

スマートゲートドライバークプラー DESAT 検出回路設計のヒント

概要

本資料はお客様が TLP5214A/TLP5214/TLP5212/TLP5222 などのスマートゲートドライバークプラーの $V_{CE(sat)}$ 検出機能をお使いいただく際に注意すべき、周辺回路を設計する上でのヒントをまとめた資料です。

$V_{CE(sat)}$ 検出 (DESAT 検出) 機能は、ゲートドライバークプラーがドライブするパワー半導体スイッチ素子 (パワー素子) に負荷の短絡などで過電流が流れた際のコレクターあるいはドレイン電圧 (V_{CE}) の上昇を検出した場合にパワー素子をオフさせて保護します。しかし、パワー素子のスイッチング時に負荷のインダクタンスなどにより V_{CE} が大きく上昇することがあり、それが DESAT 検出機能の誤検出を起こすことがあります。3 相インバーターなどでは、他の相のスイッチング時に発生するノイズが、電源ラインや GND ラインを通した回り込みや、配線間の電磁誘導などによっても誤検出を生むことがあります。

本資料では、DESAT 検出機能の誤検出を起こりにくするためのヒントを述べます。

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
図目次	2
1. DESAT 検出回路について	3
2. ノイズの侵入経路	4
3. 回路配線パターン設計のヒント	5
4. DESAT 検出回路の定数決定のヒント	6
変更履歴	10
記載内容の留意点	11
使用上のご注意およびお願い事項	11
製品取り扱い上のお願い	12

図目次

図 1.1 DESAT 検出機能付きゲートドライバー応用回路	3
図 2.1 ノイズ侵入イメージ	4
図 2.2 配線パターンの寄生素子のイメージ	4
図 3.1 配線引き回し上の注意点	5
図 3.2 DESAT 回路配線パターンのシールドイメージ	5
図 4.1 フィルターによるノイズ低減	6
図 4.2 保護素子と R_B	7
図 4.3 DESAT 検出系の電圧チャート	9
図 4.4 TLP5214A の DESAT 検出時のタイミングチャート	9

1. DESAT 検出回路について

まず、 $V_{CE(sat)}$ 検出(DESAT 検出)機能について簡単に説明します。

スマートゲートドライバー(SGD)カプラーと呼ばれる TLP5214A/TLP5214/TLP5212/TLP5222 などに内蔵される DESAT 検出機能は、パワー素子(IGBT、SiあるいはSiC-MOSFET、GaN-FET など各種ありますが、以降の説明では IGBT を例に進めます)を、破壊の原因となる負荷短絡電流などの過大電流から保護することを目的にしています。

SGD カプラーはドライブするパワー素子のコレクターあるいはドレインの電圧を DESAT 端子を通して監視することにより、それが規定の電圧(V_{DESAT})を超えた場合にパワー素子を停止するとともに FAULT_N 端子よりフォルト信号を出力します。

