

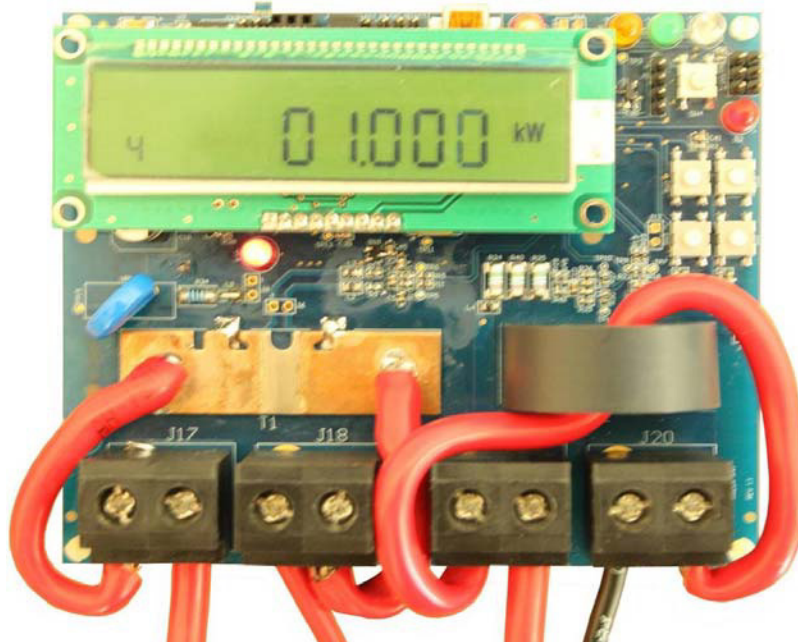
AVR1631 : XMEGA Aを使用する単相電力量計

Atmel 8ビット マイクロコントローラ

要点

- 安価、1級単相電力量計解決策
- 安価で費用効率的な容量性電源
- RTC用外部低周波数クリスタル
- 内部RTC用電池代替支援
- GPIO(汎用入出力)を通したLCDインターフェース
- 複数干渉検出
- 多数の測定パラメータ
- 一度の素早い正確なデジタル校正は追加の恩恵を与えます。
- 校正パラメータ、干渉情報などを格納するための内部EEPROM
- 外部EEPROMインターフェース

図1. 電力量計ハードウェア



目次

1. 内容	3
2. 仕様	3
3. 電力量計	3
3.1. 概要	3
3.2. 電源	4
3.3. アナログ前処理部	4
3.4. 信号調整(偽信号除去濾波器)	5
3.5. A/D変換(ADC)	5
3.6. 相互干渉/雑音除去	5
3.7. マイクロコントローラ	5
3.8. 測定の原理	5
3.8.1. 平均電力計算	5
3.8.2. 電力量計算	6
3.8.3. 電圧の電流の計算	6
3.8.4. 皮相電力と力率の計算	6
4. Atmel AVR1631	6
4.1. 概要	6
4.2. ハードウェア	6
4.2.1. 容量性電源	7
4.2.1.1. 理屈	7
4.2.1.2. 急変保護	7
4.2.2. アナログ前処理部	7
4.2.3. 電圧前処理部	8
4.2.4. 電流前処理部	8
4.2.5. マイクロコントローラ	8
4.2.6. LCD駆動部インターフェース	9
4.2.7. 合図LED	9
4.2.8. プログラミングとテラックのインターフェース(PDI)	10
4.2.9. 直列通信インターフェース	10
4.2.10. 電池代替支援インターフェース	10
4.3. ファームウェア基本構造	10
4.3.1. システム初期化	11
4.3.2. A/D変換採取	11
4.3.3. 積和演算	12
4.3.4. 基本電力量と瞬間パラメータ計算	13
4.3.5. 校正パルス出力生成	14
4.3.6. 電力線周波数計算	14
4.3.7. LCD表示	15
4.3.8. 干渉検出論理	15
4.3.9. 低電力動作実装	16
4.4. 校正手順	16
追補A. LCDタイミング図	18
追補B. 改訂履歴	19

1. 内容

この応用記述は干渉検出論理回路を持つ単相電子電気量計を記述します。参照基準設計は以下の仕様を支援するように設計されたAtmel® AVR® ATxmega32A4Uマイクロ コントローラで開発されました。

2. 仕様

- IEC/IS規格による1級精度に合致する設計
- 公称電圧：240V (Vref)
- 公称電流：5A (Ibasic)
- 最大電流：40A (Imax)
- 0.6Vref～1.2Vrefの電圧の動作範囲
- 必要条件によってファームウェアを通した計器定数の容易な変更
- 電力周波数範囲：45～65Hz
- 力率：0になるための単一性に対して遅れ0
- 無負荷と(-)70～120%の電圧での走行：斬動なし
- 計器が動いて走行を継続する開始電流：Ibの0.4%
- 感知器：測定のための1次側分流器と2次側Ct
- 急な電流変動下でさえ正確
- 干渉保証設計
- 計器は逆電流接続下で同じ精度で正しい電力量を記録
- 大地負荷干渉検出
- 逆電流検出と記録
- 電磁干渉保証と記録

3. 電力量計

3.1. 概要

電力量計は住宅や商業ビルへ供給される電気的エネルギーの量を測定します。計器によって行われる測定の殆どの共通する単位は1時間で1kWの負荷によって使用されるエネルギーの量に等しいkWh(キロワット時)です。図3-1は単相電力量計の構成図を示します。

示されるように電力量計のハードウェアは電源、アナログ前処理部、マイクロ コントローラ部、インターフェース部を含みます。アナログ前処理部は高電圧線に対してインターフェースする部分です。これは高電圧と高電流をマイクロ コントローラのADC(A/D変換器)によって直接測定するのに充分小さな電圧に変換します。必要とされる増幅の量はADC分解能だけでなく単相計に必要なとされる等級精度にも依存します。

計器の心臓は電圧と電流の測定に基づく有効、無効、皮相の電力量を計算するMCUです。ADCはアナログ入力の電圧と電流の信号を採取してデジタル形式に変換します。このデジタル試料は電力量を計算するためにMCUへ与えられます。MCUは時間に渡って電圧と電流の試料の結果を累積します。有効電力はこの累積された値を試料数で除算することによって計算されます。時間によって乗算された有効電力は消費された有効電力量を与えます。

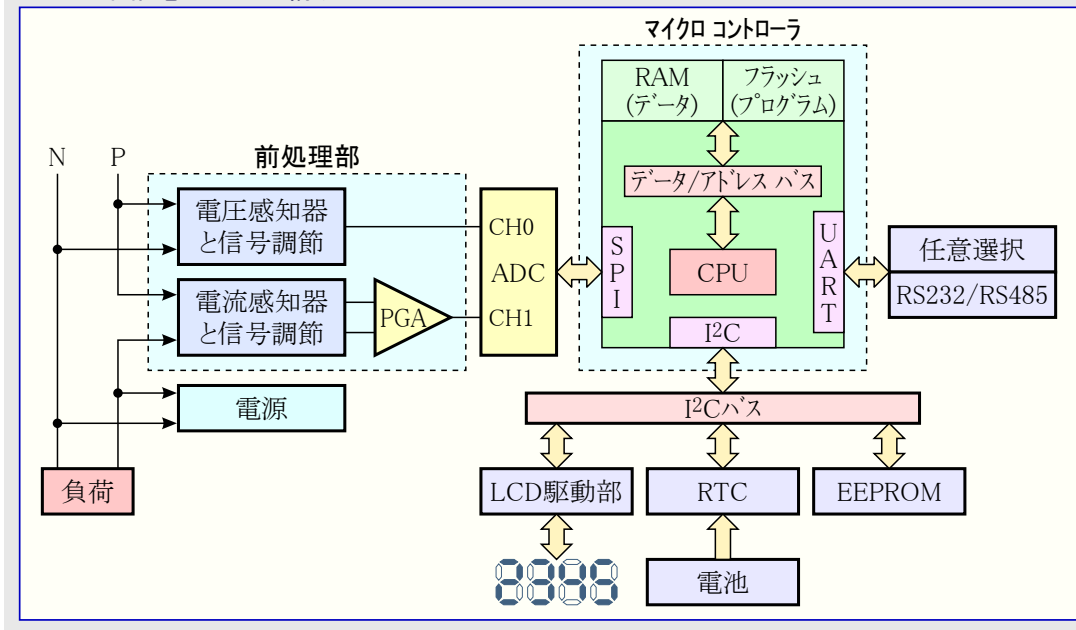
MCUは課金目的のために計算された電力量をLCD表示器で表示するためにLCD駆動部を更新します。読み取った物はRS232/RS485のような電氣的に接続された媒体を通して、または光絶縁された媒体を通して遠隔地に送信することもできます。これは遠隔課金を許します。

MCUはimp/kWhの速度で測定した有効電力量に比例するパルス出力も生成します。このパルス出力は短い時間間隔で参照基準計器と比較することにより、測定された電力量の精度を測定するのに使用することができます。

代表的な電力量計は料金表情報のために実時間時計(RTC:Real Time Clock)も必要です。計器応用のためのRTCは非常に正確であるべきです。これは料金表の位置(その日の時間)に日、月、年を分割するのに関係します。より高い料金は最高点負荷期間で、より低い料金表率は最高点なし負荷期間で適用されます。

電力量計は使用され得る前に校正されることが必要で、それは電子電力量計に対するデジタル領域で行われます。デジタル校正は高速、効率的で、自動化することができ、伝統的に電磁計で必要とされる、時間を消費する手動タイシングを取り去ります。校正係数はEEPROMに格納されます。

