

## 第6章 パワーMOSFETの選び方からLCフィルタの設計法まで

### フル・ブリッジ回路の設計

浅井 紳哉  
Shinya Asai

本章と第7章では、下記の仕様のフル・ブリッジ回路を設計し実際に試作してみます。

- 出力電圧：30 V<sub>RMS</sub>
- 出力電流：3 A<sub>RMS</sub>
- 電源電圧：48 V
- スイッチング周波数：20 kHz
- 帯域：直流～約400 Hz
- 分解能：8ビット
- 最大デューティ：0.9

この試作回路をパワー・コントローラと呼びます。回路図は第7章 図1を参照してください。

実験のしやすさを考えて、出力電圧を30 V<sub>RMS</sub>に設定しました。

このままでは実用に耐えませんが、第8章で実用的なフル・ブリッジ回路に発展させる方法、つまり出力電圧を100 V<sub>RMS</sub>に上げる方法や出力端をショートされたときに破壊しないように保護する回路などを紹介します。

#### 電源電圧は48 V

フル・ブリッジ回路で交流30 V<sub>RMS</sub>を出力するために必要な電源電圧を求めます。

LCの出力LPFから出力する電圧は、パワーMOSFETのオン・デューティと電源電圧の積で求め、オン・デューティが最大るとき、出力は最大にな

ります。必要な電源電圧は次式で求められます。

$$V_{DD(\min)} = \frac{V_{OP(\max)}}{D_{on(\max)}} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $V_{DD(\min)}$ ：最低電源電圧[V]、 $V_{OP(\max)}$ ：最大出力ピーク電圧 [ $V_{peak}$ ]、 $D_{on(\max)}$ ：最大オン・デューティ

AC30 V<sub>RMS</sub>のピーク電圧  $V_{OP(\max)}$  は、 $42.5 V_{peak}$  ( $\equiv \sqrt{2} \times 30$ )です。最大オン・デューティを0.9とすると、次のようになります。

$$V_{DD} \geq V_{OP(\max)} / D_{on(\max)} \dots\dots\dots (2)$$

$$= 42.5 / 0.9 = 47.2 \text{ V}$$

48 V出力のスイッチング電源モジュールはたくさんありますから、入手が容易で、実験もしやすいと思います。

#### パワーMOSFETの選択

- 定格ドレイン電圧は72.5 V以上

パワー・コントローラの動作電圧や電流は、使用するパワーMOSFETの最大定格を越えてはいけません。

図1に示すフル・ブリッジ回路において、 $Tr_1$ がONで $Tr_2$ がOFFの場合、 $Tr_2$ のドレイン-ソース間には $V_{DD}$ 、つまり48 Vが加わります。 $Tr_2$ には、 $Tr_2$ がターン・オフするときに発生するサージ電圧  $V_{surg}$  も加わります。

パワーMOSFETを選ぶときは、 $V_{DD}$ と $V_{surg}$ の和

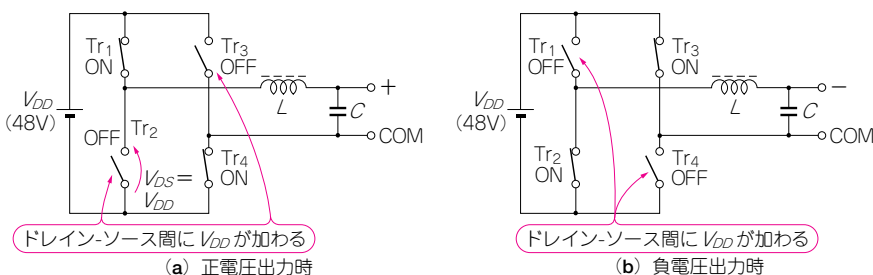


図1 正電圧出力時と負電圧出力時のフル・ブリッジ回路の状態

がドレイン-ソース間電圧の最大定格の80%以下になるようにします。

サージ電圧は、スナバ回路やプリント・パターン、部品配置などで変わります。設計時に計算で求めるのは難しいので、ここでは、電源電圧の20%程度発生すると仮定しました。

10Vのサージ電圧が発生すると仮定して、次式からドレイン-ソース間最大定格電圧が72.5V以上のパワーMOSFETを選びます。

$$V_{DSS} \geq (V_{DD} + V_{surg})/0.8 \dots\dots\dots (3)$$

$$= (48 + 10)/0.8 = 72.5 \text{ V}$$

● 定格ドレイン電流は6.75A以上

図2に、Tr<sub>1</sub>がONしたときに、Tr<sub>1</sub>に流れるドレイン電流の波形を示します。

ドレイン電流  $I_D$  は、矩形波状の電流にコイル  $L$  の励磁電流が加わったものです。この励磁電流はコンデンサ  $C$  に流れるリップル電流と大きさが同じです。