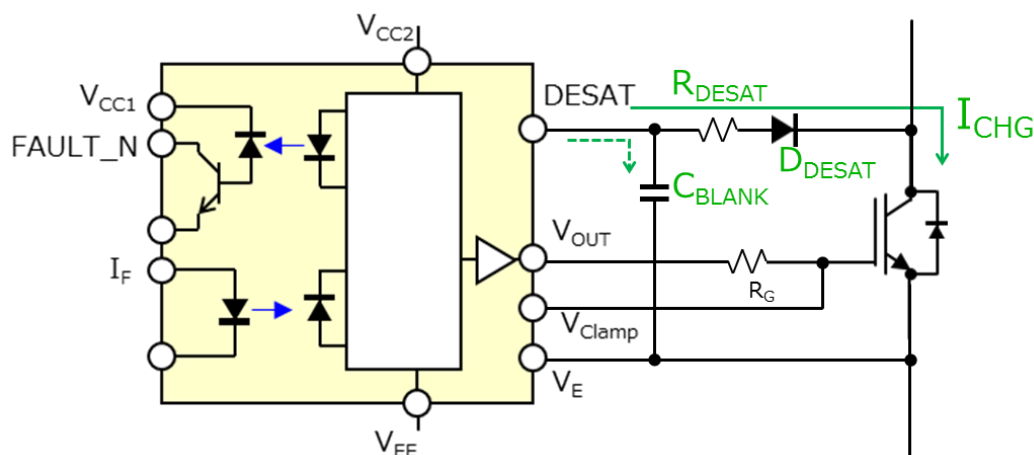


図 1.1 DESAT 検出機能付きゲートドライバー応用回路

図 1.1 に示すこの回路例では、IGBT を TLP5214A でドライブしています。ドライブする IGBT がオン(V_{OUT} が H 状態)しているときは DESAT 端子からは I_{CHG} が流れ出しており、DESAT 端子と V_E 端子に接続された C_{BLANK} を充電しようとします。しかし、IGBT はオンしているため、 V_{CE} は飽和電圧になっており、 I_{CHG} は R_{DESAT} 、 D_{DESAT} を通じて IGBT に流れ込むため、 C_{BLANK} は DESAT スレッショルド電圧 V_{DESAT} まで充電されません。

負荷短絡などによる過電流によって IGBT の V_{CE} が上昇すると、 I_{CHG} が IGBT に流れ込めなくなると C_{BLANK} を充電し始め、DESAT 端子がしきい値電圧である V_{DESAT} を超えると SGD は IGBT の非飽和を検出した(過大電流が流れた)と判断して V_{OUT} がソフトシャットダウンに入り、IGBT をオフします。さらにコントローラー側に FAULT_N 信号を出力します。

C_{BLANK} が充電され始めてから、保護動作が始まるまでの t_{BLANK} 時間は、IGBT の飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ と D_{DESAT} の順方向電圧 V_F 、 R_{DESAT} の電圧降下より計算されます。

$$t_{BLANK} = \{ C_{BLANK} \times (V_{DESAT} - (V_F + I_{CHG} \times R_{DESAT})) \} / I_{CHG} \quad \cdots \cdots (式 1)$$

この t_{BLANK} 時間は、IGBT の短絡耐量(t_{sc})より短くする必要があります。

t_{BLANK} については、「[スマートゲートドライバーカプラー-TLP5214A/TLP5214/TLP5212/TLP5222 アプリケーションノート — 応用編 —](#)」の 4.2 章「ブランキング時間の設定と調整方法」で詳しく説明しておりますので参照ください。

復習はここまでにして、次章から本題を述べます。

2. ノイズの侵入経路

パワー素子は、モジュールであったり、単体の場合も放熱器をつけたり、大きな負荷電流を流すための太い配線を接続するため、SGD から数 cm~数十 cm ほど離れた場所に設置されることがあります。よって、SGD からの 3 本の配線 (DESAT 検出、ゲートドライブ、エミッターコモン) はその分の長さが必要になります。その場合、配線自体がアンテナとなって大きな負荷電流の配線からの電磁誘導や、インバーター応用などで複数の相がある場合は他相のスイッチングによる負荷電流からの電磁誘導や、他相のゲートドライバー信号からも配線間容量などを通してノイズが入る可能性があります。そのイメージを図 2.1 に示します。

