

リニアレギュレータ IC シリーズ

# リニアレギュレータの基礎

No.15020JAY17

リニアレギュレータは、三端子レギュレータやドロップなどと呼ばれ、回路がシンプルで簡単に使えることより、従来から多くの設計者になじみのある電源です。古くはディスクリートで構成されていたこともありましたが、IC 化が進むことで簡単で便利かつ小型になり、多種多様な電源アプリケーションに利用されています。近年は高効率であることが電子機器の必須の要求になり、大きな出力電力を必要とする機器ではスイッチング電源が主流となっていますが、シンプルで省スペース、そして何よりも低ノイズであるリニアレギュレータは、あらゆる所で必要な電源です。このアプリケーションノートではリニアレギュレータの概要を説明します。

## リニアレギュレータの動作原理

リニアレギュレータは、基本的に入力、出力、GND ピンで構成されており、出力が可変のものはこれに出力電圧を帰還するための帰還(フィードバック)ピンが追加されます(Figure 1)。

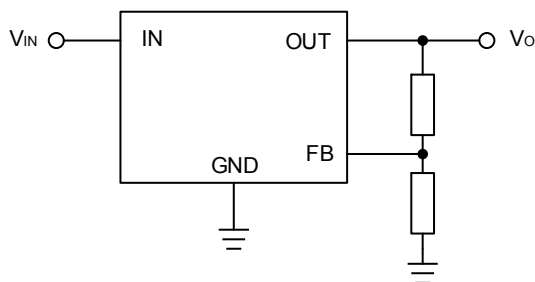


Figure 1 リニアレギュレータの基本構成

リニアレギュレータの内部回路の概要を Figure 2 に示します。基本的にエラーアンプ(誤差検出用のオペアンプ)、基準電圧源、出力トランジスタによって構成されています。出力トランジスタはこの図では Pch MOSFET になっていますが、Nch の MOSFET、バイポーラの PNP、NPN トランジスタも使われます。

動作は完全なアナログです。オペアンプを使った基本的な制御回路の一つである帰還(フィードバック)ループ回路になっています。入力や負荷が変動し出力電圧が変動し始めても、エラーアンプが連続的にレギュレータの出力電圧から帰還電圧と基準電圧を比較して、差分がゼロになるようにパワートランジスタを調整し、Vo を一定に保ちます。これが帰還ループ制御による安定化(レギュレーション)です。

具体的には、前述のようにエラーアンプの非反転端子の電圧は、常に V<sub>REF</sub> と同じになろうとするので、R<sub>2</sub> に流れる電流は一定になります。R<sub>1</sub> と R<sub>2</sub> に流れる電流は (V<sub>REF</sub> / R<sub>2</sub>) で求められるので、Vo はこの電流 × (R<sub>1</sub> + R<sub>2</sub>) になります。これは、オームの法則そのままです。これを式で表すと式(1)のようになります。

$$V_o = \frac{V_{REF}}{R_2} \times (R_1 + R_2) = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \times V_{REF} \quad [V] \quad (1)$$

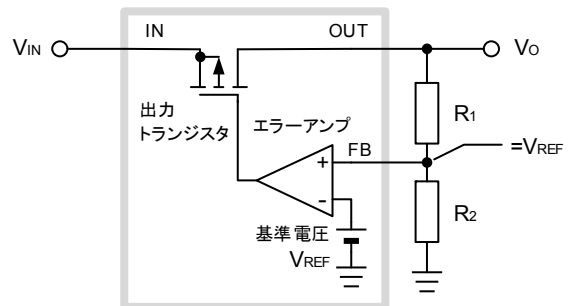


Figure 2 内部回路の概要

## リニアレギュレータの分類

シリーズレギュレータ、三端子レギュレータ、ドロップ、LDO。このような名称を聞いたことがあると思いますが、すべてリニアレギュレータのことで、こういった呼び名とは別に、機能や方式によっていくつかに分類することができます。

