

ノイズ・熱の協調解析適用によるスイッチング電源回路基板の最適化

Co-design and analysis practice to optimize switching voltage regulator for power circuit

高橋 成正[†] 東 正登^{††} 庄林 雅了^{††}

[†]株式会社トータス

^{††}近畿職業能力開発大学校

1. はじめに

電源等のパワー回路基板の従来設計において、シミュレーション等による解析が十分に適用されていないと、熱やノイズであるサージ、放射ノイズ特性などが決められた値に入らず開発スケジュール、予算に大きな影響を及ぼすことになる。本稿では産学連携の共同研究テーマとして、ノイズ解析モデリングが殆ど適用されていないトランスを用いたフォワード型スイッチング電源をモチーフに、パターン設計・電源評価基板製作、電圧および電流の実測波形、近傍ノイズ、基板温度分布の測定結果から対策方法を考察検討した。

2. スwitchング電源回路基板とノイズ源

図1に解析対象の電源回路概略を示す。入力電圧 DC 100V を巻き線比 100:32 のトランスで 32V に降圧、パルス波の出力電圧を電源 IC を用いて L1 と C で平滑し、出力電圧 DC 12V を負荷側に供給する。出力電圧は制御回路にフィードバック、ErrorAmp で比較し、パルス幅変調により一定の電圧を出力する。^[1] 図2に回路図は同じでパターン設計が異なる二種類の評価用電源基板を示す。電源基板-A は基板サイズが大きく、部品間の接続は全て数 mm の細いラインを使用した。一方、電源基板-B は細長いパターンを無くし、基板サイズも小さくし、大電流が流れる箇所はベタパターンを適用した。電源基板-A は2層、電源基板-B は4層で、両基板とも厚みは 1.6mm である。昨年発表の論文ではトランス T1 の漏れインダクタンスと D1, D2 の静電容量が共振によるノイズについて考察した。^[2] ノイズ発生源①が対象である。本稿では、ノイズ発生源②の 12V 電源ラインに着目した。12V は電源 IC に供給され、内部のトランジスタを介して、トランス T2 を駆動する。その際にインダクタに流れる電流変化分に相当するサージ電圧の実測波形を図3に示す。ピーク電圧は 68V に達し、電源 IC の定格を超えていた。また、6 MHz の近傍界ノイズも基板全体に広がっていた。

