

リニアレギュレータシリーズ (3 端子レギュレータ、LDO)

電源が起動しないトラブル事例

リニアレギュレータは簡単に電源を構成することができますが、負荷の種類によっては起動トラブルを起こす場合があります。このアプリケーションノートは、リニアレギュレータにおいて電源が正しく起動しない事例を紹介しています。

リニアレギュレータの出力が正常に起動しないトラブルで、多い事例を紹介します。

- 事例 1. 手はんだによるデバイスおよび周辺部品の破損
- 事例 2. 定電流負荷による起動トラブル
- 事例 3. 貫通電流による起動トラブル 1
- 事例 4. 貫通電流による起動トラブル 2
- 事例 5. 正負電源でどちらか一方が起動しない
- 事例 6. モーター負荷による起動トラブル

事例 1. 手はんだによるデバイスおよび周辺部品の破損

デバイスおよび周辺部品ははんだにより PCB へ実装されます。量産時は自動機によってはんだ付けの温度と時間が管理されているため問題は発生しませんが、試作やリワークなどではんだごてを使用した手はんだではデバイスや周辺部品の破損が原因で電源が起動しないトラブルになることがあります。

デバイスの実装条件は、「パッケージ情報」の「実装条件」の項に記載されています。はんだごてによる実装が可能なパッケージについては推奨条件が記載されていますので、それに従ってはんだ付けを実施します (Figure 1)。しかしこれを超えるとモールドクラックや、ボンディングワイヤーが外れるなどデバイスが損傷する可能性があります。また、はんだごてによる実装を推奨していないパッケージで、試作時などにやむを得ずはんだごてを使用する場合は短時間ではんだ付けを実施し、正常に起動しない場合はデバイスの損傷を疑ってください。

TO252-3 パッケージのはんだごて実装推奨条件

はんだごて温度	: 380 °C 以下
実装時間	: 4 sec 以下

Figure 1. TO252-3 パッケージのはんだごて実装推奨条件の例

抵抗器やセラミックコンデンサなどの面実装部品においても、推奨条件が記載されていますので、それに従ってはんだ付けを実施します

(Figure 2)。しかし、部品サイズが小さくなるに従ってはんだごてによる実装は部品が破損する可能性が高くなります。特に 1005(0402)サイズ以下の部品は外的応力に弱く、熱の加えすぎと、こて先からの外力や同じ部品の使い回しにより端子電極の剥離が起こり、オープン故障します。端子電極の剥離は目視で判別することは困難です。電源出力に所定の電圧が出ない場合や、異常な波形が現れる場合は周辺部品の破損を疑ってください。

抵抗器の手はんだ推奨条件

0603(0201), 0602(01005)サイズを除く

こて先温度 : 350 °C

はんだ付け時間 : 4 s Max.

回数 : 1 回

ワット数 : 20W Max.

Figure 2. 抵抗器の手はんだ推奨条件の例

事例 2. 定電流負荷による起動トラブル

過電流保護回路にフォールドバック(フの字)特性を搭載したリニアレギュレータでは、レギュレータが起動する前に定電流負荷が引かれていると出力電圧が立ち上がらない場合があります。

始めに通常負荷(抵抗負荷)の場合の起動シーケンスを説明します。Figure 3 は過電流保護回路のフォールドバック(フの字)特性の例です。Figure 4 はレギュレータ出力に 100μF のコンデンサと、5V 時に 500mA の負荷電流が流れる抵抗負荷が接続された回路の起動波形です。

IC が起動開始直前の④点では出力電圧、電流ともにゼロで、フォールドバック(フの字)カーブの左下からスタートします。V_{CC} が供給されると IC が起動します。するとレギュレータの出力コンデンサへ電荷を充電しようとするため突入電流が流れます。この時 IC の過電流保護回路が動作し、電流を 300mA 程度に制限します。

