

AVR1509 : Xplain練習 – XMEGA 低電力

前提条件

- 必要な知識
 - ・ ATME[®] XMEGA[®] 基礎練習
 - ・ ATME[®] XMEGA クロック システム
 - ・ ATME[®] XMEGA DMAC (任意選択、課題4の理解に必要かもしれません。)
 - ・ ATME[®] XMEGA ADC (任意選択、課題4の理解に必要かもしれません。)
- ソフトウェア必要条件
 - ・ ATME[®] AVR[®] Studio[®] 4.18またはそれ以降
 - ・ WinAVR/GCC 20100110またはそれ以降
- ハードウェア必要条件
 - ・ Xplain評価基板
 - ・ JTAGICEmk II
- 予想完了時間
 - ・ 2時間

1. 序説

ATMELのXMEGAは応用の必要条件に電力消費を逃えるために、様々な休止形態とソフトウェア制御クロック開閉を提供します。休止形態はマイクロコントローラに節電のための未使用部署の遮断を許します。デバイスが休止形態に移行すると、プログラムの実行が停止され、再びデバイスを起こすのに割り込みまたはリセットが用いられます。未使用周辺機能への個別クロックは通常動作の間または休止で停止することができ、休止形態だけよりもずっと細かい調整を許します。

もっと徹底的な情報についてはAVR1010応用記述とXMEGAのデータシートを参照してください。

2. XMEGAの電力削減と休止システムの紹介

可能な最低電力数値に達するには注意を払う2つの点があります。それは電力消費を定義する休止形態種別だけではなく、入出力ピンの状態、許可された周辺機能部署の数、以下同様です。

以降の節では電力を減らすための各種の方法をもっと詳細に調べ、そして少しの些細な例を試してみます。

2.1. 一般的な考察

動作形態に拘らず、特に2つの要素、即ちCPUと周辺のクロック周波数、それと動作電圧が電力消費に影響します。

電力消費は動作電圧に比例し、電力を保存するために全てが可能な限り低いシステム電圧を使用すべきです。

加えて、消費はクロック周波数にも直接的に比例し、休止形態が利用されない場合、デバイスは可能な限り低い周波数で走行すべきです。

2.2. 休止形態

休止形態は応用の必要条件に電力消費を逃えるためにマイクロコントローラの部署とクロック領域を遮断するのに使用されます。休止の間、様々な部署が移行した休止形態種別に従って遮断されます。



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. 8318A-06/10, 8318AJ1-03/14

休止形態種別	活動クロック範囲			発振器		起動元			
	CPU クロック	周辺 クロック	RTC クロック	システム クロック元	RTC クロック元	非同期ポート 割り込み	TWIアドレス一致 割り込み	RTC 割り込み	その他 割り込み
アイドル		○	○	○	○	○	○	○	○
パワーダウン						○	○		
パワーセーブ			○		○	○	○	○	
スタンバイ				○		○	○		
拡張スタンバイ			○	○	○	○	○	○	

アイドル動作

アイドル動作ではCPUと不揮発性メモリが停止されますが(活動中のどのプログラミングも終了されることに注意)、割り込み制御器、事象システムとDMA制御器を含む全ての周辺機能は動作を維持されます。どの割り込み要求でもデバイスを起動します。

パワーダウン動作

パワーダウン動作では実時間計数器クロック元を含む全てのシステムクロック元が停止されます。これは非同期部署だけの動作を許します。MCUを起動できる割り込みは2線インターフェースアドレス一致割り込みと非同期ポート割り込みだけです。

パワーセーブ動作

パワーセーブ動作は1つの例外(以下)を除いてパワーダウン動作と同じです。実時間計数器が許可されているなら、それは休止中も動作を維持され、デバイスはRTCの上昇溢れまたは比較一致の割り込みのどちらからでも起動できます。