図3-1. 単相電力量計の構成図

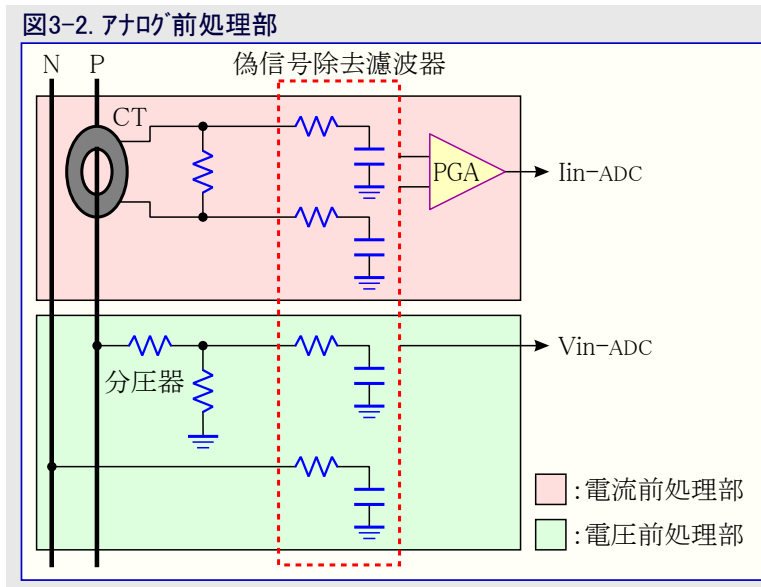


3.2. 電源

AC電圧をマイクロコントローラによって必要とされるDC電圧に変換するには様々な方法があります。伝統的に、これは変圧器と整流回路で行われます。スイッチング電源の解決策もあります。電子電力量計応用はマイクロコントローラと他の少しの低電流デバイスだけへのDC電圧提供を含みます。変圧器に基づく、または切り替え器に基づく電源は費用効率的でないかもしれません。

変圧器に基づく解決策での変圧器と、切り替えに基づく解決策でのコイル/MOSFET/制御器は高価で相当な量の空間を占めます。費用と電源周辺の部品の大さは計器に於いて電源単独の費用よりも僅かに少ないかもしれません。従って電源選択中は注意が払われなければなりません。

3.3. アナログ前処理部



各々それら自身の相反関係で、電流と電圧を感知する様々な方法があります。電圧は分圧抵抗によってADCの範囲へ縮尺されます。電流は電流変換器によって測定されます。電流変換分流器やCTの両方はそれら自身の利点と欠点を持ちます。

分流器を横切る電圧低下は負荷によって引き出される電流に比例します。この電圧低下は電流入力信号として使用されます。分流器が負荷と直列なので、これは $\mu\Omega$ であるべきです。分流抵抗はmVで電圧低下を与えます。雑音が多い環境では、正確な測定のためにADCへ配給するのに先立って精密濾波と増幅回路が必要です。

電流は変流器(CT:Current Transformer)によっても測定することができます。CTは1次側から流電(ガルバニック)絶縁をも提供します。変流器は飽和することができて非直線相応答を示す電磁コアに基づきます。これは低い電流と大きな力率で電力または電力量の測定誤差を引き起こし得ます。これは下流の信号機構で対応する位相補正機能を要求します。

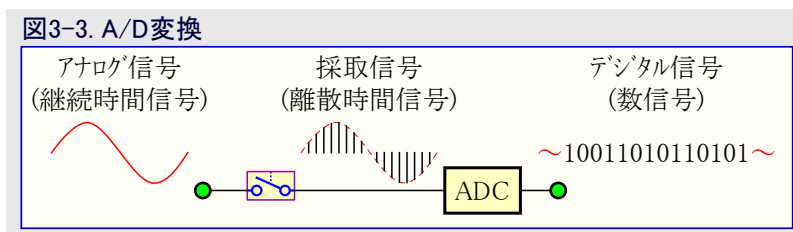
3.4. 信号調整(偽信号除去濾波器)

ナイキストの標本化定理によって入力信号の最大周波数は採取速度の半分に等しいか、またはそれ未満であるべきです。(電力線周波数のような)浮遊信号を拾うかもしれない入力信号はナイキスト周波数よりも高い周波数を含み得ます。これらの周波数は適切な周波数範囲への偽信号かもしれない、従って誤った結果を与えます。

入力信号の周波数内容が制限されるのを保証するため、ADCの前に偽信号除去濾波器(アンチエイリアスフィルタ、低周波数を通過するけれども高周波数を減衰する濾波器)が追加されます。

3.5. A/D変換(ADC)

電子電力量計はA/D変換を頼ります。これはA/D変換器(ADC)によって行われます。ADCは離散時間の発起でアナログ信号の採取または“こま撮り”を取ります。これらの“こま撮り”や離散時間信号は図3-3.で示されるようにADCによって順に数値へ変換されます。



電力量計量に関するADC必要条件は次の通りです。

- 応用の相対的に広い動的範囲と正確さの必要条件是ADCの分解能が高い分解能である必要があります。
- 最低2～4kSPS(秒当たり2000～4000採取)が必要とされます。標本化定理の基本的な規則は、採取速度(周波数)が信号の最高周波数内容の最低2倍でなければならないと言います。これはナイキスト速度(周波数)と呼ばれます。電力量計測仕様は電力線周波数に依存して1kHzや1.2kHzである第20高調波までの周波数内容の正確な測定を要求します。
- 安価。解決策は電力量計量応用が特に価格に敏感なため安価でなければなりません。
- ADCは不経済な電力を消費してはなりません。半導体計器設計の冒険的姿勢の1つは電源部の設計です。

3.6. 相互干渉/雑音除去

電圧前処理部はそれを潜在的な雑音の元にする、重要な振幅の電圧を扱います。妨害は測定されるべき実際の信号とインターフェースする電流測定回路内へ容易く放射されます。代表的に、これは小さな信号振幅での非直線誤差と非単調力率として示します。単一力率で、電圧と電流の信号は、単に校正することができる利得誤差として現れる電圧と電流のチャネル間での同位相と相互干渉です。電圧と電流が同位相でない時に相互干渉は校正することができない測定での非直線結果を持ちます。低振幅の電流信号は採取されて処理される前に増幅され、これは信号内のどんな雑音も拡大されることを意味します。

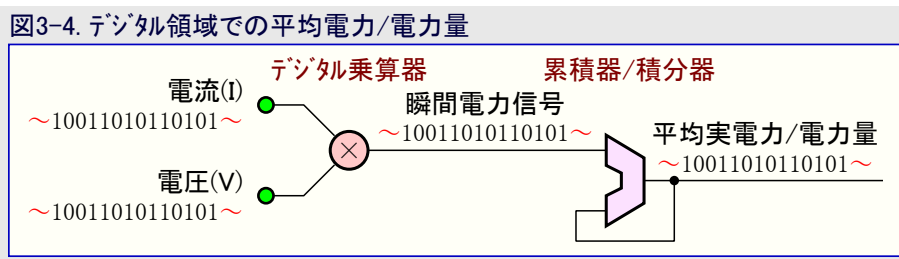
相互干渉と雑音は良いPCB設計と正しい濾波器部品の使用によって最小化することができます。

3.7. マイクロ コントローラ

マイクロ コントローラは必要な電力量測定作業と他の部品とのインターフェース、EEPROM、表示、直列通信インターフェースの全てを処理します。安価の他にも、基本的なマイクロ コントローラの必要条件は外部LEDを駆動するための十分な入出力(I/O)、外部LCD駆動部/EEPROMのための組み込み直列インターフェース、それと計時器と外部割り込みです。追加機能として、遠隔/自動の計量のためにホストシステムと通信するための直列インターフェースがあるべきです。また、外部または内部のクロックのどちらかが複数料金計量の実装に使用することができます。

3.8. 測定の原理

3.8.1. 平均電力計算



電気的な電力は電圧と電流の積です。ADCは電圧と電流のアナログ信号入力をデジタル試料の形式で与えます。電圧($V[n]$)と電流($I[n]$)の累積は時間に渡って積を採取し、その後平均電力を与える採取数(N)によって累積された値を除算します。

$$\text{式3-1.} \quad \text{平均電力} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} (V[n] \times I[n])}{N}$$

交流に対して、平均電力は電圧と電流間の位相関係である力率も考慮しなければなりません。有効電力は $V \times I \times \cos \theta$ で、ここでの V と I はRMSでの電圧と電流で、 θ は2つの位相角です。位相角の値は本質的に電圧と電流の試料に埋め込まれています。従って、実際の位相角計算は力率の計算と表示のためにだけ必要とされるかもしれません。

3.8.2. 電力量計算

AC系の電力量消費の正確な値を得るには頻繁な測定を行うことが必要とされます。採取速度(F_s)は電源周波数の多数倍であるべきです。 N/F_s 秒で N が総採取数なら、ワット秒の表現での電力量は平均電力で N/F_s を乗算することによって得ることができます。

$$\text{式3-2.} \quad \text{電力量} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} (V[n] \times I[n])}{F_s}$$

3.8.3. 電圧の電流の計算

RMS値は完全な1周期に渡って平均された周期的に変わる量の瞬間値の2乗の平均値の平方根として定義されます。 V_{rms} 計算のための離散時間式は式3-3.によります。

$$\text{式3-3.} \quad V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (V[n] \times I[n])}{N}}$$

I_{rms} は $V[n]$ の代わりに電流試料の $I[n]$ に置き換えることによって同じ式を用いて計算されます。

3.8.4. 皮相電力と力率の計算

皮相電力は式3-4.によって瞬間電圧と瞬間電流の乗算によって計算することができます。

$$\text{式3-4.} \quad \text{皮相電力} = V_{rms} \times I_{rms}$$

力率は有効/平均電力と皮相電力から導き出すことができます。

$$\text{式3-5.} \quad \text{力率} = \frac{\text{平均電力}}{\text{皮相電力}}$$

4. Atmel AVR1631

4.1. 概要

AVR1631単相電力量計設計はAtmel XMEGA® A4Uマイクロコントローラに基づかれています。この設計は前の章で検討された安価な電力量計に対する必要条件全体を考慮した安価な解決策です。AVR1631単相電力量計の構成図は図4-1.で示されます。

電力量計に関するADC必要条件に対して3.5.項を参照すると、ADCは安価、より速い速度での採取能力、相対的に広い動的範囲の測定、低消費電流であるべきです。この設計は0.4%の基本電流(I_{basic})から最大電流(I_{max})までの広い電流の範囲を測定するために内部12ビットADCと柔軟な利得段を使用します。ADCは秒当たり200万採取までの変換能力があります。利得段を持つ差動測定はXMEGA A4Uマイクロコントローラの内側で利用可能で、これは動的範囲を増します。従って外部利得増幅器と負信号用のレベル移動部は必要とされません。これは製品費用を減らします。

この設計は電流の進行と返りの両経路で有効電力を測定するために2つの電流測定素子を使用します。これは外部の干渉の企てに従う時さえ、信頼に足る測定を続け、検知して表示することを計器に許します。計器は他のどんな電圧と電流の設定にも合うように容易に形態設定されます。この設計は広範囲の電圧、周波数、力率で正確に検査されています。

