

車載用高耐圧フォトリレーの 用途と絶縁耐圧

概要

本資料は高耐圧フォトリレー応用とその応用ごとに求められる絶縁耐圧についてまとめた資料です。

これは参考資料です。本資料での最終機器設計はしないでください。

目次

| | |
|------------------------------------|----|
| 概要 | 1 |
| 目次 | 2 |
| 1. はじめに..... | 3 |
| 2. 高耐圧フォトリレーの特長 | 3 |
| 3. 高耐圧フォトリレーの用途 | 5 |
| 3.1. メカリレー溶着検知回路 | 5 |
| 3.2. バッテリー総電圧監視回路..... | 6 |
| 3.3. 地絡検出回路..... | 6 |
| 4. 電気自動車に求められる耐電圧試験 | 7 |
| 4.1. メカリレー溶着検知回路、バッテリー総電圧監視回路..... | 7 |
| 4.2. 地絡検出回路..... | 8 |
| 4.2.1. TLX9160T の応用 | 9 |
| 4.2.2. TLX9175J の応用 | 11 |
| 4.2.3. 阻止電圧以上の使用における注意点 | 11 |
| 製品取り扱い上のお願ひ..... | 12 |

1. はじめに

| 地域/西暦 | '20 | '21 | '22 | '23 | '24 | '25 | '30 | '40 | |
|---------|----------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|--|
| Euro X | | Euro7 95g/km | | | | | 独印規制 (*1) | | |
| 中国Café* | 20km/l (116g/km)(*3) | | | | | | 英仏規制 (*2) | | |
| 日本JC08 | 20.3km/l (114g/km) | | | | | | | | |

* Café : Corporate Average Fuel Efficiency

1*) EV・FCV 以外の新車販売禁止'30~ (2*)エンジンのみで走行する新車販売禁止'40~ (3*)NEV 購入時補助金廃止

図 1 各国二酸化炭素排出規制動向

自動車市場では、図 1 のとおり、各国で二酸化炭素(CO₂)の排出規制が進んでおり、この傾向は今後も継続することが予測されます。このため、近年、燃費に優れた(走行時の CO₂ 排出量が少ない)電気自動車(EV)、Plug-in ハイブリット車(PHEV)を始めとした環境対応車の開発がいつそう盛んになっています。また、昨今、この環境対応車では、充電 1 回当たりの航続距離の延伸、充電時間の短縮などの理由から自家用車の最大バッテリー電圧は 400V から、800V へ増加する傾向にあります。これまでメカリレーが採用されていた箇所には、接点摩耗や固着などのリスクのない半導体リレーが採用されることが増えていきます。本資料では、高電圧化が進む環境対応車に対応した高耐圧フォトリレー TLX9160T の特長と応用例について説明します。

2. 高耐圧フォトリレーの特長

TLX9160T は、制御信号となる光を発する赤外発光ダイオード(LED)、その光を受けるフォトダイオードアレイ(PDA)、1500V 耐圧の MOSFET で構成された絶縁耐圧 5kVrms のフォトリレーです。

