

IH 調理器用 AC-AC 直接変換回路の変換効率改善に関する研究

A Study on the Improvement of Conversion Efficiency
in AC-AC Direct Conversion Circuit for IH Cooker

綿貫歩

指導教員 米盛弘信

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：SiC-MOS FET, AC-AC 直接変換, 電磁誘導加熱

1. 緒言

IH 調理器は、高周波誘導加熱の原理を用いた加熱調理システムであり、一般的には商用電源を Low Frequency AC-DC-High Frequency AC と変換して 50Hz を 20kHz 程度へと変換している。同方法は一度 DC に順変換して再度 HF_AC へ逆変換するため、使用する素子数が多くなり損失が大きくなる。そこで本研究室では、交流商用電源を双方向スイッチによって直接高周波へ変換することで素子の導通損失を大幅に減らす回路方式を提案している。しかし、現状では実用に供する変換効率に達していない。

そこで本稿では、素子及び回路を改善することで変換効率をどこまで改善できるかを検討する。

2. 問題点

図 1 は本研究室が提案している AC-AC 直接変換回路を示す。

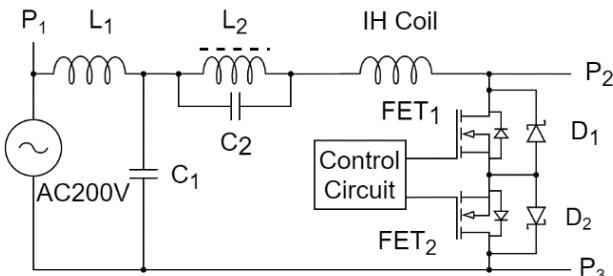


図 1 提案している AC-AC 直接変換回路

従来の卓上型 IH 調理器は、ダイオードブリッジにおける全波整流の後、1 石でスイッチングを行うのに対し、本回路は AC 電源を入力とし、2 石の

FET を逆向きに直列接続し、それぞれの FET にダイオードを並列接続することで逆導通特性を付与している。

先行研究^[1]で使用されていた回路では、回路の最適化不足が問題であると筆者らは考えた。具体的には FET の切り替え回路に注目した。直列接続された FET は、商用電源のゼロクロス(ZC)点に合わせて正負をスイッチングする FET を切り替えなければならない。先行研究^[1]では、図 2 のようにフォトカプラ(TLP627)を用いて AC100V から直接クロスタイミングを得ているが、フォトカプラの入力側は LED であり、順方向電圧 V_f が 1V 程あるため、正確に 0V でクロス動作ができない問題があった。また、ZC 切り替えの信号とスイッチング信号が非同期であった為、スイッチング信号が ON の状態で駆動する FET が切り替えられることがあり、それによって貫通電流やノイズの発生が観測されている。

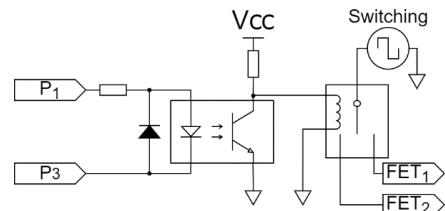


図 2 先行研究で使用していた ZC 検出回路

3. 損失低減法の提案

本稿では、FET 制御回路の見直しによる制御の最適化、及び一般的な MOS FET を SiC-MOS FET

に置換することで ON 抵抗の低下を図り、効率の改善効果を検討する。図 3 は本研究で提案する改善形の ZC 検出回路である。改善の 1 つ目は制御回路の最適化である。先行研究^[1]で使用していた TLP627 による ZC 検出回路で問題となった $V_f \approx 1V$ による不正確な ZC 検出の課題に着目した。そこで、Rohm 社の ZC 検出 IC を採用することにした。この IC を用いることで ZC 信号の誤差を無くすことが可能と考えた。