使用するパワーMOSFETは、この  $I_D$  以上流せるものでなければなりません。

ドレイン電流の最大値  $I_{Dmax}$  は次式で求まります。

$$I_{Dmax} = I_{Opeak} + (I_{rip}/2) \dots\dots\dots (4)$$

$I_{rip}$  は、リップル電流のピーク・ツー・ピーク値 [A<sub>P-P</sub>] です。 $I_{Opeak}$  は、負荷に出力する電流  $I_{out}$  のピーク値です。仕様から出力電流実効値は3A<sub>RMS</sub>ですから、

$$I_{Opeak} = 3 \times \sqrt{2} \doteq 4.24 \text{ A}_{peak}$$

です。 $I_{rip}$  は次式から求まります。

$$I_{rip} = \frac{V_{DD} t_{on}}{L} \dots\dots\dots (5)$$

リップル電流値は、 $V_{DD}$  とスイッチングON時間  $t_{on}$ 、そしてLC出力フィルタのコイルのインダクタンス  $L$  で決まります。インダクタンスの算出法は、後述の「LC出力フィルタの設計」を参照してください。ここでは設計後の値  $L = 515 \mu\text{H}$  とします。

パワー・コントローラの仕様からスイッチング周波数  $f_{sw}$  は20kHzです。後述のデッド・タイムがないと仮定すれば、Tr<sub>1</sub>のON時間  $t_{on}$  は次式から25μsです。

$$t_{on} = (1/f_{sw})/2 = (1/20 \text{ kHz})/2 = 25 \mu\text{s} \dots\dots (6)$$

式(5)に  $V_{DD} = 48 \text{ V}$ 、 $L = 515 \mu\text{H}$ 、 $t_{on} = 25 \mu\text{s}$  を代入すると、リップル電流  $I_{rip}$  [A<sub>P-P</sub>] は、

$$I_{rip} = (48 \text{ V} \times 25 \mu\text{s})/515 \mu\text{H} = 2.33 \text{ A}_{P-P}$$

と求まります。これで、式(4)を使って  $I_{Dmax}$  を算出する条件が整い、

$$I_{Dmax} = 4.24 + (2.33/2) = 5.4 \text{ A}_{peak}$$

と求まります。

20%の余裕を考慮して、ドレイン最大定格電流が6.75A (= 5.4/0.8) 以上のパワーMOSFETを選びます。

＊

ドレイン-ソース間最大定格電圧100V、ドレイン

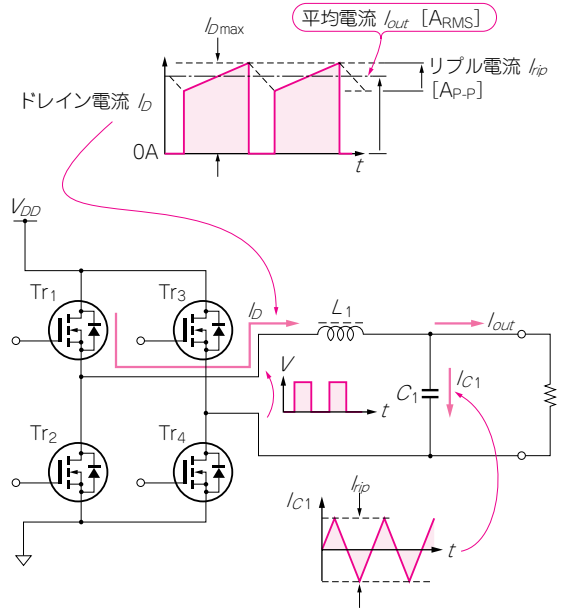


図2 最大電流を出力しているときの各部の波形  
ドレイン電流  $I_D$  は、矩形波状の電流にコイル  $L$  の励磁電流が加わったものになる

最大定格電流が36AのIRF540Zなどが適当でしょう。第7章で試作するパワー・コントローラには、手もちの部品からドレイン-ソース間最大定格電圧100V、ドレイン最大定格電流80AのIRF8010を選択しました。ドレイン最大定格電流は必要以上に大きいですが、オン抵抗がとても小さい最新のデバイスです。

● デューティを確保できそうか？…スイッチング速度の確認

パワー・コントローラの最大デューティは0.9に設定しました。この0.9が確保されないと、必要な電圧(30V<sub>RMS</sub>)を出力できません。

図3に示すように、パワーMOSFETの過渡時間は四つのブロックつまり、立ち上がり遅延時間  $t_{d(on)}$ 、立ち上がり時間  $t_r$ 、立ち下がり遅延時間  $t_{d(off)}$ 、立ち下がり時間  $t_f$  に分けられます。

パワーMOSFETが実際にONしている時間は、1周期からこれらの時間をすべて差し引いた時間になります。

差し引くべき時間は、これだけではありません。図4に示すように、上下のパワーMOSFETが同時にONしてシュートスルー電流が流れないようにするために、ON/OFFの切り替え時に、すべてのパワーMOSFETがOFFするデッド・タイム  $t_{dead}$  を設ける必要があります。

つまり、パワーMOSFETがONしている時間は、 $t_{d(on)} + t_r + t_{d(off)} + t_f$  に  $t_{dead}$  を加えた時間を1周期か