

◆ 第1章

電源回路設計をマスタするために

これだけは押さえておきたい電源回路

1-1 どんな時代にも、どんな電子機器にも必要な「電源」

電子機器の急激な進化には目を見張るものがあります。携帯電話、カーナビ、ゲーム機、デジタル・スチル・カメラ、ブルーレイ・ディスク、ハード・ディスク・レコーダ、PCなど、とても便利な電子機器が誕生して、私たちの生活を大変豊かにしてくれています。

このように、どんなに電子機器が進化しても欠かせない回路があります。それは電源回路です。およそ電源を必要としない電子機器はありません。

一般に現代の電子機器では、商用電源からICに至るまでに介在する電源回路は1種類ではありません。図1-1にある電子機器内の電源の構成を示します。さまざまな役割を持つ電源回路が介在しています。電子機器を確実に動作させるためには、それぞれの役割に合った適切な電源回路設計が欠かせません。

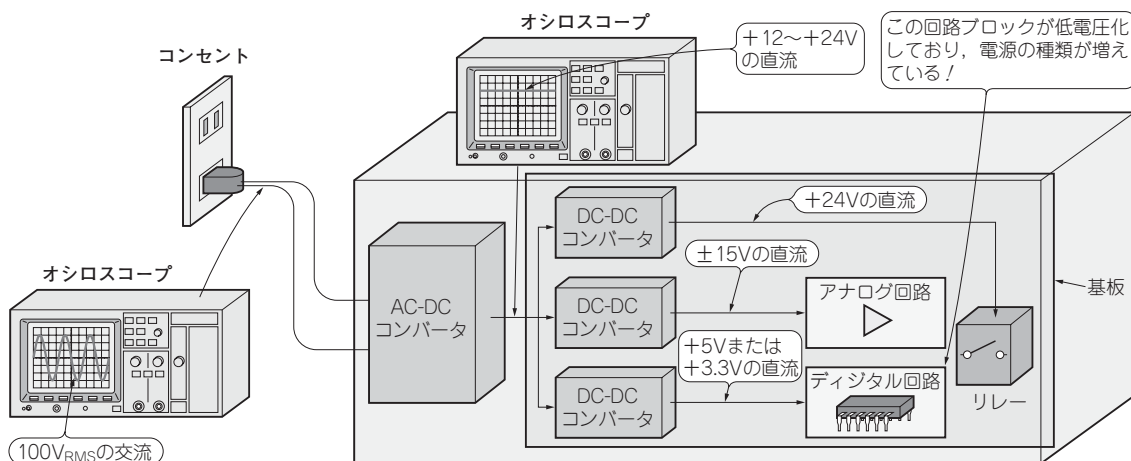


図1-1 ある電子機器内の電源の構成

1-2 電源は負荷の種類に合わせて設計する

電源回路に必要とされる仕様は負荷によって異なります。それは、電圧だけでなく電流によっても異なります。なかには電圧が1~2Vでありながら、100 Aの電流を必要とする負荷もあります。

ここで、低雑音が要求される場合について考えてみましょう。デジタル回路の進化は、より高度な情報処理ができるため、アナログ回路を退化させるどころか逆にアナログ回路の進化を促してきました。そして、最新のアナログ回路は高速であり高精度であり低雑音です。このようなアナログ回路には、高安定かつ超低雑音の電源が必要になるのです。

また、小型実装が要求される場合もあります。携帯電話、そしてゲーム機などを見ると、とても高度な機能を小さなスペースに実装しています。このような電子機器内の基板には、無駄なスペースは一切ありません。電源も限られた形状の限られたスペースに作り込まなければなりません。

このように、電源に対する要求は日増しに厳しくなっています。今までのように、汎用性を考えた最大公約数的な電源回路設計の発想では対応できなくなっているのです。つまり、負荷に応じて専用に設計された電源が求められているのです。

1-3 システムを想定して電源回路の作り方をマスタする

入門編では、基本となる8種類の電源回路を紹介します。その動作の仕組みと使い方を、場合によっては実験を通して解説します。

紹介する電源がどんな用途に使えるのかをできるだけ明確にし、ナビゲーションするために、図1-2に示すシステムを題材にしました。これは四重極質量分析計という化学分析装置のブロック図です。この装置には、