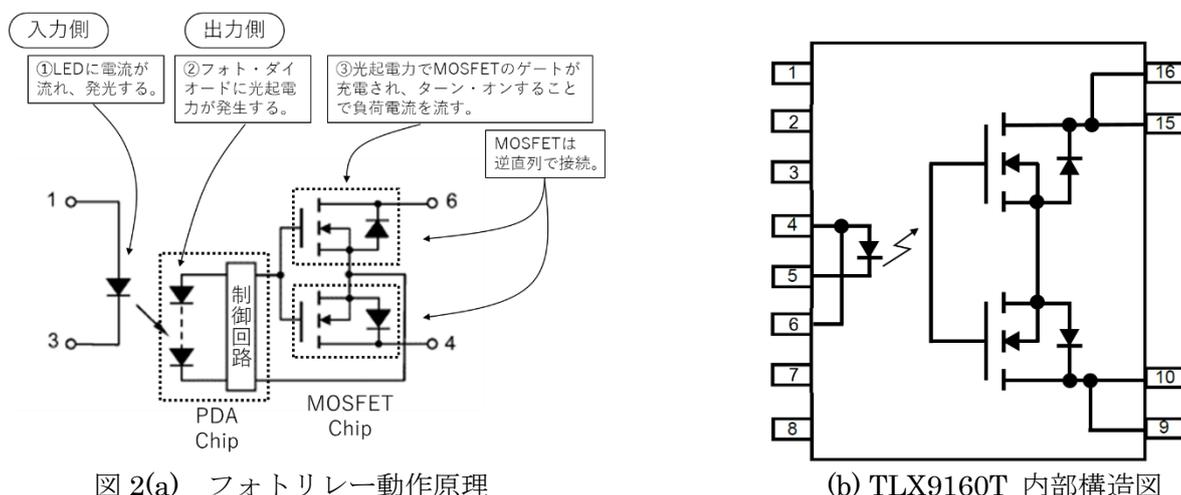


図 2(a) フォトリレー動作原理

(b) TLX9160T 内部構造図

LED に電流が流れると LED は発光します。その光を PDA が受けると、PDA が光起電力を発生させます。この光起電力により MOSFET のゲートを充電することで MOSFET が ON します。

LED への電流値が一定以下になると、PDA の光起電力は MOSFET のゲートを充電するのに十分な電力量を確保できず、OFF 状態となります。このとき、MOSFET のゲート電荷は PDA チップ内の制御回路を介して、素早く引き抜かれます。

また、TLX9160T は環境対応車の高電圧化に対応することを目的に開発されており、動作電圧は 1000V までを想定しています。動作電圧 1000V で使用する場合、MOSFET ピン間の沿面距離は 5mm 以上が必要です(CTI>600, 汚染度 2 環境下)。TLX9160T は出力側の端子を 4 本削除することによって、沿面距離 5mm を確保しています。

TLX9160T は弊社従来品に対し、阻止電圧とアバランシェ電流特性の点で優れています。弊社車載フォトリレー製品の比較表を以下に示します。

表 2 製品比較表

*特に指定の無い限り、Ta=25°C

| 製品名 | TLX9175J | TLX9160T |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| AEC-Q101 | 準拠 | 準拠 *1 |
| Tstg (min~Max) | -55 ~ 125°C | ~55 ~ 150°C |
| Topr (min~max) | -55 ~ 105°C | -40 ~ 125°C |
| BVs (min) | 3750Vrms | 5000Vrms |
| I _{AV} (Max) *2 | - | 0.6mA |
| 推奨動作 VDD (Max) | 450V | 1000V |
| V _{OFF} | 600V 双方向 | 1500V 双方向 |
| I _{FT} (Max) | 3mA | 3mA |
| R _{ON} (Max) | 335Ω @ IF=10mA, ION=15mA | 250Ω @ IF=10mA, ION=50mA |
| I _{ON} (peak) | 15mA (80mA @ 1ms) | 50mA (150mA @ 1ms) |
| CTI (Comparative tracking index) | ≥500 | >600 |
| Pin to pin clearance Secondary side | 2.14mm | > 5mm *3 |
| Package | | |

*1 高電圧印加の信頼性試験は 1200V で実施。

*2 生涯累積として、最長連続 1min.、Duty cycle=0.1%で 5 回まで印加可能。

*3 動作電圧 1000V 応用の場合、沿面距離が 5mm 以上が必要。@汚染度 2, 材料 Gr. I

3. 高耐圧フォトリレーの用途

高耐圧フォトリレーはメカリレーのように高負荷を制御することはできません。一方で、フォトリレーには接点摩耗、接点溶着、接点開閉制限がないという特徴から、低電流を制御する応用に対してメカリレーよりも優れたセット信頼性を提供することが可能です。特にバッテリーマネジメントシステム(BMS)ではメカリレーの溶着検知回路(①)、バッテリー総電圧監視回路(②)、および地絡検出回路(③)などの、高いバッテリー電圧を保持しつつ、頻繁にスイッチを開閉する回路応用で広く使用されています。

