AVR352：クーロン カウンタA/D変換器の使い方

要点

- 動作種別
  - 瞬時変換と累積変換
  - 通常電流状況
- 分路(電流検出)抵抗を使う電流測定
- 補償と校正
  - 採取周期変更
  - 変位(オフセット)補償

1. 序説

新しいAVR®電池監視デバイスの多くはクーロン カウンタA/D変換器(CC-ADC)が特徴です。これはスマート バッテリでの充電と放電の電流測定用に設計された高精度⊿ΣA/D変換器です。

この応用記述は最大精度と可能な最低電流消費を得るためのCC-ADC使用法を記述します。

2. 動作の理屈

CC-ADCは特にスマート バッテリを意識して設計されたアナログをデジタルに変換する変換器です。これは何の電流が電池内にまたは外に流れているかについての高精度の情報提供をできるように、非常に高い精度で充電と放電の電流を測定するのに使われ、従って充電状態と他の電池情報を提供します。この情報は応用が電池残充電量でどれ位長く走行を期待できるかを予測する時と、電池を充電する時にも有用です。この情報は電池の健全性の評価や、それを置換する必要があるかを決めるのにも使うことができます。

2.1. CC-ADCの動作種別

CC-ADCは2つの異なる動作種別を提供します。

- 瞬時/累積電流変換動作 (ICC/ACC)
- 定常電流状況(RCC)動作

CC-ADCが許可されると、ICCとACCの変換が走行を開始します。ICC変換は3.9ms毎に生成され、一方ACC結果はCC-ADC制御/状態レジスタA(CADCSRA)の累積電流変換時間選択(CADAS)ビット設定に依存する間隔で生成されます。RCC動作はCC-ADCが周期的に禁止される動作種別で、従って電力消費を減らすために少ない繰り返しで電流を採取します。動作種別は以下で記述されます。

充電設定に使われるレジスタのいくつかがCPUと異なるクロック領域で動作し、CC-ADCクロック領域との同期化を必要とすることに注意してください。後続するこれらのレジスタへの書き込みはこの同期化中に妨げられます。CC-ADC更新中(CADUB)フラグは更新が進行中か否かを調べるのに使うことができます。

2.1.1. 瞬時電流変換動作(ICC動作)

ICC動作でのCC-ADCは概ね3.9msで符号付13ビットの結果を提供します。この動作は瞬間的な電流引き出しについての情報を得ることを望む時に使うことができます。これは電池電圧と放電電流が(概ね)同時に測定することを望む場合、例えばインピーダンス計算に使うことができます。CC-ADCは変換が完了して結果がCC-ADC瞬時電流(CADICHとCADICL)レジスタで準備が整った時に割り込みを生成します。

CC-ADC許可、RCCからの切り換え、または極性変更後の最初の3回のICC変換が不正確で、可能な限り破棄されるべきであることに注意してください。

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. 8078B-02/09, 8078BJ3-01/21

2.1.2. 累積電流変換動作(ACC動作)

ｽﾏｰﾄ ﾊﾞｯﾃﾘで給電される応用が活動的に走行し、それによって重要な電流が電池から引き出される時に、その電流はACC動作を使うことによって非常に高い精度で監視することができます。ACC動作での変換は128ms～1sかかります。けれども、変換の精度は(符号付)18ﾋﾞｯﾄの高さです。ACCの結果は採取周期内の平均引き出し電流です。

CC-ADCは常に活動なので、ACC動作はRCC動作よりももっと電流を引き出しますが、CC-ADCのその追加電流消費は応用それ自身によって引き出される電流に比べて重大ではなく、従って受け入れることができます。ACC変換はｱｲﾄﾞﾙとﾊﾟﾜｰｾｰﾌﾞの両休止形態で走行することができ、電流消費全体を減らすために(これらが)使われるべきです。

CC-ADC許可、RCCからの切り換え、または極性変更後の最初の3回のICC変換が不正確で、可能な限り破棄されるべきであることに注意してください。その一方で、例え測定が誤っていても、測定されるべきその時間中に重要な電流で動くかもしれません。これは応用に依存します。

2.1.2.1. 累積電流変換時間選択

ACC変換に使われる累積時間は128,256,512,1024msに設定することができます。変換時間は結果の分解能に関係せず、主に都合に関係し、故に何度くらい電流が処理されるべきか(何度くらいACC割り込みが起こるべきか)を選ぶことが可能です。

けれども個別ACC変換の雑音成分が変換時間減少で増加することに注意してください。雑音成分が確率論的なので、雑音は平均除外され、電池充電の計算に影響を及ぼさないでしょう。