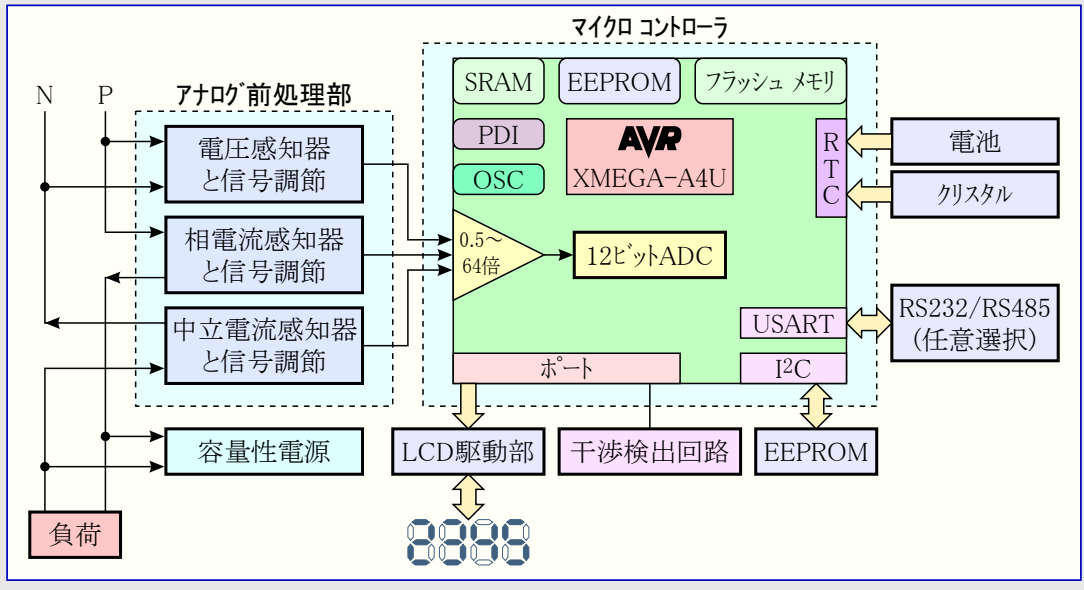
自動化されたデジタル校正がこの設計で実装されます。校正係数と他の記録データを格納するのにXMEGA A4Uの内部EEPROMが使用されます。これは外部EEPROMの必要条件を無くします。

計器の頭脳は開放ソースが提供されたファームウェアです。例えば単相計に対して必要とされる機能の全てを含むとは言え、それは何時でも変更して更新することができます。ファームウェアは全体的に実装のための変更を容易にするCで書かれています。完全性と知的財産はAVRマイクロコントローラの施錠ビットを使用して保証することが未だ容易です。

4.2. ハードウェア

AVR1631は費用効率的な容量性電源、XMEGA-A4U MCU、アナログ前処理部(AFE: Analog front-end)、電力線の電圧と電流を測定するための信号調整器、人-機械インターフェース(LCD、使用者押し釦)、RS-232インターフェースと電力量LEDのパルス出力インターフェースを含むAMR通信インターフェースを含みます。計器基板は外部干渉検出回路も含みます。

図4-1. Atmel AVR1631単相電力量計の構成図



4.2.1. 容量性電源

この設計は費用効率的な容量性電源解決策を説明します。変圧器無し電源は変圧器やスイッチングに基づく電源に対する安価な代替を提供します。安価、より小さな基板空間、外部磁界に耐性のある容量性電源がこの参照基準設計で実装されます。この設計は電力消費のための計器規格必要条件にも合致します。

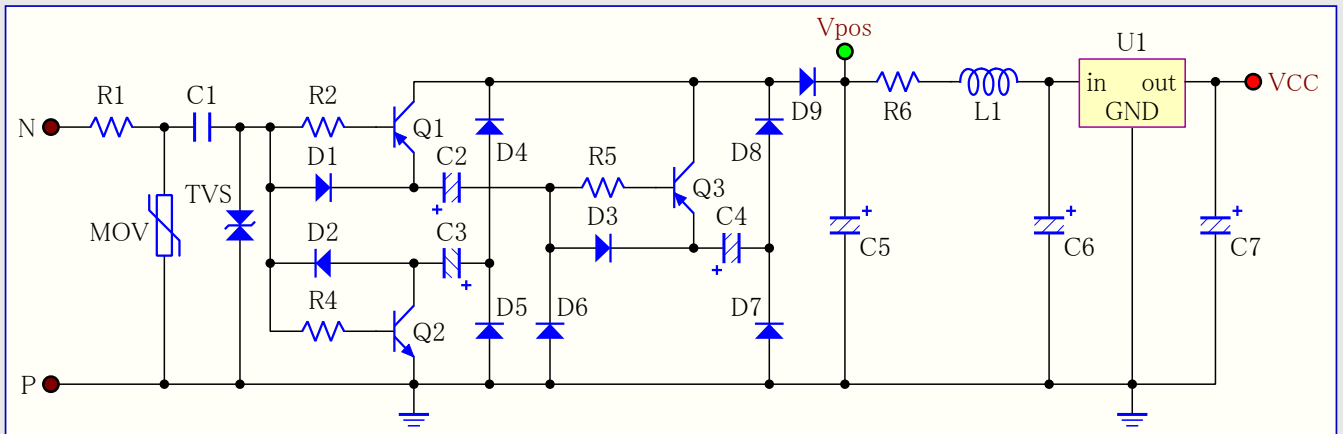
4.2.1.1. 理屈

図4-2.で示される容量性電源回路がこの参照基準設計で実装されます。この回路はAC入力の前と負の両方の半周期で動き、従ってAC供給元に対して平衡した負荷を提供します。定電流電源の原則は同時に多数のコンデンサを充電するのに同じ電流を使用することです。この方法はより高い電力量貯蔵と効率性、同じ負荷に対するより低い入力電流、入力コンデンサ値の削減、直接的な費用節約に帰着します。

4.2.1.2. 急変保護

コンデンサでの高電圧を避けるためにいくつかの注意が払われなければなりません。コンデンサの充電電圧を制限する部品はなく、故に主入力での高電圧急変のためのコンデンサ損傷を避けるために、図4-2.で示されるように高電圧コンデンサの後でLINEとNEUTRALの網を渡って両極性TVS、ACツェナーダイオード、またはMOVの使用が推奨されます。加えて、TVS、ツェナーダイオード、またはMOVのために急変電圧を落とす方法を提供するため、高電圧側に100Ω抵抗(R1)が置かれるべきです。

図4-2. 容量性電源回路



4.2.2. アナログ前処理部

この電力量計参照基準設計は偽信号除去濾波器と共に相電流を測定するための電流感知分流器と中立電流を測定するための変流器を使用します。アナログ入力信号のデジタルへの変換はマイクロコントローラのADCによって行われます。Atmel XMEGA-A4Uには内部利得段増幅器が存在するので、この設計は分流器を渡る電圧低下の増幅のためのどんな外部利得増幅器も必要ありません。

4.2.3. 電圧前処理部

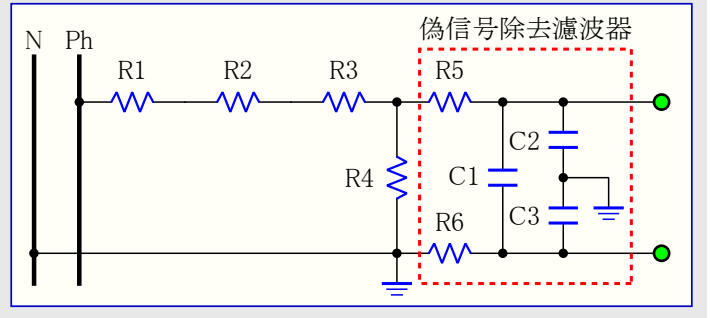
電力線電圧は図4-3で示されるように最初に抵抗梯子を用いて小さくし、その後DC濾波されます。

注: 部品番号はこの設計の完全な回路図と同じではありません。

R1,R2,R3,R4の抵抗の値は正負頂点間電圧が公称電圧の120%に対してADC基準電圧以上になるべきではないように選ばれるべきです。

$$\text{式4-1. } V_{max} = \frac{V_{nom} \times 1.2 \times R4}{(R1 - R2 - R3 - R4)}$$

図4-3. 電圧前処理部



4.2.4. 電流前処理部

電力線電流は代表的に数mA～10Aに分布します。このような広範囲に渡って1%の測定精度を達成するため、ADCは約16ビットの分解能を持つことが必要です。目的対象デバイスが12ビットA/D変換器しか含まないため、前処理部は小さな尺度の信号を増幅しなければなりません。目的対象デバイスは外部利得増幅器を必要としない組み込み差動利得増幅段を持ちます。図4-4は電流測定のために位相と中立で使用される電流前処理部を示します。偽信号除去濾波器は高周波数雑音を取り除くための低域通過濾波器として働きます。

分流抵抗(*Rshunt*)と変流器はADCの入力で1V_{p-p}よりも大きい電圧信号が全く存在しないように縮尺されます。例えば、500μΩの分流抵抗を使用して、32倍として内部利得増幅器を設定すると、*I*_{max}=30Aの電流入力に対する利得段の出力での電圧は次の通りです。

$$\text{式4-2. } V_{max} = I_{max} \times R_{shunt} \times \text{利得}$$

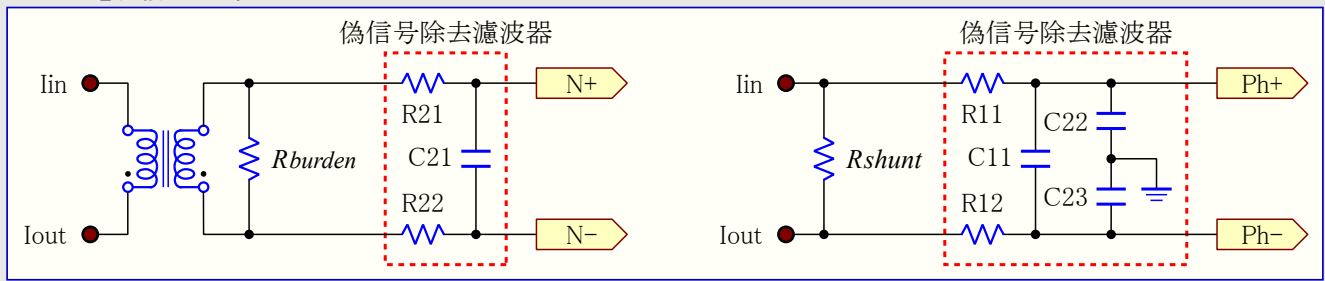
$$V_{max} = 30 \sqrt{2} \times 500 \mu\Omega \times 32 = 678.8 \text{mV(Vp)}$$