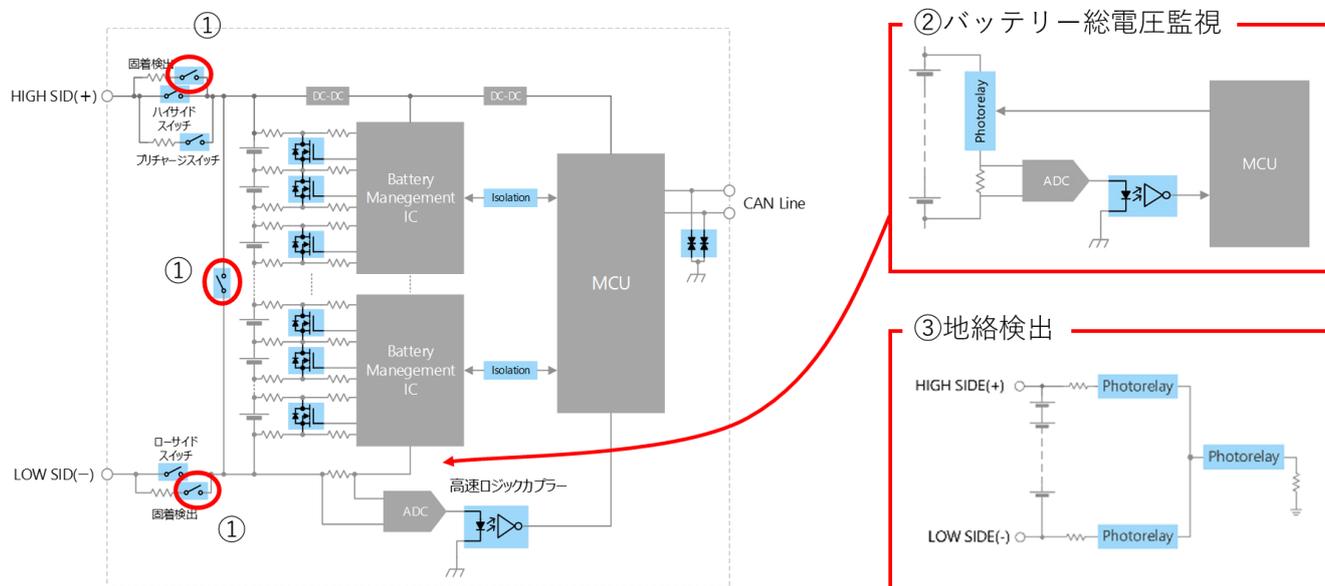


図3 高耐圧フォトリレー応用ブロック図

3.1. メカリレー溶着検知回路

バッテリーの充放電におけるメイン回路は数百V、数十~数百Aが印加されるため、オン特性の優れたメカリレーを使用することが一般的です。しかし、オン特性が優れている一方で、メカリレーには接点の固着、溶着が発生するリスクがあります。メカリレーが溶着した場合、充放電の回路をOFFすることができず、非常に危険です。このため、メカリレーの溶着の有無を確認する必要があります。溶着の検知ではそれほど大きな電流を流す必要はないため、固着リスクの無いフォトリレーを使用して確認されています。

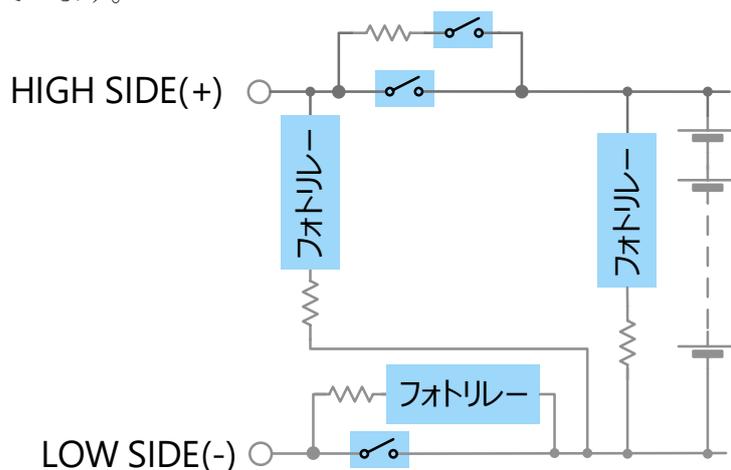


図4 メカリレー溶着検知回路(例)

3.2. バッテリー総電圧監視回路

環境対応車(EV, PHEV)は常に、あるいはしばしばモーターでのみ走行します。特に発進時には、非常に大きな電力でモーターを駆動させることが必要となります。このため、個々のバッテリーセルだけではなく、バッテリーの総電圧を監視することが重要です。

総電圧は車両走行時、停車時に頻繁に監視が必要です。このため、接点开閉制限があり、かつスイッチング速度の遅いメカリレーは不向きです。これらの背景から無接点リレーであるフォトリレーが当該回路の ON/OFF 切り替えスイッチとして用いられています。

