

< RV-8803-C7 > 高精度リアルタイムクロックモジュールの バックアップ電源について

(原本 / 2015年12月発行 Rev.1.0E)

Rolf Schütz

Product Engineer at Micro Crystal
Grenchen, Schweiz

rolf.schuetz@microcrystal.ch

Markus Hintermann

Technical Marketing / Sales Manager at Micro Crystal
markus.hintermann@microcrystal.ch

(日本語訳発行 / 2023年3月)

(発行元) 株式会社多摩デバイス 営業技術部

〒214-0001 神奈川県川崎市多摩区菅1-4-11

TEL. 044-945-8028

mail : info@tamadevice.co.jp

日本語版の発行に際しては細心の注意を払って作成していますが、
万一オリジナルの英語版と解釈が異なる場合には英語版を正として
ご参照下さい。

目次

1. 概要	3
2. RV-8803-C7 温度補償リアルタイムクロックモジュールについて.....	4
3. スーパーキャパシタ (電気二重層コンデンサ) による電源バックアップ	5
3.1. スーパーキャパシタ (電気二重層コンデンサ) について.....	5
3.1.1. スーパーキャパシタでのテスト.....	6
3.1.2. バックアップ保持時間の計算.....	6
3.1.3. 自己放電について.....	7
3.2. スーパーキャパシタを用いる場合の回路接続例	8
3.3. VDD動作 (通常電源での動作).....	9
3.3.1. 最大突入電流.....	9
3.3.2. 充電電流	9
3.3.3. スーパーキャパシタの内部抵抗	10
3.3.4. チャージ保護抵抗(R1)の計算	11
3.3.5. ショットキーダイオード.....	11
3.4. VBACKUP 動作 (バックアップ電源での動作).....	12
3.4.1. 時刻制度の評価について	13
3.4.2. バックアップ電源の放電特性	14
3.4.3. スーパーキャパシタの放電電流	15
3.4.4. RV-8803-C7の消費電流.....	16
3.4.5. ショットキーダイオードの漏れ電流	16
3.4.6. バックアップ保持時間の計算	17
3.4.7. 周囲温度環境まで加味したバックアップ保持時間.....	18
4. まとめ	20
5. 改訂履歴	21

1. 概要

このホワイトペーパーでは〈RV-8803-C7〉高精度RTCモジュールのバックアップ電源に環境にやさしいスーパーキャパシタ(電気二重層コンデンサ) (*1)を用いる方法について記載しています。

消費電流が非常に低い〈RV-8803-C7〉を用いることでスーパーキャパシタとの組み合わせでも長期間の電源バックアップが可能になります。

この回路接続の場合は〈RV-8803-V7〉とスーパーキャパシタの他にショットキーダイオードと電流制限のための抵抗が各1つ必要とするのみです。

*1) 電気二重層の構造を持った 0.02～数Fの容量のコンデンサ。一般にスーパーキャパシタなどと呼ばれています。

2. RV-8803-C7 温度補償リアルタイムクロックモジュールについて

Micro Crystal の温度補償 RTC モジュール RV-8803-C7 は-40 ~ +85°C の産業機器用の温度範囲全体にて±3ppm 以内の高安定な温度特性です。これは1日あたり最大時差 ±0.26 秒に相当します。消費電流は温度補償動作時の電流も含めた値で 240 nA Typ. (@+3.0V @+25°C) と非常に低い値です。最低動作電圧 +1.5 V~のためバッテリーの保持時間を大幅に延長します。さらに水晶振動子を内蔵しながらわずか 3.2 x 1.5 x 0.8 mm という超小型で信頼性の高いSMDセラミックパッケージを採用しています。

このデバイスは正確なタイミングが必要な幅広いアプリケーションで使用でき、システムの主電源がオフになっている間でも使用できます。

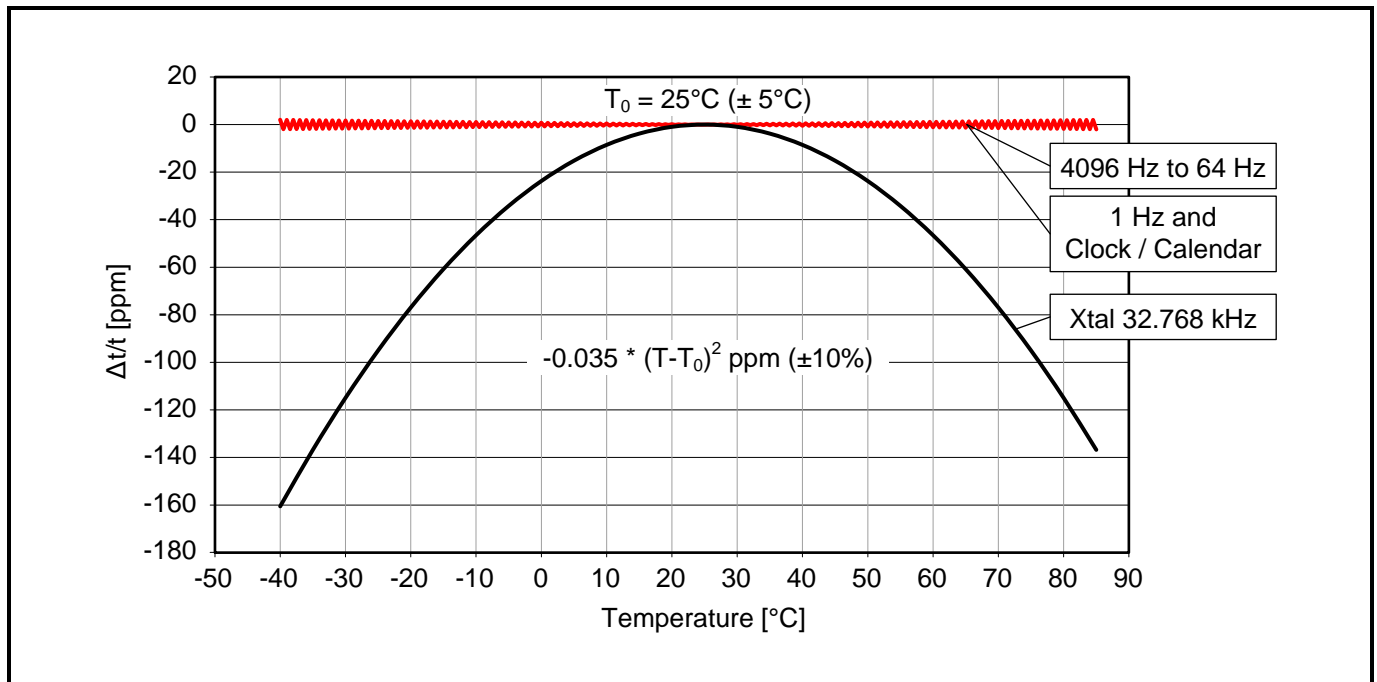
アプリケーションの例:

- ポータブル・メディカルデバイス
- 車載機器
- POSターミナル
- 電気・ガス・水道メータ
- 組み込み機器
- データロガー
- 白物家電

〈RV-8803-C7〉 RTVCモジュールの特徴 :

- 超小型SMDセラミックパッケージ : 3.2 x 1.5 x 0.8 mm
- 業界トップの温度特性 : ±3.0ppm以内 (@-40~+85°C)
- 幅広い動作電圧 : 1.5 to 5.5 V
- 低消費電流 : 240 nA Typ./ @3 V @+25°C
- インターフェース : I²C-bus
- AEC-Q200 認証

・周囲温度と温度特性のグラフ (1Hz及び時刻精度が温度補償されます)



3. スーパーキャパシタ（電気二重層コンデンサ）による電源バックアップ

スーパーキャパシタ（電気二重層コンデンサ）はバッテリーとして一定の十分な容量があり、RTCのに充電式のバッテリーとしてよく用いられるソリューションです。

3.1. スーパーキャパシタ（電気二重層コンデンサ）について

※注意点: スーパーキャパシタには極性があります。方向性にご注意ください。

特徴:

- 0.022 F ~ 70 F (以上)と幅広い容量
- 並列または直列に接続して容量や電圧を増加することも可能
- 公称電圧 5.5 V
- 温度範囲 ~85°C
- リフローはんだ付けまたはウェーブはんだ付けが可能
- SMDチップタイプ、コインセル、積層コインセル、リードタイプなどの形状

優位性:

- 充電池からの置き換えとして理想的
- 充電及び放電の早さ
- 充放電サイクルの制限がない
- 液漏れやアウトガスのリスクがない
- 環境にやさしいRoHS適合品、通常廃棄物として処理できる
- 充電時の保護対策が不要
- 氷点下などの低温度でも動作し特性の劣化が無い
- メンテナンスフリー

短所:

- 放電時の電圧降下が一定の場合（電流値が一定の場合）には充電圧を全て使用しきれない

スーパーキャパシタと電池との比較

	スーパーキャパシタ	電池
環境へのやさしさ	◎	×
充放電サイクルの回数	制限無し	制限あり
温度範囲	広い温度範囲で使用可能	制限あり
容量値	○	◎

3.1.1. スーパーキャパシタの評価

スーパーキャパシタを選択する際には漏れ電流の少ないものをご使用ください。高電流アプリケーション向けのものは漏れ電流が大きいため避けて下さい。

Panasonic社のゴールドキャパシタ(電気二重層コンデンサ)を比較しました。

- 0.1 F EECS0HD104H (5.5 V, Series SD)
- 0.47 F EECS5R5H474 (5.5 V, Series SG)
- 1.0 F EECS5R5V105 (5.5 V, Series SG)

※ホワイトペーパー作成時の型番でいずれの型番も現在は生産中止となっています。以降も最新の相当品型番に置き換えてご参照ください。下表の“コスト”は当時(2015年時点)での目安です。

温度範囲	最大電圧	容量値	容量誤差	R_{ESR} @ 1kHz	Typ. R_{ISO} @ +25° C	パッケージ	サイズ (L x B x H)	コスト(USD) (25+)
-25° C to 70° C	5.5 V	0.1 F	0.080 to 0.180 F	≤ 75 Ω	32 MΩ	ヨコ型	11.5 x 10.5 x 5.5	1.30
		0.47 F	0.376 to 1.41 F	≤ 30 Ω	24 MΩ	ヨコ型	20.5 x 19.5 x 6.5	1.99
		1.0 F	0.80 to 1.80 F	≤ 30 Ω	13 MΩ	タテ型	19.0 x 5.5 x 21.0	2.01

(*) コンデンサの容量誤差は通常 -20%/+80%ですが上表の 0.47F-のものは-20~+300%の仕様となっています。

低温時の仕様

- @-25°C時の容量値：公称値 ±30% (@+20°Cの値に対して)
- @-25°C時の内部抵抗(R_{ESR})：公称値 ≤5x (@+20°Cの値に対して)

