

ハードウェア・デザイン・シリーズ

# 実用電源回路 設計ハンドブック

整流回路からスイッチング・レギュレータまで

戸川 治朗 著



見本

## まえがき

メモリを代表とする IC 関連の技術の進展にはめまぐるしいものがあります。それとあいまって電子機器の高性能、高機能化も急テンポで進んでいます。また、時代の流れとってはそれまでですが、低価格、小型化の進行度合にも目をみはるものがあります。

とりわけ、VTR カメラ、ワープロ、ラップトップ・パソコンなどの電池駆動型ポータブル機器が急激に普及をしだしています。こうしたものは、小型・軽量化と同時に低消費電力で電池の使用時間を少しでも長くできるような工夫がなされていなければなりません。

そうした観点からすると、種々の回路や部品を動作させるための電源装置に対しても、機器の仕様に合わせて最適の設計がなされていなければなりません。ただ必要な電圧と電流が取ればよいというわけにはいかなくなってきたのです。

そのために、市販されている汎用タイプのモジュール電源だけでは特性面や経済性の面からなかなか満足のいかない場合が多くなってきています。つまり、どうしても個別に専用の電源装置を作らなければならないことがあるのです。

電源装置は、電圧や電力を変換するだけの単純な機能ですから、回路構成もほかの電子回路に比較して決して複雑ではありません。そのために、安易に設計をしがちで無駄な部品を使用したり信頼性を低下させたりということが多々あるようです。

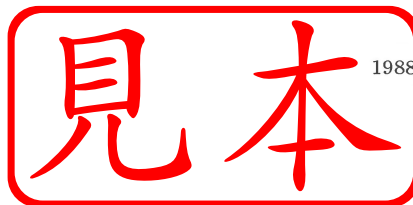
ところが、機器本体で消費する電力がすべて電源部を通過するわけですから、定電圧制御用のトランジスタやレギュレータ IC などは高圧、大電流で動作させなければなりません。そのために半導体には電力損失が発生し、発熱します。

また、スイッチング・レギュレータにおいては、大変大きな雑音を出してしまいます。機器を動作させるための心臓部ともいえる電源回路ですから、このような問題に対しては慎重に対処しなければ、目的とする機器の性能を得ることはとうていできるわけがありません。

そこで本書は、広範囲にわたる電源装置の設計方法を多くの回路例を掲げながら解説してみました。整流回路の動作のしくみから、大型のスイッチング・レギュレータにいたるまで、実際に応用できる種々の回路方式を掲載してあります。とりわけ、オンボード型のローカル・レギュレータとして活用できる DC-DC コンバータなど、専用 IC の使用例をなるべく多くとり入れるように心掛けたつもりです。回路の設計だけではなく、放熱やノイズ対策に関した部品の実装方法についても述べてあります。

また、応用設計が可能ないように基礎的な技術について多くのページをさいていますので、若干煩雑な計算式も含まれているかも知れません。とくに、トランスやコイル類の設計は重要な部分ですが、なかなか難しいことが多く、たんに数値の計算だけでは十分な特性が得られません。そこで、ノウハウ的な内容も可能なかぎり入れたつもりですが、最終的には実験的に決定しなければならない要素が多いということを覚悟してください。

たとえ簡単な電源装置であっても、自分で設計・組み立てをしたものが目的通りに動作したならば、それはそれはうれしいものです。ぜひ本書を参考としながら、挑戦してみてください。



1988年3月 著者

本書はオンデマンド発行にあたり、2色刷りだった本文を1色に変更しました。ご了承ください。



# プロローグ

## 電源回路技術のあらまし

- なぜ安定化電源が必要か
- 安定化電源二つの方式

### なぜ安定化電源が必要か

#### ● 電子回路は直流電源で動作する

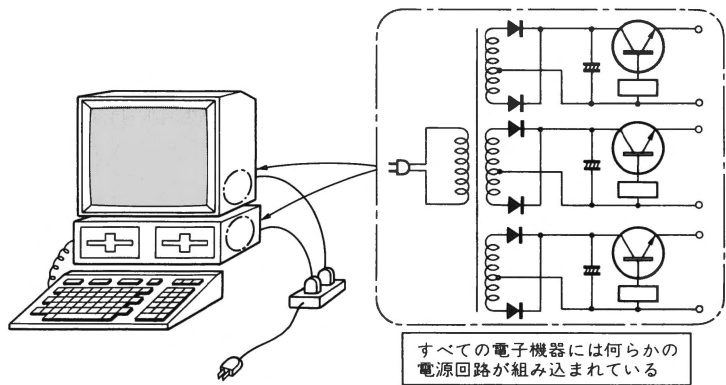
あたりまえの話ですが電子機器はすべて、動力源となる電源部がなければ動作できません(図1)。しかも、その大半が5Vや12Vの安定化直流電源を必要とします。そして、これらの直流電源の元になるもの多くは、ハンディ・タイプのポータブル機器はバッテリー

(電池)であり、それ以外は商用電源のAC100V/200Vです。

図2に示すように、商用電源を入力源とするものでは、電源トランスによって必要な値へ電圧を変換し、整流して直流電圧にしてから回路や機器へ供給します。しかし、整流しただけの直流電源では、入力AC100Vが変化したり、トランスや整流ダイオードの電圧降下などで電圧の安定度や精度が悪く、十分に回路や機器の性能を引き出すことができません。