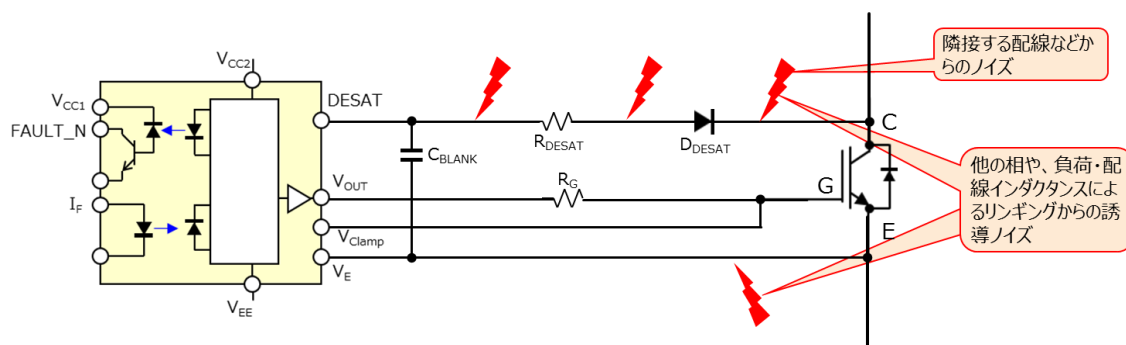


図 2.1 ノイズ侵入イメージ

プリント基板上では、配線で伝送する信号電圧は近接する配線間で寄生容量などにより影響を及ぼしあい、流れる信号電流は隣接する配線間で電磁誘導により影響を及ぼしあいます。特に IGBT で制御する電流は数 A~数 100 A と大きいために大きな誘導磁界が発生しますし、また IGBT のゲートドライブ配線もゲート容量を急速に充電するために数 A 以上のピーク電流が流れて配線の周囲へ大きな影響を及ぼすことがあります。また、繰り返になりますが「配線」には必ず寄生の抵抗成分やインダクタンス成分、容量成分が存在するので、例えば配線を流れる電流の変化は、抵抗成分やインダクタンス成分で局所的に電圧の変化を生み、また電圧の変化は容量成分の充放電を引き起こして電流の変化を生みます。信号だけではなく、上述のように寄生成分で生み出された電圧の変化は配線間の寄生容量を介して相互に電圧ノイズとして入り込み、電流の変化は並行する配線間の電磁誘導により電流や電圧ノイズとして相互に複雑に絡み合います。

DESAT 検出回路の配線は上記のような環境の基板上に配線され、また回路インピーダンスが比較的高いことから、DESAT 検出回路配線は周囲の配線から影響を受け易く、DESAT 誤検出の原因となる場合があります。

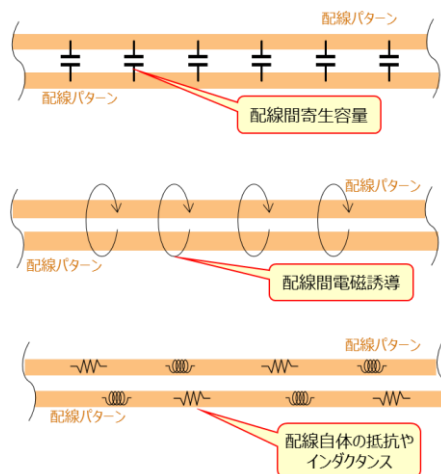


図 2.2 配線パターンの寄生素子のイメージ

3. 回路配線パターン設計のヒント

前述した配線周囲からのノイズなどによる DESAT 検出誤作動を低減するために、配線パターン上で注意すべき点を以下に列挙してみます。DESAT 検出用の配線は他の配線に比べインピーダンスが高く、他の配線からの誘導や飛び込みを受けやすいため、電流パルスが流れる配線や、大きな電位変動が起こるノードにつながる配線とは隣接しないようにする必要があります。

- (1) DESAT 検出用の配線は、最も電圧変動の激しいパワー素子のコレクター(ドレイン)につながる他のパワー素子の DESAT 検出配線と近接させない。
- (2) DESAT 検出用の配線は、電流パルスが流れる IGBT のゲートドライブ配線と平行に走らせない。
- (3) R_{DESAT} 、 D_{DESAT} と C_{BLANK} によるローパスフィルター効果を最大限に発揮できるように、 R_{DESAT} 、 D_{DESAT} 、 C_{BLANK} は SGD 近傍に置くこと。(フィルターの効果については後述)