- pA (ピコ・アンペア)の微小電流を扱うアナログ回路(エレクトロメータ回路)
- A-Dコンバータ、D-Aコンバータを含むアナログ回路
- 2 MHzで2000 V出力の高周波アンプ回路
- マイコンやFPGA、DSP
- 5.7インチのカラー液晶ディスプレイ
- サーマル・プリンタ

など、性格の異なるいろいろな負荷がたくさん搭載されています。

実際、読者の携わっている電子機器では、入力電圧や出力電圧/電流の仕様はさまざまだと思います。その場合でも、入門編各章の定数算出の方法を参照すれば、たいいていのシステムにおいて応用できるはずです。

1-3-1 タイプA：12 Vのバス電源から5 Vや3.3 Vを作る降圧型DC-DCコンバータ

第2章で紹介します。図1-2ではタイプAに分類されています。

AC100 Vのスイッチング電源が出力するDC12 Vのバス電源から、5 Vや3.3 Vの電圧を生成します。この役割を担うのがタイプAの電源回路です。

 **第2章****降圧型 DC-DC コンバータの基礎と実例****12 V のバス電源から 5 V や 3.3 V を作る降圧型 DC-DC コンバータ****■ 5, 3.3 V は 2.5, 1.8 V などを作るためのバス電源**

本章では、第1章に示したタイプAの降圧型DC-DCコンバータを紹介します。

5Vや3.3Vは、マイコン回路をはじめとするデジタル回路で最もよく利用されている電圧です。

デジタルICの多くが5V動作だった時代には、一般にAC100Vから直接DC5Vを生成し、そのままICに供給していました。ですが、最近では3.3Vに加えて2.5V、1.8Vといった、より低い電圧で動作するICが増えています。

これら3.3Vより低い電圧は、3.3Vや5Vから生成することが多いため、今や3.3Vや5Vはそれらの電圧を作るためのバス電源になっています。

■ スイッチング方式の高効率電源を使う

5, 3.3Vバス電源にはたくさんの負荷が繋がるので、数A近い大きな電流が流れます。また、この5, 3.3VはAC100Vから作るDC12Vのバス電源から得ます。

本章では、高い効率が得られるスイッチング方式の電源を紹介します。第3章で紹介するリニア・レギュレータは、12Vから5Vや3.3Vを得るという用途には損失が大きすぎて用途が合いません。

■ DC-DC コンバータは自分で作れる

DC-DCコンバータを作るには、制御ICと周辺部品を入手して、定数設計や基板設計を行い、自分の都合に合った仕様に仕上げる方法と、電源専門メーカーが製造・販売しているモジュールを購入する方法があります。

DC-DCコンバータは用途が広いので、写真2-1に示すようなメーカー製モジュール電源もたくさん出回っています。これらの多くは、高い品質管理プログラムに基づいて設計製造されているのでとても安心です。

ですが、出力電流や形状、コストなどが、自分の作りたい電子機器の仕様と合わないことがしばしば発生します。そのような場合には、自分でDC-DCコンバータを設計しなければなりません。

一昔前であれば、DC-DCコンバータの設計は難しいものの一つでしたが、最近では半導体メーカーの努力によって便利なICが出回り、とても簡単に設計できるようになりました。

 第3章

LDO 型リニア・レギュレータの基礎と実例

3.3 V から少しだけ電圧が低い 2.5 V を作るリニア・レギュレータ

■ デジタル回路には 1.8～3.3 V の電源が必要

本章では、第1章のタイプBの電源を紹介します。

従来のデジタル回路は、5 V 動作のマイコンと汎用ロジック IC を組み合わせて作られており、電源は5 Vのみでした。

ところが、近年次々と誕生している高性能なマイコンやFPGAなどのデジタルICは、3.3, 2.5, 1.8, 1.5, 1.2 V のさまざまな電圧を必要とします。例えば、コア用に2.5 V, I/O用に3.3 V といった具合です。

