



# 携帯機器の電源ICに求められる 機能と性能

## ■ 商用電源を使用した機器の電源回路

商用電源を使用した機器の電源回路(以下、固定機器用電源)の設計では、制限のない、連続的な電源供給という環境で動作する回路で使用する電源回路の設計となるために、省エネルギー化の要求によっていくらか改善されているとはいえ、AC電源から低電圧の回路用電源を作る際の変換効率はさほど重視されません。また、機器の回路自体が数十Wから数百Wと大きいことが多いので、電源IC自体の消費電力がまったく問題にならない場合が多いです。

さらに、電源OFF時でもタイマが動作しているとか、リモコンの受信といった回路が動作していることが多く、OFF時でも待機状態での動作によって常時数Wの電力を消費しています。家電製品は激しい低価格競争にさらされています。このため、どちらかと言うとエネルギー効率よりも、コストを重視した設計がされていることが多くなります。

電源回路の構成としては、もともとの供給電源の電圧が高い交流電源なので、まずAC 100Vから絶縁された直流へ変換します。このとき、最初に回路に必要な最も高い電圧を作り、そこから別の回路が必要とするさまざまな電圧を降圧して作っていくという、降圧型電源の組み合わせによって電源回路を構成するのが一般的です。

後段の降圧電源の入力電圧は、安定化電源によるエネルギー供給となります。このため、いくらかの電圧変動はあるとしても、安定化された無制限にエネルギー供給が可能な供給源から、より低い電圧への変換を行っており、電源回路としては比較的恵まれた環境で動作していることとなります(図1)。

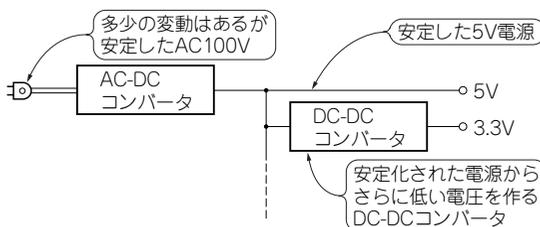


図1 商用電源を使用した機器のDC-DCコンバータ入力電圧はほぼ一定で、入力電圧より低い電圧を作る

## 8 プロローグ 携帯機器の電源ICに求められる機能と性能

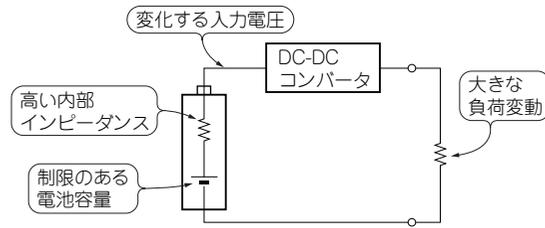


図2 携帯用機器のDC-DCコンバータ  
安定しない入力電圧，大きな負荷変動など，要求が厳しい

### ■ 携帯用機器の電源の特徴

これに対して，携帯用機器の電源は電池という限られた容量のエネルギー源から供給されるために，電力供給と稼働時間に大きな制限が発生します．たとえば，携帯電話では定格電圧が3.6 V，容量600 mAh～1000 mAh程度のリチウム・イオン蓄電池が使用されますが，2～4 Wh程度の電力容量のエネルギー源から連続動作で数時間，待ち受け動作時で300～500時間という長時間の動作を実現するために，動作時の消費電力で1～2 W程度，待ち受け動作時には10 mW以下という電力で回路が動作することを要求されます．

そのため，商用電源を使用した機器と比較すると，回路での消費電流を低下させるだけでなく，電池から回路用にさまざまな電圧を作っている複数チャネルの電源回路のエネルギー変換効率が高いことや，電源回路自体の消費電流も低いことが要求されます．

さらに，エネルギー源である電池は，商用電源とは異なり，電池から電源回路に供給される電圧は使用する時間とともに低下します．また，電池の内部インピーダンスも比較的高いだけでなく，劣化とともに増加していきます．内部インピーダンスが高いエネルギー供給源からのエネルギー変換を行うので，負荷電流の変動とともに入力電圧も変動することとなり，安定した電圧を供給される商用電源を使用した電源回路とは異なる機能や特性が要求されます．したがって電池駆動の携帯機器には，携帯機器専用の電源回路が必要となります(図2)．