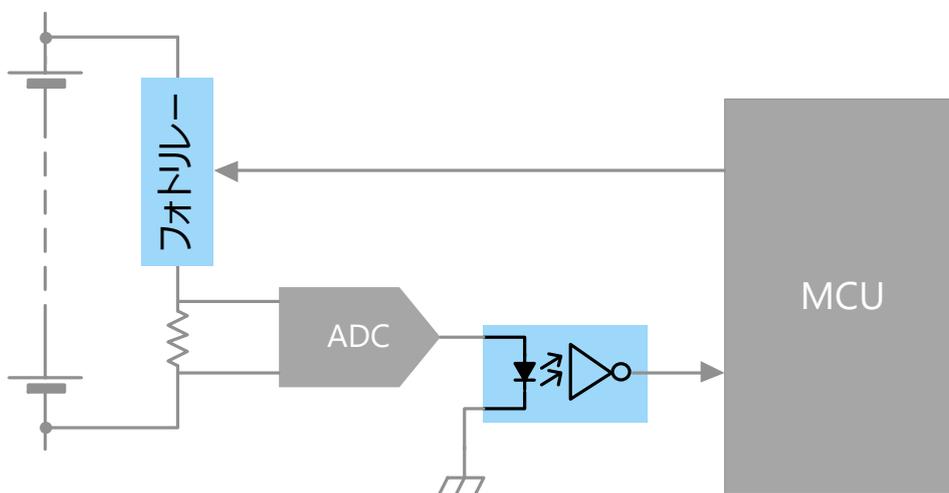


図5 バッテリー総電圧監視回路 (例)

3.3. 地絡検出回路

自動車の電動化に伴い、車両の走行性や、車内の快適性が向上している一方で、高電圧から搭乗者や周辺機器の安全を確保する必要があります。避けなければならないのはバッテリー電圧が筐体部に流れることです。特に、非常に小さな抵抗成分を介して筐体部と導通してしまう、地絡、短絡状態の時、人への感電リスクが高まります。このため、高電圧バッテリーを搭載した車両では絶縁を確認する地絡検出回路が必要です。

この地絡の有無の確認は、駆動時、停車時、充電時などさまざまなイベント時、イベント間で実施されます。また、回路スイッチが ON 状態のままとなってしまうと、正常な検出をすることができません。このため、地絡検出回路上のスイッチは接点摩耗や溶着リスクのない高耐圧フォトリレーが採用されています。

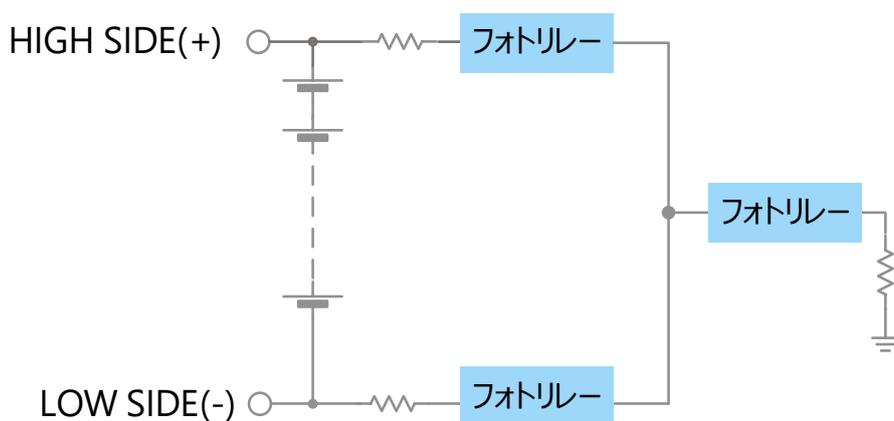


図6 地絡検出回路 (例)

4. 電気自動車に求められる耐電圧試験

絶縁対策が必要な 60V 以上のバッテリーシステムを採用する場合、電気自動車および車載機器が適切な絶縁機能を備えているかを確認する必要があります。本アプリケーションノートでは、特に電気危害に対する人の保護を目的に定められている下記規格に基づいて説明します。

国際規格 ISO 6469-3, 日本工業規格 JIS D5305-3, 中国国家標準規格 GB/T 18384-3 など

これらの規格は IEC 60664 低圧系統内機器の絶縁協調(Insulation coordination for equipment within low-voltage system)や IEC 61140 感電保護(Protection against electric shock)に従い、交流 1000V 以下または直流 1500V 以下の定格電圧で使用する機器に適用されています。ここで JIS D5305-3 を例にとると、危険充電部が人に触れる可能性がある場合はクラス II 機器、危険充電部が人に触れる可能性がない場合はクラス I 機器としてあつかい、必要とされる絶縁抵抗を大別しています。この絶縁抵抗を確認する手順が耐電圧試験です。

