3 相 AC 400V 入力対応 10kW PFC 電源

デザインガイド

RD263-DGUIDE-01

東芝デバイス&ストレージ株式会社

© 2025
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

目次

1. はじめに 3

2. 主な使用部品 4

2.1. SiC MOSFET TW060N120C 4

2.2. ゲートドライバーカプラー TLP5214A 5

2.3. 光結合型アイソレーションアンプ TLP7920 6

3. 回路設計 7

3.1. AC ライン回路設計 7

3.2. PFC 回路設計 8

© 2025
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

1. はじめに

本デザインガイドは 3 相 AC 400V 入力対応 10kW PFC 電源（以下、本デザイン）の各部回路の設計概要について解説します。

本デザインは出力 DC 750V で 10kW の電力を供給できます。3 相 AC 電源（312V～528V）を入力し、1200V 系 SiC MOSFET を採用した 3 相トーテムポール構成で DC 750V を出力します。電気自動車用充電スタンドなど 3 相 AC 電源を入力とする各種産業機器への応用が可能です。

PFC 部に当社最新の 1200V 系 SiC MOSFET TW060N120C を搭載し低損失を達成しています。また、ゲートドライバーカプラーTLP5214A を MOSFET の絶縁駆動に、光結合型アイソレーションアンプ TLP7920 を入出力電圧の絶縁センシングに使用しています。

© 2025
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

2. 主な使用部品

この章では本デザインに使用している主な部品について説明します。

2.1. SiC MOSFET TW060N120C

本デザインは、1200V 耐圧の SiC MOSFET (TW060N120C) 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。TW060N120C の主な特長は以下のとおりです。

- 第3世代チップデザイン (SiC ショットキーバリアダイオード内蔵)
- 順方向電圧 (ダイオード) が低い: V_{DSF} = -1.35V (標準)
- 高耐圧: V_{DSS} = 1200V
- オン抵抗が低い: $R_{DS(ON)}$ = 60mΩ (標準)
- しきい値が高く誤動作しにくい: V_{th} = 3.0 ~ 5.0V (V_{DS} = 10V, I_D = 4.2mA)
- 取り扱いが簡単なエンハンスメントタイプ

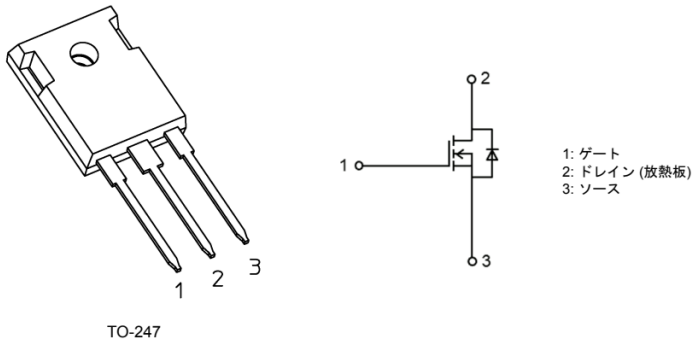


図2.1 TW060N120Cの外観と端子配置図

© 2025
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

2.2. ゲートドライバーカプラー TLP5214A

本デザインは、MOSFET の絶縁駆動にゲートドライバーカプラー TLP5214A を採用しています。
TLP5214A の主な特長は以下のとおりです。

- 出力ピーク電流: ±4.0A (最大)
- 動作温度: -40 ~ 110℃
- 供給電流: 3.8mA (最大)
- 電源電圧: 15V ~ 30V
- スレッショルド入力電流: 6mA (最大)
- 伝搬遅延時間 (t_{pLH} / t_{pHL}) : 150ns (最大)
- DESAT 立ち上がり時ブランキング時間: 1.1μs (標準)
- コモンモード過渡耐性:±35kV/μs (最小)
- 絶縁耐圧: 5000Vrms (最小)
- 安全規格
  UL 認定品: UL 1577 ファイル No.E67349
  cUL 認定品: CSA Component Acceptance Service No. 5A ファイル No.E67349
  VDE 認定品: EN 60747-5-5, EN 62368-1
- 構造パラメーター:最小沿面・空間距離 8mm