さらには電池には寿命があるために，電池寿命末期での電池電圧の低下に対してどこまで正常動作ができるか，また正常動作可能な電圧以下になった場合の異常動作防止のための低電圧誤動作防止回路なども必要となります．

本書では，携帯機器ならではの要求に対応できるように設計された，携帯機器専用の電源ICのさまざまな特殊機能について説明していきます．

## ◆ 第1章

# 電源回路のエネルギー源となる 電池とACアダプタの特性

携帯機器で使用するDC-DCコンバータの設計を始めるまえに、負荷側に必要とされる電圧/電流の要求仕様から、必要とされる電池を決めるために電池の特性を理解しておく必要があります。また、電池駆動機器の多くがAC電源での動作も必要とする場合が多く、ACアダプタの特性も知っておくべきです。

## 1-1 電池の一般特性

一般的に使用される電池には、1次電池では1.5Vのマンガン乾電池(写真1-1)、アルカリ乾電池(写真1-2)、2次電池では1.2Vのニッケル・カドミウム蓄電池、ニッケル水素蓄電池が一般的です。しかし、通常の電子機器に対しては電圧が低すぎるため、複数本を直列接続して必要な電圧以上にするか、昇圧型DC-DCコンバータを使用することとなります。

最近の携帯機器では、軽量の割に高容量で、電圧が3.7Vの2次電池であるリチウム・イオン蓄電池が使用されるケースが多くなってきました。しかし、電池の充放電制御を含めた電源回路設計の難しさから、少数ロットでの採用はまだ難しい状態です。

これらの電池をエネルギー源として、機器に必要な電圧を作ることとなります。しかし、電池電圧は一定ではなく、使用時間とともに電圧は低下していき、それにとまって内部インピーダンスも上昇しますので、「増加した内部抵抗×負荷電流」のぶんだけさらに出力電圧が低下します(図1-1)。

出力電圧 = 電池本数 × (電池起電圧 - (電流 × 内部抵抗))      【電池起電圧も内部抵抗も変化する】



写真1-1<sup>(24)</sup> 単三形マンガン乾電池



写真1-2<sup>(24)</sup> 単三形アルカリ乾電池

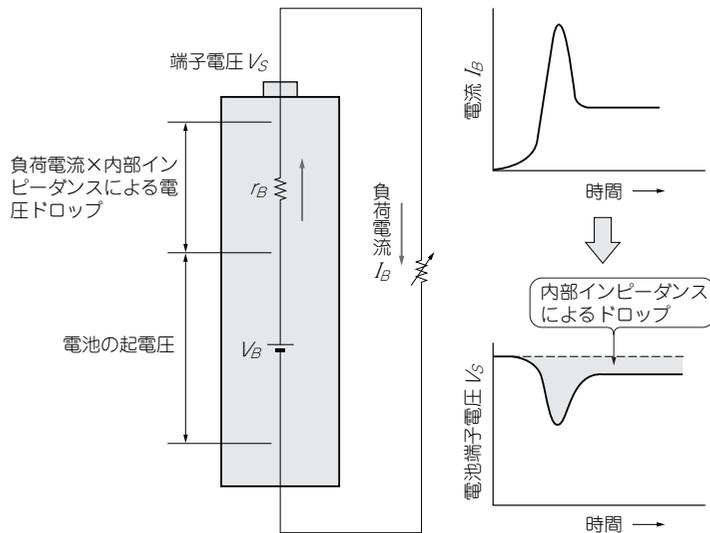


図1-1 内部インピーダンスによって電池の端子電圧は低下する

半導体回路の要求する電源電圧と消費する電力は年々低下していますが、動作周波数の上昇によって電流は増加しています。特に動作中のピーク電流は大幅に増大する傾向にありますので、ピーク電流と電池の内部抵抗による電池電圧低下により、DC-DCコンバータが設定出力電圧を維持できずに動作不良が発生する場合があります。回路の要求するピーク負荷電流と電池の内部インピーダンスによる電圧低下ぶんを見込んで、最低動作電圧を決定しておく必要があります。

## 1-2 代表的な1次電池の特性

### ● マンガン乾電池とアルカリ乾電池

マンガン乾電池とアルカリ乾電池は、代表的な1次電池で、電池サイズも豊富でどこでも入手可能という大きな利点があります。初期電圧は約1.5Vで、終止電圧は約0.9Vです。

マンガン乾電池は安価ですが、内部インピーダンスが高く、大電流を流すと端子電圧が低下してエネルギーの利用効率が大幅に低下しますので、低負荷電流のアプリケーションに向いています。

