

# 共振型インバータの出力電圧高調波に着目した 最適駆動周波数の一探索法

学生員 五十嵐 翔\* 上級会員 芳賀 仁\*

Optimal Operating-Frequency-Searching Method Using Harmonics of Resonant Inverter Output Voltage

Sho Igarashi\*, Student Member, Hitoshi Haga\*, Senior Member

(20XX年●月●日受付, 20XX年●月●日再受付)

Induction heating is required to search for load resonant frequency to control the inverter output power. However, harmonic components of a square-wave voltage output from the inverter result in poor load resonant frequency. This paper proposes a search method for obtaining the optimum load resonant frequency. The results confirmed that the sampling range was reduced by 66% and the sampling number was increased 2.9 times than those obtained using the conventional method.

キーワード：共振型インバータ, 山登り法, 最適化

Keywords: Resonant inverter, hill climbing method, optimization

## 1. はじめに

近年, オールメタル対応の IH システムが広く普及しており, 高効率と安定動作のために被加熱物の鍋と加熱コイルによる共振周波数を広範囲に探索することが要求されている<sup>(1)</sup>。従来の探索法では, 探索に時間が掛かり, 計算コストが高くなる課題がある。また, 高周波電流のサンプリングにおいて量子化誤差の影響が懸念される。さらに, インバータが出力する矩形波電圧に含まれる低次高調波成分が負荷と共振を引き起こすことで最適周波数以外の負荷共振周波数を探索するローカルミニマムに陥る問題も有する<sup>(2)</sup>。そこで本稿では, インバータ出力電圧の低次高調波に着目した未知の最適な駆動周波数探索法と共振周波数追従制御を提案し実機実験によりその有効性を示す。

## 2. 提案制御法

従来の探索法として, IH の使用周波数である 100 kHz 以下の周波数レンジに対して, インバータ周波数をスイープさせることで最も電流が大きくなる最適駆動周波数を探索できる。しかし, 探索に時間が掛かり, 計算コストが高いな

どの問題がある。また, 高周波電流のサンプリングにおいて量子化誤差の影響が懸念される。そこで提案する探索法として, 高調波により低周波域にピークが発生することを利用する。提案法はまず, サンプリング精度の高い低周波域においてスイープさせて, 発生したピーク電流と周波数を全て保持する。次に, 保持した各周波数を3倍した周波数で駆動させた時の出力電流を保持する。最後に, 保持している電流の中で最も大きい電流の周波数を大域的最適駆動周波数と決定する。更に, 山登り法により共振点を常に追従させる。IHにおける最高周波数 100 kHz の 1/3 である 34 kHz までにインバータ出力電圧の 3 次高調波によるピークが必ず存在するため, 34 kHz までスイープさせて, その区間内の全てのピーク電流を得る周波数に対して 3 倍した周波数で駆動させることで, 本来の負荷共振周波数を探索できる。提案法は, 使用する周波数全域に渡る周波数スイープを必要とせず, 高い精度のデータ同士による比較が可能となる。

## 3. 実験結果

Fig. 1 に上記提案法を検証する IH システムの RLC 負荷モデル回路を示す。鍋の形状による劣質な負荷共振周波数特性を模擬するために, 実機検証は RLC 直列共振回路 2 つを並列接続させている。2 つの共振周波数はそれぞれ 60 kHz, 80 kHz とし, 大域的最適駆動周波数を 60 kHz にしている。Fig. 2 に検証回路の出力電流周波数特性を示す。負荷共

\* 長岡技術科学大学  
〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1  
Nagaoka University of Technology  
1603-1, Kamitomioka-machi, Niigata 940-2188, Japan

振周波数のピーク以外に低周波域に複数ピークが発生していることが確認できる。これらピークは 60 kHz や 80 kHz を奇数で割った周波数で発生する。Fig. 3 に提案法を用いた最適駆動周波数探索の様子を示す。インバータが周波数スイープ後、①'~④'を順次駆動した後、最終的に③'の周波数付近で駆動する。共振点(山のピーク)を中心に行き来するため出力電流の波高値は多少変動する。これはインバータが 1 kHz~34 kHz までスイープして①~④のピークを検出後、各周波数を 3 倍した周波数(①'~④')で駆動して③'を最適駆動周波数としていることによる。次に Fig. 4 に大域的最適駆動周波数を 20 kHz, ローカルミニマムに相当する局所的最適駆動周波数を 60 kHz とした場合の周波数特性を示す。Fig. 4 の②'は②の 3 倍の周波数であり、なおかつ局所的最適駆動周波数 60 kHz でもあるので、必ずしも 3 倍した周波数が最適動作点とは限らない条件としている。Fig. 5 に最適駆動周波数探索の様子を示す。周波数スイープ後、①'②'で駆動した後に②の周波数で駆動して出力電流も最大電流

