

リニアレギュレータシリーズ

リニアレギュレータの逆電圧保護

No.16020JBY21

リニアレギュレータ IC は降圧 DC/DC コンバータなので、通常は入力電圧が出力電圧よりも高い状態で使用します。ところが、ある条件や回路構成においては出力電圧が入力電圧よりも高くなる場合があります。逆電圧や逆流電流によって IC を損傷する可能性があります。また、入力、出力端においても、逆接続やインダクタ成分によりある条件でプラスマイナスが逆転する場合があります。このアプリケーションノートでは、電圧の条件が逆転する場合の IC の保護方法について説明しています。

入出力電圧の条件が逆転する場合

バイポーラ型リニアレギュレータで出力が NPN トランジスタの場合、入出力電圧が逆転すると、ベース・エミッタ間に逆電圧が印加されます。このベース・エミッタ間逆耐圧を超えると素子の劣化が発生し、破壊する可能性があります (Figure 1)。また IC によっては寄生素子が動作し、出力から入力へ電流が流れる可能性があります。この寄生素子は動作保証されていないので、素子の劣化や破壊が起こる可能性があります。

MOS 型リニアレギュレータでは、出力 MOSFET のドレイン - ソース間に寄生素子としてボディダイオードが存在します。入出力電圧が逆転すると、ボディダイオードを通じて電流が出力から入力へ流れます。このボディダイオードは寄生素子のため動作保証されていないので素子の劣化や破壊が起こる可能性があります (Figure 2)。

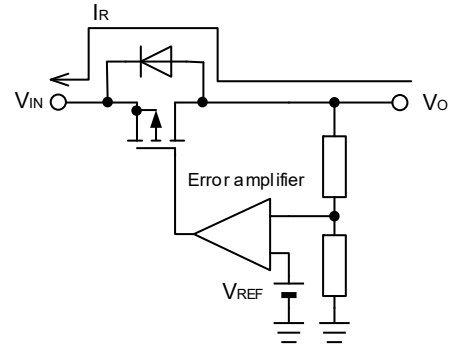


Figure 2 MOS 型の逆電流経路

回路条件ごとに保護の方法を見ていきましょう。まず、出力コンデンサの容量が大きいときに、入力電源がパワーダウンした後も出力コンデンサに電荷が残る場合や、入力電源がパワーダウンするときのスピードが大変速い場合は、入出力電圧の状態が逆転するため出力から入力へ逆電流が流れます (Figure 3, 4)。

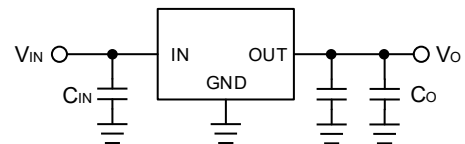


Figure 3 リニアレギュレータ回路

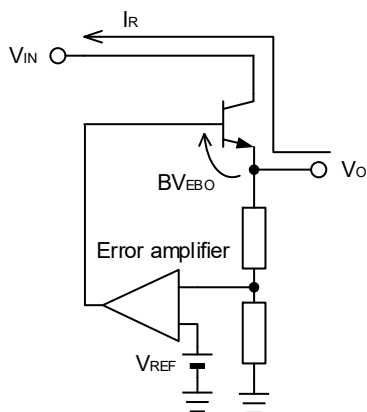


Figure 1 バイポーラ型の逆電流経路

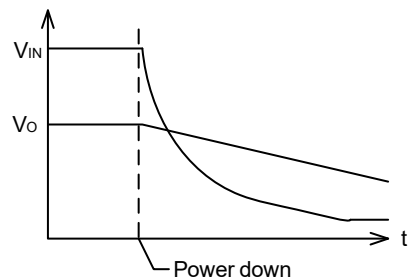


Figure 4 出力コンデンサに電荷が残ったときの
パワーダウン特性

対策として、逆電流が IC 内部を通らないようにするため、外部に逆電流バイパスダイオードを接続します (Figure 5)。このダイオードに必要な条件を Figure 6 に示します。バイパスダイオードは IC 内部回路よりも先にオンする必要があります。MOS 型リニアレギュレータでは内部回路がダイオードですので順方向電圧 V_F の低いものが必要になります。逆方向電流は、この値が大きいとシャットダウン機能がある IC では出力を OFF にしても、ダイオードのリーク電流が入力から出力へ多く流れますので、この値が小さいものを選択する必要があります。逆方向定格電圧は、使用する入出力電圧差よりも大きいもの (ディレーティング 80% 以下) を選択します。順方向定格電流は、逆流電流値よりも大きいもの (ディレーティング 50% 以下) を選択します。