クラス I 機器、クラス II 機器はそれぞれの耐電圧試験は下記で定義されますが、本アプリケーションノートではクラス I 機器であることを想定して説明します。

耐電圧の試験電圧

| | |
|----------------|------------------------------|
| クラス I 機器：基礎絶縁 | $2U + 1000 \text{ Vrms}$ (注) |
| クラス II 機器：補助絶縁 | $2U + 2250 \text{ Vrms}$ |
| 2重絶縁/強化絶縁 | $2U + 3250 \text{ Vrms}$ |

U：電気回路の最大動作電圧

(注)この試験では、バッテリー電圧の 2 倍に 1000 を足した試験電圧を 50~60Hz AC で 1 分間印加することを求めています。また、この試験を DC で実施する場合は AC×1.41 倍の電圧で試験しなければなりません。

クラス I 機器*1、バッテリー電圧(U)=800V の時

$$(2U + 1000) = 2 \times 800 + 1000 = 2600 \text{ Vrms} / 1\text{min.} \Leftrightarrow 2600 \times 1.41 = 3666 \text{ Vdc} / 1\text{min.}$$

上記の例のとおり、耐電圧試験では車載機器にバッテリー電圧よりも大幅に高い電圧が印加されます。絶縁素子に対してもこの試験電圧が印加されます。このため、フォトリレーを使用する場合は、耐電圧試験でも素子が破壊しない回路を構成する必要があります。

4.1. メカリレー溶着検知回路、バッテリー総電圧監視回路

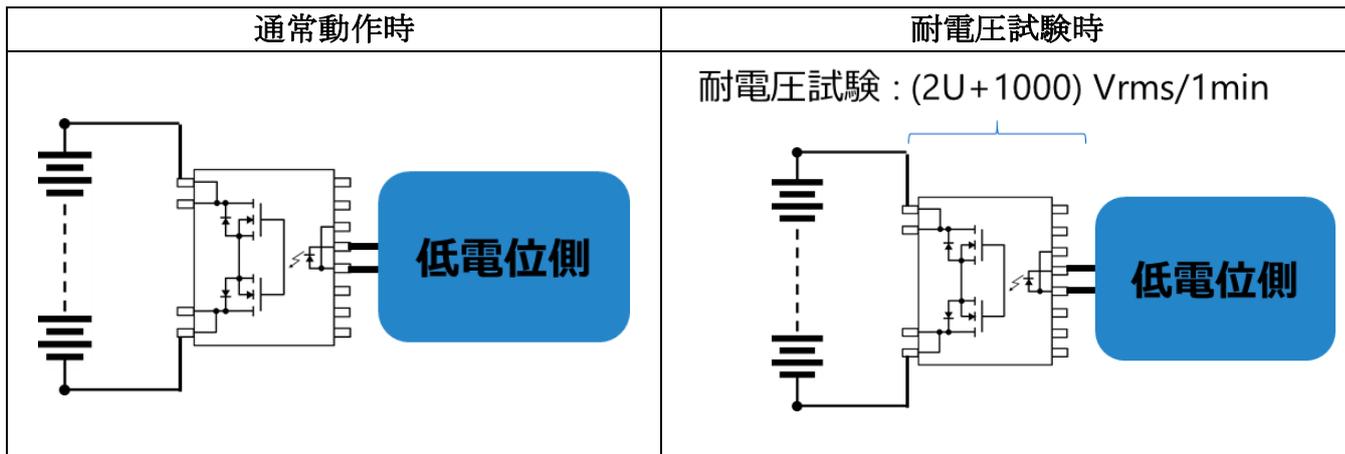
これらの回路は通常動作時には MOSFET 間にはバッテリー電圧のみが印加されるため、推奨動作電圧以下での使用であれば、素子が破壊されることはありません。

また、市場で一般的な 400V 以下、800V 以下のバッテリーシステムに基づき、耐電圧試験電圧を算出すると、

| | |
|----------------|--|
| バッテリー電圧 = 400V | $: 2 \times 400 + 1000 = 1800 \text{ Vrms} / 1\text{min.} \Leftrightarrow \text{約 } 2538 \text{ Vdc} / 1\text{min.}$ |
| バッテリー電圧 = 800V | $: 2 \times 800 + 1000 = 2600 \text{ Vrms} / 1\text{min.} \Leftrightarrow \text{約 } 3666 \text{ Vdc} / 1\text{min.}$ |

であり、試験電圧は TLX9175J、TLX9160T の絶縁電圧(BVs) 3750Vrms, 5000Vrms 以下です。このため、メカリレー溶着検知回路、バッテリー総電圧監視回路ではフォトリレーは特別な回路構成をすることなく、使用が可能です。