その後、出力電圧が上昇し動作点が⑥へ移動します。これに伴いフォールドバック(フの字)カーブに沿って突入電流も増加します。さらにフォールドバック(フの字)カーブに沿って出力電圧の上昇と突入電流の増加が進み、動作点は③④へ移動します。④点では通常動作時の電流制限値になります。出力電圧が設定電圧に近くなると、出力コンデンサへの充電電流は小さくなり、定常動作の⑤点へ移動します。

このように過電流保護回路にフォールドバック(フの字)特性を持ったリニアレギュレータの起動特性は、ゼロ点からスタートしてフォールドバック(フの字)カーブに沿うように起動します。負荷が抵抗やコンデンサの場合は、起動時に電流制限を受けることがありますが、電流が出力へ供給されている限り、出力電圧は必ず立ち上がります。

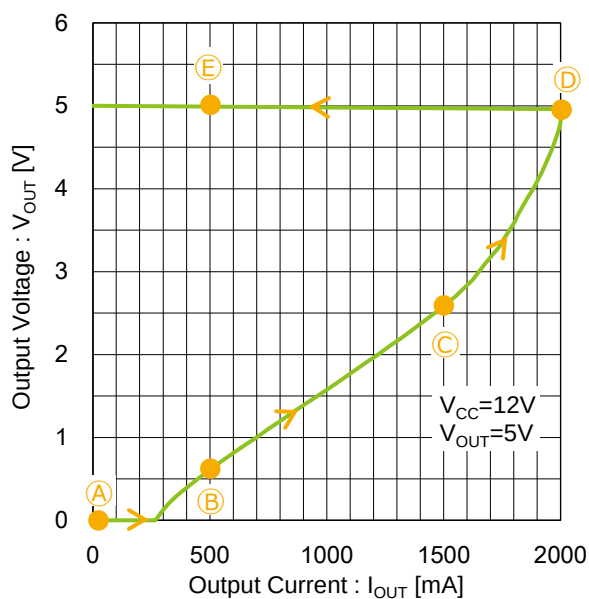


Figure 3. 過電流保護回路のフォールドバック特性例と抵抗負荷時の起動時の動作点変移

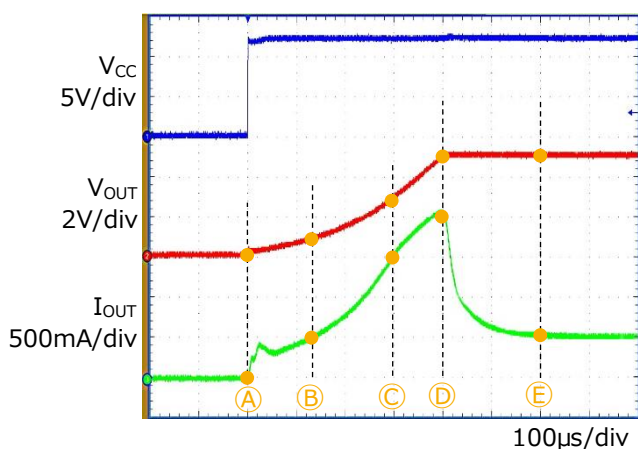


Figure 4. 起動波形例
 $V_{CC}=12V$, $V_{OUT}=5V$, $C_{OUT}=100\mu F$, $I_{OUT}=500mA$

次に定電流負荷の場合を考えてみます。IC が起動する前に定電流負荷が引かれていて、IC の出力ピンとグラウンド間にあるダイオードに電流が流れ、順方向電圧が発生するため、出力ピンがマイナス $1V_F$ (約 $-0.7V$) になります。このダイオードは静電破壊保護ダイオードや寄生ダイオードです (Figure 5)。

