



## 第5章 PWM回路の制御信号を電力増幅し負荷に伝える

# スイッチング出力回路のしくみと動作

吉岡 均  
Hitoshi Yoshioka

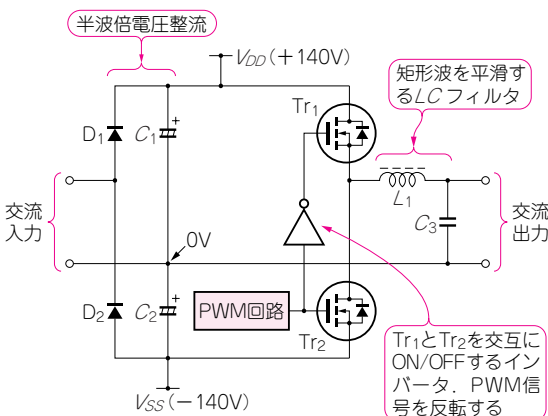
第4章では、パルス幅変調をかけて電力を制御する信号を生成するアナログPWMとデジタルPWMを紹介しました。スイッチング出力回路からは、第2章で解説したPWM信号によるデューティをもつ波形が出力されます。

それなら、PWM回路の信号をそのまま負荷を駆動すれば?と思われるでしょうが、そううまくはいきません。実際の負荷は、PWM回路では出力できない大きな電圧と電流で駆動する必要があります。高電圧、大電流出力のスイッチング出力回路が必要なのです。

本章では、PWM回路の信号を使って負荷へ電力を供給する増幅器(電力変換器)のしくみと動作を説明します。

### 代表的な二つのスイッチング出力回路

直流を出力するのであれば、スイッチング素子は1個だけですみます。しかし、交流信号を出力するためには、スイッチング出力回路は正と負の両極性の信号を出力する必要があります。それには、2個以上のスイッチング素子が必要です。



ハーフ・ブリッジは両電源で動作させる

図1 ハーフ・ブリッジ出力回路

代表的なパワー回路のスイッチング出力回路には、**ハーフ・ブリッジ出力回路**と単電源と4個のスイッチング素子を使って電力変換する**フル・ブリッジ出力回路**があります。

### ● 2個のスイッチを組み合わせたハーフ・ブリッジ回路

図1にハーフ・ブリッジ出力回路を示します。交流信号を出力するために、正と負の両極性の電源が必要です。

図2に各モードの動作を示します。上下のスイッチング素子  $Tr_1$  と  $Tr_2$  を交互に導通させ、そのON時間を可変して出力電圧を制御します。

図(a)に示すのは、ハイ・サイド・スイッチ  $Tr_1$  がON、ロー・サイド・スイッチ  $Tr_2$  がOFFしたときの動作です。  $V_{DD}$  をエネルギー源として、電流は  $V_{DD} \rightarrow Tr_1 \rightarrow L \rightarrow C_3 \rightarrow V_{SS}$  と流れます。  $C_3$  は上側が正極性になります。

図(b)に示すのは、  $Tr_1$  と  $Tr_2$  が両方OFFしたときの動作です。  $L_1$  の電流を連続的にするため、  $Tr_2$  のボディ・ダイオード  $D_2$  が導通します。  $L_1$  の電流の向きは図(a)と同様に、  $V_{SS} \rightarrow D_2 \rightarrow L_1 \rightarrow C_3 \rightarrow V_{SS}$  の経路を流れます。これを**転流動作**といいます。  $C_3$  は上部が正極性のままです。

図(c)に示すのは、  $Tr_1$  がOFF、  $Tr_2$  がONしたときの動作です。  $V_{SS}$  をエネルギー源として、電流は  $V_{SS} \rightarrow C_3 \rightarrow L_1 \rightarrow Tr_2 \rightarrow V_{SS}$  と流れます。  $C_3$  は下部が正極性になります。

図(d)に示すのは、  $Tr_1$  と  $Tr_2$  が両方OFFしたときの動作です。  $L_1$  の電流を連続的にするため、  $Tr_1$  のボディ・ダイオード  $D_1$  が導通します。  $L_1$  の電流の向きは図(c)と同様に  $V_{DD} \rightarrow C_3 \rightarrow L_1 \rightarrow D_1 \rightarrow V_{DD}$  の経路を流れます。  $C_3$  の下側の極性は正のままです。

