

はじめに

STのシリアルリアルタイムクロック (RTC) は、ユーザの間で非常に評判の良いデバイスです。長年にわたり、サポート担当のアプリケーショングループによって、このデバイスに関する数々のテーマへの対応が行われてきました。この資料は、水晶振動子のレイアウト時の注意事項から電源投入時のソフトウェアの適切なアクセス方法まで、最も一般的な対応事項の中からその一部をまとめたものです。RTCが持つ繊細な点と、確実にRTCを動作させるために必要な事項とをいくつか理解するヒントとなるでしょう。

Contents

1	バッテリーの接続と充電保護	5
1.1	直列抵抗	5
1.2	バッテリーのデカップリングコンデンサ	5
1.3	ブロックダイオード	6
1.4	ST のリアルタイムクロックに対する UL 文書	6
1.5	バッテリーの実装	7
2	レイアウト上の注意事項	8
2.1	RTC 用水晶振動子に対するレイアウト上の注意事項を教えてください ..	8
3	オシレータ回路	9
3.1	水晶振動子以外に、RTC のオシレータを正常動作させるために追加する必要がある部品を教えてください	9
4	アンダーシュート	11
4.1	リアルタイムクロックの動作にアンダーシュートが影響することがありますか？ その理由は？ それを防ぐ方法を教えてください	11
5	スイッチオーバー電圧	13
5.1	スイッチオーバー電圧はバッテリーレベルに依存しますか？ それとも常に一定値ですか？ RTC に対する最大バッテリー電圧を教えてください	13
6	オシレータ故障検出	16
6.1	OF ビットとは何ですか？ 動作内容を教えてください	16
7	低バッテリー検出	17
7.1	低バッテリービットの動作内容を教えてくださいバッテリーの欠落を検出可能ですか？	17
8	Halt (HT) ビット	19
8.1	Halt ビット (HT) の動作内容を教えてください使用方法を教えてください ..	19
9	RTC の初期化	22
9.1	初回の電源投入における RTC アクセスの最適なシーケンスを教えてくださいそれ以降の電源投入についてもお願いします	22
10	改版履歴	26

List of tables

Table 1: 選択解除とスイッチオーバースレッシュホルドのまとめ.....	14
Table 2: M41T81S レジスタマップ.....	17
Table 3: M41ST85W レジスタマップ.....	19
Table 4: 文書改版履歴.....	26
Table 5: 日本語文書改版履歴.....	26

List of figures

Figure 1: RTC/NVRAM 内部のバッテリースイッチオーバー回路	5
Figure 2: VBAT 経路にあるダイオードの影響.....	6
Figure 3: SNAPHAT SOIC パッケージ	7
Figure 4: タブ付きのボタン電池	7
Figure 5: レイアウト上の注意事項	8
Figure 6: 内蔵負荷コンデンサ	9
Figure 7: 典型的寄生ダイオード	11
Figure 8: アンダーシュート保護	12
Figure 9: 典型的スイッチオーバー回路	13
Figure 10: スイッチオーバー回路	15
Figure 11: オシレータ故障検出回路	16
Figure 12: バッテリー監視機能	18
Figure 13: クロックレジスタおよび非クロックレジスタ.....	20
Figure 14: M41T83/M41T82 の電源投入デフォルト値	22
Figure 15: 初回電源投入	24
Figure 16: バックアップからの電源投入	25

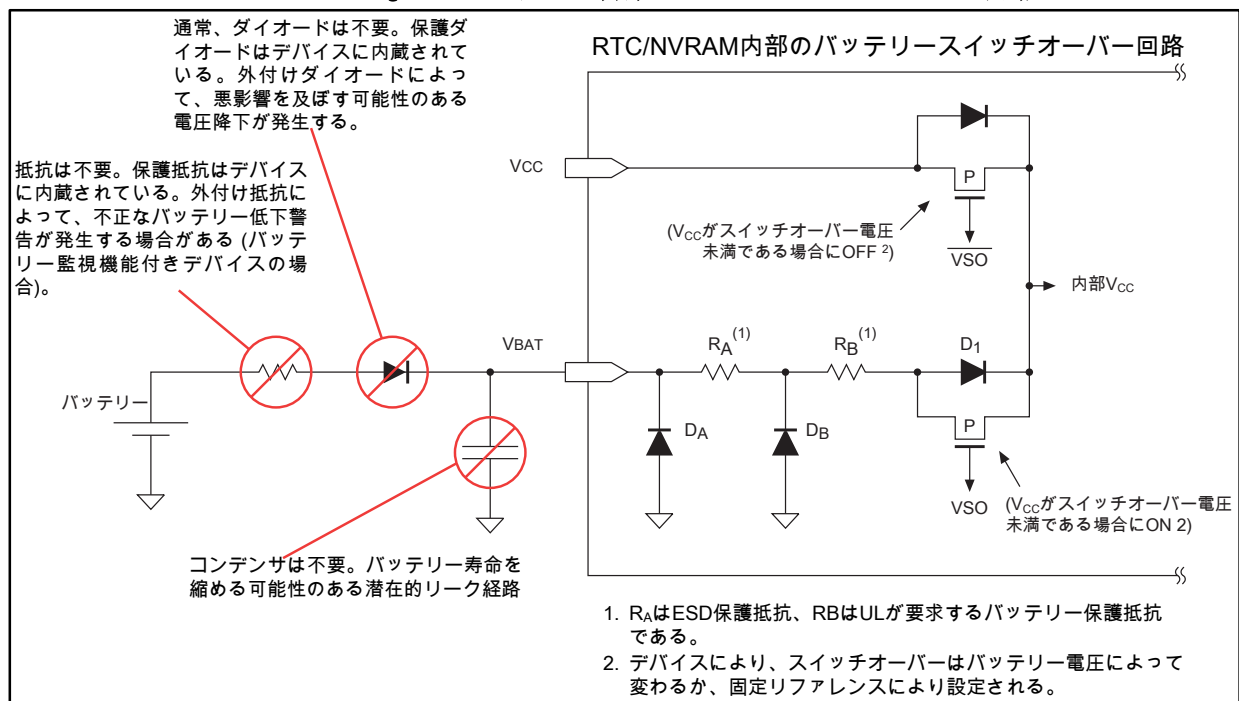
1 バッテリーの接続と充電保護

STのシリアルリアルタイムクロックをバッテリーに接続するのはとても簡単です。充電保護回路がRTCに内蔵されており、外付けの抵抗とダイオードは必要ありません。バッテリーの接続経路に部品を追加すると、好ましくない影響が生じる場合すらあります。たとえば、直列抵抗がバッテリー接続経路上にあるとスイッチオーバー問題が生じることがあり、デバイスによってはバッテリー監視回路に悪影響を及ぼす恐れもあります。

1.1 直列抵抗

スイッチオーバー回路内蔵のSTのシリアルRTC全製品には、バッテリー接続経路に電流制限抵抗も入っています。下図において、 R_B はUL (Underwriters Laboratories) の要求によるものです。この抵抗は、バッテリーに流入するあらゆる電流を1 mA未満に制限します。この抵抗がデバイスに内蔵されているため、外付け抵抗は不要となります。

