

昇圧形コンバータのための積分ゲイン可変手法について

松岡 蓮, 鈴田 高登, 梶原 一宏, 黒川 不二雄
(長崎総合科学大学)

1. はじめに

近年, 温室効果ガス削減に向けて再生可能エネルギーの最大限の導入が求められている. しかし, その発電量は天候等により変動しやすいため, DC-DCコンバータには入力電圧の変動に対応する特性が求められる. 一般に, DC-DCコンバータは入力電圧の変動に対してPID制御に大きな積分ゲイン K_I を用いることで良好な出力電圧のレギュレーションが得られる. 一方で出力電圧の安定性が悪くなる. したがって, 良好な出力電圧のレギュレーションおよび出力電圧の安定性の両立は困難である.

そこで本稿では, デジタル制御昇圧形DC-DCコンバータにおいて, 積分ゲインを可変にすることで, 入力電圧の変動に対応できることを確認したので報告する.

2. 回路構成および動作原理

図1にデジタル制御昇圧形DC-DCコンバータの回路図を示す. デジタル制御回路部では, 出力電圧 e_o はA-D変換器に入力され, デジタル値に変換される. そのデジタル値により, PID制御を行いPWM信号を生成する. PID制御を用いた昇圧形DC-DCコンバータの静特性解析に基づき, 積分ゲイン関数 K_I は式(1)のように求まる[1].

$$K_I \geq \frac{N_B - N_{TS}}{2^Q - 1} + \frac{N_{TS}}{(2^Q - 1)(E_o^* + rI_o)} E_i \quad (1)$$

ただし, N_B は基準バイアス値, N_{TS} はスイッチング周期のデジタル値, Q は積分制御演算部のビット数, E_o^* は出力電圧の目標値, r は回路の内部損失を模擬した抵抗および I_o は出力電流である. 式(1)より, K_I は入力電圧に依存していることが確認できる. この式を基に, K_I を入力電圧に応じて最低限必要な値に切り替えることができる.

3. 測定結果

今回のシミュレーションに使用する回路パラメータは, 入力電圧は8Vから12V, 出力電圧は20V, 定格出力電流は3A, 定格出力電力は60W, スwitching周波数は100kHzである. 式(1)において, $N_B=2547$, $N_{TS}=4000$, $Q=15$, $r=0.67\Omega$ であり, $K_I = -0.0454 + 0.00615 \times E_i$ と求まる. この式から入力電圧が8Vおよび12Vのときの K_I はそれぞれ0.005および0.03となる. そのため, 従来の積分ゲイン固定方式では8Vから12Vの入力電圧範囲で良好な出力電圧のレギュレーション特性を得るには $K_I=0.03$ にする必要がある. 図2に入力電圧が変化した場合における出力電圧のレギュレーション特性を示す. 図2より, $K_I=0.005$ の場合, 入力電圧が増加するにつれて e_o が増加してしまうことが確認された. 一方, $K_I=0.03$ および可変方式においては, 入力電圧が変化しても e_o は20Vで一定に保たれ, 良好な出力電圧のレギュレーション特性が得られることが確認できた. 図3に入力電圧を10Vから8Vにステップ変化させた場合の過渡特性を示す. 従来方式では, K_I が0.03と大きな値のため, ステップ変化前後のどちらにおいても出力電圧が大きく振動しており不安定である. 一方, 提案の積分ゲイン可変方式は, 入力電圧に応じて K_I を0.0161から0.0038に変化させることで, ステップ変化時の応答が安定していることが確認できる. 以上のことから, デジタル制御昇圧形DC-DCコンバータにおいて, 積分ゲインを可変にすることで入力電圧の変動に対応できることを確認した.

参考文献

[1] K.Kajiwara et al.: IJRER, Vol.6, no.1, pp.152-158, 2016.

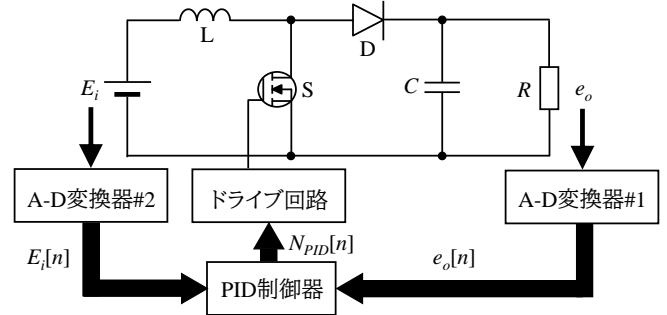


図1 デジタル制御昇圧形DC-DCコンバータ

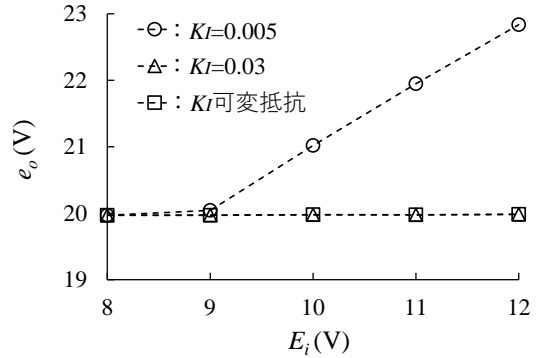
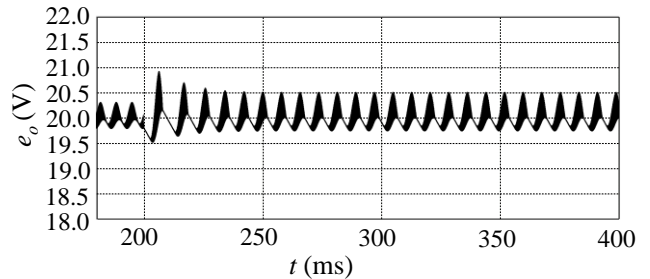
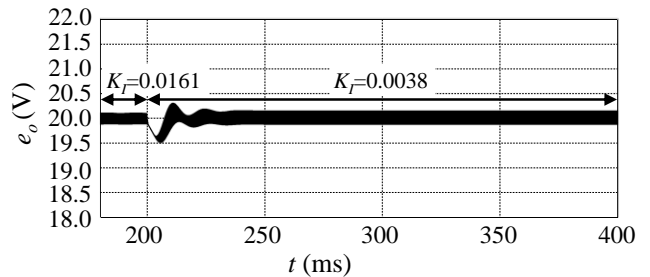


図2 出力電圧のレギュレーション特性



(a) 従来方式 ($K_I=0.03$)



(b) 提案方式

図3 E_i を10Vから8Vにステップ変化させた時の過渡応答