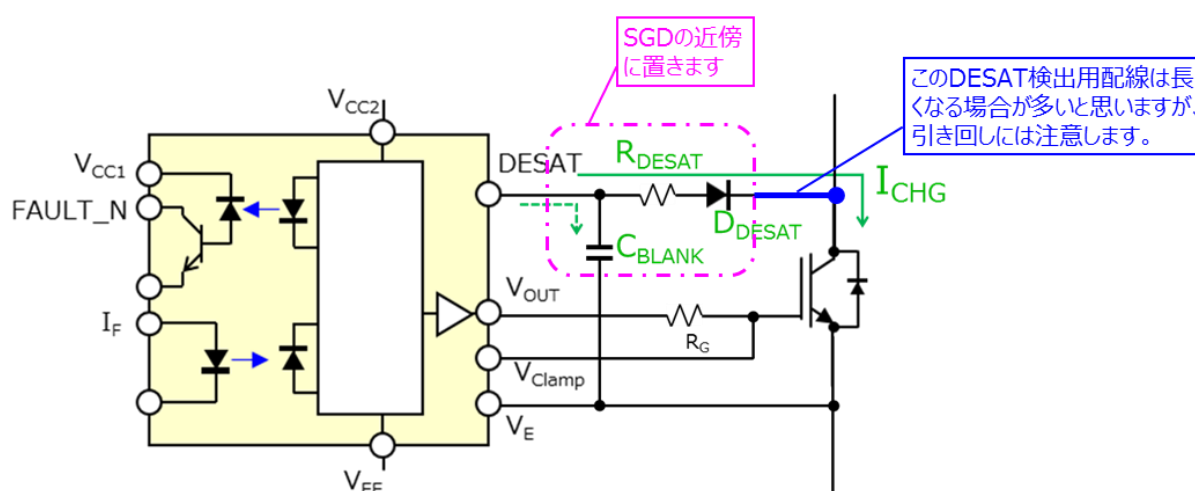


図 3.1 配線引き回し上の注意点

可能であれば、さらに DESAT 検出誤作動をさせないよう DESAT 検出用の配線をノイズから守るため、多層配線層や、DESAT 検出用配線に並行して左右を SGD のコモン電位 (V_E や V_{EE}) の配線で囲うことも効果がある場合があります。この場合、システムの GND 電位ではなく、DESAT 検出の基準となる SGD 自身のコモン電位であることに注意してください。DESAT 検出機能は、パワー素子のエミッター(ソース)に接続する V_E 端子を基準電位として動作しますので、その SGD 自身のコモン電位でシールドしないと意味がありません。特にインバーター応用などで Upper-Side のパワー素子のドライブをする場合は、システムの GND は最も大きなノイズ源の 1 つになりえます。



図 3.2 DESAT 回路配線パターンのシールドイメージ

4. DESAT 検出回路の定数決定のヒント

DESAT 検出回路の C_{BLANK} 、 R_{DESAT} の値と、 D_{DESAT} の選び方について、ヒントを述べます。

パワー素子の短絡耐量を基にしたブランキング時間 t_{BLANK} については「[スマートゲートドライバーカプラー TLP5214A/TLP5214/TLP5212/TLP5222 アプリケーションノート ー応用編ー](#)」の 4 章に詳しく述べてあります。詳細はそちらをご覧くださいとして、ここでは簡単に述べます。過大電流が流れるなどして IGBT の V_{CE} が上がり I_{CHG} が IGBT に流れなくなり C_{BLANK} を充電し始めてから DESAT 端子が V_{DESAT} を超えるまでの時間 t_{BLANK} (3 ページの式 1) を短絡耐量より短くなるように設定します。

さて、IGBT の保護の観点からは t_{BLANK} は短いほど良いわけです。しかし、今までに述べたような部品配置や配線パターンに注意を払っても、ドライブ信号用 LED がオンしているときには DESAT 端子は入力インピーダンスが高いため、 C_{BLANK} を大きなノイズが図らずも充電してしまい V_{DESAT} を超え、FAULT 状態に入る誤動作の発生が考えられます。そのため、 C_{BLANK} 、 R_{DESAT} 、 D_{DESAT} でローパスフィルターを形成してそれを防ぎます。

