

3 相 AC 400 V 入力対応 PFC 電源

デザインガイド

RD044-DGUIDE-01

東芝デバイス&ストレージ株式会社

目次

1. はじめに	3
1.1. 搭載パワーMOSFET	3
2. 回路設計	4
2.1. ACライン回路設計	4
2.2. PFC 回路設計.....	5

1. はじめに

本デザインガイドは 3 相 AC 400V (線間電圧) 入力対応 PFC 用電源 (以下、本電源) の各種回路の設計方法を記載したドキュメントです。本電源の仕様、使用方法、特性データはリファレンスガイドを参照してください。

なお、回路図に部品番号を記載していても、部品表で「Not Mounted」となっているものは PCB に実装していません。回路設計時の定数値調整用として PCB に実装場所を設けています。

1.1. 搭載パワー-MOSFET

本電源は、1200 V 耐圧の SiC MOSFET (TW070J120B) をスイッチング素子として採用し、各相を直接スイッチングする構成です。本電源で採用している製品について紹介します。

TW070J120B

U, V, W 各相に搭載

$V_{DSS} = 1200 \text{ V}$ 、 $R_{DS(ON)}$ (標準) = $70 \text{ m}\Omega @ V_{GS} = 20 \text{ V}$ 、TO-3P(N)パッケージ

SiC ショットキーバリアダイオードを内蔵し、逆方向電流印加時の損失低減を実現

2. 回路設計

本電源の回路設計のポイントを記載します。

2.1. ACライン回路設計

本項では、本電源のACラインの設計に関して説明します。本電源のACライン回路を図2.1に示します。

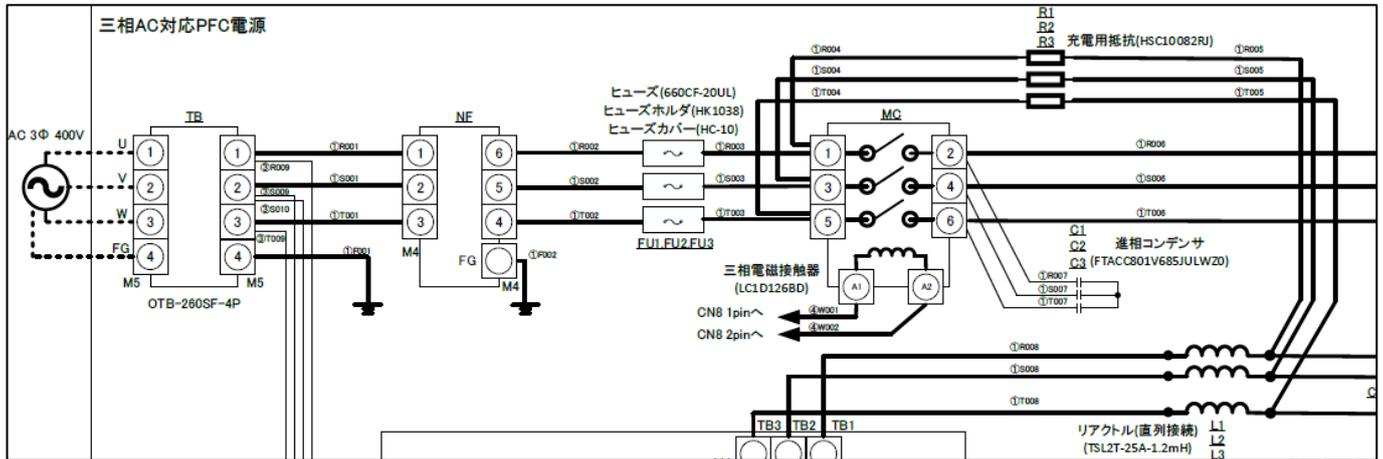


図 2.1 ACライン回路

ヒューズ

ACラインに異常電流が流れた際に、ACラインを遮断するためのヒューズ (FU1, FU2, FU3) を実装しています。ACラインの最大電流値からヒューズを選定します。ACライン入力電流最大値の実効値は以下の式で算出されます。

$$\text{ACライン入力電流最大値} = \text{最大電力} / \text{電源効率} / \text{力率} / \text{入力相電圧実効値}(\text{min}) / 3$$

本電源は、入力が3相AC400V系、出力が4kWの仕様です。一般的にPFCの電源効率は、入力電圧が低いと低くなるため、ACライン最大電流値を算出する際は、入力電圧が本電源の入力範囲の最低値の312Vで考えます。線間電圧が312Vの時の相間電圧は180Vとなりますので入力相電圧実効値 = 180V、最大電力 = 4kW、電源効率 = 97%、力率 = 0.99とすると、本電源のACライン最大電流値は、約7.7Aです。本電源では、溶断時間のマージンを考慮して、20Aのヒューズを使用しています。ヒューズ選定時は、上記最大電流に加え、AC電源投入時の突入電流、対応すべき安全規格を取得した製品であるか等も考慮する必要があります。

