

ピーク電流を用いたデジタル制御方式 DC-DC コンバータの周波数解析について

梶原一宏* 丸田英徳** 柴田裕一郎** 黒川不二雄**
 (*長崎総合科学大学) (**長崎大学)

1 はじめに

情報通信用電源システムでは、負荷がダイナミックに変動するため、高い安定性が要求される。一般に、ピーク電流モード制御は電圧モード制御に比べて高い安定性を示すため有効であるが、デジタル制御方式で実装する場合、A-D 変換および演算処理にかかる時間により電流のピーク値を瞬時に検出することは困難である^[1]。そこで、著者らは既に、簡単な回路構成でリアルタイムにピーク電流を検出できるデジタルピーク電流モード制御回路を提案し、優れた過渡特性が得られることを確認した^[2]。

本稿では、提案方式の周波数解析から安定性について検討した結果、従来方式に比べて高い安定性が得られたので報告する。

2 原理

図 1 に提案するデジタル制御方式ピーク電流モード DC-DC コンバータを示す。また、図 2 に提案方式における動作波形を示す。出力電圧 e_o はデジタル値に変換後、PID 制御器に送られ N_{PID} が算出される。遅延回路の出力信号 S_D は N_{PID} の値を基にリアクトル電流 i_L の検出開始時間 T_D を決定する。ピーク電流検出器は RC 積分回路、コンパレータおよび R-S フリップフロップで構成され、 i_L の検出開始点から RC 積分電圧 v_{rc} が上昇する。コンパレータにより v_{rc} はしきい値電圧 V_{th} と比較され、 S_{cs} は積分開始点からオンとなり、 v_{rc} が V_{th} に達したときにオフとなる。 S_{cs} がオフになる瞬間がピーク電流 I_{peak} の検出を表し、瞬時にメインスイッチ T_r がターンオフされる。図 2 より、提案方式におけるオン時間 T_{on} は $T_D + T_{cs}$ となる。ここで、RC 積分回路の時定数を τ とすると、提案方式の一巡伝達関数 $T(s)$ は式(1)のように表される。

$$T(s) = E_i G(s) \{ -H_{PID}(s) \cdot \Delta e_o(s) - H_{Pi} \Delta i_L(s) \} \quad (1)$$

ただし、 $H_{Pi} = (\tau V_{th}) / (G_i I_{peak}^2 T_s)$ であり、 $G(s)$ は降圧形コンバータの伝達関数および $H_{PID}(s)$ は PID 制御器における伝達関数である。

3 ボード線図

図 3 に従来のデジタル電圧モード PID 制御方式および提案方式のボード線図を示す。 $T_s = 10 \mu s$, $E_i = 15V$, $L = 175 \mu H$, $C_o = 285 \mu F$, $R_o = 5 \Omega$ および出力電圧目標値は $5V$ である。また、 $\tau = 2.64 \mu s$, $V_{th} = 0.8V$ および $G_i = 6.4$ である。図 3 より、従来方式の位相余裕は 19 度であった。一方、提案方式の位相余裕は 52 度であり、十分な安定性を示している。結果として、提案方式は従来方式に比べて 2.7 位の位相余裕が得られた。

4 まとめ

本稿では、提案するデジタル制御方式ピーク電流モード DC-DC コンバータの周波数解析を行い、ボード線図より安定性について評価した。その結果、提案方式は従来方式に比べて大きな安定性を得られることが明らかになった。

参考文献

- [1] Y. Qiu et al. : IEEE Tran. on Power Electronics, 25, 6, pp. 1537-1545, 2012.
 [2] K. Kajiwara et al. : Proc. of IEEE INTELEC, pp. 18-23, 2015.

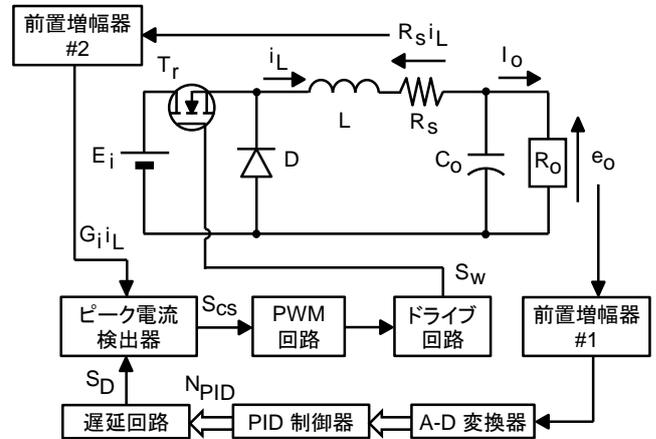


図 1 デジタル制御方式ピーク電流モード DC-DC コンバータ

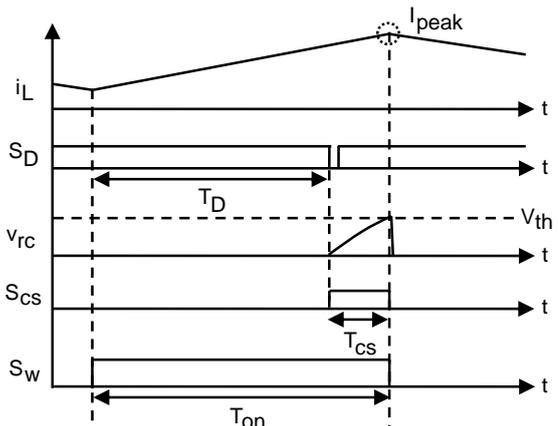


図 2 提案方式における動作波形

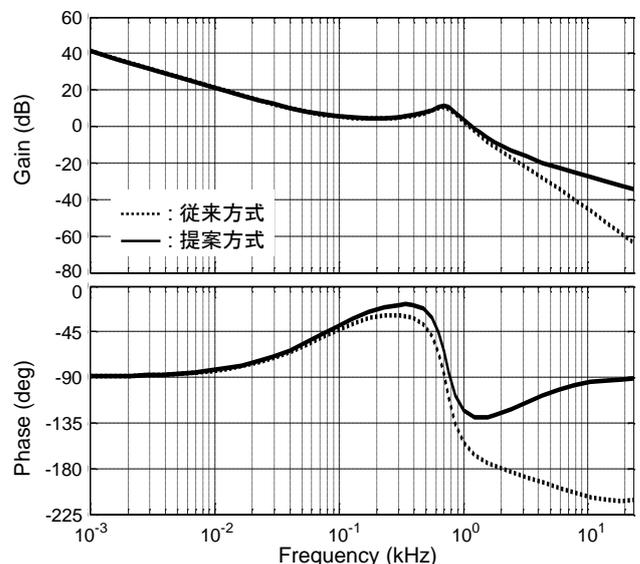


図 3 ボード線図