スタンバイ動作

スタンバイ動作は許可されているシステムクロック元が動作を維持される一方、CPU、周辺機能、RTCのクロックが停止される例外を除いてパワーダウン動作と同じです。これは起動時間を減らします。

拡張スタンバイ動作

拡張スタンバイ動作は許可されているシステムクロック元が動作を維持される一方、CPUと周辺機能のクロックが停止される例外を除いてパワーセーブ動作と同じです。これは起動時間を減らします。

2.3. 電力削減レジスタ

電力削減(PR)レジスタは個別周辺機能へのクロックを停止する方法を提供します。これが行われると、周辺機能の現在の状態は凍結され、関連するI/Oレジスタが読み書きできなくなります。周辺機能によって使用される資源は占有に留まり、従って殆どの場合で周辺機能はクロックを停止する前に禁止されるべきです。周辺機能へのクロックを再び許可することは、周辺機能を停止前と同じ状態にします。これは総電力消費をかなり減らすためにアイドル動作と活動動作で使用できます。

他の全ての休止形態動作では周辺クロックが既に停止されています。

電力削減レジスタの概要

アドレス	略称	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
+\$07	(予約)	-	-	-	-	-	-	-	-
+\$06	PRPF	-	TWI	USART1	USART0	SPI	HIRES	TC1	TC0
+\$05	PRPE	-	TWI	USART1	USART0	SPI	HIRES	TC1	TC0
+\$04	PRPD	-	TWI	USART1	USART0	SPI	HIRES	TC1	TC0
+\$03	PRPC	-	TWI	USART1	USART0	SPI	HIRES	TC1	TC0
+\$02	PRPB	-	-	-	-	-	DAC	ADC	AC
+\$01	PRPA	-	-	-	-	-	DAC	ADC	AC
+\$00	PRGEN	-	-	-	AES	EBI	RTC	EVSYS	DMA

2.4. 他の節電の秘訣

2.4.1. デジタル入出力ピン

全ての入出力ピンはどのハードウェアとも衝突を起こさないように既定で浮き状態です。けれども、ピンがデジタル緩衝部を持つため、突発性の内部切り替わりや漏れを起こさないように、入出力ピンでの電圧レベルはデジタル的に上手く定義されることを保証することが重要です。従って、全ての未使用ピンでプルアップが許可されるべきです。これは主に休止形態で注意すべきです。

2.4.2. ウォッチドッグ タイマ

ウォッチドッグが基本的に独立したクロック元を持つ計時器なので、許可された場合、休止形態で電力消費の一因になります。

2.4.3. 低電圧検出(Brown-Out Detection)

低電圧検出器(BOD:Brown-Out Detector)の目的はデバイスが低すぎる電圧で動かないのを保証することです。

けれども、休止中、デバイスは“非動作”で、またむしろそれはコードを実行しません。この理由のためにATMEL XMEGAのBODは例えば活動形態中に許可されていても禁止することができます。

BODはデータ化けを避けるため、アイドル動作でDMA制御器と共に自動メモリ転送と同時に未だ許可されるべきです。

2.4.4. JTAGインターフェース

JTAGインターフェースはプログラミングとデバッグに使用されますが、最終製品の動作中には何の機能も持ちません。JTAGインターフェースは許可された場合、休止中にロック駆動されて活性です。

JTAGインターフェースはソフトウェアから禁止することができ、リセット中にJTAGインターフェースが再許可されるため、再プログラミングが未だ容易なことを覚えて置いてください。