変流器に対する負荷(*Rburden*)値は式4-3から計算できます。例えば、8Ωの負荷抵抗を使用し、1:1000巻きのCT(変流器)に対して設定可能な利得増幅器(PGA)を2倍として設定すると、*I*_{max}=30Aの電流入力に対するPGAの出力での電圧は次の通りです。

$$\text{式4-3. } V_{max} = I_{max} \times R_{burden} \times \text{利得} \times \text{巻き数比}$$

$$V_{max} = \frac{30 \sqrt{2} \times 8 \Omega \times 2}{1000} = 678.8 \text{mV(Vp)}$$

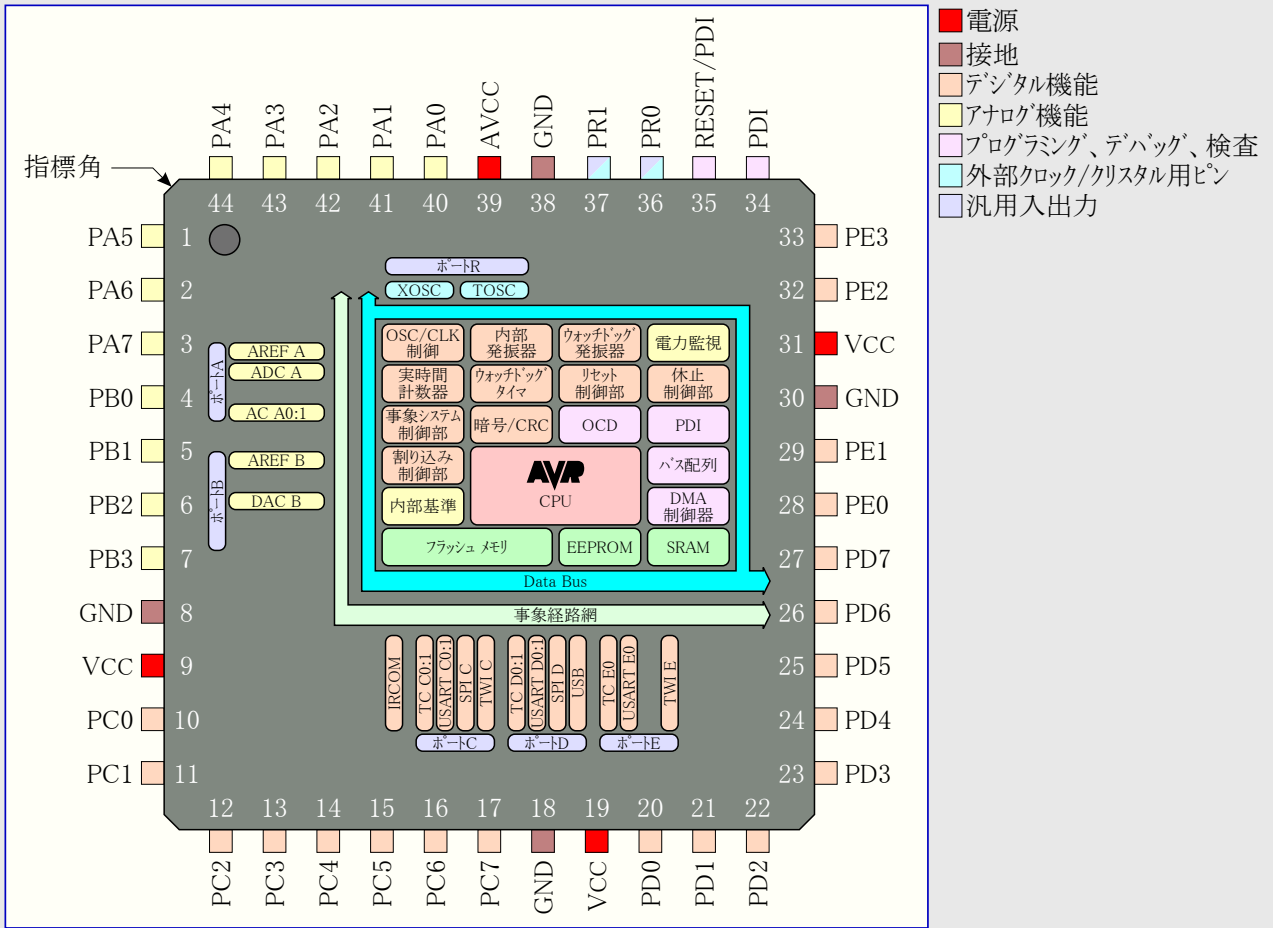
図4-4. 電流前処理部



4.2.5. マイクロコントローラ

マイクロコントローラ区部はXMEGA-A4Uと他の全てのデジタル入出力回路を含みます。XMEGA-A4U MCUの構成図は図4-5で示されます。各部の詳細説明はデータシートで利用可能です。

図4-5. Atmel XMEGA-A4U MCUの構成図



4.2.6. LCD駆動部インターフェース

LCDは組み込み系でのデータ表示装置として広く使用されます。作られたLCDを持つ特徴の中で一般的なのは安価、低電力消費、軽量、耐久性、信頼性、それとマイクロコントローラとの通信用の専用ICによって支援される基板です。この設計は料金目的用の消費電力量を表示するためのLCDを使用します。LCD駆動部がXMEGA A4Uデバイスに組み込まれないため、この応用に外部LCD駆動部が使用されます。LCD駆動部とXMEGAデバイスのインターフェースは4つの汎用入出力(GPIO)ピンを通して行われます。

注: 表4-1.で示されるピン番号の8と9はLCD背面灯に接続されます。追補A.はMCUからの各種動作形態に対するLCD駆動部との通信のための詳細なタイミング図を与えます。

図4-6. LCD表示器

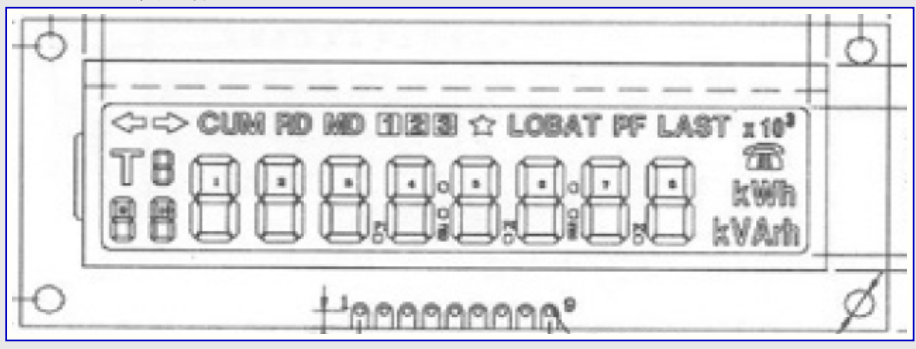


表4-1. LCD駆動部コネクタ

ピン	名前	方向	説明
1	CS	出力	チップ選択
2	RD	出力	読み込みクロック
3	WR	出力	書き込みクロック
4	DATA	入出力	直列データ入出力
5	GND	N/A	接地
6	VCC	N/A	供給電圧
7	N.C.	N/A	未接続
8	LED-	出力	LCD背面灯
9	LED+	出力	LCD背面灯

4.2.7. 合図LED

消費電力を低く保つために、全てのLEDは低電流型です。LEDは約2Vの順方向電圧を持ち、従って1.8kΩの直列抵抗の使用は電流をLED当たり約1mAに制限します。その結果のLEDの明るさは殆どの応用に対して良好です。

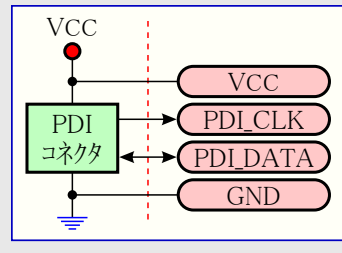
4.2.8. プログラミングとデバッグのインターフェース(PDI)

プログラミングとデバッグのインターフェース(PDI)はデバイスの外部プログラミングとチップ上デバッグ用のAtmel専用のインターフェースです。PDIはフラッシュメモリ、EEPROM、ヒューズ、施錠ビット、使用者識別列の不揮発性メモリ(NVM:Non Volatile Memory)空間の高速プログラミングを支援します。これはクロック入力(PDI_CLK)用にリセットピンとデータの入出力(PDI_DATA)用に他の1つの専用ピンを使用する2ピンインターフェースです。PDIコネクタピンは表4-2.で示されます。

表4-2. PDIコネクタ

ピン	名前	方向	説明
1	PDI_DATA	入出力	データ入出力
2	VCC	N/A	供給電圧
3	N.C.	N/A	ピンは空きのまま
4	N.C.	N/A	ピンは空きのまま
5	PDI_CLK	入力	PDIクロック
6	GND	N/A	接地

図4-7. PDIインターフェース



4.2.9. 直列通信インターフェース

この参照基準設計は計器とPC間のデータ転送用に万能同期/非同期直列送受信器(USART)を使用します。USARTは全二重通信と非同期と同期の動作を支援します。計器に命令を送ってデータを受けるのにどの端末ソフトウェアも使用することができます。表4-3.で示される信号ピン(Rx/Tx)はコンピュータのシリアルポートへ直接接続することができます。従ってRS-232レベル変換器が必要です。この設計はこのようにMax3232 RS-232レベル変換器を使用します。