これらの電圧は3.3 V または5 V のバス電源から生成するのが一般的ですが、必要な電圧と同じ数の電源回路が必要ですから、その手間と実装面積が問題になります。できるだけ部品点数の少ない、小型の電源で済ませたいところです。

■ 入出力間電位差が 1 V 以下でも動く LDO 型リニア・レギュレータを使う

3.3 V から2.5 V を発生させるような入出力間電位差が1 V 以下の場合は、周辺部品がほとんど不要で繋ぐだけで動作するリニア・レギュレータが適しています。ただし、従来の78シリーズのような3端子レギュレータは、出力電圧より2 V 以上高い入力電圧が必要ですから、この用途に使うことはできません。代わりに、入力電圧と出力電圧の差が数百 mV でも動作するLDO (Low Drop-Out; 低飽和型) と呼ばれるタイプのリニア・レギュレータを使います。

第1章で説明した通り、3.3 V バスから1.8 V を生成する場合は、効率がかなり悪くなるので、第4章で紹介するスイッチング・タイプのDC-DCコンバータ(タイプC)を使う必要があります。

リニア・レギュレータは原理的に損失が大きいため、どちらかというとなり発展著しいスイッチング型のDC-DCコンバータに追いやられ、一見活躍の場が少なくなっていくように感じますが、実はこのような入出力間電位差が1 V 以下という用途では、その種類と需要が増えています。

◆ 第4章**同期整流型 DC-DC コンバータの基礎と実例****3.3 V から 1 V 以上電圧が低い 1.8 V を作る同期整流型 DC-DC コンバータ**

デジタルICは高速化と高集積化を続けています。その電源電圧はますます低くなっており、最新のデバイスでは1Vを切るものまであります。しかし、低電圧化とともに、消費電流は大きくなっています。

本章では、第1章の想定システム(図1-2)のSH-4マイコンやFPGAに供給する1.8Vの電源(タイプC)を紹介します。

第3章で説明したように、3.3Vバス電源から1.8Vを生成する個所にリニア・レギュレータを使うと、効率が50%前後にまで落ちてしまいます。このような個所には、効率の高いスイッチング方式のDC-DCコンバータを使う必要があります。

ここで紹介するのは、同期整流と呼ばれる降圧型のDC-DCコンバータです。

4-1 低電圧動作で効率を上げる技術「同期整流」とは**4-1-1 基本はフリー・ホイール・ダイオードを使った降圧型と同じ**

同期整流型DC-DCコンバータの動作原理は、第2章で説明したフリー・ホイール・ダイオードを使った降圧型と全く同じです。設計に必要な式も、第2章で紹介したものを使うことができます。

違うのは、図4-1に示すようにフリー・ホイール・ダイオードをSW₂として低ON抵抗のパワーMOSFETに置き換えている点です。これだけで、後述するフリー・ホイール・ダイオードで生じていた損失を大幅に改善できます。

フリー・ホイール・ダイオードはSW₁がOFFの期間にONします。フリー・ホイール・ダイオードに置き換わったSW₂(パワーMOSFET)もSW₁がOFFのときにONさせます。

第2章で紹介したDC-DCコンバータでは、コイルの性質によってコイルに流れる電流が継続することによって、フリー・ホイール・ダイオードが自動的にONしていましたが、同期整流型では、制御ICがタイミングを見計らってSW₂をONさせます。そして、この動作をもって同期整流と呼びます。NチャンネルのパワーMOSFETは通常、ドレインからソースに向かって電流を流して使います。ですが、SW₂の電流は、ソースからドレインに向かって流れます。

◆ 第5章

昇圧型 DC-DC コンバータの基礎と実例

12V のバス電源から 24V を作る 昇圧型 DC-DC コンバータ

本章では、第1章の図1-2に示すタイプDの電源を紹介します。

昇圧型 DC-DC コンバータとは、入力電圧よりも高い電圧を出力する電源のことです。12V のバス電源から 24V を作ったり、アプリケーションによっては 1.2~1.5V のたった1本の乾電池から 3.3V や 5V の電源を作ったりと用途はさまざまです。