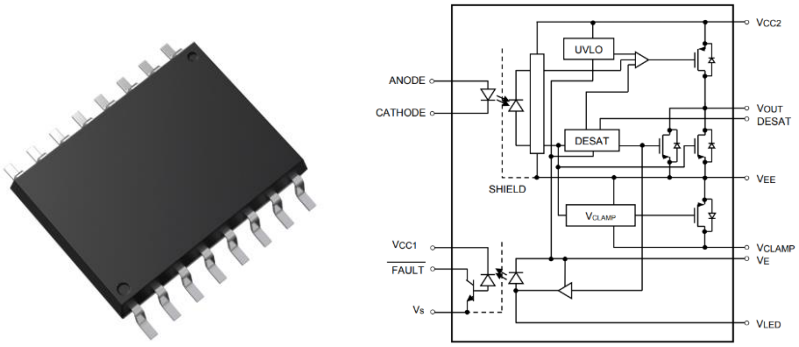


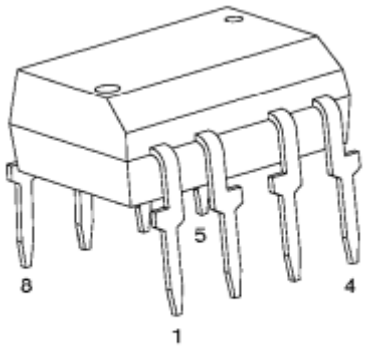
図2.2 TLP5214Aの内部回路構成及びパッケージ外観

2.3. 光結合型アイソレーションアンプ TLP7920

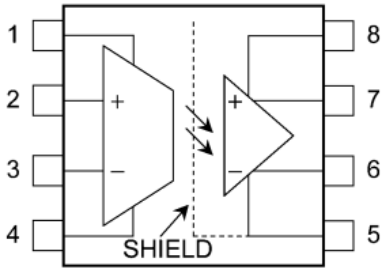
入力電圧、出力電圧の絶縁センシングに光結合型アイソレーションアンプ TLP7920 を使用しています。
TLP7920 の主な特長は以下のとおりです。

- 電源電圧(出力側): 3.0 ~ 5.5V
- 出力供給電流: 6.2mA (標準)
- 動作温度範囲: -40 ~ 105℃
- コモンモードトランジェント除去能力: 15kV/μs(最小)
- 安全規格

  UL認定品 UL 1577, ファイルNo.E67349
  cUL認定品 CSA Component Acceptance Service No.5A ファイルNo.E67349
  VDE認定品 EN IEC 60747-5-5



11-10C4S



端子番号	記号	説明
1	V_{DD1}	電源電圧 (入力側)
2	V_{IN+}	正入力
3	V_{IN-}	負入力
4	GND1	入力側グランド
5	GND2	出力側グランド
6	V_{OUT-}	負出力
7	V_{OUT+}	正出力
8	V_{DD2}	電源電圧 (出力側)

図2.3 TLP7920 の外観と端子配置図

© 2025
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

3. 回路設計

本デザインの回路設計のポイントを記載します。

3.1. AC ライン回路設計

本項では、本デザインの AC ラインの設計に関して説明します。本デザインの AC ライン回路を図 3.1 に示します。

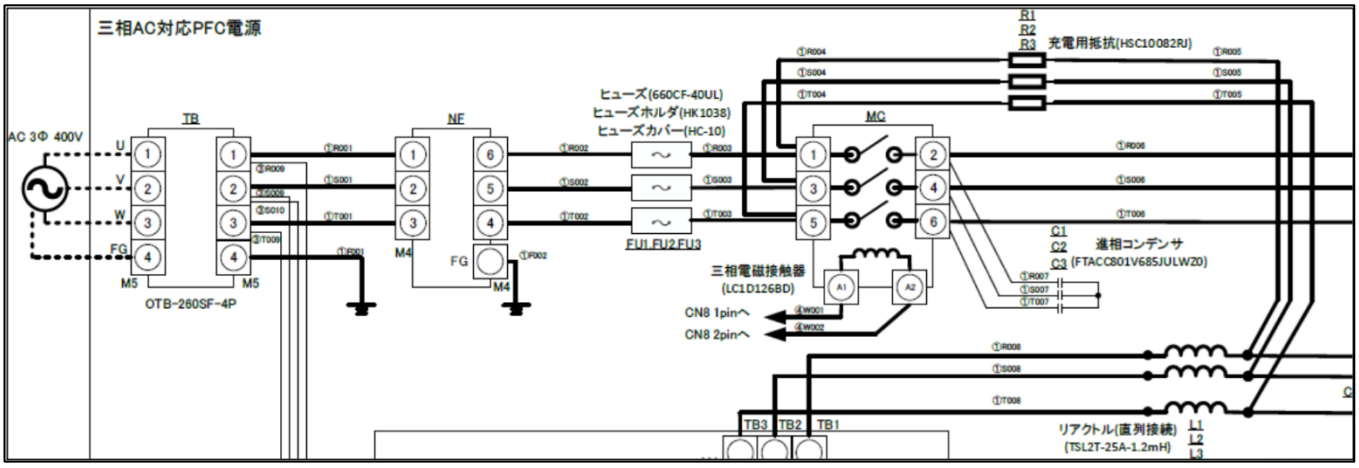


図 3.1　AC ライン回路

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。

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

本デザインは、入力が 3 相 AC 400V 系、出力が 10kW 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、入力電圧が本デザイン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 ＝ 10kW、電源効率 ＝ 97%、力率 ＝ 0.99 とすると、本デザインの AC ライン最大電流値は、約 19.3A です。本デザインでは、溶断時間のマージンを考慮して、40A 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。本デザインでは最大入力電流を 20A としていますので、抵抗値は以下の式より算出されます。

