

インダクタモジュールマルチレベル電流形インバータの一般化に関する検討

池上 憲 野口 季彦 (静岡大学)

Study on Generalized Inductor Module Based Multilevel Current-Source Inverter

Akira Ikegami, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

This paper discusses a generalized inductor module topology based multilevel current-source inverter. Component count of the proposed and the conventional circuit topologies is compared, where the proposed circuit makes component count reduction possible. The simulation result shows that the proposed circuit can properly generate a seven-level current.

キーワード：電流形インバータ，インダクタモジュール，マルチレベル，トポロジー

Keywords：current-source inverter, inductor module, multilevel, topology

1. まえがき

マルチレベルインバータは，電圧形インバータとその双対回路である電流形インバータ (CSI) に分けられ，多段の電圧または電流波形を出力することができる。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 dv/dt , di/dt が小さいので EMI ノイズを低減できると同時に出力高調波を改善することができる。これまで，CSI でもマルチレベル化する手法が幾つか提案されている⁽¹⁾。例えば，図 1 の並列 H ブリッジ CSI や図 2 のマルチセル CSI が挙げられる。しかし，これらのトポロジーは部品点数が多いという問題点がある。そこで，筆者らは H ブリッジ CSI を基にインダクタモジュール方式を提案した⁽²⁾。本稿ではこれを一般化して，提案回路と従来回路のトポロジーを比較検討し，7 レベル電流を出力する場合についてシミュレーションを行ったので報告する。

2. 回路構成と動作原理

図 3 に提案回路を示す。この回路は H ブリッジ CSI を主インバータとして，図 4 に示すスイッチング素子，ダイオード，インダクタで構成された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の充電モードと放電モードを切り換えることでインダクタ電流を一定に保ちつつマルチレベル電流を出力する。 k 番目のインダクタモジュールの電流を I_{Lk} とおくと， I_{Lk} は次のような漸化式で表わすことができる。

$$I_{Lk} = I_{L(k-1)} + \frac{I}{N+1} \quad k=1, 2 \dots N \quad I_{L0} = 0$$

7 レベル電流を出力する場合について，提案回路のスイッチング状態を表 1 に示す。ここで，電流源は図 5 に示すように降圧チョッパを電流制御することで構成した。従来回路

と提案回路の部品点数を数え上げた結果を表 2 に示す。ただし，インダクタモジュール数を N とおいた。提案回路は

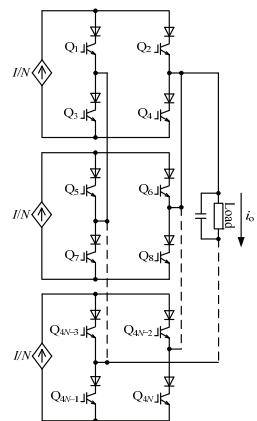


図 1 並列 H ブリッジ CSI
Fig. 1. Parallel H-bridge CSI.

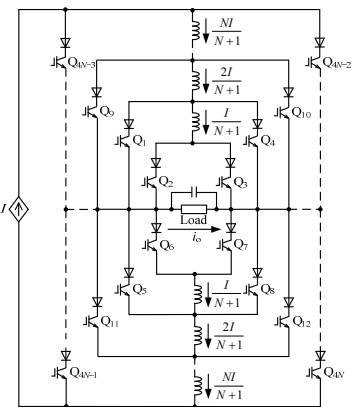


図 2 マルチセル CSI
Fig. 2. Multicell CSI.

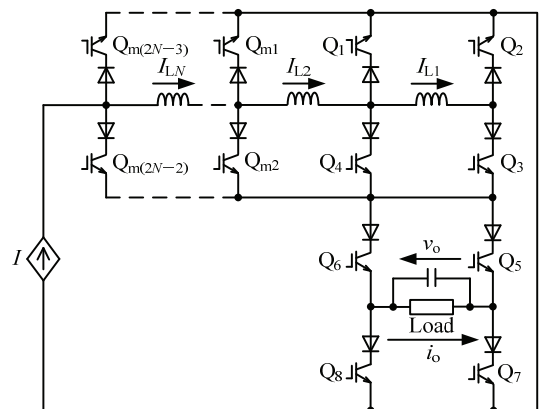


図 3 インダクタモジュール電流形インバータ
Fig. 3. Inductor module based current-source inverter.

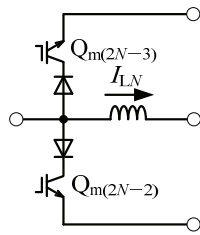


図 4 インダクタモジュール
Fig. 4. Inductor module.