5-1 昇圧型 DC-DC コンバータの概要

5-1-1 昇圧型 DC-DC コンバータの基礎知識

■ コイルの性質を利用して昇圧する

コイルには、電流源のようにふるまう性質があります。つまり、今までコイル自体に流れていた電流を維持しようとしします。

いま、図5-1(a)のようにコイルにある電流が流れていたとします。その大きさは、直流なので、

$$I = V_{in}/R$$

で表されます。SW を開くと、同図(b)のように SW の接点間に火花が飛ぶのが見られます。これはコイルが電流源となって、開かれた接点に電流を流そうとしたからです。接点間に存在する空気は抵抗値がとても大きいので、 $V=IR$ の法則に従って高い電圧が発生し、空気の絶縁が破られて火花が飛んだのです。

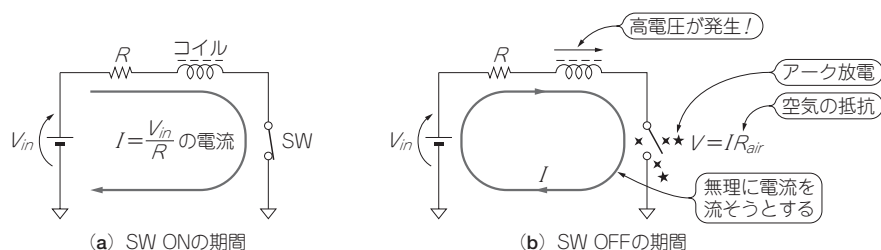


図5-1 コイルは電流源のようにふるまう
昇圧型 DC-DC コンバータはこの性質をうまく利用している

◆ 第6章

フライバック・コンバータの基礎と実例

12Vのバス電源から±5Vや±15Vを作るアナログ回路用DC-DCコンバータ

■ アナログ回路でも使えるDC-DCコンバータ

スイッチング式の電源は大きなノイズを発生しやすいため、アナログ回路には向かないと言われてきました。事実、汎用のDC-DCコンバータから電源を供給されているOPアンプの出力をオシロスコープで見ると、スイッチングが原因のインパルス・ノイズが観測されることがあります。

しかし、ここで紹介する電源のように、アナログ回路でも十分に使えるDC-DCコンバータを製作することは可能です。著者自身が設計する微小信号用のプリアンプ回路や残留スペクトル特性が厳しい無線回路にも、専用設計したDC-DCコンバータを積極的に使用しています。

■ 簡単に設計できるフライバック型

本章では、想定システム(第1章の図1-2)のアナログ回路用電源として、トランスを使ったフライバック型の正負電源を作ります。

トランスを使う理由は、正負電源を簡単に作ることができるからです。また、回路をくふうすることで絶縁型にも発展させることができます。「トランス」というと電源トランスの原理を連想し、磁気工学の数式を駆使した難しいイメージを持ちますが、このフライバック型の原理は昇圧型(第5章)とそれほど変わらないので、とても簡単に設計することができます。

6-1 フライバック型DC-DCコンバータの基礎知識

6-1-1 トランスの1次側と2次側のコイルの方向が逆

図6-1に示すのは、典型的なフライバック型の回路です。

トランスに示されている丸印はコイルの巻き始めを示しています。このように、フライバック型DC-DCコンバータ用トランスの1次側と2次側の極性は、互いに逆の関係になっています。

◆ 第7章

RCC方式コンバータの基礎と実例

AC100Vからバス用のDC12Vを作るスイッチング電源

■ 市販品が希望の仕様に合わないことがよくある

本章では、AC100Vの交流電源から各部のDC-DCコンバータに供給するDC12Vのバス用直流電圧を作るAC-DCスイッチング電源を紹介します。第1章の図1-2のタイプFの電源です。

スイッチング電源は、ユニット・タイプの市販品がたくさん出回っています。これらは高い品質管理のもとで製造されており、とても低価格です。できる限り市販品を使う方が、開発時間を短縮できますが、実際開発を進めていくと、電圧や容量、形状など、希望の仕様に合わないことがしばしば起こります。まだまだ、個別仕様のスイッチング電源を必要とする場面が多いことは確かです。

