



11 昇圧型コンバータの実用設計

～入力より高い電圧を出力する～

馬場 清太郎
Seitaro Baba

昇圧型コンバータは入力電圧よりも高い出力電圧が必要なときに使用する回路で、降圧型コンバータと違ってスイッチング・レギュレータを使わないと実現不可能です。昇圧型コンバータの用途は、直流安定化電源以外にも AC-DC コンバータの入力段 PFC (Power Factor Correction circuit; 力率改善回路)、携帯機器のバックライト用 LED 点灯回路などがあります。

今回は、市販の電源用 IC を使用した昇圧型コンバータの基本的な設計法を取り上げます。基本的な設計法を理解すれば、さまざまな応用回路も簡単に設計できます。

換率 M は、連載第 8 回 (2007 年 6 月号) で説明したように、デューティ・サイクル D を用いて表現すると $M = 1/(1-D)$ です。実際の設計はある程度の損失を仮定して行います。

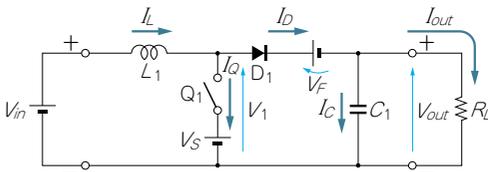
能動スイッチ Q_1 と受動スイッチ D_1 のオン電圧を与えた図 11-1 で考えると、 Q_1 の ON/OFF により各部波形は図のようになります。ここで、直流出力電圧 V_{out} は一定、出力電流 I_{out} も一定として考えます。

降圧型コンバータの設計方法と同様にインダクタ電流 I_L のリプル率 k を与えて計算すると、昇圧型コンバータの基本的な関係は図中の式で表されるので、この関係を用いて設計計算を行います。

昇圧型コンバータの設計方法

● 基本動作を理解しておこう

昇圧型コンバータの損失がないときの入出力電圧変



V_1 の平均値が V_{in} になるから、

$$V_{in} = \frac{V_S T_{ON} + (V_{out} + V_F) T_{OFF}}{T_S} = V_S D + (V_{out} + V_F)(1-D)$$

$$\therefore D = \frac{V_{out} + V_S - V_{in}}{V_{out} + V_F - V_S} \dots\dots\dots (11-1)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{in} - V_S}{L_1} T_{ON} = \frac{V_{in} - V_S}{L_1} D T_S \dots\dots\dots (11-2)$$

$k = \Delta I_L / I_L$ とおくと

$$k = \frac{V_{in} - V_S}{L_1 I_L} D T_S \dots\dots\dots (11-3)$$

$$I_{Lmax} = I_L (1 + k/2) \dots\dots\dots (11-4)$$

$$L_1 = \frac{V_{in} - V_S}{k I_L} D T_S \dots\dots\dots (11-5)$$

$$I_{DRMS} = \sqrt{\frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} i_D^2 dt}$$

