

ロードスイッチ IC の過電流保護機能と逆流防止機能

概要

ロードスイッチは電源ラインのオン・オフに使用されるスイッチで、IC 化することにより種々の保護機能を内蔵しています。本資料では特にご要求の多い過電流保護機能と逆流防止機能について説明します。

- ・過電流保護機能 : 異常発生時に想定を超える負荷電流が流れたときに負荷の素子を破損から保護する機能
- ・逆流防止機能 : 出力側の電圧が入力側より高くなった場合に電流が逆流することを防止する機能

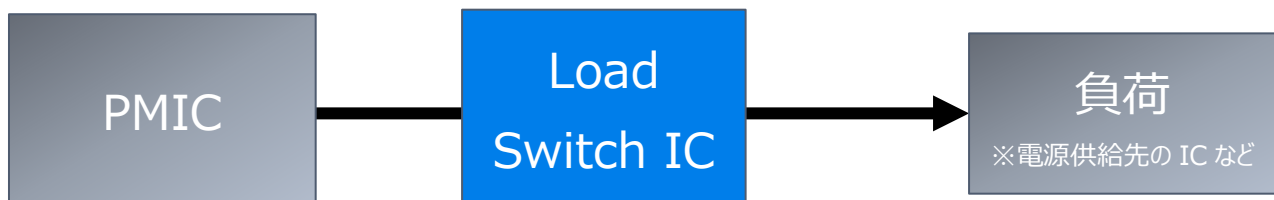
目次

1. はじめに	3
2. 過電流保護機能.....	4
2.1. 過電流保護機能とは.....	4
2.2. 過電流保護機能の動作.....	5
3. 逆流防止機能	6
3.1. 逆流防止機能とは	6
3.2. 逆流電流発生の原因.....	6
3.3. 逆流電流の対策	6
3.4. 逆流防止機能の動作.....	7
3.5. 常時監視型逆流防止機能.....	8
4. まとめ.....	10
5. 関連リンク	11
6. 製品取り扱い上のお願い	12

1. はじめに

ロードスイッチ IC は各種電子機器では電源ラインのオンとオフを切り替える用途で使用されており、例えば図 1.1.1.のように PMIC（Power Management IC）と負荷の間に入れて使用されます。電源ラインのオンとオフの切り替えには MOSFET に代表されるディスクリート構成のロードスイッチ回路が使用されることがありますが、ロードスイッチ IC を使用することでディスクリート構成よりも大幅な省スペース化を実現することができます。また、ロードスイッチ IC はさまざまな付加機能を備えており、スマートフォンのような複雑かつ小型化ニーズの高いモバイル機器向けに最適な IC となっています。

ロードスイッチ IC の付加機能の中で特に重要な機能が保護機能です。例えば、電源ラインに異常が発生して機器設計時の想定よりも電流が流れ過ぎてしまう過電流が発生した場合や、IC 出力側の電圧が入力側より大きくなって電流が逆流してしまう場合などは電源ラインに接続されているデバイスが破壊してしまう恐れなどがあり、対策が必要です。そのため、本アプリケーションノートでは、ロードスイッチ IC の付加機能のうち、電流が流れ過ぎないように保護する過電流保護機能と、電流の逆流を防ぐ逆流防止機能についての動作を解説し、電子機器設計の一助となることを目的としています。



ロードスイッチ IC の付加機能例

- 突入電流抑制機能
- スルーレート制御機能
- 過熱保護機能
- **過電流保護機能**
- **逆流防止機能**
- 出力ディスチャージ機能
- コントロール機能

図 1.1.1 ロードスイッチ IC の使用例

2. 過電流保護機能

2.1. 過電流保護機能とは

ロードスイッチ IC の過電流保護機能とは、電源ラインに過剰な電流が流れないように保護する機能です。図 2.1.1 のように複数の WiFi 用 SoC を ON/OFF をする場合を例に具体的に本機能が必要となる場合について説明致します。図 2.1.1 ではロードスイッチ IC は節電のため通信機能が必要ない場合に、WiFi 用 SoC の電源を OFF にするために使用されます。この時、下記の目的で過電流保護機能が役に立ちます。

●ロードスイッチ IC および、入力側の PMIC の保護

出力端子側が意図しないショートモードになるなどの異常な負荷変動などによる過電流発生時に、ロードスイッチ IC に電流を制限する過電流保護機能があることで、電流による発熱でロードスイッチ IC 自身と PMIC の破損リスクを低減することができます。

