

LM2576 レギュレータを使用した 高効率 3A バッテリー・チャージャ

National Semiconductor
Application Note 946
Chester Simpson
May 1994



このアプリケーション・ノートでは、LM2576をベースにした、最大 3A の電流を供給できるバッテリー・チャージャの設計例を 2 つ示します。

過充電保護回路を内蔵した 3A バッテリー・チャージャ

この設計は、5セルの Ni-Cd または Ni-MH バッテリー・パック用の 3A バッテリー・チャージャです(これ以外のセル数に合わせて変更できます)。この回路には、バッテリー温度が周囲温度よりも 10 上昇すると自動的にシャットオフする機能があります。

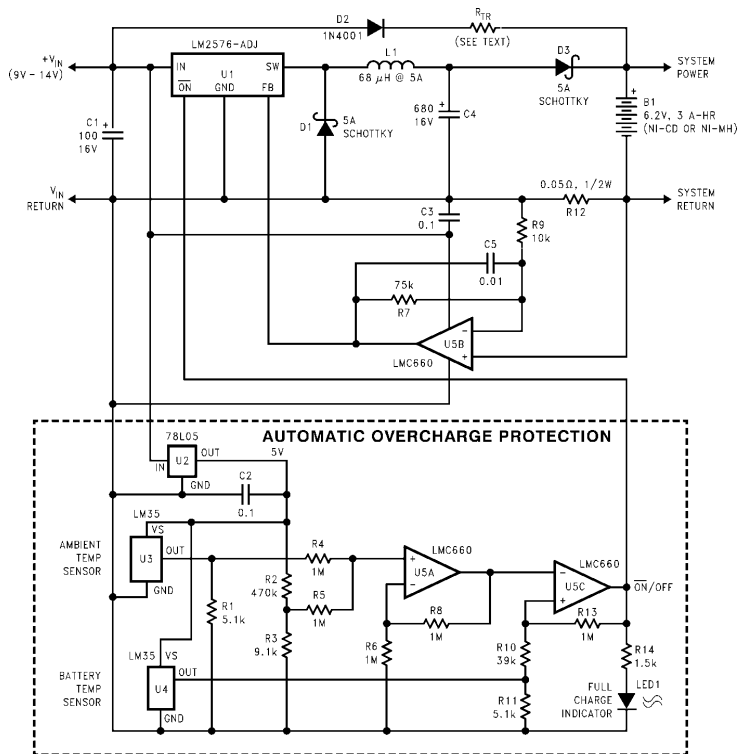
回路概念

Figure 1 に示すこのバッテリー・チャージャは、特に 3A の急速充電が

可能なニッケル・カドミウム(Ni-Cd)またはニッケル水素(Ni-MH) バッテリーを使用するアプリケーション用に開発されており、バッテリーがフル充電の状態になると、大電流充電を自動的にシャットオフする機能を持っています。

シャットオフ後は、連続(低レベルの)充電電流を使用してバッテリーの「トリクル充電」を行い、フル充電状態を維持し、内部漏れ電流による充電損失を防止します。

使用するトリクル充電率は常時低く抑え、セル内で発生するガス量が再結合可能な程度に収まり、圧力上昇とガス放出(圧力開放のためセル内部の弁が開く)が起きないようにしなければなりません。安全なトリクル充電率の最大値は、バッテリーのサイズとタイプで決まります(後述します)。



TL/H/12054-1

Note (特記のない限り):

- 全てコンデンサの単位は μF
- 全ての抵抗は 5%、1/4W
- U1 は小さなヒートシンクが必要 ($R_{\text{TH}} < 15 / \text{W}$)
- C1 と C4 には低 ESR のアルミ電解が必要
- U5D は使用されません。

バッテリーで重要な仕様はアンペア時(AH)定格です。これは、バッテリーが終止電圧(通常、Ni-CdおよびNi-MHバッテリーでは1.0V/セル)に達するまで、1時間あたり負荷に供給できる最大電流と同じです。