Figure 1: RTC/NVRAM 内部のバッテリースイッチオーバー回路



1.2 バッテリーのデカップリングコンデンサ

すべての電源ピンにデカップリングコンデンサを追加することは、ユーザの間でよく行われています。ただし、このような応用回路では、コンデンサ内部のリーク電流はバックアップ電流と同程度かそれ以上の大きさである場合もあります。つまり、コンデンサを流れるリーク電流によって、バッテリーの寿命が目に見えて短くなってしまいます。それに加えて、バッテリーは非常に優れたコンデンサ特性を有しており、外付けコンデンサは必要ありません。

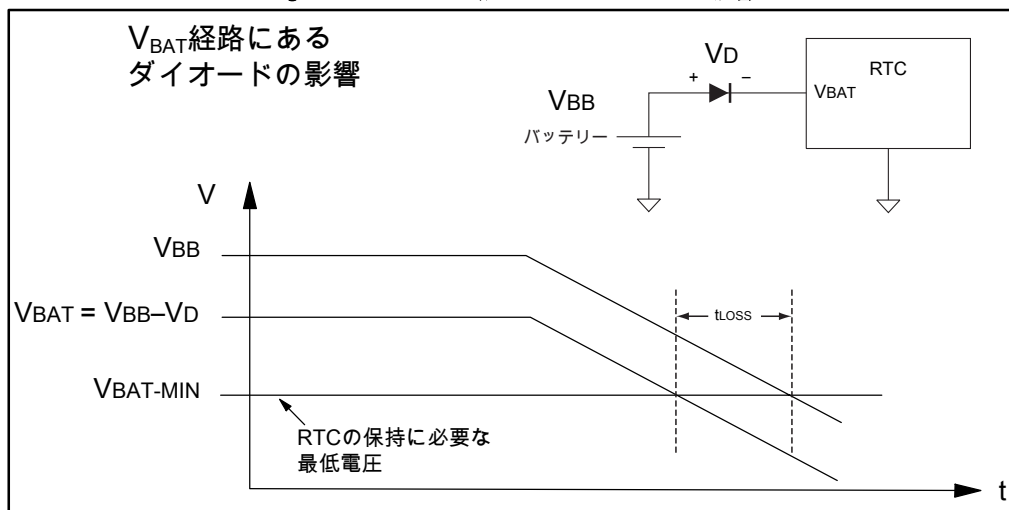
1.3 ブロックダイオード

下図のダイオード D_1 は、 V_{CC} によってシステムの電源が供給されたときに V_{CC} からバッテリーへと逆流する電流をブロックします。したがって、この目的で外付けダイオードを付ける必要はありません。

応用回路によっては、RTC の定格最大バッテリー電圧よりもバックアップ電源の方が高いこともあります。このような場合、ユーザーによっては、ダイオードを使用して電圧を下げようとするかもしれません。それで電圧は多少下がりますが、リアルタイムクロックの微小なバックアップ電流 (300~500 nA 程度) でのダイオード両端の電圧降下はわずか 200~300 mV であり、ダイオードの電圧降下として一般的に知られている 0.7 V よりもずっと小さな値であることに注意が必要です。

V_{BAT} 接続経路にダイオードを使用するもう一つの懸念点は、バックアップ寿命に与える影響です。下のグラフにあるように、 V_{BB} が $V_{BAT-MIN}$ の電圧レベルを下回るとこの部品は機能しなくなります。接続経路の間にダイオードがあると、バッテリー電圧が低下したときに最低スレッショルド電圧を先に通過することとなり、結果としてバッテリー寿命が短くなります。

Figure 2: VBAT 経路にあるダイオードの影響

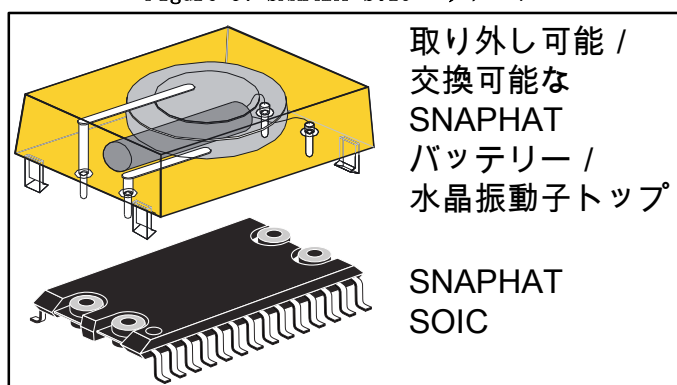


1.4 ST のリアルタイムクロックに対する UL 文書

ST の SNAPBAT SOIC パッケージを用いたデバイスに適切な UL 文書は、sec5_sna_rev1.pdf となります。

それ以外のすべての RTC パッケージについては、sec3_nba_rev1.pdf を参照してください。

Figure 3: SNAPHAT SOIC パッケージ



1.5 バッテリーの実装

多くの場合、ボタン電池の取り付けにはバッテリーホルダが用いられます。こうやって取り付けられたバッテリーは、簡単に取り外しと交換が可能です。場合によっては、過酷な環境で使用された折に、衝撃や振動によってホルダ内のバッテリーの接続が一瞬失われることがあります。一般的に、その結果としてデバイスのデータ内容の破壊が起こります。このような用途では、取付タブの付いたバッテリーを使用すれば、より確実に接続可能となります。

Figure 4: タブ付きのボタン電池

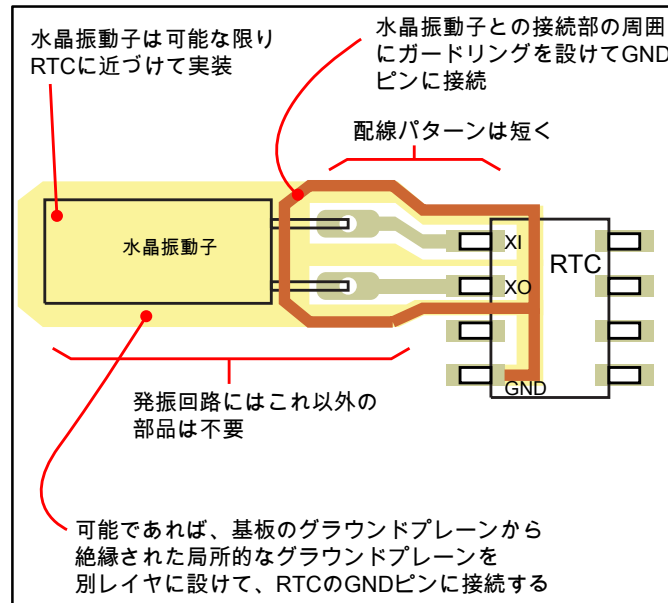


2 レイアウト上の注意事項

2.1 RTC 用水晶振動子に対するレイアウト上の注意事項を教えてください

レイアウト上の注意事項は、ST の M41 シリーズリアルタイムクロックに使用する 32 KHz 水晶振動子に直接関係する内容となります。

Figure 5: レイアウト上の注意事項



一番重要な注意事項はリード長です。水晶振動子は可能な限り RTC のそばに実装して、パターンを短く保つことが必要です。グラウンドに接続されたガードリングをこれらの接続部の周辺に設けることが、計時に影響を及ぼす恐れのある不要な雑音を拾わないためには非常に重要です。