●PMIC の出力電圧低下によるシステムダウンの抑制

通信時に片方だけ WiFi 用 SoC を動作させる使い方の場合に、制御タイミングの異常など WiFi 用 SoC が両方同時に ON してしまうなどのイレギュラーな状況が発生すると、電流が急増することになり PMIC の電流供給能力を超えて出力電圧が低下してしまう場合があります。PMIC の出力電圧の低下は、システムダウンを招くリスクがあるため、ロードスイッチ IC に電流制限機能があることで、異常時でも PMIC の出力電圧が低下することを抑制できます。

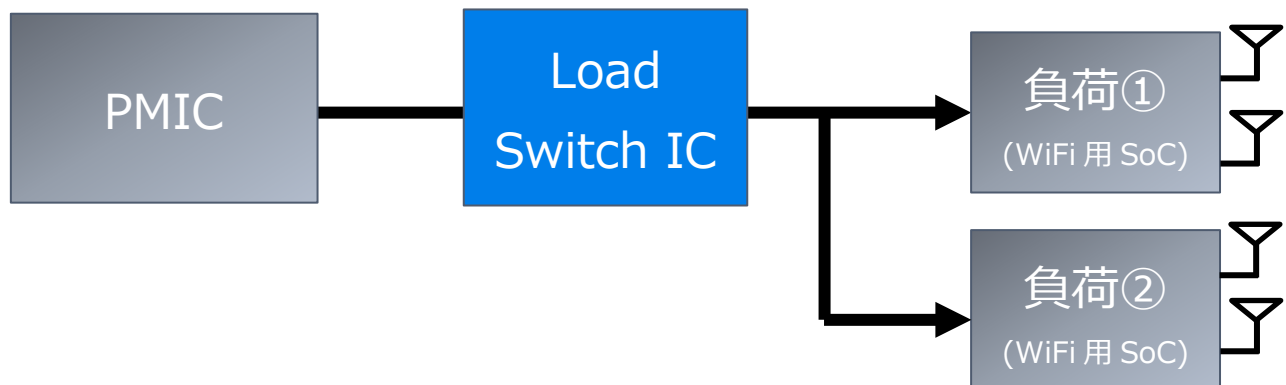


図 2.1.1 ロードスイッチ IC で複数の負荷の ON/OFF を行う場合

2.2. 過電流保護機能の動作

東芝ロードスイッチ IC はフォールドバックタイプの保護回路制御方式（“フの字特性”と呼ばれます）を採用しております。図 2.2.1 に動作を示します。IC の出力側でショートモードなどの異常発生時に出力電流 (I_{OUT}) が増加する場合、A 地点より I_{OUT} が増加していき、B 地点のリミット電流 (I_{CL}) まで達すると電流制限回路により I_{OUT} が増加しなくなり、出力電圧 (V_{OUT}) が C 地点まで降下します。C 地点まで V_{OUT} が降下すると、フォールドバック回路により、 V_{OUT} と I_{OUT} の両方が減少していきます。この時、 V_{OUT} がゼロになった D 地点の電流を完全短絡電流 (I_{SC}) と呼びます。