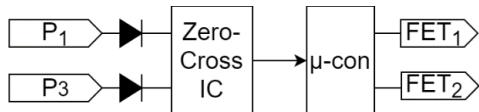


図 3 本研究で使用した ZC 検出回路

2 つ目は、制御信号の同期である。マイクロコンピュータを用いて全ての制御を行うことで FET を一度全て OFF 状態にした後、500nS のデッドタイムを設けてから反対側の FET を駆動することにした。これにより、貫通電流やゲート寄生容量による誤スイッチを防ぐことが可能となる。

3 つ目の SiC-MOS FET への変更による低 ON 抵抗化では、一般的な MOS FET(先行研究では 2SK1522)の ON 抵抗: 85mΩ に対し、SiC-MOS FET (C3M0016120K)では 16mΩ と大幅に低減される。すなわち、等価直列抵抗の低減につながり、損失と発熱の低下に寄与する。

4. 実験方法

本実験は、加熱する際のエネルギー変換・伝達効率の向上を確認することが目的である。交流電源が output する電力量と鍋に入れた水が得た熱量を用いてエネルギー変換効率を算出する実験は、常温の水道水(23°C)1000mL を鍋に入れ、鍋の蓋を閉めて行った。交流安定化電源は、80V_{rms}-50Hz とした。FET のスイッチング周波数は 20kHz とした。入力エネルギーはパワーアナライザを用いて電源電力と力率を測定し、出力エネルギーはアルコール温度計を用いて鍋の水温を測定して算出した。

5. 実験結果

図 4 は、加熱した際の水温変化を表す。鍋の水は実験開始時 23°C であり、平均 5.7°C/分で上昇していく、加熱開始から 13 分 30 秒で 96°C に到達し

た。14 分 30 秒経過では 98°C に到達し、それ以上の温度上昇は見られなかった。

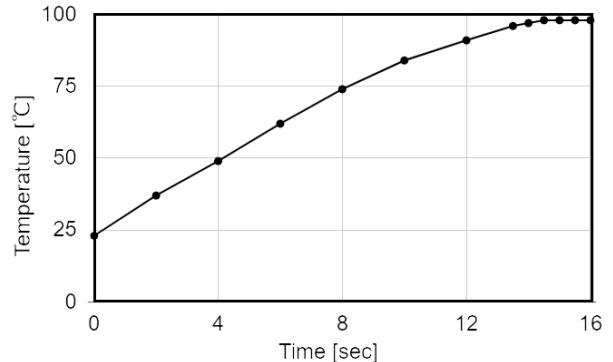


図 4 加熱した際の水温変化

電源電力は、パワーアナライザより皮相電力 643.6VA、有効電力 626.8W、力率 97.4% であることがわかった。(1)式により、傾きが一定となっている加熱開始から 10 分までのデータを用いて熱効率 η を算出をする。その結果、効率は 66.0% となった。

$$\eta = \frac{4.18 \times Q \times (T - T_0)}{S \times t} \times 100 [\%] \quad \dots \quad (1)$$

Q : 加熱対象 [mL], T : 水温 [°C], T_0 : 初期水温 [°C],
 S : 皮相電力 [VA], t : 加熱時間 [sec]

6. 結言

本稿では、筆者らが提案する IH 調理器具用 AC-AC 直接変換回路の効率改善に向けた取り組みを報告した。その結果、回路素子と制御回路の改善で +8.8% の効率改善となった。また、力率も +1% 程度改善できた。しかし、供給電力が 0.6kW 程度でしか実験できておらず、先行研究と同程度の 1kW 程度の入力をした際のエネルギー変換効率がどのようになるのかを引き続き取り組んでいきたい。

参考文献

- [1] 阿部灯竜, 米盛弘信：“直列型双方向スイッチを用いた IH 調理用 AC-AC 直接変換回路の提案”, 2019 年(第 37 回)電気設備学会全国大会講演論文集, p.563, (2019)
- [2] 綿貫歩, 米盛弘信：“IH 調理器用 AC-AC 直接変換回路の変換効率改善に関する一考察”, 2020 年(第 38 回)電気設備学会全国大会講演論文集, p.6, (2020)