信号と水晶振動子の接続部との間にグラウンドプレーンが存在しない限り、この領域の真下に信号を這わせることは避けなければなりません。

可能であれば、リングと水晶振動子本体部が位置する領域の下に、孤立したグラウンドプレーンを追加します。このプレーンはリングから独立したレイヤ上とし、PCB のグラウンドプレーンからは絶縁します。RTC の GND ピンの位置でグラウンドに接続します。

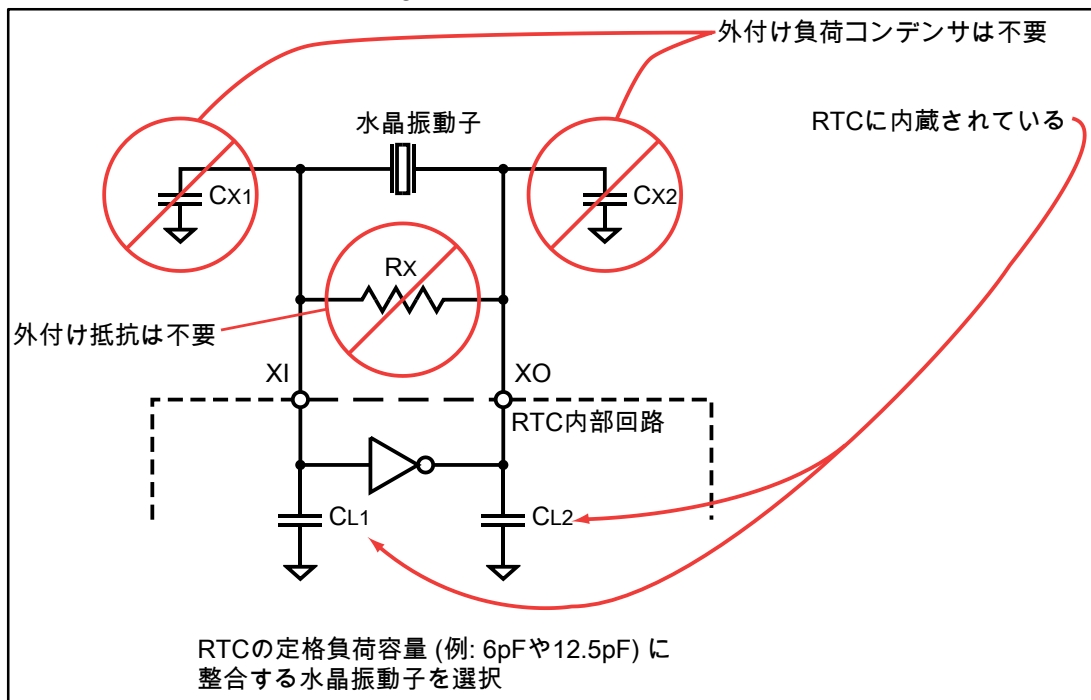
レイアウトの中にはこれ以外の部品が図示されていませんが、RTC のオシレータの動作に必要なのは水晶振動子だけであるためです。外付けの負荷コンデンサやバイアス抵抗を追加してはなりません。

3 オシレータ回路

3.1 水晶振動子以外に、RTC のオシレータを正常動作させるために追加する必要がある部品を教えてください

ありません。水晶振動子以外に必要なものは何ともありません。ST のリアルタイムクロックには、負荷コンデンサが内蔵されています。外付けの負荷コンデンサは不要ですし、外付け抵抗も必要ありません。必要なものは水晶振動子だけです。水晶振動子は時計用の 32,768 Hz のものであり、RTC 内蔵の負荷コンデンサに合った定格でなければなりません。

Figure 6: 内蔵負荷コンデンサ



オシレータを動作させるために他に必要な部品はありません。何か外付け部品を追加しても、オシレータの精度と信頼性が低下するだけです。負荷コンデンサを追加するとクロックが遅延する傾向があります。低温において、このようなコンデンサやあらゆる外付け抵抗はオシレータの起動を妨げる恐れがあります。

負荷コンデンサのマッチング

RTCにはすべて負荷コンデンサが内蔵されています。通常、規定値は 12.5 pF ですが、M41T6x ファミリーの場合には 6 pF となります。RTCとの組み合わせに選択された水晶振動子は、同じ定格でなければなりません。マッチングしていない水晶振動子を使用すると、若干ずれた周波数で動作する傾向があります。たとえば、定格が 12.5 pF の水晶振動子であれば、その負荷で使用することが見込まれています。この水晶振動子を定格値が 6 pF の RTC に使用すると、水晶振動子からは規定値の 12.5 pF ではなく 6 pF が見えることになり、その結果として高い周波数で動作します。

実効負荷容量値対内部容量値

ときとして、個々の負荷コンデンサに対する参照をみかけることもあります。これらは、水晶振動子のそれぞれの足に対して、RTC 内部で使用されている 2 個のコンデンサです。それぞれの実際の値は、定格負荷値または実効負荷値の 2 倍であり、データシートに記載された負荷値の 2 倍となります。これは、内部負荷コンデンサが直列に加わることによるものです。Figure 6: “内蔵負荷コンデンサ”において、実効負荷容量は以下の式で与えられます。

したがって、 C_{L1} と C_{L2} が $C_L = C_{L2}$ と直列に $C_{L1} = \frac{C_{L1} \cdot C_{L2}}{C_{L1} + C_{L2}}$ 等しい場合には、データシートに記載されている値である実効負荷容量 C_L は、 C_{L1} および C_{L2} の値の半分となります。定格が 12.5 pF の ST RTC であれば、そのオシレータ回路に 25 pF コンデンサを 2 個内蔵することになります。この点を認識しておくことをお勧めします。さらには、水晶振動子の仕様は定格値（この場合では 12.5 pF）にマッチングしていなければならない、個別の値ではないことに留意する必要があります。

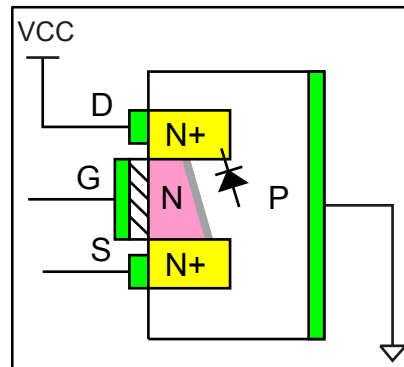
4 アンダーシュート

4.1 リアルタイムクロックの動作にアンダーシュートが影響することがありますか？ その理由は？ それを防ぐ方法を教えてください

電界効果に基づくデバイス（すべての CMOS デバイス）すべてに固有なものとして、デバイス内の P 型領域と N 型領域の交差による寄生ダイオードがあります。どの PN 接合にもダイオードが形成されており、N 領域よりも高いバイアスが P 領域にかかる条件で導通します。

*Figure 7: “典型的寄生ダイオード”*において、 V_{CC} がグラウンド電位よりも十分に下がると、寄生ダイオードが導通してデバイスの中を電流が流れます。 V_{CC} に大きなアンダーシュートがあると、リアルタイムクロックのレジスタに外乱を及ぼすだけの電流が流れることがあり、計時に悪影響を与える可能性があります。したがって、アンダーシュートは避けるべきです。

