

スイッチング回路を付加したコッククロフト-ウォルトン回路 の高周波駆動に関する一検討

A Study on Added Switching Circuit Full-wave Rectification Type of Cockcroft-Walton Circuit at High Frequency Driving

中川湧貴¹⁾

指導教員 米盛弘信¹⁾

1) サレジオ工業高等専門学校 機械電子工学科 産業応用研究室

キーワード : LED 点灯回路, CW 回路, チョッパー式 DC-AC 変換回路

1. はじめに

コッククロフト-ウォルトン (CW : Cockcroft-Walton) 回路は、交流電圧を直流高電圧へ容易に変換可能である一方、出力電流が低下する問題がある。図 1 に 1 段の全波整流型 CW 回路を示す。全波整流型 CW 回路は、半波整流型 CW 回路に比べ充電回数が倍になり出力電流の増大とリップル率の改善が期待される。本研究の最終目標は、CW 回路の応用として、太陽光を模擬するパワーLED を用いた PV モジュールの室内実験用光源を実現することである。使用するパワーLED の駆動条件は、電圧 : 300V、電流 : 600mA、リップル率 : 1%未満である。先行研究^[1]では、電子回路シミュレータ LTspice を用いて全波整流型 CW 回路を交流電源 282Vpp-10kHz で駆動させ、1 段から 4 段まで接続した場合の出力電圧と出力電流を明らかにした。その結果、2 段以上の段数で目標とした出力電圧が得られることがわかった。実用化をするにあたり、商用電源 100V-50Hz での駆動を目指す。そこで、全波整流型 CW 回路にスイッチング回路を用いて 5kHz、7.5kHz、10kHz の高周波パルスを使用した回路を検討する。

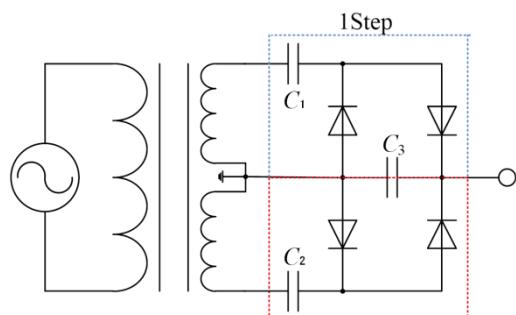


図 1 全波整流型 CW 回路

本稿の実験では、5kHz、7.5kHz、10kHz の高周波パルスをスイッチング回路により生成し、全波整流型 CW 回路に入力する。そして、交流電源 100Vpp-50Hz で駆動させたときの出力電圧と出力電流、およびリップル率を明らかにしたので報告する。

表 1 実験条件

入力電圧	V_{IN}	100V _{PP}
n-ch Power MOS-FET	MOS-FET	FS70SMH-2
トランス	L_p, L_s, L_s	1:1.5:1.5
ダイオードブリッジ	D_0	S15VB60
ダイオード	$D_1 \dots D_4$	1N4007
電解コンデンサ	C_0	470uF
コンデンサ	$C_1 \dots C_3$	3.3uF

2. 実験方法

図 2 に実験回路を示す。表 1 に図 2 の回路における各素子の型番や仕様を示す。本実験では、5kHz、7.5kHz、10kHz の高周波パルスを全波整流型 CW 回路に入力したときの出力電圧と出力電流、およびリップル率を明らかにする。高周波パルスは、1 次側トランスに接続したスイッチング回路を用いて生成する。実験は、先行研究^[2]と比較のため 100Vpp-50Hz 一定とした。また、負荷抵抗は、200Ω から 1kΩ まで 100Ω ステップで変化させた。出力電圧と出力電流は負荷抵抗の両端波形から測定した。リップル率は(1)式で算出した。

$$\text{リップル率} \gamma = \frac{\text{交流分 } V_R}{\text{直流分 } V_D} \times 100[\%] \cdots (1)$$

スイッチング素子は、n-ch Power MOS-FET を用い、Duty 比 50%でスイッチングを行う。ゲート回路は、フォトカプラ(TLP250)を使用し、ゲート抵抗 10Ω を使用した。CW 回路は高電圧が加わることから各素子は高耐圧のものを用いている。