表 1 7レベルインダクタモジュール CSI のスイッチング状態
Table 1. Switching states of seven-level inductor module based CSI.

Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q _{m1}	Q _{m2}	出力
0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	+I
1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	+2I/3
0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	+2I/3
0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	+2I/3
0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	+I/3
1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	+I/3
1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	+I/3
1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	-I/3
1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	-I/3
0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	-I/3
0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	-2I/3
0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	-2I/3
1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	-2I/3
0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	-I

最も少ない部品点数で構成できることがわかる。また、提案回路はレベル数を上げて必要ゲートドライブ電源は5個で一定であることもわかる。

3. シミュレーション結果

7 レベル出力の提案回路について動作特性をシミュレーションで検証した。電流源は 6 A、三角波比較法により PWM されたスイッチング周波数と出力基本波周波数はそれぞれ 10 kHz、50 Hz とし、インダクタは 10 mH とした。負荷は抵抗のみで 24 Ω とし、39 μF のフィルタキャパシタを接続している。図 6 のシミュレーション結果は、上から出力電流 i_o 、負荷電圧 v_o 、インダクタ電流 I_{L1} 、 I_{L2} を表している。これから、提案回路は 7 レベルの電流波形を適切に出力していることがわかる。また、負荷電圧はフィルタキャパシタによって歪の少ない正弦波となっており、 I_{L1} は 2 A、 I_{L2} は 4 A を保つように制御できていることもわかる。

4. まとめ

本稿では、一般化したインダクタモジュール CSI と従来

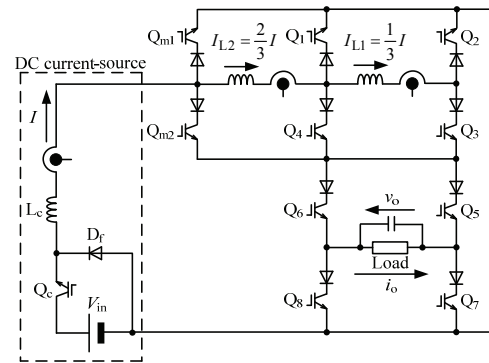


図 5 電流源をチョッパで構成した提案回路
Fig. 5. Proposed circuit with chopper based DC current-source.

表 2 部品点数の比較

Table 2. Comparison of component count.

Circuit configuration	Parallel H-bridge	Multicell	Inductor module
Switching device	5(N+1)	4N+5	2N+7
Diode	5(N+1)	4N+5	2N+7
Inductor	N+1	2N+1	N+1
Gate drive power supply	2(N+1)	N+4	5
DC voltage-source	N+1	1	1

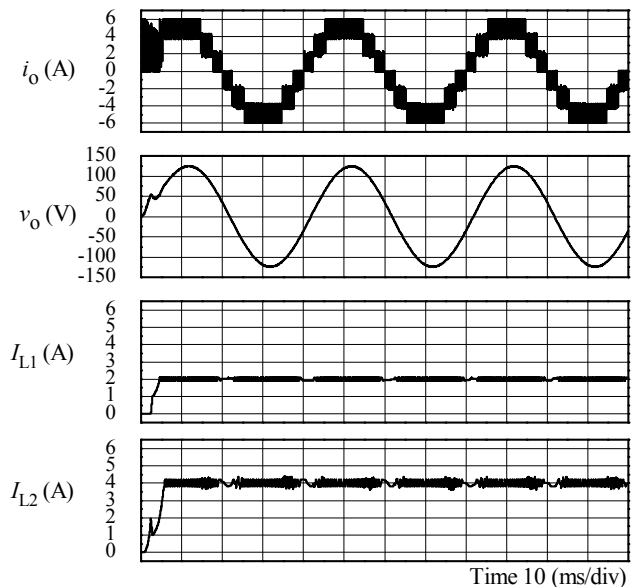


図 6 提案回路のシミュレーション結果
Fig. 6. Simulation waveforms of proposed circuit.

回路の部品点数を比較し、提案回路は最も少ない部品点数で構成可能であることを示した。シミュレーションで提案回路は 7 レベルの電流波形を出力できることを確認した。

文 献

- (1) T. Noguchi and Suroso: "Review of Novel Multilevel Current-Source Inverters with H-Bridge and Common-Emitter Based Topologies", *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Vol. 5, pp. 4006-4011 (2010)
- (2) 池上 憲 野口季彦: 「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. 4, pp. 61-62 (2013)