Figure 7: 典型的寄生ダイオード

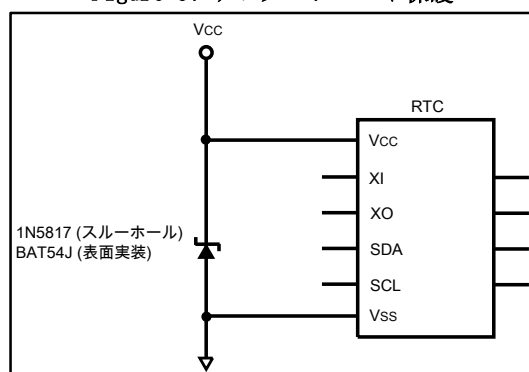


多くの ST のリアルタイムクロックでは、 -0.3 V が V_{CC} の最小値として規定されており、マイナス方向のアンダーシュートはグラウンド電位から 0.3 V までに制限されています。

電源によっては、電源を切つてすぐに入れ直すと電圧が非常に急激に変化して、リアルタイムクロックの問題の原因となり得るアンダーシュート状態を生むリングが発生することがあります。

この状態となるまれな状況では、*Figure 8: “アンダーシュート保護”*に示すように、逆バイアスのショットキーダイオードを V_{CC} ピンにつけるのが最適な防御策となります。この追加処置は、アンダーシュート問題に対して非常に信頼性の高い対策であることがわかっています。

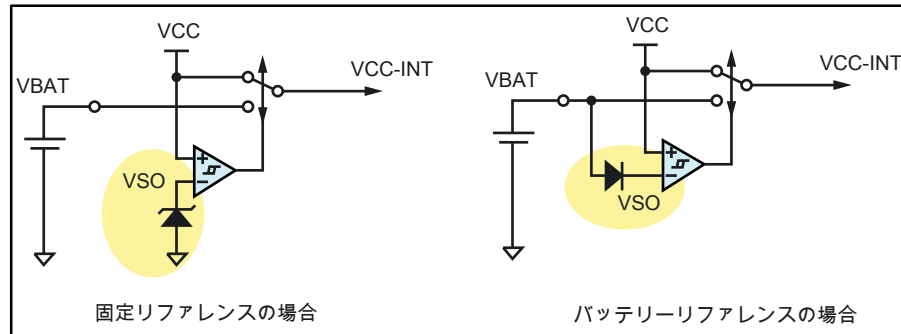
Figure 8: アンダーシュート保護



5 スイッチオーバー電圧

5.1 スイッチオーバー電圧はバッテリーレベルに依存しますか？ それとも常に一定値ですか？ RTC に対する最大バッテリー電圧を教えてください

Figure 9: 典型的スイッチオーバー回路



パワーフェイル選択解除電圧, V_{PFD}

V_{CC} がパワーフェイル選択解除電圧 V_{PFD} まで下がると、RTC は選択を解除してホストへの通信を遮断し、書き込み禁止状態となります。

ST のシリアルリアルタイムクロックでは、 V_{PFD} はスイッチオーバー電圧 V_{SO} に等しいか、相関関係を持つ値となります。したがって、選択解除動作とスイッチオーバー動作は密接に結びついています。

スイッチオーバー電圧, V_{SO}

スイッチオーバーによって、バックアップ電源（通常はバッテリーですが、コンデンサやスーパーキャパシタの場合もあります）がデバイスの内部 V_{CC} に接続され、システム電源が遮断されている間、計時動作が維持されます。 V_{SO} は、RTC が V_{BAT} に切り替わる V_{CC} の値となります。

固定リファレンス

ST のシリアルリアルタイムクロックの大半では、スイッチオーバーのスレッシュولد用として高精度の固定リファレンスが使用されています。 V_{BAT} の電圧レベルにはよらず、常に同じ V_{CC} レベルで RTC は選択解除とスイッチオーバーを行います。

バッテリーリファレンス

旧製品の RTC の中には、バッテリーをリファレンスとして使用するものもあります。ダイオードによる電圧降下の 1 つ分が RTC 内部でバッテリーピンに加わり、このレベルによってスイッチオーバーのスレッシュولدが定まります。通常、ダイオードによる電圧降下は 0.5 V ですが、0.3 V から 0.8 V の範囲ではあつてことがあります。新品のリチウムイオンボタン電池では、出力電圧は 3.5 V と高いものもあります。（しばらく負荷に接続すると出力は約 3.0 V まで低下し、その値が電池の耐用年数まで保たれます。）低温では、ダイオードによる電圧降下は最小値である 0.3 V に向かって小さくなる傾向があります。このことが意味するのは、新品のバッテリーが低温にあると、スイッチオーバーのスレッシュولدは、 $3.5 - 0.3 = 3.2$ V まで上昇する可能性があるということです。バッテリーリ

ファレンスを用いている RTC では 3.3 V の応用回路で問題となることがあり、3.0 V の応用回路には不向きであるということになります。これらのケースでは、固定リファレンスの RTC を選択する必要があります。たとえば、固定リファレンスを用いる M41T81S は、3.3 V と 3.0 V の応用回路に最適であり、旧製品の M41T81 (S なし) に対する置き換えとしてそのまま使用可能です。

Table 1: 選択解除とスイッチオーバースレッシュホールドのまとめ

基本部品番号	スイッチオーバーおよび選択解除のパラメータ		
	V_{PFD}	V_{SO}	$V_{\text{BAT-MAX}}$
M41T00	$V_{\text{BAT}} - 0.5$	$V_{\text{BAT}} - 0.5$	V_{CC}
M41T00AUD	2.8	$2.0 < V_{\text{BACK}} < V_{\text{PFD}} : V_{\text{BACK}}$ $V_{\text{BACK}} > V_{\text{PFD}} : V_{\text{PFD}}$	V_{CC}
M41T00S	2.6 V	$V_{\text{BAT}} < V_{\text{PFD}} : V_{\text{BAT}}$ $V_{\text{BAT}} > V_{\text{PFD}} : V_{\text{PFD}}$	V_{CC}
M41T11	$V_{\text{BAT}} - 0.5$	$V_{\text{BAT}} - 0.5$	V_{CC}
M41T56	$1.25 \times V_{\text{BAT}}$	V_{BAT}	3.5 V
M41T81	$V_{\text{BAT}} - 0.5$	$V_{\text{BAT}} - 0.5$	V_{CC}
M41T81S	2.6 V	$V_{\text{BAT}} < V_{\text{PFD}} : V_{\text{BAT}}$ $V_{\text{BAT}} > V_{\text{PFD}} : V_{\text{PFD}}$	V_{CC}
M41T82	$V_{\text{RST}}^{(1)}$	$V_{\text{RST}}^{(1)}$	$V_{\text{CC(max)}}$
M41T83	$V_{\text{RST}}^{(1)}$	$V_{\text{RST}}^{(1)}$	$V_{\text{CC(max)}}$
M41ST85W	2.6 V	2.5 V	$V_{\text{CC(max)}}$
M41ST87W	2.62 V, THS = 0 2.88 V, THS = 1	2.5 V	$V_{\text{CC(max)}}$
M41T93	$V_{\text{RST}}^{(1)}$	$V_{\text{RST}}^{(1)}$	$V_{\text{CC(max)}}$
M41T94	2.6 V	2.5 V	$V_{\text{CC(max)}}$

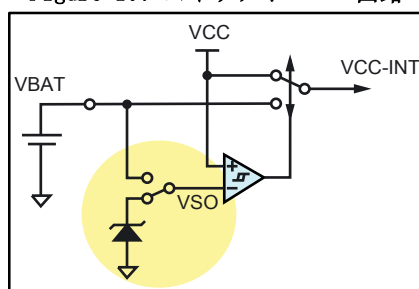
Notes:

⁽¹⁾ リセット電圧 V_{RST} は 2.32 V、2.63 V、2.93 V を指定可能

複雑なスイッチオーバースレッシュホールド

デバイスの中には、さらに高度なスイッチオーバー回路が採用されており、 V_{PFD} と V_{BAT} の低い方がスイッチオーバースレッシュホールドとして選択されるものもあります。これによって、バックアップ電源にスイッチオーバーする前に、可能な限り V_{CC} を使い続けることが保証されますので、バックアップの寿命がやや長くなります。

Figure 10: スイッチオーバー回路



最大バッテリー電圧

V_{BAT} に対する最大値は、ST のシリアル RTC ファミリーの間でも異なります。シリコン製造に用いられたプロセスと、設計工程中に行われた検討事項によっても変わります。大半の RTC では、最大値は $V_{CC(max)}$ (通常は 5.5 V) となります。

限界値が V_{CC} である RTC では、 V_{BAT} が V_{CC} を超えると CMOS 技術に固有の寄生ダイオードが導通することがあり、それによってデバイス内部に問題が発生します。明らかに、バックアップ中 (V_{CC} は 0) に V_{BAT} が V_{CC} を上回るのは問題ありません。しかし、アクティブモードで動作中には、これらの RTC の V_{BAT} が V_{CC} を上回ってはなりません。

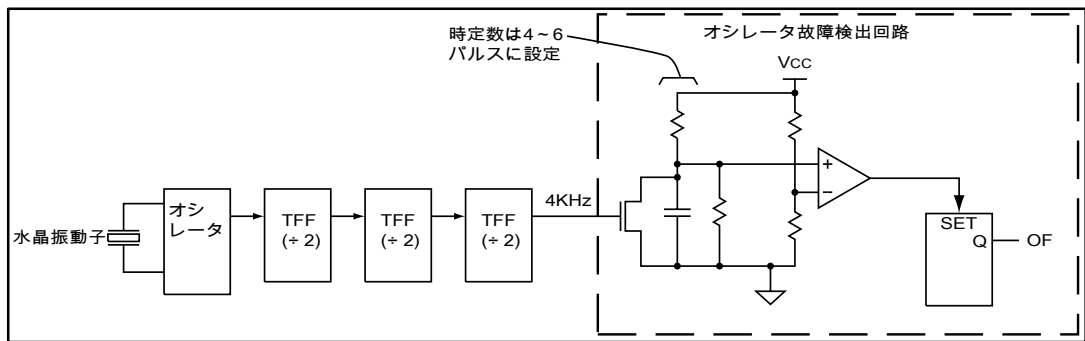
誤解のないように言うと、 V_{CC} が V_{BAT} の限界値として記載されている場合には、限界値は実際に動作しているレベルの V_{CC} であり、 V_{CC-MAX} のことではありません。その反対に、限界値が $V_{CC(max)}$ である場合には、 V_{CC} の動作レベルとは無関係に、 V_{BAT} の限界値は $V_{CC(max)}$ となります。

6 オシレータ故障検出

6.1 OF ビットとは何ですか？ 動作内容を教えてください

OF とはオシレータ故障ビットであり、分周器チェーンの 4 KHz タップで約 4~6 パルスが連続して欠落したことがリアルタイムクロックによって検出された場合に必ずセットされます。

Figure 11: オシレータ故障検出回路



RC 回路が積分器として使用されています。4 KHz パルスにより放電を続け、パルスの中で緩やかに充電を行います。十分な個数のパルスが欠落すると、コンパレータが作動するほど高い電圧まで充電が行われて、OF ビットがセットされます。上図において、動作電圧が低い状態ではスレッシュホールド電圧が低いため、時定数は短くなります。したがって、OF ビットのトリガに必要な欠落パルスの個数は減ります。

OF 機能の基本的な役割は、コンデンサでバックアップしている応用回路の場合や、バックアップバッテリーの残量が減った場合に生じる可能性のあるオシレータの減速や停止を知らせることです。バックアップ電圧が十分に低下すると計時は停止しますが、必ずしもレジスタがリセットされるとは限りません。RTC が完全にリセットされるほどには、電圧が下がらない場合があるからです。その後、電源が投入されるとオシレータの動作が始まりますが、単にレジスタを読み取るだけでは、計時機能が停止していたかどうかは明らかにはなりません。OF ビットを用いることで、この問題は解消されます。OF ビットは、システムソフトウェアが計時機能を監視して、時間の再設定が必要となった可能性のあることをエンドユーザに教えるべき時点を知る手段を提供します。

初回の電源投入時や、STOP ビットによってオシレータが停止していた場合には、RC 回路が充電されて OF ビットがセットされます。OF ビットをクリアする前には、オシレータを 4 秒間動作させる必要があります。これは、RC 回路を放電させるためだけでなく、オシレータの安定性を確保するためでもあります。

7 低バッテリー検出

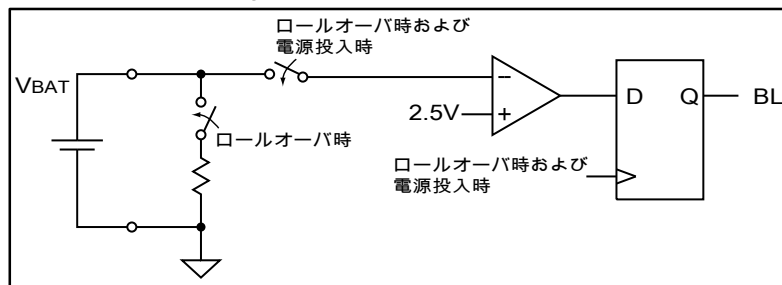
7.1 低バッテリービットの動作内容を教えてくださいバッテリーの欠落を検出可能ですか？

Table 2: M41T81S レジスタマップ

アドレス	レジスタ								機能 / 範囲	
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	BCDフォーマット	
00h	0.1秒				0.01秒				秒	00-99
01h	ST	10秒			秒				秒	00-59
02h	0	10分			分				分	00-59
03h	CEB	CB	10時		時 (24時間形式)				世紀 / 時	0-1/ 00-23
04h	0	0	0	0	0	曜日			曜日	01-7
05h	0	0	10日		日				日	01-31
06h	0	0	0	10月	月				月	01-12
07h	10年				年				年	00-99
08h	OUT	FT	S	較正					較正	
09h	OFIE	BMB4	BMB3	BMB2	BMB1	BMB0	RB1	RBO	ウォッチドッグ	
0Ah	AFE	SQWE	ABE	アラーム10月	アラーム月				アラーム月	01-12
0Bh	RPT4	RPT5	アラーム10日		アラーム日				アラーム日	01-31
0Ch	RPT3	HT	アラーム10時		アラーム時				アラーム時	00-23
0Dh	RPT2	アラーム10分			アラーム分				アラーム分	00-59
0Eh	RPT1	アラーム10秒			アラーム秒				アラーム秒	00-59
0Fh	WDF	AF	0	BL	0	OF	0	0	フラグ	
10h	0	0	0	0	0	0	0	0	予約済み	
11h	0	0	0	0	0	0	0	0	予約済み	
12h	0	0	0	0	0	0	0	0	予約済み	
13h	RS3	RS2	RS1	RS0	0	0	0	0	SQW	

