

高周波非接触給電向け 入ラインピーダンス整合形 AC-DC コンバータの動作モード

◎日下 佳祐 伊東 淳一
長岡技術科学大学 工学研究科
kusaka@stn.nagaokaut.ac.jp

1. はじめに

近年、電気自動車に搭載されたバッテリーのワイヤレス充電法として磁界共振結合方式が盛んに研究されている⁽¹⁻²⁾。本方式は、高い伝送周波数を用いることで、伝送に用いるコイルの小型軽量化が可能となる点から、13.56 MHz での実用化が期待されている。高周波伝送を行う場合、反射電力による損失を低減するため、受電側 AC-DC コンバータの入ラインピーダンスを $50+j0 \Omega$ に整合する必要がある。そこで著者らは、高周波スイッチングを用いずに入ラインピーダンスの整合が可能な AC-DC コンバータを提案している⁽³⁾。

本論文では、提案回路の動作原理を明らかとするため、動作モードの検討及び、実機による検証を行い、回路の有用性を確認したので報告する。

2. 提案回路の構成

図 1 に提案回路を示す。提案回路は、共振形整流器の後段に、電圧制御用の双方向昇圧チョップを付加した構成である。共振形整流器は、上アームのダイオードに並列に接続されたコンデンサと、インダクタの共振を用いて入力力率の改善を行う⁽⁴⁾。本論文では、ダイオードの空乏層を原因とする寄生容量を考慮し、共振コンデンサを用いず、寄生容量のみを用いて、共振形整流器の動作を実現した。しかしながら、共振形整流器単体では入力電流を制御できないため、バッテリー電圧によって入ラインピーダンスが変化する。

図 2 に双方向昇圧チョップの制御ブロック図を示す。共振形整流器の出力電圧 v_{ch} を一定に制御することで、共振形整流器の出力には電圧源が接続された状態となる。これにより、共振形整流器はバッテリー電圧によらず常に入ラインピーダ

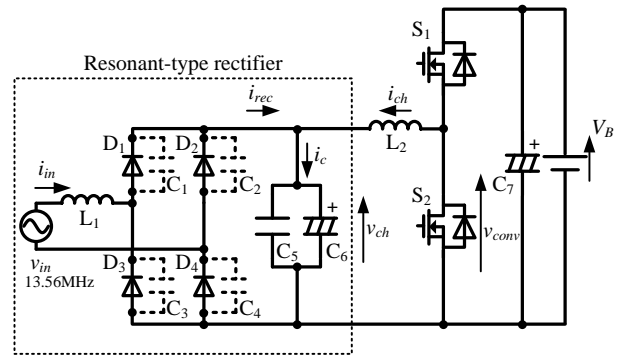


Fig. 1. Proposed circuit.

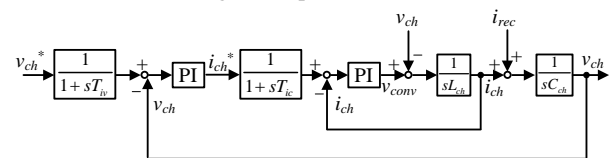


Fig. 2. Control block diagram for S_1 and S_2 in AC-DC converter.

ンス整合をとることが可能となる。なお、高周波入力電流に対して整流器出力部の電解コンデンサ容量は十分大きいので、チョップの高速応答を必要としない。同様の理由から、入力周波数に対してスイッチング周波数を低く設定できるため、本論文ではスイッチング周波数 100 kHz でチョップ回路を駆動する。

3. 提案回路の動作モード

図 3 に提案回路の動作モードを示す。整流器出力電圧 v_{ch} はチョップにより一定に制御されているため、共振形整流器の後段は電圧源とみなすことができる。そのため、図中では簡単のため、電圧源として扱う。

図 4 に提案回路が入力力率 1 で動作している場合の動作波形を示す。各動作モードにおける回路動作は下記のとおりである。なお、ここではダイオードの寄生容量を用いているため、通常の共振形整流器と動作が異なる点に注意が必要である。

・動作モード I

電源電圧の上昇と共に、入力電流が L_1 , C_1 , C_2 と、 L_1 , C_3 , C_4 の 2 つの共振経路を介して流れる。理想状態においては、それぞれの経路に入力電流の 1/2 の電流が流れることとなる。本電流により、モード III で充電されていたコンデンサ C_1 が放電される。反対に、 C_2 は徐々に充電され、コンデンサ電圧 v_{cv} が直流電圧 v_{ch} に達した時点でモード II へ移行する。