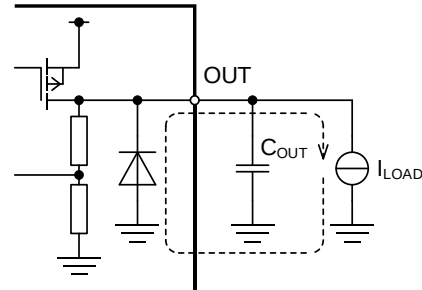


Figure 5. 定電流によりダイオードに順方向電圧が発生し、出力ピンがマイナス $1V_F$ になる

例えば、定電流負荷が $500mA$ の場合、IC 起動前の動作点は Figure 6 の④点にあります。IC が起動すると出力電流の供給が始まりますが、出力電圧が $-0.7V$ 時は、 $0V$ 時よりも更に供給電流が減り、この例では $200mA$ になります。負荷電流 $500mA$ に対して $200mA$ しか供給できないため、出力電圧が上昇できず、動作点は⑥に安定点ができ起動トラブルになります。

次に IC が先に起動している状態で定電流負荷を接続する場合について考えます。IC の出力に規定電圧が出ている状態で定電流負荷を接続すると問題なく動作します。これは規定電圧では、電流に十分な供給能力があるためです。この状態で出力が短絡しますと、動作点は Figure 6 の④点へ移動するため、前述と同様に起動トラブルが発生します。

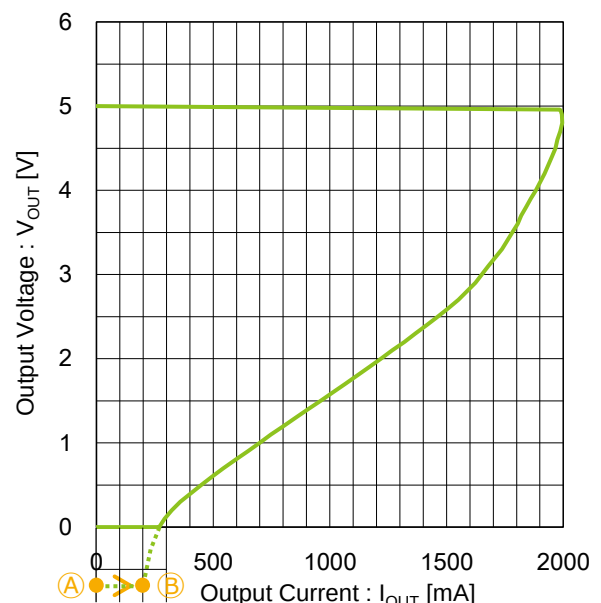


Figure 6. 定電流負荷時の起動時動作点変移

トラブル対策としては、定電流負荷の値よりも、起動時に IC から供給できる電流値が大きい製品を選ぶ必要があります。過電流保護回路にフォールドバック(フの字)特性を搭載したリニアレギュレータは、その形からピーク電流に対して出力 0V 時に供給できる電流値が小さく設定されており、この電流値も保証されていないことが多いです。定電流負荷で使用する場合は、過電流保護回路に垂下型の特性を持ったリニアレギュレータを使用することを推奨します。垂下型の特性は Figure 7 の様に、出力 0V 時に供給できる電流値がピーク電流に近いため確実な起動が可能です。

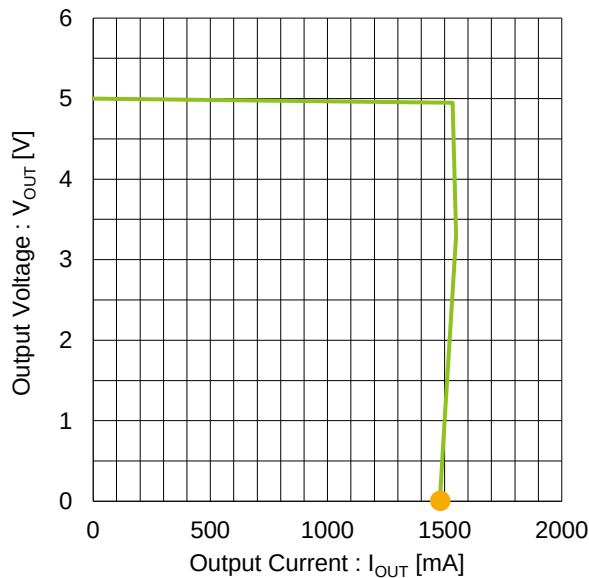


Figure 7. 過電流保護回路の垂下型特性例

また、IC の出力ピンとグラウンド間にある静電破壊保護ダイオードや寄生ダイオードに電流が流れると、素子が劣化や破壊する可能性があります。これを防止するため出力ピンと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 8)。

