

# 第一章 もっとも簡単な安定化回路

## ツェナーダイオードと抵抗一本の回路

### 1-1 ツェナーダイオードの利用

入力電圧や出力電流によらず出力電圧を一定に保つもっとも簡単な方法として、ツェナーダイオードの特性を利用するという方法があります。図1-1にツェナーダイオードの特性例を示します。注目すべき点は、

1. ツェナーダイオードに逆方向に電圧をかけた場合、ある一定電圧を越えると突然電流が流れるようになる。(この電圧を降伏電圧といいます)
2. ダイオードに流れる電流の大きさにかかわらずツェナーダイオード両端の電圧は一定である。図1-1は、降伏電圧4.7Vのダイオード例です。

の2点です。この、「ダイオードに流れる電流にかかわらずダイオードの両端の電圧は降伏電圧で一定である」という特性を応用して、出力電圧が負荷や入力電圧によらず一定になるような回路を作ることができます。

まず、このダイオードを利用するには、降伏電圧が発生するよう、ダイオードに電流を流さなければなりません。だからといって、たとえば4.7Vの降伏電圧をもつダイオードを直接12Vの電源にそのままつないでしまえば、ダイオードに

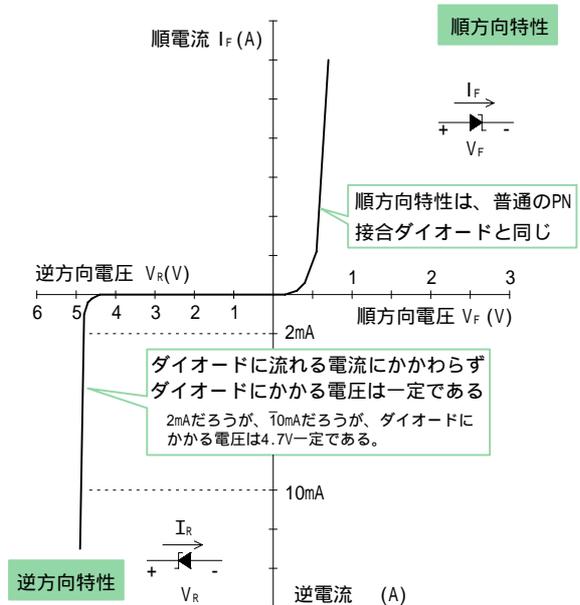


図1-1 ツェナーダイオードの特性

降伏電圧より高い電圧を与えれば電流が流れてくれるので、ダイオード両端の電圧は降伏電圧になってくれる。だからといって、ダイオードをそのまま電源につないでしまうと、ダイオードに大電流がながれて、燃えてしまう。



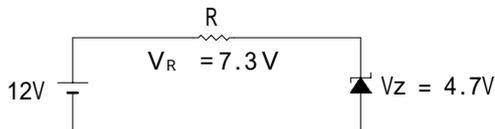
(a)

だから、抵抗をつけて電流を制限すればいい!



(b)

ダイオードの両端の電圧は4.7Vになるとわかっているから、抵抗にかかる電圧は  $12V - 4.7V = 7.3V$  とすぐに計算できる。

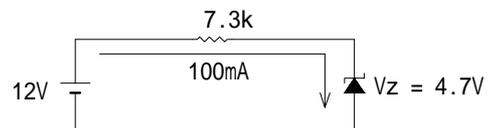


(c)

抵抗にかかる電圧がわかったからあとはオームの法則により、ダイオードに流したい電流を求めれば良い。たとえば100mA流したいのなら、

$$R = 7.3V / 100mA = 7.3k$$

となる。



(d)