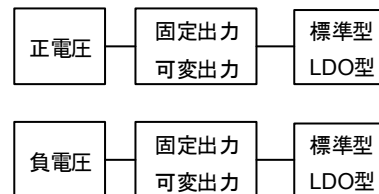


Figure 3 リニアレギュレータの体系

最初に、大きく分けると正電圧用と負電圧用に分けることができますが負電圧用はあまりバリエーションが多くないです。次の階層は、固定出力型と可変出力型に分かれます。固定型は標準型番の 78xx(正)、79xx(負)タイプに代表されるように入力、出力、GND の 3 端子です。設定用の抵抗が IC に内蔵されているので帰還ピンが外に出ている必要がありません。可変型は、Figure 1 のように GND 基準タイプであれば、帰還ピンが表に出て 4 端子になります。可変型には GND ピンがないフローティング動作の 317(正)、1117(正)、と 337(負)タイプもあり、これらは 3 端子になります。

固定と可変の次の層は標準型と LDO 型にわかれます。LDO は Low-dropout の略で、標準型のドロップアウト電圧(安定化動作可能な最低入出力電圧差)が 3V 前後なのに対し、LDO 型は 1V 以下に改良したもので、3.3V 電源の IC が出始めた頃に一般的になってきました。12V から 5V に変換と言った仕様が多かった時代は、ドロップアウト電圧は標準型の 3V 程度でも何も問題はありませんでした。3.3V 電源が必要になると 5V から 3.3V を作ることができなくなり、LDO が生まれてきました。

上述のリニアレギュレータはすべて出力トランジスタ内蔵型ですが、大電流を扱うために出力トランジスタを外付けにした、リニアレギュレータコントローラと言う IC もあります。

他には、製造プロセスの特徴による分類があります。一般にバイポーラプロセスのリニアレギュレータには、35V や 50V と言った耐圧の高いものが多いのですが、消費電流は数 mA と多めになっています。CMOS のものは、最近では 20V といった高耐圧品も商品化されていますが、多くは 5V までの入力電圧を想定したものです。ただし、消費電流は数十  $\mu\text{A}$  と非常に小さくなっています。

ロームではバイポーラと CMOS の特長を兼ね備えた Bi-CDMOS プロセスを使用し、50V 耐圧で消費電流は数  $\mu\text{A}$  を実現した LDO IC を商品化しています。

形名 製造プロセス  
 BAxxxx: Bipolar  
 BUxxxx: CMOS  
 BDxxxx: Bi-CDMOS

Figure 4 ROHM 形名と製造プロセス

パッケージに関しては、リニアレギュレータは放熱が重要ですので、熱抵抗の低いパッケージが使われています。スルーホール型では放熱版が付いた TO220 系、表面装型では裏面に放熱パッドが露出しているタイプが使われます。