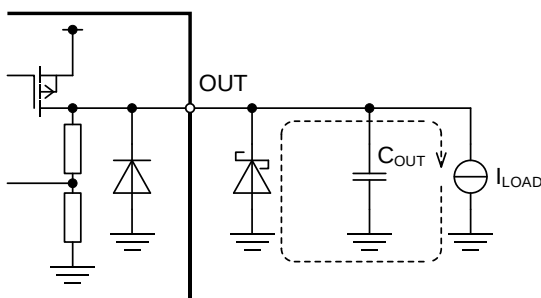


Figure 8. 端子の逆電圧保護

事例 3. 貫通電流による起動トラブル 1

リニアレギュレータの出力につながっている、ある回路ブロックの回路電流特性を Figure 9 に示します。この回路は電源電圧が 1.8V 以上供給されると動作するように設計されていますが、回路が安定動作する前の 0.7V 付近で大電流が流れています。これは動作電源電圧以下での回路動作のケアを怠ったため、回路のあるノードが不定になり、電源とグラウンド間に貫通電流が流れている状態です。

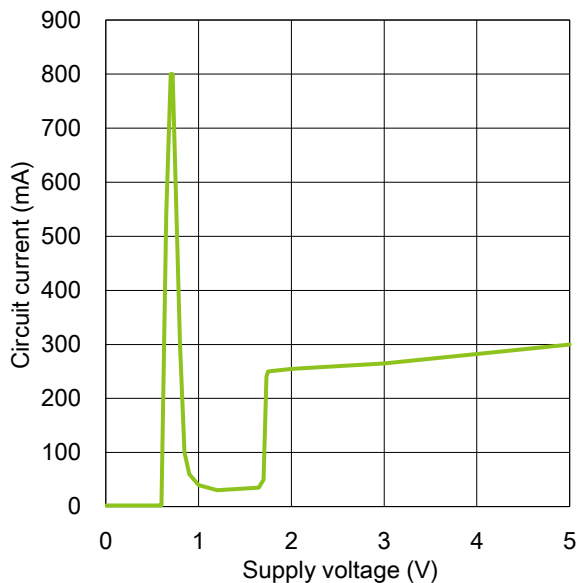


Figure 9. ある回路ブロックの回路電流特性

この回路ブロックを、前述 Figure 3 の過電流保護回路を搭載したリニアレギュレータに接続した場合、起動時の動作点は Figure 10 の様になります。動作点は④点から起動を開始し、貫通電流が流れる③点へ移動したいのですが、過電流保護回路により③点で電流制限を受けます。ここで安定点がでるため、出力電圧が上昇することができずに起動トラブルが起こります。

実際は起動時のノイズや寄生素子の影響で正常に起動することが多く、量産でトラブルが起こってから始めて設計ミスに気づくことがあります。このトラブルを未然に防止するため、リニアレギュレータにつながる回路ブロックの電流特性を測定し、過大なピーク電流がないことを確認するようにします。