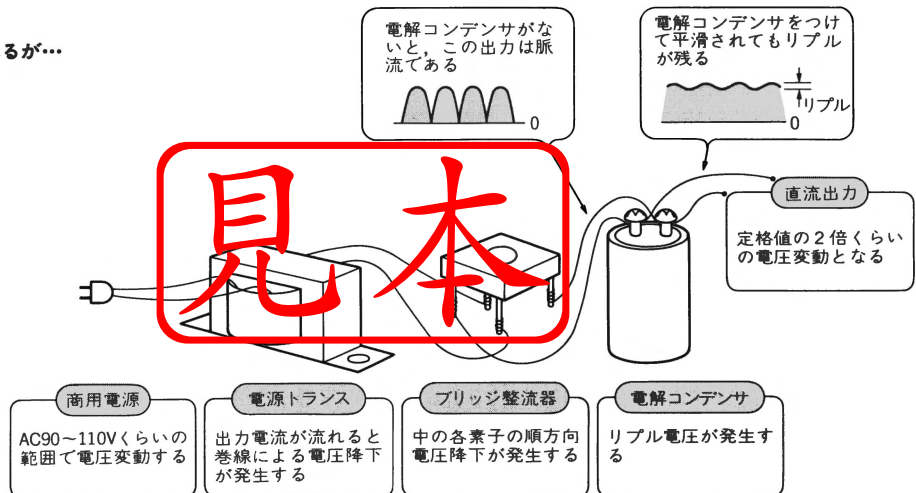
〈図1〉

電源回路は電子機器の心臓部



〈図2〉

直流電源は簡単に作れるが...



●電圧変動の原因

図2を結線図としたのが図3ですが、この二つの図から、直流出力電圧の変動する要因を考えてみます。

▶商用電源電圧の変動

日本国内は電源事情が大変よく、あまり商用電源電圧の変動はありません。通常では、100Vに対して±5V以内の変動と考えてさしつかえありません。しかし、例えばすぐ近くに大型の冷房機など電動機類があって、それが起動した時には、100Vの電源電圧が、90Vくらいまで低下することはめずらしくありません。

▶電源トランスの電圧降下

トランスの大小によって異なりますが、細い銅線を数百回以上も巻線しているので、電線の抵抗によって電圧降下が発生します。

また、トランスの1次側、2次側にリーケージ・インダクタンスが直列に挿入されるので、これによる電圧降下も発生します。

▶整流ダイオードの電圧降下

整流用として多く使われるブリッジ・ダイオードは、図3のように4個のダイオードで構成されていますが、ダイオードは、流れる電流によって順方向の電圧降下が変化してしまいます。

▶リップル電圧

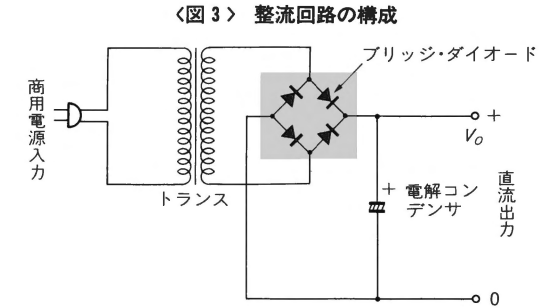
商用電源の交流電圧はサイン波なので、電解コンデンサによって平滑しても、必ずリップル電圧が発生します。これは、電源周波数の2倍で連続的に変化する電圧変動と考えることができます。

しかも、実際には図4に示すような負荷の変動も考慮しなければなりません。したがって、図3のような、ただの整流しただけの電源では大きな電圧変動が発生してしまいます。そして、すべての条件を考慮すると、入力する商用電源の変動に対して2倍以上の電圧変動になってしまいます。

●ICや電子部品の動作に合う電圧を作る

トランジスタやICなどの半導体はもとより、モータやリレー、ランプなど、すべての電子部品には印加できる最大電圧が規定されています。そして、この電圧値を越えてしまうと、電子部品が破損したり、寿命が極端に短くなったりしてしまいます。

例えば、デジタルICのTTLでは、定格電圧が+



5Vで、動作を保証する電圧は4.5V~5.5V、最大電圧は7Vになっています。

また、ランプなどは印加電圧が10%上昇すると、消費電力は2乗で増加して1.2倍以上になります。そして、それによって寿命は半減するといわれています。

さらに、OPアンプなどによる微弱信号を増幅する回路では、電源電圧の変動が信号に重畳して、信号の変動やノイズとなってしまいます。その結果、必要とする精度や安定性が得られなくなってしまいます。

このように、電源電圧の変動は機器の性能や信頼性の面において大きな障害要因となってしまいます。

電源回路は、まさに電子機器の心臓そのものです。ただの整流電源ではほとんどの装置が満足に動作することができません。そこで、電子的な手段を講じて安定な電圧を得ようとするのが安定化電源です。

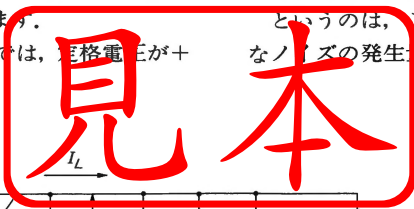
安定化電源 二つの方式

現在、主に用いられている直流安定化電源の方法としては、大別してドロップ・レギュレータとスイッチング・レギュレータと呼ばれる方式があります。

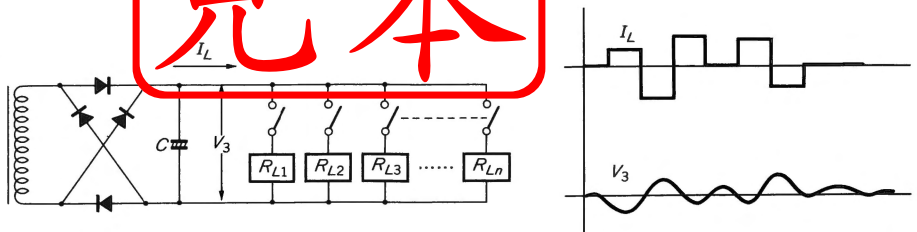
●安定度を優先するときはドロップ・レギュレータ

図5に示すのがドロップ方式と呼ばれるもので、シリーズ・レギュレータやシャント・レギュレータと呼ばれるものがこれに属します。そして、これらの方法は特に電圧精度(安定度)を要求されるものや、小さな電力を扱うものに好んで使用されています。