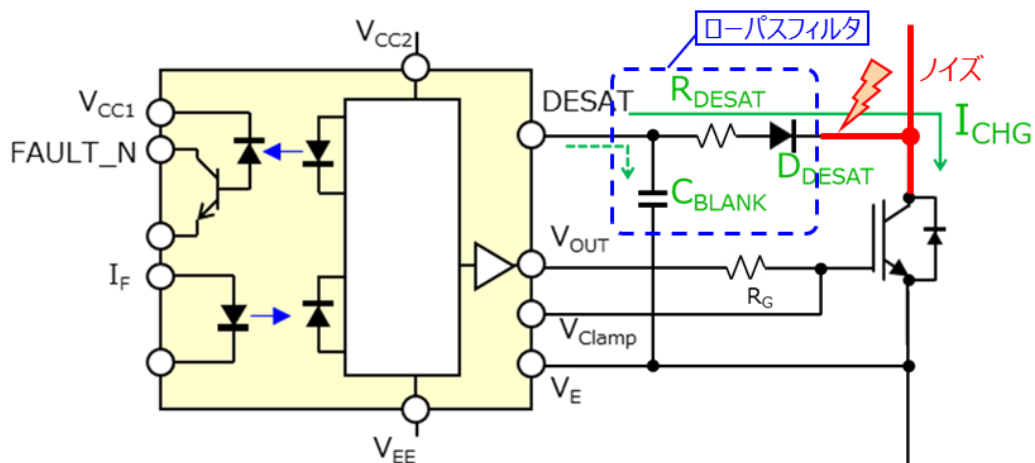


図 4.1 フィルターによるノイズ低減

ローパスフィルター構成の観点からも各素子の定数を考えます。 C_{BLANK} と R_{DESAT} は値が大きいほど、 D_{DESAT} の接合容量は小さいほどフィルター効果は高くなります。

1. D_{DESAT} : 流れる順方向電流は I_{CHG} だけなので小容量 (100 mA 程度) のダイオードで十分ですが、IGBT の電源電圧より十分高い逆耐圧 (おおむね 2 倍以上) を持ち、DESAT 誤検出対策のためには接合容量の小さいダイオードを使用してください。IGBT 短絡判断電圧 ($V_{th(IGBT)}$) の調整とも関係しますが、ダイオードを直列にすると接合容量は直列個数分の 1 となりますので、接合容量低減の観点からは効果的です。ただし、IGBT がオフ時にかかる逆耐圧は、ダイオード個々のリーク電流のばらつきなどの要因で直列にしたダイオードに電圧が均等にはかからないことがあります。したがって IGBT の電源電圧より高い逆耐圧を持つダイオードをご使用ください。DESAT 検出電圧に関しては、「[スマートゲートドライバーカプラー TLP5214A/TLP5214/TLP5212/TLP5222 アプリケーションノート ー応用編ー](#)」4.5 章「IGBT 短絡判断電圧の調整」を参照ください。
2. C_{BLANK} : 例えば t_{BLANK} を 5 μs とします。TLP5214A では I_{CHG} の標準値は 240 μA なので、3 ページの式 1 から C_{BLANK} は 200 pF 程度を選択することになります。 $C_{BLANK} = 200$ pF、 D_{DESAT} の接合容量が 20 pF としたときに V_{CE} に 100 Vp-p のノイズが生じた場合、 C_{BLANK} に発生するピークノイズ電圧は容量の分圧により

$$100 \text{ V} \times 20 \text{ pF} / (200 \text{ pF} + 20 \text{ pF}) = 9.1 \text{ V}$$

となります。この値は V_{DESAT} (= 6.5 V) を超えて誤 FAULT 動作が起こりえます。そこで、容量の観点からは C_{BLANK}

を大きくするか、 D_{DESAT} に接合容量ができる限り小さいダイオードを選択します。接合容量の小さなダイオードが使用できない場合は、 C_{BLANK} に大きいものを使用します。例として 470 pF を使用すれば D_{DESAT} の接合容量が 20 pF で V_{CE} に 100 Vp-p のノイズが生じた場合でも C_{BLANK} に生じるノイズ電圧は

$$100 \text{ V} \times 20 \text{ pF} / (470 \text{ pF} + 20 \text{ pF}) = 4.1 \text{ V}$$