### ● 4個のスイッチを組み合わせたフル・ブリッジ回路

図3にフル・ブリッジ出力回路を示します。スイッチング素子の構成から**Hブリッジ**とも呼ばれ、現在

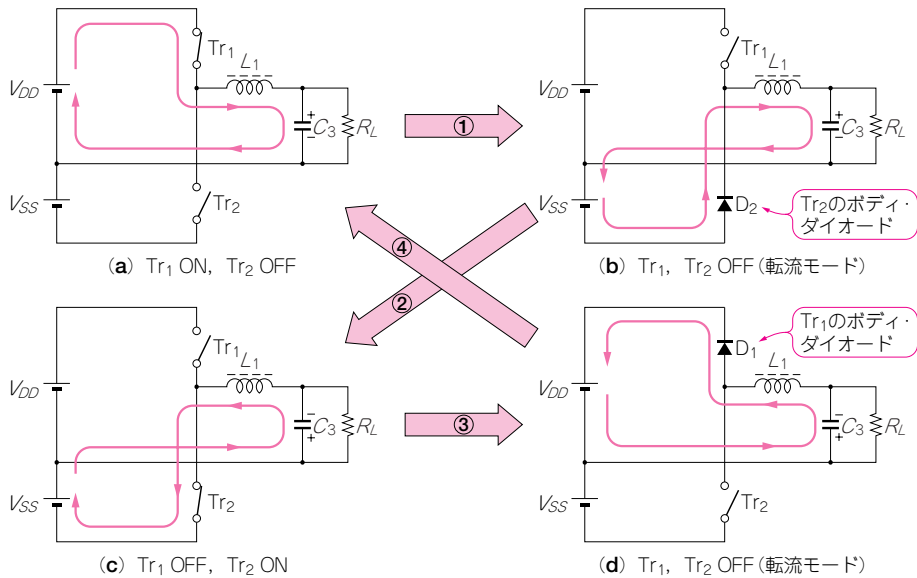


図2 ハーフ・ブリッジ出力回路のスイッチング動作

の定番的なスイッチング出力回路として広く使われています。

図4に各モードの動作を示します。

対角に配置された  $Tr_1$ 、 $Tr_4$  と  $Tr_2$ 、 $Tr_3$  を交互に通電させ、そのONパルスの幅を変えて出力電圧を制御します。最も一般的な制御方式です。後述の極性切り替え方式制御と区別するために、ここでは和差式制御と呼びます。

図(a)は  $Tr_1$  と  $Tr_4$  がON、 $Tr_2$  と  $Tr_3$  がOFFしたときの動作です。  $V_{DD}$  をエネルギー源として、電流は  $V_{DD} \rightarrow Tr_1 \rightarrow L_1 \rightarrow C_3 \rightarrow Tr_4 \rightarrow V_{DD}$  と流れます。  $C_3$  は上側が正極性になります。

図(b)は  $Tr_1 \sim Tr_4$  がすべてOFFしたときの動作です。  $L_1$  の電流を連続的に流すため、 $Tr_2$  と  $Tr_3$  のボディダイオード  $D_2$  と  $D_3$  が導通します。  $L_1$  の電流は(a)

と同様に  $V_{DD} \rightarrow D_2 \rightarrow L_1 \rightarrow C_3 \rightarrow Tr_3 \rightarrow V_{DD}$  と流れて、転流動作をします。  $C_3$  の上側は正極性のままです。

図(c)は、 $Tr_2$  と  $Tr_3$  がON、 $Tr_1$  と  $Tr_4$  がOFFしたときの動作です。  $V_{DD}$  をエネルギー源として、電流は  $V_{DD} \rightarrow Tr_3 \rightarrow C_3 \rightarrow L_1 \rightarrow Tr_2 \rightarrow V_{DD}$  と流れます。  $C_3$  の下側が正極性になります。

図(d)は  $Tr_1 \sim Tr_4$  がすべてOFFしたときの動作です。  $L_1$  の電流を連続するため、 $Tr_1$  と  $Tr_4$  のボディダイオード  $D_1$  と  $D_4$  が導通します。  $L_1$  の電流は、図(c)と同様に  $V_{DD} \rightarrow D_4 \rightarrow C_3 \rightarrow L_1 \rightarrow D_1 \rightarrow V_{DD}$  と流れ、転流動作をします。  $C_3$  は下側が正極性のままです。

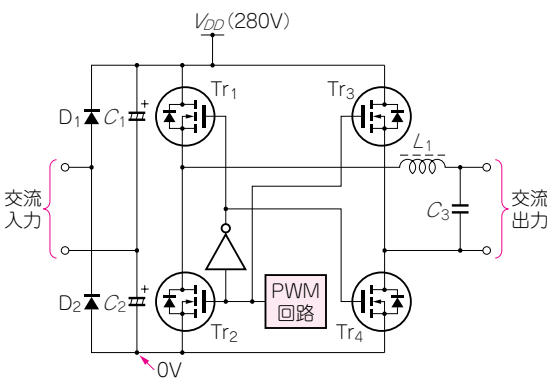
これら四つの動作モードを繰り返して、 $L_1$  の励磁電流の向きと  $C_3$  の極性が、スイッチング周期で正と負になります。

### ● デッド・タイムの必要性

ハーフ・ブリッジ回路もフル・ブリッジ回路も、上下のスイッチング素子が同時にONすると、電源どうし、または電源とグラウンド間がショートして、大きな貫通電流が流れます。この貫通電流のことをシュートスルー電流と呼びます。

シュートスルー電流は負荷を駆動するエネルギーにはならず、スイッチ素子で損失を発生させます。過大なシュートスルー電流が流れると、電源回路が壊れたり、ヒューズが切れたり、スイッチ素子そのものが壊れてしまいます。

シュートスルー電流を防止するためには、図2または図4に示すスイッチング素子のON/OFF状態の遷移期間に、すべてのスイッチング素子がOFFする休止期間(デッド・タイム)が必要です。デッド・タイム



フル・ブリッジは単一電源でも動作する

図3 フル・ブリッジ出力回路