というのは、このドロップ・レギュレータは電氣的なノイズの発生量が非常に少なく、直流出力電圧に含



〈図4〉電子回路の負荷変動



RL1~RLnは各デジタル素子の動き(負荷変動)

# 第1章 — まずは直流電圧を得るために 整流回路の設計法

- 整流回路のいろいろ
- 整流ダイオードの選び方
- 平滑用コンデンサの選び方など

ここでは、商用電源の AC 100 V を直接(スイッチングレギュレータの場合)か、あるいは電源トランスによって(ドロップ型レギュレータの場合)変換した交流電圧を、直流電圧に整流する回路について説明します。

## 整流回路のいろいろ

### ● ダイオード1本による整流回路

商用電源は、50 Hz か 60 Hz のサイン波で、半周期ごとに正負の対称電圧波形です。図1-1のように、1本のダイオードで、正負どちらかを半周期だけ整流するものを半波整流回路といいます。

例えば、正の半周期で電流を供給しようとする、負の半周期ではダイオードに逆電圧  $V_R$  が、

$$V_R = \tilde{e}$$

として印加されます。つまり、ダイオードは正の半周期間にコンデンサに充電された電荷が、逆方向に放電

されるのを防止する目的で使われるのです。

注意すべきことは、整流された電圧波形は半波のサイン波ですが、コンデンサへの充電電流はパルス状になってしまうことです。直流出力電流  $I_o$  は、図1-2のようにコンデンサへの充電電流  $i_c$  の平均値となるので、

$$I_o = \frac{1}{T} \int_0^t i_c \cdot dt$$

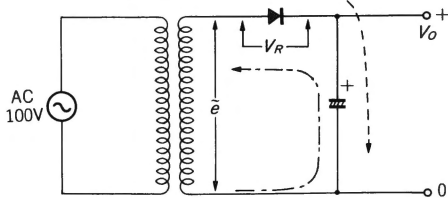
となります。

このように半波整流回路では、コンデンサへの充電電流  $i_c$  は電源周波数の1周期に1回しか流れないので、電流の最大値  $i_{cP}$  はその分大きくなってしまいます。ですから半波整流回路は、出力電流が大きいとリップルを低減するために大容量の平滑コンデンサを必要とします。そのために、数十 mA 出力程度までの小電力回路にしか用いられることがありません。

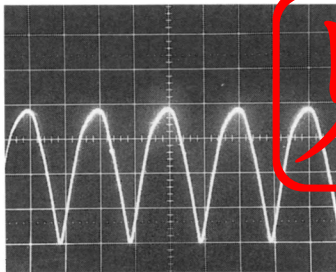
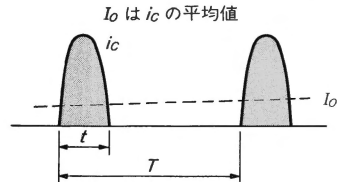
### ● ダイオード2本による整流回路

ダイオードが1本ですんだ半波整流回路に対して、ダイオードを2本使ってサイン波の正負両方向共に整

〈図1-1〉 半波整流回路



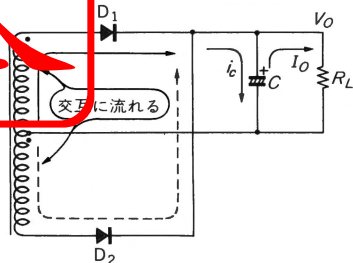
〈図1-2〉 半波整流時のコンデンサへの充電電流



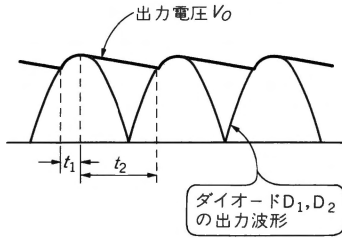
〈写真1-1〉 両波整流の脈流波形(平滑コンデンサなし)  
(5 V/div, 5 ms/div)

見本

〈図1-3〉 両波整流回路



〈図1-4〉 両波整流回路の波形



流する方式として、両波整流回路があり、全波整流回路とも呼ばれています。

この両波整流回路は図1-3のように、トランスはセンタ・タップを中点として二つの巻線が必要です。トランスの各々の巻線は、・印が同極性となるように接続されていますから、正の半サイクルではダイオード  $D_1$  が導通し、負のサイクルでは  $D_2$  が導通します。

したがって、整流波形は図1-4のように  $180^\circ$  ずつ繰り返される、サイン波形の半波の脈流となります。写真1-1がこの波形です。しかし、このままでは電圧が  $0V$  になる点が発生してしまうため、平滑コンデンサ  $C$  を接続しなければなりません。

このように、ダイオード整流回路のすぐ後に平滑コンデンサを入れる方式を、コンデンサ・インプット型整流といいます。

● 平滑コンデンサの大きさで決まる整流回路の特性

コンデンサは電荷を蓄える作用がありますから、印加された波形が脈流であっても、整流出力は図1-4のように  $0V$  まで下がらずに直流となります。しかし、電池のような完全な直流ではなく、三角波状のリプル分を含んでいます。

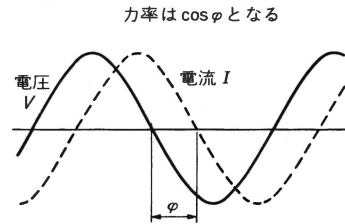
電圧が上昇している  $t_1$  期間は、平滑コンデンサ  $C$  に充電されていた電圧よりも、ダイオードを通して供給される脈流の電圧のほうが高い期間です。そして、この間にはコンデンサへの充電電流  $i_c$  が流れます。

逆に、 $t_2$  期間は平滑コンデンサ  $C$  の電圧のほうが高いために充電電流は流れず、コンデンサから負荷  $R_L$  へ



〈写真1-2〉 両波整流回路のリプル電圧と充電電流波形  
(上 ;  $0.5V/div$ , 下 ;  $0.5A/div$ ,  $2ms/div$ )