・動作モード II

ダイオード D_1 , D_4 がオンするため、入力電流がダイオード D_1 に転流する。そのため、入力電流は L_1 , D_1 , D_4 を通して流れ、負荷へ電力が供給される。

・動作モード III

電源電圧極性が負へ切り替わり、入力電流が動作モード I と同様の共振経路を介して流れる。共振電流により C_2 が放電される。同様に、 C_1 が徐々に充電され、 $v_{cu} = v_{ch}$ を満たした時、次モードへ移行する。

・動作モード IV

ダイオード D_2 , D_3 がオンするため、入力電流がダイオード D_2 に転流する。したがって、入力電流は D_2 , D_3 , L_1 を介して流れ、負荷に電力が供給される。

共振電流は、共振要素であるコンデンサ C_1 , C_2 とインダクタ L_1 および整流器出力電圧 v_{ch} により決定するため、これらのパラメータを適切に設計することで、入力インピーダンス整合を図ることが可能である。

4. 実機検証

図 5 に AC-DC コンバータの動作波形を示す。動作波形より、13.56 MHz の高周波入力電圧に対し、入力電流はひずみを有するものの、正弦波状となっていることがわかる。入力電圧及び入力電流の高調波解析結果より、入力力率 0.98 を達成しており、さらに 20 次までの THD は 8.0% である。ただし、プローブの帯域制限により、THD は参考値である。

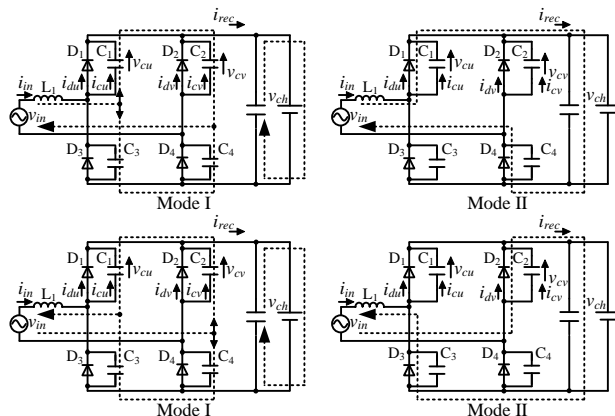


Fig. 3. Operating modes of the simplified proposed circuit.

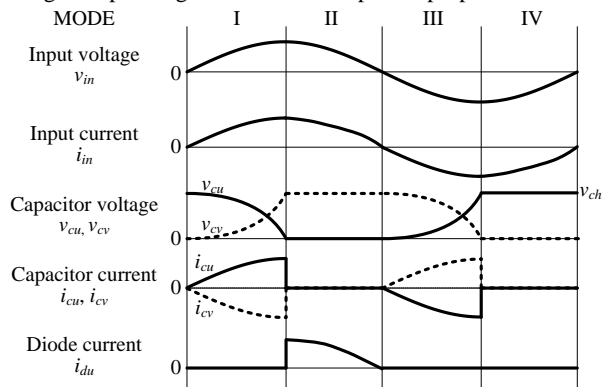


Fig. 4. Waveforms of the simplified proposed circuit.

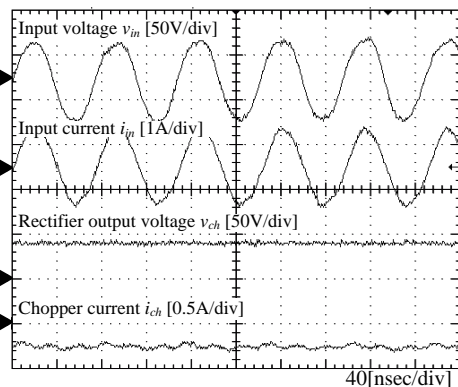


Fig. 5. Operating waveforms of the proposed AC-DC converter.

回路の入力インピーダンスに着目すると、基本波である 13.56 MHz における回路の入力インピーダンスは $51.1 + j0.17 \Omega$ となる。進行波電力に対する反射電力の比である反射率は 0.01 % となり、本回路により反射電力の発生を抑制可能である。

文 献

- (1) A. Karalis, J. D. Joannopoulos, M. Soljacic: Annals of Physics, Vol. 323, No. 1, pp. 34-48 (2008)
- (2) 居村, 岡部, 内田, 堀: 電学論 D, Vol. 130, No. 1, pp. 84-92 (2010)
- (3) 日下, 伊東: 電気学会産業応用部門大会 2012, 1-79 (2012)
- (4) 山本, 松井, 八尾: 電学論 D, Vol. 122, No. 8, pp. 838-844 (2002)