

インダクタモジュールを利用した マルチレベル電流形インバータの新規トポロジー

Tran Thi Lam Quyen , 野口 季彦 (静岡大学)

Novel Topology of Multilevel Current-Source Inverter Using Inductor Modules

Tran Thi Lam Quyen, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

1. まえがき

一般に、インバータは電圧形インバータ (VSI) と電流形インバータ (CSI) に分類され、それぞれにマルチレベル波形を出力する回路トポロジーが存在する。2 レベルインバータと比較すると、マルチレベルインバータはスイッチング素子の耐圧または許容電流を低減できること、出力高調波を改善できること、 dv/dt や di/dt が小さいので EMI ノイズを低減できること、フィルタの大きさを低減できることなどが利点として挙げられる。これまで多くのマルチレベル CSI のトポロジーが発表されてきた。例えば、図 1 の H ブリッジ CSI を並列に接続した回路や図 2 のマルチセル CSI が挙げられる⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、マルチレベルインバータはレベル数を増やすほど必要なスイッチング素子の数も多くなり、全体のシステムが複雑化するという問題がある。そこで本稿では、筆者らが既に発表した共通エミッタ CSI とインダクタモジュールを組み合わせた新規トポロジーを提案し、従来回路との比較検討を行った⁽³⁾⁽⁴⁾。また、シミュレーションで提案回路 (5 レベル) の動作を検証したので報告する。

2. 回路構成と動作原理

図 3 に提案するトポロジーを示す。この回路は共通エミッタ CSI を主インバータとして、図 4 のインダクタモジュールを組み合わせたものである。スイッチング状態の冗長性に着目して、インダクタの充電、放電、保持モードを切り換えることで、インダクタ電流を中間レベル $+1/2$ に保

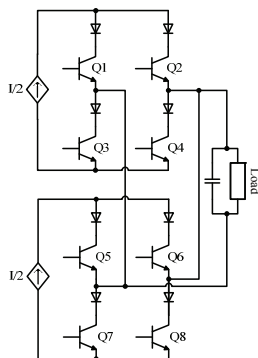


図 1 5 レベル並列 H ブリッジ CSI
Fig. 1. Five-level parallel H-bridge CSI.

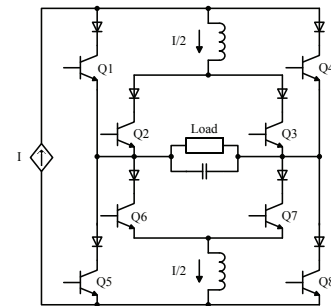


図 2 5 レベルマルチセル CSI
Fig. 2. Five-level multicell CSI.

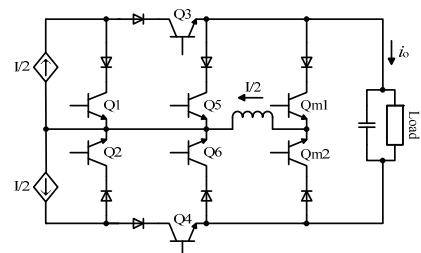


図 3 コモンエミッタ CSI とインダクタモジュールを組み合わせた 5 レベル CSI
Fig. 3. Five-level CSI with combination of common emitter CSI and inductor module.

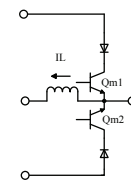


図 4 インダクタモジュール
Fig. 4. Inductor module.

表 1 提案する 5 レベル CSI のスイッチング状態
Table 1. Switching states of proposed five-level CSI.

Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q _{m1}	Q _{m2}	i_o
0	1	1	0	0	1	0	1	+I
0	1	1	0	0	1	1	0	+1/2
0	1	1	0	1	0	0	1	+1/2
0	1	1	0	1	0	1	0	0
1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	1	0	-1/2
1	0	0	1	1	0	0	1	-1/2
1	0	0	1	1	0	1	0	-I

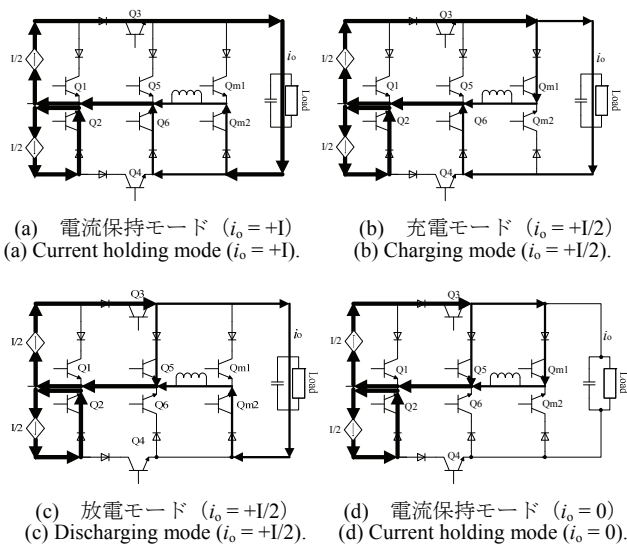


図 5 提案する 5 レベル CSI の動作モード
Fig. 5. Operation modes of proposed five-level CSI.