1000時間/+5V/+70°Cで動作後：

- 容量変化：±30%
- 内部抵抗(R_{ESR}) 変化：≤ 4x larger

1000時間/+70°Cでの非動作放置後：

- 容量値は仕様値を満たすこと

3.1.2. 寿命計算

アレニウスの法則(10°C 2倍則)を用いての考察：

$$L_x = L_{Spec} * 2^{\frac{T_0 - T_A}{10}}$$

(例) @+30°C/+5.0V で動作させた場合の推定寿命：

$$L_{30} = 1000 * 2^{\frac{70 - 30}{10}} = 16'000 \text{ hours}$$

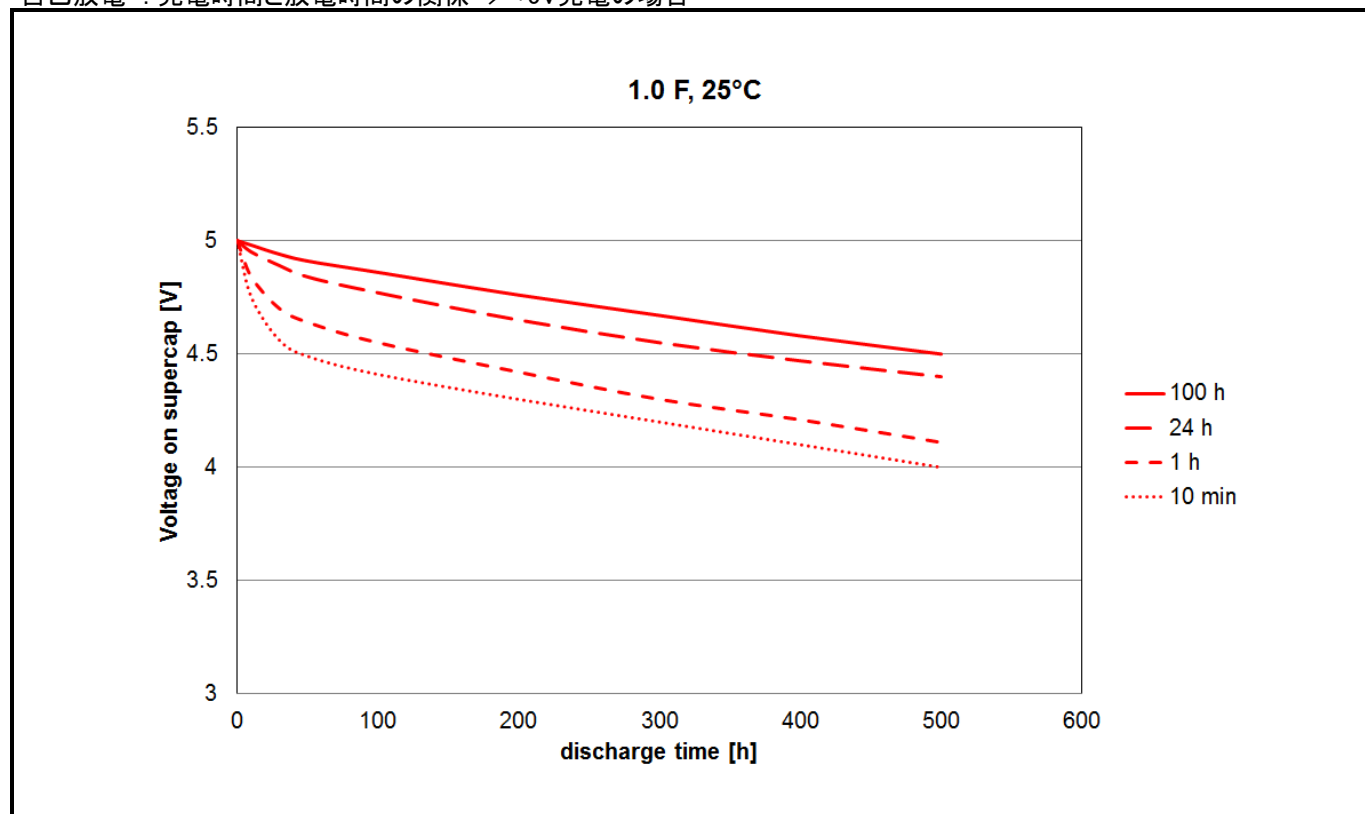
$$\rightarrow 16'000 \text{ h} * \frac{1 \text{ day}}{24 \text{ h}} = \underline{\underline{667 \text{ days}^{(*1)}}}$$

項目	備考
L_{Spec} = 仕様で定められた製品寿命	1000 h at 5.5 V, +70° C ^(*2)
L_x = Life time target	
T_0 = Max ambient temperature	+70°C
T_A = Ambient temperature of capacitor	
(*2) より低い電圧では寿命時間が長くなります: (3000 h at 4 V@+70° C)	

