

PWM 整流器インバータシステムと マトリックスコンバータの比較

永吉 謙一*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Comparison between PWM Rectifier & Inverter System and Matrix Converter.

Ken-ichi Nagayoshi, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

マトリックスコンバータ (以下 MC と略す) は一般的に PWM 整流器とインバータを使った back to back 構成 (以下 BTB と略す) に比べて高効率, 省スペース化などの利点を有し, 両者の性能の比較を行った文献も存在する⁽¹⁾⁽²⁾。しかし, 性能の比較は逆阻止 IGBT を用いて行っているものがほとんどであり, 従来の IGBT+FWD を用いた MC との体積や損失の比較については明らかでない。MC は逆阻止 IGBT を使用することでその利点を伸ばすことが可能であるが, 現時点では入手が困難である。一方, IGBT + FWD の素子を用いた MC においても BTB に対し十分にその利点を発揮することが可能であると考えられる。

本論文ではその検証を行うために, 22[kW]程度の中容量を前提として装置体積と損失の両面から検討を行い, 設計例を示した。まず BTB および MC について一般的と思われる設計手法から必要な各部品を実際の製品から選定し, それぞれの総合体積を求め, 比較する。また, 損失シミュレーション⁽³⁾を導入してそれぞれの損失を求め, 比較する。その結果, 従来素子で MC を構成しても, BTB と比較して体積が小さく, かつ高効率となることが確認できた。

2. 検証に用いる変換器の基本仕様

図 1 に今回検証で用いる BTB, 図 2 に MC の回路図を示す。図 2 のように MC の素子は従来素子を組み合わせる使用。ただし本論文は従来素子による逆直列構成の 6in1 素子があることを前提としている。これは従来素子の逆直列接続構成であれば従来の 6in1 モジュール内の配線を変更するだけで, 比較的容易に製作が可能のためである。負荷はモータの全負荷状態を模擬する RL 負荷を接続する。また電源側には高調波を抑制する入力フィルタを設ける。

表 1 は検証に用いる変換器の基本設定仕様である。

3. 各回路部品の選定方法

表 2 に, 比較を行う際に選定した部品, 図 4 に表 2 で挙げた部品の体積比較結果を示す。BTB と比較して従来素子を用いても MC は合計体積を半分以下とできることがわかった。特に BTB は動作上昇圧リアクトルが必要であり, それが総体積の半分を占めている。逆に, MC はモジュールとヒートシンクの体積が BTB に対して増加する。これ

は, 損失は MC の方が小さいものの, 設置面積が必要になるためである。以下にそれぞれの部品の選定手順を示す。

<3.1> 半導体パワーモジュール

半導体パワーモジュールは, 表 2 の項目”Power module”に示すように表 1 の仕様を満たす定格であるものを選定し, 従来システムで 2 個, MC で 3 個使用する。

<3.2> 入力 LC フィルタ“ L_i ”, “ C_i ”

まず L_i を装置容量の 2[%]としてインダクタンスを求め, C_i は L_i と組み合わせる際にカットオフ周波数が 1[kHz]となるよう容量を求めた。ここで MC は BTB に対して高周波のリプル電流が多く流れるため, リプル電流に対して余裕を持つよう同シリーズのものを 3 並列としている。

<3.3> 直流リンクキャパシタ“ C_{dc} ” (従来システムのみ)

BTB の直流リンクキャパシタは, キャパシタに流れるリ

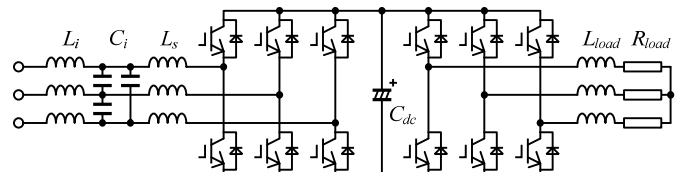


図 1 PWM 整流器&インバータの構成図(BTB)
Fig.1. Configuration of Back to Back system(BTB).

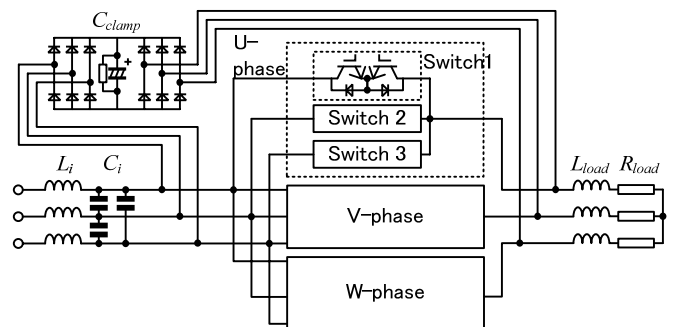


図 2 マトリックスコンバータの構成図(MC)
Fig.2. Configuration of Matrix Converter.

表 1 比較に用いる変換器の基本設定
Table 1. Electrical specifications of converters for comparison.