バッテリーがアンペア時定格と等しい電流で充電または放電されると、これを「C」率と呼びます。

ほとんどのNi-CdおよびNi-MHバッテリーは、過充電しないうり、1Cで安全に充電できます。しかし、バッテリー温度は15 ~ 45 の範囲内であればなりません(理由は後述します)。

過充電: 静かな破壊者

すべての充電可能なバッテリーにとって過充電は大敵ですが、バッテリーのタイプによって耐久力に差があるため、過充電の結果受ける損傷は小さなものから壊滅的なものまで幅広くなります。

現在使用されている充電可能なバッテリー・タイプの中で最も一般的なNi-Cdの場合、過充電を続けるとバッテリー内部の圧力が上昇し、最終的にはセルの弁が開いて酸素を放出します。これはバッテリーに有害な作用を及ぼしますが、それでもバッテリーには有効な容量が多少残ります。

Ni-MHバッテリーを過充電した場合も、圧力が上昇してガスを放出します。しかし、放出されるガスは水素であり、火花や炎の近くでは強い爆発性があります。あるバッテリー・メーカーでは、Ni-MHバッテリーを過充電した場合の不幸な事故に対して、「急速自己分解」という婉曲的な表現を用いています。

充電完了の検出

Ni-CdおよびNi-MHバッテリーの充電完了を検出する方法はいくつかありますが、簡単に精度の高い方法として T 検出という方法があります。これは、周囲温度とバッテリー温度の両方を測定し、バッテリー温度が周囲温度よりも、あらかじめセットされた値だけ高くなったときに大電流充電器をカットオフするというものです。この設計では、カットオフ・ポイントとして10 上昇(バッテリー・メーカーのほとんどが推奨する値)を使用しますが、抵抗値を変更することで容易に調整できます。

Ni-Cdセルの充電プロセスは吸熱性であるため(放電したバッテリーを再充電するとき、わずかに冷たくなります)、T カットオフ方法が最適です。急速充電率であっても、完全充電に近くなるまでバッテリーは発熱しません。満充電に近づくと、バッテリーは電流を化学反応に変換しなくなり、熱として放出しなければならなくなります。その結果温度が上昇します。それが、充電停止の非常に正確な合図となります。

この方法は、Ni-MHバッテリーには理想的というわけではありません。再充電サイクルは発熱性ですが(充電中、バッテリーは少し暖かくなります)、バッテリーが完全充電されると顕著に温度上昇するためよくあります。10 を T 検出ポイントとして使用すると、ほとんどの場合良い結果が得られ、バッテリー・メーカーでもそれを推奨しています。

注: Ni-MH および Ni-Cd バッテリーの急速充電に関する警告

通常、Ni-MHバッテリーは再充電中、発熱するので、対象セルの特性に合わせて10 の「窓」を調整する必要があります。「通常」の発熱で早まってカットオフしてしまわないように窓を十分に広く取りながら、同時に完全充電時の温度上昇を検出できる(そして適切に充電終了を行える)ように窓を十分に狭くしなければなりません。

水素が放出されるとバッテリーが爆発する可能性があるため、Ni-MHバッテリーを扱う回路を新たに設計するときは、充電完了を正確に実効できるかどうかを慎重に評価する必要があります。

重要: Ni-Cd および Ni-MH セルでは、1C(急速)充電率を安全に使用できるのは、バッテリー温度が15 ~ 45 のときに限られます。

低温時は、Ni-Cd および Ni-MH バッテリー内でガスが簡単に再結合されないため、ガスが放出されない範囲で安全に使用できる充電電流の値が制限されます。低温(< 15)で再充電する必要がある場合は、安全な充電電流の値についてバッテリー・メーカーにお問い合わせください。

高温状態で再充電されたバッテリーは、25 で充電されたバッテリーよりも大幅に少ないエネルギーしか保持していません。高温(> 35)では、充電量が非常に低い状態でセル内にガスが発生し、セル温度の同じ上昇量でも、25 の場合ほどには充電できなくなります。