図1-2 ダイオードに電流を流す

大電流が流れて、ついには燃えてしまいます。ですから、ダイオードと電源の間に電流制限用の抵抗を挿入し、ある一定以上の電流が流れないようにしてやります。ダイオードの両端の電圧は、降伏電圧であることはわかっていますから、抵抗にかかる電圧は、図1-2(c)より

$$V_R = V_{IN} - V_Z$$

図1-2(d)において、抵抗に流れる電流=ダイオードに流れる電流ですから、オームの法則から、ダイオードに流す電流を  $I_D$  とすると、

$$R = \frac{V_R}{I_D} = \frac{V_{IN} - V_Z}{I_D}$$

となります。図1-2では、入力電圧を12V、 $V_Z=4.7V$ 、 $I_D=100mA$ を例として計算しております。このように入力電圧と、降伏電圧、そして流したい電流の値が決まったら計算で抵抗の値を求めることができます。

さて、こうして、ダイオードに降伏電圧が発生するような電流を流せるようになりました。この計算ができるようになったら、抵抗一本とツェナーダイオードからなるDCDCコンバータをある程度設計できるようになったといえます。図1-3に抵抗一本とツェナーダイオードで構成されたDCDCコンバータを示します。これって図1-2(d)そのものです。まずは、この回路の動作を説明しましょう。

### 1-2 この回路の動作

#### 1) 負荷電流が変動した場合

図1-3の回路に負荷抵抗をつけてみます。すると、負荷抵抗に電流が流れ、図1-4のような電流分布となります。抵抗Rに流れる電流は、ダイオードに流れる電流  $I_D$  と、負荷に流れる電流  $I_L$  の和となります。ダイオードに電流が流れている限り、ダイオードの両端電圧は降伏電圧になってくれています。抵抗Rの両端電圧  $V_R$  は  $V_I - V_Z$ 、そして、 $V_I, V_Z$  は変化しないことから、抵抗Rにかかる電圧は負荷に流れる電流  $I_0$  が変わっても同じである、すなわち抵抗Rに流れる電流は負荷によらず変わらないということです。このことは、たとえば無負荷のときに100mAダイオードに電流が流れていたとした場合、もし負荷に電流を10mA流したら、ダイオードに流れる電流は負荷電流分の10mA減るということです。そして、負荷抵抗を小さくして、どんどん電流を流し、ついにはダイオードに電流が流れなくなると、ダイオードに電流が流れなくなり、出力電圧はRと負荷抵抗  $R_L$  の分圧比で決まるようになります。この様子を示したものが図1-5です。

このことから、この回路の最大出力電流(出力電圧が安定した状態で取り出すことができる最大電流)は、無負荷時にダイオードに流していた電流ということがわかって思います。また図1-6より、仮に出力がショートしてしまっても、この回路には最大164mA( $12V/73 = 164mA$ )までしか流れないということがわかります。したがって、抵抗の電力損失がショート時の電流に耐えられればこの回路は壊れませんから、ショートに対する特別な保護回路を必要としないのです。また、最大出力電流である100mAを越えた出力電流を引っ張り出そうとすると、出力電圧が降下し、負荷を保護してくれます。このように、この回路は抵抗一本とダイオード一本というシンプルな回路ながら、保護動作もしてくれるという特徴を持ちます。