表 2 通常動作 / 耐電圧試験 (メカリレー溶着検出回路、バッテリー総電圧監視回路)



4.2. 地絡検出回路

地絡検出回路の通常動作時は MOSFET 間にはバッテリー電圧のみが印加されるため、推奨動作電圧以下での使用であれば、素子が破壊することはありません。

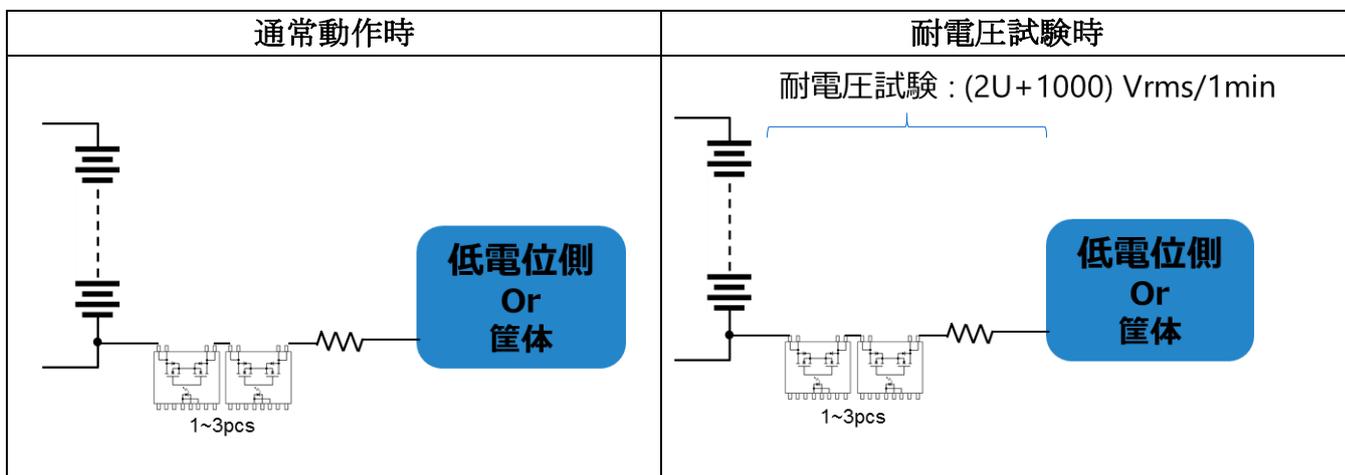
一方で、耐電圧試験時には、

バッテリー電圧 = 400V : 1800 Vrms/1min. ⇔ 約 2538Vdc/ 1min.

バッテリー電圧 = 800V : 2600 Vrms/1min. ⇔ 約 3666Vdc/ 1min.

の電圧が、MOSFET 間に印加されます。これらの電圧は TLX9175J, TLX9160T の阻止耐圧を大幅に上回っています。このため、耐電圧試験で素子が破壊されないように、複数個を直列に接続して、耐圧試験電圧を分圧するか、非常に大きな抵抗を挿入するか、またはその両方を用いた回路を構成する必要があります。

表 3 通常動作 / 耐電圧試験 (地絡検出回路)



4.2.1. TLX9160T の応用

一般的にフォトリレーの阻止電圧は DC 電圧で保証されています。耐圧試験では、フォトリレーが AC 試験電圧のピーク電圧、または DC 試験電圧を保持できるかどうかを確認する必要があります。地絡検出回路は先述のとおり、複数個を直列に接続した回路構成が多く見られます。以下では 800V バッテリーシステムで、TLX9160T を 2pcs 直列接続した場合を想定します。

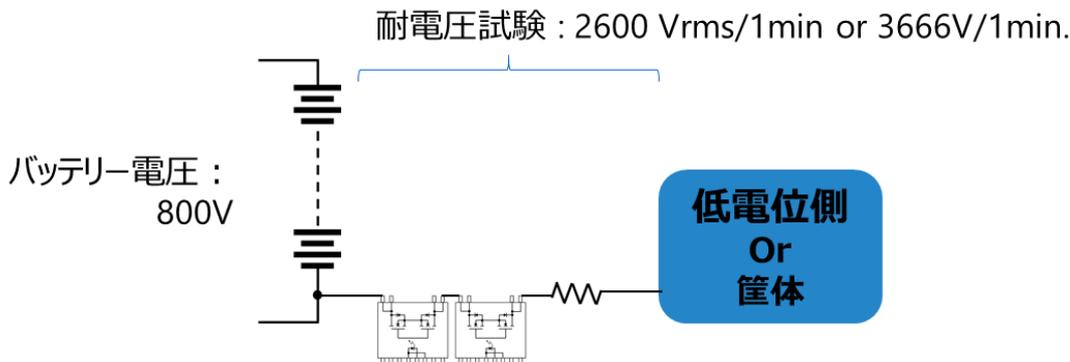


図 7 地絡検出回路 (バッテリー電圧 : 800V)