2.1.3. 定常電流変換動作(RCC動作)

電池給電応用が待機動作、故に電池から少しの電流が引き出されるとき、ｽﾏｰﾄ ﾊﾞｯﾃﾘ内のﾏｲｸﾛ ｺﾝﾄﾛｰﾗ(MCU)の電流消費は電池寿命に影響を及ぼさないように非常に低くあるべきです。定常電流変換動作はこれを成し遂げる手段を提供します。

RCCでのCC-ADCは電流消費を最小にするために選択可能な間隔に対してOFFへ戻る前の1変換を繰り返して行います。更に、RCC動作は選択可能な水準以上の電流に出会うまで休止に留まるために、AVRの休止形態と共に使うことができます。その後で割り込みが許可されている場合に割り込みが生成され、ﾃﾞﾊﾞｲｽが起動します。

RCC動作はICC動作と同じ符号付13ﾋﾞｯﾄ分解能と3.9msの変換時間を持ちますが、変換は定常電流検出間隔(CADSI)ﾋﾞｯﾄによって指定されるように256ms～2sの間隔で生成されます。

ICC割り込みが許可されている場合に変換完了でもICC割り込みが生成されることに注意してください。電流が定常電流水準以上の時は累積電流変換(ACC)動作が選択されるべきです。

定常電流水準はCC-ADC定常電流(CADRCまたはCADRCCとCADRDC)ﾚｼﾞｽﾀで指定されます。ﾚｼﾞｽﾀに於ける各段階は26.9µVと等価です。**式2-1.**は0.01Ω分路(電流検出)抵抗の仮定で16mA制限を指定する方法を示します。

式2-1. 定常電流水準

$$CADRC = \frac{Ireg_level}{\frac{26.86\mu V/ﾋﾞｯﾄ}{0.01\,\Omega}} = \frac{16mA}{2.686mV/ﾋﾞｯﾄ} \fallingdotseq \$06$$

2.2. 電圧測定による電流測定

応用によって電池から引き出される電流を測定するとき、最も一般的な方法は分路(電流検出)抵抗上の電圧を測定することです。この測定はAVRのCC-ADC内部基準電圧(CCVref)、例えばATmega16HVAは110mVと比較されます。ICC動作とRCC動作でのCC-ADCの段階量は従って(110mV÷2^{12})=26.86µV、ACC動作では(110mV÷2^{17})=0.839µVです。

式2-2. 与えられたﾋﾞｯﾄ分解能でのCC-ADCの電圧段階分解能

(計算で符号なし分解能が使用されなければならないことに注意してください。)

$$電圧段階量 = \frac{V_{CCADC_ref}}{2^{bit_resolusion}}$$

けれどもCC-ADCが⊿ΣA/D変換器なので入力が90%または基準を超える場合に(ATmega16HVAに関しては入力が100mVを越える場合を意味します。)入力に関連して結果が非直線になります。従ってこれは避けられるべきです。

0.01Ω分路(電流検出)抵抗を使うｽﾏｰﾄ ﾊﾞｯﾃﾘを考察すると、ACC動作で10A(0.01Ω×10A=100mV)までの電流を測定することが可能で、CC-ADC範囲の直線領域で未だ動作します。一般的に分路(電流検出)抵抗は低電流に対して充分な精度結果を提供するために充分に大きく、そしてCC-ADC入力に対して100mV制限を越えないように充分小さく選ばれるべきです。0.01Ωの検出抵抗を通る10Aが1Wの熱を生じるとして、電力浪費も考慮されなければなりません。電流を計算するのに**式2-3.**を使うことができます。

式2-3. CC-ADC結果(V:電圧)と電流間の変換

$$電池電流 = \frac{CC\text{-}ADC結果}{分路(電流検出)抵抗値}$$

2.3. CC-ADCクロック元

CC-ADCはデバイスに依存して内部の低速RC発振器によってクロック駆動することができます。低速RC発振器の周波数は代表的に131kHzですが、この周波数は製法変化とダイ温度のために変化します。詳細情報についてはデータシートとAVR351応用記述を参照してください。

低速RC周波数は正確な時間基準を与えるために温度に対して予測可能です。最大精度に関して、測定はクロック元に拘らず、クロック変動に対して補償されるべきです。

2.4. 校正と補償

CC-ADCから最大精度を得るために、基準電圧(VREF)は正確な校正を必要とし、変位(オフセット)は差し引かれ、採取周期が既知である必要があります。

2.4.1. VREF校正

CC-ADCの最大精度のために基準(電圧)は正確さを必要とします。CC-Vrefは内部基準電圧に基き、従って正確な校正を必要とします。Vrefは-10℃～70℃で90ppm/℃未満の変動と代表的に±1mVの絶対精度を持つように校正することができます。Vref校正の方法は「**AVR353:基準電圧校正と電圧A/D変換器の使い方**」応用記述で得られます。

