

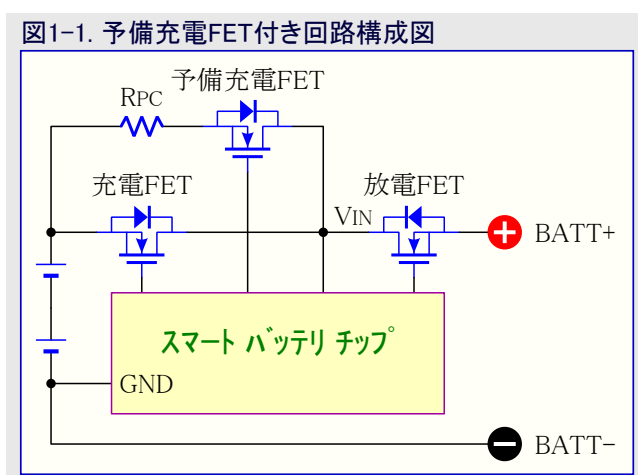
AVR354 : 深下電圧回復(DUVR)動作の使い方

要点

- 予備充電FETまたは電流制限抵抗の使用なしでの0Vからのリチウム イオン電池セル充電
- 急速充電閾値以下で電池正極電圧を調整することで予備充電を保つ電流制限充電器
- 充電手順中の完全なMCU操作

1. 序説

深く放電された状態からリチウム イオン電池セルを充電し、同時に充電手順の完全な制御を保つことは多くの応用に於いて挑戦です。High側FETの解決策に対して共通的に使用される方法はN-ch FETでの解決策に関して図1-1.で示されるように、充放電FETの共通ドレイン節と電池セル間の抵抗と直列の予備充電FETを加えることです。充電FETの完全なON切り換えが安全なレベルにセル電圧が上昇するまで、充電電流は始めに予備充電FETを通して供給されます。深く放電した電池セルでの充電FETのON切り換えは、潜在的にマイクロ コントローラを停止する、スマート バッテリ装置への入力電圧での即時低下を引き起こすでしょう。



上で表された仕組みの明らかな不利は外部の予備充電FETと直列抵抗器の追加システム費用と外部抵抗器での過大な電力浪費です。



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。

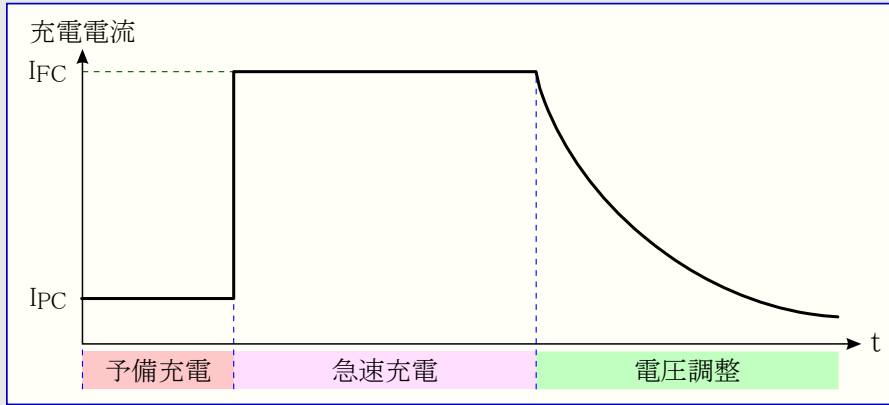
Rev. 8056A-10/08, 8056AJ2-11/13

2. 電流制限付き充電器

多くのリチウムイオン電池充電器は深く放電したセルの予備充電に対する組み込み電流制限を持ちます。充電器によって供給される電流は電池パックの正端子(VBATT)で見える電圧によって判断されます。BATT端子上的電圧が予め定義された(または設定可能な)急速充電閾値(VFC)以下なら、充電器は予備充電電流(IPC)を供給します。急速充電閾値以上で、充電器は急速充電電流(IFC)を供給します。電流制限付き充電器に対する代表的なI-V特性は図2-1.で示されます。VFCの実際の値は応用で使用される充電器に対して確認されなければなりません。

