

TOSHIBA

e-ラーニング

ロードスイッチICの基礎

東芝デバイス&ストレージ株式会社

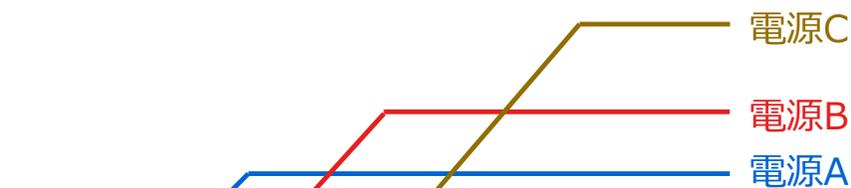
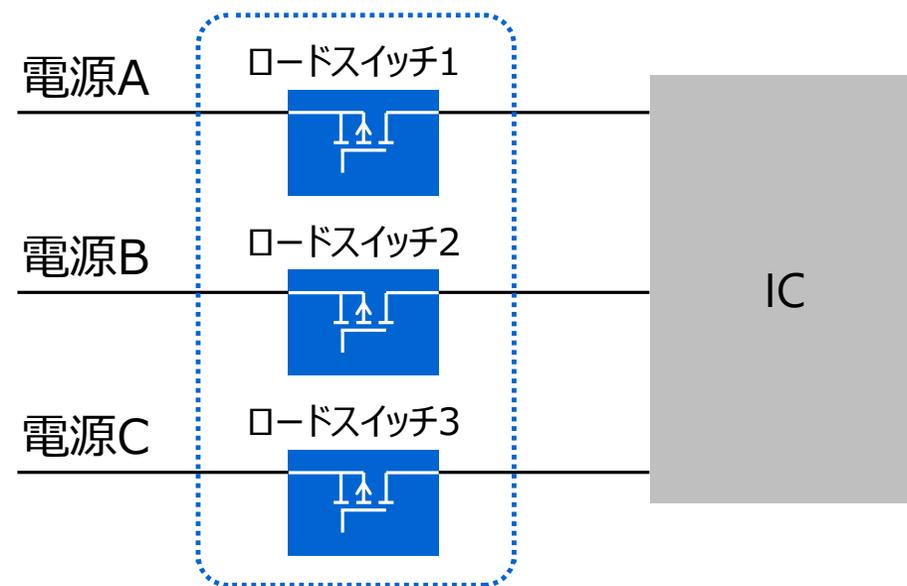
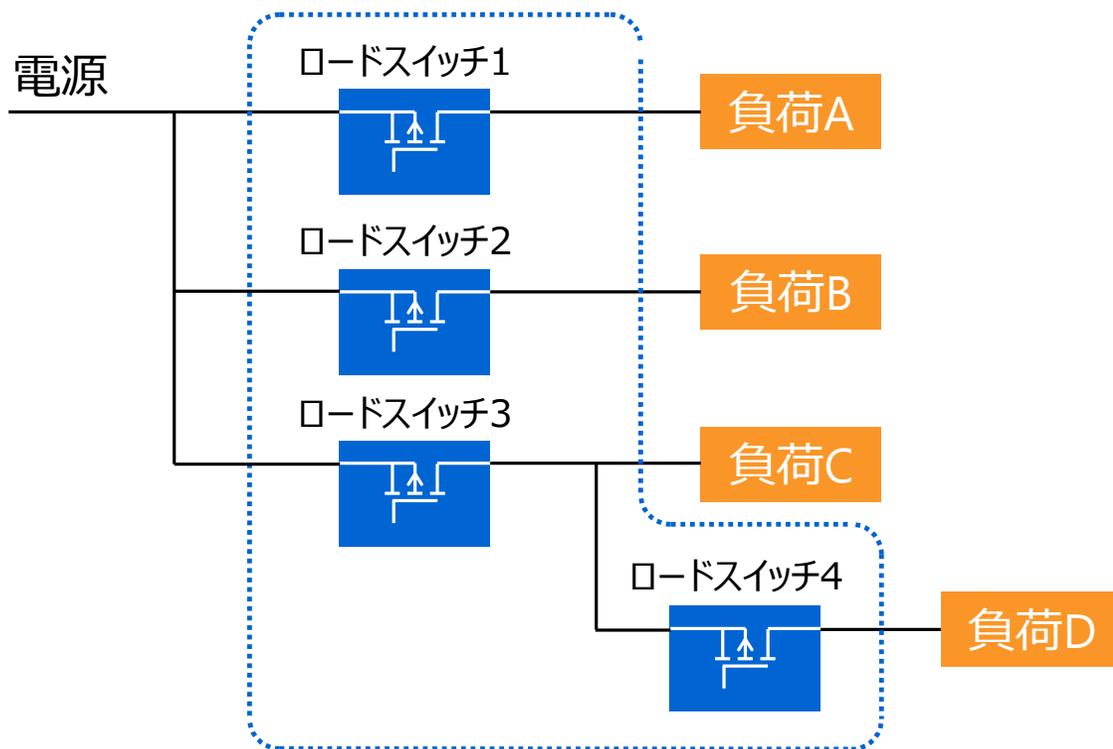
1章 ロードスイッチICとは

ロードスイッチICとは?

リチウムイオン電池などのバッテリーを電源としたモバイル機器や省エネ機器では、機器が待機状態にあるときに必要最低限のシステムだけを動作させ、それ以外のシステムへは電源供給を止めたり、休止させて消費電力を削減しています。