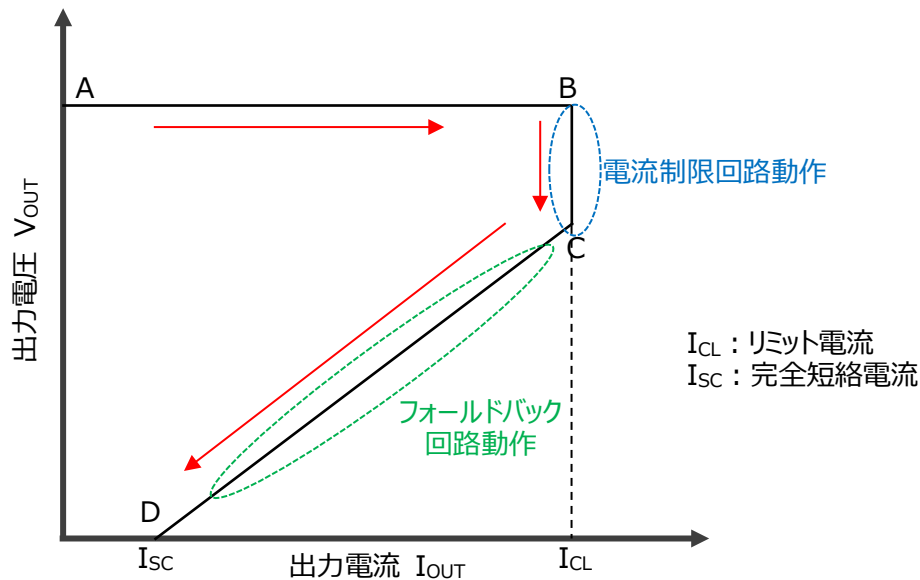


図 2.2.1 過電流保護機能の動作

東芝のロードスイッチ IC は、表 2.2.1 に示すように出力制限電流 400mA~1540mA と幅広い範囲の過電流保護機能付きラインアップが準備されております。図 2.2.2 に実際の過電流保護機能が働いた場合の特性例としてフの字特性を示しますので、必要な出力制限電流に応じた製品をご選択ください。

表 2.2.1 過電流保護機能付き東芝製ロードスイッチ IC

製品名	機能				
	出力制限電流	常時監視逆流防止	出力オートディスチャージ	低電圧誤動作防止	コントロール動作論理
TCK22946G	400 mA	搭載	搭載	搭載	Active High
TCK22891G		N/A	搭載	N/A	Active High
TCK22951G	740 mA	搭載	搭載	搭載	Active High
TCK22892G		N/A	搭載	N/A	Active High
TCK2065G	1110 mA	搭載	搭載	搭載	Active High
TCK22893G		N/A	搭載	N/A	Active High
TCK1024G	1540 mA	搭載	搭載	搭載	Active High
TCK22894G		N/A	搭載	N/A	Active High

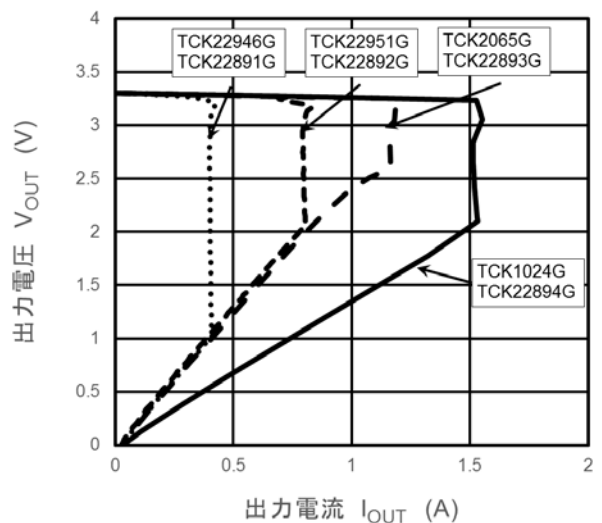


図 2.2.2 東芝製ロードスイッチ IC フの字特性例

3. 逆流防止機能

3.1. 逆流防止機能とは

ロードスイッチ IC の逆流防止機能は、ロードスイッチ IC の出力側の電圧(V_{OUT})が入力側の電圧(V_{IN})よりも高くなった場合 ($V_{OUT} > V_{IN}$) に電流が逆流するのを防ぐ機能です。出力側の電圧が入力側よりも高くなる原因としては、例えば電源のコネクターが抜けたときに出力側の電源ラインに電荷が残ってしまっているケースや、図 3.1.1 のようにロードスイッチ回路でパワーマルチプレクサーを構成したケースなどがあります。ロードスイッチ回路で逆流対策を行わない場合、逆流が起きるとスイッチ自身および入力端子側の電源回路などに破損が起きるなどのリスクが生じてしまいます。