3.1.3. 自己放電について

充電時間が短い場合（例えば10分間など）、スーパーキャパシタは内部抵抗及び漏れ電流の影響で完全には充電されません。そのため初期の電圧降下が大きくなります。

自己放電：充電時間と放電時間の関係 / +5V充電の場合



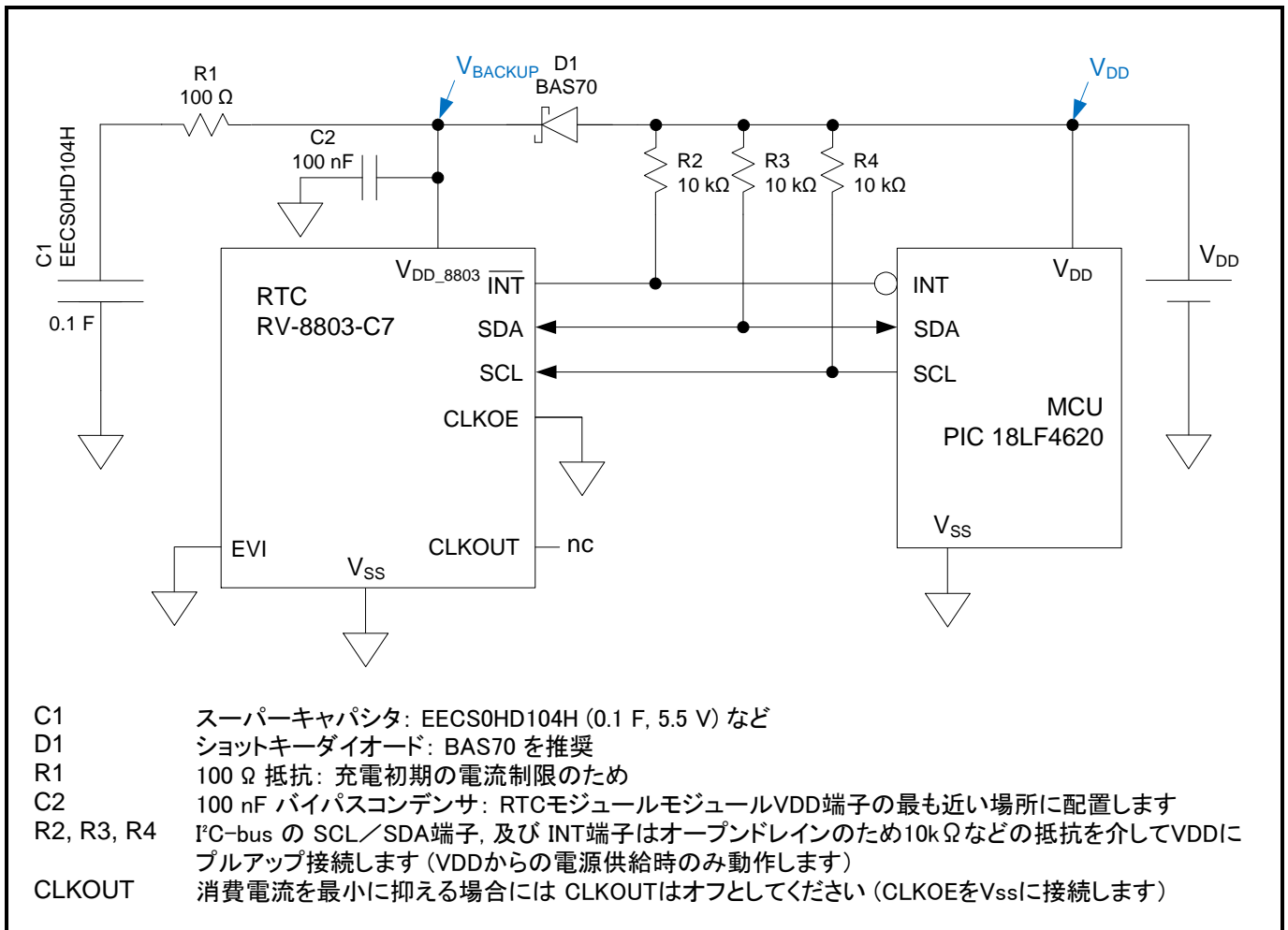
*) 参照元資料：パナソニック社 “Gold Capacitors ABC0000PE103_TechnGuide_Oct 1st 2014”

3.2. 回路接続例

VDD電圧動作の間はC1のスーパーキャパシタはD1のショットキーダイオードを介して充電されます。この間は MCUからI²C インターフェース (SCL, SDA) 及び割り込み信号出力にアクセスできます。

VDD電圧が0Vになりバックアップ電源動作の間は C1キャパシタの電源のみ電圧が供給されます。この間は MCUは電源オフとなっているため I²Cインターフェース (SCL, SDA) 及び割り込み信号出力にはアクセスできません。RTCモジュール (RV-8803-C7) はバックアップ電圧が+1.5V以上である限り完全に動作します。よりバックアップ保持時間を長くするためには CLKOUT出力をオフにする必要があります (CLKOE=0Vとする)。電力消費はRTCモジュールの動作電流及び C1, D1の漏れ電流のみとなります。VDD電圧が復帰した場合は 即座にI²Cインターフェース (SCL, SDA) 及び割り込み信号出力にアクセスでき、かつC1キャパシタへの充電が始まります。

RV-8803-C7 をスーパーキャパシタ で電源バックアップする場合の回路接続例:



3.3. VDD電源供給時の動作

RTCモジュール／RV-8803-C7の入出力電圧と前ページ図の**Vbackup**電圧の間の電圧差は『0.3V以内』である必要があります。そのためショットキーダイオードは V_F 電圧が 0.3 V以下／at 200 μ A／25°C のものを使用する必要があります。

3.3.1. 最大突入電流

スーパーキャパシタはドロップ抵抗を必要としていません。電流値はコンデンサの内部抵抗(R_{ESR})によって制限されます。キャパシタの内部抵抗(R_{ESR})に最大電流の流れる条件 (I_{C1max} : ワorstケース) は :電圧最大/ $V_{DD}=5.5V$ 、最大温度=70°C の場合です。前頁図のR1 を使用した場合はさらに突入電流($I_{C1max}(R_{ESR} + R1)$)を制限することができます。

制限抵抗 R1は以下の理由で必要になる場合があります :

- ショットキーダイオードの保護: BAS70 (D1) ショットキーダイオードの順方向電流 (I_{Fmax}) =70 mA
- VDD電源のDC/DCコンバーターまたはレギュレーターに十分な電流容量がない場合