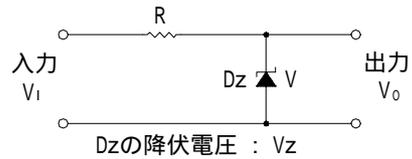


図1-3 抵抗一本とダイオード一本のDCDCコンバータ

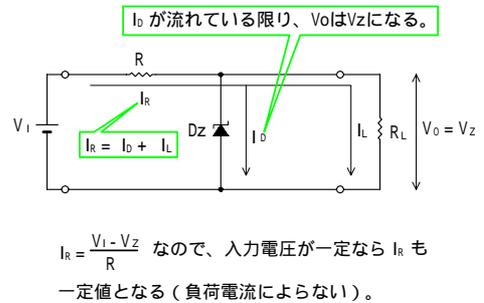
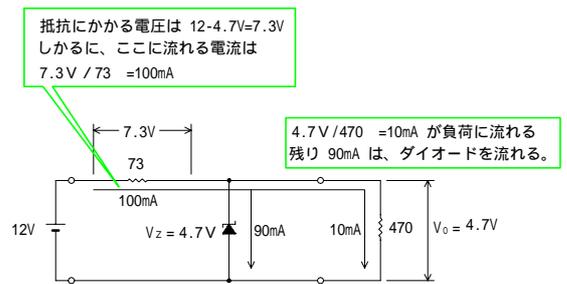
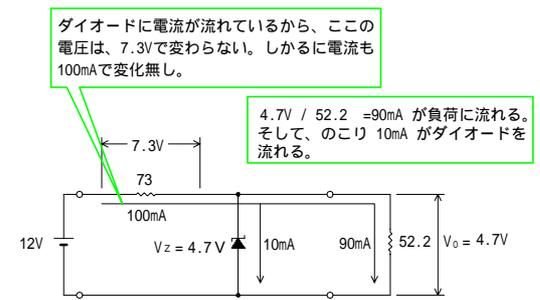


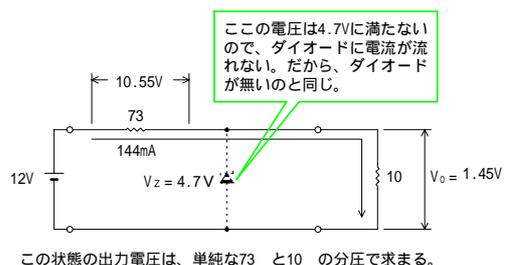
図1-4 この回路の動作



(a) 出力に470 の負荷をつないだ場合

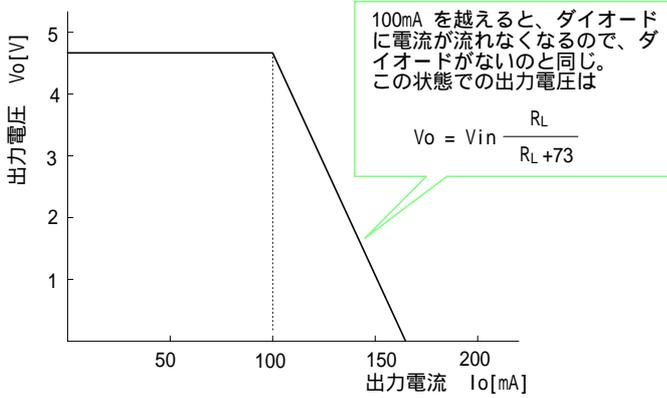


(b) 出力に52.2 の負荷をつないだ場合



(c) 出力に10 の負荷をつないだ場合

図1-5 負荷に対する電流分布



このように、過大電流時に出力電圧を下げて、負荷回路を保護する動作を、**電圧垂下型保護** といいます。

図1-6 出力電圧特性

2) 入力電圧が変動した場合

入力電圧が上昇した場合、ダイオードに流れる電流が増大します。ただ、ダイオード両端の電圧はダイオードに電流が流れている限り変化しませんから、結局出力電圧は変化しません。同様に、入力電圧が下がった場合も、ダイオードに流れる電流が減少するものの、ダイオードに電流が流れている限り出力電圧は降伏電圧のまま一定です。注意することは、入力電圧が上昇すればダイオードや抵抗Rに流れる電流が増大しますのでそれだけダイオードや抵抗の損失が増大するという事です。詳しくは設計の項目で述べます。