まで小さくなります。ただし、470 pF では t_{BLANK} は 5 μs を超えますので IGBT の短絡耐量を超えないよう注意してください。 C_{BLANK} を大きくした場合に t_{BLANK} を短くする必要がある場合は、 R_B を追加して I_B を流すことにより C_{BLANK} の充電電流を増加することができます。なお、DESAT 端子の保護として図 4.2 にあるようなツェナーダイオードやショットキーバリアダイオードを接続していただく場合は、それぞれの素子が接合容量を持ち、 C_{BLANK} に並列に入りますので C_{BLANK} にそれを加えて t_{BLANK} を計算する必要があります。設計時には考慮してください。 R_B の計算については、「[スマートゲートドライバーカプラー-TLP5214A/TLP5214/TLP5212/TLP5222 アプリケーションノート —応用編—](#)」

4.4 章「外部ブランキング回路(R_B)による時間の調整方法」を参照ください

3. R_{DESAT} : ノイズ低減のローパスフィルターを考えると、 R_{DESAT} と C_{BLANK} の時定数を大きくすればインパルスやリングングの高周波ノイズに対してはフィルター効果が増して DESAT の誤検出防止効果が増加します。 R_{DESAT} を大きくする場合は、IGBT がオンしているときに I_{CHG} が R_{DESAT} を流れるため、大きくした分だけ電圧降下も大きくなります。さらに、 C_{BLANK} を大きくして R_B を追加している場合は、 I_{CHG} に加え I_B も R_{DESAT} を流れるので、電圧降下がより大きくなるので注意が必要です。 $V_{th(IGBT)}$ の調整に関してはその増加分を考慮してください。

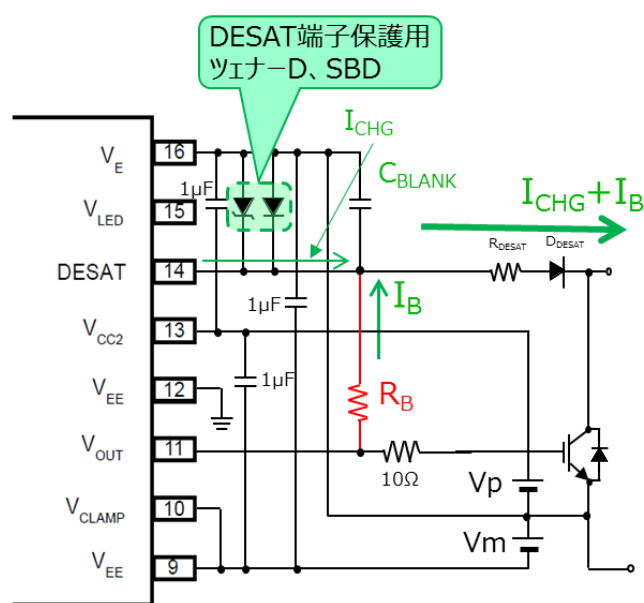


図 4.2 保護素子と R_B

以上のように各素子の定数は相互に影響があり、実装するプリント配線基板の寄生素子(配線間容量、配線インダクタンス、配線抵抗)も複雑に絡み合います。設計の際はこの資料の「ヒント」を参考にして十分検証を行ってください。

なお、IGBT のゲート電圧波形の観察や DESAT 端子波形の観察などは、システムの GND 基準では正確に観察できません。高い周波数でも CMRR(同相信号除去比)が高い(80 dB 以上を推奨します)光アイソレーション型差動プローブなどで実施することを推奨します。

参考までに TLP5214A の I_B と DESAT 検出系の定数の計算例を示します。

DESAT 検出系の電圧チャートを図 4.3 示します。IGBT がオン状態(定常時)での C_{BLANK} にかかる電圧、つまり D_{DESAT} と R_{DESAT} の電圧降下と IGBT の飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ の和を $V_{CBLK(ON)}$ と定義します。IGBT の短絡判断電圧が $V_{th(IGBT)}$ ですので、

$$V_{DESAT} = V_{th(IGBT)} + V_{CBLK(ON)}$$

となります。 $V_{CBLK(ON)}$ を決めて計算を始めますが、 $V_{th(IGBT)}$ を設定したい場合は、

$$V_{CBLK(ON)} = V_{DESAT} - V_{th(IGBT)}$$

より計算してください。

➤ 計算の条件 (V_{OUT} は H 状態つまり IGBT がオン状態での計算です)