バッテリーが高温時に充電効率が低下するということは、「高温の」バッテリーを容量フル(25)のまで充電するには非常に長い充電時間が必要になる(小充電電流で)ということを意味します。

トリクル充電電流

すべてのバッテリーは、一般にバッテリーのセパレータ(絶縁体)に漏洩経路が形成されることで発生する自己放電によって、充電量を内部で失います。漏洩の量は主にバッテリーの使用時間と使用頻度に左右され、古いバッテリーや充放電を何回も繰り返したバッテリーでは、漏洩が大幅に増加します。

トリクル充電は、低い値の充電電流を連続的に流してバッテリーを完全に充電された状態に保ち、漏洩によるエネルギー損失を防止する方法です。

一般のNi-Cdセルでは、安全なトリクル充電電流の最大値は約0.1Cで、これが内部で発生したガスがすべて再結合できる範囲の最大充電率になります(そのため、ガス放出の原因となる内圧が発生しません)。

Ni-MH バッテリーでは、最大(安全な)トリクル充電率がさらに低くなります(あるメーカーでは、C/40 を指定しています)。これが、Ni-Cd バッテリーとNi-MH バッテリーとの重要な違いであり、連続充電の場合はこれを超えてはなりません。

この設計では、 R_{TR} と書かれた抵抗からトリクル充電電流が供給されます(Figure 1 参照)。この電流は大電流充電器の動作とは無関係に、 V_{IN} が印加される限り常に流れ続けます。大電流充電器が動作しているときの総充電電流は、トリクル電流と I_{TR} が供給する電流との和になります。

入力電圧 V_{IN} とトリクル充電電流 I_{TR} とが与えられ、 R_{TR} の値はオームの法則を使って次のように求められます。

$$R_{TR} = (V_{IN} - 7 - 0.7) / I_{TR}$$

R_{TR} の最大消費電力も計算しなければなりません(抵抗を選択するとき、次式による計算値よりも定格電力が大きいものを選びます)。

$$P_{MAX}(R_{TR}) = (V_{IN} - 4 - 0.7)^2 / R_{TR}$$

抵抗で消費される電力は、バッテリー電圧によって変化します。バッテリー電圧が上昇すると、 R_{TR} による電圧降下が減少します(したがって、消費電力が減少します)。

上記の式においてバッテリー電圧4Vは、5セルのバッテリーで最低の動作電圧となる最悪ケースを想定したものです(R_{TR} の消費電力が最大になります)。

良質な5セルのNi-CdおよびNi-MHバッテリーは、完全に再充電後、トリクル充電を行っていただければ、約7Vに達し、抵抗 R_{TR} の消費電力が最小になります。

回路動作の詳細(Figure 1 参照)

急速充電回路が供給する3Aの充電電流は、52kHzでスイッチングを行っている降圧レギュレータのLM2576から得ています。これはスイッチャーであるため、広い範囲の入力電圧を許容しながら、高い電力変換効率を得られます(V_{IN} が10V ~ 14Vの範囲で3A時に約80%)。

ICのLM2576(U1)は、バッテリー電圧とは無関係に充電電流を供給するために用いられています。ON/OFFピンがローに保たれている限り、U1はD3を通じてバッテリーへ電流を供給します。電流制御帰還ループは、USB、R12、およびその関連部品によって構成されています。

R12は、電流センスとして使用され、USBの入力に充電電流に比例した電圧を供給します。USBはゲイン8.5の増幅器として機能し、R12を流れる電流が約2.9AのときはR5Bの出力は1.23Vになります。U1の帰還ピンに1.23Vの信号が加わると、このときの充電電流の値でループは「ロック」します。

R7、R9、またはR12の値を調整することで、急速充電電流を2.9A以外の値に設定できます。これらの抵抗値(この段の総合ゲインを設定する)は、希望の急速充電電流のときにUSBの出力が1.23Vになるように調整します。

満充電時での自動シャットダウン

バッテリーを急速充電する場合(特にNi-MHの場合)、非常に重要なことは、いつ止めるかを知ることです。この設計では、バッテリー温度と周囲温度の両方を測定するT検出回路を使用して、バッテリー温度が周囲よりも10度高くなったところで急速充電の電流源をシャットダウンします。