2.4.2. CC-ADC変換時間補償

CC-ADCの結果はクロック元に拘らず、実際のクロック周期に対して補償されるべきです。低速RC発振器周波数はチップの温度から直接的に予測することができます。換言すれば、ACC動作が使われ、1024ms後の結果で1Aが得られた場合に、電池から1024mA秒が引き出されていると言えません。電池から引き出された充電分を判定し得るのに先立って、実際の周期に対する補償が必要です。発振器の周波数と周期を判定する方法は「**AVR351:RC発振器の走行時校正と補償**」応用記述に記載されています。この周波数(または周期時間)が分かった時にCC-ADC変換周期も分かります。

AVRの温度が安定しているなら、発振器の周波数もまた安定していて、固定の補償を用いることができます。けれども、温度が変化する場合、周波数が変化し、保障値はダイの温度が例えば2℃よりも多く変化する時に更新されなければなりません(温度の関数としての周波数変化についての情報に関してはデータシートを参照してください)。電池からの充電分引き出しを判定するために、測定電流はCC-ADC変換周期で乗算されるべきです。

式2-4. 電池からの引き出し電力の補償

$P = I_{bat} \times T_{RC} \times T_{conv}$: T_{conv} = 128,256,512,1024ms

2.4.3. 変位(オフセット)補償

CC-ADCの結果は変位(オフセット)誤差を持ち、そしてこれがICCとACCの結果に加わります。1つの測定の場合、この変位はその後の測定から引き算することができますが、例えばATmega16HVAにはCC-ADC入力の極性を変更することが可能な特徴があります。ACCの結果は一般的に累積されるので、一定周期でCC-ADC極性(CADPOL)ビットを変更することにより、これは変位を消去するのに用いることができます。

式2-5. 入力極性反転による変位消去

$$CC\text{-}ADC_{pos} = x[n] + E_{offset}$$
$$CC\text{-}ADC_{neg} = -x[n+1] + E_{offset}$$
$$CC\text{-}ADC_{pos} + (-CC\text{-}ADC_{neg}) = (x[n] + x[n+1]) + (E_{offset} - E_{offset})$$
$$CC\text{-}ADC_{pos} + (-CC\text{-}ADC_{neg}) = x[n] + x[n+1]$$

CC-ADC入力の極性がCADPOLビットの設定(1)または解除(0)によって変換中に切り換えられた場合、誤差が誘引されることに注意してください。この誤差を最小にするため、極性もACC変換完了後、可能な限り速く切り換えられるべきです。極性変更時に誘引される誤差は累積で(排除)消去しないので、極性変更は必要以上に多く行われるべきではありません。経験則として、極性変更によって引き起こされる誤差は極性が秒毎に変更された場合で概ね0.9%、一方極性が分毎に変更された場合で0.015%の範囲でしょう。

ICC動作での極性変更は、瞬時値が累積なしでの使用が望まれ得るので、変位誤差を修正するために使われる可能性はありません。代替は製品で変位を測定し、この校正値に基いて走行時にICCの結果を修正する校正ルーチンを実行することです。

尚、製品校正に基く変位除去はACC測定にも用いることができますが、低い精度を期待すべきです。静的変位除去で良好な精度に達しているなら、ACC変位の製品校正は軽く数十秒かかり、これは大量生産に於いて望まれません。

3. コード例

この応用記述でコード例が提供されます。コードは包括的なソース資料を生成するDoxygenコード資料化ツールを使って資料化されています。コンパイラ情報とデバイス設定も含まれています。この資料にアクセスするには、コード フォルダで見つかるreadme.htmlファイルを(ウェブ ブラウザでHTMLコード資料を指示して)開いてください。

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
東熱新川ﾋﾞﾙ 9F
ｱﾄﾒﾙ ｼﾞｬﾊﾟﾝ株式会社
TEL (81) 03-3523-3551
FAX (81) 03-3523-7581

製品窓口

ｳｪﾌﾞｻｲﾄ
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のｳｪﾌﾞ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 2009. **不許複製** Atmel®、ﾛｺﾞ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* 2021.

本応用記述はAtmelのAVR352応用記述(doc8078.pdf Rev.8078B-02/09)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訳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。