負荷が電球などの抵抗負荷の場合、負荷電流の変動がほとんどない安定した電流が流れるのと、電池端子電圧の低下によって負荷電流も減少するので消費電力が減少することになります。懐中電灯の場合は消費電力の変化により明るい/暗いという使用上の問題はありますが、内部インピーダンスが少々高くても機器の稼働時間にはあまり影響が出ないこともあります。

しかし、DC-DCコンバータを使用した機器では負荷がCPUなどの電子回路であることが多く、CPUの処理状態などによって負荷電流が変動し、高いピーク電流を必要とする場合も多くあります。さらに、DC-DCコンバータの入力電力は定電力となるので、電池電圧(=入力電圧)が低下すると電流はそのぶん増加します。

 **第2章****回路方式の種類と要求される機能****携帯機器で使用される電源回路**

商用電源を供給源とする機器の電源回路では、供給元の電圧が高いのでほとんどの場合は交流電源から機器の必要とする高い電圧を1系統から2系統ほど作り、そこから降圧コンバータでさらに落としてさまざまな種類の電圧を作ることが一般的です。

しかし、携帯機器用の電源回路は電池による供給量に限りのあるエネルギー源を使用するので、高効率であることが必要です。また、商用電源と異なり、電池電圧という単一の低電圧かつ使用とともにさらに低下する電圧源から回路が必要とする安定な電圧を作るために、電池より高い電圧を作る昇圧電源、および降圧電源といったさまざまな構成の電源回路が必要となります。

機器の小型化や電池での長時間稼動のために、コンパクトで自己消費の少ない高効率な電源回路が必要となります。本章では、降圧する場合や昇圧する場合など、必要に応じた電源の回路方式について説明していきます。

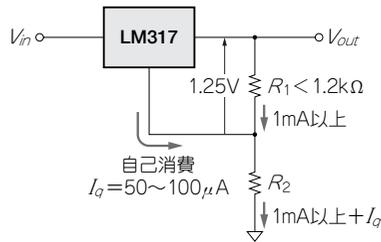
負荷となる電子回路では、さまざまな種類の電圧が必要となります。出力電圧と負荷電流の大きさ、そのほかに必要とする機能に応じて必要な電源回路を選択します。

**2-1 リニア・レギュレータ**

電圧を下げる場合、通常の電源回路で最も多く使用されているのがリニア・レギュレータ (linear regulator) です。電源回路としての構成は非常に簡単で、必要な外付け部品も少なく、IC 自体の価格も安価な製品が多くあります。最も簡単なものは、入力、出力、グラウンド(GND)とピンが3本しかなく、7805に代表される3端子レギュレータです。外部部品も入力と出力に各1個のコンデンサが必要なだけというシンプルな電源ICです。

携帯機器に使用されるリニア・レギュレータには、低い入力電圧まで動作すること、動作可能な最低入出力間電位差が小さいこと、IC 自体の自己消費電流が小さいことなどの必須条件があります。

商用電源でよく使用される78シリーズやLM317などの3端子レギュレータと、携帯機器用に設計された製品のなかから1 A 出力品であるTPS79633(テキサス・インスツルメンツ)という電源ICを比較してみます。78シリーズやLM317はバイポーラで構成されたICで、電力制御素子にはNPN型のトランジスタが使われており、コレクタが入力、エミッタが出力というエミッタ・フォロワの構成です。ベースは、エミッタ電圧(出力電圧) + 約0.7 Vの電圧をエラー・アンプから出力して駆動します。エラー・アンプの電源はエラー・アンプの出力電圧よりも高い必要があるため、入力電圧は出力電圧より2 Vは



$I_q$  のばらつきによる出力の誤差を減らすには、 $R_1 + R_2$  に流す電流をできるだけ大きくする

図2-1 3端子レギュレータ LM317の自己消費電流

高い必要があり、5Vを出力するには最低でも7Vは必要ということになります。

この最低入出力電位差をドロップアウト電圧と言い、この電圧が低いほどより低い電圧まで出力電圧を維持できますから、電池動作の場合は電池電圧がどこまで下がっても使えるかが決まるので稼働時間に大きく影響します。しかし、78シリーズでは最低出力電圧が5Vでも7V以上の入力電圧を必要としますので、携帯機器の電源には不向きです。LM317は1.2V(実際は1.25V)まで出力できるので電圧的には携帯機器に使えるようですが、入力電圧はやはり+2V以上が必要です。たとえば、リチウム・イオン蓄電池を電源として終止電圧3.5Vまで使うとすると、1.5V以下の電圧しか作れません。