$$= I_L \sqrt{(1-D)(1+k^2/12)} \dots\dots\dots (11-6)$$

$$I_{CRMS} = \sqrt{I_{DRMS}^2 - I_{out}^2} \dots\dots\dots (11-7)$$

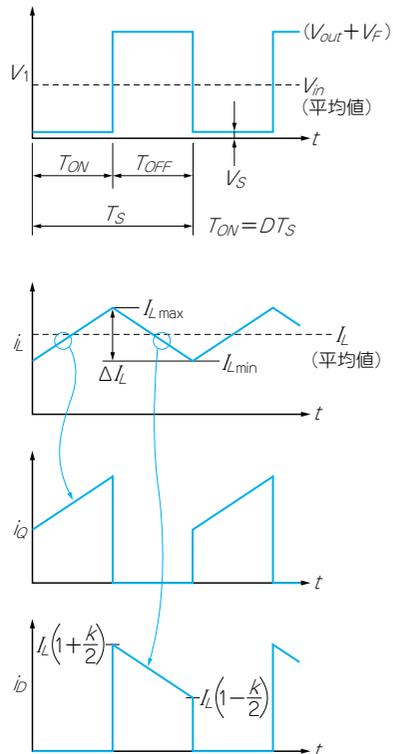


図 11-1 昇圧型コンバータの基本動作

● 出力リップル電圧の推定のしかた

降圧型コンバータと違って、出力平滑コンデンサ C_1 を充電する電流が連続的ではないので、図 11-2 に示すように出力リップル電圧の計算が少し面倒になります。図中の式 (11-8) は、 D_1 が非導通のときの関係から求めています。 D_1 が導通のときは、リップル電流 I_C は直線的に下降するためリップル電圧はパラボラ (2 次関数波形) 状になり計算が面倒になります。リップル電圧の最大値と最小値は、定常状態では D_1 の導通/非導通で一致するので、計算の簡単なほうを採用しました。

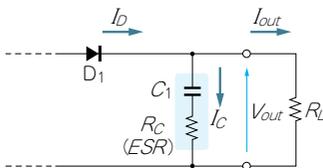
図中の式 (11-10) は、 k が小さいときの単なる目安です。 C_1 の温度/電圧変動、ESR の温度変動を考えるとこの式で十分でしょう。ちなみに、採用した電解コンデンサの ESR は、 20°C から -10°C への温度低下で約 3 倍に上昇します。 k が大きいときはこの式は採用できず、パラメータ変動の大きさから考えて実測するのが確実です。

● 設計の手順

上記では各部の損失は、スイッチ素子のオン電圧以外は無視して考えました。設計計算の精度を上げるため、無視した損失を概略では取り入れて、表 11-1 に従い下記の手順で設計します。

- ① 仕様決定
- ② 経験による条件仮定
- ③ 基本パラメータの計算
- ④ インダクタ電流の計算
- ⑤ 出力コンデンサの計算

なお、表中の数値は後述の実験で使用します。



R_L の効果は無視すると、 C_1 によるリップル電圧 V_{rC} は

$$I_{out} = C_1 \frac{dv_{rC}}{dt} \approx C_1 \frac{V_{rC}}{DT_S}$$

$$\therefore V_{rC} = \frac{I_{out}}{C_1} DT_S \dots \dots \dots (11-8)$$

R_C によるリップル電圧 V_{rESR} は

$$V_{rESR} = I_{Dmax} R_C$$

$$= I_L R_C \left(1 + \frac{k}{2}\right) \dots \dots \dots (11-9)$$

従って、全リップル電圧 V_r は

$$V_r \approx V_{rC} + V_{rESR} \dots \dots \dots (11-10)$$

厳密には C_1 、 R_C 、 R_L による分圧、瞬時値の加算などを考慮すべきだが、 C_1 、 R_C の値が変動するため、式 (11-10) を目安とする

図 11-2 出力リップル電圧の解析

以上で、パワー系の計算は終了し、使用部品が求められます。④で求めた入手可能な部品の値が計算値とかけ離れていたなら、②に戻って再計算します。制御系については、使用 IC のデータシート、技術資料などを参考にして設計します。

● 設計仕様を決める

設計するためには仕様が必要です。下記の仕様を与えます。

- 出力電圧： V_{out}
- 出力電流： I_{out}
- 入力電圧： V_{in}
- スwitching 周波数： f_S
- 出力リップル電圧： ΔV_{out}

V_{out} の精度は 5% が一般的ですが、それ以上の場合には出力電圧設定部分に半固定抵抗器を使用します。 ΔV_{out} は V_{out} の 1% が一般的です。入力電圧は範囲が与えられる場合もありますが、設計計算では最小値、中心値、最大値のいずれかを適宜採用します。 f_S は前回と同じ 80 kHz にします。

● 設計に必要ないくつかの条件を仮定する

設計仕様では明示的に与えられない効率、インダクタのリップル電流を仮定します。