■ 「スイッチング電源」と「DC-DCコンバータ」は同じもの

スイッチング電源の基本構成を図7-1に示します。第6章のトランスを使ったDC-DCコンバータとよく似ています。というより、本来、両者は全く同じものなのです。

不思議と市場では、交流(AC)から直流(DC)を作る電源のことを「スイッチング電源」と呼び、直流(DC)から直流(DC)へ変換するものを「DC-DCコンバータ」と呼んでいるようです。あえて違いを述べるならば、AC-DC変換には感電や漏電といった安全性の問題からトランスによる絶縁が必須という点ぐらいでしょうか。ここでは、これら一般の呼称にならった表現を使っています。

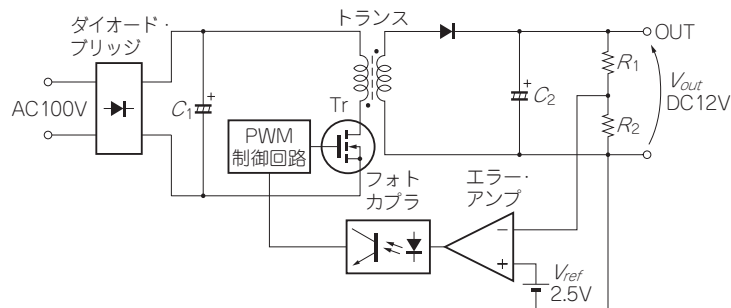


図7-1 スイッチング電源の基本構成(フライバック型)

◆ 第7章 Appendix

安全を考慮したプリント基板 パターン設計とその規格

本章のスイッチング電源の1次側はAC100Vの高電圧を扱い、2次側は5Aの高電流を扱います。従って、配線同士の沿面距離や配線幅は、安全を十分に考慮した設計としなければなりません。写真7-Aは、TOPSwitch (TO-220パッケージ)の足の部分です。このように折り曲げることでプリント基板上の配線間の沿面距離を確保しています。

プリント基板の配線間の距離は、オーディオ、ビデオなどの家電系の規格であるJIS C 6065と、パソコンや複写機などのIT機器や事務機の規格であるJIS C 6950-1に詳しく定められています。

JIS C 6065によるプリント基板の配線間の沿面距離は図7-Aとなります。JIS C 6950-1によるプリント基板の配線間の沿面距離は、ソルダ・レジストでコーティングされている部分は表7-Aとなり、パッドやビアやはんだ付けする部分のコーティングされていない所は、表7-B～表7-D(1000Vを超える規格を省略した)に細かく定義されています。そもそも沿面距離とは図7-Bのように定義されています。

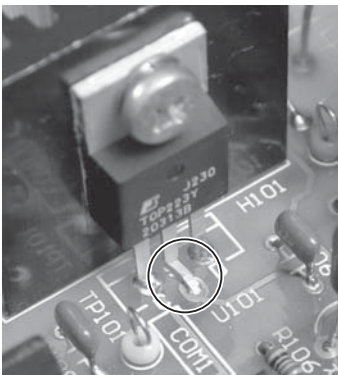
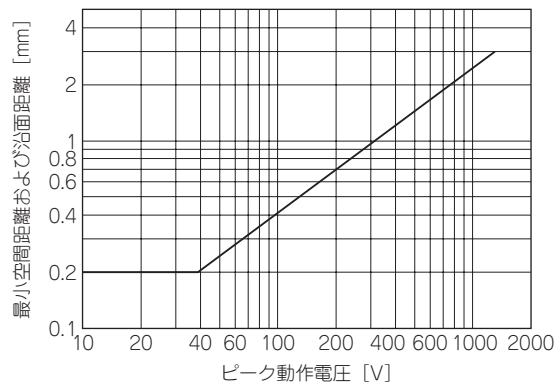


写真7-A TOPSwitchの足の部分は沿面距離を確保するために折り曲げている



曲線は、最小を0.2mmとして、次の式で定義する。
 $\log d = 0.78 \log (U/300)$
 ここで、 d : 距離
 U : ピーク電圧 [V]