バッテリー電圧が 800V であるため、耐電圧試験では 2600Vrms/1min.、または 3666Vdc/1min. で試験されます。この電圧を TLX9160T 2 個で保持する必要があります。

電気的特性 (特に指定のない限り Ta = 25°C)

| 項目 | | 記号 | 測定条件 | 最小 | 標準 | 最大 | 単位 |
|-------|------------------|--------------------|--|------|------|------|----|
| 発光側 | 順電圧 | V _F | I _F = 10 mA | 1.5 | 1.65 | 1.8 | V |
| | | | I _F = 10 mA, Ta = -40 ~ 125 °C | 1.4 | — | 1.95 | |
| | 逆電流 | I _R | V _R = 5 V | — | — | 10 | μA |
| | 端子間容量 | C _T | V = 0 V, f = 1 MHz | — | 45 | — | pF |
| 受光側 | 阻止電圧 | V _{OFF} | I _{OFF} = 10 μA, Ta = 25 °C (注 1) | 1500 | — | — | V |
| | オフ電流 | I _{OFF} | V _{OFF} = 1000 V, Ta = 25 °C | — | — | 100 | nA |
| | | | V _{OFF} = 1000 V, Ta = 105 °C | — | — | 1000 | |
| | | | V _{OFF} = 1000 V, Ta = 125 °C | — | — | 5000 | |
| 端子間容量 | C _{OFF} | V = 0 V, f = 1 MHz | — | 100 | — | pF | |

注 1: 高電圧印加のライフ試験は 1200V で実施。

データシート記載の電気的特性のとおり、TLX9160T の阻止電圧は(min) 1500V であり、 $3666V - 1500V \times 2 = 666V$

2 個を直列接続した場合でも、耐圧試験電圧に対して、666V 分が保持できません。このとき、フォトリレーを保護する制限抵抗が回路上にない場合、フォトリレーには過剰な電流が印加され、破壊されます。保持できなかった分の電圧は制限抵抗と分圧する必要があります。このときの制限抵抗値の設定にはデータシート記載のアバランシェ電流に基づき算出します。

絶対最大定格 (特に指定のない限り Ta = 25°C) (注)

| 項目 | 記号 | 定格 | 単位 |
|--------------------------------------|---------------------|---------|------------------|
| 直 流 順 電 流 | I _F | 30 | mA |
| Ta=125°C | | | |
| ア バ ラ ン シ ェ 電 流(注1) | I _{AV} | 0.6 | mA |
| M O S F E T 許 容 損 失 | P _O | 600 | mW |
| M O S F E T 許 容 損 失 低 減 率[Ta ≥ 45°C] | ΔP _O /°C | -7 | mW/°C |
| 接 合 部 温 度 | T _J | 135 | °C |
| 保 存 温 度 | T _{stg} | -55~150 | °C |
| 動 作 温 度 | T _{opr} | -40~125 | °C |
| は ん だ 温 度 (10 s) | T _{sol} | 260 | °C |
| 絶 縁 耐 圧 (AC, 60 s, R.H. ≤ 60%) (注2) | BV _S | 5000 | V _{rms} |

注: 本製品の使用条件 (使用温度/電流/電圧等) が絶対最大定格以内での使用においても、高負荷 (高温および大電流/高電圧印加、多大な温度変化等) で連続して使用される場合は、信頼性が著しく低下するおそれがあります。弊社半導体信頼性ハンドブック (取り扱い上のご注意とお願いおよびデレーティングの考え方と方法) および個別信頼性情報 (信頼性試験レポート、推定故障率等) をご確認くださいの上、適切な信頼性設計をお願いします。

