複合共振負荷回路を用いた誘導加熱用 ZCS 高周波インバータ

正員 荻原弘之 (足利工業大学) 正員 中岡睦雄 (山口大学)

ZCS High Frequency Inverter for Induction Heating with Duplicated Tuned Load Circuit

Hiroyuki Ogiwara, Member (Ashikaga Institute of Technology)

Mutsuo Nakaoka, Member (Yamaguchi University)

We have reported a ZCS high frequency inverter for induction heating uses elsewhere. Its load circuit is composed of a parallel tuned tank load circuit having a heating coil with relatively small inductance, leading to limited applications for the inverter. This paper presents a duplicated tuned load circuit to deal with a tank load having a heating coil with a higher inductance, to widen application range of the inverter. It is found that the high frequency inverter having the improved tank load circuit reveals a high efficiency reaching 89 percent. Its circuit operation and performance are analyzed on the basis of computer-aided simulation and its actual behaviors are examined from a practical point of view for a feasible breadboard.

キーワード：高周波インバータ、複合共振回路、定周波動作、誘導加熱、SIT

1. はじめに

筆者らは、既にスイッチングデバイス部に二端子部分共振形 ZCS ユニットの組み入れた誘導加熱用高周波インバータを報告している⁽¹⁾。この高周波インバータは、並列共振負荷回路のインピーダンス値によって出力電力が変化するため、最適値で動作させることが望ましい。しかし、最適値は比較的低い値であるためインダクタンス成分の低いワークコイルを必要とした。そのため、インダクタンス成分の大きいワークコイルを使用した場合、並列共振負荷回路のインピーダンスが増大し、その結果出力電力が低下するという欠点があった。

本レターは、先に報告した高周波インバータが幅広い負荷にも対応できるようにするため、負荷部に複合共振回路の導入を検討し、回路構成、実験結果などを実用的な見地から述べている。

2. 回路構成と実験結果

図 1 に実用的な見地から一電源平滑コンデンサ分割とし、負荷部が並列共振回路で構成された誘導加熱用 ZCS 高周波インバータを示す。同回路のユニット 1、ユニット 2 は同一特性をもち、回路定数も $L_{11}=L_{12}$ 、 $L_{21}=L_{22}$ 、 $C_1=C_2$ である。図 2 に図 1 で示した高周波インバータの出力電力-負荷特性を示す。これは、表 1 で示した正規化基準量と正規化特性パラメータを用いて汎用性のある形で表現したものであり、同図から $\lambda=0.3$ 付近で最大出力電力が得られることを表している。

図 1 で示した並列共振負荷回路において、誘導加熱では R の値が非常に低く $\lambda=0.3$ 、 $\mu=1.0$ 、 $E_{in}=200$ V、出力周

図 1 誘導加熱用 ZCS 高周波インバータ

Fig.1. ZCS high frequency inverter for induction heating.

表 1. 正規化基準量と正規化特性パラメータ

Table 1. Normalized reference values and characteristic parameters.

正規化基準量		正規化特性パラメータ
電圧基準量	$E_s=E_{in}/2$	正規化負荷 インピーダンス $\lambda=Z_o/Z_s$
電流基準量	$I_s=E_s/Z_s$	
インピーダンス 基準量	$Z_s=2\sqrt{L_{21}/C_1}$	正規化電力 $P^*=v \cdot i/E_s \cdot I_s$ 正規化周波数 $\mu=f_o/f_s$
電力基準量	$P_s=E_s \cdot I_s$	
基準周波数	$f_s=1/2\pi\sqrt{L_{21} \cdot C_1}$	

f_o : インバータの動作周波数

$Z_o=L_o/C_o \cdot R$, $\alpha=L_{11}/L_{21}$, v : 電圧, i : 電流

図2 $P_o^* - \lambda$ 特性
Fig.2. Output power characteristic.

図3 複合共振負荷回路
Fig.3.Duplicated tuned tank load circuit.

波数 50kHz の条件下で設計した出力電力 2kW の試作器でも $R=0.26 \Omega$ であり、その結果 $L_o=2.9 \mu H$ 、 $C_o=3.1 \mu F$ となる。同様に λ 、 μ 、 E_{in} と同じ条件下で $R=0.5 \Omega$ の場合、出力電力 2kW 時が $Z_o=3.2 \Omega$ 、 $L_o=3.72 \mu H$ 、 $C_o=2.29 \mu F$ 、出力電力 4kW 時でも $Z_o=1.6 \Omega$ 、 $L_o=2.38 \mu H$ 、 $C_o=2.94 \mu F$ となり L_o の値は低い。以上の結果から先に報告した高周波インバータは、ワークコイルのインダクタンス成分が大きい場合、負荷部のインピーダンスが増大して出力電力が低下し適用が難しくなる欠点があった。

図3に今回使用した複合共振負荷回路を示す⁽²⁾。これは、ワークコイルの大きなインダクタンス成分 (L_r) を直列コンデンサ (C_r) によって打ち消し、見かけ上のインダクタンス成分を減少させ負荷回路のインピーダンスを $\lambda=0.3$ 付近にして、幅広い負荷にも対応できる特長をもつ。

図4に出力電力 2kW、出力周波数 50kHz で電磁調理器用のワークコイル ($R=1.7 \Omega$ 、 $L_r=16.1 \mu H$) を用いた時のシミュレーション結果とスイッチングデバイスとして B-S I T を用いた実測結果を示す。回路定数は $C_r=0.84 \mu F$ 、 $C_o=0.82 \mu F$ 、 $L_{11}=3.4 \mu H$ 、 $L_{21}=17.2 \mu H$ 、 $C_1=0.588 \mu F$ 、複合共振負荷回路のインピーダンスの大きさ (Z_c) と Z_s との比 (Z_c/Z_s) が 0.25 であり、総合効率は 89 % で動作している。複合共振回路は C_r 、 L_r で決まる周波数 (f_1) と C_o 、 C_r 、 L_r 、 R で決まる周波数 (f_2) との間に $f_2 > f_1$ の関係があり、 f_2 をインバータの出力周波数に一致させる。図4は既に報告している図1の定常動作波形と i_{D21} 、 i_{D11} 、 i_{L21} の波形が異なっているが、これは動作周波数 50kHz 時に複合共振負荷回路全体が純抵抗成分となっておらず、残留しているインダクタンス成分の影響と考えられる。

図4 解析波形と実測波形
Fig.4. Theoretical and experimental waveforms.

3. むすび

既に報告している高周波インバータに複合共振負荷回路を用いることで、インダクタンス成分の大きいワークコイルの使用も可能となり、幅広い負荷にも対応できるように改良することができた。また、総合効率も 89 % であり実用性も高いことが実証された。今後は、詳細な特性解析を行い種々の負荷にも対応できる高周波インバータの設計方法の確立を進める所存である。

(平成 13 年 5 月 11 日受付)

文 献

- (1) 荻原・中岡：「定周波電圧制御機能をもつ ZCS 高周波共振形インバータとその特性評価」，電学論D，115，1466 (平 7 - 12)
- (2) 吉村：「高周波加熱用電子管発振装置の設計と調整」，誠文堂新光社，166 (昭 42-12)