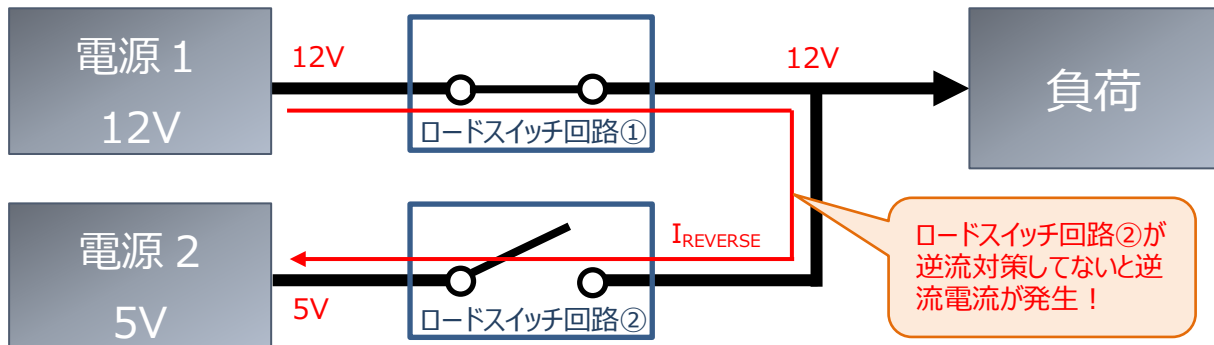


図 3.1.1 パワーマルチプレクサーの構成例

3.2. 逆流電流発生の原因

図 3.2.1 のような MOSFET 単体のディスクリート構成でロードスイッチ回路を構成した場合には、MOSFET のボディダイオード（寄生ダイオード）により、出力側の電圧が入力側よりも高いと電流の逆流が発生します。

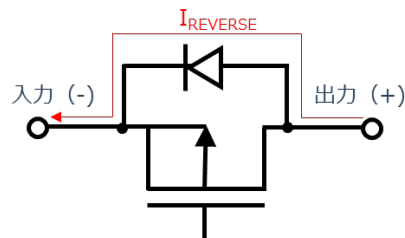


図 3.2.1 MOSFET の逆流経路

3.3. 逆流電流の対策

ロードスイッチ回路では、逆流電流の対策として下記が考えられます。

- 出力経路にダイオードを追加する（図 3.3.1）
- 出力経路に MOSFET を追加する（図 3.3.2）
- 逆流防止機能付きのロードスイッチ IC を使う（図 3.3.3）

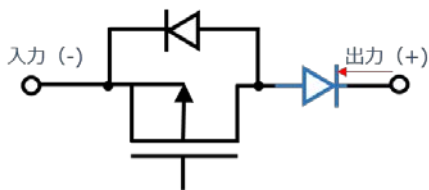


図 3.3.1 ダイオードを追加

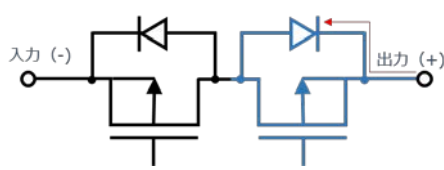


図 3.3.2 MOSFET を追加

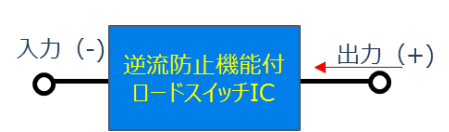


図 3.3.3 ロードスイッチ IC を使用

上記のうち、ダイオードの追加による対策は順方向ではダイオードを通ると電圧がドロップする問題が発生し、MOSFET を追加する対策ではオン抵抗 (R_{ON}) が増えるという問題が発生します。また、どちらも追加部品が必要なことよりサイズが増加することになります。一方、逆流防止機能付きのロードスイッチ IC は IC 内に最適な対策回路が入っており、小型かつ容易に逆流防止対策を行う事ができます。

3.4. 逆流防止機能の動作

ロードスイッチ IC の逆流防止機能は、一般的にはロードスイッチ IC が OFF している場合のみ働きます。図 3.4.1 は東芝のロードスイッチ IC のうち、低電圧、低オン抵抗ラインアップの 1 つである TCK207G を使用したブロック図です。表 3.4.1 より TCK207G は CONTROL 端子を Low にしたときに V_{IN} 端子- V_{OUT} 端子間が OFF となるため、CONTROL 端子を Low にすると逆流防止機能が有効となります。

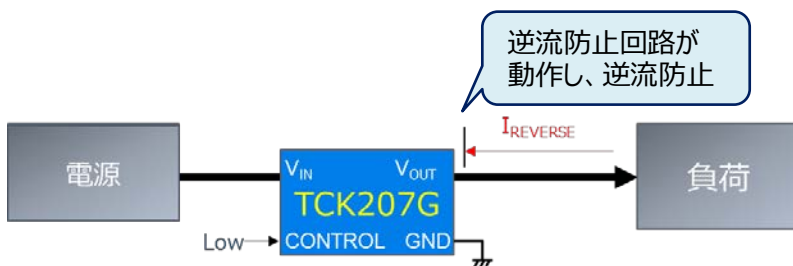


図 3.4.1 TCK207G 使用例

表 3.4.1 TCK20xG シリーズ機能

品番	逆流防止回路	出力ディスチャージ回路	CONTROL
TCK206G	有	無	Active High
TCK207G	有	有	Active High
TCK208G	有	有	Active Low

