

ノイズ低減スイッチング電源の 教材開発

東北ポリテクカレッジ 生産電子システム技術科 奈須野 裕・大内 二郎*
(東北職業能力開発大学校)

1. はじめに

近年のコンピュータ社会において、駆動するための電源は電子機器を取り扱ううえで最も必要な装置である。この電源は家電製品や情報通信機器の小型化、高性能化の要求に応じ、電源サイズも小型軽量化、効率化が叫ばれこれに適応した、スイッチング電源が急速に普及してきている。

しかしスイッチング電源の小型軽量化には、動作周波数の向上が効果的であるが、スイッチング素子が数十～数百kHzの高周波で、オン・オフ動作を繰り返すため、スイッチングノイズの発生源となり、伝導ノイズや放射のノイズとして外部に伝搬し電磁妨害を与える恐れが懸念されている。

今回、以前から実装設計・製作実習が行われていたスイッチング電源回路をSpice (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) による回路解析とEMC (Electro Magnetic Compatibility = 電磁環境両立性) の観点から設計を一部見直し、EMIを考慮した回路設計を行い検証した。以前の実装設計製作実習で製作した電源装置より、ノイズを低減して製品化を目指したスイッチング電源 (以下SW電源) の教材開発について報告する。

2. スwitchング電源設計概要

2.1 目的と概要

SW電源とはスイッチング方式によって制御された直流安定化電源の一種で、商用交流電源または直流電源を入力とし、これを半導体の高速スイッチング作用を利用して、可聴周波数以上の高周波電力に変換し、制御・整流して所定の直流を得るもので、小型・軽量で高効率を特徴とし情報機器や通信機器をはじめほとんどの電子機器の電源として使用されている¹⁾。

今回設計および製作を行ったSW電源は、降圧型スイッチングレギュレータのICを使った降圧型スイッチングレギュレータである。学生はSW電源を製作するに当たっての仕様決定や安全基準やプリント基板製作での留意点などについて設計・製作を通して学ぶことができる。また、SpiceによりSW電源回路の必要な各部シミュレーションを行い、学生が製作後の測定を理解しやすいように実習順序を組み立てた。また、実装設計製作実習で製作した電源装置のプリント基板をさらに改善しノイズ対策を施し、製品化にも対応できるように改良を試みた²⁾。

2.2 仕様と設計

SW電源はスイッチング周波数が高いほど、受動素子の小型化と高速応答が可能になる。軽負荷時にスイッチング周波数を下げて、スイッチング損失を減らし待機電力を減らす制御も行われるようになって

*非常勤講師

きている。また、負荷素子の電圧の多様化に伴い、多種類の電圧を同時に出力する集積回路も使用されている。

・入力・出力仕様

今回のSW電源はトランスにより100Vの商用電源を18Vに落としたものがDC～DCコンバータ部の入力部に加わる。出力電圧は12V/5V，出力電流は1Aの仕様とする。

・回路・コントロールICの決定

回路方式としては18V入力から12V/5Vを出力するので降圧コンバータとなる。コントロールICに必要な特性は、出力電流が1Aなので出力電流1A保証のものとし、出力電圧が12Vと5Vの可変式なので可変電圧タイプのICを選ぶ。

・周波数 f の決定

今回選定した降圧型電圧レギュレータは52kHzの固定周波数発振器内蔵なのでスイッチング周波数は52kHzになる。

・MTBFの計算

電子機器を使用していて故障した場合は故障を修理して使用するが、故障するまでの平均時間間隔をMTBF (mean time between failures) と呼んで信頼度の尺度としている。MTBFは総動作時間とその時間中に発生した故障の総数で割った値である。電子機器のように多数の電子部品から構成されている装置の故障の分布は、統計学で指数分布と呼ばれる分布に近い場合が多く、理論的には指数分布と仮定して計算が行われる。