STのシリアルリアルタイムクロックの多くにはバッテリー監視機能が備わっており、バッテリーが低下するとBLビットがセットされます。その基本的な機能は、バッテリーを内部の2.5Vリファレンスと周期的に比較して、バッテリー電圧が2.5Vを切ったら必ずBLビットをセットすることです。

Figure 12: バッテリー監視機能



周期的チェック

バックアップモードから RTC の電源が投入されるか、深夜 0 時にクロックがロールオーバー（バックアップモード以外の場合）すると、バッテリーが毎回チェックされます。ロールオーバーチェックの間は、読み取り値が適性であることを確認するためにバッテリーに負荷がかけられます。

電源投入チェック

RTC がバックアップモードにある場合には、バッテリーにはすでに負荷がかけられていますので、バッテリーチェックのための負荷は必要ありません。バッテリーの回復時間は出力が急激に変化しないほど遅いことから、電源投入チェックの間にバッテリーに負荷をかける必要はありません。ただし、いくつかのデバイス（M41T82, M41T83, M41ST87W, M41T93）では電源投入チェックの間の負荷印加が含まれています。

バッテリー未装着検出 - 開回路

応用回路によっては、バッテリーの未装着を判断可能であることが必要となります。理想的には、バッテリー未装着状態は低バッテリーとして読み取られるべきものですが、バッテリー入力 V_{BAT} が開放（浮動状態）であると、コンパレータの出力は不定となります。バッテリー未装着状態を確実に検出するには、チェック前にバッテリーノードに負荷をかけておく必要があります。バッテリーの端子間に取り付けた抵抗（または、デバイスに B-ピンがない場合には、B+とグラウンドの間）は、この目的に十分な負荷となります。このやり方は現場では非現実的ですが、開発中の実験室においては便利な方法です。

バッテリーへの負荷としてロールオーバーを使用

RTC では深夜 0 時のロールオーバーチェックの間にバッテリーに負荷をかけることから、時間を深夜 0 時少し前に変えてクロックにロールオーバーを起こさせた後、元の設定値にロールオーバー待ちに費やした時間に相当する分を加えた時間まで戻すことで、アプリケーションから負荷をかけることができます。これは、工場検査の中でバッテリーが装着されたことを確認するのに便利な方法です。

たとえば、現在時刻が 17:53:27 であるとすると、この値を保存してからクロックを 23:59:59 に設定し、2 秒間待つて BL ビットを読み込みます。その後、17:53:29（17:53:27 に 2 秒を加算）まで時間を戻します。この手法では、チェックの間にバッテリーに負荷がかかりますので、バッテリー未装着状態は低バッテリーとして確実に読み取られます。

上記のとおり、RTC の中には電源投入時にクロックをロードするものもあり、デバイスの電源を切ってから入れ直すだけでバッテリーの未装着が検出可能です。

8 Halt (HT) ビット

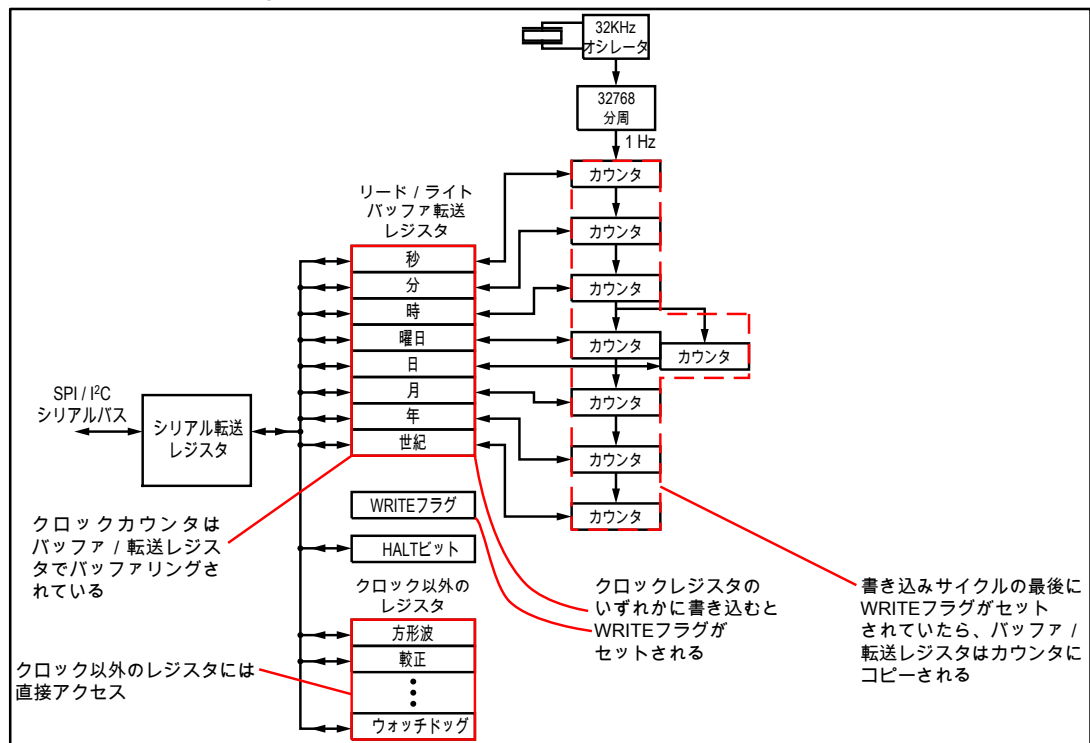
8.1 Halt ビット (HT) の動作内容を教えてください使用方法を教えてください

Table 3: M41ST85W レジスタマップ

アド レス	データ								機能 / 範囲 BCDフォーマット	
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
00h	0.1秒				0.01秒				秒	00-99
01h	ST	10秒			秒				秒	00-59
02h	0	10分			分				分	00-59
03h	CEB	CB	10時		時 (24時間形式)				世紀 / 時	0-1/ 00-23
04h	TR	0	0	0	0	曜日			曜日	01-7
05h	0	0	10日		日				日	01-31
06h	0	0	0	10M	月				月	01-12
07h	10年				年				年	00-99
08h	OUT	FT	S	較正					制御	
09h	WDS	BMB4	BMB3	BMB2	BMB1	BMB0	RB1	RBO	ウォッチドッグ	
0Ah	AFE	SQWE	ABE	アラーム10月	アラーム月				アラーム月	01-12
0Bh	RPT4	RPT5	アラーム10日		アラーム日				アラーム日	01-31
0Ch	RPT3	HT	アラーム10時		アラーム時				アラーム時	00-23
0Dh	RPT2	アラーム10分			アラーム分				アラーム分	00-59
0Eh	RPT1	アラーム10秒			アラーム秒				アラーム秒	00-59
0Fh	WDF	AF	0	BL	0	0	0	0	フラグ	
10h	0	0	0	0	0	0	0	0	予約済み	
11h	0	0	0	0	0	0	0	0	予約済み	
12h	0	0	0	0	0	0	0	0	予約済み	
13h	RS3	RS2	RS1	RS0	0	0	0	0	SQW	

STのシリアルリアルタイムクロックの多くには、レジスタの中に Halt ビット (HT) があります。このビットは、ユーザクロックレジスタの更新を停止するために用いられます。HT がセットされると、内部カウンタは計時を続けますが、ユーザがアクセスするバッファ / 転送レジスタはフリーズされます。