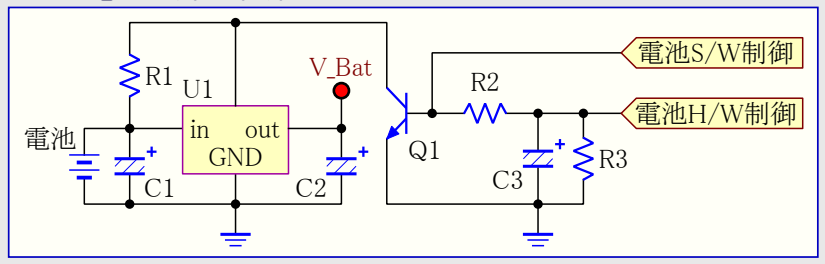
表4-3. シリアルコネクタ

ピン	名前	方向	説明
1	Tx	出力	直列データ出力
2	Rx	入力	直列データ入力
3	GND	N/A	接地

4.2.10. 電池代替支援インターフェース

電力量計の実時間時計(RTC:Real Time Clock)は例え主VCCがなしでも走行すべきで、従って電池代替機能が必要です。より良い精度のためにRTCクロック元として外部クリスタルクロック周波数が使用されます。VCCがデバイスに関する動作電圧水準以下に落ちた場合にVCC領域からVBAT領域へ切り替えるのに表4-8.で示される動的電力切り替えが使用されます。VCC電圧が回復されると、電力はVCCに切り替え戻されます。この動的電力切り替えはファームウェアまたはハードウェアによって起動することができます。RTCリセットを避けるために切り替え遅延は注意を払われる必要があります。

図4-8. 電池切り替え回路

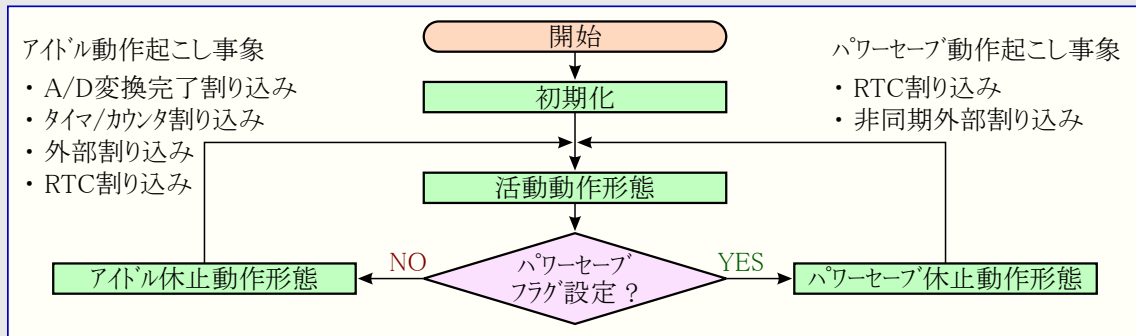


4.3. ファームウェア基本構造

ファームウェアはラウンドロビン形式と割り込みで実行される作業で構成されます。ファームウェアはkWh、RMS電圧、電流そして他の基本的なパラメータの測定とLCDでの表示を実装します。基本的な電力量測定の他、この設計はより広い基準で伸ばすことで、多くの電気事業者が非常に興味を持つ機能も含まれます。

基板上的RTCは電流の計算と追跡、それと過去の最大需要のための時間元を提供します。計量された全てのデータは内部不揮発性メモリに安全に格納されます。電力量計量ファームウェアの基本的な流れは図4-9.で示されます。

図4-9. 電力量計量ファームウェアの基本的な流れ



4.3.1. システム初期化

ファームウェアは主無限繰り返しに入る前に、必要な全てのレジスタを初期化します。測定変数と干渉フラグは解除され、計時器はリセットされます。LCD、汎用入出力(GPIO)ポート、UARTのような周辺機能は各々の初期化ルーチンを呼ぶことによって初期化されます。

相電流、電圧、中立電流用のCH0,CH1,CH2入力信号のADC初期化が行われます。3つの入力全てはADCの差動動作形態で測定され、外部レベル移動器は不要です。1Vの内部基準電圧がADCに対する基準として使用されます。式4-1、式4-2、式4-3はADCへの電圧入力を1Vに制限するためのハードウェア部品値計算に使用することができます。内部差動利得増幅器は入力電流信号測定に使用されます。

ADC製品校正定数が固定化されたフラッシュ位置からADCレジスタに設定されます。校正定数は内部EEPROMから取られて電力量計算のために局所RAM変数に格納されます。

RTCは1秒毎に割り込みを生成するように初期化されます。このRTC割り込みは基本的なパラメータ計算、電力量計算、それとLCD再活性に使用されます。TCC1計時器レジスタはA/D変換を開始するのに必要とする4kHzの採取速度によって初期化されます。必要とされるTCC1レジスタ値は採取速度の式4-4から計算されます。割り込みはA/D変換を起動するために採取時間で許可されます。

組み込みデジタル周波数固定化閉路(DFLLs:Digital Frequency Locked Loops)は32MHz内部発振器の精度を改善するのに使用されます。DFLLは発振器の走行時自動校正を行うために、この発振器周波数をTOSCピンに接続されたより正確な32.768kHz水晶用発振器と比較します。DFLLは32.768kHz水晶用発振器周波数と32MHz内部発振器周波数間の比率を制御します。内部発振器が速すぎ、または遅すぎで走行する場合、DFLLは発振器周波数を調整するためにその校正レジスタを1つ減少または増加します。

主繰り返しはkWhレジスタを更新し、LCDで示される視覚表示を保守し、干渉の存在を周期的に調べ、特定の調整期間に対する最大需要を計算する責任があります。上の動作の全ては活動動作形態で行われます。

図4-10. システム初期化

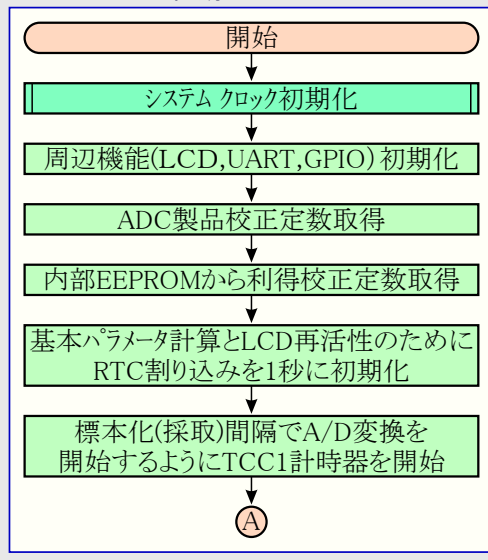
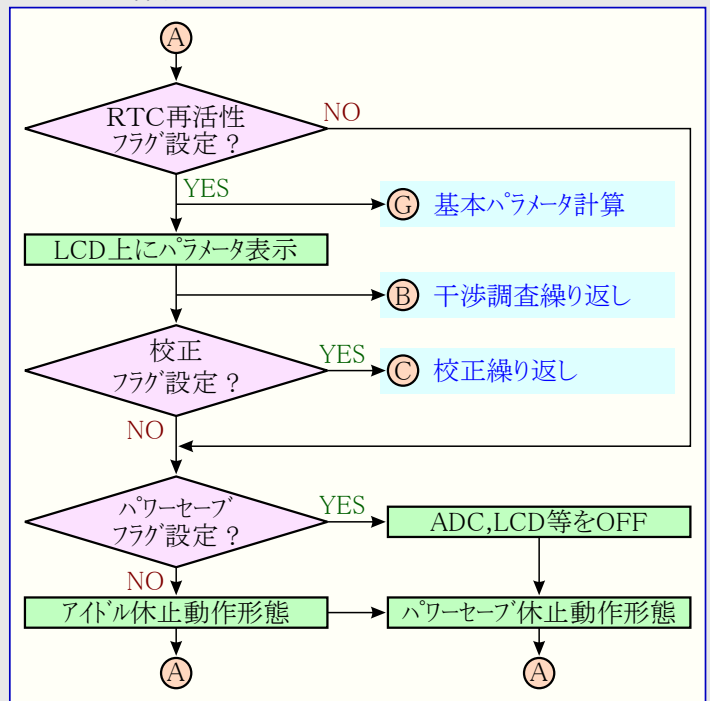


図4-11. 主繰り返し



4.3.2. A/D変換採取

ADCは個別の入力選択、結果レジスタ、変換開始制御を持つ4つの変換チャネルを持ちます。この設計は電圧、相電流、中立電流のアナログ入力を採取するのに3つの変換チャネルを使用します。

TCC1は採取速度(F_s)で変換を開始するようにADCを起動します。採取速度(F_s)は式4-4によって計算されます。この設計は採取速度として4kHzを使用します。

式4-4.

$$F_s = \frac{F_{timer}}{(PER + 1)}$$

ここでのPERは計時器定期(PER)レジスタ値、 F_{timer} は計時器周波数です。

4.3.3. 積和演算

TCC1計時器割り込み処理ルーチン(ISR)は毎回の採取時間に生成されます。CH0に対するA/D変換開始はTCC1計時器ISRで起動されます。相電流試料はA/D変換完了割り込み処理ルーチンでCH0結果レジスタから読まれます。また、CH1変換はこのISRで起動されます。CH1のISRで電圧試料が読まれてCH2を起動します。3つ全てのADC-CHレジスタ値読み込み後、各試料に対して積和演算操作が行われます。

各信号の動的DC変位(オフセット)は各々の試料から減算されます。電圧試料は V_{rms} の計算のために2乗されて直前に2乗された値と加算され、電流試料も I_{rms} のために同様です。毎回の試料が結果レジスタから読まれる時にそれらの各々で積和演算が行われるために試料を格納するのに必要とされる緩衝部は排除されます。

各電圧と電流の試料は有効電力を得るために乗算されます。その前に下で説明されるようにADC測定や偽信号除去濾波器のために電流試料での位相角遅延に対する補償のための0次FIR濾波器の手助けで電圧信号は遅延/進行されます。

単一0次FIR濾波器の使用によって電圧試料で導かれた非整数遅延は次の通りです。

$$\text{式4-10. } y[n] = x[n] + \beta x[n-1]$$

ここでの x は入力電圧試料、 y は遅延した出力電圧試料、 n は採取順序、 β は遅延利得です。

Z領域での式4-5は次の通りです。

$$\text{式4-6. } Y(z) = X(z) + \beta z^{-1}X(z)$$

$$\text{式4-7. } H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = 1 + \beta z^{-1}$$

$$\text{式4-8. } H(e^{j\omega}) = 1 + \beta \cos\omega - j\beta \sin\omega$$

振幅と位相の特性は以下の式に関して分析することができます。

$$\text{式4-9. } A(\omega) = \sqrt{1 + 2\beta \cos\omega + \beta^2}$$

$$\text{式4-10. } \theta(\omega) = \text{arctg} \frac{\beta \sin\omega}{1 + \beta \cos\omega}$$