注: この製品は構造上、静電気に弱いため製品を取り扱う際、作業台・人・はんだごて・はんだ実装装置などに対し必ず静電対策を講じてください。

注 1: 生涯累積として、最長連続1min、Duty cycle=0.1%で5回まで印加可能。

注 2: ピン 1~8 とピン 9、10、15、16 をそれぞれ一括し、電圧を印加する。

注 3: 指数関数波形 パルス幅 < 1ms、f ≤ 150Hz

TLX9160T のデータシートではアバランシェ電流を保証しています。これは一般的な MOSFET で保証されるアバランシェ電流とは異なり、MOSFET がブレークオーバーしても当該電流値以下に電流制限すれば、連続通電 1 分間(製品生涯: 5 回まで)であれば素子が破壊されないことを意味しています。

TLX9160T のアバランシェ電流保証は 0.6mA であることから、

$$666\text{V} / 0.6\text{mA} = 1.11\text{M}\Omega$$

1.11MΩ 以上の制限抵抗を製品と直列に接続することで、耐電圧試験でも TLX9160T を破壊することなく使用することが可能です。

4.2.2. TLX9175J の応用

400V バッテリーシステムで TLX9175J の複数個を直列接続し、地絡検出回路を構成した場合を想定します。

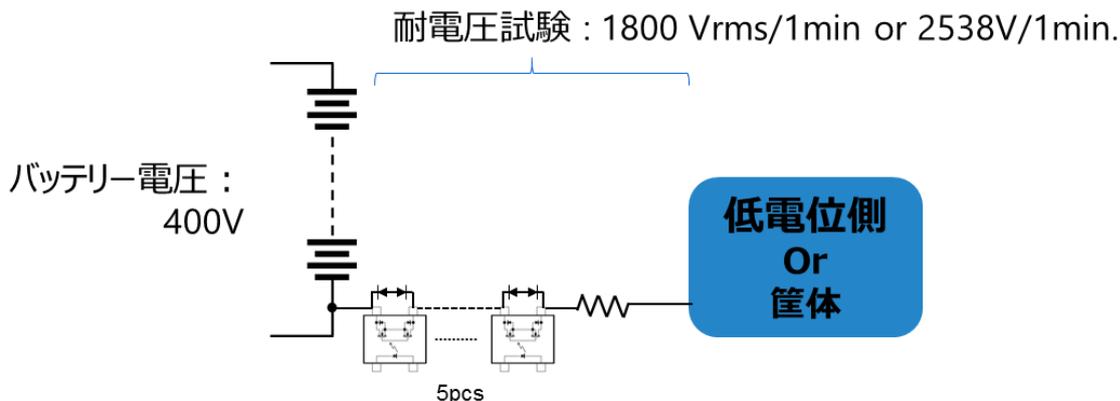


図 8 地絡検出回路 (バッテリー電圧 : 400V)

400V バッテリーシステムの場合、耐電圧試験では 1800Vrms/1min.、または約 2538V/1min. で試験されます。この電圧を TLX9175J で保持する必要があります。

| 絶対最大定格 (特に指定のない限り Ta = 25°C) (注) | | | | |
|----------------------------------|------------------|-----|----|--|
| 項目 | 記号 | 定格 | 単位 | |
| 直 流 順 電 流 | I _F | 25 | mA | |
| 阻 止 電 圧 | V _{OFF} | 600 | V | |
| | | 15 | mA | |

TLX9175J のデータシートに記載されている阻止電圧の絶対最大定格は 600V です。そのため、約 2538V を保持するために、少なくとも TLX9175J を 5 個直列に接続する必要があります。また、1 TLX9175J には瞬時たりとも、600V を超える電圧が MOSFET 間に印加されてはいけません。このため、TLX9175J の保護を目的に、各フォトリレーにツェナーダイオードなどの保護素子を並列に接続するなどの対応が必要です。

4.2.3. 阻止電圧以上の使用における注意点

阻止電圧を超える電圧が印加されている環境では、ON/OFF 動作をさせることが無いようにお願いします。耐電圧試験はあくまでフォトリレーが常に OFF 状態の試験であるため、フォトリレーの耐圧を超える電圧が印加されても、他の製品および抵抗に分圧されて、使用することが可能です。しかしながら、阻止電圧を超える電圧が印加されている環境で、ON/OFF の切り替え動作をすると、製品間の ON/OFF タイミングのズレによって、耐圧を超えた電圧を単一の素子が抱える瞬間が発生し、製品や保護素子の故障や製品寿命の短縮につながる恐れがあります。

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。

本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、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。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の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。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独および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ください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、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することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、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。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、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。）をしておりません。
 - 本製品には GaAs（ガリウムヒ素）が使われています。その粉末や蒸気等は人体に対し有害ですので、破壊、切断、粉砕や化学的な分解はしないでください。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、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ないでください。また、輸出に際しては、「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、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/>