通常、充電器は電池が充電器に挿入されてから充電周期が始まるまでの検出時間(tDET)を持ちます。この時間中、充電器は予備充電電流を供給します。tDET経過後、充電器は充電手順を開始する前にBATT端子上的電圧を測定します。tDET経過時にVBATTが急速充電閾値以下なら、これはセルが深く放電され、充電器が予備充電動作で始動することを示します。相応して、電圧が急速充電閾値以上なら、充電器は直接急速充電動作で始動します。

図2-1. 電流制限付き充電器に対する時間の関数としての代表的な充電電流



3. 深下電圧回復(DUVR)動作 - 動作の理屈

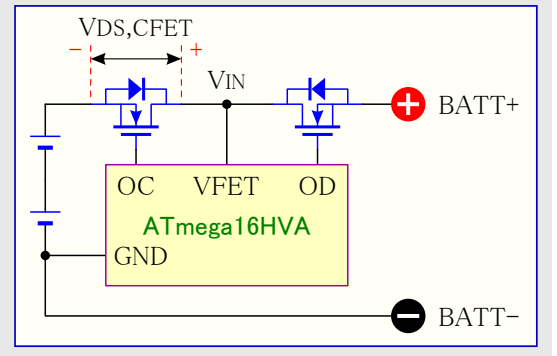
DUVR動作はATMELのスマートバッテリーマイクロコントローラ、ATmega8HVA,ATmega16HVA,ATmega4HVD,ATmega8HVDに対する自立型予備充電動作を表します。これは例えばセル電圧がチップの最低動作電圧以下でも、制御されたセルの充電を意図されています。充電は予備充電FETや電流制限抵抗器を使用しないで行われ、予備充電の段階中に充電器は電流制限されると仮定します。この応用記述ではATmega16HVAが例として使用されますが、別注がなければどのデバイスも使用できると仮定することができます。動作回路は図3-1.で示されます。

原則はセル電圧が低い時に電池正端子電圧(VBATT)を充電器の急速充電閾値以下に保つと同時に、安定なチップ動作を保証するためにVFET節を充分高く保つことです。DUVR動作では充電FETが自律型ハードウェアによって完全に制御され、ソフトウェアで制御される充電FET許可(CFE)ビットを無効にします。充電FETは部分的にONへ切り換えられ、予備充電電流に対する経路を提供します。VFETはスマートバッテリーチップの最低動作電圧以上の一定水準に調整され、同時にVBATTを充電器の急速充電閾値以下に保ちます。これは充電FET抵抗をVFETと電池セル間で適合する電圧降下(VDS,CFET)を提供する点へ調整することによって行われます。

セル電圧が増すので、VDS,CFETは徐々に減少し、結局、充電FETが完全にONへ切り換わります。この時点で、充電FETが許可(CFEビットの設定(1))されていることをソフトウェアが確認している限り、DUVR動作の抜け出しは安全です。完全な応用例は5章で与えられます。

安全予防処置として、充電FETはリセット中、または電池保護事象が起こっている場合、常にOFFへ切り換えられます(電池保護の詳細に関してはデータシートをご覧ください)。この機能は完全に自律で、DUVR動作と無関係です。このリセット中の充電FET禁止必要条件が、チップの始動時間経過前にDUVR動作を許可することができない理由です。従って、スマートバッテリーチップは、例えば予備充電動作で自律型ハードウェアが充電FETを制御しても、電池パックに対する完全な安全性を提供します。

図3-1. 動作回路



4. システム設計での考慮

深下電圧回復(DUVR)動作を使用する前に、いくつかの重要な考慮に注意しなければなりません。後続する副項は最適な方法でDUVR動作を利用するのに必要な情報を含みます。