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{K(\sum n \cdot \lambda)}$$

λ：故障率

K：環境係数

n：部品の数

環境係数Kは工場現場で使用することを仮定しK = 6としている。

$$MTBF = \frac{1}{K(\sum n\lambda)}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{10 \times 10^9}{6 \times 732} \\ &= 1366120.2 \end{aligned}$$

この結果、今回のSW電源MTBFは100万時間以上となり仕様を満足している。また、製作した電源を5時間使って100台中の信頼度を求める。

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}} = e^{-\frac{5}{1366120}} = 0.99$$

よってこの計算から今回の電源は故障する可能性がある電源は0台となる。

3. Spiceシミュレーションによる回路確認

今回、設計したSW電源の各部のシミュレーションをSpiceにより解析を行い回路動作を確認するとともに回路の理解、検証に役だてる。解析を行った回路シミュレーションについて、その一部を報告する。

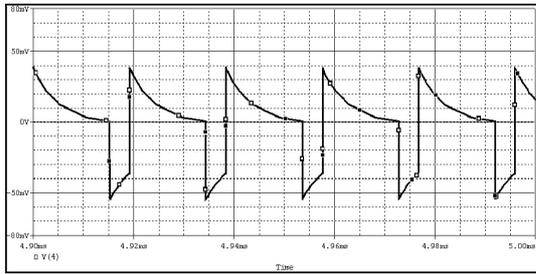
3.1 ラインフィルターのシミュレーション

SW電源では、ICが高速でスイッチングするため、外部に漏れるノイズ電圧が発生する。コモンモードコイルやコンデンサを用いてノイズを吸収するが、すべてはなくなる。そのため、XコンやYコンなどのLineFilterを入力部に配置して、回路から発生するノイズが外部に漏れるのを抑制する。

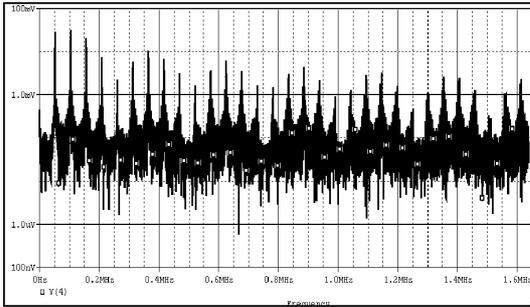
図1はLineFilterなしのときのノイズ測定端子の電圧波形と、スペクトラム波形である。電圧の立ち上がり鋭い微分波形になっており、スペクトラムで見るとノイズが全領域で発生している。図2はLineFilterを入れたときのノイズ測定端子の電圧波形とスペクトラム波形である。立ち上がり電圧波形が積分波形になり、ノイズレベルが全帯域で減少し、フィルターの効果がわかる。

3.2 制御回路部のシミュレーション

今回設計したSW電源のスイッチングIC部の、帰還制御レギュレータ周辺の回路図の一部を図3に示す。また、図4はこの回路から帰還制御を除いたSpiceモデル作成コマンドである。入力電圧25Vで、SW周波