バイポーラ型のリニア・レギュレータでも制御トランジスタにPNP型のトランジスタを使った製品は、ドロップアウト電圧を0.5V程度まで下げられます。この場合は3.5Vの入力から3Vを出力することも可能ですから、いくらか使用条件を広げることができます。さらに、制御トランジスタにFETを使用してBi-CMOSで作られたTPS79633(3.3V/1A)は、ドロップアウト電圧が1A出力時でも250mVしかなく、3.3Vを作る場合の最低入力電圧は3.55Vです。これなら、リチウム・イオン蓄電池を使用した場合でも電池をかなり最後まで使えることになります。

このように、ドロップアウト電圧を低くしたりニア・レギュレータをLDO(Low DropOut)と呼んでいます。

### ● 自己消費電流

携帯機器では、電池での稼働時間を最長とするために回路消費電流の削減だけでなく、電源ICでの消費電流も問題となります。特に、機器が待機動作時で回路消費電流が少ない場合は大きな問題となります。

78シリーズの電源ICは、バイポーラ・トランジスタを基本とした構造で作られています。トランジスタのベースに電流を流すことによって制御を行っている電流駆動型の構成を使用しているために、動作時の自己消費電流が数mAと大きいのが欠点となります。

LM317などは本体の自己消費電流自体は少ないのですが、電圧設定方式が図2-1のようにになっているために、自己消費電流の何倍もの電流を電圧設定抵抗に流さないと出力電圧の誤差が大きくなってしまいます。そのため、結局電源として動作するための総消費電流は大きくなってしまい、電源IC1個の自己消費電流で携帯電話の待ち受け時の全消費電流より大きくなってしまいます。

また、これらの製品は最低出力電流も規定されており、これ以下の電流では出力電圧が上昇して規定

 **第3章****変動する入出力に高速かつ高効率に対応する  
携帯機器で使用される電源に  
要求される特殊な機能**

電池の場合、容量の減少とともに起電圧が低下すると同時に電池の内部インピーダンスも上昇するため、DC-DCコンバータへの供給電圧は電池状態や負荷電流により大幅に変化します。したがって、AC電源における安定化された電源からエネルギーを供給される電源回路の設計より、さらに多くの注意点を考慮する必要があります。

また、限られた電池容量という制限のあるエネルギー供給源から、少しでも長時間の運転を行うため、高い変換効率をもつ回路の選択が必要となります。

使用する電池の種類によって放電特性も異なります。1次電池におけるマンガン系とアルカリ系の違い、2次電池におけるニッケル水素、ニッケル・カドミウム系とリチウム・イオン系の特性の違いを考慮する必要があります。また、充電を機器内で行うか機器外で行うか、電池交換を可能にするか内蔵固定にするか、ACアダプタの使用を可能にするかなど、商用電源という低インピーダンスかつ無制限な供給能力をもつ電源の設計とはまったく異なる携帯機器特有の特殊な機能と回路が使用されています。

**3-1 変動する入力電圧と低い出力電圧****● 入力電圧の変動に対応**

固定機器と携帯機器の電源構成のイメージを図3-1に示します。固定機器用の電源回路は、入力がAC 100VやACアダプタからの比較的安定化された電源からエネルギー供給を受けるので、入力電圧の変動をあまり気にせずに電源回路を設計することができます。

ところが、携帯機器でエネルギー源となる電池は満充電状態の電圧から終止電圧まで低下する間に、電池の内部インピーダンスも増加するので、電池の端子電圧は供給電流によって大きな電圧ドロップが発生します。入力電圧が変化してもDC-DCコンバータの入力電力は一定となるので、入力電圧が低下するほど入力電流は増加し、入力電圧の低下による電流増加で電圧はさらに低下することになります。

携帯機器用の電源を設計する場合は、エネルギー源が電池であり、3.7V出力に設定した安定化電源とはまったく異なる動作をするということに注意して電源回路の評価を行わないと、ベンチでのテストでは動作しても電池を使用した実機テストで問題が多く発生することがあります。電池を電源とする携帯機器用の電源回路は広い入力電圧範囲で動作し、負荷電流によって端子電圧が変動する不安定なエネルギー源から、どこまで入力電圧が低下しても安定して設定出力電圧を供給できるかという能力が必要とされます。