ここでの ω は角周波数で、以下です。

$$\text{式4-11. } \omega = \frac{2\pi f}{f_s}$$

群遅延は以下の関係に従って計算することができます。

$$\text{式4-12. } \tau_g = - \frac{d\theta(\omega)}{d\omega} = \frac{\beta(\beta + \cos\omega)}{1 + \beta^2 + 2\beta \cos\omega}$$

変流器の固有の位相移動での濾波器群遅延を等価して、式に従って濾波器を実現するためのパラメータは以下で得られます。

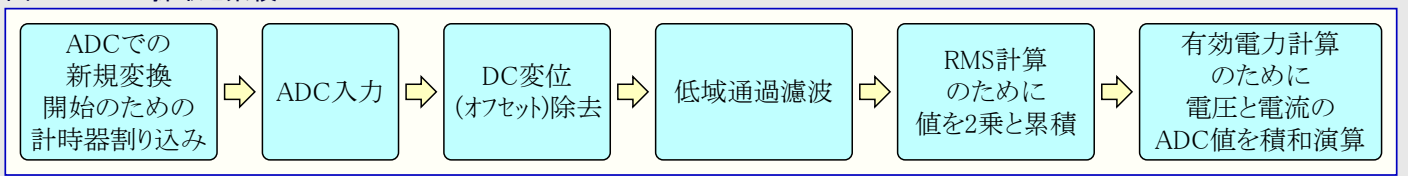
$$\text{式4-13. } \beta = - \frac{(1 - 2\tau_g)\cos\omega \pm [(1 - \tau_g)^2 \cos^2\omega + 4\tau_g(1 - \tau_g)]^{1/2}}{2(1 - \tau_g)}$$

デジタル濾波器増幅に対する補償のため、出力、換言すると $y[n]$ は逆濾波器増幅、 A^{-1} によって乗算されるべきです。このパラメータは次式に従って計算されます。

$$\text{式4-14. } A^{-1} = (1 + 2\beta \cos\omega + \beta^2)^{-1/2}$$

濾波器係数の β と A^{-1} は位相角補正校正中に計算されます。

図4-12. ADC採取と累積



電圧RMS計算に対する離散採取と累積は次のように書くことができます。

$$\text{式4-15. } V'[n] = V''[n] - VDC_{offset}$$

$$\text{式4-16. } V[n] = A^{-1} \times (V'[n] + \beta \times V[n-1])$$

$$\text{式4-17. } VsqSum = \sum_{n=0}^{N-1} (V[n] \times V[n])$$

ここで A^{-1} と β は電力量計算に必要な電圧と電流間の位相遅延を補償するのに使用される濾波器係数です。同様に電流RMS計算は次のように書くことができます。

$$\text{式4-18. } I'[n] = I''[n] - IDC_{offset}$$

$$\text{式4-19. } IsqSum = \sum_{n=0}^{N-1} (I[n] \times I'[n])$$

有効電力計算については次の通りです。

$$\text{式4-20. } PowerSum = \sum_{n=0}^{N-1} [(Kv \times V[n])(Ki \times I'[n])]$$

ここで Kv と Ki は1級精度を得るために、測定した値を補正するための校正定数です。

図4-13. 計時器割り込み処理ルーチン(ISR)

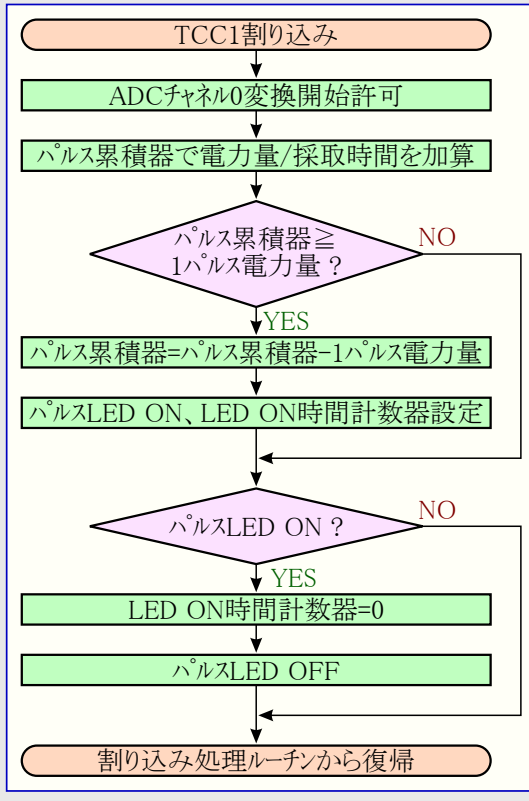
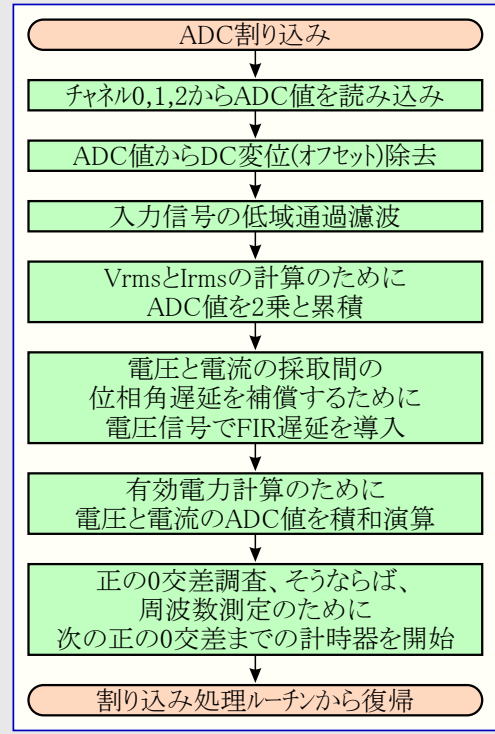


図4-14. ADC割り込み処理ルーチン(ISR)

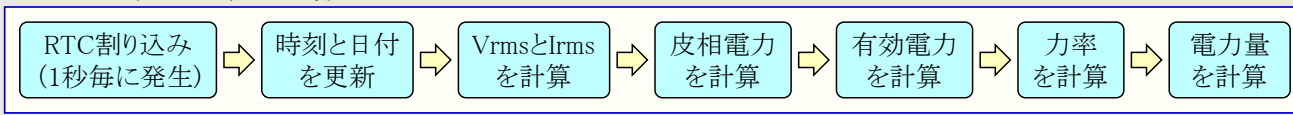


4.3.4. 基本電力量と瞬間パラメータ計算

RTCからの1秒毎の割り込みは累積された有効電力と他の全ての瞬間パラメータを用いて電力量測定を行うことをMCUに示すフラグを設定します。有効電力量は期間の区間に渡って累積された有効電力の測定です。1秒間累積された有効電力は1秒間の有効電力量を得るために1秒で乗算されます。このワット秒値は有効電力量の基本的な測定を得るためにkWhに変換されます。1秒毎に対するkWhは累積したkWhを得るために直前の値と累積されます。RMS電圧、RMS電流、有効電力(kW)、皮相電力(kVA)、力率のような他の瞬間パラメータは下の式で、採取されて累積された値からも計算されます。基本パラメータ計算の流れは図4-15と図4-16で示されます。

積分期間に渡って平均化された電力は需要と呼ばれます。現在の需要はEEPROMに格納された直前の積分期間需要と比べられ、この需要がより大きければ値を更新します。これは1月間の最大需要の追跡に関する記録を提供します。積分期間の既定値は30分です。

図4-15. 基本的なパラメータ計算



$$\text{式4-21. } V_{rms} = K_v \times \sqrt{\frac{Vs_{qSum}}{N}}$$

$$\text{式4-22. } I_{rms} = K_i \times \sqrt{\left[\frac{Is_{qSum}}{N}\right] - I_{offset}}$$

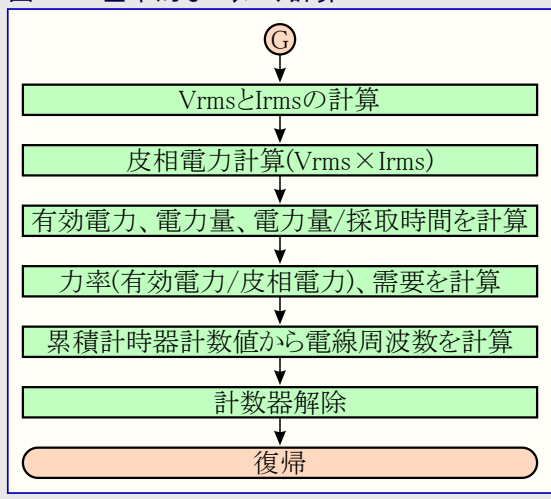
$$\text{式4-23. 有効電力} = K_w \times \left\{ \left[\frac{PowerSum}{N} \right] - P_{offset} \right\}$$

$$\text{式4-24. 皮相電力} = V_{rms} \times I_{rms}$$

$$\text{式4-25. 力率} = \left[\frac{\text{有効電力}}{\text{皮相電力}} \right]$$

K_v 、 K_i 、 K_w は1級精度を得るために、測定した値を補正するための電圧、電流、電力の校正定数です。

図4-16. 基本的なパラメータ計算



4.3.5. 校正パルス出力生成

消費された電力量に比例するパルスを生成するのにTCC1計時器割り込みが使用されます。電力量は1秒の電力量から導き出された1採取時間に相当します。TCC1計時器割り込み処理ルーチン(ISR)で、1採取電力量が累積され、式4-26.の計器定数から導き出された1パルス電力量と比較されます。累積された電力量が1パルス電力量に達したなら、標準計器に校正のための感知を許すために(概ね30ms)の時間、パルスLEDがONにされます。図4-13.は校正パルス生成の流れを記述します。

$$\text{式4-26. } 1\text{パルス電力量} = \frac{1}{\text{計器定数}}$$

電力量パルスの周波数と測定された有効電力の量は次のように関連付けられます。

$$\text{式4-27. } F_{pulse} = \frac{\text{有効電力} \times \text{計器定数}}{3600 \times 1000}$$

システムクロック(F_{clk})、タイマ/カウンタ前置分周器を考慮に入れて、電力量パルス間隔(T_{pulse})は次のように導き出されます。

$$\text{式4-28. } F_{timer} = \frac{F_{clk}}{\text{前置分周}}$$

$$\text{式4-29. } T_{pulse} = \frac{F_{timer} \times 3600 \times 1000}{F_{pulse}}$$