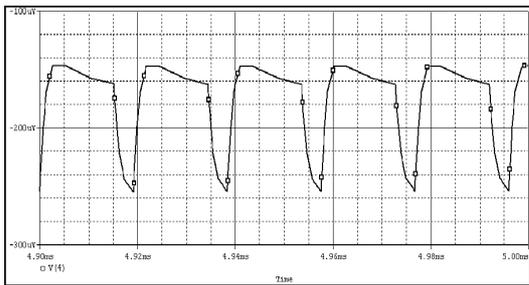


(a) 電圧波形

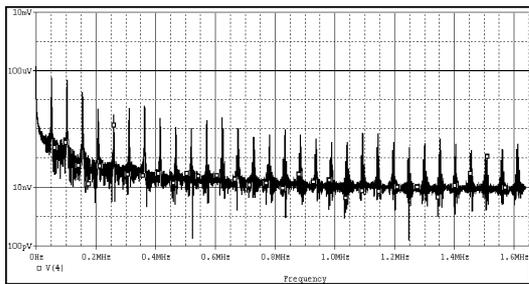


(b) スペクトラム波形

図1 LineFilterなしのノイズ測定端子の電圧、
スペクトラム波形



(a) 電圧波形



(b) スペクトラム波形

図2 LineFilterありのノイズ測定端子の電圧、
スペクトラム波形

数は52kHzであり、ターンオン時間 $9 \mu\text{S}$ 、ターンオフ時間 $10.2 \mu\text{S}$ となり、約12Vを出力している。

図5は、過度状態が落ち着いた4.0msからの降圧型SW電源の帰還制御なしのときL2インダクタンスに発生する電圧と電流波形を表示している。回路製作後に帰還制御をかけた実験結果とこの部分の電圧波

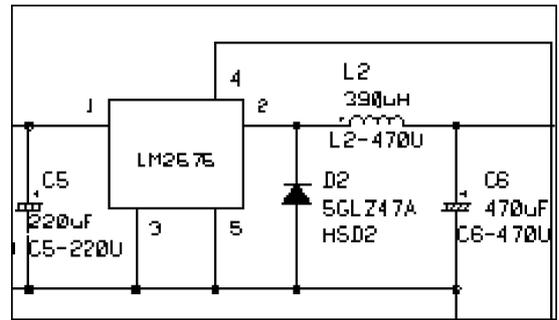


図3 スイッチング帰還制御レギュレータ部

```
*Buck Converter
tran 0.01u 5000u
Win 10 25
S1 2 1 3 1 psw
vd 3 1 pulse(0 5 0 0.1u 0.1u 9u 19.2u)
df 0 2 dmod
L1 2 4 390uh
c1 4 0 470u
RL 4 0 12

.model dmod d()
.model psw vswitch()
.probe v(4) v(2) v(3,1) i(11) i(df) i(RL)
.end
```

図4 Spiceモデルの作成コマンド

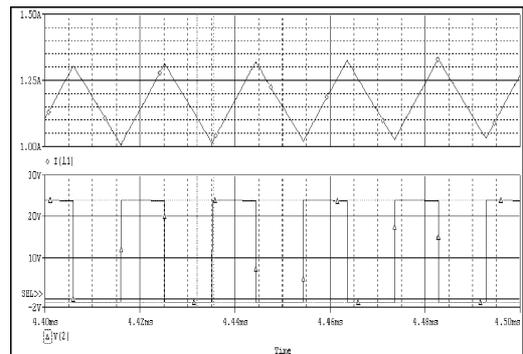


図5 スイッチングレギュレータ解析波形

形をシミュレーションした解析結果と比較を行い確認している。

4. プリントパターン設計と測定評価

製品化できるようなSW電源装置を目指し、各分野で安全規格を満たすような設計を行った¹⁾。例えばプリントパターンの設計においてもAC150V以下の絶縁距離 (IEC950規格) として沿面距離、空間距離に注意した。時にノイズの発生しやすい図3の IC1

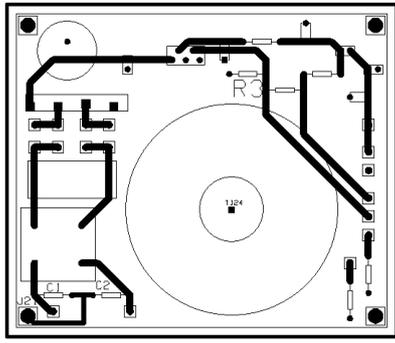


図6 ベタランドを使用したプリント基板

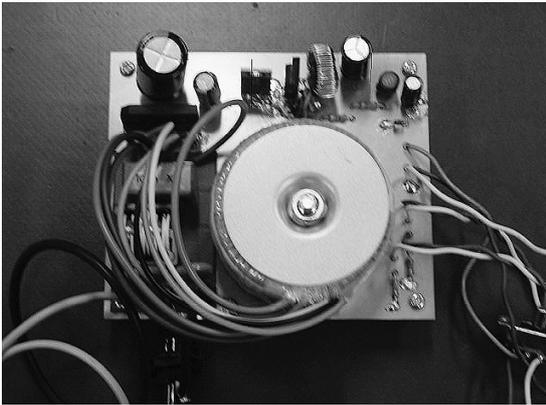


写真1 実装したプリント基板

(LM2575-ADJ), C4 (2200 μ F), C5 (220 μ F), C6 (470 μ F), D2 (5GLZ47A), L2 (470 μ H) の部分ループの面積を狭くしている。