この方法は、バッテリーの温度のみを測定する方法よりも優れています。一方だけの温度測定では、充電状態を正確に知ることはできません。「低温の」バッテリーでは検出ポイントに達するまでに過熱してしまいます(過充電される)し、「高温の」バッテリーでは完全に充電される前に充電を停止されてしまいます(検出レベルに近い温度から充電が開始されるため)。

2個のLM35による温度センサ(U3およびU4)は10mV/(自身の温度に比例した)の出力電圧を発生します。U3は周囲温度を測定し、U4はバッテリー温度を測定します。

注: バッテリー温度を正確に測定するために、U4はバッテリーの金属ケースに密着していなければなりません。バッテリー周りのプラスチックを切り開き、直接接触させてください。センサを2個のバッテリーの間に配置する(両方に接触させる)と良い結果が得られます。

複数のバッテリーを監視すれば、温度上昇しない不良(ショートした)セルをセンサが測定して充電を終了させない可能性がなくなります。ラップトップ機の中には、複数のセンサを使用してすべてのバッテリーセルを監視し、いずれかのセル温度が設定レベルに達すると充電を終了しているものがあります。

78L05レギュレータ(U2)は、LM35センサに5Vの電源を供給すると同時に、R2とR3による抵抗分圧回路の基準電圧ともなっています。抵抗R1およびR11は電流をシンクする目的に使用されます(LM35はシンクできないため)。

急速充電用電流源の制御

U5Cは、急速充電用電流源(U1)のON/OFFピンを制御するコンパレータとして働きます。U5Cの出力がローのとき、3Aの電流源はオンします。U5Cの出力が高いとき、U1はオフとなってLED1が点灯します。これは、充電器が大電流充電段階を終了して、トリクル充電を行っていることを示します。

U5Cにはヒステリシス特性を持たせてあるため(R13参照)、充電サイクルの急速充電段階が終わったときにU5Cの出力が確実にハイに「ラッチ」されます(入力電圧がオン/オフされるまでラッチされます)。ヒステリシス特性がない場合、完全に充電されたバッテリーがトリクル充電中に冷えると、3A充電器が再びオンしてしまいます。

充電完了状態の検出

U5Cへ送られる信号は、温度センサからのものです。U4(バッテリー温度センサ)からの信号がU3(周囲温度センサ)からの信号よりも100mV高くなると検出されるので、これらの信号を直接比較することはできません。

この設計では、U3からの信号はU5Aとその関連部品によってDCレベルが約0.1V上乗せされます。R2とR3はU5Aの0.1Vの基準電圧を設定し、U5Aの出力電圧はU3の出力に0.1Vの基準電圧を加算したのようになります。

U3からの信号は10に相当する分だけレベルシフトされていますので、U5Cを使用してU3からのレベルシフトされた信号とU4からの信号とを比較できます。この2つの信号が等しいとき、U4が検出したバッテリー温度が、U3が検出した周囲温度よりも10高いこととなります。これが、3A充電器をシャットダウンし、トリクル充電を続ける、切り替わりポイントになります。

ロジック・レベルの電流制御スイッチを備えた3Aバッテリー・チャージャ

この設計は、ロジック・コントローラによってバッテリーの充電電流を4種類の中から1つ選ぶことができる、ロジック・レベルの制御スイッチを備えた3Aバッテリー・チャージャです。この回路は、Ni-CdまたはNi-MHバッテリーで動作するシステムに、マイクロプロセッサベースの充電制御機構を実装する目的で設計されています。

概要

Figure 2に示す回路は、52kHzのスイッチング・コンバータを使用して入力DC電圧の降圧とバッテリーへ流入する充電電流の調節を行う、3A(最大)バッテリー・チャージャです。スイッチング・レギュレータは、広い入力電圧範囲にわたり高い効率を保つので、安価で、調節性能の低い「プラグ付きDCアダプタ」を入力電源として使用できます。