- ① 微小電流領域なので $V_{CC2} - V_{OUT}$ 間の電圧降下はゼロとします。
- ② IGBT の $V_{CE(sat)}$ は 1.8 V とします。
- ③ DESAT ダイオード(D_{DESAT})の V_F は 0.7 V とします。
- ④ C_{BLANK} はノイズによる誤動作低減のため 1500 pF とします。
- ⑤ IGBT の短絡耐量を 10 μ s とし、マージンを取って $t_{BLANK} = 7 \mu$ s として計算します。
- ⑥ $V_{CBLK(ON)}$ は 3.0 V とします。
- ⑦ SGD の電源電圧は、 $V_p = V_m = 15$ V とします。

以上の条件を基に計算してみると・・・

$$\begin{aligned} t_{BLANK} = 7 \mu s &= \{ C_{BLANK} \times V_{th(IGBT)} \} / (I_{CHG} + I_B) \\ &= \{ C_{BLANK} \times (V_{DESAT} - V_{CBLK(ON)}) \} / (I_{CHG} + I_B) \\ &= \{ 1500 \text{ pF} \times (6.5 \text{ V} - 3.0 \text{ V}) \} / (240 \mu A + I_B) \end{aligned}$$

以上より $I_B = 510 \mu A$ が求まります。次に R_B を計算すると、

$$R_B = (V_p - V_{CBLK(ON)}) / I_B = (15 \text{ V} - 3.0 \text{ V}) / 510 \mu A = 24 \text{ k}\Omega$$

となります。

この場合、 $V_{CBLK(ON)}$ を 3.0 V としたので、 R_{DESAT} は、

$$\begin{aligned} V_{CBLK(ON)} &= V_{CE(SAT)} + V_{F(DDESAT)} + R_{DESAT} \times (I_B + I_{CHG}) \\ 3.0 \text{ V} &= 1.8 \text{ V} + 0.7 \text{ V} + R_{DESAT} \times (510 \mu A + 240 \mu A) \end{aligned}$$

より、 $R_{DESAT} = 667 \Omega$ が求まります。

R_{DESAT} と C_{BLANK} によるローパスフィルターの時定数は、 $667 \Omega \times 1500 \text{ pF} = 1 \mu s$ になります。

例では $V_{CBLK(ON)}$ を 3.0 V としましたが、 $V_{CBLK(ON)}$ を大きくすると V_{DESAT} との電位差(= $V_{th(IGBT)}$)が小さくなり、ノイズマージンが小さくなることに注意してください。信号用の LED オン直後に短絡検出した場合は、例で計算した t_{BLANK} に加え、 $t_{DESAT(LEB)}$ と DESAT 端子が V_E 電位から $V_{CBLK(ON)}$ になるまでの時間も考慮する必要がありますのでご注意ください。 $V_{CBLK(ON)}$ は低めに設定することをお勧めします。