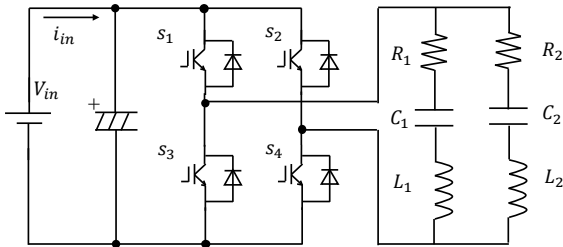


Fig. 1 Verification circuit diagram

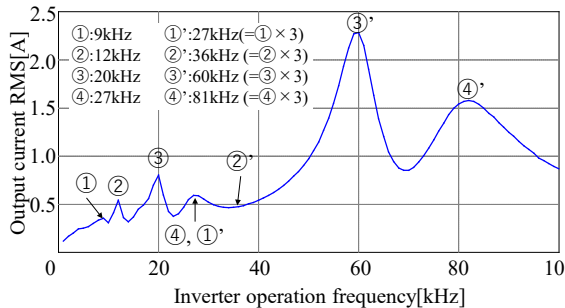


Fig. 2 Output current frequency characteristic with optimal operating frequency in high frequency area

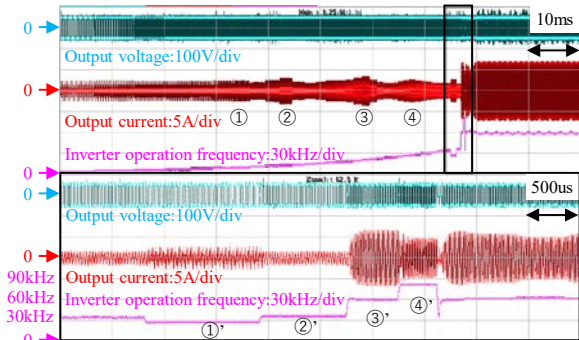


Fig. 3 Optimal operating frequency search by the proposed method (optimal operating frequency: 60 kHz)

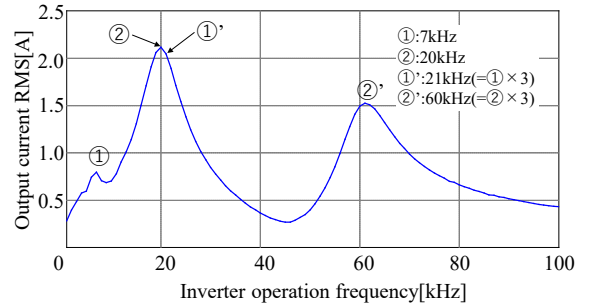


Fig. 4 Output current frequency characteristic with optimal operating frequency in low frequency area

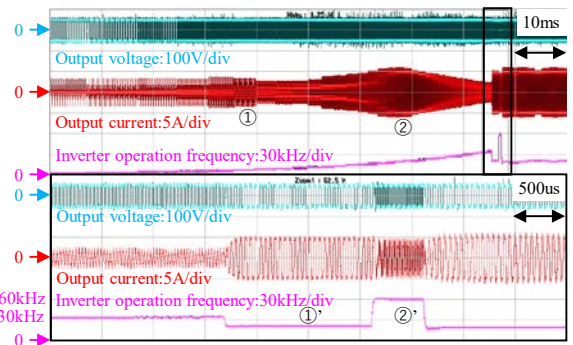


Fig. 5 Optimal operation frequency search by the proposed method (optimal operating frequency: 20 kHz)

で安定していることが確認できる。Fig. 3 同様に、スイープ期間中に検出したピーク①, ②とそれらの 3 倍周波数①', ②'の 4 つの中から最も電流が多く流れている②を大域的最適駆動周波数としていることが確認できる。以上より、本提案法により大域的最適駆動周波数を探索可能であることが確認された。なお、提案法を用いることより、全域に渡る周波数スイープを必要としないことからスイープ範囲を 66% 低減しながら最適駆動周波数探索が可能であることを確認した。また、350 kHz のサンプラーを用いて 100 kHz の電流をサンプリングすると、電流 1 周期あたり 3.5 回のサンプリングしか行えないが、提案法では 34 kHz までに抑えられるので電流 1 周期あたり 10.3 回のサンプリングが行え、1 周期あたりのサンプリング数が 2.9 倍向上する。

#### 4. まとめ

本稿は共振型インバータの最適周波数の探索法として、インバータが出力する矩形波電圧の低次高調波成分が負荷と共振を引き起こすことを利用する手法を提案して実験により有効性を確認した。

#### 文 献

- (1) 進藤将太郎, 他:「負荷共振周波数追従制御に基づく単相高周波インバータの一構成法」, 電学論 D, Vol.131, No. 8, pp.1078-1086 (2011)
- (2) 細川佳寛, 他:「永久磁石モータの効率最適化設計に関する一手法-GA・SA を用いた最適化設計手法-」, 電学論 D, Vol.121, No.2, pp.171-177 (2001)