Figure 5 パッケージ

## リニアレギュレータの回路構成と特徴

リニアレギュレータの回路構成は、基本的に Figure 6 のような帰還ループ回路ですが、出力トランジスタの種類によってドロップアウト電圧が異なります。

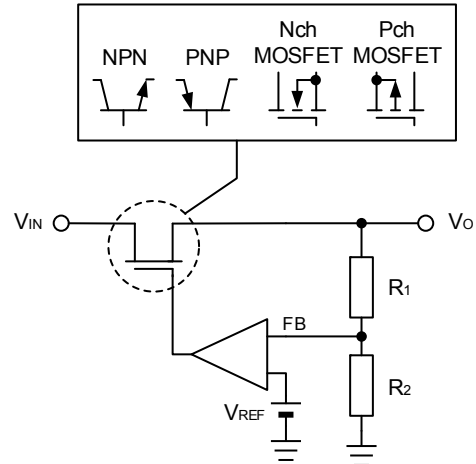


Figure 6 基本回路と出力トランジスタ

大きくは標準型と LDO 型の違いになりますが、LDO の中でさらに 3 種類に分類できます。バイポーラ NPN トランジスタを使った LDO は、あまり多くの品種はありませんが、大電流を扱うことができます。大きなものでは 10A 仕様のももありますが、ドロップアウト電圧は 1V~2V 弱になり、LDO の中では高い部類になります。バイポーラ PNP トランジスタの LDO は、現在バイポーラ系 LDO の主流になっています。当初は起動時の突入電流や電流容量に難点がありましたが、改良が進んでいます。MOSFET を出力トランジスタに使い出したのは、さらなる低出力電圧への対応、バッテリー駆動アプリケーションを考慮した低消費化がその誘因になっています (Figure 7)。

制御トランジスタ	ドロップアウト電圧
NPN 標準型	3V 前後
NPN LDO	1V~2V
PNP LDO	$\leq 0.5\text{V}$
MOSFET LDO	$\leq 0.5\text{V}$

Figure 7 出力電圧とドロップアウト電圧

長所と短所

リアレギュレータの長所は何と言っても簡単に使える点です。入力と出力にコンデンサを1個ずつ付けるだけで動作しますので、実質的に設計は不要と言ってもいいかもしれません。どちらかといえば、回路設計より放熱設計の方が面倒かもしれません。また、スイッチング電源のようにスイッチングノイズがなく、リップル除去特性や電圧ノイズ自体も小さいので、ノイズを嫌う、例えば AV、通信、医療、計測アプリケーションでは好まれる傾向があります。

設計は不要と言っても気をつける点があります。最近では大容量で低 ESR のセラミックコンデンサや、低インピーダンスを特長とした電解コンデンサが商品化されています。これらの部品を「出力にセラミックコンデンサが使用可能」と記載していない IC に使用すると、かなりの確率で異常発振を起こします。前世代に開発された IC は、開発時点で低 ESR コンデンサが世の中になかったため、従来の高 ESR コンデンサを出力に接続した状態でエラーアンプの位相補償を設計しています。ここに低 ESR のコンデンサを接続すると位相遅れが発生してアンプが発振してしまいます。最近設計された IC は、低 ESR の出力コンデンサを考慮して設計されているため、幅広い種類のコンデンサが使用できます。

短所は、入出力の電圧差が大きいと損失が大きくなり、損失はほとんどが熱に変わるので、条件によっては非常に発熱が大きいことです。数ワット以上の電力で使いこなすには、常に熱の問題を解決する必要があります。このため温度上昇が IC チップのジャンクション温度の最大定格を超えてしまい、IC の最大出力電流まで使えない場合がよくあります。また、リアレギュレータは降圧しかできません。これは、負電圧用の場合も同じですが、負電圧の場合はよく混同されるので説明します。負電圧用リアレギュレータは、例えば-5V 入力の場合は、さらに低い-12V を出力することはできません。電位としては-5V から-12V に下がっているのに降圧に見えますが、電圧は-5V から-12V にマイナス方向に増えていますので、マイナス方向に昇圧していることとなります。したがって、できるのは-12V を入力して-5V を出力する動作になります (Figure 8)。

長所	短所
- 設計が簡単	- 入出力電圧差が大きいと効率が悪い
- 部品点数が少ない	- 低効率=発熱が大きい
- 省スペース(放熱が小さい場合)	- 放熱が大きいと実装面積が大きい
- ノイズが小さい	- 降圧しかできない
- 安価	

Figure 8 長所と短所

効率と熱計算

リアレギュレータの効率と熱計算について説明します。前述のように、リアレギュレータを使う上では必須の検討事項です。

リアレギュレータの効率

効率の定義は、投入した電力に対して変換した出力電力の割合で、通常はパーセントで示します。これはスイッチングレギュレータでも同じです。式(2)(3)に効率 $\eta$ の式を示します。入力電流  $I_{IN}$  に含まれる  $I_{CC}$  は IC 自体の消費電流です。ただし、これは小さな値なので負荷電流が大きい時は無視しても構いません。そうした場合、入力と出力の電流を同じとすることができるので、式(4)のように単純に出力電圧を入力電圧で割るだけで計算できます。