今回さらに雑音端子試験にも配慮し、裏面を全面ベタにしたノイズ抑制プリントCAD基板を図6に示す。写真1はプリント基板に各部品を実装した写真でありベタランドであることがわかる。

次に製作したSW電源実装設計製作の試作評価の主な項目を下記に示す。

- (1) 回路動作および効率と波形の確認, 温度測定などを確認した。

表1は今回製作したSW電源の効率を測定した結果であり, 計算すると効率86%となっている。

表1 効率

| | | | |
|----------|------|----------|------|
| 入力電圧[V]* | 25.2 | 入力電流[A]* | 0.55 |
| 出力電圧[V] | 11.9 | 出力電流[A] | 1 |

*トランスを実装していないときのDC-DCコンバーターへ入力

入力電力: $P_{in}=25.2[V] \times 0.55[A]=13.86[W]$

出力電力: $P_{out}=11.9[V] \times 1[A]=11.90[W]$

$$\text{効率: } \eta = \frac{11.90}{13.86} = 0.86$$

$$\therefore 86\%$$

次にSW電源のスイッチングIC段のダイオードに掛かる12V時の電圧動作波形を図7に示す。最大値14.0V, 最小値0.8V, 実効値11.9V, 周期19.6 μ s (オンタイム16.8 μ s, オフタイム2.8 μ s) のパルス波形である。これから出力電圧V2を下式から求めると

$$V2 = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} V1$$

出力電圧V2は12Vとなり設計結果と良く一致することがわかる。

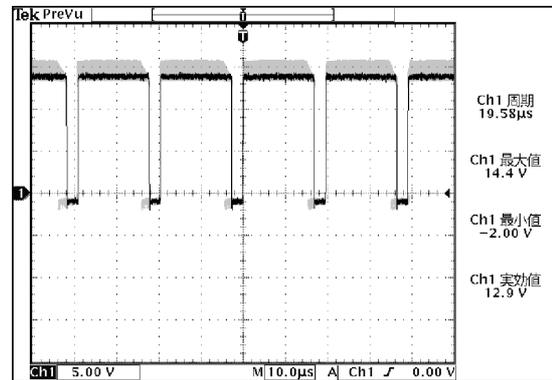


図7 ダイオードのSW電圧動作波形の12V時のパルス波形

- (2) 入力および負荷変動特性 (計測条件: AC100V 入力, 出力12V/1A, および, 5V/1A)

表2は入力変動特性であり, 電源電圧の変動を100Vのプラス・マイナス15%の変動と考えて, 85V~115Vの入力電圧変動に対する出力電圧の変化を表にしている。この結果, 12V時の1Aで入力電圧85Vの場合, 一部出力電圧に変化があるが, 他は十分仕様を満足している。

図8は負荷変動電圧特性である。負荷電流を0Aから1.2Aまで変化させたときの出力電圧を測定している。5V, 12Vとも安定した特性を示していることが理解できる。

- (3) 温度特性試験

今回は時間の関係で短時間しか測定できなかったが, それでもスイッチングICの温度が, 非常に高くなった。このICに対する熱計算からヒートシンクは

表2 入力変動特性実験結果

| | | 入力電圧 [V] | | |
|------|----------|----------|-------|-------|
| | | 85 | 100 | 115 |
| モード | 出力電流 [A] | 出力電圧 [V] | | |
| 5V時 | 0 | 5.28 | 5.28 | 5.29 |
| | 1 | 5.11 | 5.13 | 5.12 |
| 12V時 | 0 | 12.12 | 12.14 | 12.15 |
| | 1 | 9.78 | 11.86 | 11.87 |