4.1. 時期尚早の急速充電回避

予備充電中にBATT端子の電圧(VBATT)を指定された急速充電閾値よりも低く保つためには、外部放電FETのパラメータを考慮することが重要です。深く放電された電池セルに対するDUVR動作でのVBATTは、**式4-1**で指定されるように計算することができます。

式4-1. 電池パック正端子電圧

$$V_{BATT} = V_{FETDUVR} - V_B$$

$V_{FETDUVR}$ は低いセル電圧に対するDUVR動作で調整されたVFET電圧を表し、 V_B は放電FETの本体ダイオードに対する降下電圧です。セル電圧が $V_{FETDUVR}$ を越えると、結局、VFET電圧が $V_{FETDUVR}$ 以上に増加し、故にこの式はセル電圧が低い間だけ有効なことに注意してください。応用に対する充電器の急速充電閾値が V_{FC} の場合、許される放電FET本体ダイオード最大電圧降下は**式4-2**で与えられます。

式4-2. 放電FET本体ダイオード最大許容電圧降下

$$V_{B,max} = V_{FC} - V_{FETDUVR} - \text{余裕分}$$

100mVの余裕での $V_{FC}=3.0V$ と $V_{FETDUVR}=2.1V$ の使用はダイオードに対して800mVの最大許容電圧降下を生じます。100mA程度に類する予備充電電流については、スマートバッテリー応用で使用される殆どのFETに対して決してこの電圧を超えないでしょう。

高い V_B を持つ放電FETが使用される、または充電器の急速充電閾値が非常に低い場合、システムは**式4-1**から V_B を消去するために予備充電中でも放電FETをONに切り換えるかもしれません。

充電中の放電FET開通は充電器が未だ接続されているかを調べる必要性を増すかもしれません。充電器の存在はCC-ADC変換結果の極性を監視することによって容易に判定することができます(ATmega8HVA/16HVA)。放電電流が流れている(または電流が流れていない)場合、これは充電器が取り去られ、電池パックの予期せぬ流出の危険を低減するために放電FETが禁止されているであろうことを示します。

電池セルは電池保護回路が許可されている限り、充電周期全体中の高い充放電電流から保護されます。

4.2. 正しい始動時間選択

ATmega8HVA/16HVA, ATmega4HVD/8HVDの始動時間と充電器の t_{DET} パラメータの調和が重要です。これは充電器が予期せず急速充電動作に決して移行しないことを保証します。マイクロコントローラの始動時間は主に始動時間(SUT)ヒューズ設定によって決められます。けれども、他のいくつかのパラメータもシステム設計に於いて考慮されるべきです。始動の仕組みに関するタイミング値が**表4-1**で一覧にされます。

表4-1. システムレベルでの始動考察

番号	パラメータ	時間 (注)	注釈
1	充電器接続から内部電源ONリセット開放までの時間	5ms	代表値、外部CREGコンデンサ容量依存
2	電源ONリセット開放から内部リセット開放までの時間	4~512ms	公称範囲、SUTヒューズ依存、実際の範囲はULP発振器周波数依存
3	内部リセット開放からDUVR動作許可までの時間	0ms	リセット後直ちに許可
4	DUVR動作許可からVFET電圧の $V_{FETDUVR}$ での安定までの時間	1ms	代表値、セル電圧とFET型式に依存
5	充電器接続からDUVR動作有効までの総時間	10~518ms	SUTヒューズ設定に依存する公称値、1~4の合計として計算
6	内部リセット開放から応用コードによって放電FETが許可され得るまでの時間	1ms	ソフトウェア実装に依存
7	応用コードでの放電FET許可から V_B 減少までの時間	1ms	代表値、VFETとFET型式に依存
8	充電器接続から V_B 減少までの総時間	11~519ms	SUTヒューズ設定に依存する公称値、1,2,6,7の合計として計算

注: この列の値は与えられた応用に対する代表値です。実際の値はこれらの数値から変動するかもしれませんが、各応用に対して明確に調査されなければなりません。データシートに於いて最小と最大の指定値を持つチップのパラメータについては、タイミングが重要な場合に最悪の考察が使用されるべきです。

一旦内部リセットが開放されると、既定としてDUVR動作に移行します。低いセル電圧については、ハードウェアによって充電FETが十分にONされている限り、VFETが $V_{FETDUVR}$ で安定するでしょう。SUTヒューズ選択と始動のより多くの詳細についてはデータシートを参照してください。

始動中にVBATTが急速充電閾値以上に上昇するため、 t_{DET} パラメータはシステム設計での考察が重要です。スマートバッテリーマイクロコントローラに対しての t_{DET} よりも長い始動時間選択は充電器に早すぎる急速充電動作をもたらすかもしれません。

4.3. 電力消費最小化

DUVR動作はVFETを調整するためにクロック駆動された調整の仕組みを使用するので、この動作種別は常に固定の高い周波数のクロックを必要とします。実際問題として、これはチップの様々な休止形態に関係なく、DUVR動作で常にチップの高速RC発振器が許可されることを意味します。パワーセーブ休止形態に対して、DUVR動作は僅かに電力消費を増すでしょう。充電器が接続されている限り、増加した電力消費は重要ではありません。けれども、応用は電池放電中の過度の電流消費を避ける必要がない時は必ず、DUVR動作を常に禁止することに注意すべきです。これは深い休止形態を使用する時に特に重要です。

4.4. 低すぎるセル電圧時の充電FET許可

チップが動作できる水準(電圧)にセル電圧が達する前に充電FETが完全にONに切り換えられた場合(ソフトウェアによる充電FET許可)、VFETが直ぐに降下し、電圧調整器は十分な水準でVREG電圧をもはや保つことができません。ATmega8HVA/16HVAについては、VREG電圧が低電圧検出(BOD)レベル以下に降下した時にチップがBODリセットへ移行します。BODリセットは直ちに充電FETをOFFに切り換え、充電器が存在しているなら、再びVFET電圧の上昇を引き起こします。これは殆ど直ぐにチップをBODリセットから回復させ、リセット後の始動時間経過で標準動作が再開され得ます。ATmega4HVD/8HVDについては、低すぎるVREG降下時にチップが電圧消失検出(BLOD)リセット/パワーオフ動作へ移行します。

4.5. 時期尚早の充電器切断/パルス充電

充電器がパルス充電の仕組みを使用、またはセル電圧がチップの最低動作電圧以下の時に何らかの理由で充電器が切断された場合、デバイスはVFETまたはVREGのどちらかが低すぎる時にパワーオフ動作へ移行します。充電器が再びONに切り換わると、パワーオフ動作から通常の始動手順が行われます。

充電器が再接続される、またはVFETかVREGがそれらの最低値以下へ低下する前にパルス充電が再開される場合、チップはBODリセットまたはパワーオフ動作へ移行することなく、通常動作を続けるでしょう。

5. 応用例

本項はDUVR動作と電流制限された充電器を使用し、パワーオフ動作からの始動を含むシステム設計の例を含みます。これは以下の前提で行われます。

- ・ 初期セル電圧(V_{CELL})は1.0Vで、チップはパワーオフ動作です。
- ・ 充電器の急速充電閾値は3.0Vです。
- ・ 充電器の検出時間(t_{DET})は60msです。
- ・ 放電FETの本体ダイオード電圧降下は予備充電電流50mAで0.5Vです。

放電FETの本体ダイオード電圧降下は充電器の急速充電閾値(V_{FC})に比べて低いので、放電FETは初期充電の間、OFFに切り換えられます。マイクロコントローラに対する始動時間は電池が検出される前に電池パック正端子が V_{FC} 以下に調整されるのを保証するために32msに設定されます。

充電手順は図5-1.で図解されます。動作回路は図1-1.で記述されます。

図5-1. 応用例(1セル応用)

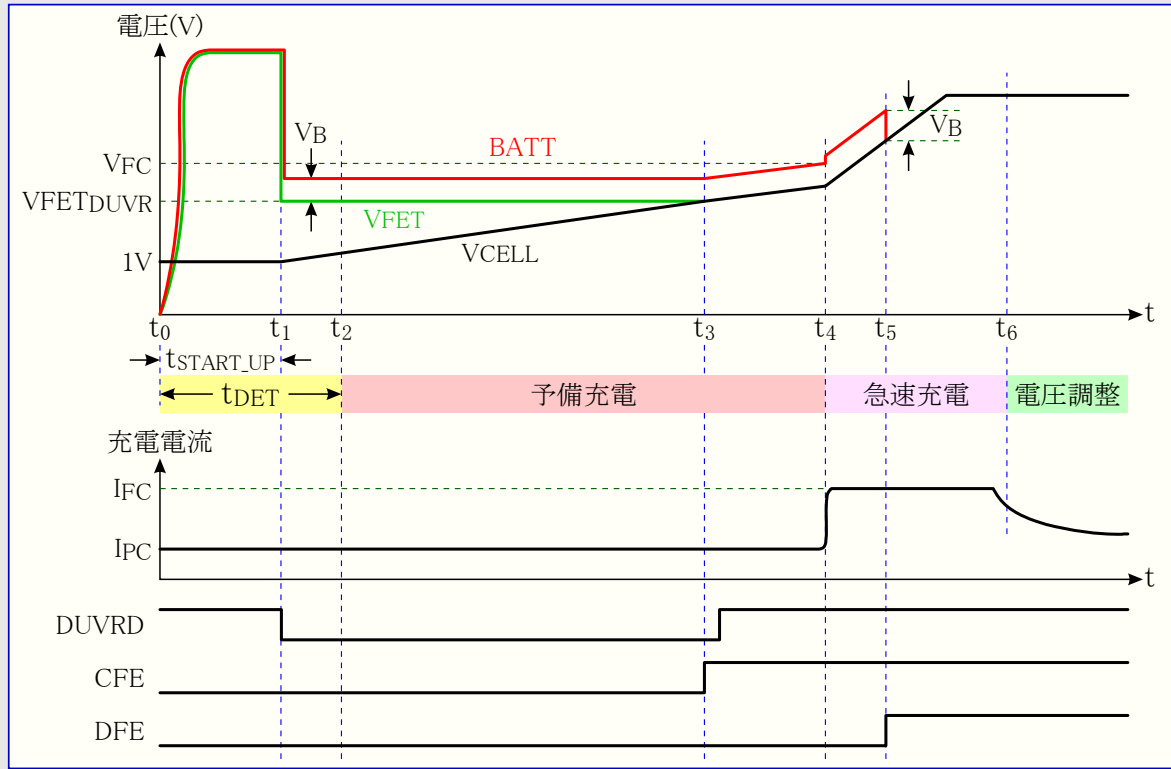


図5-1.で示される事象に対する説明は表5-1.で一覧にされます。

表5-1. 図5-1.に対する説明

時間	注釈
t=t0	充電器が接続されます。充電FETと放電FETの両方が完全にOFFへ切り換えられ、VFETとVBATTを素早く電池充電器電圧へ上昇させます。デバイスは始動時間が過ぎる(t1として示される時間)までリセット状態を保たれます。リセット区間を通り過ぎると、VBATTはVFC閾値以上です。放電FETの本体ダイオードを通して流れる電流が非常に小さいので、VBATTとVFETは殆ど等しくなります。
t=t1	マイクロコントローラの始動時間が過ぎ、チップはリセット状態から抜け出します。DUVR動作が自動的に許可され、例え充電FET許可(CFE)ビットが解除(0)されていても、充電FETが少しONに切り換えられます。充電FETを許可することがVFET電圧をVFETDUVRへ急速に低下させます。BATT電圧はVFET+VBに等しく、直ぐに適切なVFC以下になります。電池セルは放電FETの本体ダイオードと充電FETのドレインソース間チャネルを通して充電されつつあります。
t=t2	tDETが過ぎ、充電器はVBATT電圧を測定します。この電圧が適切なVFC以下なので、充電器は予備充電電流の印加を続けます。VFET電圧はVFETDUVRで一定に保たれ、一方でVCELLは増加します。
t=t3	VCELLが増加し、そのために今やVFETDUVRと等しくなります。実行としては、充電FETが完全にONへ切り換えられ、これ以上はDUVR動作が無効です。この時点からVFETはVCELLに従い、そしてそれが増加するので、VFETとVBATTの両方が増加を始めます。今や、CFEビットを許可(=1)することによる充電FETのON切り換えは安全で、そしてDUVR動作を禁止してください。常にDUVR動作が禁止される前にCFEビットが設定(1)されることに注意することが重要です。この規則に従わない場合は、チップに於いて低電圧検出(BOD)リセットまたはパワーオフ動作を潜在的に引き起こす、VFET電圧低下になるでしょう。
t=t4	今やVBATTがVFCに達し、充電器は急速充電動作へ移行します。電流が増加するので、放電FETの本体ダイオード上の電圧(VB)が増加します。
t=t5	本体ダイオードでの大きな電力浪費を避けるために、放電FETはONへ切り換えられるべきです。このFETがONに切り換えられると、BATT電圧はVBに応じた電圧に低下します。早すぎる放電FETの許可はVBATTを一時的にVFC以下に低下させるかもしれません。充電器は電圧調整段階へ移行するまで一定の急速充電電流を供給し続けます。
t=t6	充電器が電圧調整段階へ移行し、充電電流が減少します。



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

製品窓口

ウェブサイト

www.atmel.com

技術支援

avr@atmel.com

販売窓口

www.atmel.com/contacts

文献請求

www.atmel.com/literature

お断り: 本資料内の情報はATMEL製品と関連して提供されています。本資料またはATMEL製品の販売と関連して承諾される何れの知的所有権も禁反言あるいはその逆によって明示的または暗示的に承諾されるものではありません。ATMELのウェブサイトに位置する販売の条件とATMELの定義での詳しい説明を除いて、商品性、特定目的に関する適合性、または適法性の暗黙保証に制限せず、ATMELはそれらを含むその製品に関連する暗示的、明示的または法令による如何なる保証も否認し、何ら責任がないと認識します。たとえATMELがそのような損害賠償の可能性を進言されたとしても、本資料を使用できない、または使用以外で発生する(情報の損失、事業中断、または利益の損失に関する制限なしの損害賠償を含み)直接、間接、必然、偶然、特別、または付随して起こる如何なる損害賠償に対しても決してATMELに責任がないでしょう。ATMELは本資料の内容の正確さまたは完全性に関して断言または保証を行わず、予告なしでいつでも製品内容と仕様の変更を行う権利を保留します。ATMELはここに含まれた情報を更新することに対してどんな公約も行いません。特に別の方法で提供されなければ、ATMEL製品は車載応用に対して適当ではなく、使用されるべきではありません。ATMEL製品は延命または生命維持を意図した応用での部品としての使用に対して意図、認定、または保証されません。

© Atmel Corporation 2008. 全権利予約済 ATMEL®、ロゴとそれらの組み合わせ、AVR®とその他はATMEL Corporationの登録商標または商標またはその付属物です。他の用語と製品名は一般的に他の商標です。

© HERO 2013.

本応用記述はATMELのAVR354応用記述(doc8056.pdf Rev.8056A-10/08)の翻訳日本語版です。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。