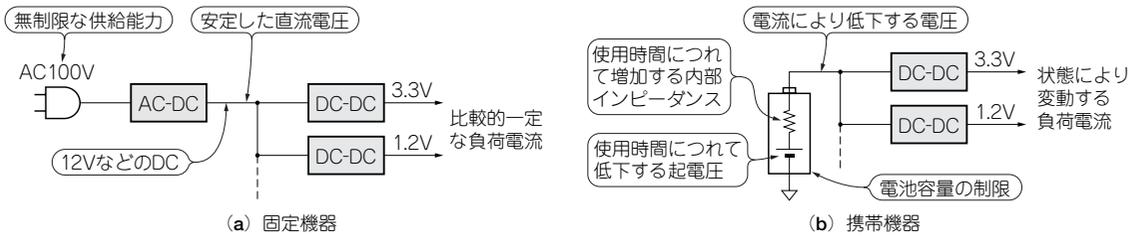
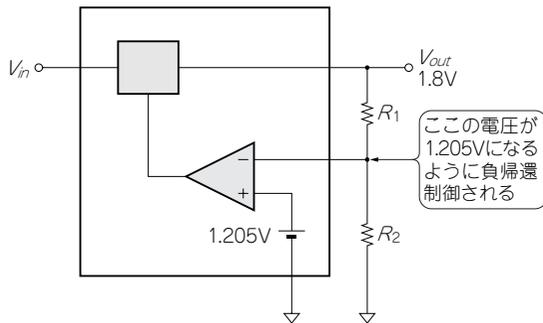


図3-1 固定機器と携帯機器の電源の違い



基準電圧が1.205Vの場合、  

$$V_{out} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 1.205V$$

$$V_{out} \text{を} 1.8V \text{にする場合、} R_2 \text{に} 100k\Omega \text{を使用すると、}$$

$$R_1 = \left( \frac{1.8}{1.205} - 1 \right) \times 100k\Omega$$

$$= 49.38k\Omega$$
 E24系列には47kΩが51kΩしかない。近い方の51kΩを使用すると、  

$$V_{out} = 1.205V \times \frac{100k\Omega + 51k\Omega}{100k\Omega} = 1.82V$$
 となり、設定値で+1%の誤差が発生する。抵抗を2個使用し、  

$$47k\Omega + 2.4k\Omega = 49.4k\Omega$$
 を使用すると、  

$$V_{out} = 1.205V \times \frac{100k\Omega + 49.4k\Omega}{100k\Omega} = 1.80V$$
 が可能となる。

図3-2 出力電圧設定抵抗による電圧誤差

● 出力電圧の低電圧化と高い電圧精度の要求に対応

携帯機器用電源で求められる電源機能に、CPUやDSPの低電圧化/大電流化への対応ということがあります。クロックの上昇による処理速度の向上に比例して消費電流は増加しますが、それによる消費電力の増加を抑えるためにICの動作電圧は低下していき、最近では1.2V未満の製品が出てきています。しかも、電圧精度が±3%以内と高精度な電源を要求するDSPなどもあります。

電源ICは内部に基準電圧をもっており、出力電圧を分圧した電圧をこの基準電圧と比較して出力電圧を制御しています。この基準電圧は、高精度化の要求からシリコンのバンド・ギャップ電圧を利用した電圧源が使用されてきました。しかし、シリコンのバンド・ギャップ電圧は1.205Vであり、これを元に作った基準電圧はこの電圧より高いものしか作れませんでした。

電圧設定は出力電圧を分圧して基準電圧との比較を行って制御しているために、出力電圧は1.205Vより低くすることができませんでした。1.2V以下の電圧要求から基準電圧の低電圧化が求められ、このバンド・ギャップ電圧を基準とした低い基準電圧を作って対応していますが、低い電圧を作るための分圧回路の精度が基準電圧自体の精度に加算されて電圧精度が悪化してしまいます。しかし、さまざまな温度補正技術とトリミング技術の進歩により、低電圧化した基準電圧でも1%以下、高精度品では0.5%といった電源IC製品も一般化してきており、低電圧、大電流、高精度という要求に対応しています。

出力電圧の低電圧化による電圧マージンの減少から、電圧の高精度化が要求されています。これに対