TCK207G の逆流防止機能が有効となった場合に出力側に電圧を印加した場合の、逆流電流特性を図 3.4.2 に示します。図のとおり、 V_{IN} が 0V の状態で出力側に電圧を印加していても逆流電流が流れない事が分かります。

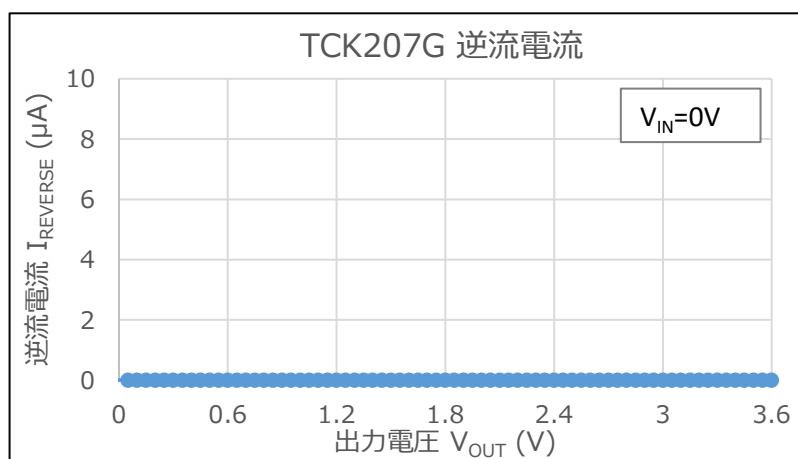


図 3.4.2 TCK207G の逆流電流特性

次に TCK206G でパワーマルチプレクサーを構成した例を図 3.4.3 に示します。電源 1 側の 5V を負荷に供給する場合、電源 2 側に接続されている TCK206G は OFF する必要がありますが、IC の出力側には 5V が印加される事になるため、TCK206G の逆流防止機能が役に立ちます。

なお、図 3.4.3 のようなパワーマルチプレクサーを構成する場合には TCK207G のような OFF 時に V_{OUT} と GND をつなぐディスチャージ回路を持つロードスイッチ IC を選べると、OFF している側のロードスイッチ IC のディスチャージ回路から GND へ電流が漏れ続けてしまいます。そのため、ロードスイッチ IC でパワーマルチプレクサーを構成する際にはディスチャージ機能が無い製品を選ぶなど、注意が必要です。