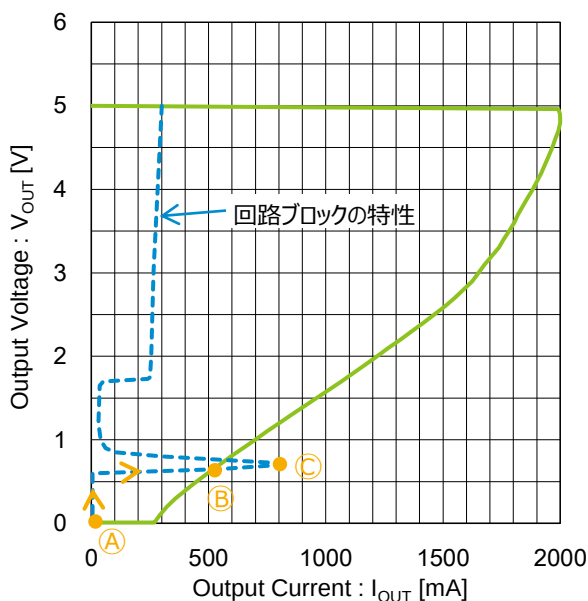


Figure 10. 貫通電流がある回路ブロックを起動した時の動作点変移

事例 4. 貫通電流による起動トラブル 2

これは事例 3 と似ていますが、回路ブロックの回路電流が、電源立ち上がり時と立ち下がり時で異なる場合があります。回路電流の例を Figure 11 に示します。

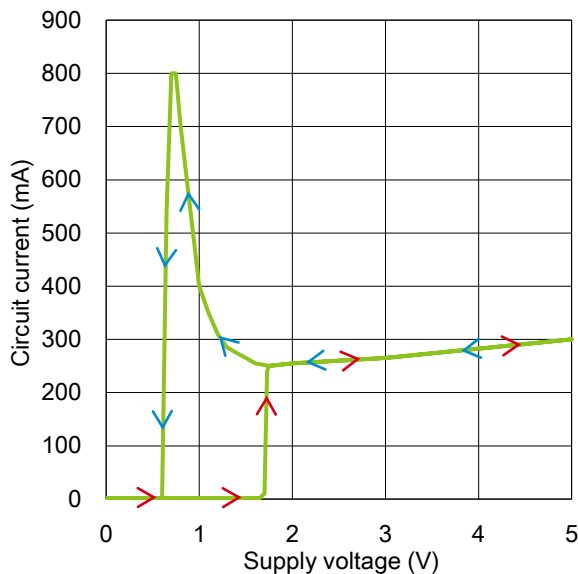


Figure 11. 立ち上がり時と立ち下がり時で電流値が異なる回路電流特性

この回路ブロックを、前述 Figure 3 の過電流保護回路を搭載したりリニアレギュレータに接続した場合、起動時の動作点は Figure 12 のようになります。動作点は①点から動作を開始し、②点③点へと移動し正常に起動します。これだけ見れば問題ないように見えます。

