電圧形フルブリッジ ZCS 高周波インバータ

正 員 畑 中 義 博 (東京商船大)

Voltage-Fed Full Bridge ZCS High Frequency Inverter
Yoshihiro Hatanaka, Member (Tokyo University of Mercantile Marine)

キーワード：零電流スイッチング, ZCS, 高周波インバータ

1. ま え が き

近年、高周波インバータでは、スイッチングロスやノイズを低減する目的で、零電流スイッチング (ZCS) や零電圧スイッチング (ZVS) のソフトスイッチングが種々検討されている。本文では、回路構成が簡単で、なおかつ電圧形でありながら ZCS 動作が可能な高周波インバータを提案している。

2. 主回路構成と ZCS 動作特性

図 1 に、高周波電磁推進⁽¹⁾および高周波誘導加熱用に開発した電圧形フルブリッジ ZCS 高周波インバータ (VF-ZCS HF-INV) を示す。VF-ZCS HF-INV の回路の最大の特徴は、主スイッチ $S_1 \sim S_4$ に逆並列に接続されるダイオード $D_{p1} \sim D_{p4}$ に直列に小リアクトル $L_1 \sim L_4$ を接続することにある。図 2 に、 $L_1 \sim L_4$ が無い場合 (従来の電圧形) と比較して、その ZCS 動作原理波形を示す。図 2 (a) において、 $L_1 \sim L_4$ が無い場合は、 D_{p1}, D_{p2} を電流 i_1, i_2 が流れている時点で S_3, S_4 をトリガすると、 i_1, i_2 は瞬時に零になると同時に、 S_3, S_4 は $i_3 = -i_2, i_4 = -i_1$ (回路の対称性において $i_1 = i_2, i_3 = i_4$) を初期値として電流が流れ始める。すなわち、ターンオフ、ターンオンにおける di/dt が無限大の非 ZCS 動作となる。

一方、今回開発した VF-ZCS HF-INV の場合、小リ

アクトル $L_1 \sim L_4$ の作用により、図 2 (b) の i_1, i_3 の波形に示すように、 D_{p1}, D_{p2} の電流は急変せず、 $D_{p1} \cdot D_{p2}$ と $S_3 \cdot S_4$ が同時に導通する転流重複期間 t_{ov} が発生して ZCS 動作

図 2 ZCS 動作原理波形
Fig. 2. Principle waveforms in ZCS.

図 3 ZCS 波形 ($\mu=0.8, \lambda=0.2$)
Fig. 3. Waveforms in ZCS.

図 1 電圧形フルブリッジ ZCS 高周波インバータ

Fig. 1. Voltage-fed full bridge ZCS high frequency inverter.

表 1 無次元化パラメータ
Table 1. Normalized parameters

<無次元化パラメータ>	
$\mu = 2\pi f_0 \sqrt{LC}$	$L = L_0$
$\lambda = R/\sqrt{L/C}$	$C = C_0, R = R_0$
$L_1 = L_2 = L_3 = L_4$	$\alpha = L_1/L_0$
<無次元化基準量>	
電圧 $E = E_d$	電流 $I = E/\sqrt{L/C}$
インピーダンス $Z = \sqrt{L/C}$	
時間 $T = 1/f_0$	
電力 $P = EI$	
<無次元化諸量>	
電圧 $v^*(z) = v(t)/E$	
スイッチ電圧最大値 $V_{smax}^* = V_{smax}/E$	
電流 $i^*(z) = i(t)/I$	
時間 $z = f_0 \cdot t$

図 4 ZCS 動作領域 V_{smax}^* 分布 ($\alpha=0.1$)
Fig. 4. Distribution of V_{smax}^* in ZCS operation region.

となる。

ZCS 動作における $S_1 \sim S_4$ および $D_{p1} \sim D_{p4}$ のターンオン、ターンオフにおける電流の傾きを左右するのが、リアクトル比 $\alpha = L_1/L_0$ ($L_1 = L_2 = L_3 = L_4$) で、図 3 (a), (b) に、 α の値を変化したときの ZCS 波形を比較して示す。なお、回路の数値解析には、回路設計における汎用性を目的に、表 1 に示す無次元化パラメータを用いて解析し

ている。図 1 の主回路構成において、 $S_1 \sim S_4$ に直列に接続しているダイオード $D_{s1} \sim D_{s4}$ は、スイッチ $S_1 \sim S_4$ が逆耐圧のある場合は省略できる。図 4 に、VF-ZCS HF-INV の無次元化平面におけるスイッチ電圧の最大値 V_{smax}^* の分布 ($\alpha=0.1$) を示す。図 3 (a) および図 4 から α の値が小さい場合は、 V_{smax}^* も電源電圧にほぼ等しい値を示し、耐圧もそれほど必要としない。一方、 α の値が大きくなるに伴い、ターンオン、ターンオフにおける di/dt は小さくなる反面、逆に V_{smax}^* は上昇し、耐圧が要求される。

しかし、 α の値は、0.1~0.2 と小さい場合でも、 di/dt はそれなりの抑制効果があり、ZCS 動作によるスイッチングロスおよびノイズ低減に有効に作用する。また、その ZCS 動作に関しては、従来の電圧形フルブリッジインバータの場合、出力周波数 f_0 と負荷共振周波数 f_r が等しくなる動作線上でのみ ZCS 動作が可能⁽²⁾ であったのに対し、本方式では図 4 に示すような動作領域として、ZCS による安定動作が実現できる。

3. あとがき

今回提案した VF-ZCS HF-INV は、回路構成が簡単で、しかも安定な ZCS 動作が得られる新しいタイプの HF-INV であり、DC-DC コンバータへの展開も現在検討中である。

(平成 5 年 12 月 28 日受付)

文 献

- (1) 畑中・山神：「高周波電磁推進の検討」，日本船舶機関学会第 52 回学術講演予稿集 (平 5-10)
- (2) 電気学会技術報告 (II 部) 第 443 号，p. 22 (平 4-11)

畑 中 義 博 (正員) 昭和 47 年東京商船大学卒業。49 年海技大学校助手，56 年同助教授。平成 2 年 4 月東京商船大学助教授，5 年 10 月教授。工学博士。この間主として、パワーエレクトロニクスの分野で高周波インバータとその応用の研究に従事。日本船舶機関学会，パワーエレクトロニクス研究会，IEEE 会員。