

## わかる!!

## 電源回路教室

## ⑦ 降圧型コンバータの設計と実験

～もっとも基本的なスイッチング・レギュレータ～

馬場 清太郎  
Seitaro Baba

今回は、インダクタ(コイル)にエネルギーを蓄えるスイッチング・レギュレータのなかでもっとも基本的な降圧型コンバータ(buck converter)の回路動作と設計手順を取り上げます。

ここで重要な点は、降圧型コンバータの動作をどのように考えるのかということです。各部を理想化/単純化すれば電圧/電流の時間変化は1次式で表され、理解しやすくなります。設計手順も、慣れれば自分で導くことができます。スイッチング・レギュレータの文献を読むと、性能の良さそうな回路がたくさん載っていますが、どのように設計したらよいのかは書いて

ない場合がほとんどです。その場合も回路動作を理想化/単純化して理解すれば、設計手順は自ずから明らかになります。

取り上げる降圧型コンバータはもっとも簡単なPWM制御で、インダクタ電流がゼロにならない電流連続型(Continuous Conduction Mode; CCM)とします。

## 降圧型コンバータの回路

## ● 降圧型コンバータの基本構成

降圧型コンバータは図7-1に示すブロック図のように、次の三つのブロックから構成されています。

- (1) PWMスイッチ
- (2) LCフィルタ
- (3) 定電圧制御部

PWM(Pulse Width Modulation; パルス幅変調)スイッチは、図7-2に示すように制御信号によってデューティ・サイクル $D$ 、つまり“H”(入力電圧 $V_{in}$ )と“L”(0V:グラウンド電圧)の時間の比を変えて、出力パルス列の平均値を所望の出力電圧にします。LCフィルタは、パルス列の高周波成分を減衰させて、出力電圧を直流に平滑します。定電圧制御部は、所望の出力電圧になるように、PWMスイッチに送る制御信号を生成します。

図7-2で出てくるデューティ・サイクル $D$ と電圧変換率 $M$ はスイッチング・レギュレータの文献でもよく出てきますから、覚えておきましょう。

## ● PWMスイッチ

PWMスイッチの機能を実現するには、半導体スイッチとその制御回路を使用します。双投タイプのトグル・スイッチは交互にON/OFFする半導体スイッチ

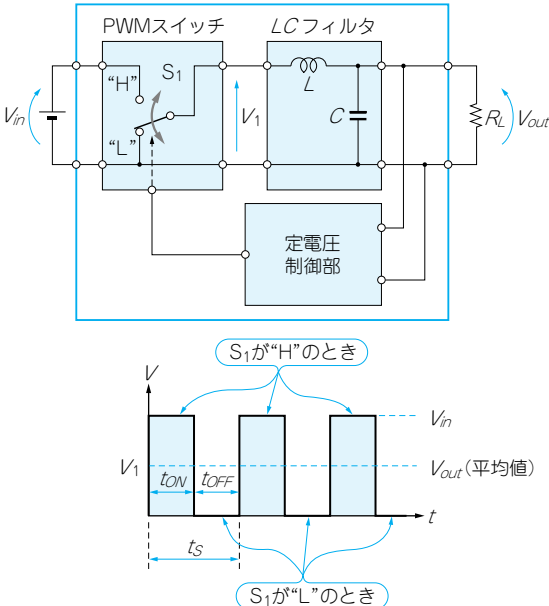


図7-1 降圧型コンバータの回路構成と動作波形

PWMスイッチ、定電圧制御部、LCフィルタの三つのブロックによって構成される

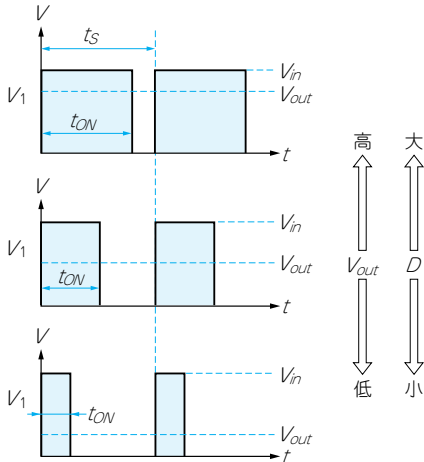
## Keywords

PWMスイッチ、LCフィルタ、定電圧制御部、デューティ・サイクル、フリーホイール・ダイオード、PWMコンパレータ、効率、三角波発生回路、フリーラン・マルチバイブレータ、ソフト・スタート、保護回路、NJM2903、NJM431