2.5. 適切な応用

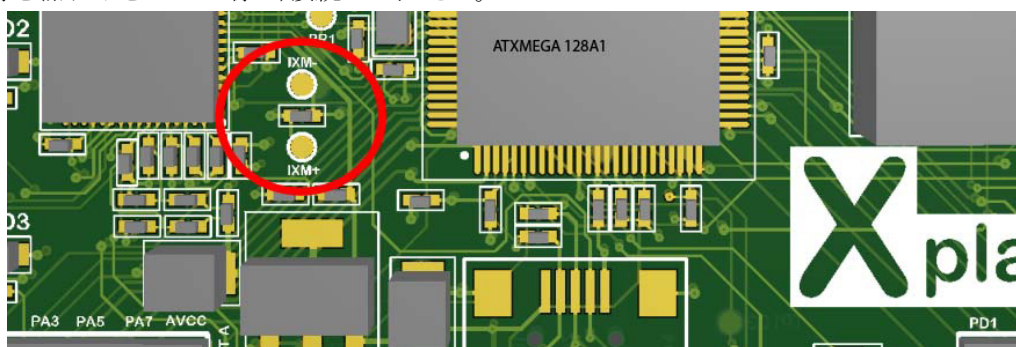
ATMELのXMEGAでは新しい事象システムとDMA制御器のお蔭で、アイドル動作に於いて主クロックがOFFであっても、多くの一般作業を行うことが可能です。事象システムまたはDMA転送を使用することにより、ファームウェアは度々CPUを起こす必要がなくなります。

パワーセーブ動作はRTCクロックが未だ給電され、溢れまたは比較一致でCPUを起こすことができるため、これも興味を起こさせます。

2.6. Xplain上のXMEGAチップだけの消費電流測定

基板改訂に依存して、USBからの調整された3.3VからのXMEGA電力領域を分離する分圧抵抗器(R105)があります。この抵抗器のために、IXM+とIXM-へ接続された2つの検査パッドがあります。この練習では以下を行います。

- 抵抗器の半田を外してパッドの各々に線を半田付けします。
- 電流計を通して線を(黒リードをIXM-の線に)接続してください。



3. 概要

ここはこの練習に於ける課題の短い概要です。

課題1. 紹介の休止例

これは休止形態の選択方法とそれがどう動くかの基本的な理解を与えます。

課題2. パワーセーブ動作の移行と抜け出し

この課題ではRTCクロック元、比較割り込み、休止レジスタの構成とパワーセーブ動作への移行の方法を示します。

課題3. 電力削減レジスタ

この課題では周辺機能部署へ行くクロックを停止するために電力削減レジスタを用い、そして拡張スタンバイと比較します。

課題4. アイドル動作とDMA転送

この課題ではXplain上の温度感知器からの簡単なADC採取の構成設定とアイドル動作での自動メモリ転送の構成設定の方法を示します。

課題5. TWIアドレス一致起動

この課題ではTWIアドレス一致によってパワーダウン休止形態からATMELのXMEGAを起こします。何かを使って行うのに、送信鈕を押します。

助言:

予想した電力消費水準を観測するために、JTAGICEmk IIを取り外して、たまにXplain基板への電力をOFF/ONしなければならないでしょう。

ご幸運を!

4. 課題1: 紹介の休止例

この課題では低電力休止形態に移行して非同期割り込みを用いて起き上がる方法を実演します。

この課題の目的はあなたが以下の方法を知ることです。

- 休止形態の選択
- SLEEP命令の発行
- 起き上がりの理解



すること

課題:

1. ATMEL XMEGA-Lowpowerフォルダを見つけ出し、課題1フォルダを探してAVR StudioでTrivalSleep.aprプロジェクトファイルを開いてください。
2. コード全体を通して見てどう構成設定されるかの理解を確実にしてください。ファイル先頭近くの`#define sleep()`に注意してください。
3. プロジェクトを構築し、異常がないことを確実にしてください。デバッグ作業を開始し、全体を通して1行実行(Single step)を行ってI/Oウィンドウで休止制御器を考察してください。
4. `sleep()`;行が実行されると、その後は何も起きません。鉦の半分は割り込みを生成するように構成設定されます。基板上の鉦の1つを押してコード全体を通して1行実行を続けてください。
5. Xplain基板上的可変抵抗器での処理のため、`void facilitatePowersaving()`の最後で欠けている命令があります。行うべき必要な何かを解いてみてください。
6. 下表に電力消費を記入して異なる休止形態に切り替えてください。

