

アクティブパワーデカップリング回路における 高パワー密度化に着目したキャパシタ選定指針の明確化

◎竹内 滉介, 宮田 湧気, 渡辺 大貴, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

単相電力変換器は一般に系統周波数の2倍周波数で脈動する電力脈動を補償する必要があり, 大型な大容量コンデンサが用いられる。一方でアクティブパワーデカップリング(APD)方式は小容量キャパシタで電力脈動を補償できるため小型化が期待できる。しかし, キャパシタは誘電体や許容リップル電流, 耐圧などの条件に応じて体積が大きく変わるため設計条件によっては必ずしも小型化につながらない。

本論文では, バッファキャパシタの要求に着目して, パワー密度と電流密度の二つの性能指針から評価する手法を提案する。500Wのミニモデルにより, 選定したキャパシタを用いたAPDの実機検証を行う。

2. 提案手法

図1に, キャパシタのパワー密度と電流密度の特性を示す。キャパシタの材料に着目して電解コンデンサ, セラミックコンデンサ, フィルムコンデンサ, ハイブリッドコンデンサの4種類を調査した。そして各種キャパシタの静電容量, 定格電圧, 許容リップル電流, 体積からパワー密度と電流密度を算出した。

電解コンデンサは, パワー密度は高いが, 電流密度が小さいため, APDによる補償電力及び電流が大きくなる大容量変換器には適していない。一方, フィルムコンデンサは, 電流密度は高いがパワー密度は低いため, より大きいバッファキャパシタ容量が要求される大容量変換器では, 体積が膨大になってしまう恐れがある。以上の結果から, パワー密度と電流密度がともに高いハイブリッドコンデンサを選定する。

表1に, 選定したキャパシタのパラメータと実装体積を示す。出力電力 P_{out} を500Wとし, バッファキャパシタの静電容量は式1で計算される。

$$C_{buf} = \frac{P_{out}}{2\omega_{out}V_{ave}\Delta V_c} \quad (1)$$

ハイブリッドコンデンサの場合, 平均電圧 V_{ave} は50Vで変動電圧 ΔV_c は40Vとする。電圧変動範囲を広げるためキャパシタ2個を直列に接続した。以上の電圧条件でキャパシタの容量と必要個数を算出して体積比較を行う。

その結果, パッシブ方式を想定して設計した電解コンデンサの体積は38.1cm³となった。アクティブ方式ではハイブリッドコンデンサの体積は17.1cm³となり, 電解コンデンサと比較して体積が約55%に減少した。

3. 実験結果

図2に実験回路図を示す。降圧型APD回路を用いて, 選定したハイブリッドコンデンサでのAPD動作をミニモデルにより検証した。

図3に実験による動作波形を示す。バッファキャパシタ電流を2倍周波数で脈動させて, 入力電流の脈動を補償することを確認した。

図4に周波数解析の結果を示す。APD動作時に入力電流の2倍周波数成分が約35%減少した。

実機実験により, 理論にも基づき設計したハイブリッドコンデンサを用いて500WでAPD動作することを確認した。

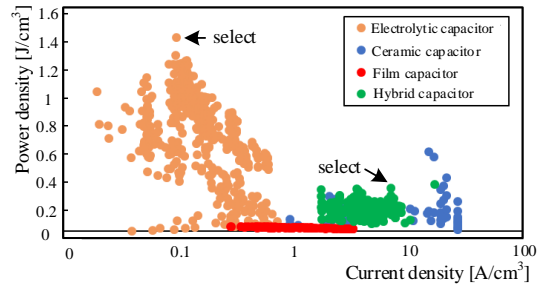


Fig.1 Relationship between power density and current density of capacitors

Table1 Volume comparison of selected buffer capacitors

Circuit topology	type	Marking	Maximum rati on	Volume
Passive	Electrolytic capacitor	日本ケムコン	400V	12.7cm ³ /pc
		EK XJ401 ELL221MM50S	1.2Ams 220μF	3pcs 38.1cm ³
Step down type Active buffer	Hybrid capacitor	日本ケムコン	63V	0.503cm ³ /pc
		HH XF630ARA470MHA0G1	3.3Ams 47μF	34pcs 17.1cm ³

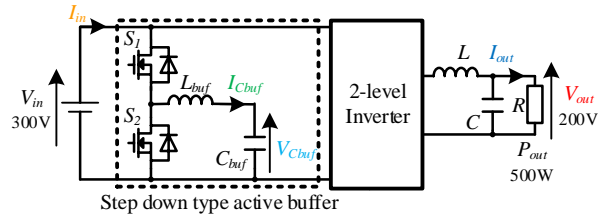


Fig.2 500W mini model circuit

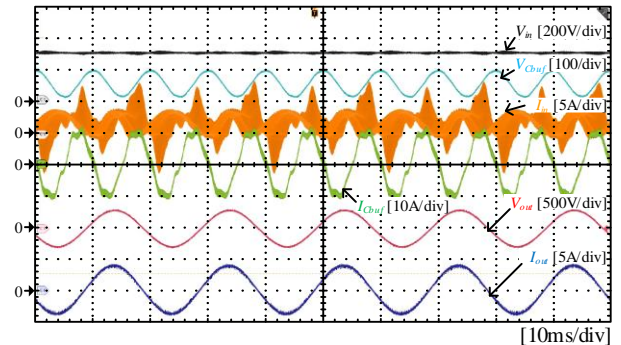


Fig.3 APD experimental results

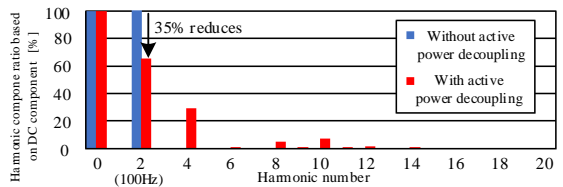


Fig.4 Harmonic analysis result

参考文献

- 櫻庭友和 他 : “パワーデカップリング技術を用いた単相インバータで高パワー密度を実現するためのコンポーネントへの要求” SPC-15-172, EDD-15-090 (2015)
- Y. Ohnuma and J. Itoh : “Comparison of Boost Chopper and Active Buffer as Single to Three Phase Converter” SPC-13-117, EDD-13-055 (2013)