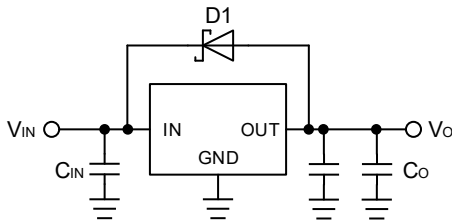
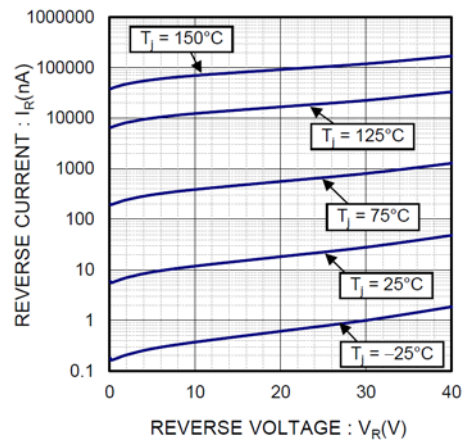


Figure 5 逆電流バイパスダイオード

- ・MOS 型で使用时は V_F が低い事 (おおむね $\leq 0.6V$)。
- ・逆方向電流 I_R が小さい事 (おおむね $\leq 1\mu A$)。
- ・逆方向定格電圧が使用する入出力電圧差より大きい事 (ディレーティング 80% 以下)。
- ・順方向定格電流が逆流電流値より大きい事 (ディレーティング 50% 以下)。

Figure 6 ダイオードに必要な条件

ダイオードには様々な種類がありますが、各ダイオードの特徴を Figure 7 に示します。スイッチングダイオードと整流ダイオードは逆方向電流 I_R が低いのですが、順方向電圧 V_F が高いため MOS 型リニアレギュレータでは使用できません。またスイッチングダイオードは順方向定格電流も小さいので使用用途が限られます。ショットキーバリアダイオードは順方向電圧 V_F が低く使用可能ですが、逆方向電流 I_R が大きなものが多いので、この値が小さいものを選択します。また逆方向電流 I_R の温度特性は高温で増加しますので、各メーカーのデータシートで詳細を確認してください (Figure 8)。ローム製のショットキーバリアダイオードには数種類の金属を使用し低 V_F と低 I_R を実現したものがあり、特性例を Figure 9 に示します。



(出典: ローム RB168MM-40 Datasheet 2015.09 - Rev. B)

Figure 8 逆方向電流特性

項目	ショットキーバリアダイオード	スイッチングダイオード	整流ダイオード
構造	プレナー型 金属と半導体を接合	プレナー型 PN 接合	メサ型 PN 接合
順方向電圧 V_F Max	低 (0.4V~0.85V)	高 (0.9V~1.2V)	高 (1.0V~1.3V)
逆方向電流 I_R Max	小~大 (0.55 μA ~1mA) 温度特性 大	小 ($\leq 0.2\mu A$)	小~中 (1 μA ~10 μA)
逆方向定格電圧	$\leq 150V$	$\leq 80V$	$\leq 600V$
順方向定格電流	$\leq 5A$	$\leq 100mA$	$\leq 2A$
用途	バイポーラ型 MOS 型	バイポーラ型	バイポーラ型

Figure 7 各ダイオードの特徴

●絶対最大定格 ($T_c = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Conditions	Limits	Unit
尖頭逆方向電圧	V_{RM}	Duty ≤ 0.5	40	V
▶ 直流逆方向電圧	V_R	直流電圧印加時	40	V
▶ 平均整流電流	I_o	ガラスエポキシ基板実装時、 60Hz 正弦半波、抵抗負荷時	1	A
尖頭順サージ電流	I_{FSM}	60Hz 正弦半波、1サイクル 非繰り返し印加 $T_a = 25^\circ\text{C}$	30	A
接合部温度	T_j	-	150	$^\circ\text{C}$
保存温度範囲	T_{stg}	-	-55 ~ +150	$^\circ\text{C}$