さて、このようにツェナーダイオードと抵抗一本で出力を安定させる回路の動作を説明したところで、実際にはどのようにこの回路を設計するのかをみていくことにしましょう。

1-3 設計してみる

ツェナーダイオードの降伏電圧は、それを使用する人が自由に設定できるものではなく、あらかじめ決まっています。代表的なものとして図1-8に示すような降伏電圧をもつツェナーダイオードがあり(例えばRD4.7Eというのは、4.7Vの降伏電圧をもつツェナーダイオードのことです)、逆に考えればこの電圧の出力電圧しか作れないということになります。ここでは、5.1Vの降伏電圧をもつツェナーダイオードを用いて、以下の条件の回路を設計してみます。

出力電圧	5.1V
最大出力電流	50mA
入力電圧	9V

いままでの説明から考えると、最大出力電流が50mAですから、無負荷時に50mAがダイオードに流れるよう抵抗の値を決めてやればよいことになります。したがって、抵抗の値は、

$$R = \frac{V_{IN} - V_Z}{I_D} = \frac{9V - 5.1V}{50mA} = 78\Omega$$

というように計算してあげれば良いということになります。しかし実際には、図1-7に示すように、ダイオードに流れる電流が少ない領域では、ダイオードの両端電圧は一定ではなく、電流によって変動してしまうのです。図1-8のメーカーのデータブックに掲載されている特性図をみても、電流の少ない領域では電圧が変動しています。ただ、この図では、図1-7と違い電流軸が対数メモリなので注意してください。図1-7にしる図1-8にしる、ダイオードに流れる電流が少ないと電圧が変動するという事ですから、言い換えれば図1-3の回路に応用した場合、最大負荷付近では出力電圧が変動してしまうということ。ですから、最大負荷時にもダイオードにそれなりに電流、図1-7におけるA点で示される電流を流しておかなければなりません。図1-7のA点はどのくらいの電流なのかは、ダイオードの種類(降伏電圧や許容最大損失など)により変わってきますので、データブックを参考に決めてください。ここではA点を3mAとします。したがって、無負荷時にダイオードに流す電流は50mA+3mAで53mAとなります。したがって抵抗の値は

$$R = \frac{V_{IN} - V_Z}{I_D} = \frac{9V - 5.1V}{53mA} = 73.6\Omega$$

E24 系列に合わせると

$$R = 68\Omega$$

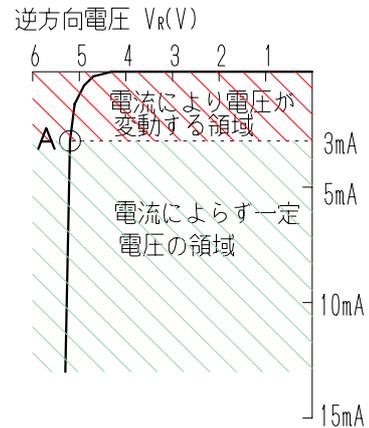


図1-7 ツェナーダイオードの実際特性

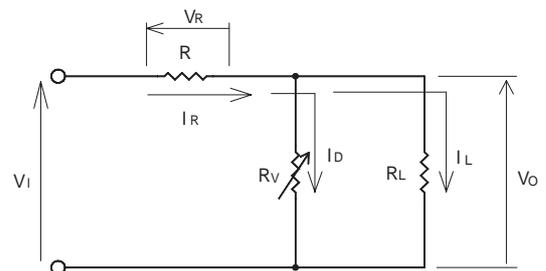
コラム ショント方式

図Aのように、Voが一定になるよう、負荷電流ILと並列に流す電流IDを調整するのがこの方式。この章で取り扱っているかゆがまさしくこのショント方式の電源なのです。

この回路の出力電圧は

$$V_o = V_i - V_R$$

なので、IDを変化させることにより、VRが変化、すなわち出力電圧Voを調整できます。



図A ショント方式とは

となります。E24系列にあわせるとき、75 のほうが値に近いのですが、計算結果より大きい抵抗をつけてしまうと、最大電流がとれなくなってしまいますので、ここでは計算結果より小さい値の抵抗値でもっとも近いものということで68としてあります。つぎに、抵抗やダイオードが消費する最大消費電力を計算し、実際にどのくらいの許容損失をもつ素子を使えば良いかを求めてみましょう。

