換効率については、待機時24%UPの59%で目標の20%UPを達成、定格時14%UPの87%で目標の10%UPを達成できた。
- 部品点数については、83点で△47.8%となり、目標の1/2化をほぼ達成できた。
- 容積については、△77%の480mLとなり、大幅に小型化が図れた。また、高さについては42mm⇒20mmと

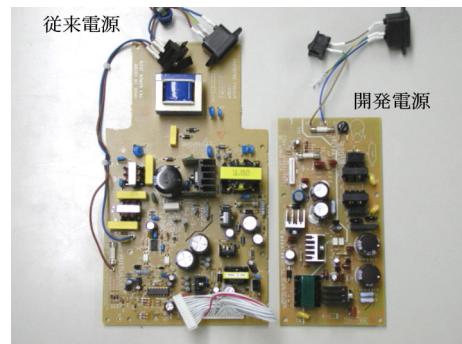


写真1 スイッチングトランジスタ

なり、1/2化が達成できた。

- コストについては、36%減に留まり、目標の40%減を達成できなかったため、今後の課題となった。

写真1の丸印部がスイッチングトランジスタである。

今後の展開

省エネ対応にアモルファス粉圧コアが効果的であることがわかった。今後水平展開し、省エネ型電源に応用していく。特に磁気特性の優位性からダイナミック負荷/省エネ型電源への応用範囲が広がると考える。

アモルファス粉圧コアの特性、制御方式をさらに研究し、更なる小型・高効率・省エネを目指す。

当社はDSPを応用したデジタル制御電源の開発を進めているが、アモルファス粉圧コアを応用し、小型化したコンバータモジュールと組み合わせることにより、制御をデジタル化し、さらに付加価値を創造していく。

まとめ

アモルファス材を採用することは、従来からコスト面でタブー視されていたが、その効果を十分に活用することによりコストのデメリットは解消されると考える。粉体アモルファスの応用範囲はさらに広がるものと確信している。



参考文献

- 「粉末アモルファスの特徴」古河電子株式会社
- 「アモルファス粉圧・コア」古河電子株式会社

筆者紹介

佐藤秀夫：Hideo Sato. 沖パワーテック株式会社 取締役技術企画部長

小林孝弘：Takahiro Kobayashi. 沖パワーテック株式会社 技術企画課