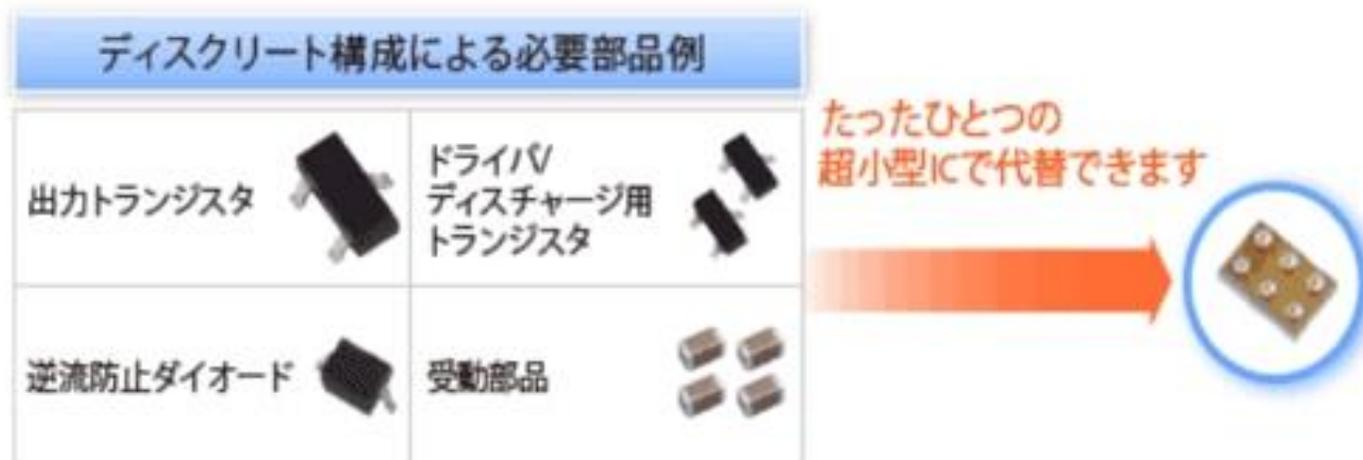
ロードスイッチICは、電源と負荷 (Load: ロード) となる回路やICとの間に直列に配置する半導体スイッチです。

ロードスイッチICを使用することでシステム内の各ブロックへの電源の供給制御、ICの電源シーケンスの設定およびシステム内で異常が発生したときの保護を容易にすることが可能となります。



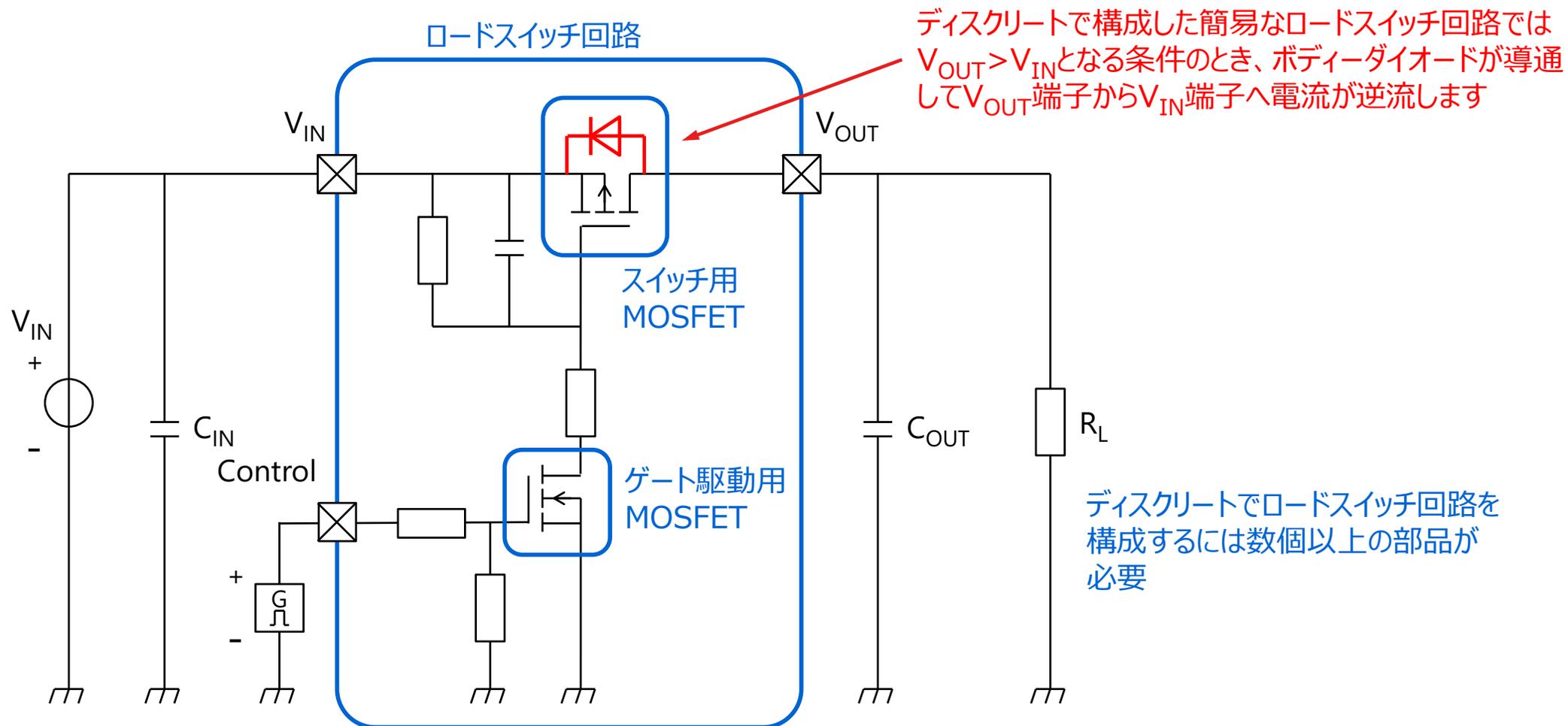
ロードスイッチICとは?

ロードスイッチICではスイッチ部分の電圧降下や損失をできる限り小さくすることが必要で、ここにはオン抵抗が低いMOSFETが使用されます。ディスクリートで構成したロードスイッチに比較して、ロードスイッチICは保護機能の内蔵や部品点数の削減が可能でシステムの安定性向上や小型化にも好適なパワーマネジメントICです。