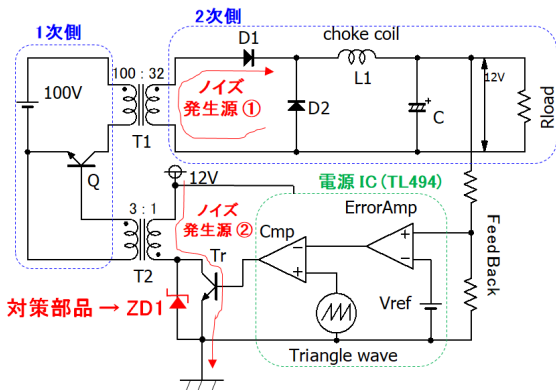


図1 フォワード型スイッチング電源回路の概略図

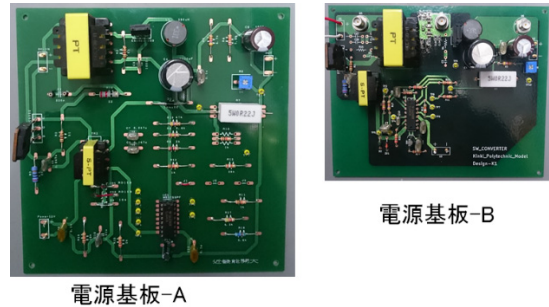


図2 評価用の電源基板二種

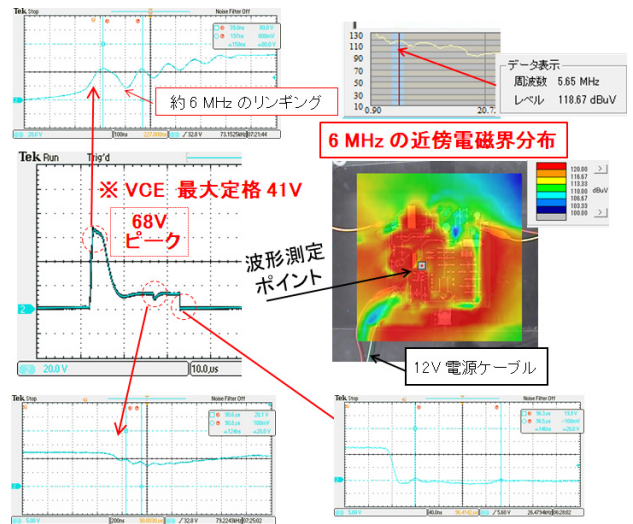


図3 電源基板-Aのノイズ測定結果サマリ

3. ノイズ対策(1)

サージ電圧抑制のため、対策部品としてツェナーダイオード (ZD1) を追加した。サージ電圧が降伏電圧以上になると ZD1 がオンし、ピーク電圧は約 30V に改善した。

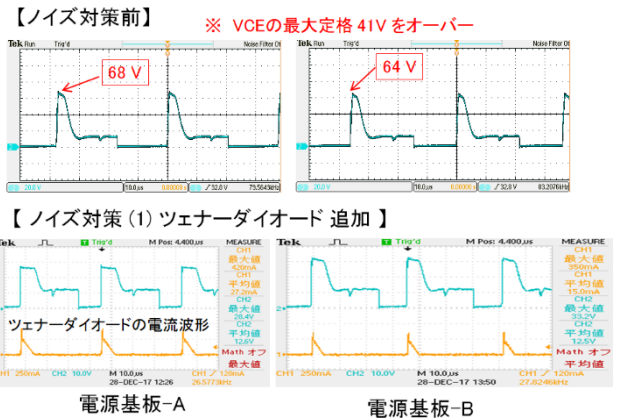


図4 ノイズ対策(1)前後の比較：ツェナーダイオード追加

スイッチング時に ZD1 に流れるサージランプ電流による基板の温度分布を図5に示す。両基板とも熱のホットスポットは二箇所あるが、左下側は ZD1 による発熱である。上側は、出力電圧用スイッチングダイオード D1, D2 である。電源基板-A では細い電源ラインによる配線のため、十分な放熱ができず最高温度は約 130℃ になっている。(ZD1 最大定格 $T_j = 175^\circ\text{C}$) 電源基板-B はベタプレーンがヒートシンクとして機能し、約 60℃ におさまっている。

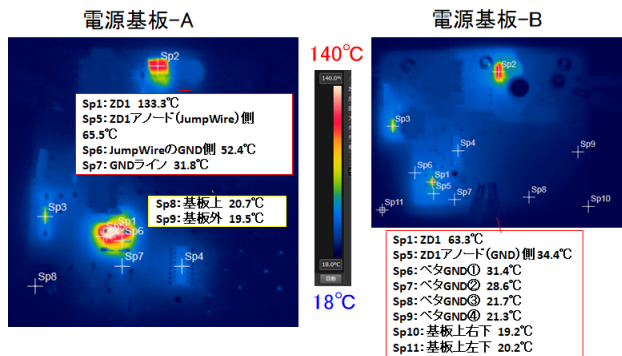


図 5 ノイズ対策(1) 適用後の電源基板温度分布

4. ノイズ対策(2)

ノーマルモードノイズ対策として、12V 電源の電圧変動を抑制するために、12V - GND 間に 330uF を追加した。ノイズ対策(1) も適用している。図 6 の測定結果に示すとおり 12V 電源の変化電流が小さくなり、電圧変動も改善された。基板間での大きな違いはみられなかった。また、基板温度分布は図 5 の測定結果とほぼ同じであった。

