

昇圧チョップにおける電流制御系のサンプリング周波数選定法に関する考察

◎渋谷 貴之, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年, 回路の小型化を目的として, 電力変換回路の高速制御が盛んに研究されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし, 高速制御におけるサンプリング周波数の選定基準が明確ではないことから, サンプリング周波数が過大となり, 制御装置のコストアップの要因になる。

本論文では, 昇圧チョップの電流制御系を例に取り, 高速応答が可能であるデッドビート制御を P 制御系, PI 制御系, IP 制御系に適用し, 適切なサンプリング周波数の選定基準について検討を行ったので報告する。

2. デッドビート制御

図 1 にシステムの構成を示す。ここで, 制御対象はリアクトル L_1 に流れる電流 I_{L1} とする。また, L_1 は入力電圧 $V_{in}=50V$, および定格電流 $I_n=10A$ で基準化した値である。

図 2 に P 制御, PI 制御, IP 制御のそれぞれの電流制御系を示す。ここで, 図 2(b)の PI 制御系におけるフィルタは制御系のゼロ点を打ち消す目標値フィルタである。また, P 制御系, PI 制御系, IP 制御系の離散閉ループ伝達関数を式(1), 式(2), 式(3)に示す。

$$G_p = \frac{\frac{T}{L_1} K_{pp}}{z + \frac{T}{L_1} K_{pp} - 1} \dots\dots\dots(1)$$

$$G_{pi} = \frac{\frac{T}{L_1} \{(z-1)K_{pip} + K_{pi}\}}{z^2 + \left(\frac{K_{pip}T}{L_1} - 2\right)z + \left(1 - \frac{K_{pip}T}{L_1} + \frac{K_{pi}T^2}{L_1}\right)} \dots\dots(2)$$

$$G_{ip} = \frac{\frac{K_{ipi}T^2}{L_1}}{z^2 + \left(\frac{K_{ipd}T}{L_1} - 2\right)z + \left(1 - \frac{K_{ipd}T}{L_1} + \frac{K_{ipi}T^2}{L_1}\right)} \dots\dots(3)$$

ここで, T はサンプリング時間とする。これより, 極がすべてゼロになるようにそれぞれの制御器のゲインを設計し, デッドビート制御を実現する。

3. シミュレーション結果

図 3 に P 制御系のデッドビート制御応答の近似モデルより得た I_{L1} のゲイン特性を示す。ここで, 限界応答周波数におけるゲイン低下許容を 3dB とすると, サンプリング周波数を $f_s=3.15f_{ref}$ 程度に選定すればよいことがわかる。ここで, デッドビート制御は n サンプル後に指令値に追従する特性があることから, 1 次制御系である P 制御系と, 2 次制御系である PI 制御, IP 制御のゲイン特性は同じ結果になる。

図 4 にそれぞれの制御系のサンプリング周波数を $3.15f_{ref}$ としたときの周波数応答を示す。ここで, 電流指令値 I_{L1}^* は振幅 10A の正弦波とする。また, f_{max} は限界応答周波数であり, 指令値周波数 f_{ref} が f_{max} 以上では指令値飽和が発生する可能性がある⁽²⁾。これより, P 制御, PI 制御, IP 制御において設定したサンプリング周波数により, ゲイン低下許容を満たしていることが確認できる。これより, 制御系の形によらず, ゼロ点を含まないデッドビート制御系ではサンプリング周波数を f_{ref} の 3.15 倍程度に設定すればよい。

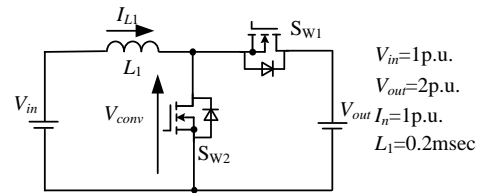


Fig.1. System configuration diagram.

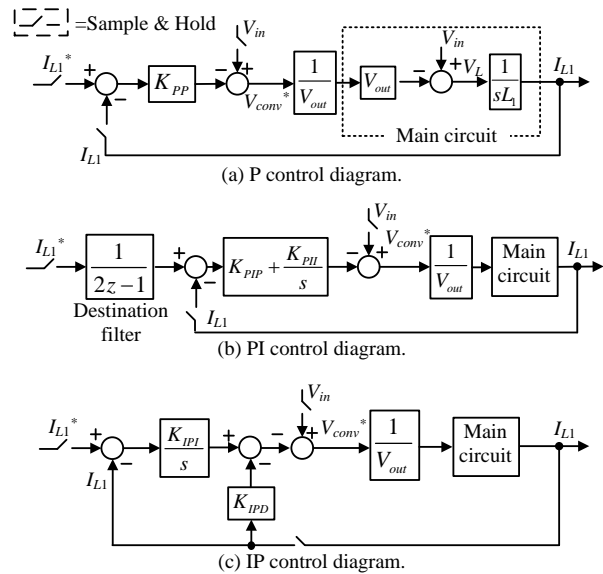


Fig.2. Control block diagram of deadbeat control.

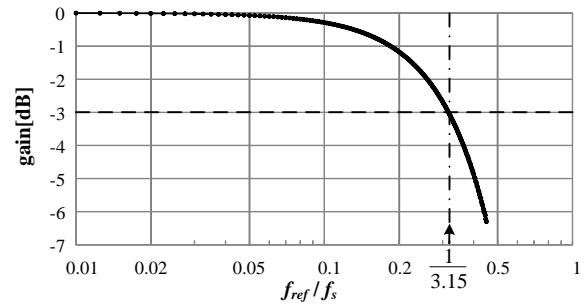


Fig.3. Amplitude frequency characteristic by sampling frequency.

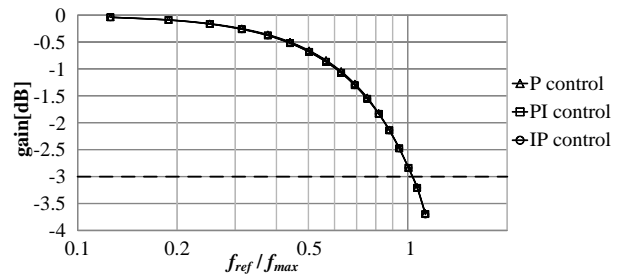


Fig.4. Amplitude frequency characteristic of system.

参考文献

1. 三枝, 横山, Vol.2009, No.1, 電気学会産業応用部門大会
2. 渋谷, 野下, 伊東, 2011, 電気学会北陸支部連合大会