ダイオード一番電流が流れるときは、出力になにもつながない、つまり無負荷状態のときですから、このときダイオードはもっとも損失を発生しているときになります。このときの損失 $P_D$ は、 $I_{D(max)}$ のときのダイオードの両端電圧を $V_{D(max)}$ (ダイオードの両端電圧は、 $I_D$ によらないとっておりましたが、実際には少し変動し、 $I_D$ が大きいほどダイオード両端電圧は上昇してしまいます。ここでは単純化のため、ある程度電流が流れていれば変動しないと仮定してしまいます)、そして抵抗の値をE24系列に直しましたからダイオードに流れる最大電流を計算しなおして、

$$I_{D(max)} = \frac{V_{I(max)} - V_{Z(max)}}{R} = \frac{9V - 5.1V}{68\Omega} = 57.4mA$$

$$P_D = I_{D(max)} \cdot V_{Z(max)} = 57.4mA \times 5.1V = 0.29W$$

したがって、500mWの許容損失を持つRD5.1E(NEC)というツェナーダイオードを用いることにします。

次に抵抗に必要な電力容量を求めてみましょう。抵抗にもっとも電流が流れるのは、出力が短絡したときです。このとき抵抗は入力電圧そのものが加わりますから、

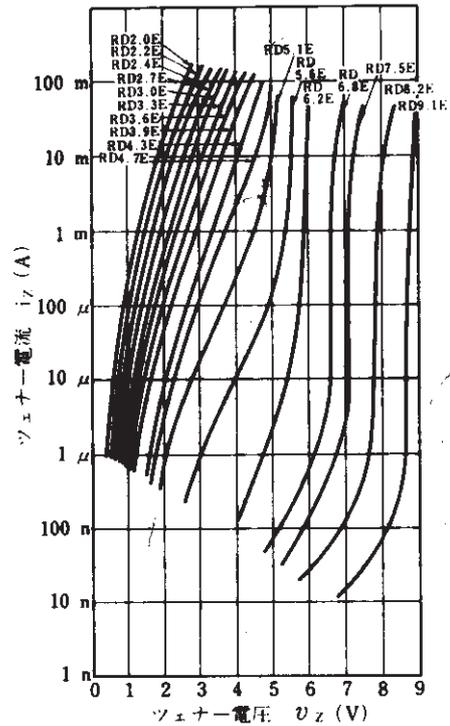
$$\therefore P_{R(max)} = \frac{V_R^2}{R} = \frac{9^2}{68} = 1.2W$$

となります。ここでは2Wの許容損失を持つ抵抗を用いることにしましょう。

これで、この回路の設計が終わりました。せつかく作ったのですから特性を測定してみましょう。

#### 1-4 特性を測定する

図1-9にこの回路の出力電圧変動特性と効率を示します。出力電圧を5.1Vにしたつもりでも、実際にはもっと高い電圧

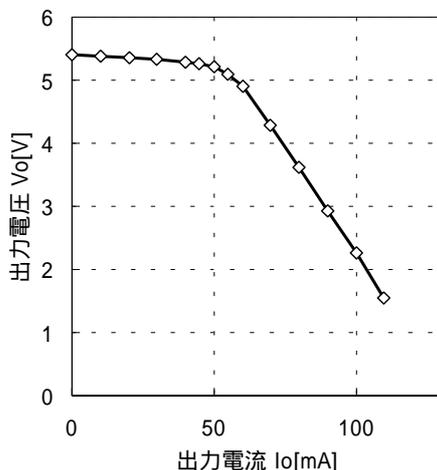


(1988年 NEC 小信号トランジスタ・ダイオードデータブックより)