抵抗値 ＞ 最大入力相間電圧/最大入力電流

本デザイン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 20A とした場合、抵抗値は上式より約 22Ωとなります。

本デザイン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。

© 2025
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

3.2. 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。

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

ここで最大出力電力（P_{out}）が 10kW、AC ライン最小相間電圧（V_{in_min}）が 180V、PFC 出力電圧（V_{out}）が 750V、スイッチング周波数（F_c）が 50kHz 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 138μH と算出されるため、本デザインの設定値はマージンを考慮して 1.2mH 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 3.2 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。本デザイン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。

© 2025
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

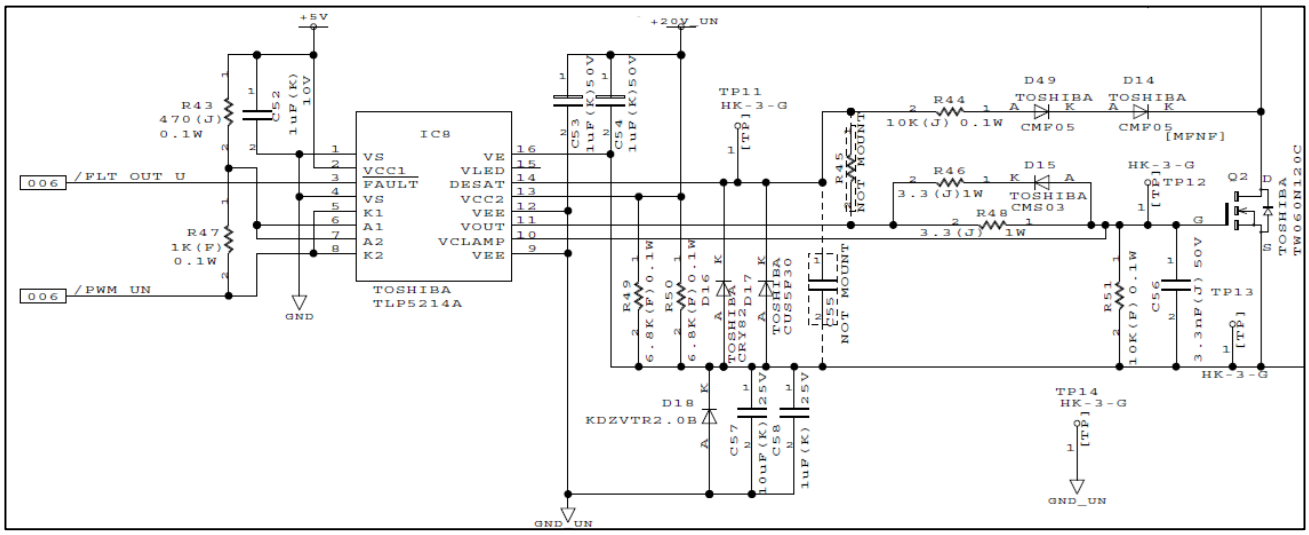


図 3.2 ゲート駆動回路（U 相下アーム）

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 3.2 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、ゲートドライバーカプラー（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（D18）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。本デザインでは 2V のツェナーダイオードを使用し、-2V 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 T_{hold} は、出力コンデンサーの容量を C_{out}、 出力電圧を V_{out_PFC}、 出力電圧の下限電圧を V_{min}、 最大出力電力を P_{out} とすると、以下の式で算出されます。

$$T_{hold} = C_{out} \times \frac{({V_{out_PFC}}^2 - {V_{min}}^2)}{2 \times P_{out}}$$

初期設定は、C_{out} = 705uF、V_{out_PFC} = 750V、V_{min} = 700V、P_{out} = 10kW で、ホールドアップタイム 2.56ms 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。

© 2025
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

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。

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、高低温・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、データ及び情報の正確性、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は負いません。

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又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、休業損害、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 契約期間

本リファレンスデザインをダウンロード又は使用することをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。本規約は予告なしに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。さらに当社が要求した場合には、お客様は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４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５条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。

第６条 管轄裁判所

本リファレンスデザインに関する全ての紛争については、別段の定めがない限り東京地方裁判所を第一審の専属管轄裁判所とします。

© 2025
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation