

AVR450 : 密閉鉛電池、ニッカド電池、 ニッケル水素電池、リチウム イオン電池用充電器

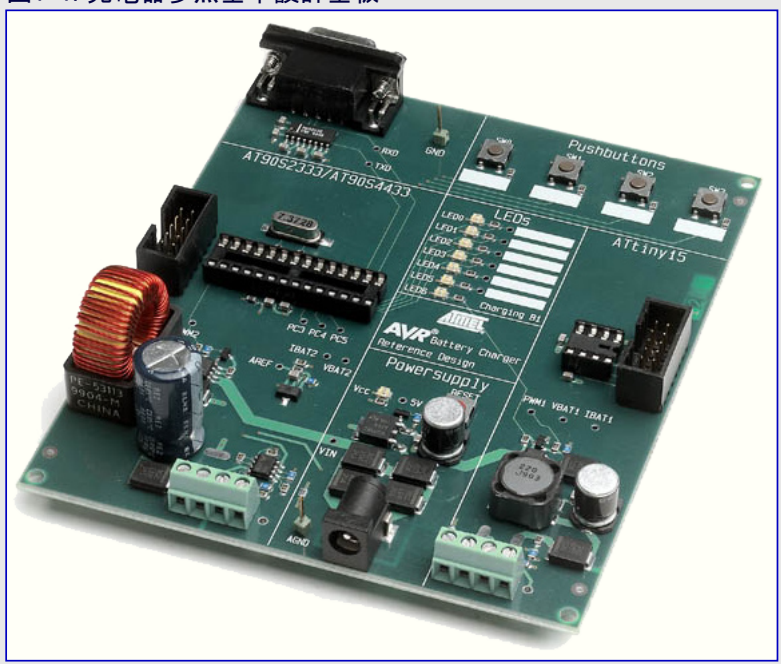
要点

- 完全な充電器設計
- 調整可能なCソースコードと極端に小さなアセンブリコード
- 低価格
- 最も共通的な電池形式を支援
- 急速充電法
- 10ビットA/D変換器での高精度測定
- 任意選択のシリアル インターフェース
- 充電パラメータの容易な変更
- 電池特性保存用のEEPROM

1. 序説

この充電器参照基準設計は充電器設計での最新技法を完全に実装する充電器です。この充電器はどんなハードウェアの修正もなしで、一般的な全ての電池形式を急速充電できます。新しい充電器型式は実装書き込み可能なフラッシュメモリを使い、マイクロコントローラへ望む充電方法を再書き込みすることで容易に設計されることによって、ほぼ1つのハードウェア設計構築を充電器の全製品範囲に許します。これは新製品に対する市場への最短時間と複数版のハードウェア在庫の必要をなくします。この充電器設計は密閉鉛蓄電池(SLA)、ニッカド電池(NiCd)、ニッケル水素電池(NiMH)、リチウムイオン電池(Li-Ion)に対する完全なライブラリを含みます。

図1-1. 充電器参照基準設計基板



この充電器参照基準設計は高位AT90S4433マイクロコントローラと高度に統合された低価格8ビットATtiny 15マイクロコントローラで構築した2つ充電器を含みます。けれども希望する充電方法を格納する十分なプログラム用メモリとA/D変換器とPWM出力を持つどのAVRマイクロコントローラを使っても実装が可能です。



8ビット **AVR**[®]
マイクロコントローラ

応用記述

本書は一般の方々の便宜のため有志により作成されたもので、Atmel社とは無関係であることを御承知ください。しおりのはじめにでの内容にご注意ください。

Rev. 1659C-09/06, 1659CJ4-01/21

益々電子機器が携帯型になるように、高容量でより小さくて軽い、良い電池に対する需要が増加するでしょう。電池技術の継続的な進歩が、安全で速い充電を保証するためのより高度な充電方法を要求します。充電処理のより高い精度での監視が最小充電時間と電池の最大容量の利用、一方で電池損傷を避けるために必要とされます。AVRマイクロコントローラは次世代充電器に対する理想を提供し、競争で一歩先んじます。

AtmelのAVRマイクロコントローラは1チップでフラッシュメモリ、EEPROM、10ビットA/D変換器を提供する、今日の市場に於ける最も効率的な8ビットRISCマイクロコントローラです。プログラム用フラッシュメモリはソフトウェアの複数版でのマイクロコントローラを在庫する必要をなくせます。フラッシュメモリは最終製品出荷直前に製品内へ効率的に書くことができます。実装後の書き込みはソフトウェア更新と後日の修正を許す、高速実装書き込み(ISP)を通して可能にされます。

データ用EEPROMは電池特性と校正値の格納に使い、それは定常的に記録すべき充電履歴や進化する電池容量に対する最適化も許します。統合された10ビットA/D変換器は他のマイクロコントローラを基にした方法と比較して電池計測に対して優秀な分解能を与えます。増加した分可能は電池の最大容量へ継続して近づく充電を許します。増加した分可能は電圧範囲のために増幅する外部OPアンプの必要もなくします。その結果は基板の大きさが減少され、より低いシステム価格です。

AVRはC言語のような高位言語用に設計された8ビットマイクロコントローラのみです。AT90S4433用の参考設計は高位言語での優秀で簡単なソフトウェア設計を実演する、C言語で完全に書かれています。Cコードは現在や今後の電池に対して、本参考設計の補間や修正を容易にします。ATtiny15用の参考設計は最大コード密度(最小コード量)を達成するためにアセンブリ言語で書かれています。

2. 動作原理

化学系のエネルギー回復の逆が可能な化学反応によって電池の充電を可能にします。使う化学物質によって電池は或る特性を持ちます。充電器の設計時、過充電によって与えられる損傷を避けるために、これらの特性を詳細に知る必要があります。

2.1. AVR 8ビット RISC MCU

本参考設計は2つの独立した充電器を含みます。1つはAT90S4433 AVRマイクロコントローラを使い、(別の)1つはATtiny15 AVRマイクロコントローラを使います。AT90S4433設計は効率的な充電器がCコードで実現できる方法を実演します。ATtiny15設計は今日の市場で利用可能な高度に統合された最低価格の充電器を示します。AT90S4433はデータ記録について、パソコンへのUARTインターフェースで電圧と温度の監視に使用できます。表2-1はこの設計での違いを示します。

表2-1. 設計の違い

項目	AT90S4433設計	ATtiny15設計
プログラミング言語	C言語	アセンブリ言語
コード容量(約)	1.5Kバイト	< 350バイト
電流測定	外部OPアンプ利得段	組み込み差動利得段
PWM周波数	14kHz (8ビット分解能)	100kHz (8ビット分解能)
クロック元	7.3MHz外部クリスタル発振子	1.6MHz内蔵RC発振器
シリアル通信インターフェース	あり	なし
実装書き込み	あり	あり

2.2. 電池技術

近代的な家電は4つの異なる形式の二次電池を主に使います。

- ・ 密閉鉛蓄電池 (SLA)
- ・ ニッカド電池 (ニッケル カドミウム : NiCd)
- ・ ニッケル水素電池 (ニッケル金属水素 : NiMH)
- ・ リチウム イオン電池 (Li-Ion)

応用に対する正しい電池と充電方法を選択し得るには、これらの電池のいくつかの背景情報を持つことが重要です。

2.2.1. 密閉鉛蓄電池(SLA)

密閉鉛蓄電池は、代表的にUPSや警報システム用の予備電池として好まれ、大きさや重量よりも価格が最も重要な多くの応用で使われます。密閉鉛蓄電池は充電処理の初期段階での温度超過を避けるための電流制限器と共に、定電圧を使って充電されます。密閉鉛蓄電池はセル電圧が製造業者仕様(代表的には2.2V)を決して越えない限り、無限に充電できます。

2.2.2. ニッカド電池(NiCd)

ニッカド電池は今日、広く使われています。これらは使うのに相対的に安価で便利です。代表的なニッカド電池は1000回までの完全充電ができます。これらは高い自己放電率を持ちます。電池パック内で完全に放電した先頭のセルが極性反転され、ニッカド電池は反転されることで損傷されます。電池パックの放電損傷を避けるために、電圧が定常的に監視され、応用はセル電圧が1.0V以下に下がった時に切断すべきです。ニッカド電池は定電流で充電されます。

2.2.3. ニッケル水素電池(NiMH)

ニッケル水素電池は新しい軽量携帯応用(例えば、携帯電話やビデオカメラなど)で最も広く使われる電池形式です。これらはニッカド電池よりも高いエネルギー密度を持っています。ニッケル水素電池は過充電から損傷を受けます。従って正確に正しい(換言すると、過充電なしで電池を完全に充電する)時間で充電を終えるのに累積測定を行なうことが重要です。ニッカド電池のようにニッケル水素電池も極性反転からの損傷を受けます。

ニッケル水素電池は概ね20%/月の自己放電率を持っています。ニッカド電池のようにニッケル水素電池は定電流で充電されます。

2.2.4. リチウム イオン電池(Li-Ion)

リチウム イオン電池は本応用記述で他の電池に比べて最も高いエネルギー/重量、エネルギー/大きさ率を持っています。リチウム イオン電池は充電処理の初期段階での温度超過を避けるための電流制限器と共に、定電圧を使って充電されます。充電は充電電流が製造業者によって設定された最低電流限界以下に低下した時に終了されます。この電池は過充電から損傷を受け、過充電時に暴発するかもしれません。

2.3. 電池の安全充電

最近の急速充電器(換言すると、3時間未満、代表的には1時間で電池が完全に充電される)は、過充電やその他の損傷なく、完全に電池を満充電するために、セル電圧、充電電流、電池温度の精密測定を必要とします。

2.3.1. 充電法

密閉鉛蓄電池とリチウム イオン電池は(電流制限された)定電圧で充電されます。ニッカド電池とニッケル水素電池は定電流で充電され、各種の終了方法があります。

2.3.2. 最大充電電流

最大充電電流は電池容量(C)に依存します。最大充電電流は通常、電池容量で与えられます。例えば充電電流750mAで充電されるセル容量750mAhの電池は、1C(1回分の電池容量)充電として参照されます。トリクル充電用の充電電流がC/40に設定されている場合、その充電電流はセル容量÷40です。

2.3.3. 過熱

電気エネルギーが電池内に転送されることによって電池は充電されます。このエネルギーは化学反応で保存されます。しかし、電池に印加された全電気エネルギーが化学エネルギーとして電池内に転送される訳ではありません。電気エネルギーの幾許かは電池を熱する熱エネルギーになります。電池が完全に充電されると、電池に印加された全ての電気エネルギーが熱エネルギーになります。急速充電で充電が終了されなかった場合、これは電池に損傷を与える電池の急な温度上昇になるでしょう。充電を終了するのに温度を監視することは、良い充電器を設計する上で重要な要素です。

2.4. 終了方法

電池が使われる環境と応用(種別)は終了方法の選択に制限を与えません。時には電池の温度測定が非現実的で、電圧測定やその他の対処法がより容易かもしれません。この参考設計は主終了法として**電圧低下(-dV/dt)**、予備として**温度と絶対電圧**を使用して実行します。けれどもハードウェアは以下に記載した全ての方法を支援します。

2.4.1. 時間 (t)

これは充電終了時を計る最も簡単な方法の1つです。通常、急速充電時の予備終了方法として使われます。標準充電(14~16時間)での主終了方法としても使われます。全ての電池に適用してください。

2.4.2. 電圧 (V)

充電は電圧が予め設定した上限以上に上昇した時に終了されます。定電流充電との組み合わせで使ってください。最大電流は電池によって決められ、普通は**前記のように1C**です。電流制限は充電電流が多すぎる場合の温度損傷を避けるのに重要です。標準的に**密閉鉛蓄電池**は実際の充電電圧以上の最大電圧を設定することで、無限に充電されます。**リチウム イオン電池**に対しては主充電法/終了法として使ってください。リチウム イオン充電器は通常、電池を安全に100%充電するために、最大電圧到達後に第2段階を続けます。予備終了法として**ニッカド電池**と**ニッケル水素電池**でも使ってください。

2.4.3. 電圧低下 (-dV/dt)

この終了方法は電池が満充電された後で充電が継続される場合に、いくつかの電池形式で電圧低下が起こるのを監視する、時間経過での電圧の負係数を利用します。一般的に定電流充電と共に使ってください。ニッカド電池とニッケル水素電池の急速充電に適用してください。

2.4.4. 電流 (I)

充電は充電電流が予め設定した値以下に低下した時に終了されます。一般的に定電圧充電と共に使ってください。普通、急速充電段階に続く最終充電段階を終了するために密閉鉛蓄電池とリチウム イオン電池に適用してください。

2.4.5. 温度 (T)

絶対温度は(ニッカド電池とニッケル水素電池に対する)終了として使えますが、予備終了法としてだけ好まれます。電池の充電は製造業者によって設定された動作温度制限を越えて温度が上昇した場合に終了されるべきです。温度が安全温度以下に低下した場合に充電を中止するための予備方法としても使ってください。全ての電池に適用してください。

2.4.6. 温度上昇 (dT/dt)

時間経過での温度変化が急速充電時の終了方法として使えます。正確な終了点の情報については製造業者の仕様を参照してください(代表的にはニッカド電池については1°C/分)。ニッカド電池とニッケル水素電池に適用してください。

2.4.7. 周囲と電池の温度差 (DT)

周囲温度(室温)と電池温度上昇間の差が予め設定された閾値を越えた時に充電を終えてください。主または予備の方法として密閉鉛蓄電池とニッカド電池に適用してください。低温環境での充電時に電池損傷を避けるためには、むしろ**絶対温度**の方を選んでください。殆どのシステムが利用可能な温度センサを1つだけ持つため、周囲温度は通常、充電が開始される前に測定されます。

2.4.8. 電圧上昇0 (dV/dt=0)

この終了方法は**電圧低下(-dV/dt)法**と非常によく似ていますが、電圧がもはや上昇しない時をもっと精密に1点を指示します。ニッカド電池とニッケル水素電池に適用してください。

3. 実装ハードウェア

参考設計は2つの完全な充電器設計を含みます。この参照設計は5つの主要部分に分けられます(図3-1をご覧ください)。

3.1. 概要

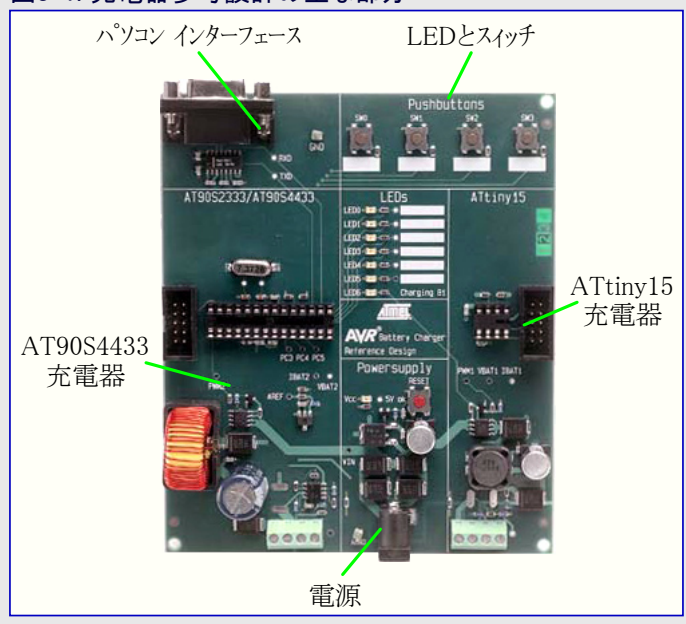
3.1.1. 電源

電源部は電源用のプッシュ釦とLEDを含みます。入力電圧はD9～D12を通して整流され、その後にC13で平滑化されます。整流された入力電圧はVINと記された検査点で測定できます。VINはLM7805電圧調整器と降圧変換器の両方に供給されます。LM7805はマイクロコントローラに対して5Vを配給します。この電圧はVCCと記された検査点で測定できます。5V OKと記されたLEDは電源ONを示します。

3.1.2. パソコン インターフェース

AT90S4433のUARTインターフェースへ接続されています。充電中の電池データを記録するためにパソコンをインターフェースするのに使えます。このデータは電池に関する充電特性を表示するために集計表内に取り込むことができます。AT90S4433はATtiny15充電器の使用時にデー

図3-1. 充電器参考設計の主な部分



1.3. LEDとスイッチ

この基板にはデバッグと監視目的用に多くのLEDとスイッチがあります。少しだけ現在の応用で使われますが、残りは必要なとき、容易に付加できます。

- LED0 : AT90S4433のPB0に接続されています。現在の応用で充電動作(急速/トリクル)を示すのに使われます。
- LED1 : AT90S4433のPB2に接続されています。
- LED2 : AT90S4433のPB3に接続されています。
- LED3 : AT90S4433のPB4に接続されています。AT90S4433応用での“異常”表示に使われています。
- LED4 : 未接続、デバッグや監視の拡張用に基板上の検査点に接続できます。
- LED5 : 未接続、デバッグや監視の拡張用に基板上の検査点に接続できます。
- LED6 : AT90S4433のPB1に接続されています。現在の応用でPWM周波数視認用に使われます。
- VCC : 電源状態を示します。
- SW0 : AT90S4433のPD4に接続されています。現在のAT90S4433応用で充電開始に使われます。
- SW1 : AT90S4433のPD5に接続されています。
- SW2 : AT90S4433のPD6に接続されています。
- SW3 : AT90S4433のPD7に接続されています。
- RESET : プログラムの再起動と充電異常からの復帰に使われます。

3.1.4. 実装書き込み(ISP)インターフェース

両設計共試験基板上に10ピンのISPヘッダを持っています。プログラム用フラッシュメモリとデータ用EEPROMはAVRISPとパソコンの書き込みソフトウェアから書くことができます。

3.1.5. ATtiny15と100kHz降圧変換器

ATtiny15は充電器用に特別に仕立てられた特殊機能を含みます。内蔵100kHz PWMが降圧変換器に接続されます。高いスイッチング周波数と高い精度は外部コイルとコンデンサを小さくします。PWM出力、電圧入力、電流入力を容易に監視するために検査点が付加されています。ATtiny15は2つのA/Dチャネル間の差電圧を増幅できる内部利得段を含みます。これは外部OPアンプの必要をなくします。充電電流は0.25Ω抵抗器端の2つのA/Dチャネル間の差として測定されます。充電器用の電源は「[追補2.](#)」で示されます。

3.1.6. AT90S4433と14kHz降圧変換器

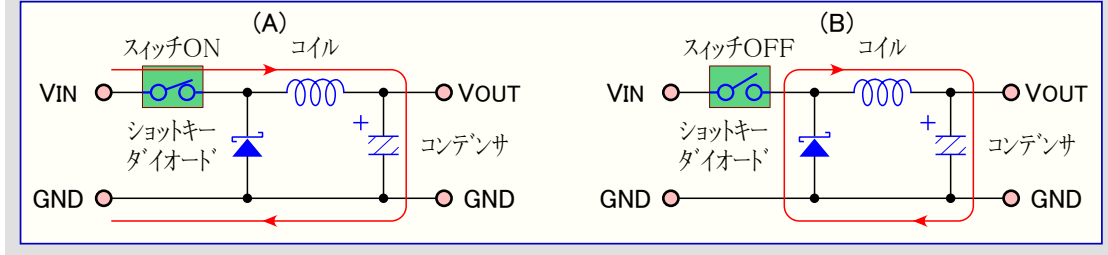
AT90S4433充電器設計は電流測定用に電圧を増幅するための外部OPアンプを使います。これは電池測定に対して最も高い精度を保証します。この充電器は充電パラメータ監視と充電方法のデバッグに使えるパソコンとの通信能力があります。

充電器の回路は密閉鉛蓄電池、ニッカド電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池の4つの電池形式のどれをも、適切な充電方法で充電するために設計されました。これらの充電方法には最大電池容量での最短充電時間を得るために急速充電と最終トリクル充電を含みます。充電器用の電源は「[追補2.](#)」で示されます。

3.1.7. 降圧変換器

降圧変換器はAT90S4433とATtiny15の両方に対して同じです。これらは1つのハイボラNPNTトランジスタ経由でAVRによって駆動される1つのPチャネルMOSFETスイッチングトランジスタから成ります。このスイッチングトランジスタはコイル、ダイオードそしてコンデンサへと接続されます(図3-2をご覧ください)。付加ダイオードは電力切断時にマイクロコントローラ内に供給される電圧から電池を保護します。(下図でスイッチによって描かれる)スイッチングトランジスタがONのとき、電流は図3-2.(A)で描かれるように流れます。コンデンサはコイルを経由する入力から充電されます(コイルも充電されます)。スイッチが開くと(図3-2.(B))、コイルは誘導電圧によって電流の流れを維持しようとします。電流の流れはダイオードを通り、コイルはコンデンサを充電します。その後はこの周期自体を繰り返します。ON時間が短く、OFF時間が長くなることでデューティ比が減少すると、電圧は低下します。(ON時間が長く、OFF時間が短くなることで)デューティ比が増加すると、電圧は上昇します。降圧変換器はデューティ50%で最も効率的に走行します。

図3-2. 降圧変換器スイッチング原理



3.1.8. 基準電圧

基準電圧はTL431CPK基準電圧によって供給されます。AREFは抵抗器R10とR34によって設定され、次式によって計算できます。

$$AREF = V_{REF} \left(1 + \frac{R34}{R10} \right) = 2.495 \left(1 + \frac{4.7K}{10K} \right) = 3.67V$$

この値は高分解能(低AREF値)と高S/N比(高AREF値)との相反交換条件です。基準電圧は両充電器設計に対して共通です。

3.1.9. 電池温度

温度は負温度係数抵抗器(NTC:サーミスタ)によって測定されます。これは25°Cで概ね10kΩの抵抗値です。このサーミスタは基準電圧によって給電される分圧器の一部です。

このサーミスタを過ぎて測定した電圧に関する分解能は電圧測定回路に対してと同じです。分解能は次式で示されます。

$$\frac{3.67V}{1024段階} = 3.58mV/1段階$$

段階値(N)は次式によって計算できます。

$$N段階 = 1024 \frac{R_{NTC}}{R_{NTC} + 10k\Omega}$$

サーミスタの抵抗値は直線的な傾斜に従わず、A/D変換値から温度を計算するのが難しくさせます。これを解決するのに温度を調べる表を使ってください(表3-1をご覧ください)。この表はA/D変換値400~675に対して0.5°Cに等しい段階数を示します。A/D変換値400は概ね37°Cで、675は8.6°Cです。本表の使用とB_DEF.Hヘッダファイルでのいくつかの微細変更がどのサーミスタの実装をも容易にさせるでしょう。ATtiny15充電器設計はサーミスタの直線性が温度増加を検知するのに充分と仮定しています。従って温度監視に定数比較値を使います。

表の値はサーミスタのデータシートとサーミスタでの分圧から計算されます。

表3-1. 温度に対応したサーミスタA/D変換値

A/D変換値	温度(°C)	0.5°C段数	サーミスタ抵抗値(Ω)
675	8.6	5	19341
650	11	4	17380
625	14	6	15664
600	16	5	14151
575	18.8	5	12806
550	21.2	5	11603
525	23.6	5	10521
500	26.2	5	9542
475	28.8	4	8652
450	32	6	7840
425	34	4	7095
400	37	5	6410
375	39.4	5	5778

3.2. AT90S4433充電器

本節はAT90S4433を基準とした充電器設計に対する理論仕様を記述します。

3.2.1. 設計用パラメータ

・ 発振器周波数 : $f_{OSC}=7.3728\text{MHz}$	・ 8ビットPWM周期 :	$T = \frac{510}{f_{OSC}} = 69.199\mu\text{s}$
・ 飽和電圧 : $V_{sat}=0.5\text{V}$		
・ 入力電圧 : $V_I=15\text{V}$	・ デューティ比50%時間 :	$t_{on} = \frac{69.199\mu\text{s}}{2} = 34.60\mu\text{s}$
・ 出力電圧 : $V_O=1.5\text{V}$		
・ 最大出力電流 : $I_O(\text{max})=1.5\text{A}$	・ インダクタンス :	$L = \frac{(V_I - V_{sat} - V_O) t_{on}}{2I_O(\text{max})} = \frac{(15\text{V} - 0.5\text{V} - 1.5\text{V}) 34.60\mu\text{s}}{2 \times 1.5\text{A}} = 149.9\mu\text{H}$

インダクタンス値を実際の部品定数(150 μH)とすれば、次のPWM ON時間とデューティ比を与えます。

$$t_{on} = \frac{L \times 2I_O(\text{max})}{V_I - V_{sat} - V_O} = \frac{150\mu\text{H} \times 3\text{A}}{15\text{V} - 0.5\text{V} - 1.5\text{V}} = 33.83\mu\text{s}$$

$$\frac{t_{on}}{T} = \frac{33.83\mu\text{s}}{69.199\mu\text{s}} = 0.489 = 48.9\%$$

3.3. AT90S4433測定回路

3.3.1. 電池電圧

充電電圧は電池の正極と負極間の差電圧を測定するためにOPアンプを使って監視されます。充電器に適した測定範囲を選択するために、充電する電池の種類が何で、いくつの電池セルかを決め、電圧測定に適した入力電圧(V_1-V_2)と倍率抵抗器を選択してください。電池電圧測定用のOPアンプ回路は普通の差動OPアンプ回路です。OPアンプ回路からの出力電圧式は以下で示されます。A/D変換器はAGNDからAREF(3.67V)までの電圧範囲を測定する能力があります。OPアンプからの出力電圧(V_{BAT2})は右の範囲でなければなりません。ここで、

$$V_{BAT2} = \frac{R_a}{R_b} \times (V_1 - V_2)$$

- ・ V_{BAT2} はOPアンプからAVRのA/D変換器への出力電圧です。
- ・ V_1 は電池の正極電圧です。
- ・ V_2 は電池の負極電圧です。
- ・ R_a と R_b はOPアンプに対して利得を設定するために使う抵抗器網です。 R_a は R_{10} と R_{12} 、 R_b は R_6 と R_7 に等しくなります。

最大充電電圧(V_1-V_2)は右式で与えられます。

$$(V_1 - V_2) = \frac{R_b}{R_a} \times \text{AREF} = \frac{33\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} \times 3.67 = 12.1\text{V}$$

OPアンプの利得は右式で与えられます。

$$G_{UIB} = \frac{R_a}{R_b} = \frac{10\text{k}\Omega}{33\text{k}\Omega} = 0.303$$

結果的に電池測定の分解能は右式になります。

$$\frac{\text{A/D変換器分解能}}{G_{UIB}} = \frac{3.58\text{mV}}{0.303} = 11.82\text{mV/段}$$

3.3.2. 充電電流

充電電流は0.033 Ω 電流検出抵抗器(R_1)端の電圧感知によって測定されます。この電圧はA/D変換器へ供給する前に、測定精度を上げるためにOPアンプを使って増幅されます。

この電圧は右で示す係数によって増幅されます。

$$1 + \frac{R_5}{R_2} = 1 + \frac{39\text{k}\Omega}{680\Omega} = 58.4$$

従ってOPアンプ出力電圧は右式になります。

$$V_{IBAT2} = \left(1 + \frac{R_5}{R_2}\right) \times I_{shunt} \times R_6 = 1.926 \times I_{shunt}$$

測定可能な最大電流は右式で示されます。

$$I_{BAT(\text{max})} = \frac{3.58}{1.926} = 2.0\text{A}$$

これは右の分解能を与えます。

$$\frac{2000\text{mA}}{1024\text{段階}} = 1.95\text{mA/1段階}$$

与えられた電流に対する段階数(N)は次式から計算できます。

$$N = \frac{I_{shunt}}{1.95\text{mA/1段階}}$$

或る段階数からの電流は右式で与えられます。

$$I_{shunt} = N \times 1.95\text{mA/1段階}$$

3.4. Ttiny15充電器

本節はATtiny15を基準とした充電器設計に対する理論仕様を記述します。ATtiny15では1.6MHz内蔵RC発振器からチップ上のPLLで25.6MHz発振周波数が生成されます。本参考設計は電池の分圧抵抗器なしで出荷されます。これは最大電圧を3.67Vに制限し、**ニッカド電池**や**ニッケル水素電池**の1または2セル用に適します。より高い電圧で使うには、0~3.67V範囲に電圧を下げるために必要な分圧抵抗器を単に追加してください。抵抗値の計算は本節の最後で記述されます。

3.4.1. 設計用パラメータ

- ・ 発振器周波数 : $f_{OSC}=25.6\text{MHz}$
- ・ 飽和電圧 : $V_{sat}=0.5\text{V}$
- ・ 入力電圧 : $V_I=15\text{V}$
- ・ 出力電圧 : $V_O=1.5\text{V}$
- ・ 最大出力電流 : $I_O(\text{max})=1.5\text{A}$
- ・ 8ビットPWM周期 :
- ・ デューティ比50%時間 :
- ・ インダクタンス :

$$T = \frac{255}{f_{OSC}} = 9.96\mu\text{s}$$

$$t_{on} = \frac{9.96\mu\text{s}}{2} = 4.98\mu\text{s}$$

$$L = \frac{(V_I - V_{sat} - V_O) t_{on}}{2I_O(\text{max})} = \frac{(15\text{V} - 0.5\text{V} - 1.5\text{V}) 4.98\mu\text{s}}{2 \times 1.5\text{A}} = 21.58\mu\text{H}$$

実部品での値(22μH)は次のPWM ON時間とデューティ比を与えます。

$$t_{on} = \frac{L \times 2I_O(\text{max})}{V_I - V_{sat} - V_O} = \frac{21.58\mu\text{H} \times 3\text{A}}{15\text{V} - 0.5\text{V} - 1.5\text{V}} = 4.98\mu\text{s}$$

$$\frac{t_{on}}{T} = \frac{4.98\mu\text{s}}{9.96\mu\text{s}} = 0.50 = 50\%$$

3.5. ATtiny15測定回路

3.5.1. 電池電圧

充電電圧は電池正極を直接的に測定されます。基準電圧(3.67V)より高い電圧が充電に使用されるとき、充電電圧は0~3.67V範囲に合わせるために2つの抵抗器で分圧できます。この入力には**図3-3**で示されるように充電電流の差測定用の反転入力にも必要です。この電流は内蔵20倍利得段への反転と非反転入力間の差として測定されます。この電圧は0.25Ω分圧抵抗器(R18)で測定されます。

全ての測定は10ビット(1024段階)分解能で行なわれます。

電圧分解能はAREFによって決定され、右式で得られます。

充電器に適した測定範囲を選択するために、充電する電池の種類が何で、いくつかの電池セルかを決めてください。A/D変換器はAGNDからAREF(3.67V)までの電圧範囲を測定する能力があります。分圧器からの出力電圧(VADC)は右の範囲でなければなりません。ここで、

・ VADCは分圧器からAVRのA/D変換器への出力電圧です。

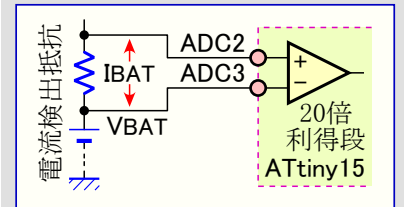
・ Vbは電池電圧です。

・ RaとRbは電池電圧の分圧に使われる抵抗器です。Raは基準設計のR8、RbはR16に等しくなります。

電流検出抵抗電圧を分圧するための抵抗器R9とR17が電圧測定の分圧用のR8とR16に等しくなければならないことに注意してください。基準設計ではR8=R9=3.7kΩ、R16=R17=2.2kΩを使います。

最大充電電圧(Vbat)は右式で与えられます。

図3-3. 電圧と電流の測定



$$\frac{3.67\text{V}}{1024\text{段階}} = 3.58\text{mV}/1\text{段階}$$

$$V_{ADC} = \frac{R_b}{R_a + R_b} \times V_b$$

$$V_{bat} = 1 + \frac{R_8}{R_{16}} \times V_{ADC} = 1 + \frac{3.7\text{k}\Omega}{2.2\text{k}\Omega} \times 3.67 = 9.8\text{V}$$

3.5.2. 充電電流

充電電流は0.25Ω電流検出抵抗器(R18)端の電圧感知によって測定されます。この電圧はA/D変換器へ供給する前に、測定精度を上げるために内蔵利得段を使って20倍に増幅されます。

従って充電電流を示すこの電圧(VIbat)は右式で示されます。ここで、

・ VIbatはAVR内A/D変換器への(増幅後の)アナログ入力電圧です。

・ Ishuntは0.25Ω電流検出抵抗器通る電流です。

・ RaとRbは電流検出抵抗器電圧の分圧に使われる抵抗器です。RaはR9、RbはR17に等しくなります。

測定可能な最大電流は右式で示されます。

$$I_{shunt(\text{max})} = \frac{3.67}{1.864} = 1.968\text{A}$$

これは右の分解能を与えます。

$$\frac{1968\text{mA}}{1024\text{段階}} = 1.92\text{mA}/1\text{段階}$$

与えられた電流に対する段階数は次式から計算できます。

$$N = \frac{I_{BAT}}{1.92\text{mA}/1\text{段階}}$$

或る段階数からの電流は右式で与えられます。

$$I_{BAT} = N \times 1.92\text{mA}/1\text{段階}$$

4. 実装ソフトウェア

本節はこの充電器基準設計で使ったソフトウェアを記述し、AT90S4433用のC言語コード実装を説明します。同じ原理はATtiny15用アセンブリ言語コードにも適用します。ATtiny15アセンブリ言語コードの完全な記述についてはソースコードの注釈をご覧ください。

充電されるべき電池形式はプログラムのコンパイル時に設定されていなければなりません。

このソフトウェアは複数電池の充電支援に拡張できます。これの簡単な実装は、トリクル充電中の時間を各電池に許して電池を順次充電することです。密閉鉛蓄電池とリチウムイオン電池は、電池パック内のセル数が同じなら、定電圧充電で並列に充電できます。各電池に対する充電電圧と充電電流は(全体を)1つのセルとして制限されます。

「電池特性」(BC_def.h)で、全ての値は全てそれらの尺度係数で計算されます。これらの値はこのインクルードファイル内で定義され、コンパイル時に計算され、そしてプログラム実行で定数として扱われます。A/D変換器から運ばれる全ての値はこれらの定数と直接比較され得ます。これはプログラム実行時に値の再計算に使用される時間がなく、時間とメモリ量の節約を意味します。値の計算に使う式と値は「測定回路」節から得られます。7頁の「AT90S4433測定回路」と8頁の「ATtiny15測定回路」をご覧ください。

ニッカト電池に対する充電は電池温度が温度範囲内の場合に開始されます。温度が最高温度よりも高くなった場合、電圧が最大電池電圧を越えた場合、または急速充電最大時間を経過した場合、充電は常に異常通知で終了されます。

電池の満充電を検知する通常の方法は、温度上昇(dT/dt)法と電圧低下(-dV/dt)法です。従って採取/検査は電圧が毎秒、温度が毎分に行なわれます。この値は1秒/分前に採取した値と比較されます。電池が満充電された場合、プログラムのtrickle_chage()関数への分岐を引き起こし、充電状態は自動的にトリクル充電に替えられます。

trickle_chage()関数は温度と電圧の測定、電流調整と、充電状態の変更に関する検査を繰り返し実行します。温度が有効範囲を外れる、または電圧超過が検出された場合に、異常フラグが設定され、この関数は終了されます。異常が起きず、使用者によって充電状態が変えられなければ、このプログラムは充電電流をこのソースの先頭で定義した電流に調整する繰り返しを永遠に行ないます。

4.1. 使用者設定

この充電器はプログラムコードのコンパイルに先立って充電パラメータを変更することによって、4つの電池形式と様々なセル数を充電できる多目的充電器として構築されています。これがコンパイル前に正しく行なわれることが非常に重要で、それは電池とその周辺に損傷を与えかねません。

4.1.1. 電池形式

これらは各電池形式に対するCファイルとhファイルです。コンパイルに先立ち、BC_def.hファイル内の"Battery Type"下で(目的の)電池形式のコメント(/)を外し、コンパイラに望む電池(.Cと.h)をインクルードしてください。

4.1.2. セル数

BC_def.hファイル内の"cells"パラメータを変更してください。

4.1.3. セル容量

BC_def.hファイル内の"capacity"パラメータを変更してください。

4.1.4. リチウムイオンセル容量

BC_def.hファイル内の"cell_voltage"パラメータを変更してください。

4.1.5. A/D変換器1段階対応値

7頁と8頁の「測定回路」節で記述されたように抵抗値を変更後、"voltage_step"と"current_step"はBC_def.hファイル内で変更されなければなりません。これは非常に重要で、正しく行なわれない場合、充電器を損傷するかもしれません。

4.2. ソースコードファイル

以下のファイルがソースフォルダに含まれています。

表4-1. C言語ソースコードファイル

ファイル名	内容	コード量 (注)
io2333.h	AT90S2333用シンボル名定義のヘッダファイル	
io4433.h	AT90S4433用シンボル名定義のヘッダファイル	
lnk0t.xcl	AT90S2333/4433に最適化されたリンク用命令ファイル	
BC_def.H	電池形式、セル電圧、電池容量、段階電圧値の定義ファイル	
bc.h	定数とマクロ定義の、BC.c用ヘッダファイル	
BC.c	全電池形式共通の主プログラム	474バイト
Sla.h	充電器パラメータと関数宣言の、密閉鉛蓄電池用ヘッダファイル	
SLA.c	密閉鉛蓄電池用ソースコードファイル	446バイト
NiCd.h	充電器パラメータと関数宣言の、ニッカト電池用ヘッダファイル	
nicd.c	ニッカト電池用ソースコードファイル	548バイト
NiMH.h	充電器パラメータと関数宣言の、ニッケル水素電池用ヘッダファイル	
nimh.c	ニッケル水素電池用ソースコードファイル	514バイト
LiIon.h	充電器パラメータと関数宣言の、リチウムイオン電池用ヘッダファイル	
liion.c	リチウムイオン電池用ソースコードファイル	690バイト

注: コード量はコードのVer. 1.0に適用します。コンパイルはIARコンパイラ Ver. 1.41C、量最適化最大です。

表4-2. アセンブリ言語ソースコードファイル

ファイル名	内容	コード量
bc.inc	レジスタ定義、A/D変換器定義、一般定義のインクルードファイル	
tn15def.inc	ATtiny15用インクルードファイル	
nicd.inc	充電器パラメータの、ニッカト電池用インクルードファイル	
nicd.asm	ニッカト電池用ソースコードファイル	324バイト
nimh.inc	充電器パラメータの、ニッケル水素電池用インクルードファイル	
nimh.asm	ニッケル水素電池用ソースコードファイル	328バイト
liion.inc	充電器パラメータの、リチウムイオン電池用インクルードファイル	
liion.asm	リチウムイオン電池用ソースコードファイル	340バイト

4.3. BC.C

本単位部はmain関数、初期設定とUART関数、実時間時計と割り込み処理ルーチンを含みます。(初期)設定ルーチンで、全ての低位初期化が行なわれます。UARTが初期化され、実時間時計は0に設定されます。初期化後、全体状態変数が変わられるまで、プログラムはアイドル動作を繰り返します。

実時間時計はPWMが開始される時に始動され、PWMが停止される時にも停止されます。換言すると、電池電圧が測定されている時に動作します。これは電池が充電される時だけ考慮されることを保証します。他方でこの方法には時間を信頼する測定(dV/dtまたはdT/dt)で不正確となるかもしれない不利な点があります。

使用者は充電状態を変更するために釦を押すことによって、外部割り込みを起こせます。割り込み処理ルーチンでは釦押下に応じて、急速充電またはトリクル充電のどちらかに変更されます。その後、プログラムはmain関数でCHARGE_STATUS変数に設定された値に応じた関数を呼びます。

BC.Cは各電池プログラムによって使われるいくつかの共通関数も含みます。最も重要な2つの関数は以降の副項で記述されます。

4.3.1. int Battery(unsigned char value)

本関数は各A/D変換から呼ばれ、要求された測定に応じたPWMとA/D変換器レジスタを制御します。これはA/D変換器から8測定分読んで平均を計算し、呼び出し関数へ返されます。

図4-2. Battery()関数

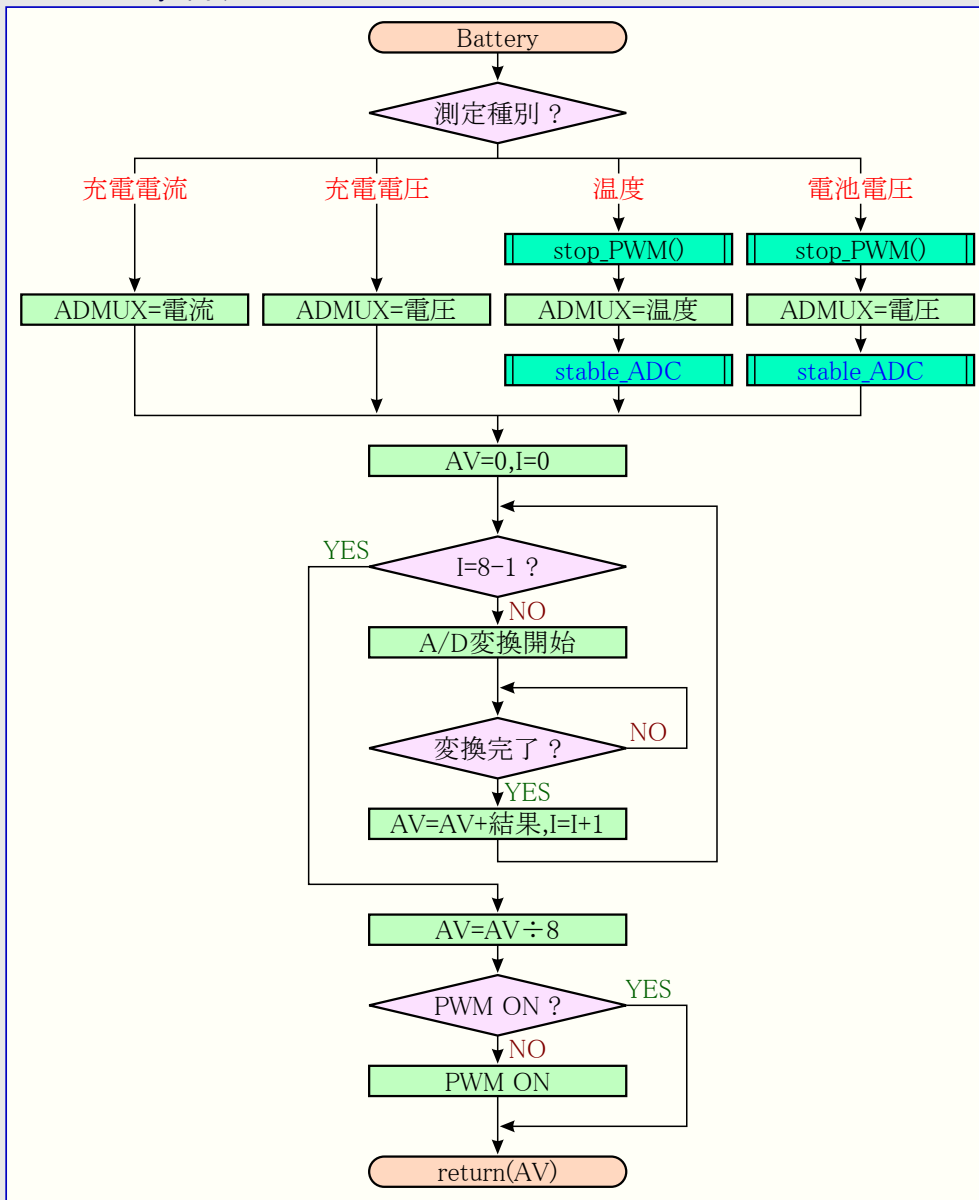
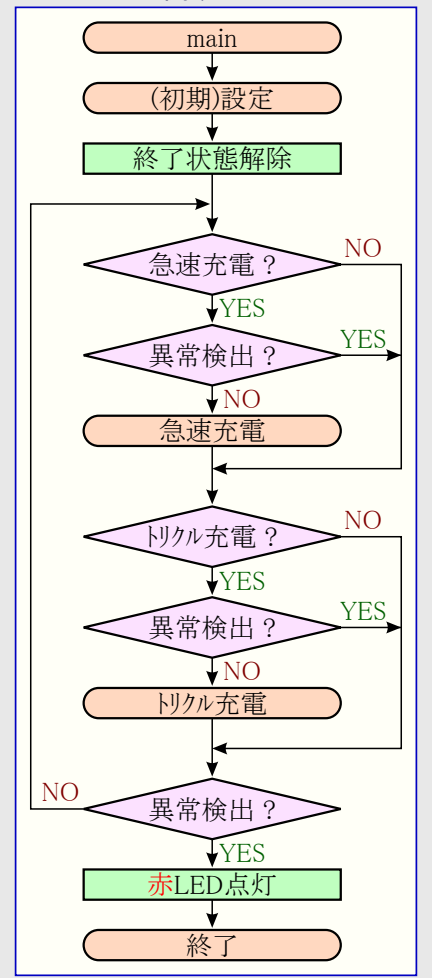


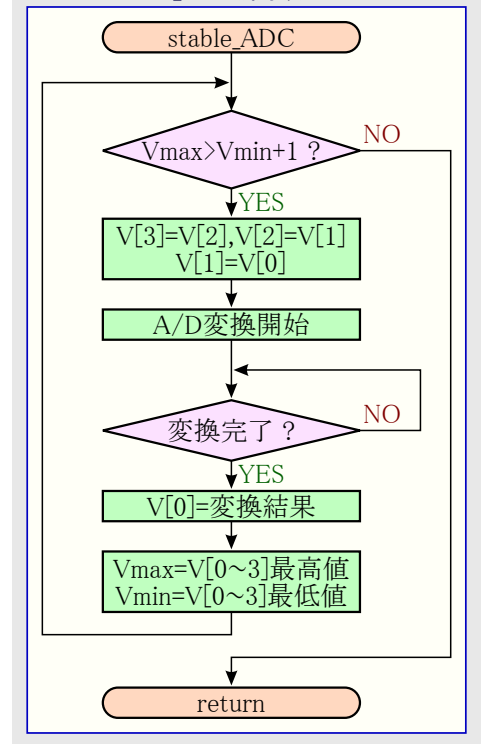
図4-1. main()関数



4.3.2. void stable_ADC(void)

stable_ADC関数は電池電圧または温度を測定する時に使われます。これは定義された範囲内でA/D変換値が安定であることを確認します。これは正確な測定にとって重要です。本関数は最高値が最低値よりも2以上大きくない3つのA/D変換値を得るまで繰り返します。

図4-3. stable_ADC()関数



4.4. BC.H

この単位部でビットを扱うマクロ、充電状態と終了のビット遮蔽値定数が定義されます。

CHARGE_STATUSは充電器の実際の状態(急速充電、トリクル充電または異常発生)を示します。密閉鉛蓄電池とリチウムイオン電池形式については、定電圧または定電流の充電動作の提示だけでなく、(遅延と呼ばれる)リチウムイオン電池の場合の急速充電の最終段階も含まれます。TERMINATIONは急速充電が何故終了したかの理由、または異常が検知された充電異常の場合を示し、更にプログラムのデバッグにも使われ得ます。

4.5. BC_DEF.H

この単位部は充電すべき電池を定義します。与えられた回路とプログラムコードを使って顧客が充電器を設計するとき、このファイルは要求に合致するように変更されなければなりません。

電池形式は充電方法と終了方法を定義します。各電池形式に対する同一機能の全関数が同じ名前、battery(), fast_charge(), trickle_charge()を持つため、複数の電池形式が選択された場合、プログラムのリンク中に異常が起こるでしょう。この異常メッセージは電池形式が選択されない場合にも発生します。

セル数は電池パックの電圧と関連する定数を決めます。これは全セルが直列であると仮定されています。0セルは非常に不合理ですが、充電電流0に終わるだけです。降圧変換器と電圧測定回路の電圧範囲は上限を設定します。

容量(mA)は充電電流と関連する全定数を定義します。

密閉鉛蓄電池を除く全電池形式は1Cでの“保守的な”方法で急速充電されます。密閉鉛蓄電池は2Cで充電されます。これは電池容量に対して制限を設定します。降圧変換器は1.5Aの最大電流を供給するように計算されています。密閉鉛蓄電池に対する最大容量は750mAh、その他の電池形式は1500mAhです。ニッカド電池とニッケル水素電池に対してより高い充電電流が必要とされる場合、降圧変換器設計は変更されなければなりません。2Aよりも大きな電流の場合には電流測定回路もいくつかの修正が必要です。充電されるべき電池が上で計算したよりも大きな容量なら、充電電流の減少または降圧変換器の変更が可能です。

リチウムイオン電池については製造業者によって2つのセル電圧が存在します。この電圧、4.1Vか4.2Vは編集されなければなりません。リチウムイオン定義が選択されると、これが自動的に含められます。この場所での不正な電圧状態は必然的にエラーメッセージとなりますが、不正な充電方法を引き起こし、電池と充電器に損傷を与え得ます。

A/D変換段階値パラメータは測定回路で使った抵抗値に従って編集されるべきです。これは7頁と8頁の「測定回路」下に記述されています。

サーミスタ(NTC)表はA/D変換段階値を定義します。0.5°Cを示す段階値は温度で変わります。この参照表はニッカド電池の充電で使われます。この表は本記述で使ったのと違うサーミスタの場合に編集され得ます。

4.6. SLA.C

4.6.1. 充電方法

密閉鉛蓄電池の急速充電は定電圧を使います。充電を始める前に、充電電圧を決めるために簡単な(しかし、驚くほど効率的な)方法が使われます。2C-10mA(訳注:修正)の定電流が印加されて、対応する電池電圧が測定されます。

この電池はその値に電圧固定し、電流を放置する、定電圧で急速充電されます。電流が0.2C以下に低下すると、この充電周期が終了されます。急速充電動作が終了し、そしてトリクル充電動作が開始されます。

トリクル充電は急速充電電圧より僅かに低い値での定電圧充電です。トリクル充電は設定時間後に終了できます。

4.6.2. 充電パラメータ概要 (充電条件)

- 急速充電 : 固定急速充電電圧=cells×2450mV
- トリクル充電 : 固定トリクル充電電圧=cells×2250mV
- 一般充電終了 : 絶対最低温度(T)=0°C
絶対最高温度(T)=45°C
- 急速充電終了 : 最小電流閾値(I)=0.2C
- 急速充電異常 : 急速充電最高温度(T)=30°C
急速充電最長時間(t)=1C電流で60分
急速充電最大電流(I)=2C
- トリクル充電終了 : なし

図4-4. 密閉鉛蓄電池用TRICKLE_charge()関数

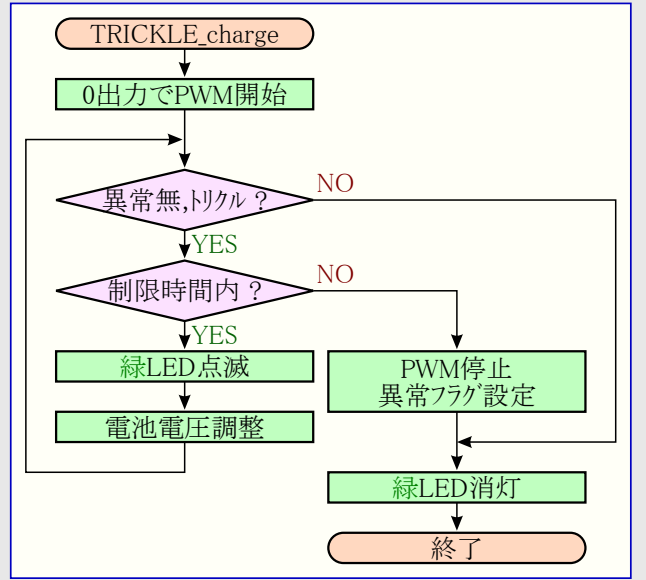
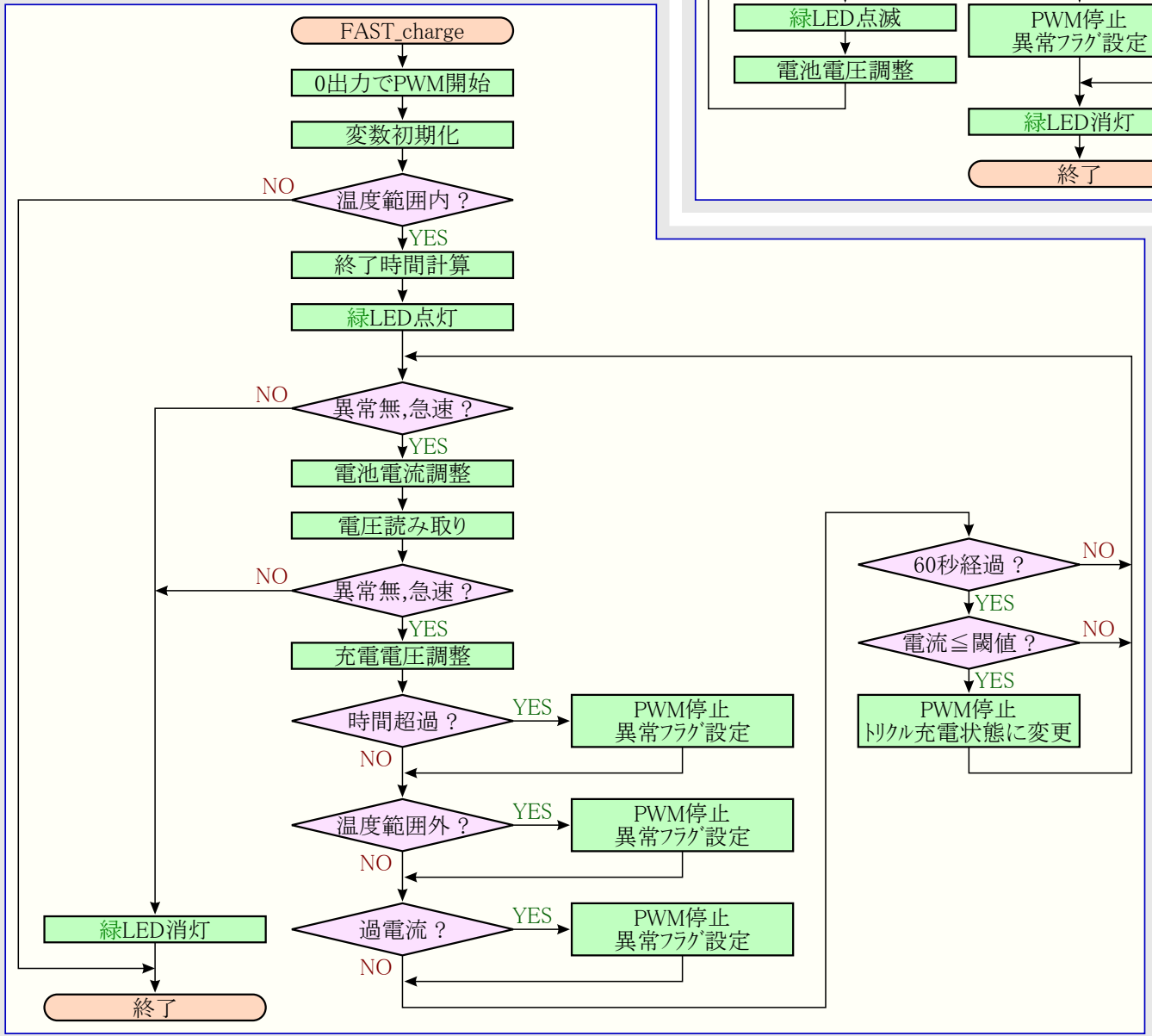


図4-5. 密閉鉛蓄電池用FAST_charge()関数



(訳注) 原書での図4-5.と図4-6.は図4-5.として結合しました。



4.7. NiCd.C

4.7.1. 充電方法

ニッカト電池形式は定電流で充電されます。急速充電動作で、この電流は1Cに設定されます。トリクル充電動作ではC/40です。充電は電圧低下(-dV/dt)法によって終了されます。予備終了として、最大充電電圧、温度上昇(dT/dt)、最大充電時間が使われます。

電池が満充電された場合、プログラムのtrickle_charge()関数への分岐を引き起こし、充電状態は自動的にトリクル充電に替えられます。

4.7.2. 充電パラメータ概要 (充電条件)

- 急速充電 : 急速充電電流=1C
- トリクル充電 : トリクル充電電流=0.025C
- 一般充電終了 : 絶対最低温度(T)=5°C
絶対最高温度(T)=40°C
絶対最大充電電圧(V)=cells×1500mV
- 急速充電終了 : 電圧低下閾値(-dV/dt)=セル単位20mV/分
温度上昇閾値(dT/dt)=1°C/分
- 急速充電異常 : 急速充電最低温度(T)=15°C
急速充電最長時間(t)=1C電流で90分

図4-7. ニッカト電池用TRICKLE_charge()関数

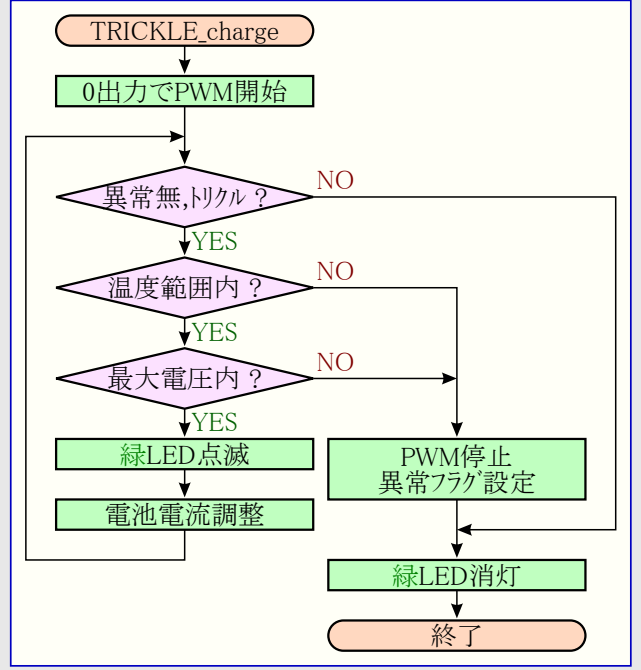
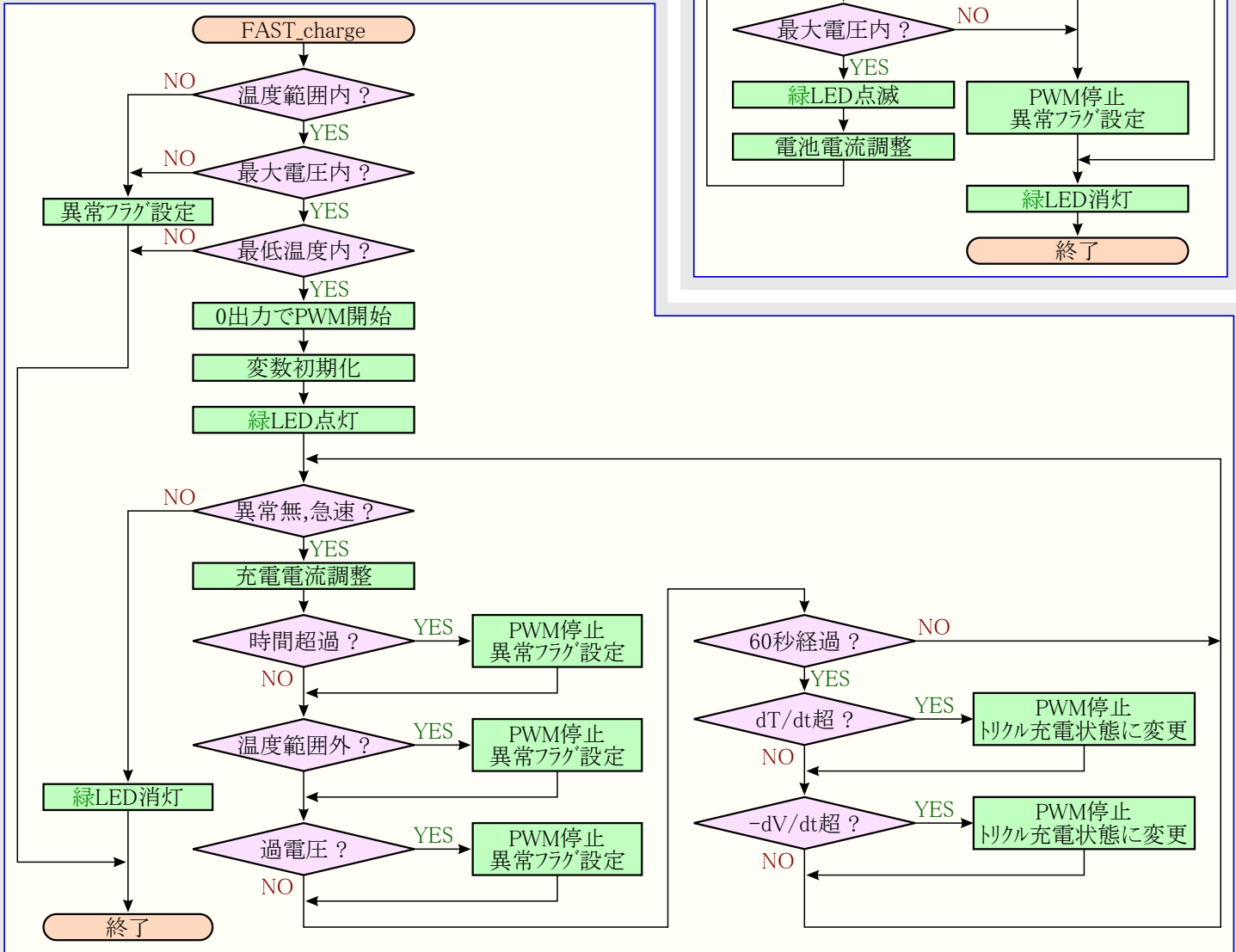


図4-8. ニッカト電池用FAST_charge()関数



(訳注) 原書での図4-8.と図4-9.は図4-8.として結合しました。

4.8. NiMH.C

4.8.1. 充電方法

ニッケル水素電池形式は定電流で充電されます。急速充電動作で、この電流は1Cに設定されます。トリクル充電動作ではC/40です。充電は温度上昇(dT/dt)法と電圧低下(-dV/dt)法によって終了されます。予備終了として、最大充電電圧、最大充電時間が使われます。

電池が満充電された場合、プログラムのtrickle_charge()関数への分岐を引き起こし、充電状態は自動的にトリクル充電に替えられます。

4.8.2. 充電パラメータ概要 (充電条件)

- 急速充電 : 急速充電電流=1C
- トリクル充電 : トリクル充電電流=0.025C
トリクル充電最長時間(t)=0.025Cで90分
- 一般充電終了 : 絶対最低温度(T)=5°C
絶対最高温度(T)=40°C
絶対最大充電電圧(V)=cells×1500mV
- 急速充電終了 : 電圧低下閾値(-dV/dt)=セル単位20mV/分
温度上昇閾値(dT/dt)=0.5°C/分
- 急速充電異常 : 急速充電最低温度(T)=15°C
急速充電最長時間(t)=1C電流で90分

図4-10. ニッケル水素電池用TRICKLE_charge()関数

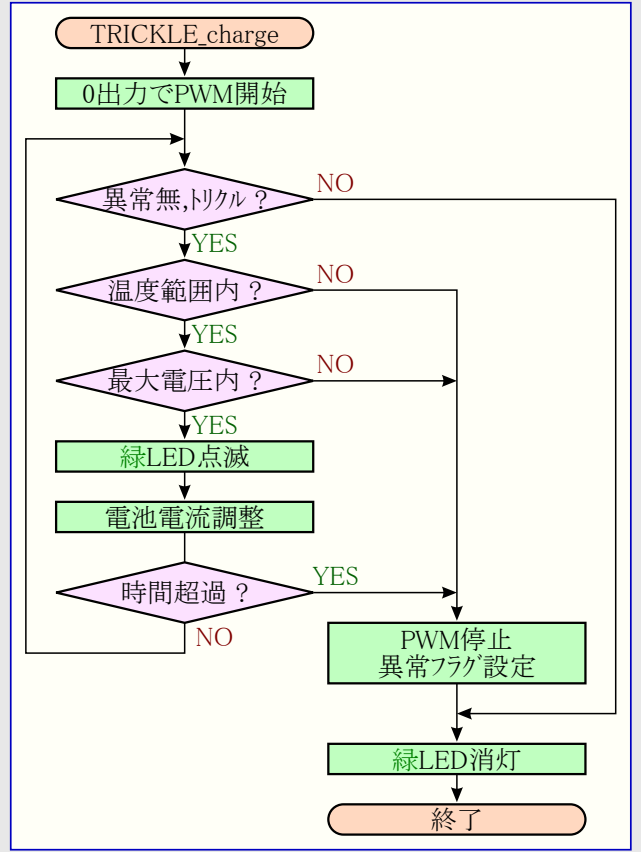
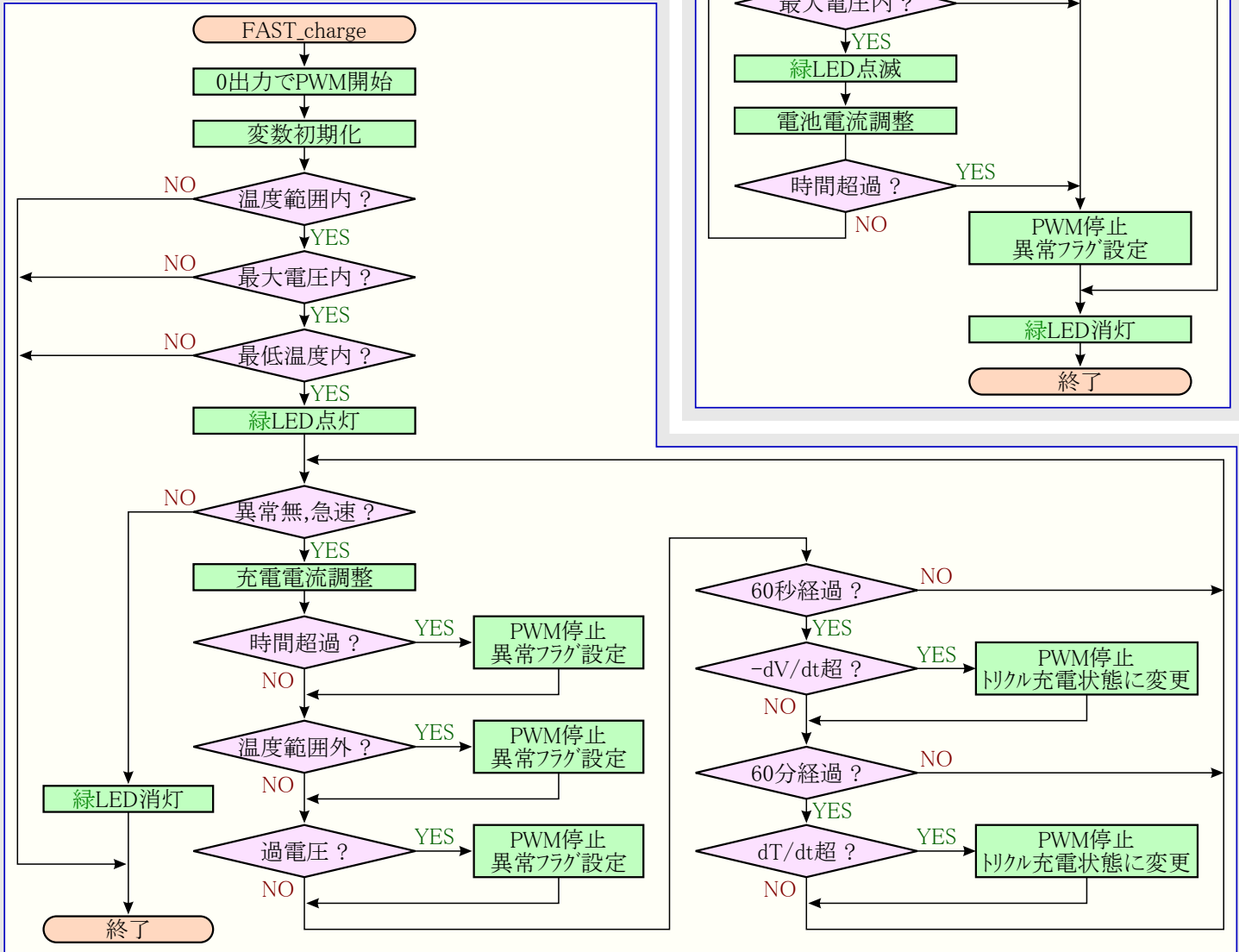


図4-11. ニッケル水素電池用FAST_charge()関数



(訳注) 原書での図4-11と図4-12は図4-11として結合しました。

4.9. LiIon.C

4.9.1. 充電方法

リチウムイオン電池は充電に対して最も進んだ電池形式です。急速充電は1Cの定電流で始まります。この電流はセル電圧が4.1または4.2Vの±50mVに設定されるまで一定に保たれます。そして電池は電流が最低閾値電流以下に下がるまで定電圧で充電されます。

(充電電圧ではなく)電池電圧の正確な測定のため、電圧測定中にPWMが止められます。充電方法が定電流から定電圧に替わった場合、充電電圧は測定すべき関連パラメータになります。これはPWM停止ありとなしの2つの電圧測定法があるからです。

リチウムイオン電池のトリクル充電は急速充電と同じ原理です。電流は急速充電動作よりずっと小さく、トリクル充電の定電圧段階は単に時間で終了されます。

4.9.2. 充電パラメータ概要 (充電条件)

- 急速充電 : 絶対最大充電電圧(V)=cells×セル電圧
許容電圧誤差=cells×50mV
急速充電電流=1C
最低閾値電流=セル単位50mA
- トリクル充電 : トリクル充電電流=0.025C
トリクル充電最長時間=0.025Cで90分
- 一般充電終了 : 絶対最低温度(T)=5°C
絶対最高温度(T)=40°C
- 急速充電終了 : (上記、「急速充電」項参照)
- 急速充電異常 : 急速充電最低温度(T)=10°C
急速充電最長時間(t)=1C電流で90分

図4-13. リチウムイオン電池用TRICKLE_charge()関数

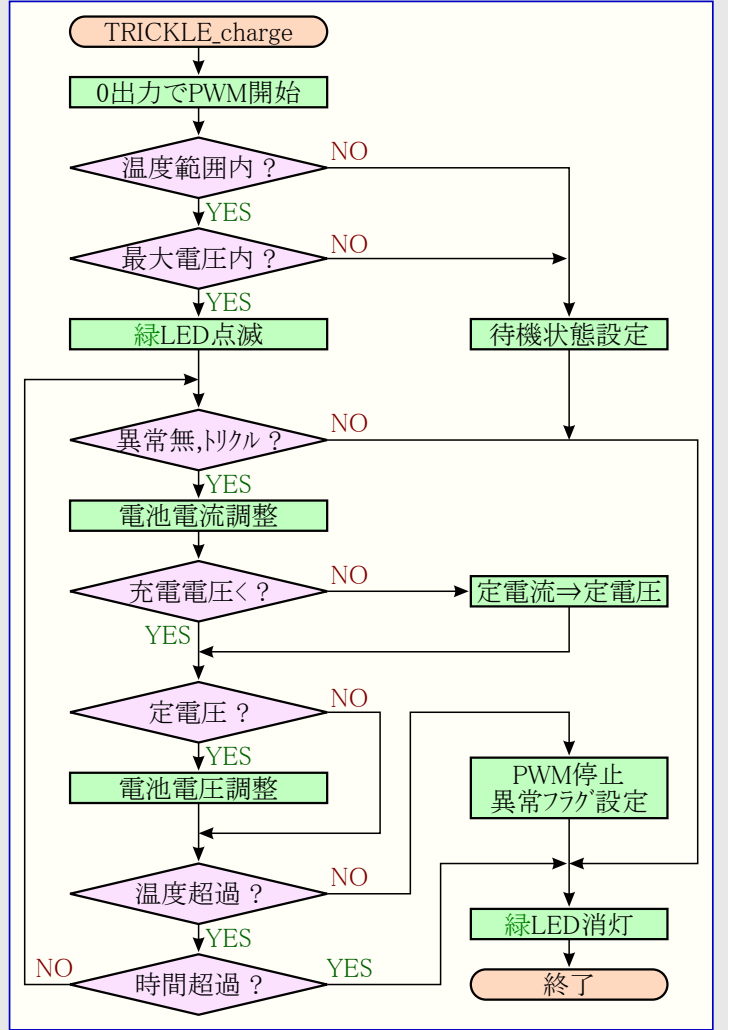
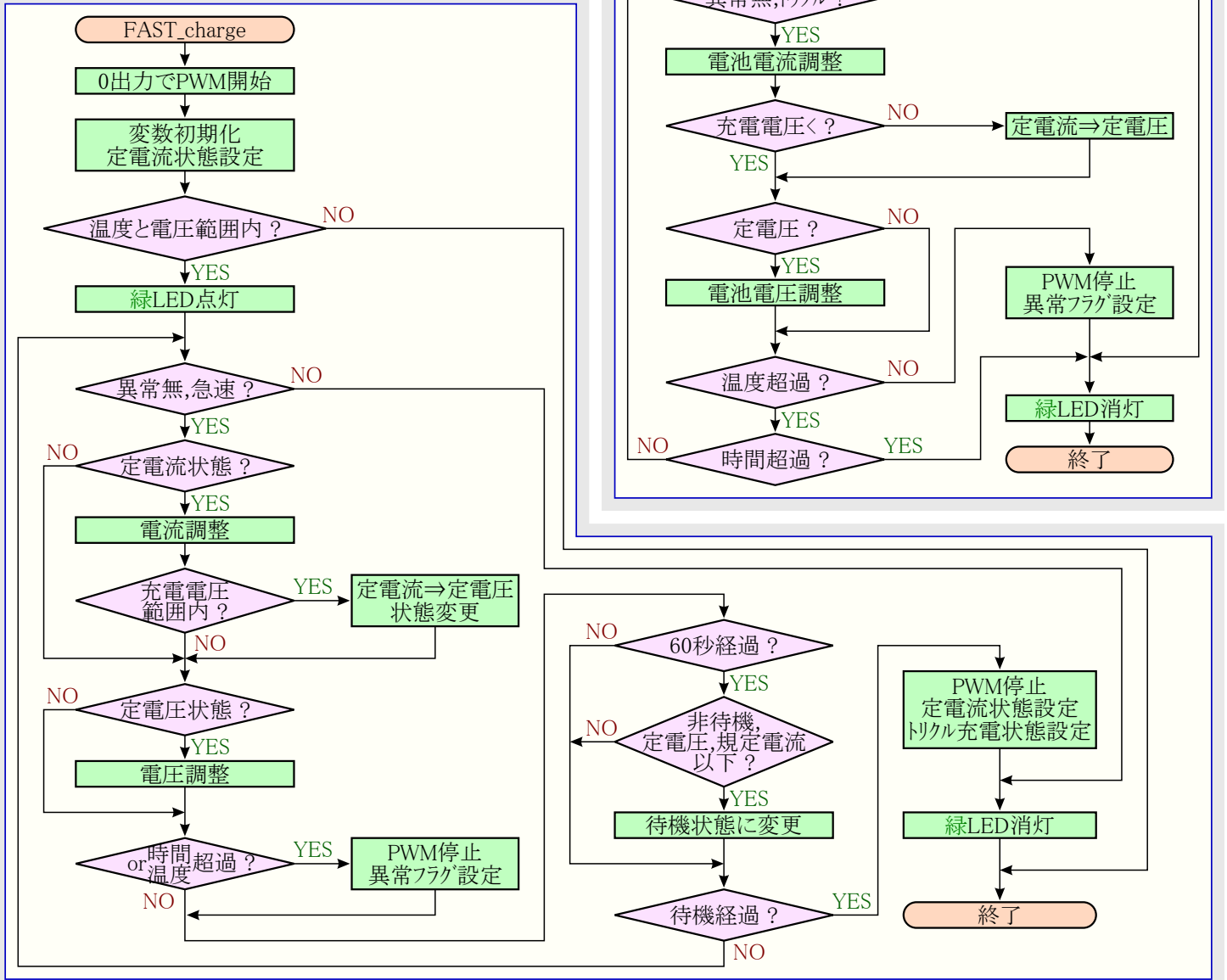


図4-14. リチウムイオン電池用FAST_charge()関数



(訳注) 原書での図4-14.と図4-15.は図4-14.として結合しました。

5. 推奨改良点

ニッカド電池は多数回の電池充電後、完全に充電できなくなる“メモリ効果”の被害を受けます。この“メモリ”をリセットするために、充電に先立って電池を完全に放電するのをMCUに許す、放電抵抗を追加できます。

追補1：回路図

図5-1. フロック図

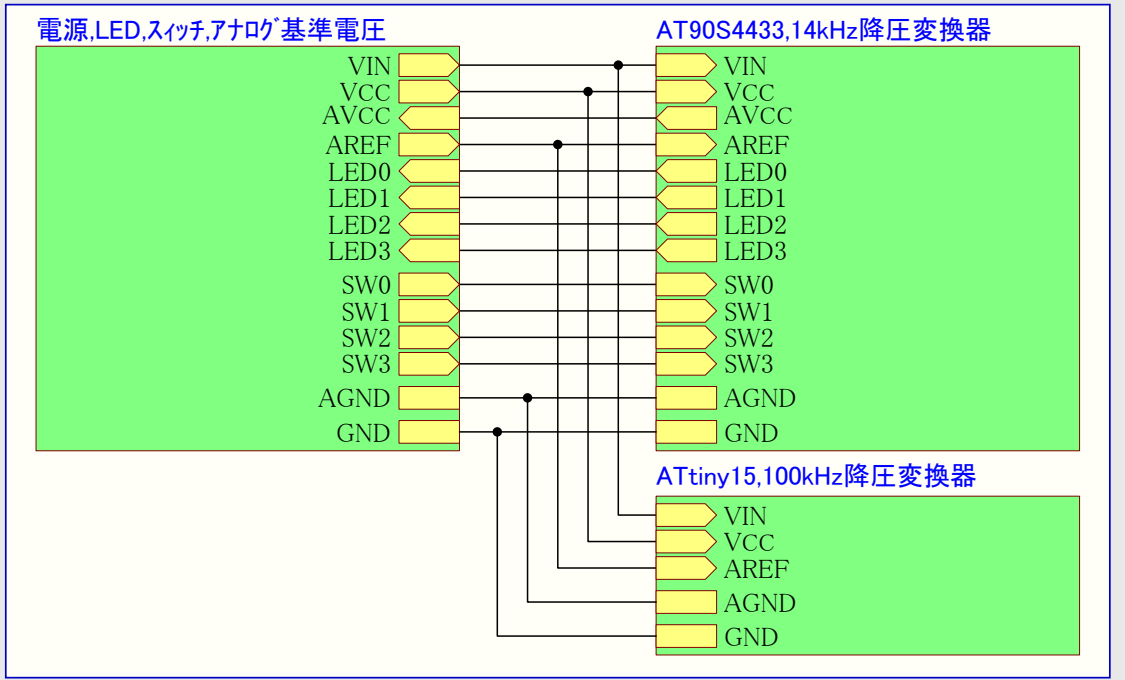


図5-2. 電源、基準電圧、スイッチ、LED回路図

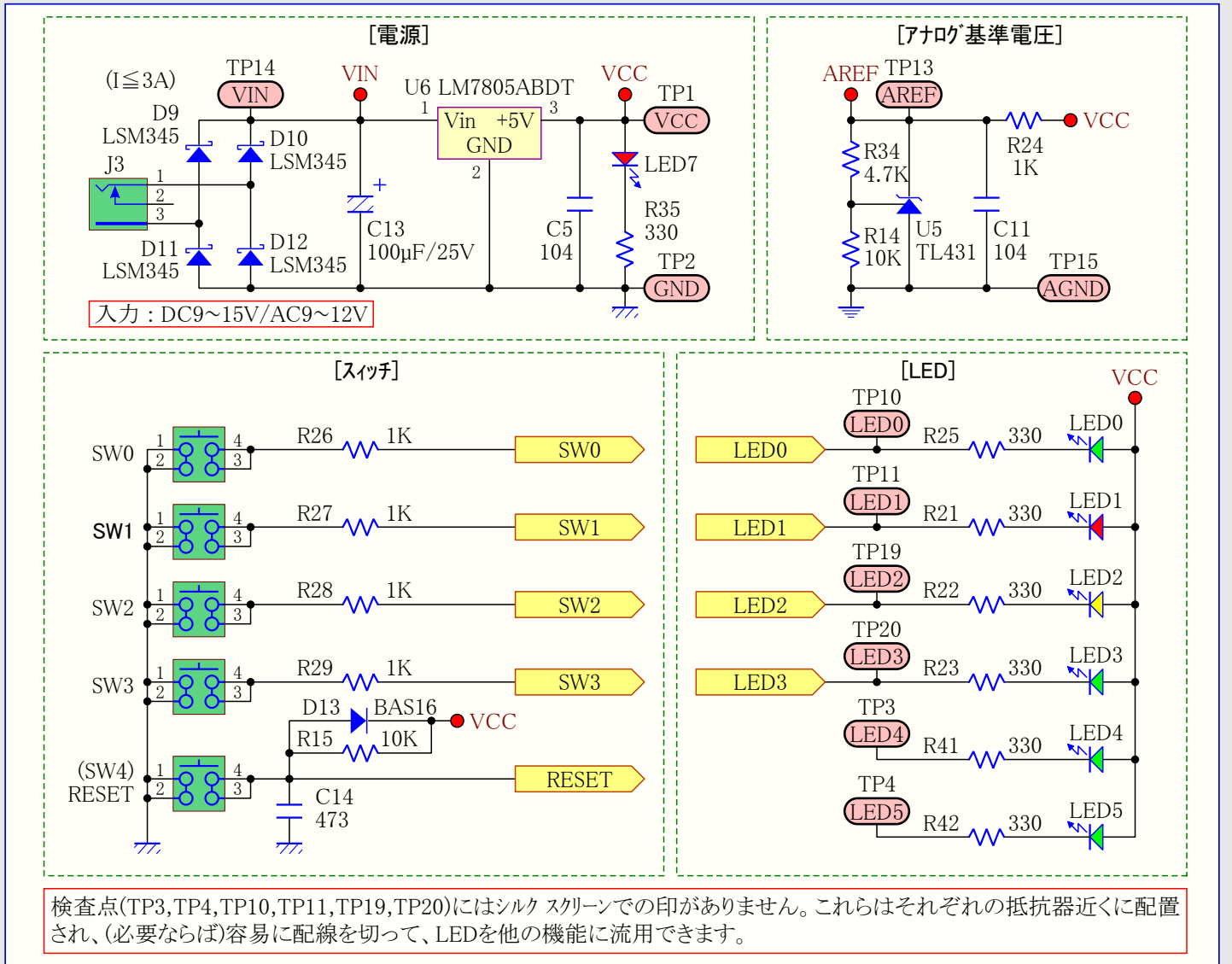


図5-3. ATtiny15、100kHz降圧変換器回路図

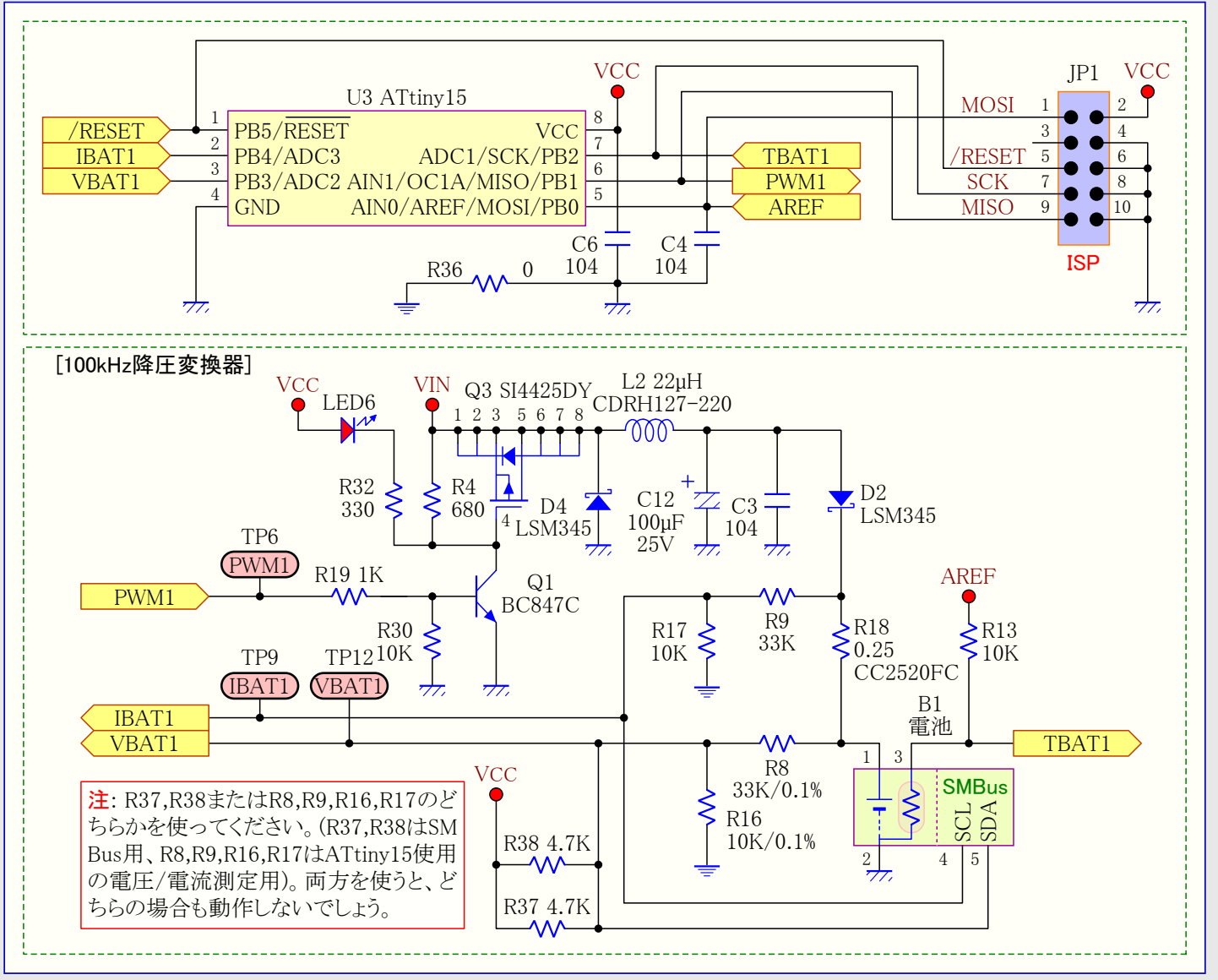
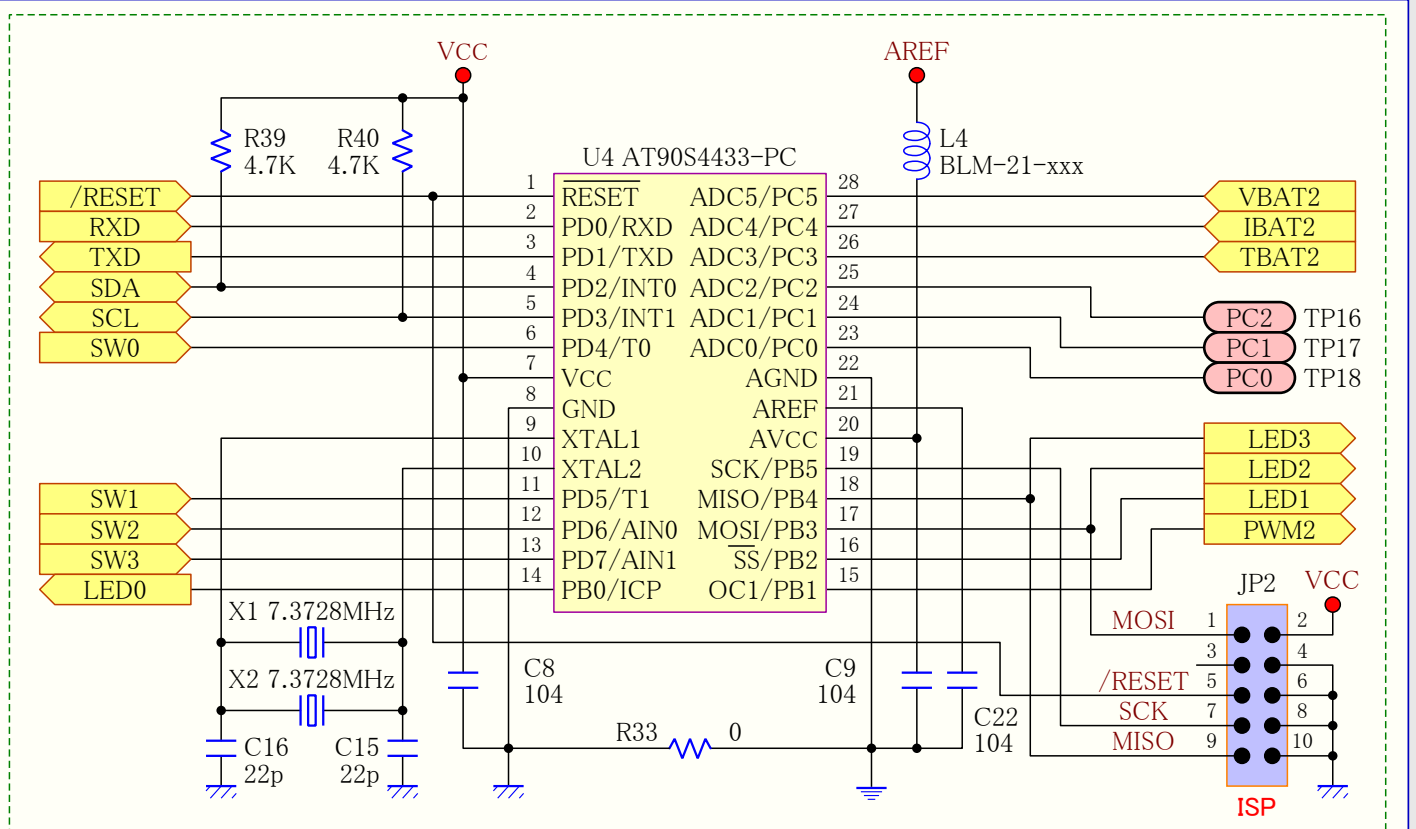
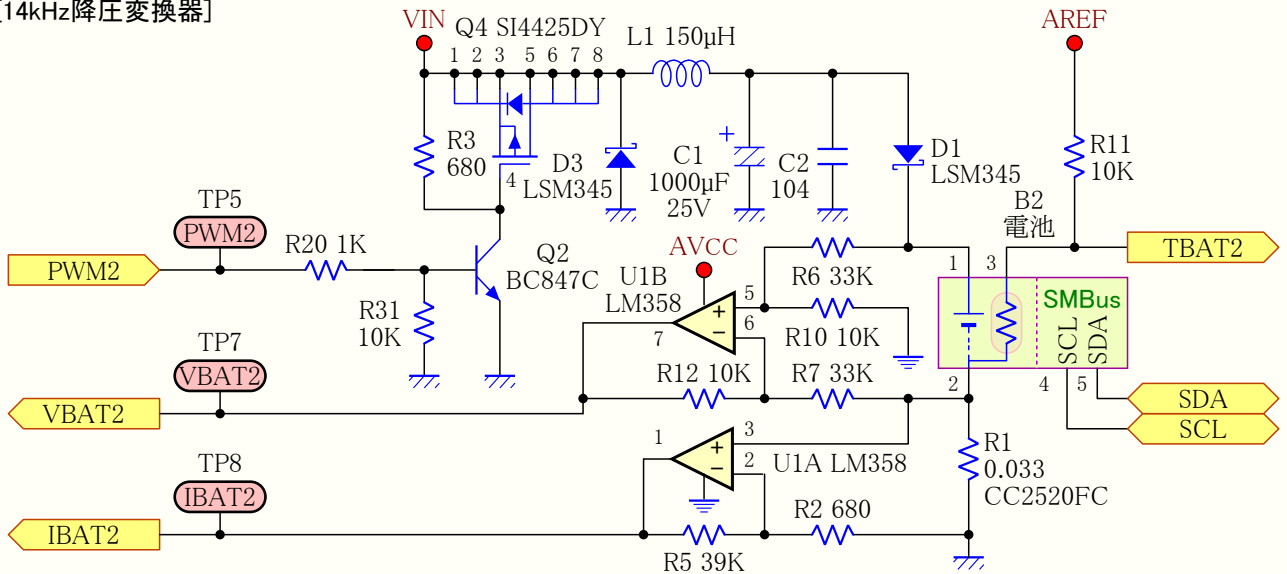


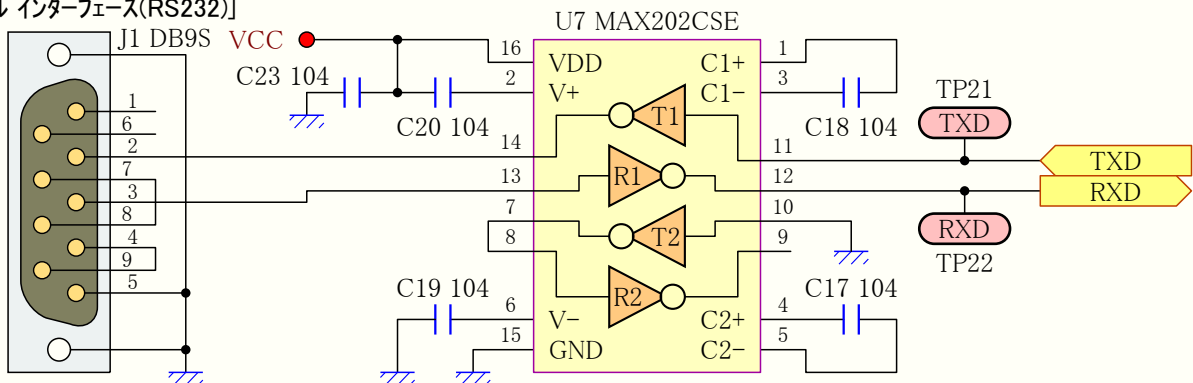
図5-4. AT90S4433、14kHz降圧変換器回路図



[14kHz降圧変換器]



[シリアル インターフェース(RS232)]

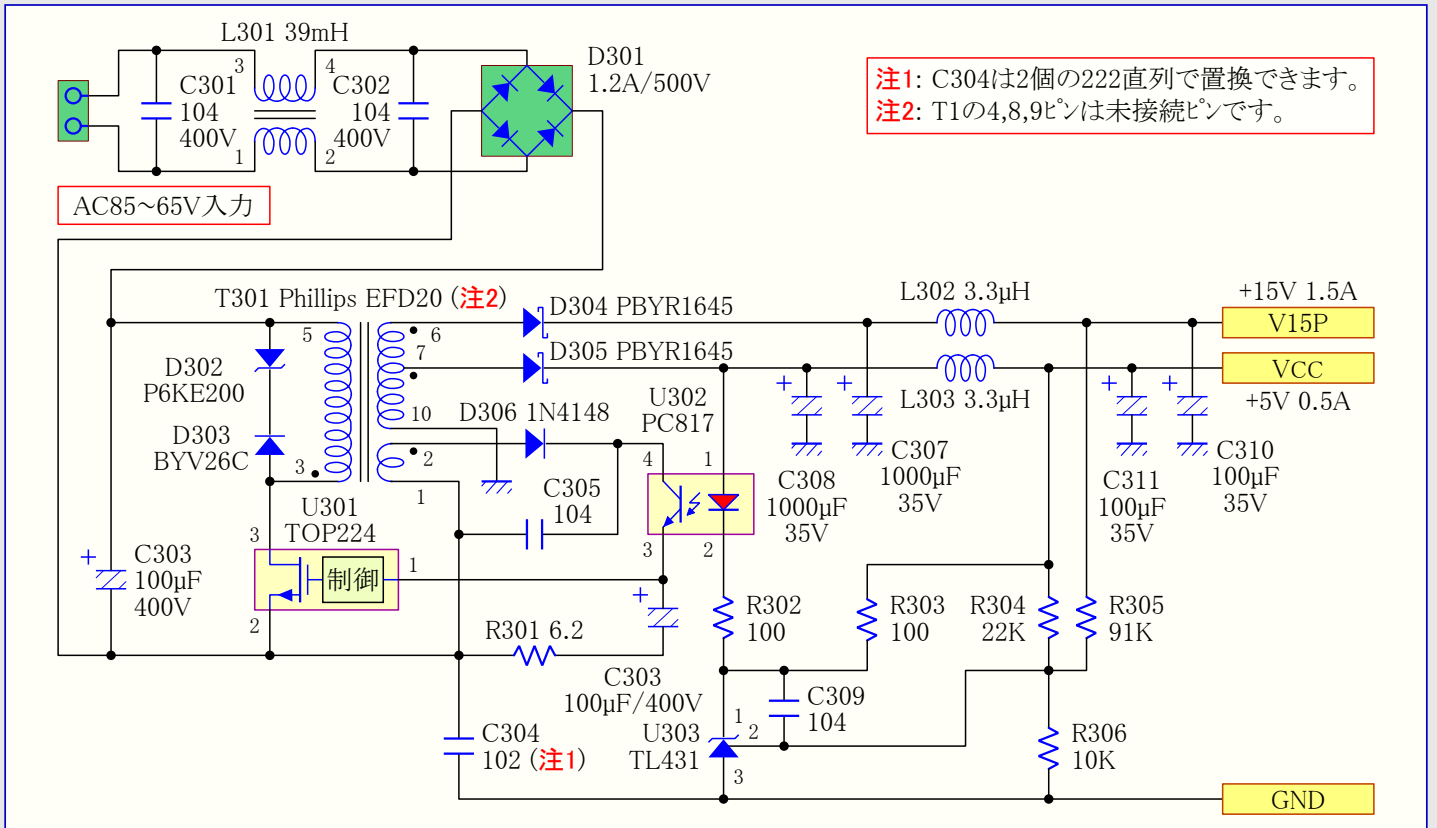


追補2：電源

以下の回路図はAVRマイクロコントローラ用の+5Vと充電器用の+15Vの両方を供給する電源を示します。

充電器用の電源部はPower IntegrationのTOP224で作られます。フライバック設計技術は小型で効率的な電源設計になります。入力電圧はAC85V~265V(50~60Hz)で変えられます。

図5-5. 電源回路図



注1: C304は2個の222直列で置換できます。
注2: T1の4,8,9ピンは未接続ピンです。

表5-1. 電源部品表

シンボル	名称	数量	備考	シンボル	名称	数量	備考
U301	TOP224	1	スイッチングレギュレータ	R304	22K	1	1/6W炭素皮膜抵抗器
U302	TL431	1	基準電圧源	R305	91K	1	1/6W炭素皮膜抵抗器
U303	PC817	1	光カプラ	C304	102	1	222×2直列代用可
D301	1.2A/500V	1	整流ブリッジ	C305,C309	104	2	セラミックコンデンサ
D302	P6KE200	1	クランプダイオード	C301,C302	104/400V	2	高圧セラミックコンデンサ
D303	BYV26C	1	逆阻止ダイオード	C310,C311	100μF/35V	2	アルミ電解コンデンサ
D304,D305	PBYR1645	2	整流ダイオード	C303	100μF/400V	1	アルミ電解コンデンサ
D306	1N4148	1	整流ダイオード	C307,C308	1000μF/35V	2	アルミ電解コンデンサ
R301	6.2	1	1/6W炭素皮膜抵抗器	L302,L303	3.3μH	2	フィルタ用インダクタ
R302,R303	100	1	1/6W炭素皮膜抵抗器	L301	33mH	1	入力チョークコイル
R306	10K	1	1/6W炭素皮膜抵抗器	T301	Philips EFD20	1	トランス、詳細は以下参照

トランスT301はPhilipsのEFD20コアで作られています。主巻き線とバイアス用巻き線はAWG26(0.4mm)を使います。副巻き線はAWG20(0.8mm)を使います。主巻き線とバイアス用巻き線は絶縁テープで2つの副巻き線から分離されています。5V用副巻き線は15V用巻き線の一部でもあります。これは回路図で示される方向に従って巻くことが非常に重要です。

表5-2. 電源トランス巻き線仕様

巻き線	巻き数	線種
主巻き線	86	AWG26
バイアス用巻き線	8	AWG26
副巻き線(5V)	4	AWG20
副巻き線(15V)	8(+4)	AWG20

追補3 : AVR充電器参考設計での開始に際して

AVR充電器参考設計は各種電池形式と様々な電池セル数での使用に対して設計されています。

AVR充電器参考設計はAVR内蔵A/D変換器に対して充電電圧を有効な電圧範囲にするための縮尺用抵抗値が提供されます。AVR充電器参考設計を使う前に、縮尺抵抗器が使う電池形式に対して正しく調整してください。

参考設計基板に電源を印加する前に、AVRマイクロコントローラは正しい充電方法を(メモリ内に)書かれなければなりません。電池種別選択時、関係するインクルードファイルで計算された充電電圧と充電電流が正しい値であることを確認してください。

AVR充電器参考設計に対する抵抗値を選択してください。

電池種別	セル数	最大電圧	R8,R9	R16,R17
ニッケル水素	1~2	3V	0	開放 (注1)
	3~4	6V	6.8K	10K
	5~6	9V	12K	10K
リチウム イオン	1	4.2V	2.2K	10K
	2	8.2V	15K	10K
	3	12.6V	33K	10K (注2)

注1: ATtiny15充電器に対する既定抵抗値

注2: AT90S4433充電器に対する既定抵抗値



本社

Atmel Corporation

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 487-2600

国外営業拠点

Atmel Asia

Unit 1-5 & 16, 19/F
BEA Tower, Millennium City 5
418 Kwun Tong Road
Kwun Tong, Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2245-6100
FAX (852) 2722-1369

Atmel Europe

Le Krebs
8, Rue Jean-Pierre Timbaud
BP 309
78054 Saint-Quentin-en-Yvelines
Cedex
France
TEL (33) 1-30-60-70-00
FAX (33) 1-30-60-71-11

Atmel Japan

104-0033 東京都中央区
新川1-24-8
東熱新川ビル 9F
アトメル ジャパン株式会社
TEL (81) 03-3523-3551
FAX (81) 03-3523-7581

製造拠点

Memory

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

Microcontrollers

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

La Chantrerie
BP 70602
44306 Nantes Cedex 3
France
TEL (33) 2-40-18-18-18
FAX (33) 2-40-18-19-60

ASIC/ASSP/Smart Cards

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-42-53-60-00
FAX (33) 4-42-53-60-01

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906, USA
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Scottish Enterprise Technology Park
Maxwell Building
East Kilbride G75 0QR
Scotland
TEL (44) 1355-803-000
FAX (44) 1355-242-743

RF/Automotive

Theresienstrasse 2
Postfach 3535
74025 Heilbronn
Germany
TEL (49) 71-31-67-0
FAX (49) 71-31-67-2340

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906, USA
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Biometrics

Avenue de Rochepleine
BP 123
38521 Saint-Egreve Cedex
France
TEL (33) 4-76-58-47-50
FAX (33) 4-76-58-47-60

文献請求

www.atmel.com/literature

© Atmel Corporation 2006.

Atmel製品は、ウェブサイト上にあるAtmelの定義、条件による標準保証で明示された内容以外の保証はありません。本製品は改良のため予告なく変更される場合があります。いかなる場合も、特許や知的技術のライセンスを与えるものではありません。Atmel製品は、生命維持装置の重要部品などのような使用を認めておりません。

本書中の®、™はAtmelの登録商標、商標です。

本書中の製品名などは、一般的に商標です。

© HERO 2021.

本応用記述はAtmelのAVR450応用記述(doc1659.pdf Rev.1659C-09/06)の翻訳日本語版で、別ファイルの「Getting started with AVR Battery charger.PDF」の内容も含まれます。日本語では不自然となる重複する形容表現は省略されている場合があります。日本語では難解となる表現は大幅に意識されている部分もあります。必要に応じて一部加筆されています。頁割の変更により、原本より頁数が少なくなっています。

必要と思われる部分には()内に英語表記や略称などを残す形で表記しています。

青字の部分はリンクとなっています。一般的に赤字の0,1は論理0,1を表します。その他の赤字は重要な部分を表します。