ロードスイッチICを使用するメリット

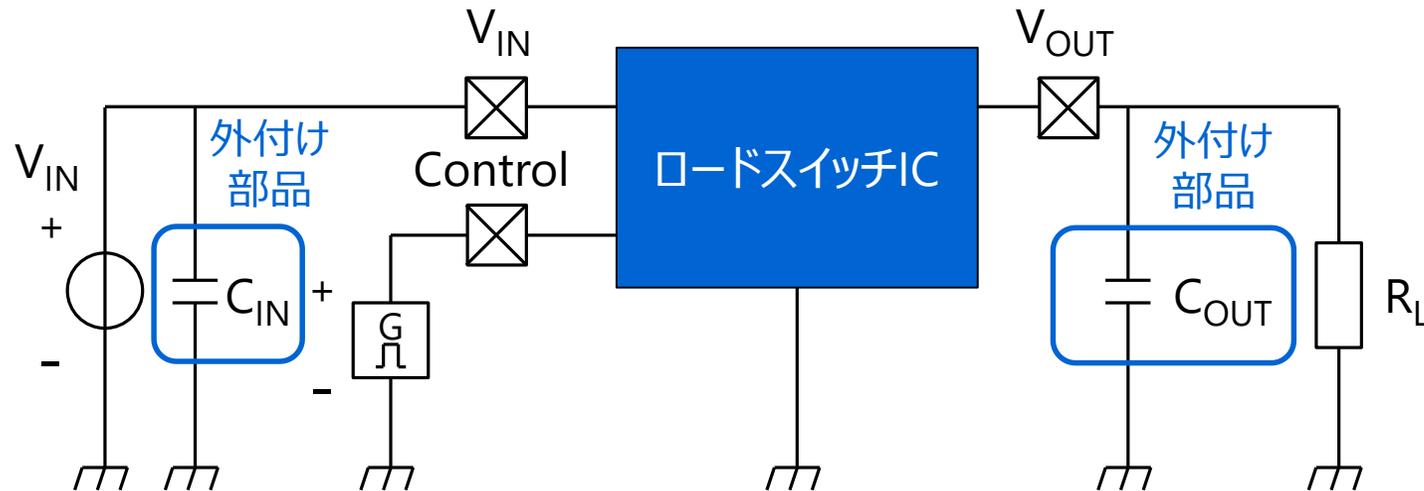
図はディクリートで構成した単純なロードスイッチの構成例です。
スイッチ用のMOSFETとゲート駆動用のMOSFETに加えて抵抗やコンデンサーが必要で、さらに入力と出力の平滑用コンデンサーで回路が構成されます。



ロードスイッチICを使用するメリット

これに対して、ロードスイッチICを使用した図2の例では、ロードスイッチICの入力と出力に平滑用コンデンサーの計三個の部品で回路を構成することができます。

また、ロードスイッチICでは、突入電流抑制、出力ディスチャージに加えて過電流保護、過熱保護、低電圧誤動作防止および逆流防止などのさまざまな機能を内蔵することが可能であり、実装面積の削減とシステムの安定性向上に貢献します。



ロードスイッチICは二つの外付け部品でさまざまな機能を内蔵したロードスイッチ回路を実現することができます

2章 ロードスイッチICが搭載している便利な機能

ロードスイッチICの便利な機能

内蔵機能	概要
過電流保護	ロードスイッチICの V_{OUT} 端子側の負荷がGNDに短絡するなどして、ロードスイッチICに過剰な電流が流れたときに出力電流を制限してシステムを保護するための保護機能です。
過熱保護	ロードスイッチICに過剰な損失が発生したり、周囲温度が過剰に上昇してロードスイッチICの接合温度が上昇したときに、ロードスイッチICを強制的にオフさせる保護機能です。
突入電流抑制 (スルーレート制御、ソフトスタート)	ロードスイッチICがオンしたときに、出力電圧を緩やかに上昇させることでシステムを安定して動作させる機能です。 突入電流抑制機能は、スルーレート制御やソフトスタートとも呼ばれることがあります。
オートディスチャージ	ロードスイッチICがオフしたときに V_{OUT} 端子に接続された平滑コンデンサの電荷を急速に放電してシステムの電源シーケンス設定を容易にする機能です。
低電圧誤動作防止 (UVLO)	バッテリー電圧の低下やノイズなどなんらかの要因でロードスイッチICの入力電圧が低下してシステムが不安定な動作にならないように、ICの内部で設定された電圧を下回ると出力をオフさせる機能です。 低電圧誤動作防止機能は、UVLO (Under Voltage Lockout) とも呼ばれることがあります。
逆流防止	ロードスイッチICの V_{OUT} 端子の電圧が V_{IN} 端子の電圧よりも高くなった時に、 V_{OUT} 端子から V_{IN} 端子へ電流が逆流しないようにする機能です。逆流防止機能には、内部のスイッチであるMOSFETがオフしているときのみ動作するタイプ (スイッチオフタイプ) とMOSFETのオンとオフに関わらず常時逆流を防止するタイプの二種類があります。

過電流保護の動作

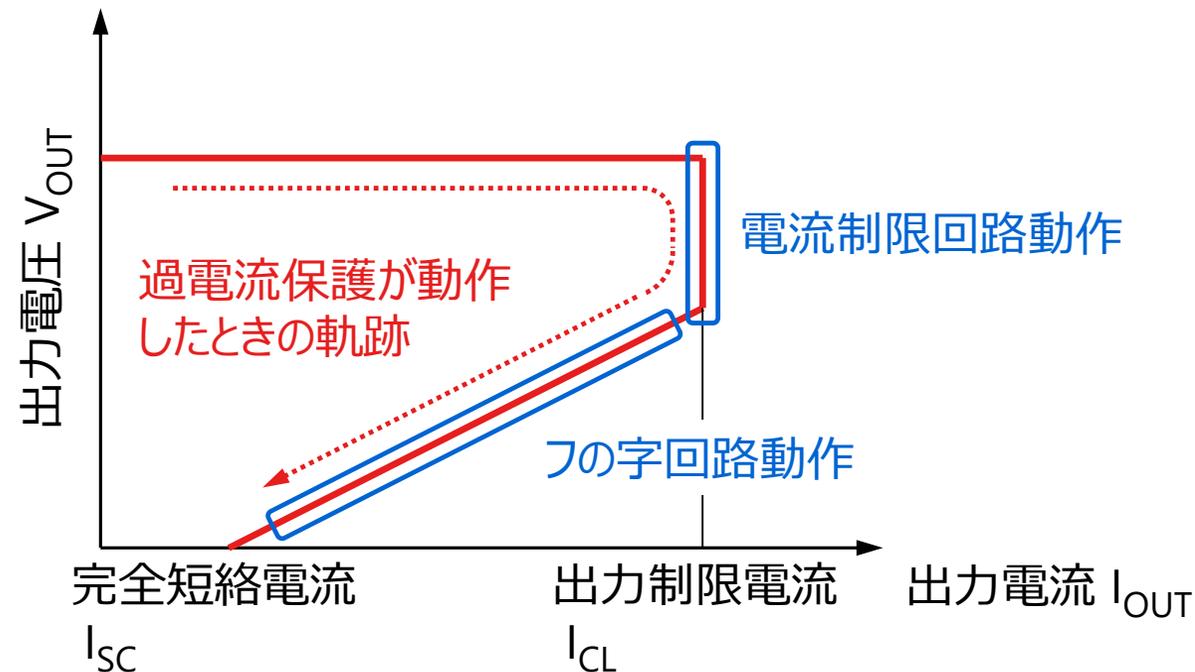
ロードスイッチICの V_{OUT} 端子側の負荷がGNDに短絡するなどのシステムに異常が発生したとき、ロードスイッチICを含めたシステムを保護することを目的に出力電流を制限するのが過電流保護です。