Figure 13: クロックレジスタおよび非クロックレジスタ



コヒーレント性

クロックカウンタは、コヒーレント性の確保のためにバッファリングされています。クロックレジスタの読み込みを始めると、デバイスはカウンタをバッファ/転送レジスタにコピーし、リードサイクルの間、これらのレジスタに対するそれ以上の更新は行いません。(ここでは HT ビットはセットされませんが、更新は停止します) すべてのカウンタを同時にコピーすることで、レジスタ内の値はすべて同じ瞬間のものとなり、コヒーレント性が得られます。

コヒーレント性の例

仲介するバッファ/転送レジスタがない場合、23:59:59 にカウンタの直接リードを開始すると、秒レジスタの読み取り値は 59 秒を返します。アドレスポインタをインクリメントした後、次の読み取り値は 59 分を返します。次の読み取りでは 23 時を返すべきところですが、読み取りの間にクロックがたまたまインクリメントしてしまうと、読み取られた値は 00 時となります。時間を組み立てし直すと、値は 0:59:59 と見えますので、1 時間ずれることとなります。これではコヒーレンス性がありません。

バッファ/転送レジスタを用いて時間のコピーを保持することにより、読み取り処理の間に値が変化してしまうことなくレジスタセット全体を読み込むことができます。

同様に、アプリケーションがカウンタ内の時間を変更する必要がある場合には、すべてのカウンタを同時にロードしなければなりません。このように、さまざまなバッファ/転送レジスタに順次書き込みを行った後で、その内容は 1 回の転送でカウンタにコピーされますので、カウンタはコヒーレントにロードされます。

Write フラグ

カウンタへのコピーは内部の Write フラグによって起こりますが、このフラグは、バッファ転送レジスタの1つに書き込みが発生すると常にセットされ、それ以外の（非クロック）レジスタへの書き込みではセットされません。たとえば、ウォッチドッグレジスタや較正レジスタへの書き込みでは Write フラグはセットされませんが、秒レジスタや曜日レジスタへの書き込みではセットされます。

書き込みサイクルの最後には I²C バス上に STOP 状態が発生し、Write フラグがセットされたことをデバイスが認識すると、バッファ転送レジスタはすべてクロックカウンタにコピーされます。バッファ / 転送レジスタの1個か2個だけがアプリケーションによって上書きされただけでも、全レジスタがカウンタにコピーされます。

HT ビットの自動セット

デバイスの電源が遮断されるたびに日付と時間がバッファ / 転送レジスタにコピーされ、自動的に HT ビットがセットされます。電源投入時には、(HT ビットがセットされたままの) デバイスをリードして、レジスタから電源遮断時刻を読み出すことができます。これによって、アプリケーションは、状況によっては必要な情報である、電源供給停止の継続時間を求めることが可能となります。HT ビットがセットされたままである限り、(バッファ / 転送レジスタの内容を変化させる書き込みが発生していないという前提で) 読み取り操作によって電源が遮断された時刻が返ります。

現在時刻を読み込むためには、先に HT ビットをクリアする (0 を書き込む) 必要があります。その後の読み込み操作で現在時刻が返されます。現在時刻から電源が遮断された時刻を差し引けば、電源供給が停止された時間の長さが得られます。

HT ビットがセットされている状態での書き込み

電源障害の後、バッファ / 転送レジスタには電源が遮断された時刻が格納されています。クロックレジスタのいずれか（上表でアドレスが 0x00 から 0x07 まで）に書き込みを行うと、Write フラグがセットされます。書き込みサイクルの最後に、カウンタはレジスタの内容で更新されます。

HT ビットがセットされたままである場合、バッファ / 転送レジスタには書き込み値で修正された電源遮断時刻が格納されています。書き込みシーケンスの最後に、修正された電源遮断時刻がカウンタに書き戻されますので、明らかな時間の欠落が生じます。

例：電源遮断の日時は、2008 年 3 月 9 日午後 7 時 23 分 44 秒であるとします。電源投入時に、HT ビットをクリアする前に秒レジスタの ST ビットに書き込みを行って Write フラグをセットしますが、それ以外のビットには書き込みを行いません。書き込みサイクルの最後に、現在時刻は電源が遮断された時刻まで戻され、その結果として明らかな時間の欠落が生じます。

それとは反対に、HT ビットが書き込みの前にクリアされていたとすると、バッファ / 転送レジスタは現在時刻に更新されています。上記と同様に、ST ビットへの書き込みによって Write フラグがセットされますが、結果として生じるカウンタの更新によって、現在時刻が書き戻されます。それにより、カウンタはその中にすでに存在していたものと同じ値で上書きされます。時間の欠落は発生しません。

詳細については、アプリケーションノート AN1572 を参照してください。

9 RTC の初期化

9.1 初回の電源投入における RTC アクセスの最適なシーケンスを教えてくださいそれ以降の電源投入についてもお願いします

デバイスによって異なるため、包括的な回答はこの資料の範囲を超えます。その代わりとして、M41T83/M41T82 に対する例を提供します。

M41T83/M41T82 の初期化およびアクセス

初回の電源投入時には RTC はビナイン状態にあります。アラームと割り込みは無効となっており、ウォッチドッグとタイマーについても同様です。OUT ビットは High であり、周波数テストビット FT は無効となっています。デジタル較正機能とアナログ較正機能はいずれも中性点に設定されています。OTP ビットは 0 にセットされており、工場出荷値に代えてユーザーのアナログ較正レジスタが選択されています。(OTP は、水晶振動子内蔵型パッケージ [MY] の M41T83 のみに適用されます)

方形波出力は有効となっており、32.768 kHz が選択されています。(この設定によって、方形波を基準として使用するデバイスでもユーザの介入を必要とせずに初回の電源投入時から方形波を使用可能となります)

Figure 14: M41T83/M41T82 の電源投入デフォルト値

	IRQ1/FT/OUTピン														
	ST	HT	CB1:CB0	OUT	FT	ウォッチドッグ BM4:BM0, RB1:RB0	OSCエラー		アラーム1			タイマ			
							OFIE	OF	A11E	ABE	RPT15:11	TE	Ti/TP	TIE	TD1:TD0
初回電源投入	0	1	00	1	0	00000000	0	1	0	0	00000	0	0	0	11
バックアップからの電源投入	UC	1	UC	UC	0	00000000	UC	UC	UC	UC	UC	0	UC	UC	UC

	方形波出力				アラーム2			
	デジタル較正 DCS, DC4:DC0	アナログ較正 ACS, AC5:AC0	SQWE	RS3:RS0	OTP	AL2E	A2IE	RPT25:21
初回電源投入	000000	00000000	1	1000	0	0	0	00000
バックアップからの電源投入	UC	UC	UC	UC	UC	UC	UC	UC

クロックレジスタ (時、分、秒、年、月、曜日) は不定です。世紀ビット CB1:CB0 のみ定義されています (00)。

Stop ビット (ST) は電源投入時にクリアされ、32 KHz オシレータが有効化されます。ただし、(初回の電源投入の前には) オシレータが動作していないため、オシレータ故障検出ビット OF がセットされます。