2個で構成されます。制御回路は図7-3に示すように、制御信号をPWM波に変換するPWMコンパレータと、半導体スイッチの駆動回路で構成されます。

▶ 半導体スイッチ

双投タイプのトグル・スイッチから半導体スイッチへの回路の変換を図7-4に示します。半導体スイッチは図7-3に示すように2個のパワーMOSFETで構成しますが、瞬時に切り替えないと、図7-5のように後続のインダクタによって大きなサージ電圧が発生



デューティ・サイクルDを、 $D = \frac{t_{ON}}{t_s}$  とすると、 $V_{out} = D V_{in}$  電圧変換率Mは、 $M = \frac{V_{out}}{V_{in}} = D$  となり、デューティDに等しい

図7-2 降圧型コンバータのデューティ・サイクルと電圧変換率  
降圧型コンバータではデューティ・サイクルDと電圧変換率Mは等しい

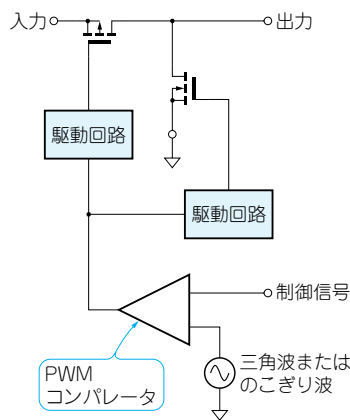


図7-3 PWMスイッチの回路構成

します。それを防ぐために二つのスイッチを短時間同時にONすると、入力電源からグラウンドに大きな貫通電流が流れます。そこで、図7-4(c)のようにサージ防止ダイオードD1を接続し、Q1とQ2が両者ともOFFする期間はD1を導通させて、このトラブルを解決します。

インダクタ電流は連続的に流れるため、Q1がOFFしたときはD1に電流が流れ、Q2がONするとD1の端子間電圧は順方向電圧以下になるためOFFし、電流はQ2に流れます。次に、Q2がOFFすると電流はD1に流れ、Q1がONするとD1は逆バイアスされて電流は流れません。

Q2が無くてもD1に電流が流れ続けますから、能動スイッチQ2は不要であり、受動スイッチD1がQ2の肩代わりをして、Q1とD1だけでPWMスイッチが構成できます [図7-4(d)]。これがもっとも簡単なPWMスイッチの回路構成です。このとき、D1を「フリーホイール・ダイオード(freewheel diode)」と言いますが、「フライホイール・ダイオード(flywheel diode)」とも呼ばれています。

最近では出力が1V以下で数10Aのような低圧/大電流の電源が増え、D1の順方向電圧VF(約0.4V~1V)による損失が無視できなくなっています。そこでまた図7-4(c)に戻り、低オン抵抗のパワーMOSFETをQ2として追加すると、D1のVFよりもQ2の電圧降下は大幅に少ないので高効率になります。これを同期整流回路と言ひ、低圧/大電流の降圧型コンバータには必須の回路です。

▶ PWMコンパレータ

半導体スイッチの制御信号を作成する方法は種々あります。もっとも簡単な方法は、図7-6に示す制御

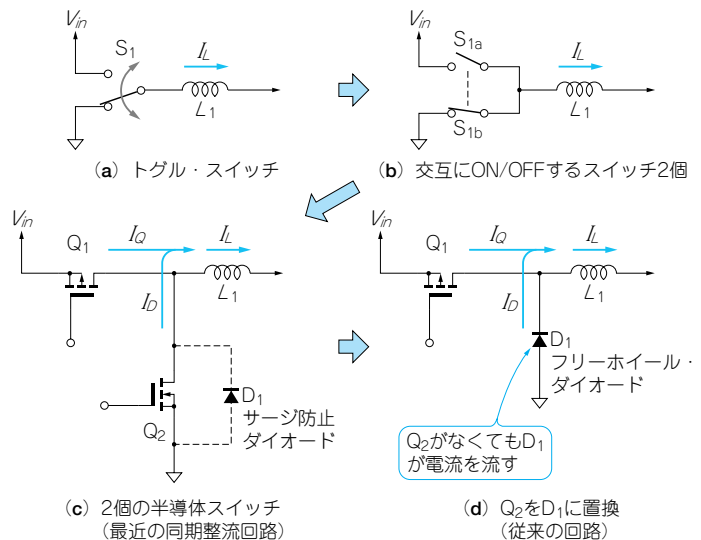


図7-4 トグル・スイッチから半導体スイッチへ