突入電流対策部品

AC電源投入時の突入電流を抑制するため、抵抗 (R1, R2, R3) を実装しています。抵抗値はACラインに流れる最大入力電流設定値に従って設定する必要があります。本電源では最大入力電流を10Aとしていますので、抵抗値は以下の式より算出されます。

$$\text{抵抗値} > \text{最大入力相間電圧} / \text{最大入力電流}$$

本電源の最大入力線間電圧528Vの時の相間電圧は実効値で305Vであり、その時のピーク電圧は431Vであるので、最大入力電流10Aとした場合、抵抗値は上式より約43Ωとなります。

本電源ではマージンを考慮して82Ωの抵抗を使用しています。82Ωの抵抗を使用した場合の電流値は5.25Aとなります。

2.2. PFC 回路設計

インダクター選定

インダクター (L1,L2,L3) の選定方法について説明します。本回路におけるインダクタンス値は、電源仕様である下記項目を用いて計算により求めることができます。

- ・ 最大出力電力 : P_{out} (W)
- ・ AC ライン最小相間電圧実効値 : V_{in_min} (V)
- ・ PFC 電力変換効率 : η (%)
- ・ PFC 出力電圧 : V_{out} (V)
- ・ スイッチング周波数 : F_c (Hz)
- ・ 許容リップル電流幅 : ΔI_{ripple} (%)

以下の式でインダクタンス値を算出します。

$$L = \frac{(V_{out} - \sqrt{2} \times V_{in_min}) \times \eta \times 0.01 \times V_{in_min}^2}{F_c \times 0.01 \times \Delta I_{ripple} \times P_{out} \times V_{out}}$$

ここで最大出力電力 (P_{out}) が 4000 W、AC ライン最小相間電圧 (V_{in_min}) が 180 V、PFC 出力電圧 (V_{out}) が 750 V、スイッチング周波数 (F_c) が 50 kHz であり、PFC 電力変換効率 (η) を 97 %、許容リップル電流幅を 30 % とすると、上記式よりインダクタンス値 (L) は 346 μ H と算出されるため、本電源の設定値はマージンを考慮して 1.2 mH としています。

実際の設計においては、インダクターは直流重畳特性によりインダクタンス値が変動します。直流重畳特性によりインダクタンス値が低下した状態で、上記計算値を確保できる部品を選定してください。

ゲート駆動回路

ゲート駆動回路の代表として、U 相の下アーム部のゲート駆動回路を図 2.2 に示します。

ゲート駆動回路の設計は、電源効率と EMI ノイズに影響を与えます。一般的に、電源効率と EMI ノイズはトレードオフの関係にあるため、両者のバランスを取った設計を行う必要があります。本電源のゲート駆動回路は、MOSFET のスイッチングスピードを調整できる回路構成となっています。MOSFET のターンオン時のノイズを低減する必要がある場合は、ゲート直列抵抗 (R48) を大きな値に変更すると、EMI ノイズを低減できる可能性があります。尚、ゲート直列抵抗を大きな値に変更すると、MOSFET のターンオンスピードだけでなくターンオフスピードも低下するため、電源効率の悪化が懸念事項となります。この場合の電源効率悪化を低減するには MOSFET のターンオフスピードのみを上げる必要があります。ゲート直列抵抗 (R46) を小さな値に変更することで MOSFET のターンオフスピードのみを上げることができシステムの電源効率悪化を低減できる可能性があります。ゲート直列抵抗を変更する場合は、システムに要求される EMI ノイズや電源効率性能、放熱性能が満足できていることを確認する必要があります。