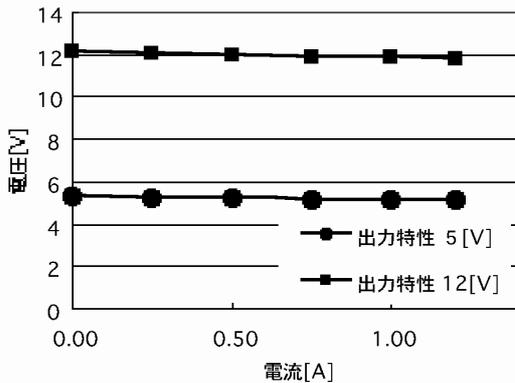


図8 負荷変動電圧特性

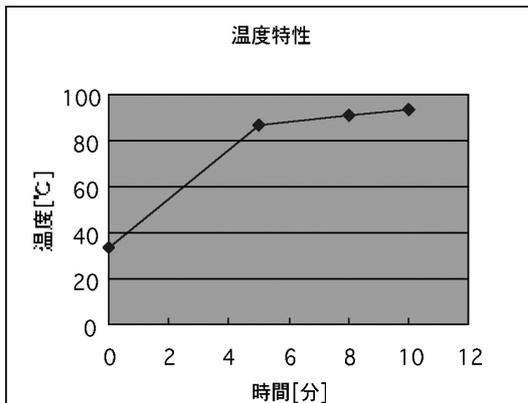


図9 温度特性試験

不要としたが問題が残り、改善の必要性がある。

図9はこの温度特性図である。温度特性試験は出力電圧5V、出力電流0.5A、初期温度33℃として行った。

- (4) EMI特性（計測条件：入力電圧AC100V、出力12V/1A）LISNを用いスペアナで雑音端子電圧の測定を行う。

雑音端子試験は、被試験装置の電源端子に誘起される高周波の妨害波電圧（ノイズ）を、擬似電源回路網を併用して測定する。今回ノイズを測定するための方法はこの雑音端子試験である。

写真2は、今回行った雑音端子試験装置である。

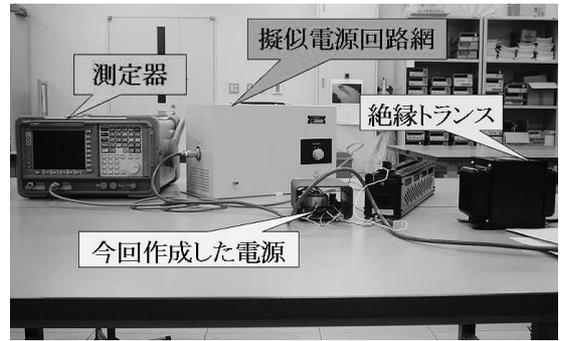


写真2 雑音端子試験装置

測定はあらかじめ指定された周波数帯域について、最も大きな妨害波レベルをスペクトラムアナライザの画面表示から選択し、この妨害波の周波数とレベルを測定する。

図10は旧SW電源の雑音端子試験結果である。規定値は満足しているが、全般的にノイズが多い。図11は雑音端子試験を考慮したもので、旧SW電源に比べ、ノイズが低減させていることがわかる。これは先のシミュレーション結果からもわかるように、追加したACラインフィルタとXコン、Yコンによるノイズ除去効果によるものと考えられる。

