

電流連続モード制御に基づく

昇圧 DC-DC コンバータの電流不連続制御方式の提案

LE HOAI NAM・折川 幸司・伊東 淳一（長岡技術科学大学）

1. はじめに

近年、太陽光発電システムの小型化を目的に昇圧チョップの昇圧リアクトルの小型化が求められている。電流不連続モード（以下、DCM）制御でインダクタを小型化できるが、電流連続モード（以下、CCM）と同じ応答を得るためには CCM 制御系と別の制御系が必要となり、制御が複雑化する問題がある。

本論文では、CCM の制御系に基づき、DCM 時にデューティおよび変換器ゲインを補正するだけで、応答設計どおりの DCM 制御を実現する制御方式を提案する。ここでは、試作機により CCM 時と DCM 時の電流応答を比較し、提案制御法の妥当性を確認したので報告する。

2. 制御系の構成

図 1 に検討を行う昇圧チョップを示す。ここでは、負荷は定電圧源としている。これは入力リアクトル電流の応答を評価することを目的としているためである。CCM を検証する際には、SW<sub>1</sub> と SW<sub>2</sub> をスイッチングさせる。一方、DCM の検証時は SW<sub>1</sub> を常にオフとする。

図 2 に提案する制御系を示す。本制御では、CCM の制御系を基に DCM の制御を実現するため、デューティ補正係数  $\alpha_{DCM}$  とゲイン補正係数  $K_{DCM}$  を導入する。デューティ補正係数  $\alpha_{DCM}[n]$  は、入力電圧  $V_{in}[n]$  と出力電圧  $V_{out}[n]$  と 1 サンプル遅れたデューティ  $d[n-1]$  を用いて(1)式で与えられる。

$$\alpha_{DCM}[n] = \frac{V_{out}[n]}{V_{out}[n] - V_m[n]} d[n-1] \dots \dots \dots (1)$$

CCM の場合には、現在のデューティ  $d[n]$  は PI 制御器の出力のみで決定されるが、DCM の場合には  $d[n]$  と  $d[n-1]$  との差分である微小デューティ  $\tilde{d}[n]$  を用いて  $d[n]$  を決定する必要がある。そのため、デューティ補正係数  $\alpha_{DCM}[n]$  を導入することで、DCM の微小デューティ  $\tilde{d}[n] = d[n] - d[n-1]$  を導出し、ゲインの補償を行う<sup>(1)</sup>。

加えて、PI 制御のゲインは CCM を基準に設計するため、DCM の際には応答が設計値と一致しない<sup>(2)</sup>。そのため、ゲイン補正係数  $K_{DCM}[n]$  によりゲインの補償を行う。ここで、 $K_{DCM}[n]$  は、(2)式で得られる。

$$K_{DCM}[n] = \frac{V_{out}[n] - V_m[n]}{V_m[n]} \frac{1}{d[n-1]} \dots \dots \dots (2)$$

3. 実験結果

図 3 に入力電流応答波形を示す。DCM の電流平均値を検出するために、カットオフ周波数 5 kHz のローパスフィルタ（以下、LPF）を用いる。図 3(b)により、DCM 電流を図 3(a)の CCM 電流と同じ応答に制御できることを確認できる。

図 4 に入力リアクトル電流のオーバーシュートと立ち上がり時間の設計値と実験値を示す。ここで、減衰係数は 0.7 とした。図 4 より、固有角周波数の設計値に対して、DCM 応答と CCM 応答の実験値がほぼ一致すること

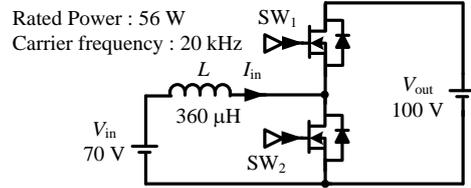


Fig. 1. Boost DC/DC converter.

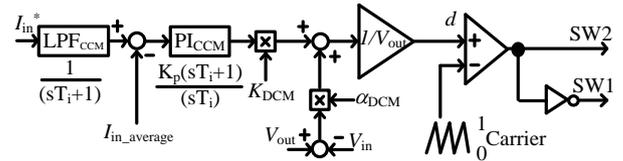
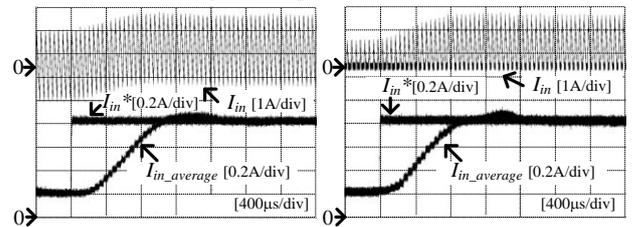


Fig. 2. Proposed Control.



(a) CCM Control (b) DCM Control

Fig. 3. Experimental results.

(Natural frequency: 3000 rad/s, Damping factor: 0.7)

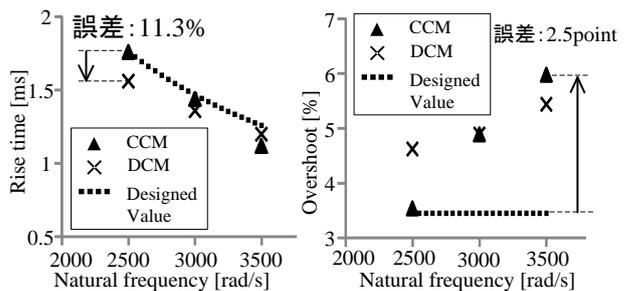


Fig. 4. Overshoot and rise time of experimental results.

がわかる。この結果より、提案制御法を用いることで昇圧チョップの上側スイッチをダイオードにしても良好な DCM 制御ができるため、低コスト化が実現できる。また、立ち上がり時間およびオーバーシュートの実験値と設計値とに最大で 11.3%と 2.5 ポイントの誤差が発生することがわかる。この誤差の原因は、LPF の時定数  $\tau = 31.8 \mu s$  がフィードバックの遅延時間となり、制御系のオーバーシュートが増加し、立ち上がり時間が短くなるためである。

今後は、提案する DCM 制御法を適用したインダクタの小型化の評価、変換器効率の検証を行う予定である。

参考文献

(1) S. F. Lim, et al., "A simple digital DCM control scheme for boost PFC operating in both CCM and DCM", IEEE VOL. 47, pp. 1218-1225 (2010)  
 (2) Jian Sun, et al., "Averaged Modeling of PWM Converters Operating in Discontinuous Conduction Mode", IEEE vol. 16, pp. 482-492 (2004)