4.3.6. 電力線周波数計算

電力線電圧の0交差検出はTCE0計時器に電力線周波数測定を許します。ADCのCH1結果レジスタから電圧試料を取得する間に、値の符号変化の比較が行われます。負から正への符号変化が検出されると、TCE0計時器の計数器値がリセットされます。次の負から正への符号変化の間に計数器計数値がTCE0.CNTレジスタから読まれます。電力線周波数は累積値の平均を取った後で式4-30.と式4-31.から計算されます。

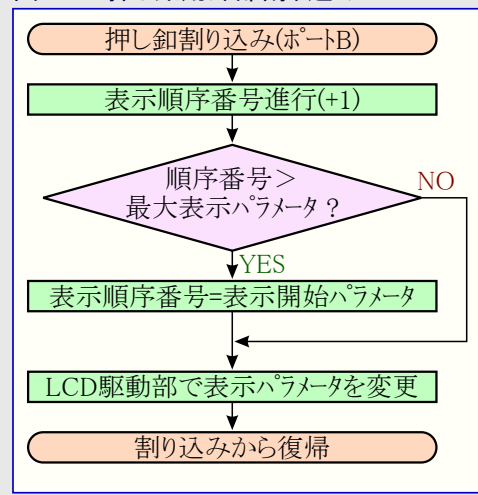
$$\text{式4-30. } F_{timer} = \frac{F_{clk}}{\text{前置分周}}$$

$$\text{式4-31. } F_{reg} = \frac{F_{timer}}{TCE0.CNT}$$

4.3.7. LCD表示

LCDは測定されたパラメータを連続的に表示するのに使用されます。表示されたパラメータはスイッチを押すことによって変更することができます。外部押し釦スイッチは外部割り込みとして許可される入出力ポートピンに接続されます。釦が押されると、外部割り込みがMCUを起動します。表示器の順序番号は図4-17.で示されるようにPushButton割り込み処理ルーチン(ISR)で変更されます。順序番号の変更はLCDドライバルーチンに対するLCD再活性フラグによって示されます。LCDドライバルーチンは変更された順序番号によってパラメータを取ります。全ての基本的なパラメータは各スイッチの押下に対して連続的に表示することができます。

図4-17. 押し釦用外部割り込みISR



4.3.8. 干渉検出論理

基本的なパラメータを別にして、計器はこれが通常負荷条件のために起こるかもしれない、または人為的に引き起こされるどちらの状況でも判断するために電氣的パラメータとそれらの関係も分析します。これは干渉検出と呼ばれます。大地負荷干渉(ELT:Earth Load Tamper)、電流逆転、電磁干渉、容器開放がこの応用記述で実装されるいくつかの干渉です。

大地負荷干渉は中立 I_{rms} 電流を位相 I_{rms} と比較してそれがELT干渉よりも大きければ計器がELT干渉検出として宣言することによって周期的に調べられます。干渉の存在を示すために大地LEDがONにされ、大地干渉フラグが設定されます。逆転干渉検出は有効電力の符号に基づき、それが負の場合に逆転LEDをONにすることによって逆転干渉が表示されます。これは図4-18.の干渉調査繰り返しで示されます。

電磁干渉と容器開放干渉はMCUに接続された外部入力信号での変化に基づきます。電磁干渉については外部ホール効果感知器からの出力がMCUの外部割り込みピンに接続されます。信号でHighからLowへの変化があった時に干渉が検出されてLCDで表示されます。容器干渉は外部通常開放スイッチの状態に於ける変化を通して検出されます。このスイッチが開放されると、MCUは状態での変化を知り、容器開放干渉として検出してLCD表示器で示されます。

図4-18. 干渉調査繰り返し

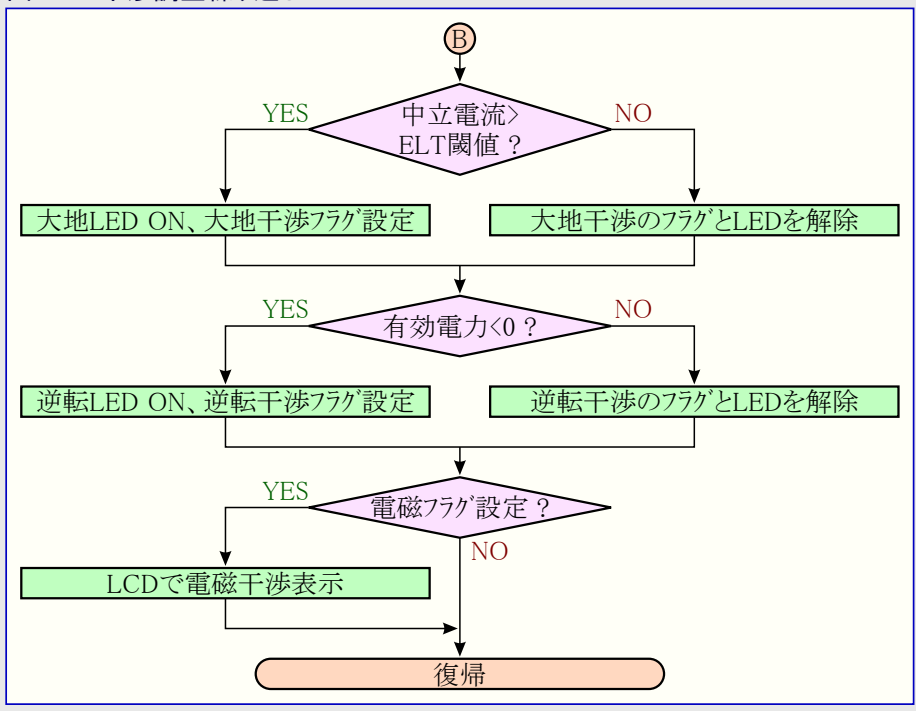
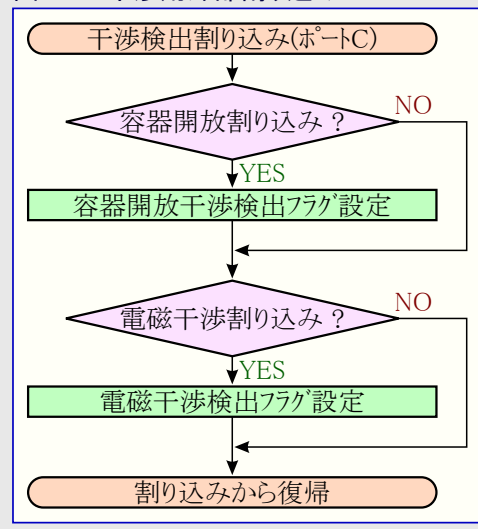


図4-19. 干渉用外部割り込みISR

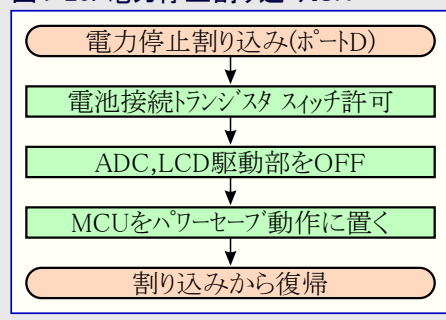


4.3.9. 低電力動作実装

計器による平均消費電流を減らすため、全ての基本的な計算、干渉調査などを行った後で計器はアイドル動作形態に置かれます。採取時間毎にA/D変換を開始するのに使用される周期的なTCC1計時器割り込みがアイドル動作形態からMCUを起し、採取後に再びMCUを休止に置きます。外部割り込みはアイドル動作形態からマイクロコントローラを起すこともできます。

主電力がOFFにされた場合に外部割り込みを起動することによって電力停止が検出されます。電力停止割り込み処理ルーチン(ISR)は図4-20.で示されます。トランジスタスイッチを許可することによって電池が接続され、故にRTCは例えば停電でも動きます。MCUはADC、LCD駆動部のような電力を消費する全ての周辺機能をOFFにし、その後MCUはパワーセーブ動作形態に置かれます。パワーセーブ動作形態ではBODとRTCだけが動きます。RTCの暦の更新はパワーセーブ/アイドルの動作形態からMCUを周期的に起こすことによつて行われます。

図4-20. 電力停止割り込みISR



4.4. 校正手順

部品の値の偏差を補償するために各計器の校正が必要とされます。電圧と電流が入力のため、両方の校正を行うことが必要とされます。図4-21.の校正流れ図と式は校正手順を説明します。以下の校正ルーチンはこの項で記述されます。

- RMS電流とRMS電圧の校正 (K_i と K_v)
- 電流とワットの変位(オフセット)校正 (I_{offset} と P_{offset})
- 有効電力校正 (K_w)
- 電流位相角校正 (A^{-1} と β)

これらの校正は計器に特定の位相角で特定の電圧と電流を供給することによって行われます。RMSに対する内部計算手順と有効電力の校正は同じです。手順は同じ時間の間データを累積して累積されたデータの平均を取ることです。校正定数は式4-32.で示されるように参照基準入力値が平均累積データによって除算されるように計算されます。

$$\text{式4-32. 校正定数} = \frac{\text{累積回数}}{\text{累積データ}} \times \text{入力基準値}$$

RMS電圧は1点の参照基準電圧で校正されますが、RMS電流は多点で校正されます。1級内の精度は基本電流の5%~900%に対して必要とされ、また基本電流の0.2%からの測定開始も必要とされます。これは広い電流範囲に渡って精度を得るために最低16ビット分解能のADCが必要です。これは2つの利得段と共に12ビット内部ADCによって達成することができます。電流の範囲は異なる領域に分けられ、個別領域での校正が必要です。

電流位相角補正はADC測定によって引き起こされる位相遅延に対して行われます。電力計算は電圧と電流が正確に同時に採取されると仮定します。明らかに、1つの採取/保持(S/H)回路を持つ単一ADCの使用はこれを不可能にします。この遅延を補償するために電圧信号に0次FIR濾波器が導入されます。故に位相角補正に対する校正は β と A^{-1} の濾波器係数を計算することです。これは複数の電流領域で0.5遅延力率で行われます。