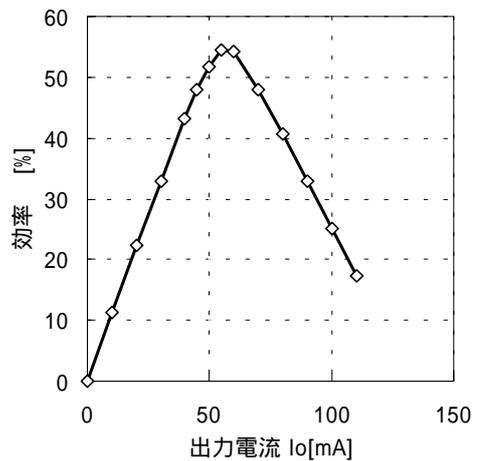
図1-8 ツェナーダイオードの特性図

が出ております。なお出力電圧自身はそこそこ安定しておりますが、もしもっと低い電圧を出力回路を設計した場合、図1-8から、結構出力電圧が変動する回路となります。例えば図1-8一番右の9.1V用のツェナーダイオードRD9.1Eと、図1-8一番左2.0V用ツェナーダイオードRD2.0Eの特性を見比べてみれば、RD2.0Eのほうは、流す電流によりかなり電圧が変動していることが見て取れます。いままで、ツェナーダイオードに電流が流れていればダイオード両端の電圧は変動しないとっておりましたが、実際にはこのように、そこそこ変動してしまうのです。

図1-9(b)から、この回路の効率はかなり悪いことがわかります。つねにダイオードに電流を流しておくため、負荷が軽いときは特に効率が悪くなります。したがって、この回路は出力電流が非常に小さい回路にしか応用できません。



(a)



(b)

図1-9 出力電圧特性

## 1-5 この回路のまとめ

- 1) 設計値である最大出力電流以上の電流を取り出そうとすると、出力が降下する。

最大出力電流以上の出力電流を取り出そうとしたとき、電源側の電圧が低下してくれるという動作は、負荷回路の保護になります。つまり、負荷につながる回路が、何らかの異常をきたして、電流消費量が増加した場合、電源側で電圧を落として負荷に電流を供給しないようにしてしまうのです。

- 2) 出力をショートしても、抵抗Rにより流れる電流を制限する。

電池の出力をショートしてしまうと、非常に大きな電流が流れて、あっというまに電池が無くなってしまいます。そればかりでなく、大電流により配線が熱を持ち、やがて発火したりしてしまうこともあります。また、電池でなく商用電源から目的の電圧を作り出している電源の場合、出力ショートにより電源回路自身に大電流が流れて、発火を起こしたりすることもあります。しかし、この回路のように出力がショートしても電流が制限されていれば、その電流に耐えられるような回路素子を使っていれば大丈夫となります。このように、出力をショートしても電源が壊れないよう保護してくれます。

- 3) 無負荷状態でも、安定化回路入力には最大負荷電流と同じだけの電流が流れ込む。

無負荷であろうと、最大負荷であろうと、この安定化回路には常に最大出力電流を取り出したときと同じだけの電流が流れ込んでいます。つまり、無負荷のときまで電気を食っているわけで、省エネが叫ばれる昨今としては、あまり具合のよろしくない回路なのです。

以上のように、この安定化回路はもしもの時に保護をしてくれるものの、常に電気を食っている損失の大きい回路といえます。ですが、出力電流が小さくてもいいから(数十mA以下)、安定した電源が欲しいというときに、非常に重宝する回路です。なんといっても回路がシンプルですし、設計もちょちょいのちょいと(ちょっと使いという意味で)でき、さらに、抵抗もツェナーダイオードも安いので、常備しておけばすぐ作れるという利点があります。自分の良く使う電圧のツェナーダイオードを常備品として持っておくと便利かもしれません。

---

改定履歴

下記を修正しました。ここにお詫びと、お知らせ頂いた方にお礼を申し上げます。

2008年2月

P3 図番号修正

P4 図番号修正・説明追加