〈図1-5〉 電気回路理論上の力率



の放電電流だけが流れます。

リプル電圧の下降する傾きは、負荷  $R_L$  とコンデンサ  $C$  の時定数で定まりますから、出力電流  $I_o$  が大きく(つまり、負荷  $R_L$  が小さく)なればなるほど、リプル電圧も増加してしまいます。

ですから、リプルを大きくしないようにするには、出力電流  $I_o$  に比例して、平滑コンデンサ  $C$  の容量を大きくしなければなりません。

写真1-2 に実際のリプル電圧と充電電流との関係を示します。

なお、この整流回路の出力電圧の最大値は出力電流  $I_o$  に無関係に脈流電圧の最大値です。したがって、サイン波の実効値  $e_{rms}$  の  $\sqrt{2}$  倍、すなわち  $1.41 \times e_{rms}$  となります。

● コンデンサ・インプット型整流回路は力率が悪い

さて、コンデンサ・インプット型の整流回路では、図1-4のように必ず  $t_1 < t_2$  であり、通常の場合はその比率が  $1:5$  程度になってしまいます。そのため、充電電流  $i_c$  のピーク値  $i_{cp}$  は、整流回路の出力電流  $I_o$  の比率で増加してしまいます。もちろん、 $i_c$  の平均値は常に  $I_o$  と等しくなければなりませんので、コンデンサ  $C$  への充電電流の実効値  $i_{crms}$  は、

$$i_{crms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_1} i_c^2 dt}$$

で表され、大きな値を示します。

そして、この電流  $i_{crms}$  がダイオードやトランスに流れ、整流回路への入力電流となります。その結果、AC入力側からみた力率  $\cos\phi$  は、

$$\cos\phi = \frac{W}{V \cdot A}$$

で表され、これを悪化させることになります。

$V \cdot A$  は交流回路の電圧、電流の実効値を表し、 $W$  は交流入力電力を表しています。この値は、およそ  $0.55 \sim 0.6$  程度と考えるとさしつかえありません。

電気回路理論という力率とは、図1-5のような、電流と電圧の位相差のことですが、コンデンサ・インプット型整流においては位相差はほとんどなく、交流電流の実効値が大きくなるために、皮相電力  $V \cdot A$  が増大



# 第2章 — 直流安定化の基本を学ぶために もっとも簡単な安定化電源

- 定電圧ダイオードと安定化電源
- 基準電圧 IC とその利用技術

安定化電源を作るにはいろいろな方法がありますが、もっとも基本となるのは定電圧ダイオード、あるいはこれと似た働きをする基準電圧 IC を利用することでしょう。これらは、目的とする直流電圧(5V 出力なら5V 用、10V 出力なら10V 用といった具合)を得るためには欠かせないものです。

## 定電圧ダイオードと安定化電源

### ● 定電圧ダイオードの働き

最も簡単な安定化電源は、図2-1のように抵抗と定電圧ダイオード各1本ずつで構成することができます。

直流入力電圧は、もちろん出力電圧よりも高くないといけません。出力は、定電圧ダイオードと並列となるので、出力電圧の設定は定電圧ダイオードの選定によって決定されるという簡単なものです。

したがって、定電圧ダイオードは種々の直流安定化電源の基準電圧(出力電圧を決める基準となる電圧)としても広く使用されています。

さて、一般のダイオードは、電流は順方向にしか流さないという性質がありますが、一方では、逆方向に電圧を印加していくと、あるところで急激に電流が流れ始める点があります。これをブレイク・ダウン(ツェナ現象)といい、この時の電圧をブレイク・ダウン電圧

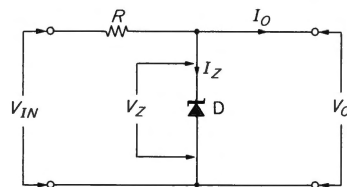
と呼んでいます。これは、一般のダイオードでは逆耐電圧  $V_{RM}$  と呼んでいます。これを利用したのが定電圧ダイオードです。

定電圧ダイオードの特性を図2-2に示します。右側の特性(順方向)は一般のダイオードと同じですが、左側に注目してください。急激に電流が流れ始める現象があるでしょう。これを降伏現象(ブレイク・ダウン)といいます。さらに印加電圧を増加しても電流が増えるだけで、ダイオード両端の電圧はあまり変化しない特性を示します。つまり、この部分が定電圧特性を示しているわけです。

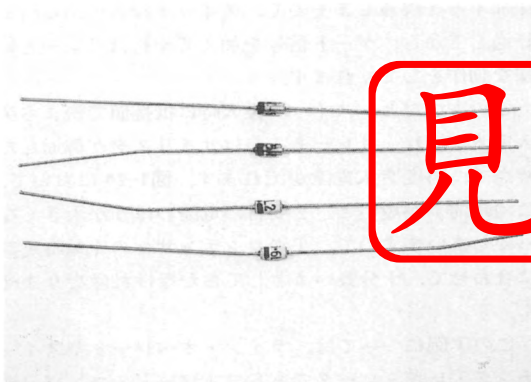
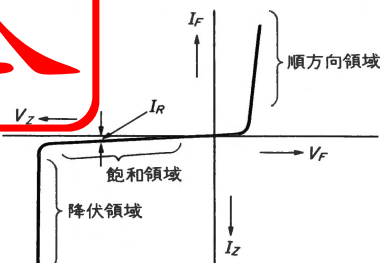
定電圧ダイオードは別名、ツェナ・ダイオードとも呼ばれていますが、これはこの降伏現象(ツェナ現象)を利用しているからです。

定電圧ダイオードは、一般のダイオードの降伏現象と比較して鋭角にこの領域に達します。そして、ダイオードの製造工程でこの降伏電圧(ツェナ電圧)が種々に制御され、各種のツェナ電圧値をもった定電圧ダイオードが作られています。