当社のロードスイッチICは出力電圧 V_{OUT} が低下して過剰な電流が流れると、電流制限回路が動作して出力電流を出力制限電流 I_{CL} で制限します。

さらに、 V_{OUT} が低下するとフの字特性 (フォールドバック: Foldback) と呼ばれる制御で保護を行います。

フの字特性とは、ロードスイッチIC内部で設定された以上の電流が流れたときに、出力電圧の低下とともに出力電流も制限を掛けて減少させます。

出力電圧が0 Vの状態でも、ロードスイッチIC内部で設定した完全短絡電流 I_{SC} が流れ続けます。

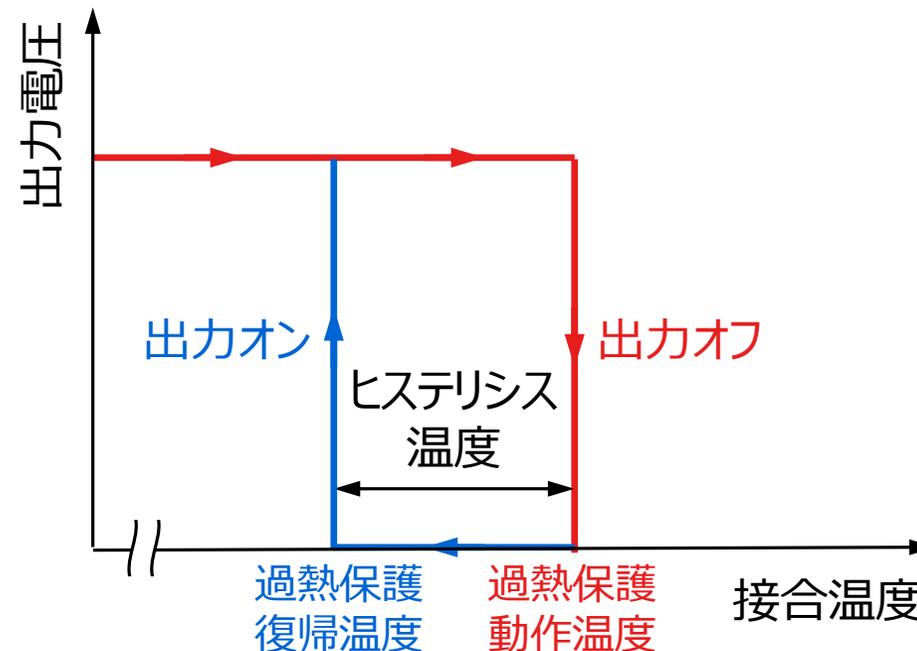


過熱保護の動作

ロードスイッチICに過剰な損失が発生したり周囲温度が過剰に上昇して、ロードスイッチICの接合温度がIC内で設定された温度まで上昇したときに、ロードスイッチICとシステムを保護するためにロードスイッチICを強制的にオフさせてICや回路への電圧供給を止めるための保護機能です。

過熱保護には動作温度と復帰温度が設定されています。動作温度は過熱保護が動作して、ロードスイッチICがオフする温度です。ロードスイッチICがオフすると、損失は減少するので接合温度が低下します。設定値まで接合温度が低下するとロードスイッチICは自動的にオンします。この温度が復帰温度です。

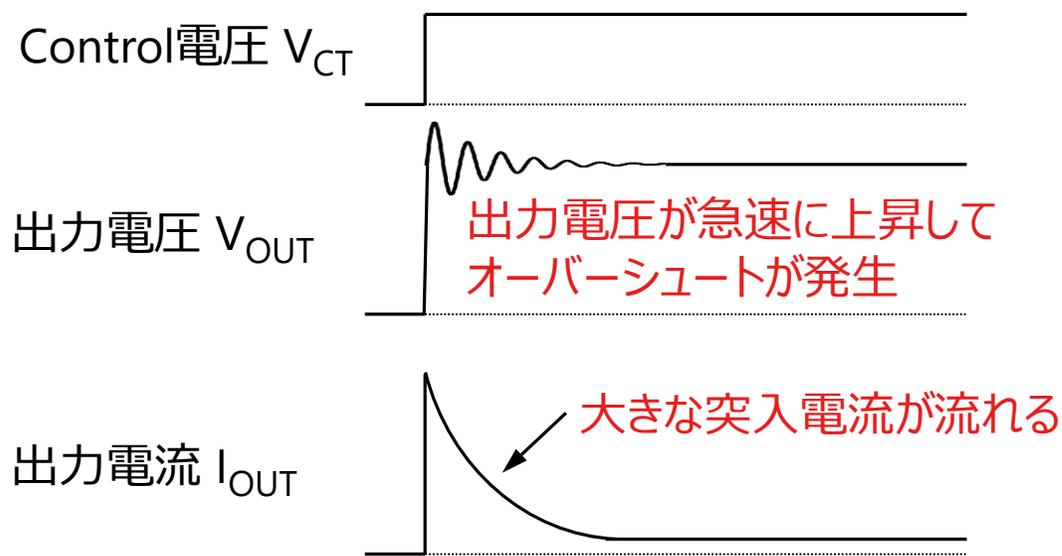
なお、過熱保護が動作する要因が排除されないと、接合温度は再び上昇してロードスイッチICはオフし、接合温度が低下してオンの動作を繰り返します。



