

インダクタモジュールを用いた ハイブリッド電流形インバータの実機検証

岩田 陽祐*, 野口 季彦 (静岡大学)

Experimental Verification of Inductor Module Based Hybrid Current-Source Inverter

Yosuke Iwata*, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

1. まえがき

電力変換器に対する究極の要求は、大きな LC フィルタ無しで効率を犠牲にすることなく、負荷に純正弦波を供給できる能力である。筆者らは、これまでスイッチングとリニア増幅を組み合わせて純正弦波電流を出力可能なインバータを検討してきた⁽¹⁾⁻⁽³⁾。本稿では、提案回路の実機を試作し、その回路構成と動作原理の妥当性を確認したので報告する。

2. 回路構成と動作原理

図 1 に提案回路を示す。主インバータである 5 レベルインダクタモジュール電流形インバータ (CSI) は、Hブリッジインバータにインダクタモジュールを組み合わせたものである。インダクタモジュールとは図 2 におけるインダクタ L_m とスイッチング素子 Q_{m1}, Q_{m2} からなるモジュール構成の回路を指す。スイッチング状態の冗長性を利用して充電と放電モードを交互に切り換えインダクタモジュール電流を一定に保ちつつ、負荷に階段状の 5 レベル電流を出力することができる。この主インバータに小振幅リニア出力が可能な可変電流源とトランジスタおよびダイオードから成るスイッチ Q_P, Q_N を追加接続する。可変電流源は、出力電流指令値 i_{ref} と階段波電流 $i_{stair-P}, i_{stair-N}$ との差 i_{lin} を出力することにより、表 1 のスイッチング状態に従って負荷に純正弦波電流を供給する。

3. 実機検証

図 3 に主インバータの制御ブロック図を示す。オフセットの異なる 4 つの直流基準値と正弦波指令値を比較してスイッチング信号を生成する。インダクタモジュールの電流制御はヒステリシス付きリレー制御とする。指令値 $I_{Lm,ref}$ とフィードバック値 I_{Lm} の偏差を量子化し、量子化した極性信号が 1 ならば充電モード、0 ならば放電モードの冗長なスイッチング状態を選択する。このとき、インダクタモジュールの電流を一定に保つことにより、負荷に $i_{stair-P} = +I/3$ を供給することができる。図 4 は可変電流源の制御ブロック図を示す。出力電流指令値 i_{ref} と、主インバータが生成した階段波 $i_{stair-P}, i_{stair-N}$ との差を可変電流源が出力する。 Q_P, Q_N は出力周波数で動作し、出力電流の正の半サイクルで Q_P がオン、負の半サイクルで Q_N をオンさせる。提案回路

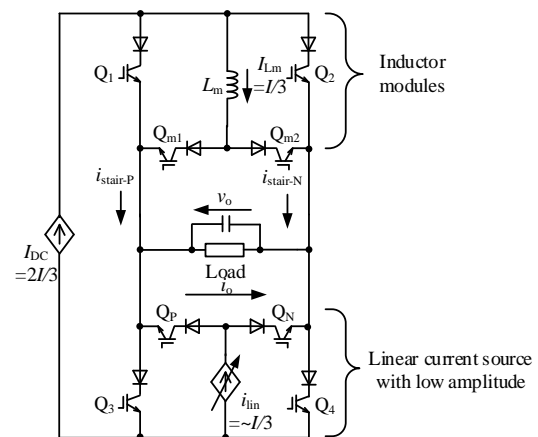


図 1 提案するハイブリッドマルチレベル CSI
Fig. 1. Proposed hybrid multilevel CSI.

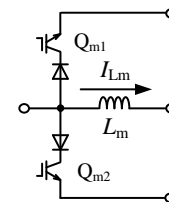


図 2 インダクタモジュール
Fig. 2. Inductor module.

表 1 5 レベル提案回路のスイッチング状態
Table 1. Switching states of 5-level inductor module based hybrid CSI.

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_{m1}	Q_{m2}	Q_P	Q_N	i_o	Mode
1	0	0	1	1	0	1	0	$+2I/3 \sim +I$	Hold
1	0	0	1	0	1	1	0	$+I/3 \sim +2I/3$	Charge
0	1	0	1	1	0	1	0	$+I/3 \sim +2I/3$	Discharge
0	1	0	1	0	1	1	0	0	Hold
1	0	1	0	1	0	0	1	0	Hold
0	1	1	0	1	0	0	1	$-I/3 \sim -2I/3$	Charge
1	0	1	0	0	1	0	1	$-I/3 \sim -2I/3$	Discharge
0	1	1	0	0	1	0	1	$-2I/3 \sim -I$	Hold

の動作を検証するために、5 レベルトポロジーの実機を試作した。可変電流源は電流制御降圧チョップで構成した。スイッチング素子は ROHM 製 SCT3030AL (650 V, 70 A)、ダイオードは ROHM 製 SCS212AG (650 V, 12 A) を用いた。各スイッチング素子はオーバーラップタイムを 400 ns つけて動作させている。270 W 出力時の実験波形を図 5 に示す。上から出力電流、負荷電圧、可変電流源出力電流、インダ

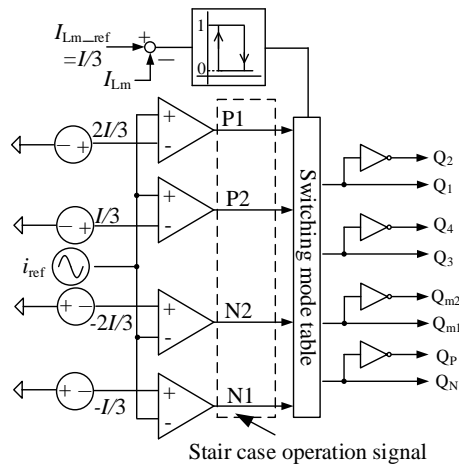


図 3 主インバータの制御ブロック図
Fig. 3. Control block diagram of proposed main inverter.