〈図2-1〉 最も簡単な安定化電源



〈図2-2〉 定電圧ダイオードの電圧-電流特性



〈写真2-1〉 定電圧ダイオードの外観

● 定電圧ダイオードの定電圧特性

ところで、降伏領域…定電圧ダイオードの働きをする領域…の電圧-電流特性 ( $V_Z-I_Z$  特性という)は、必ずしも横軸に対して垂直とはならず、ある傾斜をもっています。これは、図2-3のように定電圧ダイオードに直列に抵抗が挿入された等価回路となるからです。この抵抗を一般に動作抵抗  $r_z$  と呼びますが、これが定電圧の安定性に強く影響します。

〈図2-3〉 定電圧ダイオードの等価回路

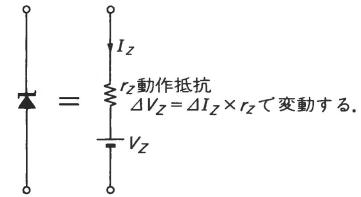


図2-4 に各電圧値の定電圧ダイオードの  $V_Z-I_Z$  特性を示します。動作抵抗  $r_z$  は、電圧-電流の微分値でかなり小さな値ですが、電流の変化  $\Delta I_Z$  によって降下電圧  $\Delta V_Z$  が、

$$\Delta V_Z = \Delta I_Z \times r_z$$

だけ変化してしまいます。

したがって、動作抵抗  $r_z$  は低いほうが電圧安定度が良くなります。

動作抵抗  $r_z$  は、図2-5 のように電圧値によって大きく異なります。7~8V のものももっとも低く、これより高い電圧のものでも低い電圧のものでも、動作抵抗は高くなります。また、流す電流値  $I_Z$  によっても大きく変化しますので、ある程度ツェナ電流  $I_Z$  を流してやらないと、電圧安定度がよくなりません。

● 定電圧ダイオードの温度特性

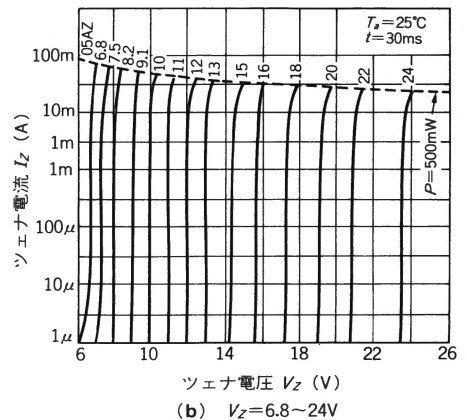
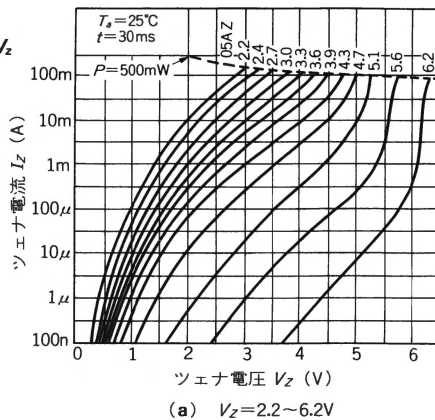
定電圧ダイオードの電圧  $V_Z$  は、図2-6 のように素子の温度によっても変化します。これを温度特性といい、5~6V を境界として、それより低い電圧値のものは負の温度係数、高いものは正の温度係数をもっています。

また、図2-7 のように、5.3V 付近の定電圧ダイオードでは、温度を 0°C ~ 50°C まで変化させても電圧値は 0.5% ほどしか変化しません。したがって、温度に対して安定な電圧を得ようとする時は、温度係数がほぼ 0 の 5.5V 前後のものを使用します。

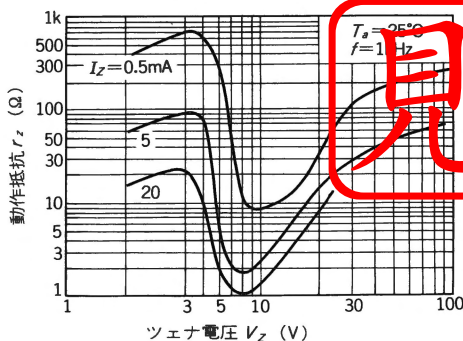
あるいは図2-8 に示すように、一般用ダイオードの順方向電圧降下が約 0.6V で負の温度係数 (-2.4 mV/°C) をもっていることを利用し、7V 前後の正の温度係数をもった定電圧ダイオードとを直列に接続し、

〈図2-4〉

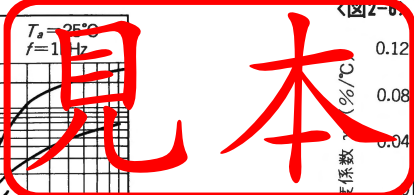
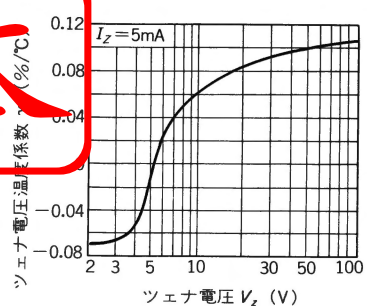
定電圧ダイオードの  $I_Z-V_Z$  特性例



〈図2-5〉 定電圧ダイオードの  $r_z-I_Z$  特性



〈図2-6〉 定電圧ダイオードの  $\gamma_z-V_Z$  特性





# 第1章 — 回路方式と使用部品のポイント

## スイッチング・レギュレータのあらまし

- スイッチング・レギュレータの基本的な方式
- トランスとチョーク・コイルはどうするか
- 使用する電子部品など

### スイッチング・レギュレータとは

#### ● 方式はいろいろあるが

昨今の電源市場(つまり、各種電子機器に使用される電源回路、電源装置)は、特にアナログ回路的な面で文句がなければスイッチング・レギュレータを使うということがあたり前ようになってきたようです。したがって、それだけにスイッチング・レギュレータの方式は種々の目的にあわせて多岐にわたっていて、正確な区別すら難しいような状態です。