最後に、あらゆる電源投入の場合と同様に、HT ビットがセットされます。

初回電源投入

電源投入時には周辺機能とアラーム機能の大半は有効化されないため、RTC の初期化を急ぐ必要はありません。ここですぐに注意を払う必要があるのは、電源投入時に動作を始める方形波機能のみです。アプリケーションによっては、この機能を無効とするか、周波数を変更することをデフォルト設定とするものもあります。

次に行うべきことは、HT ビットに 0 を書き込んだ後に、日時を設定することです。(別製品の RTC では、流れのこの段階において ST ビットが 1 であれば、0 にクリアする必要があります。)

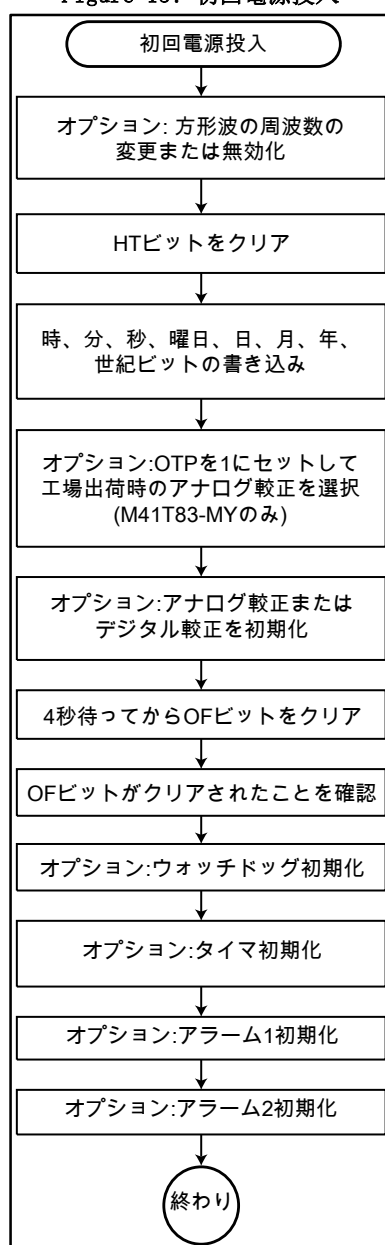
アプリケーションの較正を行うのであれば、次のステップで行います。

次に、OF ビットをクリアします (0 を書き込みます)。このステップを終了するまでに電源投入 (オシレータの起動) から 4 秒経過していなければなりません。較正を行った場合には、それに要した時間を 4 秒から差し引くことができますし、較正に 4 秒以上かかった場合には、それ以上待つ必要はありません。次のステップに進む前に、OF ビットがクリアされたままであることをソフトウェアで確認します。

ここからの数項目はオプションです。ウォッチドッグを使用する場合、ウォッチドッグを更新する命令コードまでソフトウェアがすぐに到達するのであれば、ここでウォッチドッグを開始できます。そうではない場合には、ソフトウェアはメインルーチンの先頭まで待ってウォッチドッグを開始する必要があります。

タイマかアラームを使用する場合には、ここで設定することもできますが、同様にメインルーチンの先頭まで待っても構いません。こうすることで、プロセッサがまだ初期化ルーチンを実行している間に、これらの機能のいずれかがタイムアウト (割り込み) してしまうことを防ぎます。

Figure 15: 初回電源投入



バックアップからの電源投入

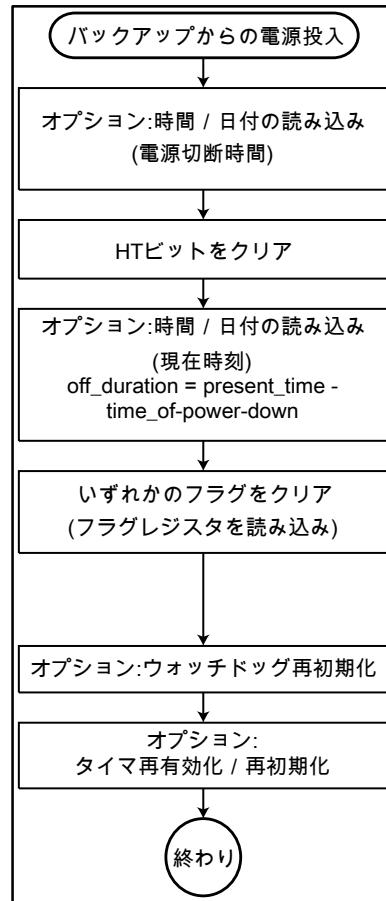
バックアップからの復帰時に最初に行うべきことは、時間の読み込みです。HT ビットがクリアされるまでの間、RTC のバッファ / 転送レジスタには電源が遮断された時刻が格納されています。電源供給が停止していた時間の長さをアプリケーションが必要としている場合には、電源遮断時刻が必要となります。電源停止時間の長さが必要ではない場合には、このステップは飛ばしても構いません。

次のステップで、HT ビットに 0 を書き込んでクリアします。計時レジスタ（アドレスが 0x00～0x07）のいずれかに書き込みを行う前に HT ビットをクリアすることが非常に重要です。そうしないと、RTC カウンタのデータが破壊されることになります。

アプリケーションの流れのこの段階で現在時刻が必要な場合には、時刻を読み出します。HT ビットがクリアされていれば、読み込み操作で現在時刻が読み出されます。

アラームや OF などの RTC の割り込みサービスを使用すると同時に、フラグレジスタをクリアしなければなりません。大半のフラグビットは読み出しでクリアされますが、OF ビットには 0 を書き込む必要があります。また、アラームフラグ (AF1, AF2) およびオシレータ故障フラグ (OF) をクリアすると、それに関連する割り込みもクリアされることに注意してください。

Figure 16: バックアップからの電源投入



ウォッチドッグおよびタイマ

最後になりますが、電源を切断してから投入し直すと、ウォッチドッグとタイマは必ず無効になっています。どちらかをアプリケーションで使用する場合には、再初期化の必要があります。

10 改版履歴

Table 4: 文書改版履歴

日	版	変更内容
2009年11月4日	1	初版リリース
2012年7月17日	2	デバイスの入手可能性に関する文章を更新
2015年8月17日	3	追加 <i>Section 1: “バッテリーの接続と充電保護”</i>

Table 5: 日本語文書改版履歴

日	版	変更内容
2016年01月21日	1	日本語版 初版リリース

重要なご注意 - よくお読みください

STMicroelectronics NV およびその子会社（“ST”）は、ST 製品または本資料、あるいはその両方を随時予告なく変更、訂正、拡張、修正および改良する権利を留保します。購入者は、発注を行う前に ST 製品に関する最新情報を入手する必要があります。ST 製品は、注文確認時点における ST の販売条件に従って販売されます。

ST 製品の選択並びに使用については購入者が全ての責任を負うものとし、応用に関するサポート並びに購入者の製品の設計に関して ST は一切の責任を負いません。

本資料は、明示されているか否かに関わらず、いかなる知的財産権の実施権を ST が許諾するものではありません。

本資料に説明されている情報とは異なる条件で ST 製品が再販された場合、当該製品についての ST による保証はすべて失われるものとします。

ST 及び ST ロゴは ST の登録商標です。その他の製品やサービスの名称はそれぞれの所有者に帰属します。

本資料の情報は、それ以前に本資料のあらゆる旧版の中で提供された情報に優先します。

© 2016 STMicroelectronics - All rights reserved