キャパシタ絶縁による一石スイッチング電源装置

学生員 栗原 さえ子 (東京工芸大学)

正 員 中野 博 民 (東京工芸大学)

正 員 難波 江 章 (東京工芸大学)

Capacitive Isolation Method for Switching Power Supplies with one Main Switching Element Saeko Kurihara, Student Member, Hirokami Nakano, Member, Akira Nabae, Member (Tokyo Institute of Polytechnics)

キーワード：キャパシタ絶縁，一石スイッチング電源，電磁環境問題

1. まえがき

本論文では，スイッチング電源の入出力間をキャパシタで絶縁した，新しい一石のスイッチング電源を提案する。

この絶縁方法の特徴は，従来のトランス絶縁のようにコア及び巻線等の重量物を用いないために，スイッチング電源の小型化が可能である。また，絶縁トランスの磁性材料に起因する鉄損，内部抵抗による損失がないために高周波での損失が小さくなり，それに伴う放熱対策が不要になる。さらに，高周波トランスからの漏れ磁束やサージ電圧などによる電磁誘導ノイズが出ないためEMI規制にも適している⁽¹⁾⁽²⁾。

2. 主回路構成と動作原理

図1に提案する一石のスイッチング電源の主回路構成を示す。スイッチング素子Sとしては，パワーMOSFETを使用している。スイッチング素子Sのゲートには制御パルスが与えられ，その制御パルスにตอบสนองしてオン・オフ動作する。スイッチング素子Sのソース端子には，直流電源

図1 主回路構成

Fig.1 Main circuit configuration

Eのマイナス側が接続され，ドレイン端子には直流電源Eのプラス側がリアクトルL1を介して接続される。リアクトルL1の一方がキャパシタC1に，他方がキャパシタC2に接続される。キャパシタC1とC2によって絶縁障壁が入力側と出力側との間に構成される。

次に，図1に示した一石のスイッチング電源装置の基本的な動作について説明する。キャパシタ絶縁は，トランスによる絶縁とは異なり，入力直流電圧と絶縁キャパシタに蓄えられるキャパシタ電圧Vcの関係によって異なる二つの動作をする。すなわち，絶縁キャパシタに流れるキャパシタ電流Icが連続である連続モードと，不連続である不連続モードとがある。

(1) 連続モード

(2) 不連続モード

図2 動作原理波形

Fig.2 Theoretical waveforms

連続モードは、入力直流電圧 E が絶縁キャパシタに蓄積される最大電圧 $V_{c_{max}}$ よりも大きいときのモードである。このモードでは、キャパシタ電流 I_c は連続な方形波電流となる。

不連続モードは、直流入力電圧 E と最大電圧 $V_{c_{max}}$ が等しくなるときのモードである。このモードでは、直流入力電圧 E とキャパシタ電圧 V_c が等しくなると電位差がなくなるためにキャパシタ電流 I_c は流れなくなる。よってキャパシタ電流 I_c は不連続な電流となる。

図2(1)及び図2(2)は、それぞれ連続モード、不連続モードの動作原理波形である。連続モードにおいてスイッチング素子 S がオンしたときは、絶縁キャパシタには正のキャパシタ電流 I_c が流れる。スイッチング素子 S がオフしたときは、絶縁キャパシタには負のキャパシタ電流 I_c が流れる。よって、キャパシタ電流 I_c は方形波電流になる。不連続モードにおいてスイッチング素子 S がオンしたとき、絶縁キャパシタにはキャパシタ電圧 V_c が入力直流電圧 E に等しくなるまで正のキャパシタ電流 I_c が流れるが、等しくなるとキャパシタ電流 I_c は流れない。スイッチング素子 S がオフしたときは、絶縁キャパシタには負のキャパシタ電流 I_c が流れる。よって、キャパシタ電流 I_c は不連続な波形となる。ここで、正と負のキャパシタ電流 I_c の和は零であり、直流成分は存在しない。

3. 実験結果

本提案回路の有用性を検証するため、以下の条件で実験を行った。

絶縁キャパシタ C_1 、 C_2 は47nF、スイッチング周波数は100kHz、入力直流電圧は10Vとした。

次に、出力直流電流を50mAとしたときの絶縁キャパシタ C_1 のキャパシタ電圧 V_{c1} 、キャパシタ電流 I_c の実験波形を図3(1)に、出力直流電流を400mAとしたときの実験波形を図3(2)に示す。

図3 実験波形

Fig.3 Experimental waveforms

図3(1)、図3(2)のキャパシタ電圧波形 V_{c1} 、キャパシタ電流波形 I_c ともに動作原理波形とよく一致し

ている。これより、連続モード、不連続モードが確かに存在すること、またそのモード解析が正しかったことが確認できた。

4. あとがき

本論文では、スイッチング電源の入出力間をキャパシタで絶縁した、新しい一石のスイッチング電源を提案するとともに、その基本回路構成を明らかにし、連続、不連続それぞれのモードが存在することを確認した。本提案回路は、高周波トランスからの漏れ磁束やサージ電圧などによる電磁誘導ノイズが出ないためEMI規制にも適している。

今後、スイッチング電源は、さらに高周波化されるであろうが、キャパシタ絶縁は高周波化に最適な絶縁方法といえる。

(平成6年6月27日受付)

参考文献

- (1) 佐山勇二・中野博民・難波江章：「コンデンサ絶縁によるDC-DCコンバータ」，平6年電気学会半導体電力変換研究会，SPC-94-18
- (2) 佐山勇二・中野博民・難波江章：「コンデンサ絶縁によるスイッチング電源の定常解析」，平6年電気学会全国大会，No.548

栗原さえ子 (学生員)

昭和47年3月6日生。平成2年3月神奈川県立座間高等学校卒業。同3年4月東京工芸大学工学部電子工学科入学，現在に至る。

中野 博民 (正員)

昭和32年7月31日生。同55年3月長岡技術科学大学電子機器工学課程卒業。同57年3月同大学院工学研究科修士課程修了。同62年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了。平成5年東京工芸大学助手。

工学博士。半導体電力変換器の研究に従事。

難波江 章 (正員)

大正13年9月13日生。昭和22年9月東京大学電気工学科卒業。同26年9月(株)東芝入社。同58年4月長岡技術科学大学教授。平成2年東京工芸大学教授。工学博士。

IEEE Fellow. 昭和60年，平成3年電気学会論文賞。'91 IEEE-IAS Tr.Paper Award. 平成5年電気学会業績賞。