しかし、それでも大ざっぱに分けてみると表1-1のような分類ができ、チョップ方式と呼ぶものとコンバータ方式と呼ぶものに大別できそうです。

ただし、チョップ方式というのは基本的に入出力間を電気的に絶縁することができませんので、商用電源を使用するライン・オペレート型電源としては使用できません。したがって、これはスイッチング・レギュレータと呼ぶにはふさわしくないかもしれませんが、直流から別の直流電源を得るという DC-DC コンバータの用途には使用できます。つまり、+5V 電源から-5V 電源を作ったりする用途です。

ということで、このチョップ方式はオンボード・レギュレータなどによく使用されています。これについては第2章で数多くの事例を紹介します。

本格的なスイッチング・レギュレータはコンバータ方式と呼ばれるものですが、その中でも主流になって

いるのが、

- ・ 小型(小容量)では RCC 方式
- ・ 中容量では フォワード・コンバータ方式
- ・ 大容量では 多石式コンバータ方式

と呼ばれるものです。これらについては第3章～第5章でくわしく紹介することにします。

それから、これはスイッチング・レギュレータとは明らかに異なりますが、似たような技術を使うものに DC-DC コンバータというのがあります。これは電圧を変換する作用だけでレギュレータ(電圧安定化)としての機能は特に用意しない限り持ち合わせてないというものです。

しかし、この DC-DC コンバータもスイッチング・トランジスタとトランスを利用するものとして、スイッチング・レギュレータに似た動作と機能をもっていますので、あえて第2部の中でとり上げ、第6章以降で応用例もふくめて紹介することにします。

#### ● シリーズ・レギュレータとの損失の違い

さて、従来までの主流であったシリーズ・レギュレータは、入力電圧  $V_{IN}$  と出力電圧  $V_O$  との差分を、図1-1に示すように制御トランジスタのコレクター-エミッタ間電圧  $V_{CE}$  として背負わせて、出力電圧を定電圧化させていました。したがって、この状態で出力電流  $I_O$  が流れると、これは制御トランジスタのコレクタ電流として流れるために、トランジスタの損失  $P_C$  が、

$$P_C = I_O \cdot (V_{IN} - V_O)$$

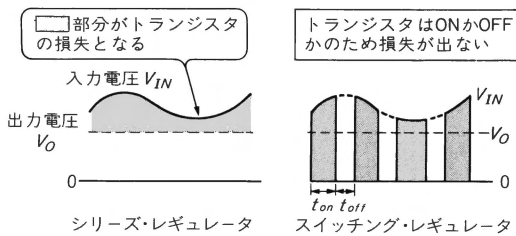
となってしまいました。これは式からも明らかなよう

〈表1-1〉

スイッチング・レギュレータを種類分けしてみると

スイッチング・レギュレータ	
・ <b>チョップ方式</b> (非絶縁型) …… 小型オンボード・レギュレータなど …… 第2章	
・ <b>コンバータ方式</b>	
・ ライバク・コンバータ方式	→ RCC方式 (絶縁型) …… 小容量 50W くらいまで …… 第3章
・ フォワード・コンバータ方式 (絶縁型) …… 中容量 150W くらいまで …… 第4章	
・ 多石式コンバータ方式 (絶縁型) …… 大容量 300W くらいまで …… 第5章	
DC-DC コンバータ	
・ ロイヤー方式	→ (絶縁型) …… カーバッテリー用インバータ …… 第6章
・ ジェンセン方式	→ (絶縁型) …… など

〈図1-1〉 シリーズ・レギュレータとスイッチング・レギュレータの得失



に、出力電流、およびトランジスタに加わる電圧が直接消費電力に効くため、たいへん大きな値となるのが一般的です。

これに対してスイッチング・レギュレータは、トランジスタが完全に ON 状態か、OFF 状態かの繰り返し（これをスイッチング動作という）で、出力電圧を安定化します。このときトランジスタのコレクタ-エミッタ間の電圧  $V_{CE}$  は、トランジスタが完全に ON 状態では  $V_{CE(sat)} \leq 1V$  ですから、この間にコレクタ電流  $I_C$  が流れても、発生する電力損失は大きくなりません。

また、スイッチング・トランジスタが OFF 状態ではコレクタ電流が流れませんので、当然、電力損失の発生がありません。これがスイッチング・レギュレータの損失が小さいというポイントです。

ただし、このままでは出力は直流ではなくパルス波形となってしまいますから、スイッチング回路の後には整流、平滑回路を付加して直流に変換しなければなりません。

● **スイッチング・レギュレータの整流、平滑回路**

スイッチング・レギュレータにおける整流、平滑回路は、コンデンサ・インプット型とチョーク・インプット型の2種類がありますが、これはスイッチング・レギュレータの回路方式によって使い分けられています。

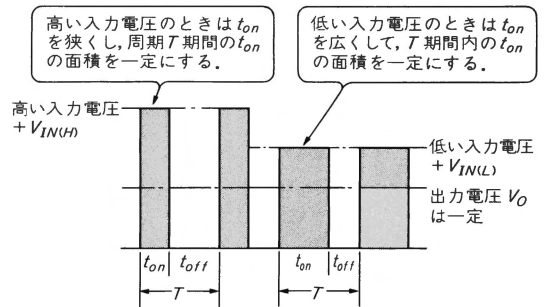
例えば降圧型チョップのスイッチング・レギュレータではチョーク・インプット型を、昇圧型チョップや極性反転型チョップではコンデンサ・インプット型整流方式が用いられます。そして、図1-2に示すようにいずれにしてもトランジスタの ON と OFF の比率を変化させると、直流の出力電圧を任意の定電圧にすることができま