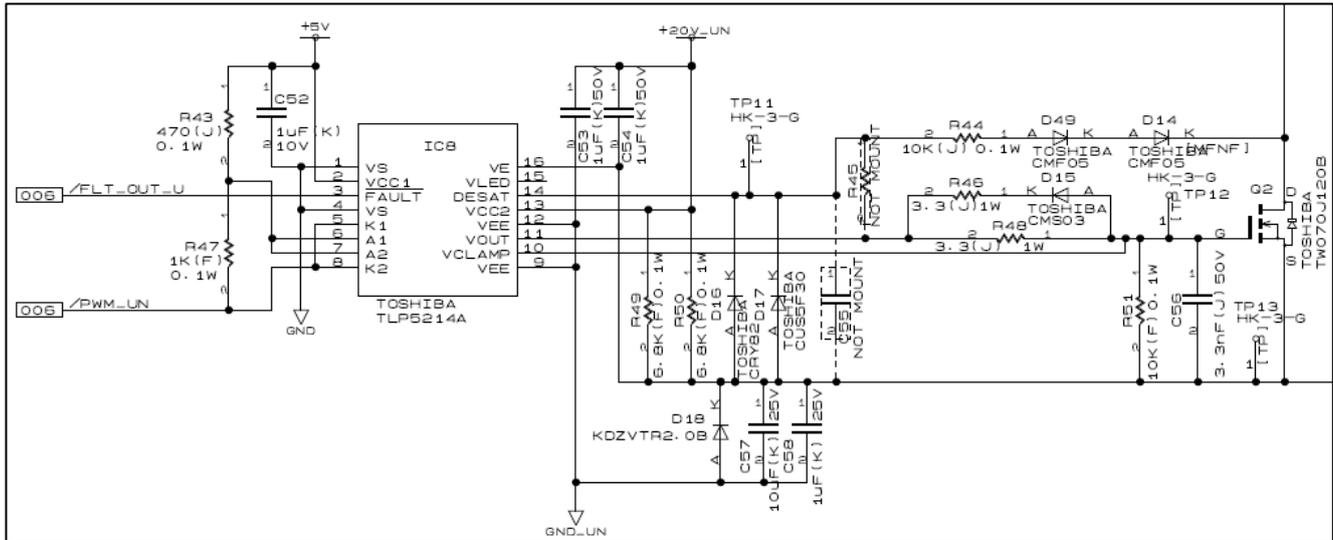


図 2.2 ゲート駆動回路 (U 相下アーム)

負バイアス回路

MOSFET のドレイン・ゲート間に寄生するミラー容量によって誤作動する恐れがある場合は負バイアス回路を使用します。図 2.2 は下アームに使用したゲート駆動回路になります。下アームが OFF し、上アームが ON した時、中間の電位が急峻に上昇し下アームのドレイン・ゲート間のミラー容量を介して変位電流が発生し、スマートゲートドライバーカバー (IC8) の VOUT 端子方向へ流れます。この変位電流が回路のゲート抵抗を通過する際に電圧低下が発生し、ゲート電圧が上がることで下アームの誤オンが発生し、上下アームの短絡が起きることがあります。ツェナーダイオード (D28) を使用した負バイアス回路を使用することで、下アームのオフ時にゲート電圧が負電位になるため誤オンを防ぐことができます。本電源では 2 V のツェナーダイオードを使用し、-2 V の負バイアス回路を生成しています。

出力コンデンサー

出力コンデンサー (C147~C152) の容量値は、ホールドアップタイム要件に基づいて算出しています。ホールドアップタイム $Thold$ は、出力コンデンサーの容量を $Cout$ 、出力電圧を $Vout_PFC$ 、出力電圧の下限電圧を $Vmin$ 、最大出力電力を $Pout$ とすると、以下の式で算出されます。

$$Thold = Cout \times \frac{(Vout_PFC^2 - Vmin^2)}{2 \times Pout}$$

初期設定は、 $Cout = 705 \mu F$ 、 $Vout_PFC = 750 V$ 、 $Vmin = 700 V$ 、 $Pout = 4 kW$ で、ホールドアップタイム 6.38 ms となります。システムに要求されるホールドアップタイムを満足できるよう、出力コンデンサーの容量を調整願います。また、出力リップル仕様を定義した場合は、出力リップル仕様を満たすのに必要な容量を算出し、ホールドアップタイムを満足する容量と比較し、大きい容量値を使用する必要があります。また、コンデンサー選定時には、公差や経年劣化を考慮する必要があります。

本電源では、PWM コントローラーとして Texas Instruments 社の TMS320F28377SPTP を使用し、ヘッドスプリング社製のソフトウェアライブラリーを使用して制御ソフトウェアを作成しています。コントローラー、ソフトウェアライブラリーの詳細は、メーカーの製品データシート、関連ドキュメントを参照願います。本電源で使用したソフトウェアとその概要は「サンプルソフトウェア」を参照願います。

ご利用規約

本規約は、お客様と東芝デバイス&ストレージ株式会社（以下「当社」といいます）との間で、当社半導体製品を搭載した機器を設計する際に参考となるドキュメント及びデータ（以下「本リファレンスデザイン」といいます）の使用に関する条件を定めるものです。お客様は本規約を遵守しなければなりません。本リファレンスデザインをダウンロードすることをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。なお、本規約は変更される場合があります。当社は、理由の如何を問わずいつでも本規約を解除することができます。本規約が解除された場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄しなければなりません。またお客様が本規約に違反した場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄し、その破棄したことを証する書面を当社に提出しなければなりません。

第1条 禁止事項

お客様の禁止事項は、以下の通りです。

1. 本リファレンスデザインは、機器設計の参考データとして使用されることを意図しています。信頼性検証など、それ以外の目的には使用しないでください。
2. 本リファレンスデザインを販売、譲渡、貸与等しないでください。
3. 本リファレンスデザインは、高温・多湿・強電磁界などの対環境評価には使用できません。
4. 本リファレンスデザインを、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用しないでください。

第2条 保証制限等

1. 本リファレンスデザインは、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
2. 本リファレンスデザインは参考用のデータです。当社は、データおよび情報の正確性、完全性に関して一切の保証をいたしません。
3. 半導体素子は誤作動したり故障したりすることがあります。本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。また、使用されている半導体素子に関する最新の情報（半導体信頼性ハンドブック、仕様書、データシート、アプリケーションノートなど）をご確認の上、これに従ってください。
4. 本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断して下さい。当社は、適用可否に対する責任を負いません。
5. 本リファレンスデザインは、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
6. 当社は、本リファレンスデザインに関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をせず、また当社は、本リファレンスデザインに関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。

第3条 輸出管理

お客様は本リファレンスデザインを、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用してはなりません。また、お客様は「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守しなければなりません。

第4条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。