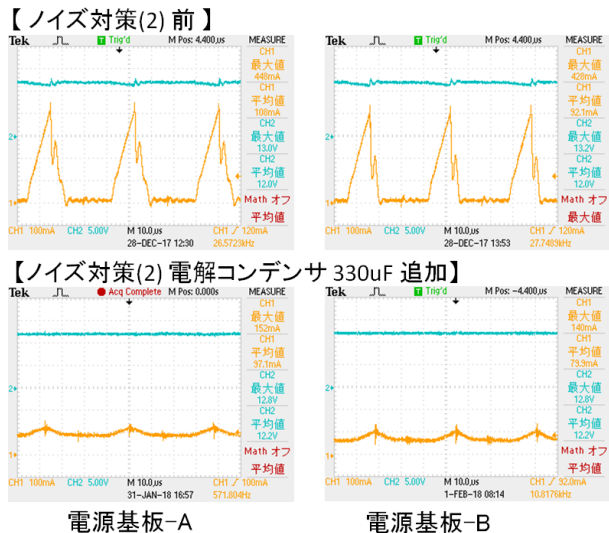


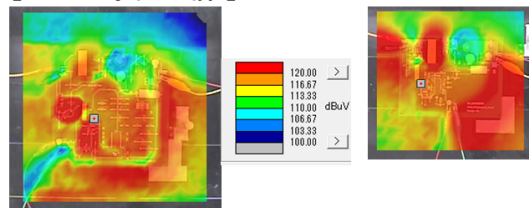
図 6 ノイズ対策(2)前後の比較: 電解コンデンサ 330uF 追加

5. ノイズ対策(3)

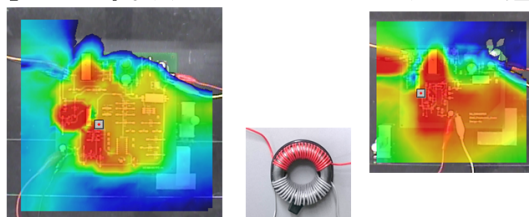
コモンモードノイズ対策として、12V 電源からの放射ノイズを抑制するために、12V - GND 間にコモンモードチョークコイルを追加した。図 7 の対策前の測定結果は、ノイズ対策(2) 電解コンデンサ 330uF を追加しているが、6 MHz での近傍界ノイズの改善は小さかったため、対策として

コモンモードチョークコイルを追加した。近傍界分布は図 7 に示すとおりノイズ低減を確認した。対策部品を基板に実装することで、更にノイズ低減が期待できる。一方、基板の温度分布は図 5 とほぼ同じ結果であった。

【ノイズ対策(3)前】



【ノイズ対策(3) コモンモード・チョークコイル 追加】



電源基板-A

電源基板-B

図 7 ノイズ対策(3)前後の近傍界ノイズの比較 6 MHz : コモンモードチョークコイル追加

6. おわりに

モチーフの電源回路基板においてノイズ源となっている部品と基板温度分布の相関を確認した。故に基板上の温度分布が把握できれば、ノイズ源を見極める手がかりに繋がる。特に高電圧などプロービングが難しい電源回路などには有効である。大電流経路の電源パターンはなるべく太い配線パターンで、対のリファレンスになる GND をベタプレーンのレイアウトにすることでノイズを抑制し、放熱効果により基板の温度上昇が回避できることを確認した。但し、トランス部品・フィルタ回路など 1 次・2 次側の分離が必須な場合は、ベタプレーン間のカップリングが最小にしてノイズ伝搬経路を分断するレイアウト設計がポイントになる。

参考文献

[1] 長谷川 彰: “スイッチング・レギュレータ設計ノウハウ”, CQ 出版社, pp. 141-142, 1985
 [2] 松永 喬, 丸山 直輝, 庄林 雅了, 東 正登, 高橋 成正: “実測ベースモデリングによるスイッチング電源のノイズ解析”, 第 31 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 8A4-A, pp. 307-310, 2017

連絡先

連絡先氏名 高橋 成正
 所属機関 株式会社トータス
 技術推進室
 所在地 〒555-0012 大阪市西淀川区御幣島
 2 丁目 18 番 11 号
 電話番号 (06) 6474-8778
 FAX 番号 (06) 6474-8830
 E-mail n.takahashi@totas-kame.co.jp