この回路の特長は、PC内部のマイクロプロセッサ制御回路によって2ビットのロジック・レベルを変更することにより、4種類の充電電流の中から1つを選択できるようにしていることです。Ni-CdバッテリーとNi-MHバッテリーとは充電方法が多少異なるので、両方に対応するためには、さまざまな充電レベルが必要になります。

Ni-CdバッテリーとNi-MHバッテリーは、どちらも充電完了の限度までは大電流の「C」率で充電できますが、トリクル充電の方法は異なります(トリクル充電とは、小電流の充電率による連続充電のことをいいます。バッテリーの全充電容量の約95%まで大電流充電した後で、バッテリーを「満充電」状態にします)。

推奨されているNi-Cdのトリクル充電率は約C/10ですが、ほとんどのメーカーはC/40を超えないことを動めています。Ni-MHバッテリーでは、連続充電率がC/40を超えると、内圧が上昇してバッテリーが水素ガスを放出する恐れがあります。これはNi-MHバッテリーの寿命に悪影響を与え、またユーザにとって危険でもあります(水素ガスは簡単に引火します)。

Figure 2に示す回路は、3AHのNi-CdおよびNi-MHバッテリーを、ロジック・レベル信号を使って充電電流を制御しながら、高効率で充電できるように設計されています。選択可能な4種類の充電率は3A、0.75A、0.3A、および0.075Aで、このアプリケーションで使用する3AHバッテリーのC、C/4、C/10、およびC/40の充電率にそれぞれ対応しています。

回路動作(Figure 2 参照)

レギュレートされていないDC入力電圧は、LM2576 3A 降圧レギュレータを使って降圧され、最大3Aのバッテリー充電電流を供給します。バッテリーに流入する充電電流を調節するため、オペアンプU2を使って電流制御ループが形成されています。検出抵抗R8による電圧降下分が、充電電流に比例したU2の入力電圧となります。

注: R8の0.05Ωという値は、この抵抗が消費する電力を最小にするために、このアプリケーションの顧客から指定されたものです。オーム数を大きく(抵抗値を大きく)すると検出電圧が高くなり、オペアンプの入力オフセット電圧を無視できるようになるため、U2に精度の低い(安価な)オペアンプを使用できます(当然ながら、R8を大きくするとR8による消費電力も増加します)。

電流制御ループの動作中は、U1の帰還ピンの電圧が1.23Vに保たれます。この電圧に対応するバッテリーの充電電流は、U2の総合ゲインと

Q1、Q2、および抵抗R10、R11、R2、およびR3で構成されるアッテネータで決まります。

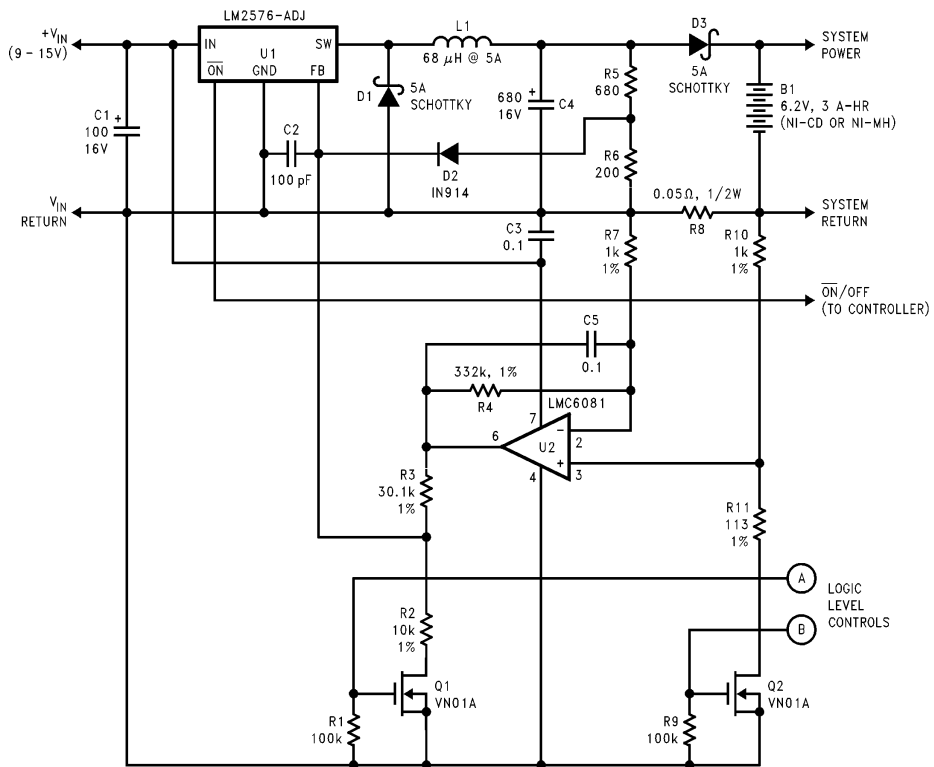
Q1がオンする(入力「A」に「1」を与える)と、負荷電流が4倍に増加します。Q1がオンで負荷電流が増えるのは、R2とR3でU2の出力を1/4に分圧しているため、U1の帰還ピンに1.23Vを供給するU2の出力電圧が高くなるからです。U2の出力電圧が高いということは、R8(とバッテリー)を流れる充電電流も増えるということです。