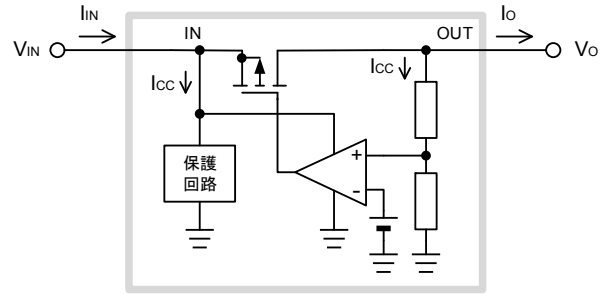


Figure 9 電流経路

$$\eta = \frac{P_O}{P_{IN}} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

$$= \frac{V_O \times I_O}{V_{IN} \times I_{IN}} \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

ただし、 $I_{IN} = I_O + I_{CC}$

$$\cong \frac{V_O}{V_{IN}} \times 100 \quad [\%] \quad (4)$$

ただし、 $I_{CC} \ll I_O$

例えば、5V から 3.3V の変換での効率は 66%と計算できます。昨今のスイッチングレギュレータの効率は 80%~90%以上なので、66%は低いといわざるを得ません。

ここで、入力電圧 5V を 3.8V に変更してみましょう。するとこの条件での効率は 86.8%です。つまり、リアレギュレータでも入力と出力の電圧差が小さいと効率が高くなり、スイッチングレギュレータと変わらない高効率を得られます。Figure 10 を見るとよく判りますが、 $V_{IN}$  がドロップアウト電圧  $V_{DROPOUT}$  に近づけば損失電力が減り効率は高くなります。

このような条件だと、LDO の貢献度は非常に高いものになります。この条件では、入出力差は 0.5V なのでリアレギュレータの選択肢は LDO、しかもドロップアウト電圧が 0.5V 以下の LDO になります。標準型のリアレギュレータではこの条件に対応することはできず、もし、どうしても標準型を使うのであれば、入力電圧は、ドロップアウト電圧を 3V とすると 6.3V 以上必要で、最初の 5V 入力の条件に対応できません。また、効率も 52%に下がってしまいます。逆に 12V から 5V を作るような時は、LDO でも標準型でも効率や損失は変わりません。

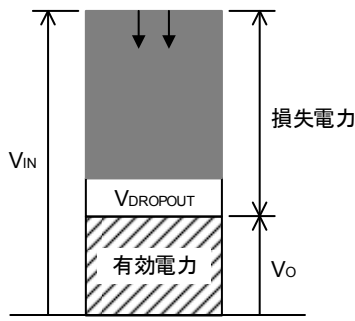


Figure 10 入出力電圧と損失電力の関係

リニアレギュレータの効率は入出力電圧差に依存します。ドロップアウト電圧は、どこまで入出力電圧差を小さくできるかということに対しては関係しますが、式にドロップアウト電圧の項が無いため効率には直接関係しません。

### リニアレギュレータの熱計算

熱計算には、損失電力、パッケージの熱特性パラメータ、パッケージ上面中心温度の情報が必要になります。損失電力は効率計算での計算方法と同じで、単純には入出力電圧差と入力電流を掛けた値です(式(6))。熱特性パラメータはデータシートに記載があると思います。ない場合はメーカーに問い合わせる必要があります。パッケージ上面中心温度は、熱電対をパッケージ上面中心にしっかり固定さえできればパッケージ上面中心温度を精度よく測定できます。

基本はジャンクション(チップ)からパッケージ上面中心までの熱特性パラメータ $\psi_{JT}$ を使います。IC によってはジャンクション(チップ)から周囲(アンビエント)間の熱抵抗 $\theta_{JA}$ が提供されている場合があります(Figure 11)。