Input Voltage	200[V]	Motor Ratings	160[V]
Output Power	22[kW]		22[kW]
Carrier Frequency	10[kHz]		50[Hz]
Input Filter Cut-off Frequency	1[kHz]		
DC Link Voltage (Rec. & Inv. only)	350[V]		

ブル電流をシミュレーションで求め、キャパシタのデータシートよりそのリップル電流を許容できる値を設定した。

<3.4> 昇圧リアクトル“ L_s ” (従来システムのみ)

昇圧リアクトルは、装置容量の 3~5[%]とし、富士電機製の 200[V]系列、22[kW] 昇圧用リアクトルを用いた。

<3.5> ダイオードクランプキャパシタ“ C_{clamp} ” (MCのみ)

C_{clamp} は、全しゃ断時に入力フィルタとモータの漏れインダクタンスに蓄えられたエネルギーを全て吸収できるものを選定した。ただしコンデンサに流れ込む電流は瞬間的ななので、コンデンサの許容リップル電流は 10 倍とした。

<3.6> ヒートシンク、冷却ファン

ヒートシンクは、選定した個数のパワーモジュールが設置可能な面積で、次項の損失シミュレーションによる発生熱に対して妥当なものを選定した。また冷却ファンについては、フィンに合った標準的なものを選定した。

4. 損失シミュレーションによる評価

PSIM(Powersim Inc.)により回路シミュレーションを行いスイッチ両端の電圧と電流より DLL ブロックを使って損失を求め⁽³⁾、装置の損失とデバイスの最大上昇ジャンクション温度との比較を行った。

図 5 は電流一定で負荷力率を変動させた場合の BTB と MC の損失比較結果である。なお、負荷は力率 0.8 時において 22[kW]となるよう設定した。BTB で 95.4%, MC で 96.8%の効率が得られており 1.4 ポイント改善されている。低力率負荷においては BTB が低損失だが、力率が 0.4 を超えると MC の方が少なくなる。出力電流の大きい低力率負荷領域では BTB では整流器側の電流が減少し損失が少なくなるのに対し、MC では変換器内を流れる電流は負荷に依存し、ほとんど同じとなることから有効電力が減った分損失が多くなる。

図 6 は負荷の出力周波数とヒートシンク温度に対するジャンクション部分の上昇温度との関係である。負荷力率は 0.8 固定である。MC では各素子のジャンクション温度がアンバランスするために最大温度となるものを選択したが、それを加味しても BTB は素子数が少ない分各スイッチの負担が増えるため、全体的に MC の方が低くなる。特に低い周波数領域では、インバータでは直流に近い電流が流れるため発熱は増加するが、MC では低周波でも電源周波数で分担する素子が切り替わるため、温度上昇は低くなる。

5. むすび

本論文では、設定した仕様を満たすデバイスを選定し、BTB と MC に必要な部品のそれぞれの体積を求めた。また損失シミュレーションによって損失とジャンクション温度の評価を行った。それらより、以下に示す結果を得た。

(1)必要部品の総体積は、直流リンクキャパシタや昇圧リア

クトルが必要な BTB に対して、MC が 1/2 で済む。

(2)低力率負荷では BTB が低損失だが、負荷力率が高くなると MC の方が低損失となり、力率 0.8 時には効率にして 1.4 ポイント MC の方が高くなる。

以上より、通常の IGBT+FWD を使用した MC でも従来の BTB に対して十分に利点を有するという結論に至った。

表2 選定部品リスト

Table 2. Selected devices list.

Part	Symbol	Calculate Value	Selected Device	Maximum Ratings	Needed Number	
					BTB	MC
Power Module	—	—	MITSUBISHI "CM200TL-12NF"	600[V] 200[A]	2	3
Input Filter	L_i	0.12[mH]	YASKAWA"R5A2018"	200[V] 90[A]	1	1
		80[μF]	nichicon "EM251400D0UA9HP"	AC220[V]	6	—
		90[μF]	nichicon "EM251300D0UA9HW"	AC220[V]	—	9
DC-Link Capasitor	C_{dc}	18800[μF]	nichicon "NT series" 4700[μF]	400[V]	4	—
Boost Inductor	L_s	0.19[mH]	Fuji "LR2-22C"	1.48[kVA] 85[A]	1	—
Diode-clamp Capasitor	C_{clamp}	14.1[A]	nichicon "NT series" 3900[μF]	500[V] 14.1[A]	—	1
Heat Sink	—	—	RYOSAN "98WKBS240" L=200	—	1	—
			RYOSAN "98WKBS335" L=200	—	—	1
Fan	—	—	Ikura Seiki "N3951"	—	2	3

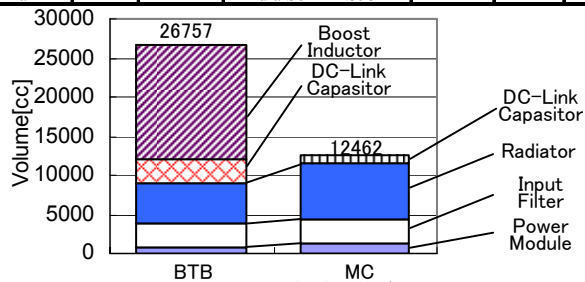


図4 体積比較結果

Fig.4. Result of volume comparison.

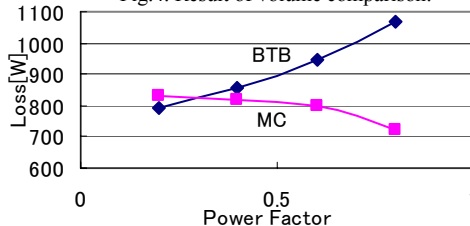


図5 損失比較結果

Fig.5. Result of loss comparison.

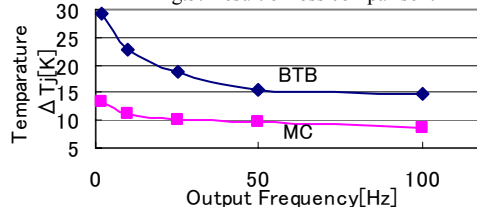


図6 出力周波数とジャンクション上昇温度の関係

Fig.6. Relation between output frequency and junction temperature.

文献

- (1) 佐藤, 伊東他, 半導体電力変換研究会 SPC-04-075, 2004
- (2) S.Round, F.Schafmeister, et.al. IEEJ Transactions, Volume 126-D, Number 5, pp. 578 – 588(2006)
- (3) 飯田, 伊東, SPC-5-47 IEA-05-2(2005)