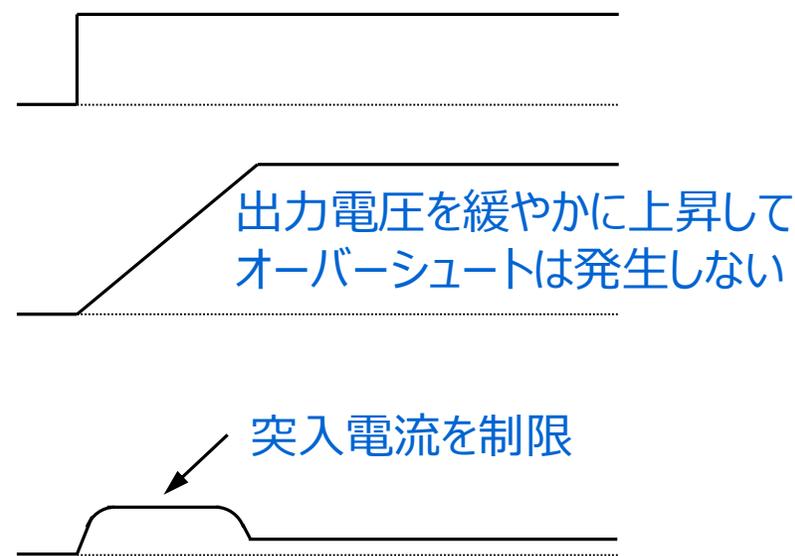
突入電流抑制機能

ロードスイッチをオンすると出力電圧が急速に上昇して出力電圧にオーバーシュートが発生し、負荷であるICや回路の定格電圧を超えることがあります。また、ロードスイッチが動作してからの出力電圧が安定するまでの間、 V_{OUT} 端子に接続された出力の平滑コンデンサーを充電するためにロードスイッチICには大きな突入電流が流れます。このとき、 V_{IN} 端子の配線インピーダンスが大きいと、突入電流と配線インピーダンスの電圧降下により入力電圧が低下してしまい正常な出力電圧を得られない可能性があります。このような状態を回避させるための機能が突入電流抑制機能です。

突入電流抑制機能は、ロードスイッチICが動作を開始すると、突入電流を制限しながら出力電流を緩やかに上昇させて、出力電圧のオーバーシュートや入力電圧の低下を抑えます。突入電流抑制機能により、安定なシステムを構築することができます。なお、突入電流抑制機能は、スルーレート制御やソフトスタートとも呼ばれることがあります。



突入電流抑制機能がない場合のイメージ図

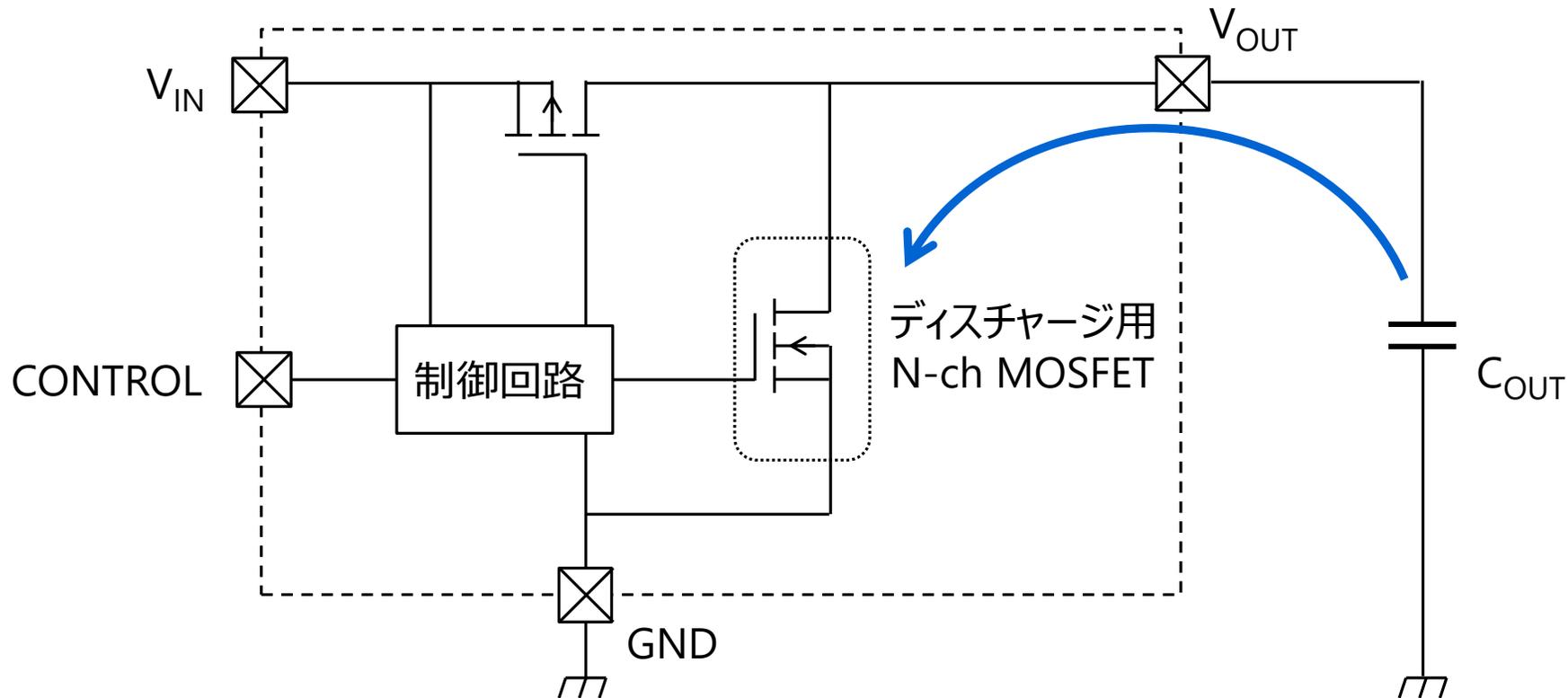


突入電流抑制機能がある場合のイメージ図

オートディスチャージ

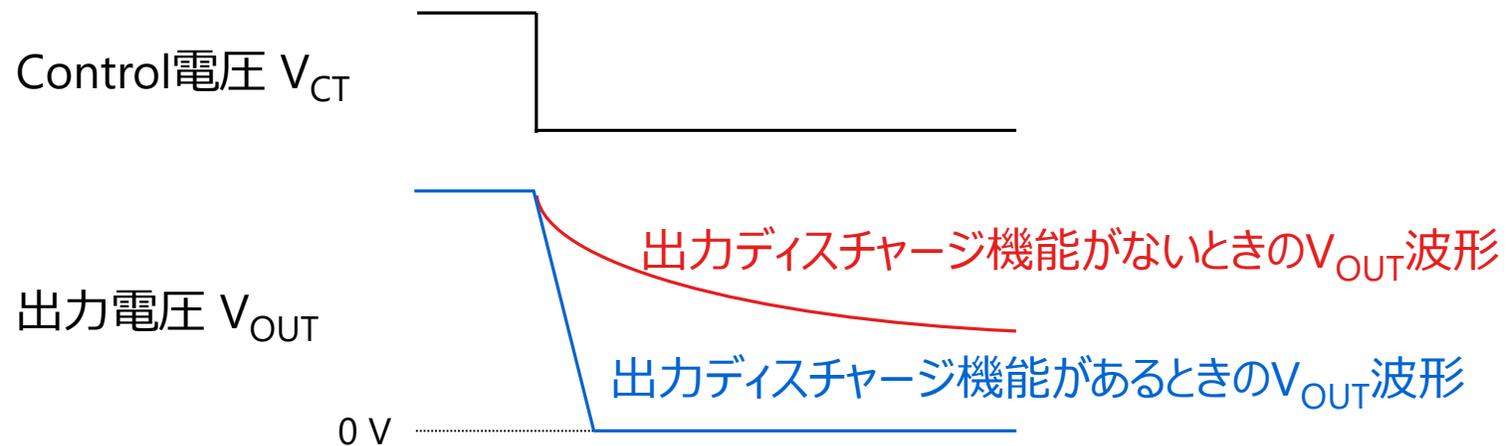
システムの中には複数のICや回路が配置され、これらが安定して動作するためには、それぞれに供給する電源のシーケンスを設定する必要があります。ロードスイッチICの V_{OUT} 端子には出力電圧の平滑化のために比較的大きな容量を持つコンデンサーが接続されます。この平滑コンデンサーの放電が適切に行われないとシステムとして必要な電源シーケンスを設定することが難しくなります。