図7-A プリント基板の最小空間距離および沿面距離 (JIS C 6065 : 2007, オーディオ、ビデオ及び類似の電子機器 - 安全要求事項、日本工業標準調査会に許可を得て掲載)

◆ 第8章

チャージ・ポンプ型の基礎と実例

コイルを使わない安価・省スペースの DC-DC コンバータ

8-1 チャージ・ポンプ型 DC-DC コンバータの基礎知識

8-1-1 チャージ・ポンプ型 DC-DC コンバータの特徴

チャージ・ポンプ型は、コイルではなくコンデンサで電圧を変換するので、低価格と省実装スペースに効果があります。また軽負荷時でも効率があまり悪くならないので、バッテリー動作機器の電源に適しています。

しかし、従来このタイプのDC-DCコンバータは、小さな電流しか取り出せない、入力電圧を反転するか2倍の電圧にしか変換できない、などのデメリットがありました。そのため、効率が高く比較的ノイズが小さいことを買われて、一部のアナログ回路で使われていただけでした。

ところが、最近のチャージ・ポンプ型DC-DCコンバータは、電圧変換も自由に設定できるようになり、電流も数百mA取り出せるものが市販されています。

■ チャージ・ポンプICの定番ICL7660

チャージ・ポンプの最も基本となるICはインターシルのICL7660(写真8-1)です。各社から多くのセカンド・ソースが供給されています。

図8-1に標準接続図を示します。+5Vから-5Vを作ることができるので、ちょっとしたアナログ

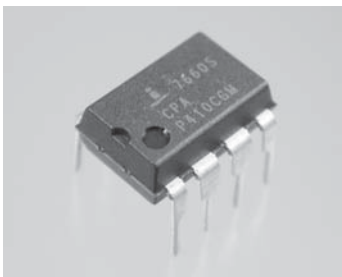


写真8-1 チャージ・ポンプICの
定番ICL7660(インターシル)

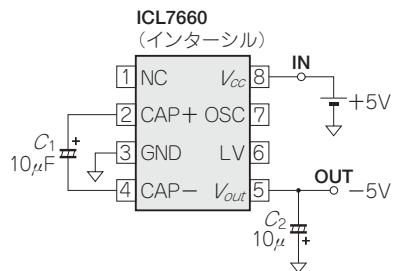


図8-1 ICL7660の標準接続回路(入力+5V, 出力-5V)

◆ 第9章

定電流/定電圧制御で鉛蓄電池を高速充電

2次電池充電用 DC-DCコンバータの設計

携帯電話をはじめ、ポータブル用途には電池が欠かせません。またエコロジへの関心の高まりから、太陽光発電、電気自動車の広がりに伴って、ますます大容量かつ長寿命の電池の開発も盛んになってきています。

電池は大きく分けて、乾電池に代表される放電のみの1次電池、充放電が可能な2次電池があります。

その2次電池にはさらに、鉛蓄電池、ニッケル・カドミウム電池(ニカド電池)、ニッケル水素電池(Ni-MH蓄電池)、リチウム・イオン電池があります。リチウム・イオン電池は大容量ですがデリケートで、精度の高い充電制御が必要です。

2次電池の充電には、対象となる電池の特性に合わせて、定電圧充電と定電流充電の2種類の充電方法があります。本章では、この2種類の充電特性を持った鉛蓄電池用のDC-DCコンバータを紹介します。

9-1 鉛蓄電池の性質

9-1-1 鉛蓄電池の特徴

鉛蓄電池は大容量で経済性が高いのが特徴です。特にシール式鉛蓄電池はどのような姿勢でも使用でき、補水などの手間がなくメンテナンス・フリーです。浅い充放電を繰り返しても電圧が低下するメモリ効果がなく、また長期間放置しても自己放電が少ないという特徴があります。

9-1-2 小型シール鉛蓄電池の充放電特性

■ 放電特性

小型シール鉛蓄電池LC-V063R4J(パナソニック・エナジー社、6V/3.4Ah)の放電特性を図9-1に示します。

表9-1から3.4Ahの容量表示は、170mAで20時間かけて放電した場合の容量です(170mA×20h=3.4Ah)。大きな電流で放電するほど容量が小さくなります。