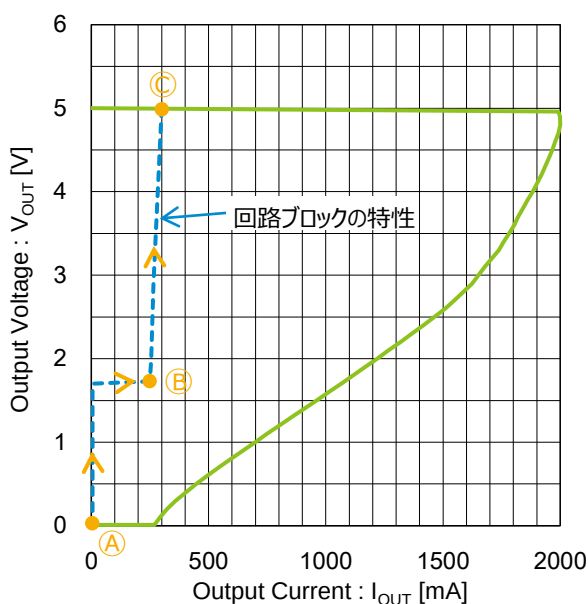


Figure 12. Figure 11 の回路ブロックを起動したときの動作点変移

次に、起動時に出力コンデンサの電荷を充電するための突入電流が流れる場合について見て行きます。Figure 13 が想定される電源構成図で Figure 14 は起動波形です。リニアレギュレータの入力 V_{IN} が立ち上がるとそれに追従して出力 V_{OUT} も立ち上がります。 V_{OUT} が 1.8V に達すると回路ブロックの動作が始まり V_{OUT} に接続されている複数のコンデンサに突入電流が流れます(①点)。リニアレギュレータの出力電流 I_O が増加し過電流保護回路が動作することで出力電圧が一旦 0.6V まで低下しています(②点)。コンデンサへの充電が終わると I_O が減るため再び出力電圧が上昇を始め、最終的に規定電圧に達します(③点)。回路ブロックの電流が、Figure 11 のように電源立ち下がり時に回路電流が増えない場合はこのように正常に起動します。

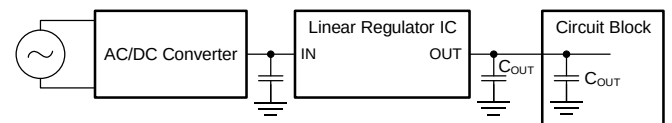


Figure 13. 電源構成図

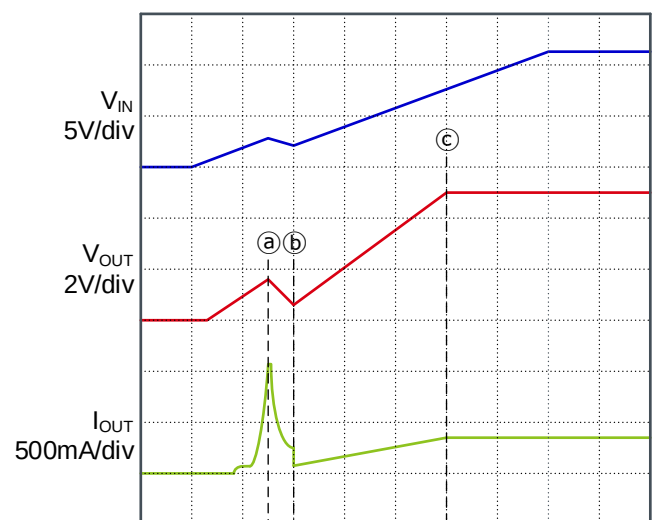


Figure 14. 電源立ち下がり時に回路電流が増えない場合の起動波形

次は電源立ち下がり時に回路電流増加があるときの動作点の変移を見て行きます。Figure 15 は過電流保護特性に Figure 14 の起動時の動作点を重ね合わせたグラフです。動作点は①点から動作を開始し、 V_{OUT} が 1.8V に達すると回路ブロックの動作が始まり、コンデンサへの突入電流で電流が増加し、②点で過電流保護回路が動作します。保護回路により出力が③点までフォールドバックします。③点の電圧では回路ブロックとしては Figure 11 の様に 800mA の電流(④点)が必要ですが、保護回路により 500mA に制限されるため、ここで安定点が生まれ、出力電圧が上昇することができなくなり、起動トラブルになります。その結果、Figure 14 の起動波形は Figure 16 の様に出力電圧が 0.6V (Figure 15 の③点)で一定になります。