考え方としては、式(5)のように損失電力と熱特性パラメータから IC チップの発熱を求め、それにパッケージ上面中心温度を加えることで、チップの温度が求められます。計算した $T_J$ (ジャンクション温度)が $T_{jmax}$ (ジャンクション温度の最大定格)を超えていな

いかを確認します。もし、 $T_{jmax}$  を超えている場合は、いずれかの条件を変更します。これは、すべてが IC のスペック通りに使えるわけではなく、入出力電圧、出力電流、周囲温度によって制限されるという意味です。

$$T_J = P \times \psi_{JT} + T_T \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

$$P = (V_{IN} - V_O) \times I_{IN} \quad [W] \quad (6)$$

$P$ : 損失電力 [W]

$\psi_{JT}$ : 熱特性パラメータ

$T_T$ : パッケージ上面中心温度 [°C]

また、熱抵抗 $\theta_{JA}$ を用いて簡易的にチップ温度を算出することもできます。この場合は周囲温度の情報が必要になります。周囲温度は機器の定格などから、例えば 70°Cのように想定のもので構いません。条件がシビアな場合は実測することもあります。

考え方としては、式(7)のように損失電力と熱抵抗から IC チップの発熱を求め、それに周囲環境温度を加えることで、チップの温度が求められます。

$$T_J = P \times \theta_{JA} + T_A \quad [^\circ\text{C}] \quad (7)$$

$$P = (V_{IN} - V_O) \times I_{IN} \quad [W] \quad (8)$$

$P$ : 損失電力 [W]

$\theta_{JA}$ : 熱抵抗

$T_A$ : 周囲環境温度 [°C]

一般に、定格を超えたからといって入力電圧や出力電圧を変更できる例は少ないと思います。対処として、負荷電流(出力電流)を減らすことは可能かもしれません。この場合、電力供給を受けるデバイスはなるべく消費電流の少ないものを選ぶことになります。他の方法としては、周囲温度を下げることも可能です。自然対流の空冷からファンによる冷却に変更したり、すでにファンがあるのなら冷却能力を上げたり、対流の見直しをするなどです。また、リニアレギュレータに放熱板を取り付け、熱抵抗を下げ発熱を低減する方法もありますが、放熱板のコストとサイズは大きな検討事項になるでしょう。またリニアレギュレータを継続接続するか、IC の入力部に抵抗を挿入して発熱を分散する方法があります。そして、電源の効率を上げて発熱を減らすという観点では、スイッチングレギュレータを使うことを視野に入れます。

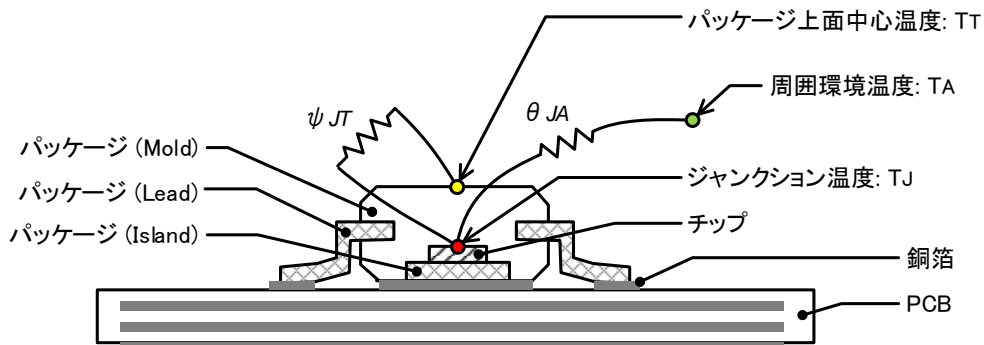


Figure 11 熱特性パラメータ $\psi_{JT}$ と熱抵抗 $\theta_{JA}$ の定義

## 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。
- 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/>