

中間タップを用いたアクティブフィルタ機能付 絶縁型 DC/AC コンバータのトランス設計法

林 文博*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Transformer Design Method of Isolated DC/AC Converter with the Active Filter function using Center Tap
Fumihiro Hayashi, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

現在、燃料電池と太陽電池などの新エネルギーを単相 PWM インバータで系統連系する場合、本質的に電源の2倍の周波数の電力脈動を伴う。その電力脈動は直流側で電流脈動となり燃料電池やバッテリーの寿命に影響を与える。この対策として DC アクティブフィルタが提案されているが、この方式では素子数の増加が避けられない⁽¹⁾⁽²⁾。

そこで本論文では、トランスの中間タップを利用することによって素子数を増やさず DC アクティブフィルタを構成し、電流脈動の吸収ができる絶縁型 DC/AC コンバータを提案する⁽³⁾。また、提案方式で使用するトランスの設計法についても説明する。

2. 回路構成・制御法

図 1 に示す提案回路を示す。トランスの中間タップを用いることで、直流側のフルブリッジコンバータと DC アクティブフィルタを一体化した回路を構成できる。

図 2 に制御ブロック図を示す。系統の電力脈動から電流リップルを求めて DC アクティブフィルタの電流指令 I_{com}^* とする。実際にアクティブフィルタに流れる I_{com} を I_{com}^* に PI 調節器によって追従させる。アクティブフィルタの電圧指令 V_{com}^* は PI 調節器の出力となる。このように作成した V_{com}^* を差動分である高周波リンクの電圧指令 V_{dif}^* に重畳して電圧指令 V_1^* と V_2^* を(1), (2)式にて得る。このとき, (1), (2)式より差動分は(3)式, 同相分は(4)式で示される。

$$v_1^* = \frac{1}{2}v_{dif}^* + \frac{1}{2}v_{com}^* \quad (1) \quad v_2^* = -\frac{1}{2}v_{com}^* + \frac{1}{2}v_{dif}^* \quad (2)$$

$$v_1^* - v_2^* = v_{dif}^* \quad (3) \quad v_1^* + v_2^* = v_{com}^* \quad (4)$$

トランスの二次側に伝達する電圧は差動分のみとなり、トランスの中間タップの電圧は同相分で制御される。

3. 補償コンデンサ容量・トランス電流容量決定法

補償コンデンサ C_f は脈動電力の半周期分のエネルギーを授受できれば良い。アクティブフィルタで授受すべきエネルギー w_c は脈動電力の半周期分なので(5)式で表される。また、補償コンデンサ C_f で授受できるエネルギー w_f は(6)式で示される。

$$W_c = \int_0^{T/4} P_{in} \cos 2\omega t dt = \frac{P_{in}}{\omega} \quad (5)$$

$$W_f = \frac{1}{2} C_f (V_{cf0} + \Delta V_{cf})^2 - (V_{cf0} - \Delta V_{cf})^2 \quad (6)$$

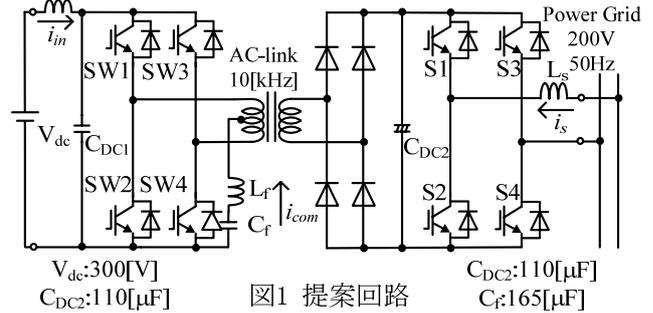


図1 提案回路

Fig.1. Proposed circuit

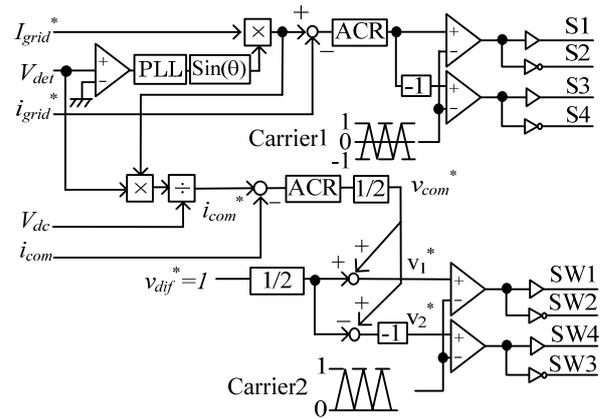


図2 制御ブロック図

Fig.2. Control block diagram

ここで、 P_{in} は入力電力、 ω は系統の角周波数、 V_{cf0} と ΔV_{cf} は C_f の平均電圧と変動電圧である。(5), (6)式より補償に必要なコンデンサ容量が(7)式で示される。

$$C_f = \frac{P_{in}}{\omega V_{cf0} \Delta V_{cf}} \quad (7)$$

図 3 に $P_{in}=1kW$, $V_{dc}=300V$, $V_{cf0}=150V$ での C_f の容量と変動電圧 ΔV_{cf} の関係を示す。図 3 より C_f を小容量化するためには、 C_f の電圧をアクティブに変動させる必要があることがわかる。しかし、 ΔV_{cf} を大きく変動させるためには同相分の duty 幅 D_{com} を広くとる必要がある。(8)式に D_{com} と ΔV_{cf} の関係を示す。

$$D_{com} = \frac{\Delta V_{cf}}{2V_{cf0}} = \frac{\Delta V_{cf}}{V_{dc}} \quad (8)$$