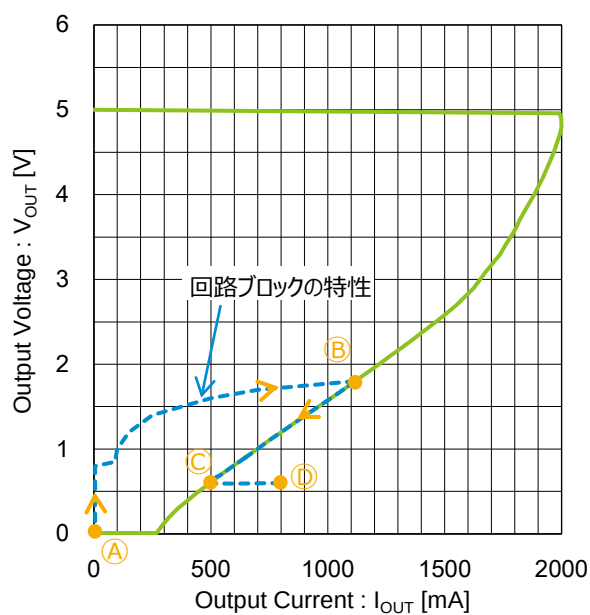


Figure 15. 電源立ち下がり時に回路電流増加がある場合の起動時動作点変移

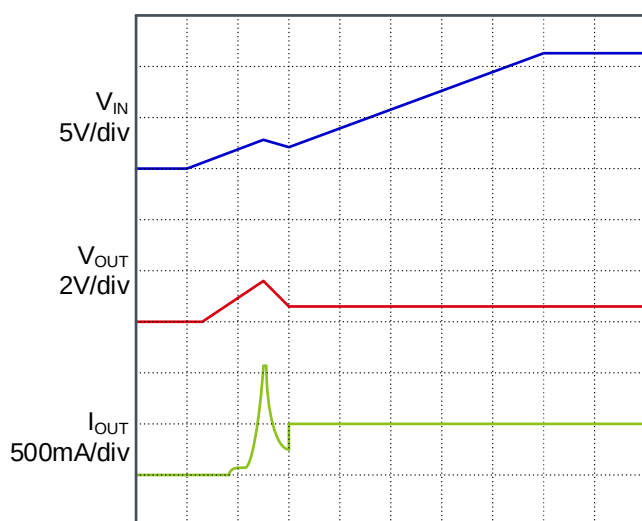


Figure 16. 起動トラブルを起こした波形

以上のように、リニアレギュレータの出力につながる回路ブロックの回路電流特性は、電源電圧に対して単調増加ではない、あるいは立ち上がり時と立ち下がり時に電流が大きく違う場合は、試作で正常に動作したとしても、過電流保護回路の特性と突入電流値のバランスが崩れるとトラブルが発生する可能性が隠れていることを理解しておく必要があります。

事例 5. 正負電源でどちらか一方が起動しない

Figure 17 のような正負電源では、それぞれの電源立ち上がりスピードが違うため、正負間に R_{L3} のような負荷や、複数の回路により形成された意図しない電流経路があると、先に立ち上がった電源が R_{L3} を通じてもう一方の出力から電流を引く(破線の経路)ため、正電圧レギュレータの出力に逆電圧がかかります。このため事例 2 と同じように起動トラブルが発止します。

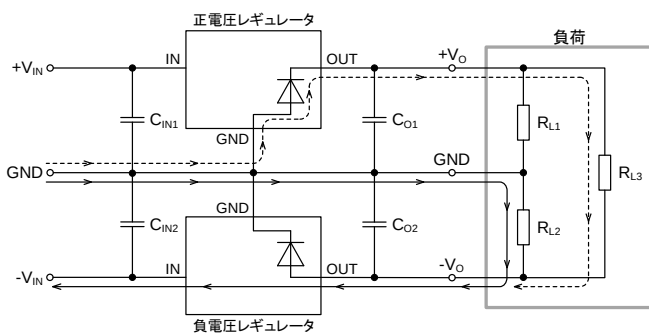


Figure 17. 負電源が先に起動した場合の電流経路

対策として次のことが考えられます。

1. R_{L3} の経路を遮断する。
2. 逆電圧値を小さくし、出力電圧が立ち上がらなくなることを軽減するために V_F が低いショットキーダイオードを出力と GND 間に接続します(Figure 18)。逆電流の値よりも、起動時に IC から供給できる電流値が大きい製品を選ぶ必要がありますが、ばらつきなどにより 100% 正常に立ち上がる保証はありません。
3. 過電流保護回路に垂下型特性を持ったリニアレギュレータを使用します。また、IC の出力ピンとグラウンド間にある静電破壊保護ダイオードや寄生ダイオードに電流が流れると、素子が劣化や破壊する可能性があります。これを防止するため出力ピンと並列にショットキーバリアダイオードを接続します(Figure 18)。

