

DC 電流源モジュールと可変電流源を用いた ハイブリッドマルチレベル電流形インバータ

山口 創太*, 野口 季彦 (静岡大学)

Hybrid Multilevel Current-Source Inverter Using DC-Current Modules and Variable Current-Sources
Sota Yamaguchi, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

1. まえがき

これまでに報告されているマルチレベルインバータの多くは PWM 出力であるため、出力高調波とスイッチング損の低減が困難である。一方、リニアアンプは高調波歪のない交流波形を出力できるが、アンプ部での損失が大きく電力変換効率が低い。そこで本稿では、高効率かつリニア出力が可能な電力変換器として、DC 電流源モジュールと可変電流源を用いたハイブリッドマルチレベル電流形インバータ (CSI) を提案する。電流源の種類別に 3 通りのシミュレーションを行い、それぞれ良好な動作を確認したので報告する。

2. 動作原理および回路構成

図 1 に提案するハイブリッドマルチレベル CSI の構成を示す。破線で囲まれた部分が主インバータとなる DC 電流源モジュール方式 9 レベル CSI であり、表 1 のようにスイッチングすることにより 9 レベル電流波形を出力することができる⁽¹⁾。また、全てのスイッチング素子がエミッタ共通となっているため、単一のドライブ電源ですべての素子を駆動することができる。この主インバータに上下 1 つずつリニア出力が可能な小容量の可変電流源を並列接続する。

実際の回路では、各電流源は 1 つの直流電圧源を共通として複数のチョッパにより電流制御して得られる。DC 電流源モジュールは定電流源とし、PI レギュレータを用いて電流制御を行う。可変電流源の場合は、目標値への高速な追従が必要であるためヒステリシスコンパレータを用いたリレー制御を採用する。なお、可変電流源としてリニアアンプを利用することもできる。この場合は効率の低下が懸念されるが、その出力電流振幅は小さいためハイブリッドマルチレベル CSI 全体としての効率を損なうことはない。

図 2 に提案回路の動作波形を示す。主マルチレベルインバータから階段状のマルチレベル電流 $I_{P1} \sim I_{P4}$, $I_{N1} \sim I_{N4}$ を出力し、同時に主インバータに並列接続された可変電流源から I_{in1} , I_{in2} を出力して負荷側で重畳することにより、スイッチングを行わない完全なリニア波形を生成する。これにより、主インバータで PWM を行わないため、スイッチング損を大幅に低減することができる。また、主インバータの出力レベル数を増加させるほど I_{in1} , I_{in2} の振幅を小さく

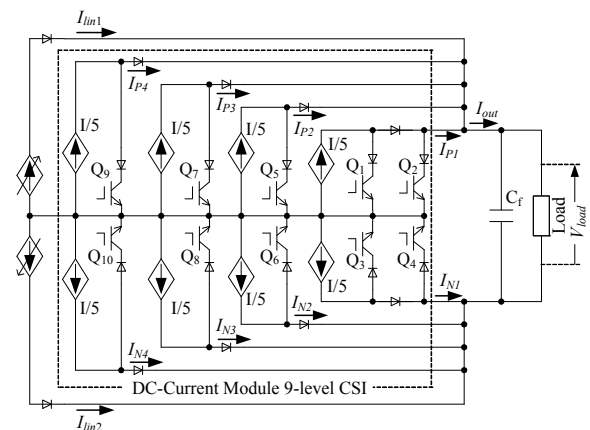


図 1 提案するハイブリッドマルチレベル CSI
Fig. 1. Proposed hybrid multilevel CSI.

表 1 DC 電流源モジュール方式 9 レベル CSI のスイッチング
Table 1. Switching states of DC-current module based 9-level CSI.

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8	Q_9	Q_{10}	I_{out}
0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	+4I/5
0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	+3I/5
0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	+2I/5
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	+I/5
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	-I/5
1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	-2I/5
1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	-3I/5
1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	-4I/5

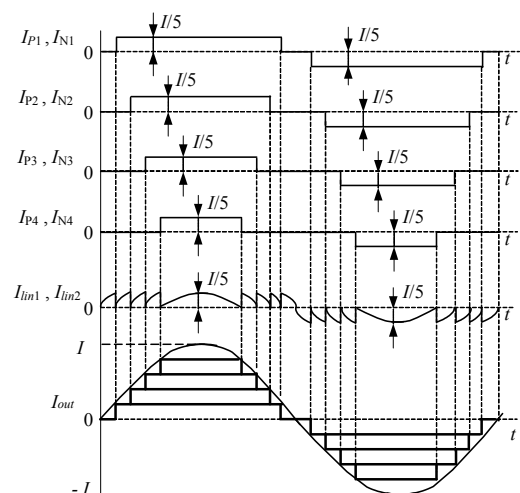
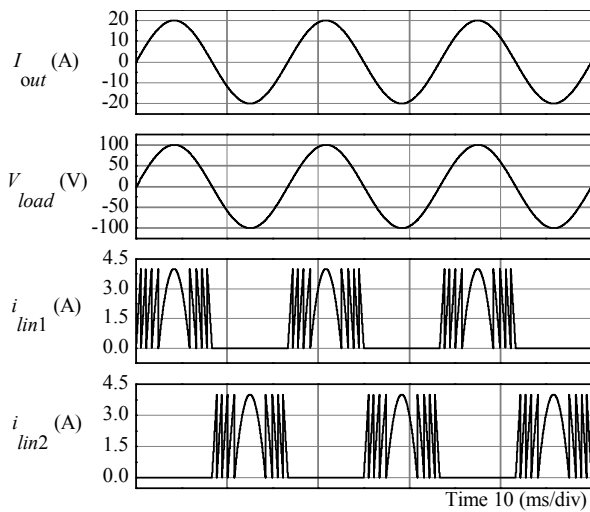
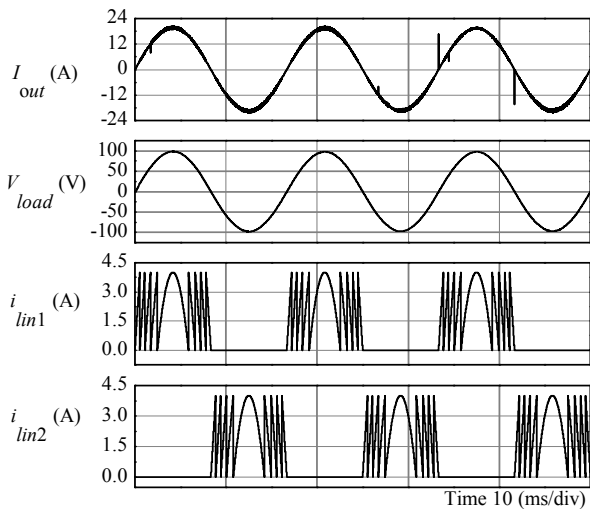