Q2の動作はQ1に似ています。入力「B」にロジック「1」を与えてQ2がオンすると、負荷電流が10倍に増加します。これは、Q2がオンすると、R8からの検出電圧がR10とR11で分圧されるため、U2の非反転入力に同じ電圧を印加するR8の信号電圧が10倍になるからです。

両方の分圧回路をU2の入力側に配置することもできますが、1/4分圧回路を出力側に配置すると精度が向上し、増幅器U2のノイズ耐性も向上します(U2の入力に印可される電圧が大きくなると、入力オフセット電圧による誤差が減少し、スイッチング・ノイズによる性能劣化が少なくなります)。

R5、R6、およびD2は、バッテリーが外されたときに電圧制御ループを形成するよう組み込まれています。これらの部品は、充電電流のリターン経路がなくなったときに(そして電流制御ループが機能しなくなったときに)、D3のカソード側電圧が8V以上に昇らないようにします。

コンデンサC2は、U2からの制御ラインに乗った52kHzのノイズをフィルタリングするために取り付けられています。この部品を取り付けると、(設計上の予測値に比べて)試作品で実測した充電電流の精度が向上しました。



TL/H/12054-2

Notes (特記のない限り):

Note 1: 全ての抵抗はΩ単位、5%精度、1/4Wです。

Note 2: 全てのコンデンサの単位はµFです。

Note 3: Q1、Q2はSUPERTEX製です。

Note 4: 3A出力の場合、U1には小さなヒートシンクが必要です。(R_{TH} 15 /W)

Logic Input "A"	Logic Input "B"	Nominal Battery Charging Current (A)	Measured Battery Charging Current (A) with V _{IN} = 10V	Power Conversion Efficiency (%) with V _{IN} = 10V
1	1	3.0 (C RATE)	3.06	77
0	1	0.75 (C/4 RATE)	0.78	79
1	0	0.30 (C/10 RATE)	0.30	
0	0	0.075 (C/40 RATE)	0.077	

FIGURE 2. 3A Battery Charger With Logic-Level Current Controls

生命維持装置への使用について

弊社の製品はナショナル セミコンダクター社の書面による許可なくしては、生命維持用の装置またはシステム内の重要な部品として使用することはできません。

1. 生命維持用の装置またはシステムとは(a)体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または(b)生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用方法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。
2. 重要な部品とは、生命維持にかかわる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

本 社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16 TEL.(03)5639-7300 <http://www.nsjk.co.jp/>

製品に関するお問い合わせはカスタマ・レスポンス・センタのフリーダイヤルまでご連絡ください。



0120-666-116



この紙は再生紙を使用しています