●電気的特性 ($T_j = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
▶ 順方向電圧	V_{F1}	$I_F = 1.0\text{A}$	-	0.60	0.65	V
▶ 逆方向電流	I_R	$V_R = 40\text{V}$	-	0.05	0.55	μA

(出典: ローム RB168MM-40 Datasheet 2015.09 - Rev. B)

Figure 9 ショットキーバリアダイオード RB168MM-40 仕様

入出力電圧の条件が逆転する場合でも Figure 10 のように V_{IN} をオープンにしたときは、逆電流の経路が IC のバイアス電流のみになります。この場合は電流量が小さいため寄生素子の劣化や破壊は起こりませんので、逆電流バイパスダイオードは不要です。

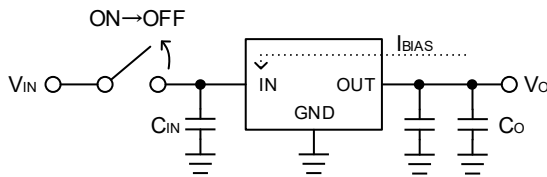


Figure 10 入力をオープンにした場合

Figure 11 のように、異なる電源間に負荷が存在する場合は、電源立ち上がり、立ち下がりタイミングが同じではないため、負荷を通して他方の電源出力端へ電流が流れ込みます。このときリアレギュレータの入出力間で逆電圧が発生しますので、逆電流バイパスダイオードが必要です。

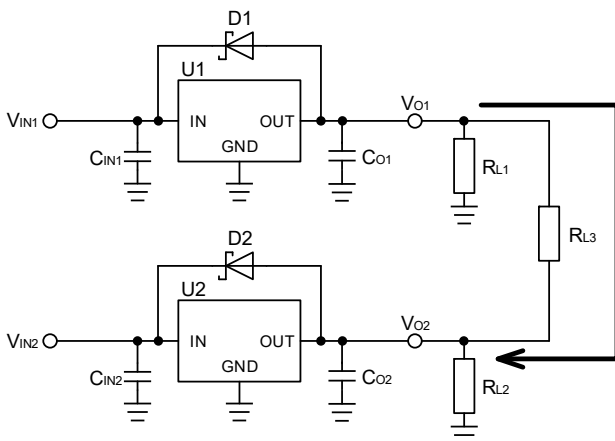


Figure 11 異電源間の電流経路とダイオードの入れ方

出力の逆電圧保護

出力負荷が誘導性負荷の場合は、出力電圧が OFF になった瞬間に誘導性負荷に蓄積されたエネルギーがグラウンドへ放出されます。IC の出力ピンと GND ピン間には静電破壊防止ダイオードがあり、このダイオードに大電流が流れるため IC が破壊する場合があります。これを防止するため、静電破壊防止ダイオードに並列にショットキーバリアダイオードを接続してください (Figure 12)。

また、IC の出力ピンと負荷が長いワイヤーで接続されている場合は誘導負荷になっている可能性がありますのでオシロスコープで波形を観測してください。その他にも、負荷がモータの場合は、モータの逆起電力により同様の電流が流れますのでダイオードが必要です。

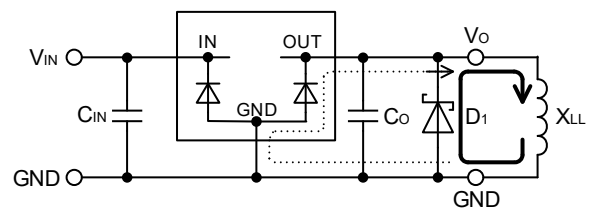


Figure 12 誘導性負荷の電流経路 (出力 OFF 時)

入力の逆電圧保護

入りに電源を接続するとき、不注意によりプラスとマイナスを逆接続した場合は、IC の入力ピンと GND ピン間の静電破壊防止ダイオードに大電流が流れるため IC が破壊する場合があります (Figure 13)。