出力ディスチャージ機能は、ロードスイッチICがオフすると V_{OUT} 端子とGND端子間のN-ch MOSFETを介してコンデンサーに充電された電荷を急速に放電することで電源シーケンスの設定を容易にします。



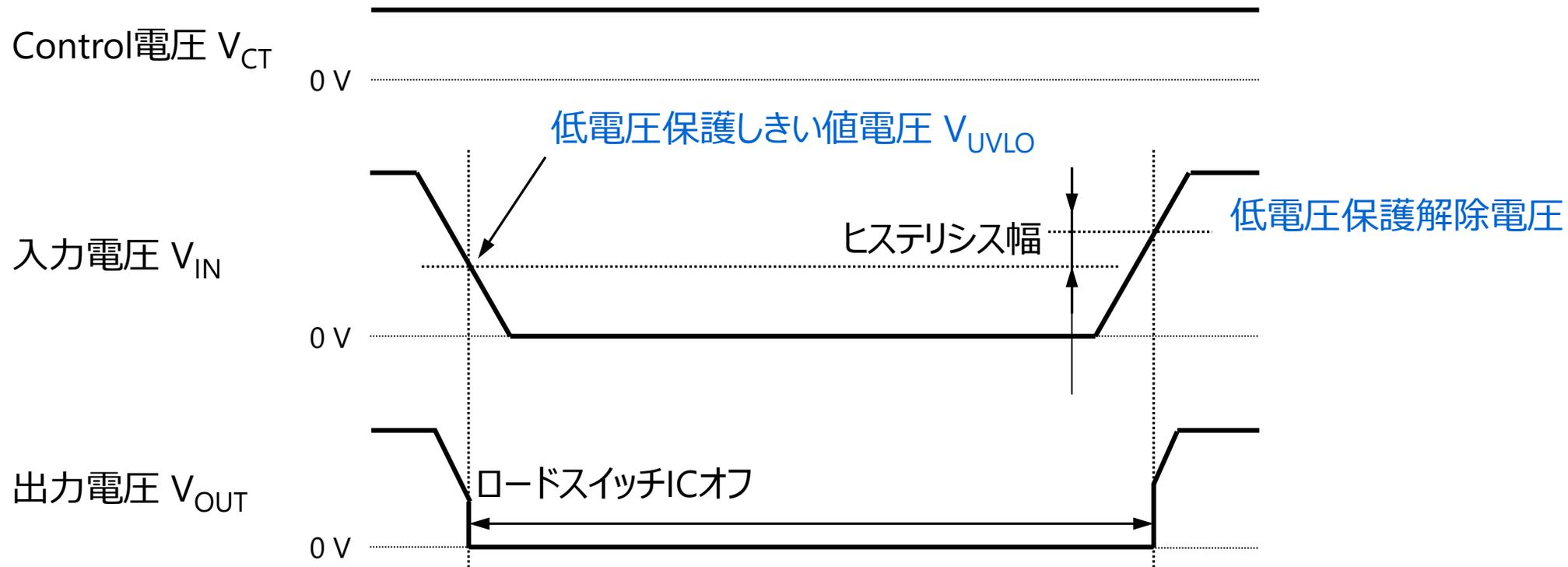
オートディスチャージ

下図のように、出力ディスチャージ機能の有無により、出力端子に接続されたコンデンサーの放電時間が大きく異なります。この出力ディスチャージ機能は、出力電圧を短時間で落としたい場合に有効なだけでなく、出力端子に接続されたコンデンサーに残った電荷による後段システムの誤動作防止にも有効です。



低電圧誤動作防止 (UVLO)

IC や回路に供給される電圧が低下するとシステムが不安定になる可能性があります。低電圧保護とはロードスイッチIC内部で設定された電圧を下回ると、出力を強制的にオフさせてシステムの安定を確保するための機能です。低電圧誤動作防止機能にはヒステリシスが設定されており、CONTROL端子にオンとなる電圧が印加された状態で低電圧誤動作防止保護が動作したあと、入力電圧が設定値まで上昇すると、出力は自動的にオンに復帰します。



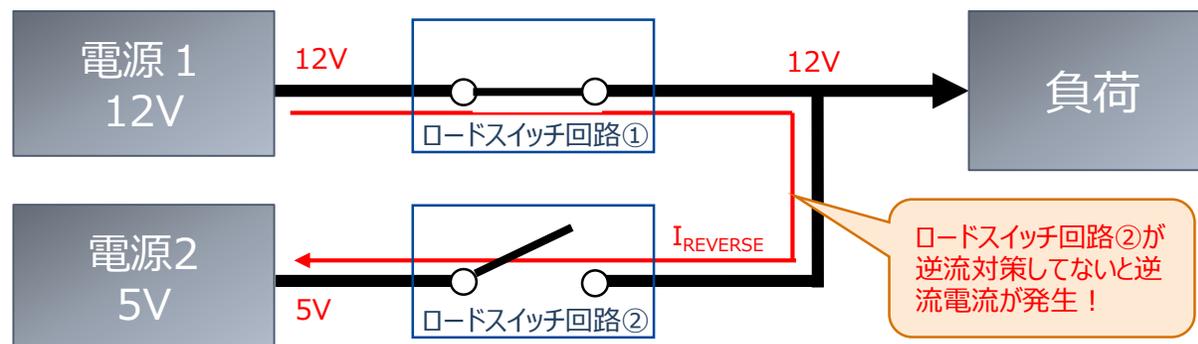
逆流防止

逆流防止回路は、ロードスイッチ ICが出力電圧 $V_{OUT} > V_{IN}$ の状態になったときに、出力端子 V_{OUT} から入力端子 V_{IN} 側へ電流を逆流させない回路です。