また、差動分の duty 幅 D_{dif} は(8)式より(9)式で表される。

$$D_{dif} = 1 - D_{com} = 1 - \frac{\Delta V_{cf}}{V_{dc}} \quad (9)$$

さらに、一定の電力を伝搬する場合の差動分で流れる電流 I_{dif} は(9)式より(10)式で表される。

$$I_{dif} = \frac{P_{in}}{V_{dc} D_{dif}} = \frac{P_{in}}{V_{dc} - \Delta V_{cf}} \quad (10)$$

トランスの 1 次側巻線には補償電流 I_{com} も流れる。補償電流 I_{com} は(11)式で表される。

$$I_{com} = \frac{2P_{in}}{V_{dc}} \quad (11)$$

結果的に、トランスの巻線に流れる全電流 I_{trans} は(10)、(11)式より(12)式で示される。

$$I_{trans} = I_{dif} + \frac{I_{com}}{2} = \frac{P_{in}}{V_{dc} - \Delta V_{cf}} + \frac{P_{in}}{V_{dc}} \quad (12)$$

最終的に、(7)、(12)式より C_f と I_{trans} の関係が(13)式で示される。

$$C_f = \frac{P_{in}(P_{in} - V_{dc} I_{trans})}{\omega V_{cf0} V_{dc} (2P_{in} - V_{dc} I_{trans})} \quad (13)$$

(13)式より図 4 に C_f と I_{trans} の関係グラフを描く。グラフよりコンデンサ容量を低く抑えるためには電流容量の大きいトランスが必要となることがわかる。例えば、1kW のシステムで C_f を $100\mu\text{F}$ 以下に抑えるためには電流容量が 16A 以上のトランスが必要である。

4. 実験結果

表 1 に実験パラメータを示す。実験では電流容量 10A トランスを用いたので、図 4 より補償コンデンサは $165\mu\text{F}$ を選択した。

図 5 に実験結果の波形を示す。直流側の電流はほぼ一定に制御され、系統周波数の 2 倍で脈動する電流脈動を抑えられる。また、連系電流も力率 1 で制御できている。

図 6 にアクティブフィルタ動作有りと無しの入力直流電流ひずみ率を示す。ひずみ率は(14)式で定義した。

$$I_{DC_THD} = \frac{\sqrt{\sum I_n^2}}{I_{DC}} \quad (14)$$

提案法によって入力電力 1kW 時に 70%から 15%に輸入直流電流ひずみ率が低減できていることが確認できる。

5. まとめ

本論文では、直流側の電流脈動吸収を目的として、トランスの中間タップを用いたアクティブフィルタ機能付絶縁型 DC/AC コンバータを提案し、補償コンデンサ容量とトランス電流容量の決定法を示した。また、定格 1kW の試作器で実験を行い、直流側の電流脈動吸収効果を確認した。

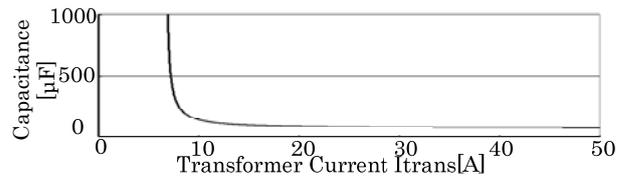


図 3 補償に必要な補償コンデンサ容量

Fig. 3. The capacitance which is necessary for compensation. (P_{in} :1kW, V_{dc} :300V, V_{cf0} :150 V)

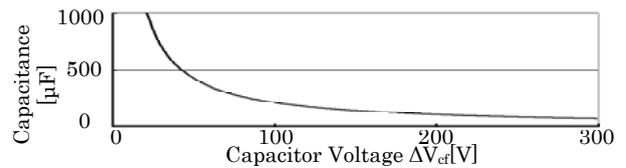


図 4 補償に必要なコンデンサ容量とトランス電流容量

Fig. 4. The transformer current capacity and capacitance which is necessary for compensation.

(P_{in} :1kW, V_{dc} :300V, V_{cf0} :150 V)

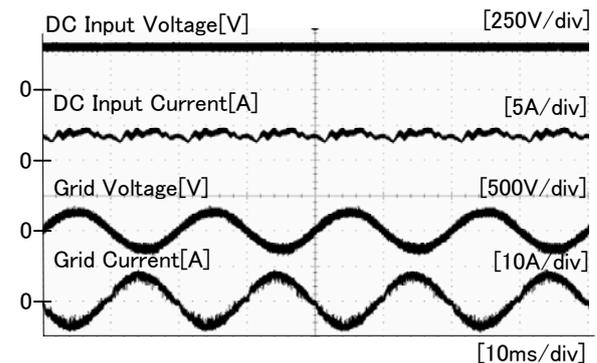


図 5 実験結果

Fig.5. Experimental results.

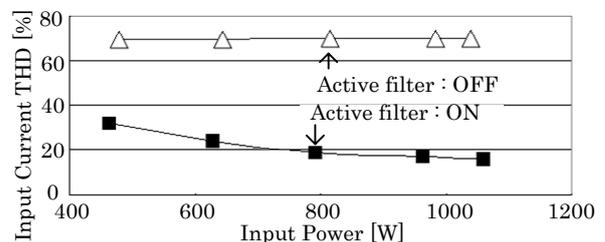


図 6 入力直流電流ひずみ率

Fig.6. Input DC Current distortion factor.

文献

- (1)入江, 山下, 竹本: 電学論 D, 112, 7, pp623-659(1992-7)
- (2)北野, 松井: 平成 8 年電気学会全国大会 715
- (3)林, 伊東: 半導体電力変換研究会 SPC-08-75