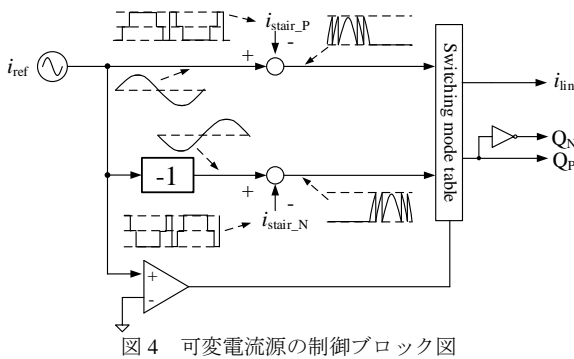


図 4 可変電流源の制御ブロック図
Fig. 4. Control block diagram of proposed variable current source.

クタモジュール電流である。提案回路はオーバーラップタイムに伴う波形の崩れが見られるものの、正弦波状の電流波形を適切に出力していることがわかる。負荷電圧はフィルタキャパシタが高調波成分を吸収することによってさらに歪の少ない正弦波となっている。可変電流源の出力電流は階段電流を正弦波に形成するための電流を出力できている。インダクタモジュール電流は、インダクタの巻線抵抗による損失の影響を受け保持モード期間中に意図しない放電モードが見られるものの、平均的には中間レベルである 1.5 A を保つことができています。図 6 に出力電流の周波数スペクトルを示す。50 Hz における基本波スペクトルのほかに、直流電流源と可変電流源に起因する 23 kHz にスペクトルが観測されている。このとき出力電流の全実効値から算出した THD は 14.6 % であった。図 7 に負荷電力に対する効率特性を示す。入力が定電流源であるため、MOSFET のオン抵抗による導通損は、出力電力によらず一定となる。そのため、出力電圧が低い軽負荷時にはオン抵抗による電圧降下の影響が大きく効率が低下する。最高効率は 270 W 出力時で 91.0 % となった。

4. まとめ

本稿では、スイッチングとリニア動作を組み合わせたハイブリッド CSI の新規トポロジーを提案した。提案回路の

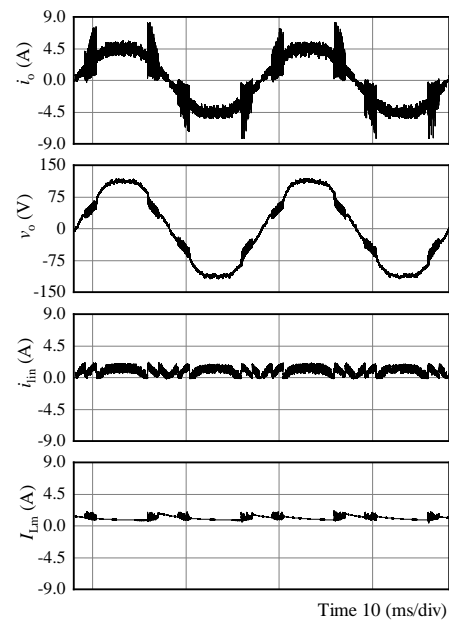


図 5 実験結果
Fig. 5. Experimental results of proposed circuit.

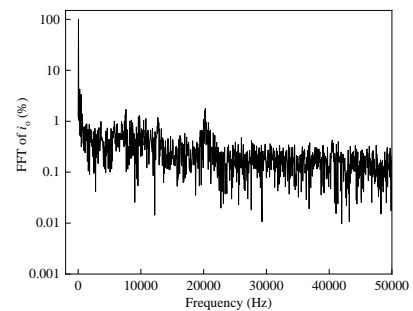


図 6 出力電流周波数スペクトル
Fig. 6. Frequency spectrum of output current.

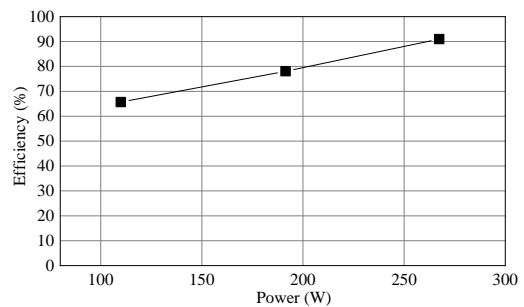


図 7 効率特性
Fig. 7. Characteristics of efficiency.

妥当性を確かめるため、提案回路の実機を試作して動作を検証した。その結果、負荷に正弦波状の電流を供給可能であることを確認した。

文献

- (1) 山口・野口：「高効率かつ低歪出力可能なハイブリッド電流形インバータ」平成 25 年電気学会東海支部連合大会, C4-2 (2013)
- (2) 池上・野口：「インダクタモジュール電流形インバータの提案」平成 25 年電気学会全国大会, Vol. 1, pp.61-62 (2013)
- (3) 岩田・野口：「インダクタモジュールと可変電流源を用いた純正弦波出力電流形インバータ」平成 28 年電気学会東海支部連合大会, I2-4 (2016)