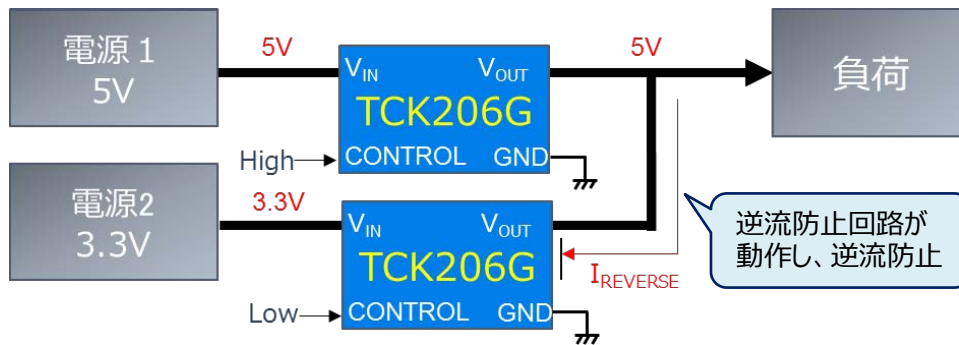


図 3.4.3 TCK206G を使用しパワーマルチプレクサーの例

3.5. 常時監視型逆流防止機能

3.4 項でロードスイッチ IC の逆流防止機能は一般的には IC が OFF している状態で働くと解説致しましたが、ロードスイッチ IC が ON/OFF 関わらず出力端子から入力端子への電流の逆流を防止する機能も存在しており、これを常時監視型逆流防止機能と呼びます。常時監視型逆流防止機能付きロードスイッチ IC は IC 内で入力電圧 (V_{IN}) と出力電圧 (V_{OUT}) を比較して、 $V_{OUT} > V_{IN}$ となったときに逆流防止回路が働きます。図 3.5.1 に詳しい逆流防止回路の動作のイメージを示します。 $V_{OUT} > V_{IN}$ となることで逆流電流 ($I_{REVERSE}$) が流れ始めますが、実際には図 3.5.1 中の①のタイミングのように V_{OUT} と V_{IN} の差が逆流防止回路動作電圧 (V_{RB}) になったときに逆流防止回路が働き、 $I_{REVERSE}$ を抑制しますので注意が必要です。また、逆流防止回路が働いている状態で V_{IN} を再び上げていき、②のタイミングのように V_{IN} が V_{OUT} より逆流防止回路復帰電圧 (V_{RBR}) 分大きくなると逆流防止回路が動作を止め、順方向電流 ($I_{FORWARD}$) が流れ始めるようになります。なお、逆流電流の最大値となる I_{PEAK} は下記式により算出することができます。

$$I_{PEAK} = \frac{V_{RB}}{R_{ON}} \quad \text{※ } R_{ON} : \text{ロードスイッチ IC のオン抵抗}$$

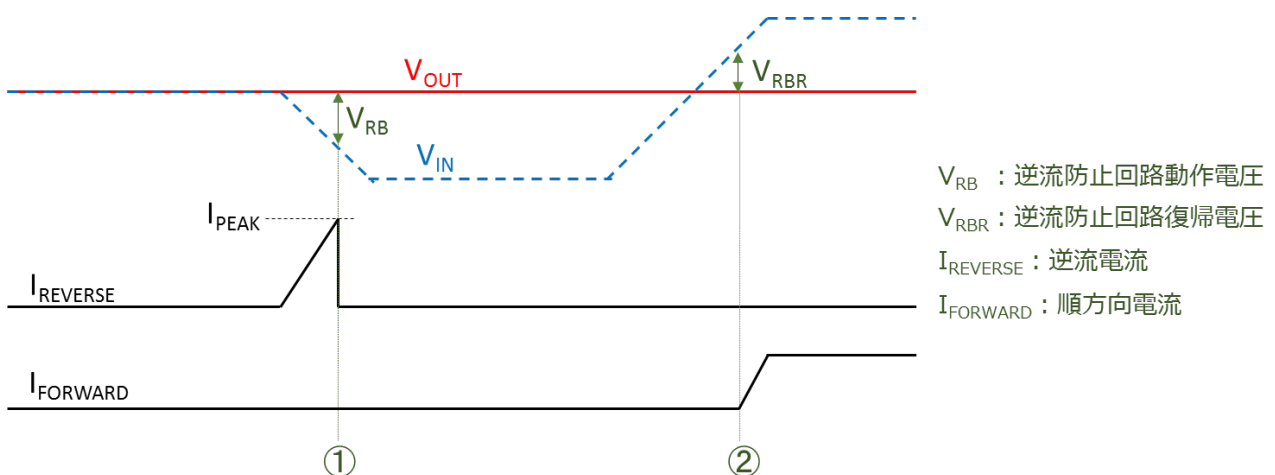


図 3.5.1 逆流防止回路の動作イメージ

図 3.5.2 は常時監視型逆流防止機能付きの東芝ロードスイッチ IC である TCK111G での実際の逆流防止回路による逆流電流特性を示しています。①の線で示すように、出力電圧と入力電圧の差 ($V_{OUT}-V_{IN}$) が大きくなっていくと $I_{REVERSE}$ は増加していきますが、約 40mV の差となる A の点で逆流防止回路が働き $I_{REVERSE}$ が流れなくなります。また、②の線で示すように、逆流防止回路が働いた後は V_{IN} のほうが V_{OUT} よりも約 30mV 弱大きくなる B の点で逆流防止回路が停止し、順方向に電流が流れ始めます。

