

DC-DCコンバータのSHマイコンによる高度デジタル制御

太田 恵大 (0612157)

指導教員：樋口 幸治 准教授

1. 序論

DC-DCコンバータの多くの応用について、負荷は前もって特定されず、0から最大まで急に變更される。従来は、個々の負荷に対して最適になるように個々の制御器を設計し、制御系を構成して対応していたが、こういった手法では十分なロバスト性を確保するのは困難である。

本研究では、制御帯域幅をより広くし、同時に負荷急変時の出力電圧変動を十分小さく抑えることのできる近似的2自由度デジタル制御器とその設計手法を提案する。また、この制御器のシミュレーションを行い実際にSHマイコンに実装して提案する制御器の有効性を確認する。

2. 制御器の設計法

2.1 制御対象の離散化

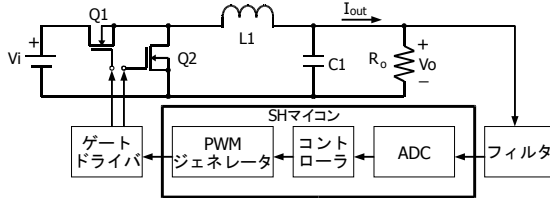


図1: DC-DCコンバータの構成

図1にSHマイコン(SH7216)を用いたDC-DCコンバータの基本構成を示す。スイッチング周波数は450[kHz]とした。抵抗負荷時の制御対象の状態方程式は以下となる。

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad y(t) = Cx(t) \quad (1)$$

$$x = \begin{bmatrix} v_o \\ i_{L1} \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_o C_1} & \frac{1}{C_1} \\ -\frac{1}{L_1} & -\frac{R_1}{L_1} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_p}{L_1} \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \quad K_p = -V_i / C_m$$

式(1)を、AD変換時間や演算時間を入力に存在する無駄時間とみなして離散化すると、次式が得られる。これを新たな制御対象と考え、制御器を設計する。

$$x_d(k+1) = A_d x_d(k) + B_d u(k) \quad y_d(t) = C_d x_d(t) \quad (2)$$

$$A_d = \begin{bmatrix} e^{AT} & \int_{T-L}^T e^{A\eta} b d\eta \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B_d = \begin{bmatrix} \int_0^{T-L} e^{A\eta} b d\eta \\ 1 \end{bmatrix} \quad C_d = \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} x & \xi \end{bmatrix}^T$$

2.2 近似的2自由度制御系の設計

目標値 r 、制御量 y 間の伝達関数 W_{ry} を

$$W_{ry} = \frac{(1+H_1)(1+H_2)(1+H_3)(z-n_1)(z-n_2)(z+H_4)(z+H_5)}{(1-n_1)(1-n_2)(z+H_1)(z+H_2)(z+H_3)(z+H_4)(z+H_5)} \quad (3)$$

と指定する。負荷変動に対してロバストにするため、ロバストモデルマッチングを行うと、系全体は図2のようになる。 Q は等価外乱、 $K(z)$ はロバストフィルタであり、 W_{ry} 、 W_{Qy} はそれぞれ目標値-制御量間、等価外乱-制御量間の伝達関数である。ここで $H_2 \gg H_1$ 、 H_3 とすると、各伝達関数は、

$$y \approx \frac{1+H_2}{z+H_2} r \quad y \approx \frac{(z-1)^2}{z-1+k_z} W_{\phi} Q \quad (4)$$

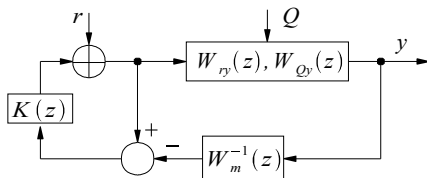


図2: ロバスト補償器を接続した系

と近似される。この式から、 $r \rightarrow y$ 間の特性は H_2 、 $Q \rightarrow y$ 間の特性は k_z を用いてそれぞれ独立に指定できることが分かる。したがって図2の系は近似的2自由度系であり、 k_z を大きくすればするほど負荷変動に対して不感系となる。

3. シミュレーション

設計した制御器をSHマイコンに実装することを想定し、Matlabを用いて必要なパラメータを求めシミュレーションを行う。図3は立ち上がり応答、図4は負荷急変応答のシミュレーション結果である。立ち上がり時間は約45[μs]、負荷急変による出力電圧変動幅は約20[mV]となった。

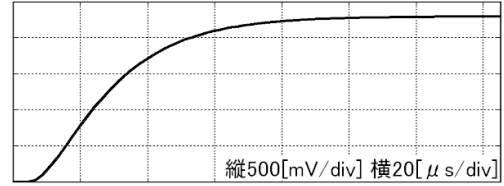


図3: 立ち上がり応答のシミュレーション

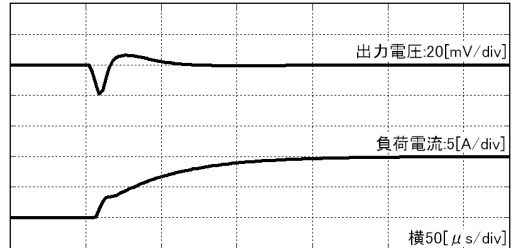


図4: 負荷急変応答のシミュレーション

4. 実験結果

シミュレーションによって得たパラメータを制御器に適応し、SHマイコンに実装して実機実験を行った。図5は立ち上がり応答、図6は負荷急変応答の結果である。立ち上がり時間はシミュレーションとほぼ同様だったが、負荷急変時の出力電圧変動は約27[mV]とやや大きい結果となった。

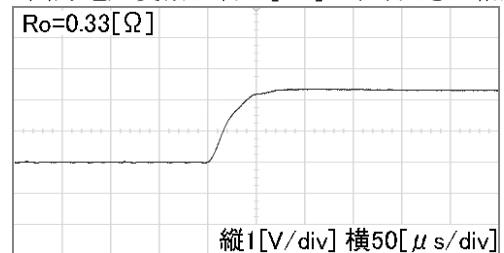


図5: 立ち上がり応答の実験結果



図6: 負荷急変応答の実験結果

5. 結論

実験結果より本研究で提案した制御器が有用であることを確認した。今後の課題として、更なるパラメータ、アルゴリズム改善、シミュレーションと実験結果をさらに近づける、 $Q \rightarrow y$ 特性を高次微分特性とすること等が挙げられる。