

B-28 高周波スイッチング電源における高速デジタルPID制御周期に関する検討

米満治希, 青木浩志, 梶原一宏, 古川雄大, 黒川不二雄
(長崎総合科学大学)

1. まえがき

電子機器の小型化に伴い、スイッチング電源の高周波化が進んでおり、近年 1MHz を超える高周波電源の適用が検討されている。スイッチング電源の制御部をデジタル制御方式で実装した場合、通常 1 スwitching 周期ごとに出力電圧を A-D 変換し、その値を用いて PID 制御を行い、次のスイッチング周期におけるメインスイッチのオン時間を決定する。しかしながら、MHz 動作を行うデジタル制御電源で上述の動作を実現するには高価な CPU が必要となり、コスト上昇を招く。そのため、スイッチング周期に対して PID 制御演算の遅れ時間が大きくなり、負荷急変時における過渡特性の悪化を招く。[1]

そこで、本稿では提案方式として、デジタルPID制御において、過渡特性改善に最も有効な P 制御のみ高速に演算することで負荷急変時に高速応答を実現できる高速デジタルPID制御方式について検討を行ったので報告する。

2. 動作原理

図 1 に主なスイッチング電源の一つであるデジタル制御方式降圧形 DC-DC コンバータの回路構成を示す。出力電圧 e_o は C_c , R_1 および R_2 で構成される検出回路により $e_s[n]$ として検出される。 e_s は A-D 変換器によりデジタル値に変換され、PID 制御回路により $N_{PID}[n]$ を算出する。図 2 に従来および提案方式における PID 制御のタイミングチャートを示す。図 2(a)において、PID 制御演算は以下のように行われる。

$$N_{PID}[n] = N_B - K_P(e_s[n-3] - N_R) - K_I \Sigma(e_s[n-3] - N_R) - K_D(e_s[n-3] - e_s[n-4]) \quad (1)$$

ただし、 N_B は基準バイアス値、 N_R は目標電圧デジタル値、 K_P , K_I および K_D は、比例、積分および微分係数である。式(1)に示すように、従来方式では(n-3)周期における出力電圧 e_o をサンプリングし、その値をもとにPID制御演算を行い、n周期におけるスイッチのオン時間を決定する。そのため、サンプリングから実際にPWM信号に反映されるまでに2周期以上の遅れが生じ、応答が遅延する要因となる。一方、図2(b)の方式では、過渡特性改善に有効なP制御のみ高速演算することで、(n-2)周期にサンプリングした出力電圧 e_o のPID制御値をn周期に反映させることができる。これより、遅れ時間を低減することができ、高速応答を実現させることができる。

3. 過渡特性

シミュレーション回路を用いて、入力電圧 E_i は 5V、出力電圧目標値は 1.2V、リアクトル L は 0.47 μ H、出力キャパシタ C_o は 400 μ F、スイッチング周波数は 1 μ s の条件で検証を行った。負荷電流 I_o を 1A から 3A に急変させた時の過渡特性を評価し、その結果を図 3 に示す。図 3(a) の従来方式では、各 PID 制御周期を 2 μ s に設定した。このとき、出力電圧 e_o にアンダーシュートが 5.2% 生じ、目標値の $\pm 1\%$ の範囲に収束するまでの時間は 0.46ms であった。一方、図 3(b) の提案方式では、P 制御周期を 1 μ s にし、ID 制御周期は従来方式と同様に 2 μ s に設定した。このとき、アンダーシュートが 4.9% に抑制され、収束時間は 0.23ms であった。図 3(a) と図 3(b) を比較すると、P 制御演算を高速にすることによってアンダーシュートは約 5.8% 改善され、収束時間はおよそ 50% 改善することができた。

参考文献

[1] K. Kajiwara et al. ICRERA, pp. 1-4, 2019.

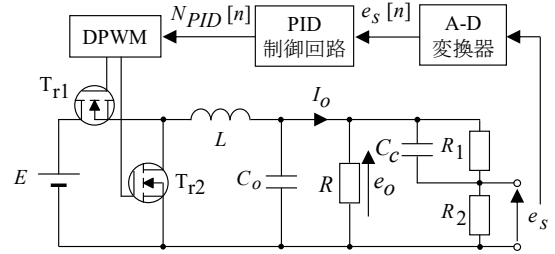
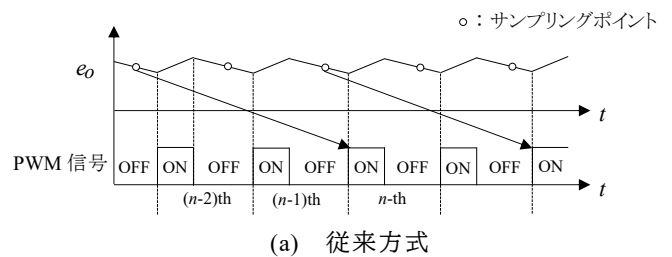
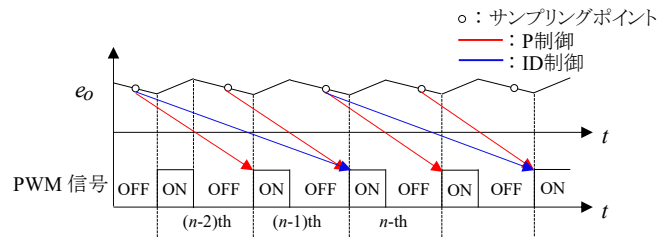


図1 降圧形DC-DCコンバータの構成

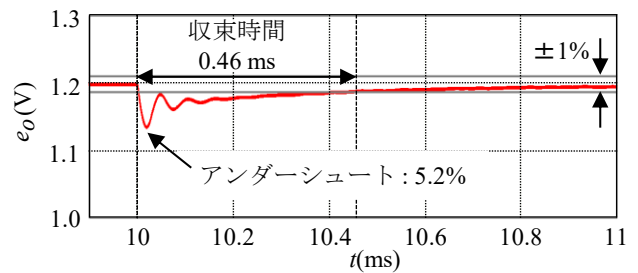


(a) 従来方式

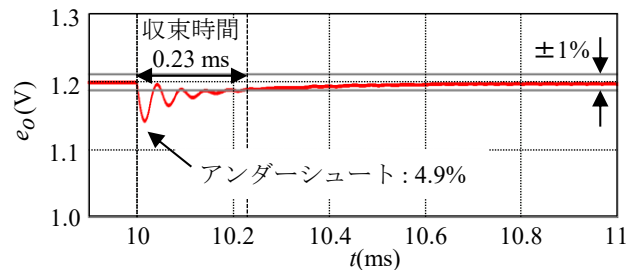


(b) 提案方式

図2 PID制御のタイミングチャート



(a) 従来方式



(b) 提案方式

図3 過渡特性