図 2 ハイブリッドマルチレベル CSI の動作波形
Fig. 2. Operation waveform of hybrid multilevel CSI.



(a) 理想 DC 電流源モジュールと理想可変電流源使用時
(a) With ideal DC-current sources and variable current-sources.



(b) チョップパによる DC 電流源モジュールと理想可変電流源使用時
(b) With chopper based DC-current sources and ideal variable current-sources.

図 3 理想可変電流源使用時のシミュレーション結果
Fig. 3. Simulation results using ideal variable current-sources.

することもできるため、前述のように全体に占めるリアアンプ部の損失を低減することができる。

3. シミュレーションによる検証

提案するハイブリッドマルチレベル CSI について、DC 電流源モジュール、可変電流源ともに理想リア電流源の場合、DC 電流源モジュールのみチョップパを使用した場合、全ての電流源をチョップパで構成した場合の 3 通りでシミュレーションを行った。回路パラメータは、出力周波数を 60 Hz、負荷を誘導性 ($R=5 \Omega$, $L=0.6 \text{ mH}$) とし、これに $26 \mu\text{F}$ のフィルタキャパシタを並列接続した。

各電流源については DC 電流源モジュールを 4 A、可変電流を $0 \sim 4 \text{ A}$ とした。さらに、チョップパ使用時には、DC 電流源モジュールの平滑リアクトルを $400 \mu\text{H}$ とし、可変電流

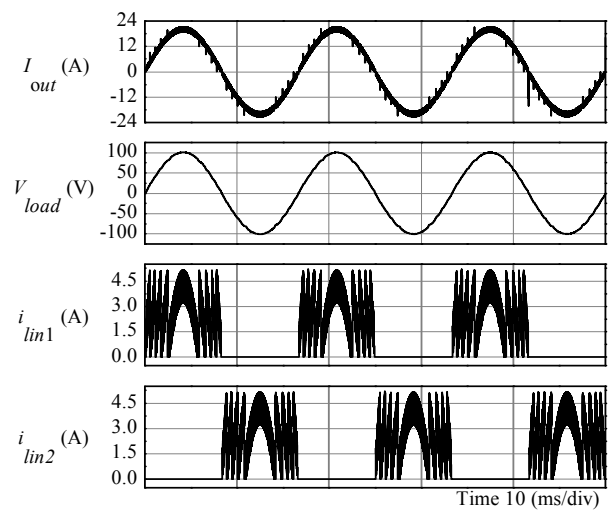


図 4 チョップパによる電流源使用時のシミュレーション結果
Fig. 4. Simulation result using chopper based current-sources.

源の平滑リアクトルを $90 \mu\text{H}$ 、電流換算のヒステリシス幅を 1.78 A とした。このとき、すべてのチョップパは 130 V の直流電圧源を共通に電源としている。

理想可変電流源を使用した場合のシミュレーション結果を図 3 に示す。(a)は DC 電流源モジュール、可変電流源とも理想的なリア電流源の場合であり、同図から出力電流 I_{out} 、負荷電圧 V_{load} の歪みがなく、純正弦波出力が得られていることがわかる。また、(b)は DC 電流源モジュールをチョップパで構成した場合のシミュレーション結果である。同図から、出力電流にはチョップパの電流リップルがわずかに含まれているが、負荷電圧は良好な正弦波になっている。また、全ての電流源をチョップパによって構成した場合のシミュレーション結果を図 4 に示す。リア出力電流 I_{lin1} 、 I_{lin2} の電流リップルにより、出力電流、負荷電圧の波形歪が大きくなっている。各シミュレーション結果について、第 30 次高調波成分までの出力電流 THD を計算したところ、理想電流源使用時は 0.06% 、直流電流源のみチョップパ使用時は 0.80% 、チョップパ使用時は 0.95% となった。

4. まとめ

本稿では、DC 電流源モジュールと可変電流源を用いた新しいハイブリッドマルチレベル CSI を提案し、電流源の種類別に 3 通りのシミュレーションを行った。その結果、理想状態では出力電流、負荷電圧は歪みのない完全な正弦波が得られ、DC 電流源モジュールをチョップパとした場合にもほとんど歪みのない出力電流波形が確認された。しかし、可変電流源にチョップパを用いると、そのスイッチングリップルによって出力波形歪が若干悪化することが確認された。

文献

- (1) Suroso and Toshihiko Noguchi: "Multilevel Current-Source Inverters using Inductor-Cells and DC-Current Modules: A Comparative Discussion," 研究会資料, SPC-11-113 (2011)