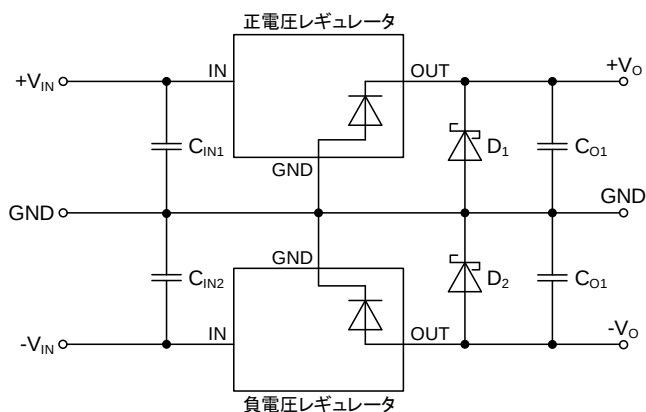


Figure 18. 出力端子保護ダイオード

事例 6. モーター負荷による起動トラブル

モーターが回り始めるときの起動電流は定格回転時電流の数倍が流れます。Figure 19 は過電流保護回路にフォールドバック特性を搭載したリニアレギュレータに、モーター起動時の特性を重ねたグラフです。このモーターの動作点は④点から始まり、電圧上昇と共に起動電流も増加し、⑤点⑥点を経て定格速度時の動作点である⑦点へ移動します。この例ではモーターの起動電流(青の破線)が、過電流保護の電流(緑の実線)を超える⑥点で安定点が発生するため出力電圧が 0.35V 以上に上昇できず、起動トラブルが発生します。

実際はこの程度の電流差では起動できてしまう事が多いのですが、モーターに負荷が掛かると、起動時電流のピーク値である⑥点が更にグラフの右側へ移動するため起動しなくなる可能性は大きくなります。

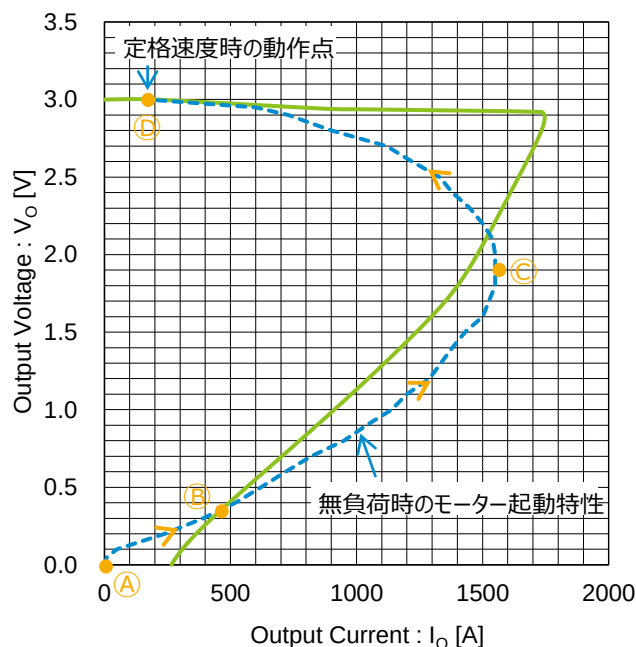


Figure 19. モーター起動時の動作点変移の例

対策として、モーターの起動電流値よりも大きな電流が出力できる、垂下型特性の過電流保護回路を搭載したリニアレギュレータを使用するか、モータドライバICを使用します。

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いません。
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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。
- 10) 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ものです。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。
- 11) 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。
お客様に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。
- 12) 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。
- 13) 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/>