

受動素子の体積と損失に着目した アクティブバッファと昇圧チョッパの比較検討

◎大沼 喜也 伊東 淳一

長岡技術科学大学 工学研究科

ohnuma@stn.nagaokaut.ac.jp

1. はじめに

家庭などでモータを駆動する場合は単相三相電力変換器が必要となる。単相交流は、本質的に電力脈動が発生するため、キャパシタが大容量化する。また、力率改善回路(PFC回路)に用いる昇圧用インダクタが装置の大型化や効率の低下を招いている。そこで著者らは、小型・高効率化可能なアクティブバッファ回路を提案した(1)(2)。

本論文では受動素子に着目し装置体積と損失の検討を行い、提案回路と従来回路の比較を行う。その結果、提案回路は効率を 1.5%、体積は 30% 低減することが分かったので報告する。

2. 変換器仕様

図 1 に従来回路として、昇圧チョッパを力率改善に用いた回路を示す。図 2 に提案回路を示す。提案回路は、直流中間部を、スイッチと小容量のキャパシタを直列に接続したアクティブバッファ回路と充電回路を付加した構成である。

表 1 に比較に用いる変換器の仕様を示す。出力はモータを模擬した RL 負荷とする。各変換器は出力可能な電圧が異なるが、負荷を調整し出力電力を一致させている。また、電源側にはスイッチング成分を除去するための入力フィルタを設ける。

3. 制御方法

従来回路はこれまで様々な制御方式が提案されているが、本論文ではスイッチング周波数を一定とし、インダクタ電流を連続で動作させる方式(CCM)と不連続で動作させる方式(DCM)の 2 つの制御方式を検討する。一方提案回路では電力脈動をアクティブバッファで完全に補償する。また、インダクタ電流は DCM で動作させる。

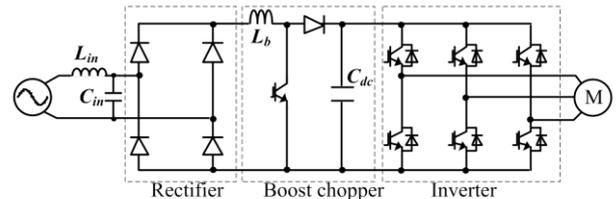


Fig.1 Conventional converter.

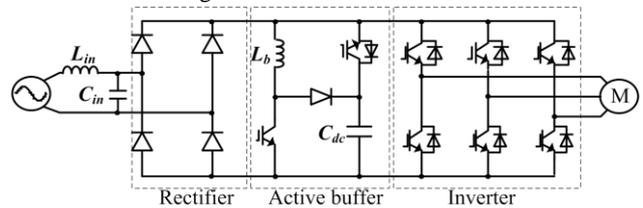


Fig.2 Proposed converter.

Table 1 Common specification of converters.

Items	Value	Items	Value	
Input voltage (rms)	200 V	Average capacitor voltage	350 V	
Input frequency	50 Hz	Carrier frequency	10 kHz	
Input filter L_{in}	0.85 mH	Output power	1.5 kW	
(% impedance)	1 %	Output frequency	50 Hz	
Input filter C_{in}	13.2 μ F	Temperature	Ambient	40 $^{\circ}$ C
(% impedance)	0.02 %		Junction	125 $^{\circ}$ C

Table 2 Design value of parameters

Items	Proposed converter	Conventional converter (CCM)	Conventional converter (DCM)	
Boost inductor	L_b	0.46 mH	2.6 mH	
	I_L	5.3 A	10.6 A	
	I_{L_peak}	11.7 A	11.7 A	
DC-link capacitor	ΔV_C	100 V	17.5 V	
	C_{dc}	Required : 136 μ F Selected : 150 μ F	Required : 780 μ F Selected : 1000 μ F	Required : 780 μ F Selected : 1000 μ F
	Rated ripple current	5A	5A	5A

4. 各 부품の設計

表 2 に主要受動素子のパラメータ値を示す。インダクタのリプル電流を、CCM は定格電流の 10%、DCM では 110%としインダクタンス値を決定する。インダクタのピーク電流 I_{L_peak} は従来回路 CCM で 11.7 A、従来回路 DCM では 2 倍の 23.3A となる。一方提案回路では DCM 動作であ

るが、提案回路のインダクタに流入する電流値 I_L は定格電流の半分となるので、結果としてピーク電流は従来回路 CCM の 11.7 A と一致する。

従来回路のキャパシタは、電圧リップルを 2.5% まで許容する値を選定基準とする。一方提案回路は電圧を積極的に変動させるので、電圧変動幅を 100 V とし電力脈動を完全に補償できる値とする。キャパシタは市販品より容量、リップル電流を満たす部品を選定する。その結果従来回路では 1000 μ F の電解コンデンサを、提案回路では小容量のキャパシタを使用できるので 150 μ F の積層セラミックコンデンサをそれぞれ選定した。