当社では、下記の二つのタイプの逆流防止回路を内蔵した製品をラインアップしています。

a) スイッチオフ時のみ逆流防止

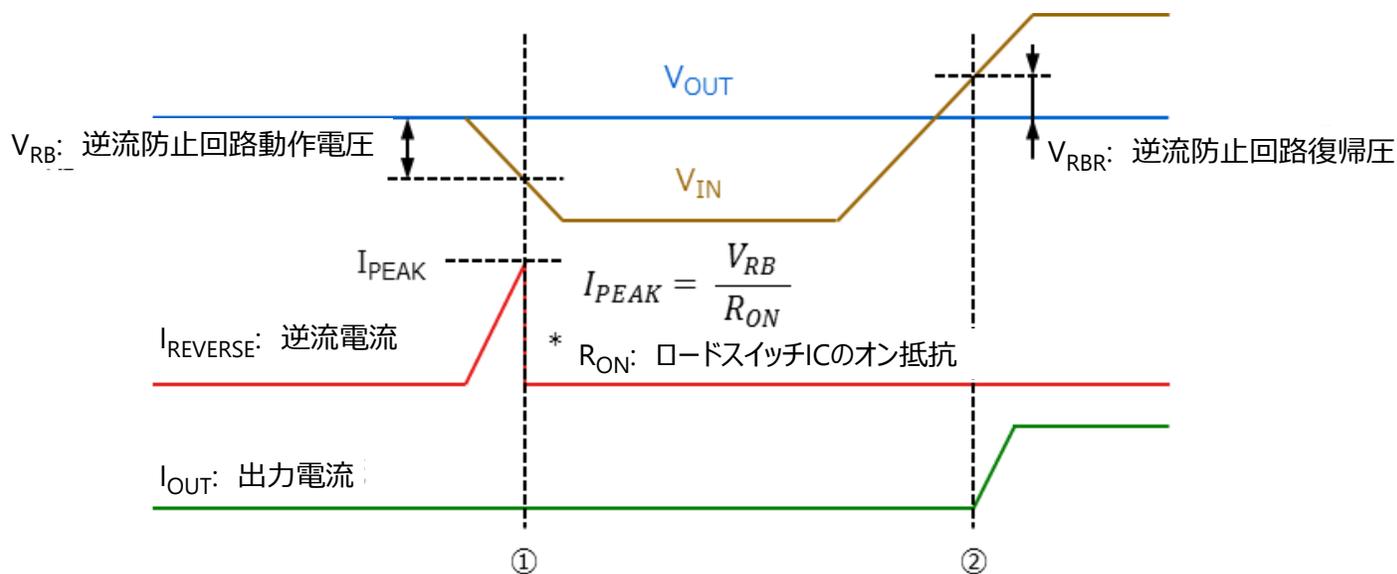
内部のスイッチ用MOSFETがオフ時に $V_{IN} < V_{OUT}$ となり、 V_{OUT} 端子から V_{IN} 端子への電流の逆流を防止します。MOSFETがオンしているときには逆流防止機能は動作しません。



逆流防止

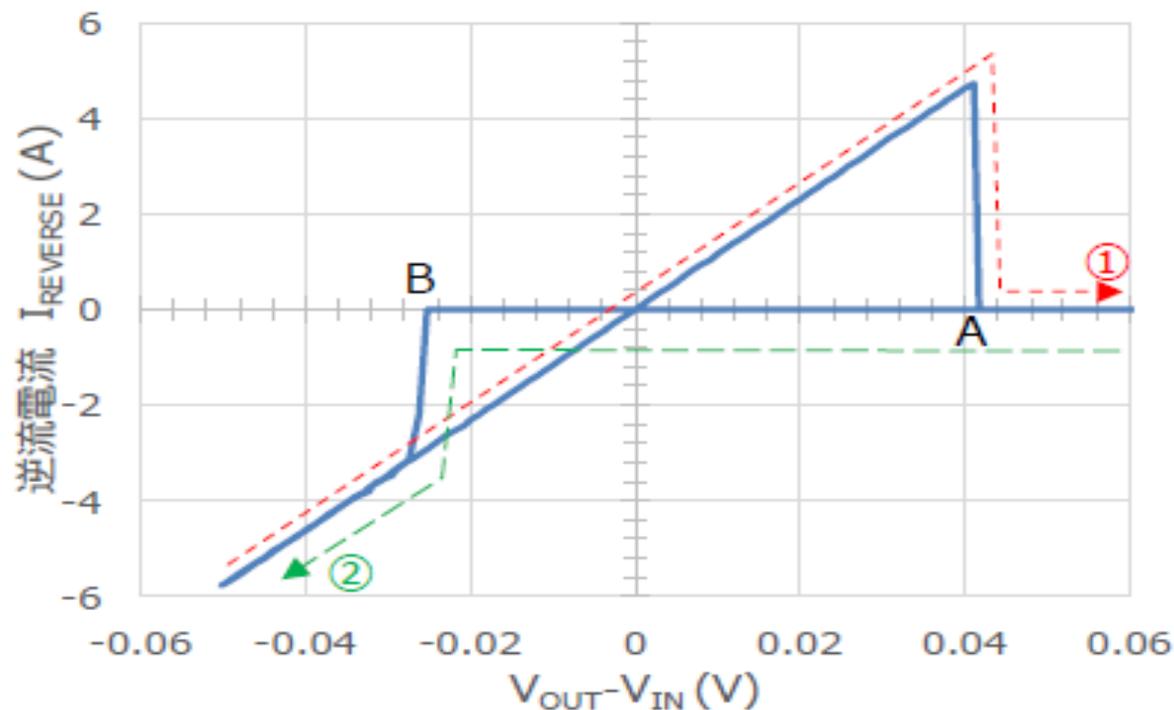
b) 常時監視逆電流防止

常時監視逆流防止機能は、スイッチ用MOSFETのオンとオフに関わらず V_{OUT} 端子から V_{IN} 端子への逆流を防止します。 V_{OUT} が V_{IN} よりも逆流防止回路動作電圧 V_{RB} 高くなると逆流防止回路が動作します。また、 V_{OUT} が V_{IN} よりも逆流防止回路復帰電圧 V_{RBR} 低くなると逆流防止回路が解除されます。