ちつつ 5 レベル電流を出力する。

提案回路のスイッチング状態を表 1 に示す。また、図 5 に正サイクルにおける 4 つの動作モードを示す。図 5(a)の電流保持モードではインダクタ両端に電位差がないのでインダクタ電流は保持され、最大レベル+1 を出力する。図 5(b)の充電モードでは負荷とインダクタが並列接続されるため、インダクタは直接電流源からエネルギーを供給される。図 5(c)の放電モードでは電流源が短絡しており、負荷はインダクタが放出するエネルギーを受け取る。図 5(d)の保持モードではインダクタは短絡されるのでインダクタ電流を保持しながらゼロレベルを出力する。インダクタの電流は図 5(b)と同図(c)のモードを交互に切り換えることによりほぼ 1/2 に保たれる。ここで、提案したトポロジーを一般化し、 M レベルのトポロジーとしたものを図 6 に示す。これと従来回路の部品点数を比較した結果を表 2 に示した。提案するインダクタモジュール方式は、従来回路と比べて出力レベル数が高いほど部品点数が少ないことがわかる。

3. シミュレーション結果

図 3 に示した提案回路の動作をシミュレーション (PSIM) で検証した。電流源は 4 A、インダクタは 5 mH、負荷は抵抗のみで 18 Ω とし 56 μ F のフィルタキャパシタを接続した。スイッチング周波数は 10 kHz、出力基本波周波数は 50 Hz とし、三角波比較法によりパルス幅変調されたスイッチング信号を生成する。図 7 のシミュレーション結果は、上から出力電流、負荷電流、インダクタ電流を表している。提案回路は良好な 5 レベル電流波形を出力していること、また、フィルタキャパシタによって歪の少ない負荷電流が得られていること、インダクタ電流は中間レベルである 2 A を保っていることが確認できる。

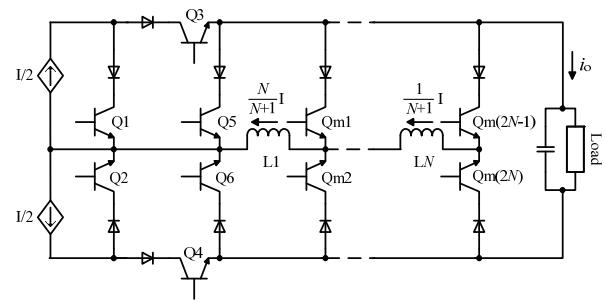


図 6 提案する M レベル CSI
Fig. 6. Proposed M -level CSI.

表 2 部品点数の比較
Table 2. Comparison of component count.

Circuit configuration	Parallel H-bridge CSI	Multicell CSI	Inductor module CSI
Switching device	$2(M-1)$	$2(M-1)$	$M+3$
Diode	$2(M-1)$	$2(M-1)$	$M+3$
Inductor	0	$M-3$	$(M-3)/2$
DC current source	$(M-1)/2$	1	2

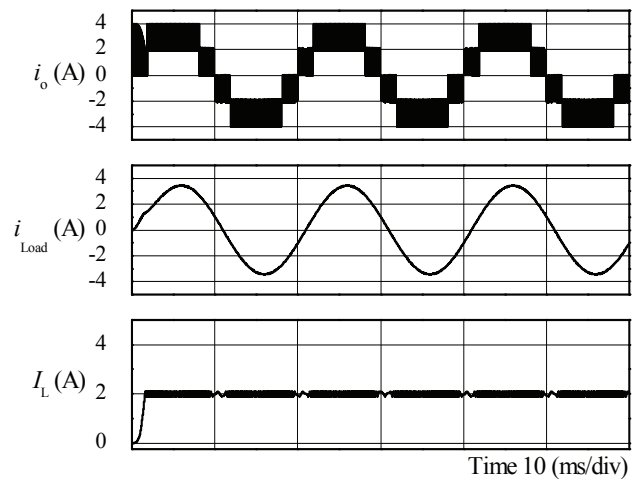


図 7 提案する 5 レベル CSI のシミュレーション結果
Fig. 7. Simulation waveforms of proposed five-level CSI.

4. まとめ

本稿では、コモンエミッタ CSI とインダクタモジュールを組み合わせたマルチレベル CSI の新規トポロジーを提案し、従来トポロジーとの回路構成を比較評価した。また、シミュレーションで 5 レベル提案回路の動作特性を検証し、所望の 5 レベル電流波形を出力できることを確認した。

文献

- (1) パワーエレクトロニクスハンドブック, R&D プランニング
- (2) McGrath B.P., Holmes D.G., IEEE Trans. on Pow. Elec., vol. 23, no. 3, pp. 1239-1246 (2008)
- (3) Suroso, T. Noguchi, IEEJ Trans. on Ind. Appl., vol. 129, no. 5, pp. 505-510 (2009)
- (4) 池上・野口: 電力・系統・半電変研究会, PE-14-43, PSE-14-43, SPC-14-78 (2014)