活動	アイドル	スタンバイ	パワーダウン

7. A1系列のデータシートの「電気的特性」章でアイドルとパワーダウンを比べてください。適用できる場合にExtClk用の特性にRC2Mの消費を忘れずに追加してください。何故矛盾があるのかを課題3で発見するでしょう。



LEDはXMEGAに属する測定時に何故電力消費に影響を及ぼさないのでしょうか?。Xplainの回路図をご覧ください。

5. 課題2: パワーセーブ動作の移行と抜け出し

ATMELのXMEGAは多数の休止形態を持ちます。この課題ではパワーセーブ動作の構成設定と、断続的な起き上がるの方法を示します。

この課題の目的はあなたが以下の方法を知ることです。

- 休止形態の選択
- 休止の許可/禁止
- RTC割り込みの構成設定と使い方、そしてプログラムの流れの理解



すること

課題:

1. XMEGA-Lowpowerフォルダを見つけ出し、課題2フォルダを探してATMELのAVR StudioでPowersave.aprプロジェクトファイルを開いてください。
2. コード全体を通して見てどう構成設定されるかの理解を確実にしてください。
3. プロジェクトを構築し、異常がないことを確実にしてください。
4. `¥WINAVR¥avr¥include¥avr`に配置された`iox128a1.h`から`SLEEP_SMODE_t`構造体を用いてパワーセーブ休止形態を選ぶためのコードを追加してください。
5. 再構築してデバッグ作業を開始してください。
6. 何故、鉦を押して下に保持する時にだけLEDが点滅するのを見つけてください。これらは2Hzで自動的に交互切り替えされるでしょう。助言:休止形態
7. 電力消費を記入してRTCクロック元を選ぶのにスイッチを使用してください。

TOSCピンでの外部	内部RC発振器	内部超低電力



例えばパワーダウンまたはスタンバイではなく、何故パワーセーブが必要だったのでしょうか?。他のどれが上手く動くのでしょうか?。

6. 課題3: 電力削減レジスタ

ATMELのXMEGAはクロック開閉と拡張による電力消費を逃えるための電力削減レジスタが特徴です。この課題では様々な周辺機能クロックを停止する方法を示します。

この課題の目的はあなたが以下の方法を知ることです。

- ・ 望まれない周辺機能へのクロック停止
- ・ 周辺機能へのクロック再開



すること

課題:

1. XMEGA-Lowpowerフォルダを見つけ出し、課題3フォルダを探してAVR StudioでPowerRedReg.apsプロジェクト ファイルを開いてください。
2. コード全体を通して見てどう構成設定されるかの理解を確実にしてください。
3. プロジェクトを構築し、異常がないことを確実にしてください。
4. デバッグ作業を開始してください。
5. 周辺機能選択スイッチを使用してください。何かの結果に気づきましたか?。拡張スタンバイに切り替えてその後に再びアイドルに戻すのに鉤3を使用してください。下表に電力消費を記入してください。

全てON	GEN+TC OFF	COM+ANLG OFF	全てOFF	拡張スタンバイ



活動動作で全ての周辺機能クロックをOFFにするのと休止形態間の違いは何ですか?。

7. 課題4: アイドル動作とDMA転送

ATMELのXMEGAデバイスには数ある中で、電力を保存して未だ作業を行わせるのを手助けするDMA制御器を含みます。それらの1つがDMA制御器です。この課題では例え主クロックがOFFにされても、マイクロ コントローラがメモリのあちこちでデータを採取して移動することができることを見るでしょう。

この課題の目的はあなたが以下の方法を知ることです。

- ・ 休止形態であっても周辺機能を利用



すること

課題:

1. XMEGA-Lowpowerフォルダを見つけ出し、課題4フォルダを探してAVR StudioでIdleDMA.apsプロジェクト ファイルを開いてください。
2. コード全体を通して見てどう構成設定されるかの理解を確実にしてください。
3. プロジェクトを構築し、異常がないことを確実にしてください。
4. デバッグ作業を開始してください。
5. 活動とアイドルの動作形態間を切り替えるのにスイッチを使用してください。下表に電力消費を記入して電気的特性と前の測定を比較してください。

活動動作	アイドル動作

6. (可変抵抗器右そばの)温度感知器に触れるか、またはそれを暖めるために息を吹きかけてください。対応するLED上の結果を得て調べてください。



アイドル動作時に採取と複写は継続しますか?。どうして?。



アイドル動作から活動動作へ移行するのに何故割り込みが必要とされるのですか?。

8. 課題5: TWIアドレス一致起き上がり

TWIの利点の1つはそれが非同期で外部的にクロック駆動されることです。ATMELのXMEGAはこれの利点を取り入れ、例え最低電力のパワーダウン動作でも、アドレス一致での起動割り込みを提供します。

この課題の目的はあなたが以下の方法を知ることです。

- ・ 応用記述からのドライバを使用してTWIとアドレス一致割り込みの構成設定



課題:

1. XMEGA-Lowpowerフォルダを見つけ出し、課題5フォルダを探してATMELのAVR StudioでTwiWake.apsプロジェクト ファイルを開いてください。
2. コード全体を通して見てどう構成設定されるかの理解を確実にしてください。
3. プロジェクトを構築し、異常がないことを確実にしてください。
4. XMEGA PORTDと記されたヘッダのピンを別のXplainの同じピンに接続してください。10ピン ケーブルまたは単線ジャンパ ケーブルのどちらかを用いて、PD0とPD0、PD1とPD1、GNDとGNDを接続してください。望ましければ、1つのXplainはUSB電力なしで動くことができますが、XMEGA PORTDヘッダでV3P3とV3P3を接続することによって給電されます。
5. デバッグ作業を開始してください。プログラムの流れでくつろいでください。TWI単位転送が終わるまで再び休止にできないことに注意してください。
6. JTAGICEmk IIを切断してXplainをOFF/ONしてください。今やどの釦も押さない時に概ね0.1μAの電力消費を経験するでしょう。



従装置単位転送に関して何故休止許可ビットを手動で管理しなければならないのでしょうか?。

9. 要約

この練習では休止動作形態、不要な時に周辺機能へのクロックを停止して様々な他の部署を禁止することを含めて、XMEGAで電力を保存することができる方法のいくつかを考察しました。例えば低電力休止形態を利用する時でも、多くの課題が容易に達成できることも経験しました。

10. 資料

- XMEAの手引書とデータシート
 - <http://www.atmel.com/xmega>
- ATMELのヘルプ ファイル付きAVR studio
 - <http://www.atmel.com/products/AVR/>
- WINAVR GCCコンパイラ
 - <http://winavr.sourceforge.net/>
- ATMEL用IAR Embedded Workbench®コンパイラ
 - <http://www.iar.com/>

11. ATMEL技術支援センター

ATMELは以下の利用可能な多数の支援チャンネルを持ちます。

- ウェブ入り口 : <http://www.atmel.no/> 全てのATMELマイクロ コントローラ
- Eメール : avr@atmel.com 全てのATMEL AVR製品
- Eメール : avr32@atmel.com 全ての32ビットAVR製品

以下のサービスへのアクセスを得るにはウェブ入り口で登録してください。

- 豊富なFAQデータベースへのアクセス
- 技術支援要請の容易な依頼
- あなたの過去の全支援要請の履歴
- ATMELマイクロ コントローラ時事通信の受信のための登録
- 利用可能な練習と練習材料についての情報取得



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 2010. 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、XMEGA[®]とその他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 2014.

本応用記述はATMELのAVR1509応用記述(doc8318.pdf Rev.8318A-06/10)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。