す。ですから、いくら入力電圧が変動しても、スイッチング・トランジスタは ON 状態のときに電流を流すだけで、その間の損失が増加することはありません。

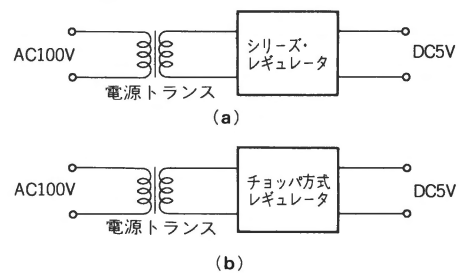
● **AC 入力に対応するために**

ところで大半の電子機器は、AC 100 V や 200 V を入力電源として動作するようになっており、商用の周波数での電源トランスを用いて直流電圧を得る方法と

〈図1-2〉 スwitchング・レギュレータの定電圧制御



〈図1-3〉 AC 入力型レギュレータの構成例 (商用周波数の電源トランスを使う)



しては、図1-3のようにシリーズ・レギュレータやチョップ方式レギュレータ（これは非絶縁型）などが利用されています。

しかし、電源トランスは 50 Hz や 60 Hz の周波数で電力を変換しなければならず、これは大型で重量も大きく、機器の小型化の妨げとなってしまいます。

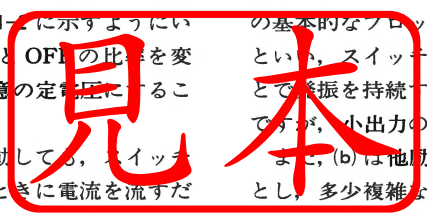
そこで、最近では AC を入力源として直接必要な直流電圧を得るスイッチング・レギュレータ方式が多く使用されるようになってい

ます。一般に商用電源トランスを使用せずに、AC を直接入力源とするスイッチング・レギュレータのことを、ライン・オペレート型あるいはオフライン・コンバータなどと呼んでいます。

ライン・オペレート型スイッチング・レギュレータの基本的なブロック図を1-4に示します。(a)は自励型とい

い、スイッチング・トランジスタと出力トランスとで共振を持続するものです。これは回路構成は簡単ですが、小出力のものにしか利用されていません。

また、(b)は他励型といい制御回路内に発振器を必要とし、多少複雑な回路構成ですが、特性もよく大きな電力を扱うことができます。



## 第2章 — 非絶縁だが小型オンボード向けの回路 チョッパ方式レギュレータの設計法

- 自前で発振するチョッパ
- MC34063/MAX630/TL1451C の利用
- $\mu$ A78S40/ハイブリッド IC の利用など

### チョッパ方式レギュレータとは

チョッパ方式レギュレータは、第1章で説明したように直流電圧を別の直流電圧に変換したい時に利用しますので、DC-DCコンバータの一種としてとらえられています。

つまり、入力電源としてはバッテリーが用いられたり、商用の電源トランスによって降圧された整流電源などが用いられます。そして、例えば図2-1のように、一つの15Vの整流電源から、いろいろな電圧の直流電源を必要とする場合に利用されています。

したがって、一つのプリント回路板の中で別の直流電源を作ったりするオンボード・レギュレータとしてもよく使用されています。

#### ●チョーク・コイルを巧く使う

チョッパ・レギュレータは、図2-2に示すように入力電源をトランジスタによって直接スイッチングする回路構成となっています。直流の入力電圧  $V_{IN}$  をトランジスタによって高周波の電力に変換し、それを平滑用のチョーク・コイル  $L$  とコンデンサ  $C$  で再度直流に変換するものです。

この回路における電圧変換のしくみは次のようになっています。いま図2-2において、トランジスタ  $Tr$  が一定のデューティ・サイクルでON/OFFを繰り返していることにします。

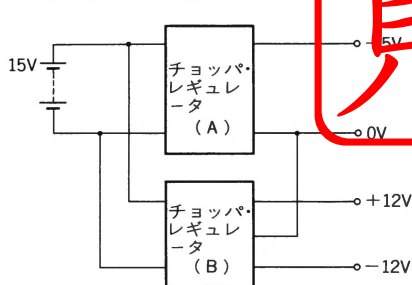
このとき、トランジスタがONであれば入力電圧  $V_{IN}$  はチョーク・コイル  $L$  とコンデンサ  $C$ 、さらには負荷に対してエネルギーを供給します。そして、 $L$  には電流が流れることによってエネルギーが蓄えられます。このときダイオード  $D$  はOFFしていますので、ないのと同じです。

次にトランジスタがOFFになるとどうでしょう。負荷へのエネルギーの供給はなくなるのではないかと思います。今度はチョーク・コイル  $L$  に蓄えられていたエネルギーがダイオード  $D$  を通して供給されるのです。つまり、ダイオードによって、チョーク・コイルに蓄えられていたエネルギーが還流させられるのです。ということで、このダイオードのことを特にフライホイール・ダイオードと呼ぶこともあります。

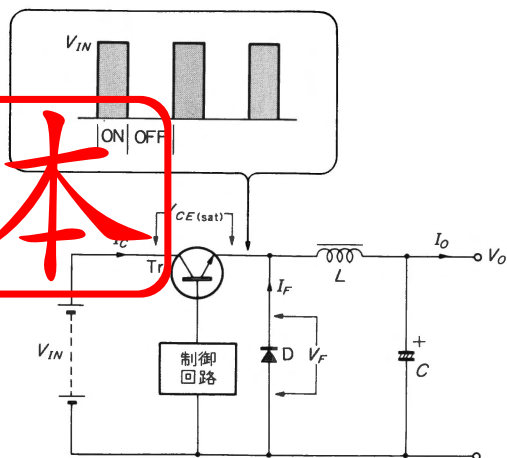
したがって、この回路のトランジスタのON/OFFのスイッチング間隔、つまりデューティ・サイクル  $D$  を制御すれば、出力電圧  $V_O$  の値を可変することができることは予想がつくでしょう。