5. 効率比較

高速パワーエレクトロニクス回路シミュレータ PLECS を用い損失解析を行った。インダクタの損失は等価抵抗 0.25 Ω とし電流より損失を算出した。図 3 に定格時の損失とその内訳を示す。提案回路は 94.6%の効率が得られ、実機の効率と一致している。このことからシミュレーションの妥当性が確認できる。提案回路はインバータの導通損が増加するものの、PFC 回路部で 10~20% 低減している。また昇圧用インダクタの損失は CCM と比較して約 77%，DCM と比較すると約 87%も軽減する。これは提案回路のインダクタを通過する電流の平均値は従来回路の 1/4 ですむので損失が小さい。この結果より、全体の効率を比べると提案回路は従来回路 CCM に比べ 0.5%，DCM と比べると 1.5%効率が改善する。

6. 体積比較

図 4 に、体積比較結果を示す。キャパシタの体積は市販品より算出した。結果より、キャパシタの体積は 20%低減した。また積層セラミックコンデンサは今後さらなる小型化が進むと考えられる。インダクタの体積は Area Product⁽³⁾より算出した。Area Product より、インダクタの体積は蓄積エネルギーの 3/4 乗に比例する。従来回路 CCM では昇圧用インダクタに蓄積するエネルギーが大きいため、体積が 196 cm³ と全体の約

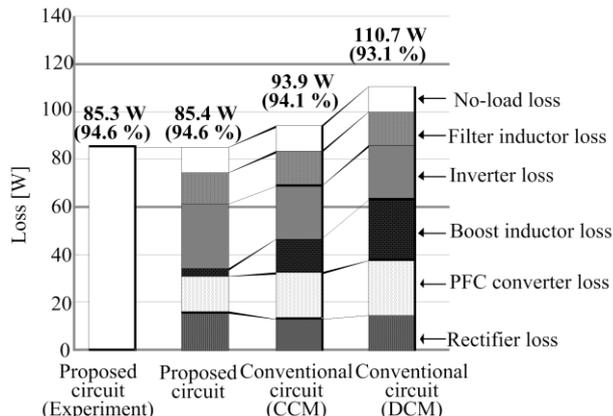


Fig.3 Loss analysis of converters.

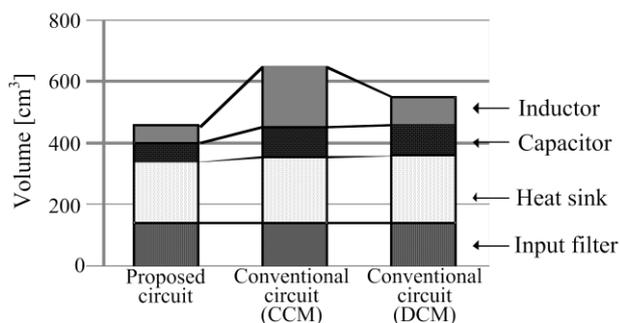


Fig.4 Total volume of passive components

30%を占めているのに対し、提案回路は 53.6 cm³(総体積の約 12%)と従来回路 CCM と比較し体積を約 72%も低減できる。これらより、提案回路の体積は、アクティブバッファを用いることで従来回路 CCM に比べ 30%，従来回路 DCM と比べると 17%の小型化を実現できる。

7. まとめ

本論文では、昇圧チョップを用いた場合とアクティブバッファを用いた場合の単相三相変換器の損失と体積の比較検討を行った。その結果、アクティブバッファを用いることで、効率は従来回路 DCM と比較し 1.5%向上、体積は従来回路 CCM と比較し 30%小型化できることが分かった。

文 献

- (1) Y. Ohnuma, J. Itoh: ECCE Atlanta 2010 , pp. 1801 - 1807
- (2) 大沼・伊東：平成 23 年電気学会全国大会，4-042，2011
- (3) Wm. T. McLyman' Transformer and Inductor Design Handbook' CRC Press, 2004
- (4) Drogenik U., Kolar J.W., PCIM Europe 2005 , pp. 608 - 619
- (5) 植杉・金澤・蛭間・宮崎・神戸：電学論 D, Vol.119, No.5, pp.592-598(1999)
- (6) 中野・佐藤・難波江：電学論 D, Vol.115, No.5, pp.562-569(1995)
- (7) Y. Ohnuma, J. Itoh: ECCE phoenix , 2011