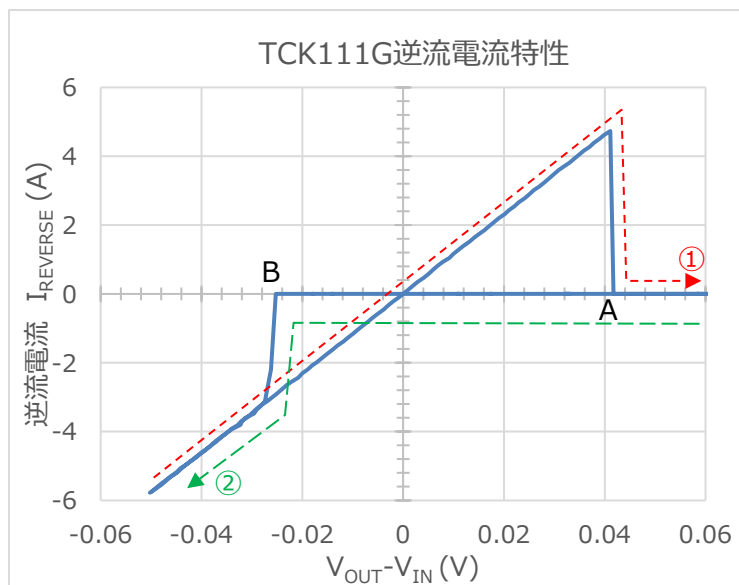


図 3.5.2 TCK111G 逆流電流

4. まとめ

本アプリケーションノートではロードスイッチ IC の保護機能として重要である過電流保護機能と逆流防止機能について説明してきました。ロードスイッチ IC はディスクリート部品で構成するよりも、サイズが小さいだけでなく、保護機能をはじめとしたさまざまな付加機能がある事がメリットとなっています。これらの付加機能は製品の特性のみならず機器の高品質化や高性能化に貢献致します。本資料をご参照頂き、当社ロードスイッチ IC を活用いただければ幸いです。

当社はさまざまな付加機能を搭載したロードスイッチ IC を開発しておりますので、下記製品紹介サイトもぜひご覧くださいますようお願い致します。

○東芝の過電流保護機能付きロードスイッチ IC

製品名	特徴									
	出力制限電流	入力動作電圧範囲	R _{ON} (typ.) *V _{IN} =1.8V	R _{ON} (typ.) *V _{IN} =5V	逆流防止機能	出力オートデイスチャージ	低電圧誤動作防止	過熱保護	コントロール動作論理	製品紹介ページ
TCK22946G	400 mA	1.1 to 5.5V	70mΩ	31mΩ	常時型	搭載	搭載	搭載	Active High	Click
TCK22891G					N/A		N/A			Click
TCK22951G	740 mA	1.4 to 5.5V	70mΩ	31mΩ	常時型	搭載	搭載	搭載	Active High	Click
TCK22892G					N/A		N/A			Click
TCK2065G	1110 mA	1.4 to 5.5V	70mΩ	31mΩ	常時型	搭載	搭載	搭載	Active High	Click
TCK22893G					N/A		N/A			Click
TCK1024G	1540 mA	1.4 to 5.5V	70mΩ	31mΩ	常時型	搭載	搭載	搭載	Active High	Click
TCK22894G					N/A		N/A			Click

○本アプリケーションノートで紹介した東芝の逆流防止機能付きロードスイッチ IC

製品名	特徴										
	出力制限電流	入力動作電圧範囲	R _{ON} (typ.)	R _{ON} (typ.)	逆流防止機能	出力オートデイスチャージ	低電圧誤動作防止	過熱保護	コントロール動作論理	最大出力電流	製品紹介ページ
TCK206G	N/A	0.75V to 3.6V	18.4mΩ *V _{IN} =0.75V	18.1mΩ *V _{IN} =3.3V	オフ時	N/A	N/A	N/A	Active High	2A	Click
TCK207G						搭載					Click
TCK208G						搭載					Active Low
TCK111G	N/A	1.1 to 5.5V	8.5mΩ *V _{IN} =1.1V	8.3mΩ *V _{IN} =5.0V	常時型	N/A	N/A	搭載	Active High	3A	Click
TCK112G						搭載					Click

○東芝のその他ロードスイッチ IC 製品紹介ページ : [Click](#)

○ロードスイッチ IC アプリケーションノート : [Click](#)

5. 関連リンク

- 製品のラインアップ (カタログ) [Click](#)
- 製品のラインアップ (詳細) [Click](#)
- 製品のラインアップ (パラメトリックサーチ) [Click](#)
- オンラインディストリビュータご購入、在庫検索 [Buy Online](#)
- ロードスイッチ IC の FAQ [Click](#)
- アプリケーションノート [Click](#)

6. 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/>