参考までに TLP5214A の DESAT 検出時のタイミングチャートを次の図 4.4 に示します。

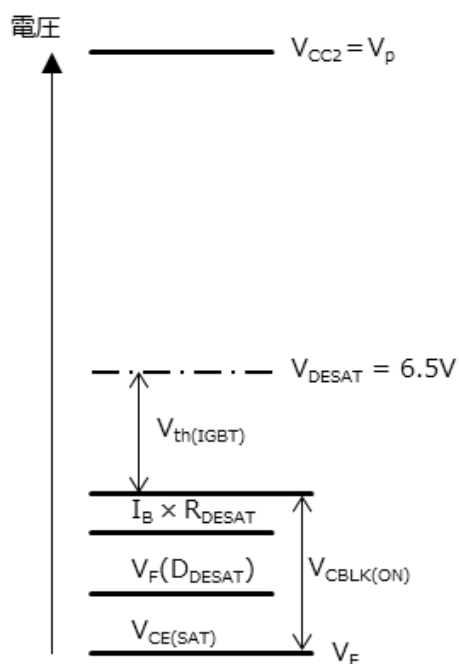


図 4.3 DESAT 検出系の電圧チャート

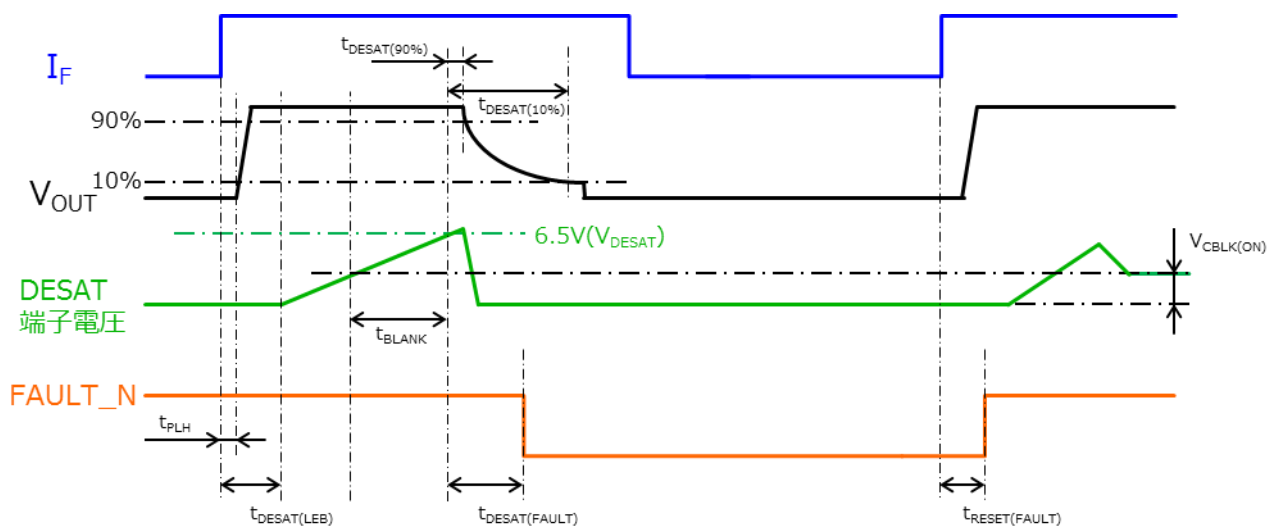


図 4.4 TLP5214A の DESAT 検出時のタイミングチャート

変更履歴

バージョン情報	日付	変更内容
Rev.1.0	2019-06-28	初版
Rev.2.0	2022-05-09	TLP5212/TLP5222 の追記など

記載内容の留意点

1. **ブロック図**
ブロック図内の機能ブロック/回路/定数などは、機能を説明するため、一部省略・簡略化している場合があります。
2. **等価回路**
等価回路は、回路を説明するため、一部省略・簡略化している場合があります。
3. **回路定数計算例**
本文中の数値は、回路を分かりやすく説明するために例として記載しています。記載の数値で動作を保証するものではありません。

使用上のご注意およびお願い事項

使用上の注意事項

- (1) 絶対最大定格は複数の定格の、どの1つの値も瞬時たりとも超えてはならない規格です。複数の定格のいずれに対しても超えることができません。絶対最大定格を超えると破壊、損傷および劣化の原因となり、破裂・燃焼による傷害を負うことがあります。
- (2) 過電流の発生や IC の故障の場合に大電流が流れ続けないように、適切な電源ヒューズを使用してください。IC は絶対最大定格を超えた使い方、誤った配線、および配線や負荷から誘起される異常パルスノイズなどが原因で破壊することがあり、この結果、IC に大電流が流れ続けることで、発煙・発火に至ることがあります。破壊における大電流の流出入を想定し、影響を最小限にするため、ヒューズの容量や溶断時間、挿入回路位置などの適切な設定が必要となります。

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、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事務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。