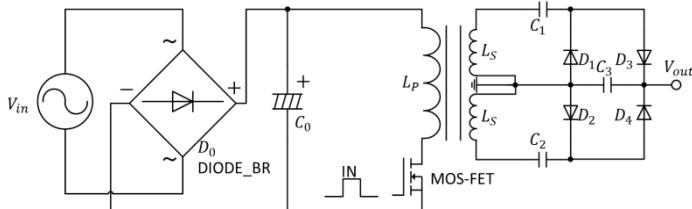


図 2 スイッチング回路を付加した CW 回路

3. 実験結果

図 3 に周波数を 10kHz 、 7.5kHz 、 5kHz に変動させたときの出力電圧と出力電流を示す。図 4 に各周波数における負荷抵抗の変動に対するリップル率を示す。図 3 より、最大出力電圧は負荷抵抗 $1\text{k}\Omega$ 、周波数 10kHz 時に得られた出力電圧 97.2Vpp となっている。最大出力電流は負荷抵抗 200Ω 、周波数 10kHz 時に得られた出力電流 281mA となった。図 4 より負荷抵抗が小さいほどリップル率が大きくなり、負荷抵抗が大きいほどリップル率が小さく安定することが分かった。

今回提案した回路で測定した 10kHz の実験結果と先行研究^[2]による交流電源 100Vpp – 10kHz で行った実験結果を比較すると出力電圧と出力電流、およびリップル率は近似した値であることを確認した。これより、今回提案した回路方式で全波整流型 CW 回路を高周波駆動させることにより、パワーLED の駆動条件である電圧 : 300V 、電流 : 600mA 、リップル率 : 1% 未満が得られると考えられる。

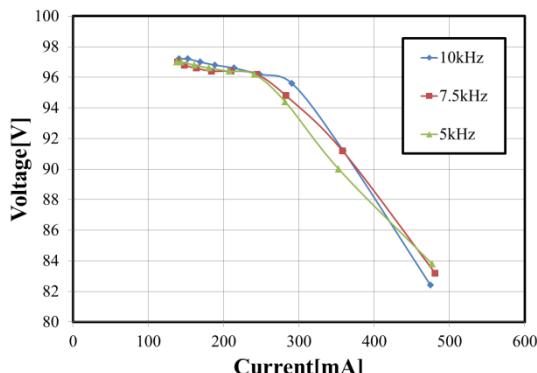


図 3 周波数を変動させたときの出力電圧と出力電流

4. まとめ

本稿では、 5kHz 、 7.5kHz 、 10kHz の高周波パルスをスイッチング回路により全波整流型 CW 回路に入力し、交流電源 100Vpp – 50Hz で駆動させたときの出力電圧と出力電流、およびリップル率を明らかにした。今回の提案回路と先行研究^[2]の比較からパワーLED の駆動条件である値は、提案した回路方式で全波整流型 CW 回路を高周波駆動にすることで得られると考えられる。

今後の展望として、提案した回路を商用電源 100V – 50Hz で駆動させ実用可能な数値が得られるかの検討を行い、提案した回路を用いて安定したパワーLED の点灯を行う予定である。

参考文献

- [1]中川湧貴、米盛弘信：「シミュレータによる全波整流型コッククロフト–ウォルトン回路の動作解析」、2019 年(第 37 回)電気設備学会全国大会講演論文集, p543(2019 年)
- [2]幅野岬太、大島穂高、米盛弘信「全波整流型コッククロフト–ウォルトン回路の高周波駆動」2018 年(第 36 回)電気設備学会全国大会講演論文集, p.431(2018 年)
- [3]南政孝：「回路素子の物理限界に迫る超高周波動作する高昇圧比絶縁 DCDC コンバータの開発」平成 29 年度研究開発助成成果報告書 NO.2 (2017 年)

謝辞

本研究を行うにあたり、高周波トランスや素子をご提供いただいた株式会社ニッシンのご関係の皆様に感謝致します。

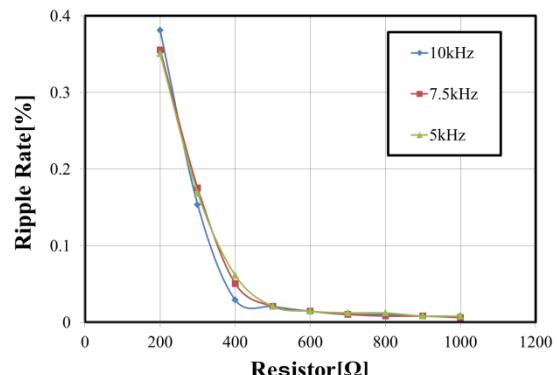


図 4 各周波数における負荷抵抗の変動に対するリップル率