校正はシリアル端末から命令を送ることによって始められます。接続必要条件是38400のボーレート、8つのデータビット、パリティなし、流れ制御なしです。校正動作を許可するためにSW1スイッチが押される必要があります。表4-4.は様々な校正機能と呼ぶのに使用される命令を示します。校正手順は製造時間を減らすために独自のPCに基づくソフトウェアを作ることによって自動化することもできます。校正命令は表4-4.で示されます。

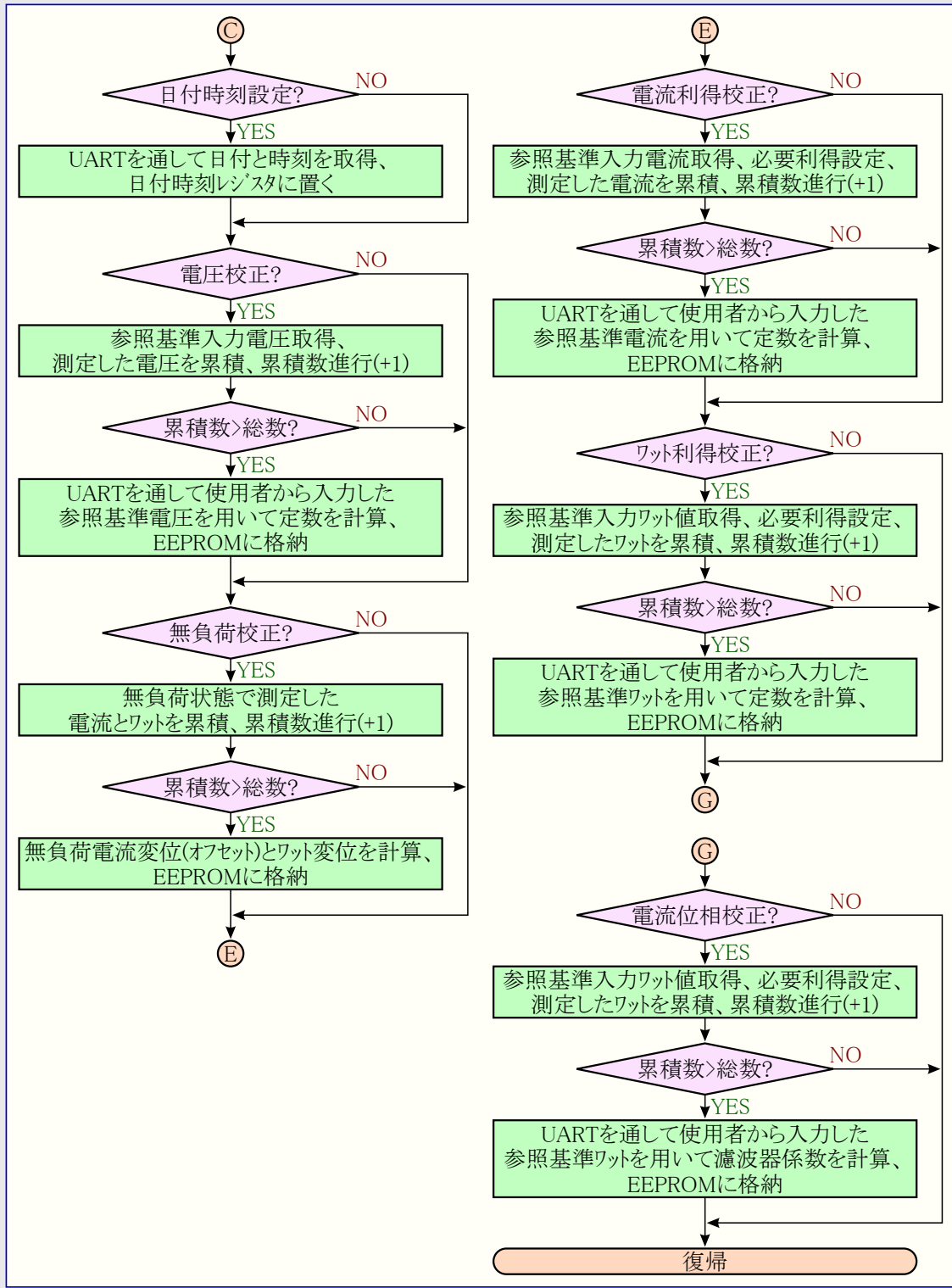
表4-4. 校正命令

命令	校正機能	形式
T	時刻と日付	DD-MM-YYY HH:MM:SS
V	電圧	例: 240.00
N	変位(オフセット)計算用無負荷	y⇒準備可、n⇒取り消し
I	電流校正に使用	例: 01.00
W	kW校正に使用	例: 0100
C	位相校正に使用	例: 01.00

命令の受け取りで、計器は必要なデータを入力するように使用者を促します。

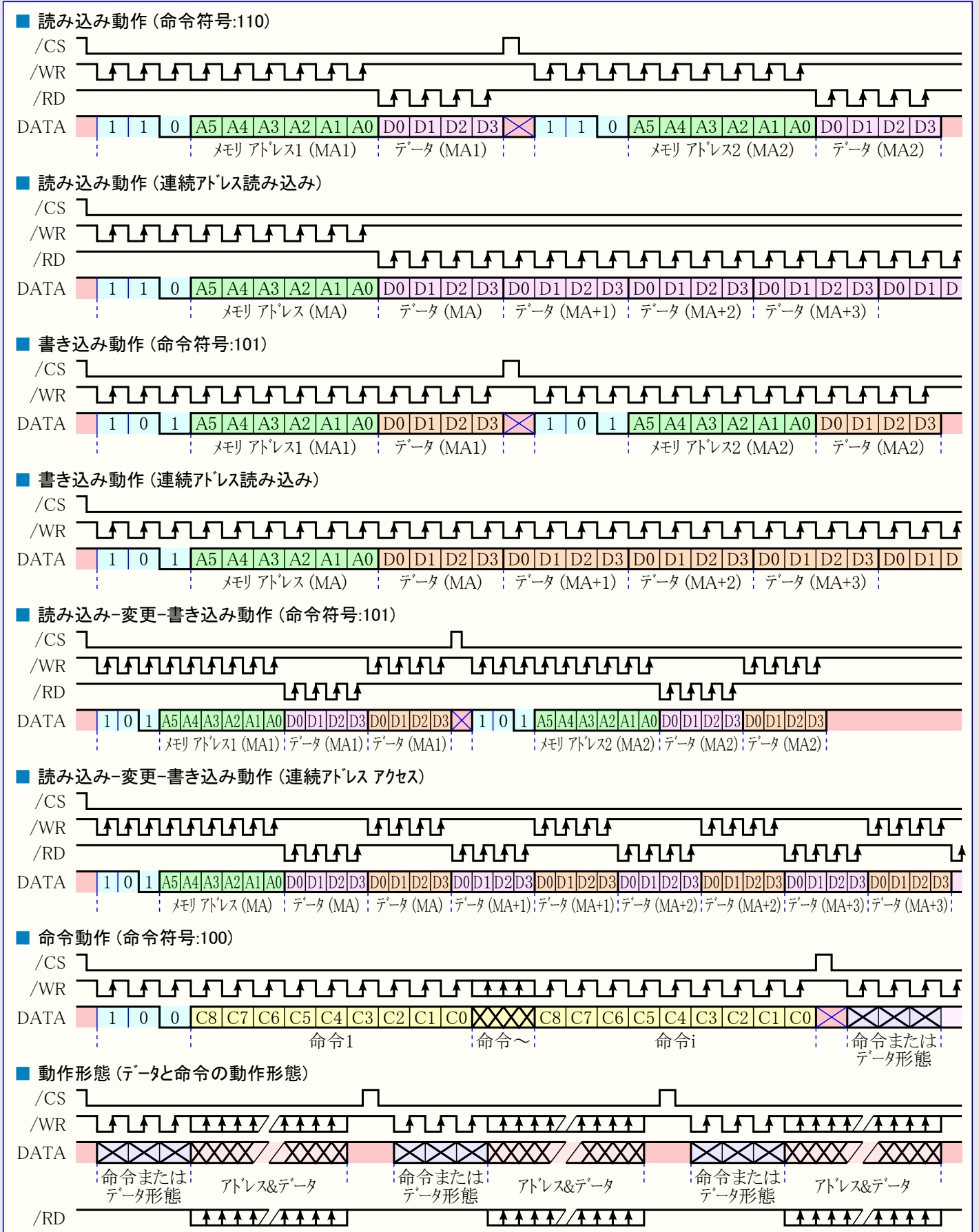
RMS電圧は参照基準電圧と1点で校正されます。電流チャネルは0.250A,1A,2A,3A,5A,9Aそれと22Aで校正されなければならず、同様に有効電力(W)は30W,120W,240W,360W,600W,1080Wそれと2640Wで校正されなければならず、ここでの電圧は240Vと力率1を保つべきです。位相角補正濾波器係数の計算について、調査点は240Vと0.5遅延力率で0.250A,1A,2A,3A,5A,9Aそれと22Aです。

図4-21. 校正繰り返し



追補A. LCDタイミング図

図A-1. タイミング図



追補B. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
42039A	2012年11月	初版資料公開



Enabling Unlimited Possibilities®

Atmel Corporation

1600 Technology Drive
San Jose, CA 95110
USA
TEL (+1)(408) 441-0311
FAX (+1)(408) 487-2600
www.atmel.com

Atmel Asia Limited

Unit 01-5 & 16, 19F
BEA Tower, Millennium City 5
418 Kwun Tong Road
Kwun Tong, Kowloon
HONG KONG
TEL (+852) 2245-6100
FAX (+852) 2722-1369

Atmel Munich GmbH

Business Campus
Parking 4
D-85748 Garching b. Munich
GERMANY
TEL (+49) 89-31970-0
FAX (+49) 89-3194621

Atmel Japan G.K.

141-0032 東京都品川区
大崎1-6-4
新大崎勸業ビル 16F
アトメル ジャパン合同会社
TEL (+81)(3)-6417-0300
FAX (+81)(3)-6417-0370

© 2012 Atmel Corporation. 全権利予約済 / 改訂:42039A-AVR-11/2012

Atmel®, Atmelロゴとそれらの組み合わせ、AVR®, Enabling Unlimited Possibilities®, XMEGA®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。

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。たとえば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、または利益と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。

© HERO 2013.

本応用記述はAtmelのAVR1631応用記述(doc42039.pdf Rev.42039A-11/2012)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。