3.3.2. スーパーキャパシタへの充電電流

充電電圧は**Vbackup**の最大電圧とショットキーダイオードのVF電圧によります。充電電流は理想的なコンデンサの充電電流とスーパーキャパシタの絶縁抵抗(R_{ISO}) に流れる漏れ電流の合計になります。25°C環境で 0.1F のスーパーキャパシタを24時間充電した後の充電電流 (I_{C1}) は『0.9 μ A』程度、その時の BAS70 ショットキーダイオードの VF電圧は『0.2V程度』になります。

・長期充電後充電電流 (I_{C1}) の目安 ($V_{DD}=5.5 V$ / @20°Cの環境の条件にて)

C1	充電電流 (I_{C1})	
	24時間後	100時間後
0.1 F	0.9 μ A	0.3 μ A
0.47 F	1.8 μ A	0.5 μ A
1.0 F	3 μ A	0.8 μ A

3.3.3. スーパーキャパシタの内部抵抗

スーパーキャパシタの内部抵抗は以下に影響します

- 突入電流
- 充電時間及び放電時間
- Vbackup動作時の電圧ドロップ

最大の突入電流の見積りは、新しい(経年劣化していない)スーパーキャパシタの内部抵抗の最小値をもとに行います。キャパシタのサプライヤは 1kHzでのESR値(等価直列抵抗値)を定義しています。

内部抵抗 (R_{ESR}) の最小値:

C1	R_{ESR}		
	$T_A = -20^\circ\text{C}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$T_A = +70^\circ\text{C}$
0.1 F	110 Ω	30 Ω	25 Ω
0.47 F	40 Ω	10 Ω	9 Ω
1.0 F	40 Ω	10 Ω	9 Ω

参照元資料: パナソニック “Gold Capacitors ABC0000PE103_TechGuide_Oct 1st 2014”

VDD電源が印加されてからのスーパーキャパシタの最長充電時間を見積もる場合は、キャパシタの内部DC抵抗($R_{DC} \approx R_{ESR}$)と直列に接続されているR1抵抗の値を考慮します。最短の放電時間についてはVbackupが短絡した場合になるため重要ではなくここでは触れません。

$$\text{時定数 } T : T = (R_{DC} + R1) * C1$$

最長充電時間 (Tを係数として)

C1	R_{DC}	R1	$t = T$ ($V_{BACKUP} \approx 63\%$)	$t = 5 * T$ ($V_{BACKUP} > 99\%$)
0.1 F	75 Ω	100 Ω	18 秒	88 秒
0.47 F	30 Ω	100 Ω	61 秒	306 秒
1.0 F	30 Ω	100 Ω	130 秒	650 秒

スーパーキャパシタの最大電圧降下はVbackup動作時のキャパシタの内部抵抗とR1制限抵抗に依存します。最大動作電流と最大内部抵抗($R_{DC} \approx R_{ESR}$)、RTCモジュールの最大電流($I_{DD_8803max}$)、そしてショットキーダイオードの最大漏れ電流(I_{D1_Lmax})が関連します。

最大電圧降下 V_{C1max} :

$$V_{C1max} = (I_{max}) * (R_{DCmax} + R1)$$

$$V_{C1max} = (I_{DD_8803max} + I_{D1_Lmax}) * (R_{DCmax} + R1)$$

• C1 = 0.1 F の場合:

$$V_{C1max} = (350 \text{ nA} + 110 \text{ nA}) * (75 \Omega + 100 \Omega) = \underline{\underline{0.08 \text{ mV}}}$$

• C1 = 0.47 F and 1.0 F の場合:

$$V_{C1max} = (350 \text{ nA} + 110 \text{ nA}) * (30 \Omega + 100 \Omega) = \underline{\underline{0.06 \text{ mV}}}$$

このことから最大電圧降下 (V_{C1max}) は無視できるレベルであることがわかります。そのため以降の計算では値に含めずに進めます ($V_{C1} = 0 \text{ V}$ とします)。

3.3.4. R1 制限抵抗値の算出

ワーストケース : $V_{DD} = 5.5 \text{ V}$, $T_A = 70^\circ\text{C}$

ショットキーダイオード BAS70 : At $I_{F\max} = 70 \text{ mA}$ / $T_A = 70^\circ\text{C}$: $V_F = 0.9 \text{ V}$

→ ∴ 最大突入電流 : $I_{C1\max} = 70 \text{ mA}$

$$I_{C1\max} = \frac{V_{DD} - V_F}{R_{ESR} + R_1}$$

必要となる制限抵抗の値 R1:

$$R_1 = \frac{V_{DD} - V_F}{I_{C1\max}} - R_{ESR}$$

EECS0HD104H (0.1 F, 5.5 V, Series SD)の場合:

$$R_1 = \frac{5.5 \text{ V} - 0.9 \text{ V}}{70 \text{ mA}} - 25 \Omega = 41 \Omega$$

R1 の値 = 100 Ω

EECS5R5H474 (0.47 F, 5.5V, Series SG) and EECS5R5V105 (1.0 F, 5.5 V, Series SG) の場合:

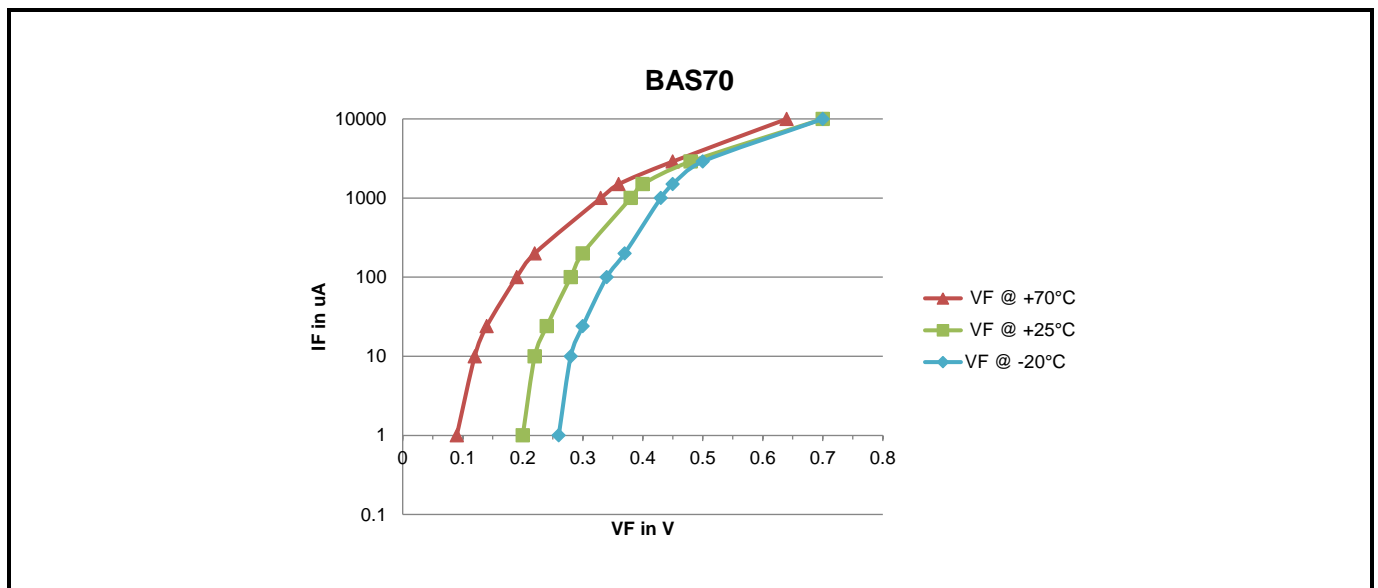
$$R_1 = \frac{5.5 \text{ V} - 0.9 \text{ V}}{70 \text{ mA}} - 9 \Omega = 57 \Omega$$

R1 の値 = 100 Ω

3.3.5. ショットキーダイオードについて

BAS70 は漏れ電流が非常に小さく、かつVF電圧が非常に小さいショットキーダイオードです。0.1Fスーパーキャパシタの充電電流が24時間後に $0.9 \mu\text{A}$ に低下した場合の VF電圧は0.2Vまで少なくなります。

BAS70 ショットキーダイオードの V_F 電圧 と I_F 電流の関係:



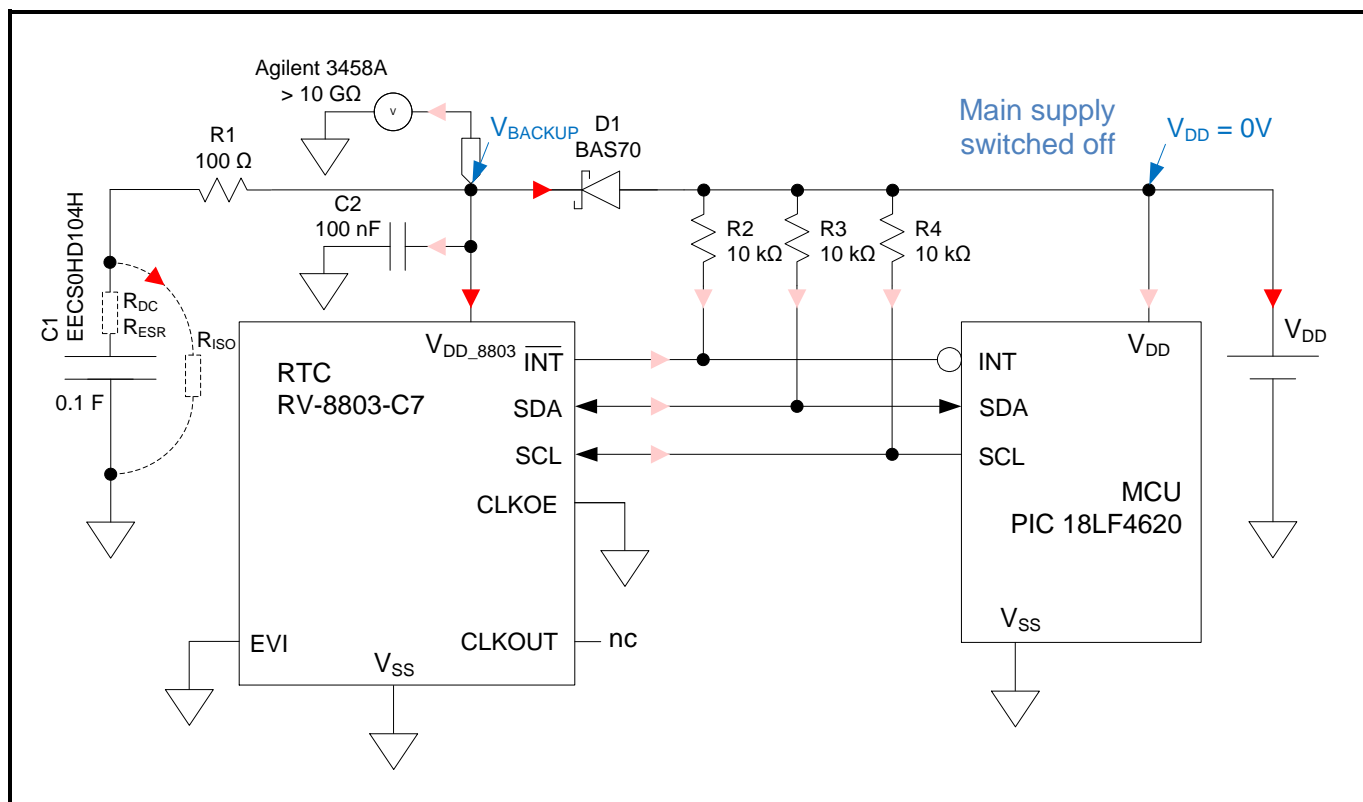
3.4. V_{BACKUP}動作について

V_{DD}がスイッチオフ（0Vになる）と即座にスーパーキャパシタが引き続きRTCモジュール(RV-8803-C7)へ電源を供給します。電源切り替わり直後の電圧は直前の電圧をショットキーダイオードのV_F電圧により決まります。しかしV_{backup}電圧はスーパーキャパシタの充電レベルと周囲温度にも依存します。

V_{backup}での動作中はスーパーキャパシタの放電は次の3つの電流値の合計によって決まります：RTCモジュール(RV-8803-C7)の消費電流とコンデンサ自身のリーク電流、そしてショットキーダイオードのリーク電流です。

電圧降下をモニタリングする場合には アジレント(現キーサイト)の3458Aなどハイインピーダンスのマルチメーターのご使用をお勧めします。3458Aは 10Vレンジの測定時には10GΩ以上の内部抵抗があります。この場合、測定による漏れ電流は +5.5V時に0.55nA未満となり無視出来る値になります。

V_{BACKUP} 動作時:



3.4.1. 時刻精度の評価

RTCモジュールの時刻精度の正確な検証はVbackup動作時(時刻保持モード)は上記の回路ではテスト出来ません。I²C通信と割り込み信号をアクティブにするためにVDD電源をオンにする必要があります。

手順:

1. V_{DD}動作時:
 - a. スーパーキャパシタを充電
 - b. アジレント(現:キーサイト) 3458A (>10 GΩ) にて Vbackupの測定を開始。VEEプロソフトウェアなどでモニタリングしデータを記録します。
 - c. I²C-bus 経由でRTCモジュールの設定をすべて初期化(時刻,年月日、およびすべてのフラグを0に)
2. V_{DD} をスイッチオフします:
 - a. 自動的に Vbackup動作に入ります
3. Vbackup 電圧が 1.5V以下だった場合:
 - a. VDDの電源を再度オンにします。
 - b. I²C-bus経由でRTCモジュールの時刻及び F1V及び F2V のフラグを読み込みます。
 - c. もし F1V 及び F2V のフラグが0のままだった場合は, RTCモジュールはVbackup動作時も正常に動作していたことを示しています。その時の RTCの時刻をリファレンス時刻と比較出来ます。

ヒント:

以下の方法ではバックアップ時間の測定への影響を最小限にしながらRTCモジュールの時刻精度を確認できます。

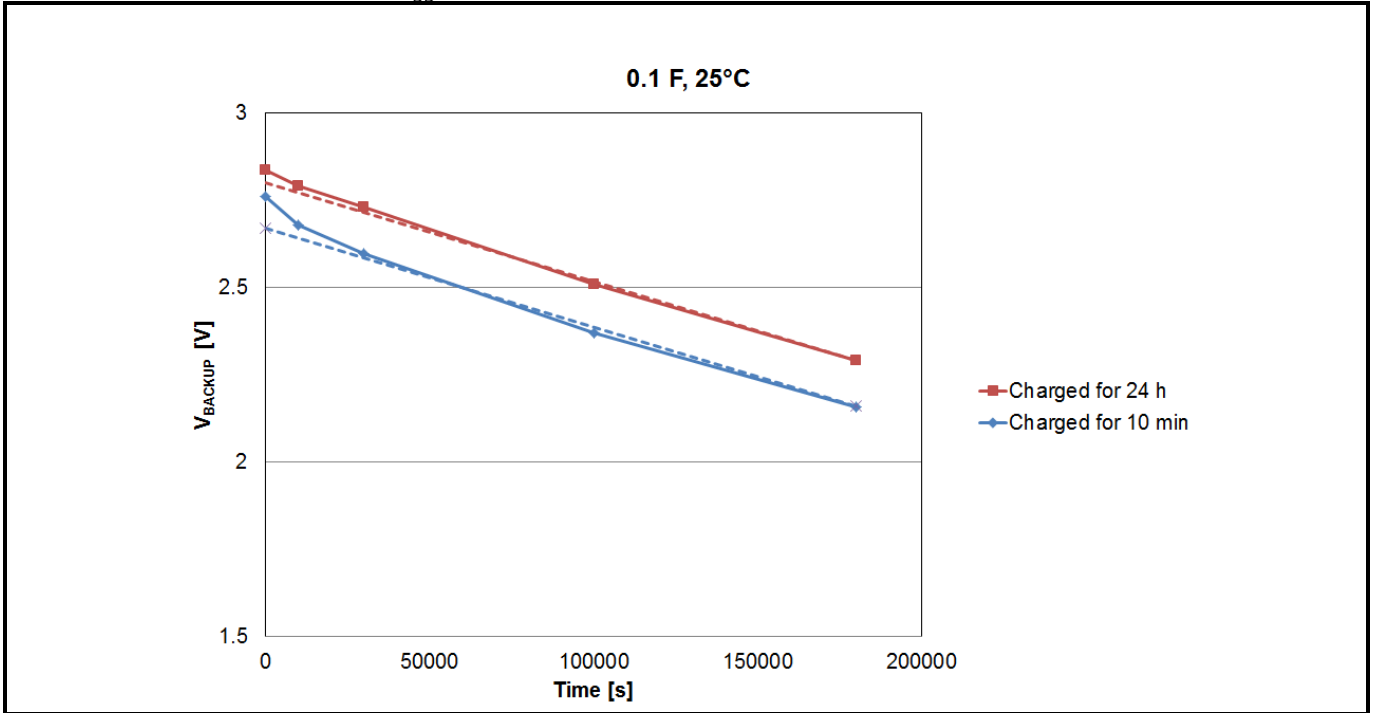
1. プルアップ抵抗 R2 を 100 kΩ に増やし、それを RTCのINT端子とショットキー ダイオードのカソードの間に接続します (VBACKUP にプルアップ)。
2. INT端子からMCUへの接続をカットします (MCUの入インピーダンスは25kΩしかないため)。
3. 1分ごとの時刻更新割り込み信号を設定します (パルス幅は15.6 msです)。
4. HIP101 (入インピーダンス: 10¹²Ω 入力容量: 0.1 pF typ. 0.3 pA, max. 1 pA) などの入インピーダンスプローブを用いて割り込み信号のパルスをタイマーやカウンタで測定します。