逆接続対策として最も簡単な方法は Figure 14 のようにショットキーバリアダイオードか整流ダイオードを電源と直列に接続します。正しい接続では、ダイオードの順方向電圧 V_F の電圧降下があるため、 $V_F \times I_o$ の電力損失が発生しますので、バッテリー動作の回路には適していません。整流ダイオードよりもショットキーバリアダイオードの方は V_F が低いため、多少は損失が小さくなります。ダイオードは発熱しますので許容損失にマージンがあるものを選択します。逆接続時はダイオードの逆方向電流が流れますがこれは僅かな値です。

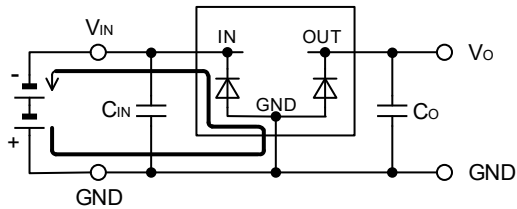


Figure 13 入力を逆接続したときの電流経路

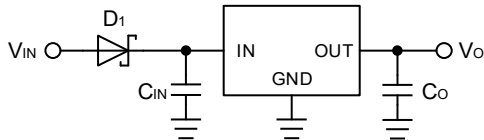


Figure 14 逆接続対策 1

Figure 15 はダイオードを電源に対して並列に接続する方法です。IC 内部の静電破壊保護ダイオードよりも早く ON する必要があるため、 V_F が低いショットキーバリアダイオードを使用します。正しい接続ではダイオードがない場合と同じ動作になります。逆接続時は電源の全電流がダイオードに流れた状態が続くため大きな発熱が発生し、前段の電流容量が大きい場合は破壊に至ります。この回路は短時間のうっかりミスから回路を保護する目的か、前段の電源に過電流保護回路が付いていることが前提になります。

この保護回路でさらに安全を重視するならば、電源に直列にヒューズを接続します。ヒューズのメンテナンスが必要ですが、より確実に回路を保護できます (Figure 16)。

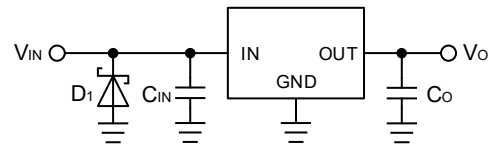


Figure 15 逆接続対策 2

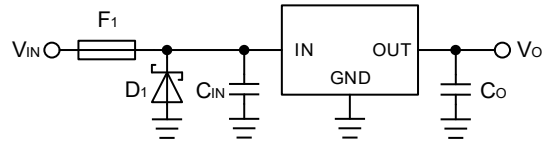


Figure 16 逆接続対策 3

Figure 17 は P-ch MOSFET を電源に対して直列に接続する方法です。MOSFET のドレイン - ソース間にあるダイオードは、ボディダイオード (寄生素子) です。正しい接続では P-ch MOSFET が ON するため、ここでの電圧降下は MOSFET の ON 抵抗と出力電流 I_o を掛けた値になり、ダイオードによる電圧降下 (Figure 14) より小さいため、電力損失が小さくなります。逆接続時は、MOSFET は ON しないため電流は流れません。

MOSFET のゲート - ソース間 (ディレーティングを考慮した) 定格電圧を超える場合は、Figure 18 のようにゲート - ソース間を抵抗分割してゲート - ソース間電圧を下げてください。

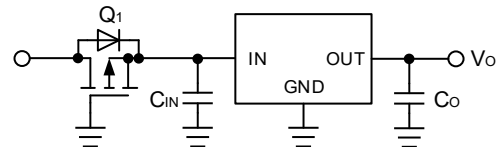


Figure 17 逆接続対策 4

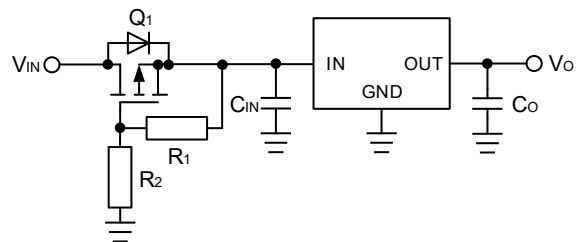


Figure 18 逆接続対策 5

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本製品は、一般的な電子機器（AV機器、OA機器、通信機器、家電製品、アミューズメント機器など）および本資料に明示した用途への使用を意図しています。
- 7) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされておられません。
- 8) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 9) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 10) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 12) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上でご使用ください。お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 13) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 14) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>