トランジスタ  $Tr$  のONしている期間  $t_{on}$  と、OFFしている期間  $t_{off}$  との比率をデューティ・サイクル  $D$  といいますが、これが、

〈図2-1〉 チョッパ・レギュレータによる  
DC-DCコンバータ



〈図2-2〉 チョッパ・レギュレータ (降圧型チョッパ)





$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$

と変化すると、出力電圧  $V_O$ は、

$$V_O = V_{IN} \cdot D = V_{IN} \cdot \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$

と変化します。ですから、何かの都合で  $V_{IN}$ が徐々に低下したとしても、 $t_{on}$ の幅を広げるような制御回路が組み込まれていれば、出力電圧を安定に保つことができます。

このように、トランジスタのON/OFF動作(チョッパ)を繰り返すことによって、入力電源と異なった電圧の出力電圧を得ることからチョッパ方式レギュレータと呼んでいます。ただし、この方式は入力と出力の間がトランスなどで絶縁されていないので、用途によっては注意が必要です。

### ● スイッチングのための発振回路はどうするか

さて、チョッパ・レギュレータを構成するにはスイッチング・トランジスタをON/OFFするための発振回路と出力電圧の制御回路が必要で、これには基本的に二つの方法があります。

一つは、チョッパの制御回路内に発振器を内蔵し、固定したスイッチング周波数で動作するもので、他励型チョッパといえます。通常の専用ICによるものはすべてこの方式で、外付けの抵抗やコンデンサによって任意に発振周波数を設定することができます。

もう一つは発振器を内蔵せずに、スイッチング・トランジスタの出力波形を制御回路へ正帰還して発振させるもので自励型チョッパと呼んでいます。特に、出力電圧に重畳するリップル電圧を誤差増幅器に帰還してスイッチングさせるものを、リップル検出型チョッパと呼んでいます。

ただし自励型チョッパは、入力電圧  $V_{IN}$ や出力電流  $I_O$ の変化によって、発振周波数が大きく変化します。入出力の条件によっては、10 kHzから100 kHzくらいの変化があります。

ところで、このチョッパ方式レギュレータには、入力電圧と出力電圧の関係から、以下の3種類の方法があります。詳しい原理は後の設計例のところで述べますが、ここでは簡単に分類しておきます。

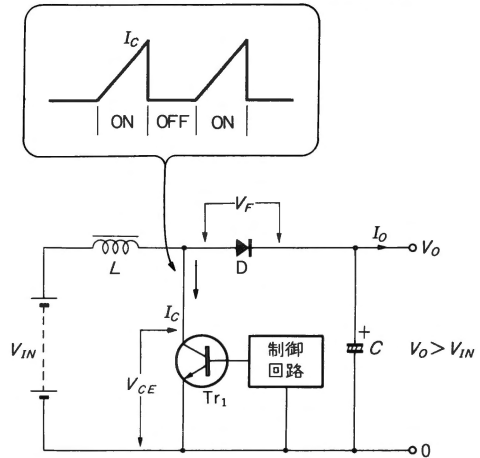
#### ▶ 入力電圧より低い出力電圧を得る回路

入出力間の電圧を、 $V_{IN} > V_O$ としたいときに用いられるもので、先に示した図2-2が基本構成です。これは降圧型チョッパ、あるいはステップ・ダウン・コンバータと呼ばれています。

#### ▶ 入力電圧より高い出力電圧を得る回路

入出力の電圧が、 $V_{IN} < V_O$ と、入力電圧より高い出力電圧を得ようとするときに用いられるものです。これは昇圧型チョッパ、あるいはステップ・アップ・コンバータと呼ばれ、図2-3がその基本構成となります。

〈図2-3〉 昇圧型チョッパの基本回路



この回路は乾電池などを入力電源として、プリンタやモータなどを駆動する電源を作るときには最適です。動作としては、トランジスタがONしている期間にコイル  $L$  にエネルギーを蓄積し、トランジスタがOFFした瞬間から発生する逆起電力で、出力側へ電力を伝達するものです。

なお、トランジスタへの印加電圧  $V_{CE}$ は、

$$V_{CE} = V_O + V_F$$

となりますから、トランジスタの耐圧には注意しなければなりません。

#### ▶ 入出力間の極性を反転する回路

例えば (+) 12 V の入力電源から、(-) 12 V の出力電圧を得ようとするときに、入力と出力の間で極性を反転するとき用いられます。ですから、極性反転型チョッパあるいはインバーテッド・コンバータと呼ばれています。

(+) 電源しかないところで、OP アンプに使用するバイアス用の (-) 電源が必要などときには大変便利な方式なので、多く使用されています。

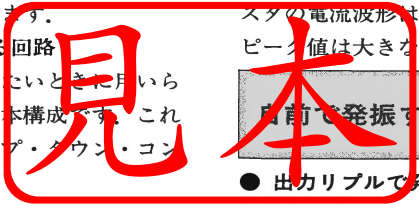
この基本構成は図2-4のようになり、チョーク・コイルが (+) と (-) のライン間に挿入されています。動作的には昇圧型コンバータと大変よく似ており、トランジスタの電流波形はやはり三角波状で、コレクタ電流のピーク値は大きな値となってしまいます。

### 自分で発振するチョッパ・レギュレータ

#### ● 出力リップルで発振するチョッパ回路

最初から少し難しいテーマかもしれませんが、動作の理解を早めるために、まずはディスクリートで構成するチョッパ・レギュレータから先に説明することにします。

ICを使った簡単な方法も多くありますが、これは後



ISBN978-4-7898-5306-4

C3055 ¥3000E

**CQ出版社**

定価 3,300円 (本体3,000円)⑩



このPDFは、CQ出版社発売の「実用電源回路設計ハンドブック【オンデマンド版】」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/53/53061.htm>

購入方法 <https://www.cqpub.co.jp/order.htm>



**見本**