逆流防止

下図は常時監視型逆流防止機能内蔵のロードスイッチICの逆流電流特性例です。①の線（赤線）で示すように、 V_{OUT} と V_{IN} の差（ $V_{OUT}-V_{IN}$ ）が増加すると $I_{REVERSE}$ は増加し、約40mVの差となるA点で逆流防止回路が動作して $I_{REVERSE}$ が流れなくなります。また、②の線（緑線）で示すように、逆流防止回路が動作後に V_{IN} が V_{OUT} よりも約30 mV上昇するB点の電圧で逆流防止回路が停止して電流は V_{IN} 端子から V_{OUT} 端子へ流れ始めます。



3章 データーシートに出てくる用語

ロードスイッチICのデータシートに記載されている用語の説明

項目	記号	説明
入力電圧	V_{IN}	ロードスイッチICが正常に動作する入力電圧の範囲です。
消費電流 (ON)	I_Q	ロードスイッチICがオンしているときの消費電流値です。
スタンバイ電流 (OFF)	$I_{Q(OFF)}$	ロードスイッチICがオフしているときの消費電流値です。
スイッチオフリーク電流	$I_{SD(OFF)}$	ロードスイッチICがオフしているときの、 V_{OUT} 端子からの漏れ電流値です。
コントロール電圧 (High)	V_{IH}	ロードスイッチICが“H”レベルと判断するControl端子電圧です。
コントロール電圧 (Low)	V_{IL}	ロードスイッチICが“L”レベルと判断するControl端子電圧です。
オン抵抗	R_{ON}	V_{IN} 端子と V_{OUT} 端子間に接続されたMOSFETのドレイン・ソース間のオン抵抗値です。
逆流防止電流	I_{RB}	V_{OUT} 端子の電圧が V_{IN} 端子よりも高くなったときに、 V_{OUT} 端子からロードスイッチICに流れる電流値です。
逆流防止回路動作電圧	V_{RB}	V_{OUT} 端子の電圧が V_{IN} 端子よりも高くなったときに、逆流防止回路が動作する V_{OUT} 端子と V_{IN} 端子の電圧差 ($V_{OUT}-V_{IN}$) です。この規格は常時逆流防止機能を内蔵した製品に適用されます。
逆流防止回路復帰電圧	V_{RBR}	逆流防止回路が動作後に $V_{IN} > V_{OUT}$ となり、逆流防止回路が解除する V_{OUT} 端子と V_{IN} 端子の電圧差 ($V_{OUT}-V_{IN}$) です。この規格は常時逆流防止機能を内蔵した製品に適用されます。

ロードスイッチICのデータシートに記載されている用語の説明

項目	記号	説明
低電圧保護しきい値電圧 (UVLO) 上昇時	V_{UVL_RI}	V_{IN} が上昇して、低電圧保護を解除する電圧値です。 V_{UVLO_RI} 以上の V_{IN} になるとロードスイッチICは動作を開始します。
低電圧保護しきい値電圧 (UVLO) 下降時	V_{UVL_FA}	V_{IN} が低下して、低電圧保護が動作する電圧値です。 V_{UVLO_FA} 以下の V_{IN} になるとロードスイッチICは動作を停止します。
過電圧保護しきい値電圧 (OVLO) 上昇時	V_{OVL_RI}	V_{IN} が上昇して、過電圧保護が動作する電圧値です。 V_{OVLO_RI} 以上の V_{IN} になるとロードスイッチICは動作を停止します。
過電圧保護しきい値電圧 (OVLO) 下降時	V_{OLV_FA}	過電圧保護状態から V_{IN} が低下して、過電圧保護を解除する電圧値です。 V_{UVLO_FA} 以下の V_{IN} になるとロードスイッチICは動作を開始します。
出力ディスチャージオン抵抗	R_{SD}	V_{OUT} 端子に接続された平滑用コンデンサーに充電された電荷を放電させるために、ロードスイッチIC内部の V_{OUT} 端子とGND端子の間に接続されたN-ch MOSFETのオン抵抗値です。
出力制限電流	I_{CL}	過電流保護が動作して制限する出力電流値です。

4章 損失の計算

ロードスイッチICの損失計算と放熱

ロードスイッチICの損失は、(1) 式から求められます。

$$P = I_{OUT}^2 \times R_{ON} + V_{IN} \times I_Q \cdots (1)$$

ここで、 $V_{IN} \times I_Q$ 項の値が非常に小さく無視できるときには、(2) 式のように近似できます。

$$P = I_{OUT}^2 \times R_{ON} \cdots (2)$$

また、ロードスイッチICの接合温度 T_j は、(3) 式から求められます。

$$T_j = P \times R_{th(j-a)} + T_a \cdots (3)$$

$R_{th(j-a)}$ はロードスイッチICを基板に実装したときの熱抵抗です。データシートに $R_{th(j-a)}$ が記載されておらず、許容損失 P_D が記載されているときの $R_{th(j-a)}$ は(4) 式から求めることができます。

$$R_{th(j-a)} = \frac{T_{j(max)} - 25}{P_D} \cdots (4)$$

(4) 式を(3) 式に代入すると

$$T_j = P \times \frac{T_{j(max)} - 25}{P_D} + T_a \cdots (5)$$

となります。

P	: ロードスイッチICの損失 (W)
P_D	: データシートで規定された基板に実装したときの許容損失 (W)
$R_{th(j-a)}$: データシートで規定された基板に実装したときの熱抵抗 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
$T_{j(max)}$: データシートで規定された接合温度の絶対最大定格値 ($^{\circ}\text{C}$)
T_a	: 周囲温度 ($^{\circ}\text{C}$)

ロードスイッチICの損失計算と放熱

(5) 式に (2) 式を代入するとロードスイッチICの最大接合温度を求めることができます。

$$T_j = I_{OUT}^2 \times R_{ON} \times \frac{T_{j(max)} - 25}{P_D} + T_a \quad \dots (6)$$

なお、ロードスイッチICのオン抵抗は温度特性がありますので、使用条件によって温度特性を考慮したオン抵抗の値を使用してください。

また、データシートに記載された許容損失や熱抵抗は指定の基板に実装した条件での値であり、実際に製品を使用する際には十分な評価を実施して問題がないことを確認してください。

TOSHIBA