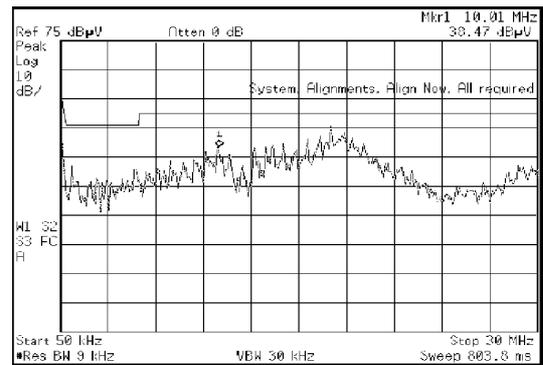


図10 旧SW電源雑端試験結果

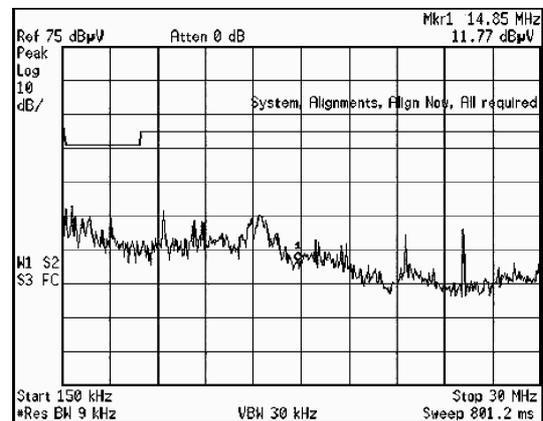


図11 新SW電源雑端試験結果

今回ノイズ対策のための学習を進めていくなかで、周辺機器にノイズが多大な悪影響を及ぼすため、ノイズ対策はとても重要なものであるということが改めて実感できた。また、グラウンドを強化するという簡単なことでもノイズを減らすことができるということを検討することができた。

5. おわりに

昨年度まで製作したSW電源を改良して、EMCの基準に基づく回路設計・製作を追加、雑音端子電圧やスイッチングノイズを低減することができた。また、これまで学んだSW電源装置の概論、仕様に基づく設計方法とSPICEによるシミュレーション手法により、実習では確認が難しい回路各部の電流波形などを確認しながら実装設計・製作課題に組み込むこ

とができた。

今回のSW電源実装設計実習では専用ICを用いた、出力電流1A、電圧は12V/5V切り換えの降圧型スイッチング電源を製作した。この電源は軽くて小さく、効率がよく比較的安価にできる。

しかし発熱を伴い、平滑コンデンサへの突入電流対策など設計の面では、大変複雑であるのが難点である。今後、専用ICの発熱問題や入力変動特性では一部の学生に電源出力が大きく変動したものもあり、対策が不十分である箇所もあり今後の課題もある。

<参考文献>

- 1) 佐藤守男：「スイッチング電源設計入門」, 日刊工業新聞社, P17-20,1998年11月
- 2) 奈須野・大内・工藤：「EMCを考慮したSW電源の実装設計・製作」, 実践教育研究発表会, P79-80,2006年

平成20年3月発行予定の能力開発研究センター調査研究報告書等のご案内①

当センターでは、職業能力開発に関する調査研究を行い、報告書等を発行しております。これらの報告書等は、職業能力開発施設や関係機関等に配布し、事業資料等として活用いただいております。本号では、本年度発行予定の報告書等の概要を紹介致しますので、興味のある方は下記お問い合わせ先までご連絡ください。

お問い合わせ先

職業能力開発総合大学校能力開発研究センター普及促進室

TEL 042-763-9155・9070 FAX 042-763-9048

調査研究報告書

◎ 職業能力開発ニーズの把握とカリキュラムモデルの構築 —機械・金属分野—

概要 本研究は、広範囲の人材ニーズ等を把握することによって、職業能力開発への展開を図る（訓練分野の設定および訓練カリキュラムの設定等）ための基盤データを確保し、業種別、訓練課程別訓練コース開発、効果的な訓練の実施等に資する情報の収集を目的としており、本年度は機械・金属分野を対象に実施しています。

◎ 発達障害者に対する職業訓練ハンドブック

概要 発達障害者はその障害特性から職業生活上困難を伴う場合が少なくなく、雇用支援策としての職業訓練に対する期待が高まっています。そこで、発達障害者支援センター等の関係機関と連携した発達障害者が職業訓練の受講に至るルートの確立および障害に対応した職業訓練指導の在り方に関して調査研究を行い、今後の発達障害者の就職促進に効果的な職業訓練を図ることを目的としています。