この測定では測定による追加される電流は平均で $V_{\text{BACKUP}} = 3 \text{ V} @ 25^\circ \text{ C}$ の場合でわずか $\sim 9 \text{ nA}$ のみに抑えられます。(RTCのINT端子の15.6msのパルスからの漏れ電流分)。

3.4.2. V_{BACKUP} 放電特性

8ページ目の回路接続例にて V_{BACKUP} 時のスーパーキャパシタの放電特性を測定した値を示します。

・ V_{BACKUP} 時のスーパーキャパシタの放電特性
 (容量:0.1F 温度:25°C, 充電条件 $V_{DD} = 3.0$ V, 充電時間:10分と24時間)



長時間(24時間)の充電時間後は充電電流はとても小さくなり $1 \mu A$ 程度になります ($C1$ コンデンサの容量と V_{DD} 電圧に依存します)。ショットキーダイオードを通じての V_F 電圧は小さくなります。

短時間(10分間)の充電時間後の場合は スーパーキャパシタは十分に充電されておらず (二重層コンデンサ構造の不均一性) 非常に大きな充電電流がショットキー ダイオードを流れています (最大で数 mA)。 V_F 電圧の増加と $C1$ スーパーキャパシタの充電不足分は式の定数項で置き換えることができます。順方向電圧 V_F に加えて補正電圧 V_K を V_{DD} から差し引く必要があります。

V_{BACKUP} -動作時の開始直後の電圧値 : $V_0 = V_{DD} - V_F - V_K$

充電時間中の順方向電圧 V_F :

充電時間	V_F 電圧		
	$T_A = -20^\circ C$	$T_A = +25^\circ C$	$T_A = +70^\circ C$
24 時間	0.25 V	0.2 V	0.1 V
10 分			

充電時間中の補正電圧 V_K :

充電時間	V_K
24時間	0 V
10分間	0.13 V

3.4.3. スーパーキャパシタのリーク電流

スーパーキャパシタの絶縁抵抗 (R_{ISO}) を把握しておくことは有用です。これによりV_{BACKUP}時の平均リーク電流 (I_{C1,L})を計算することができます。絶縁抵抗 (R_{ISO}) は周囲温度により増減します。この値はサプライヤーが指定した放電特性を利用するか、またはベンチテストされたパラメーターに基づいて計算できます：

$$R_{ISO} = \frac{t_2 - t_1}{C1 * \ln\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}$$

電圧放電特性の測定値を利用した手順:

1. C1の容量値を一定電流(I_{CONST}) (1 mA/F 基準として) で放電することで確認します :

$$C1 = I_{CONST} * \frac{t_2 - t_1}{U_1 - U_2}$$

2. 放電特性データの取得 (無負荷)
3. 絶縁抵抗を計算 R_{ISO}

平均漏れ電流 (I_{C1,L}) は絶縁抵抗(R_{ISO}) 及び 平均V_{backup}電圧から計算できます(∅V_{BACKUP} = (V₀ + V₁) / 2)

$$I_{C1,L} = \frac{\emptyset V_{BACKUP}}{R_{ISO}}$$

算出例:

充電条件:

- T_A = +25° C
- V_{C1} = 5 V, 24時間 C1 = 0.1 F,
- t₁ = 0 s, t₂ = 100 hours = 360'000 s, U₁ = 5 V, U₂ = 4.47 V:

$$R_{ISO} = - \frac{360'000 \text{ s} - 0 \text{ s}}{0.1 \text{ F} * \ln\left(\frac{4.47 \text{ V}}{5 \text{ V}}\right)} = 32'129 \text{ k}\Omega$$

The average leakage current is calculated for the average back up voltage

$$\emptyset V_{BACKUP} = (2.8 \text{ V} + 1.5 \text{ V}) / 2 = 2.15 \text{ V}:$$

$$I_{C1,L} = \frac{2.15 \text{ V}}{32'129 \text{ k}\Omega} = \underline{\underline{67 \text{ nA}}}$$

スーパーキャパシタの絶縁抵抗 R_{ISO}:

充電条件	C1	スーパーキャパシタの絶縁抵抗 (R _{ISO})		
		T _A = -20°C	T _A = +25°C	T _A = +70°C
V _{C1} = 5 V, 24 hours	0.1 F	178'000 kΩ (*)	32'100 kΩ	4'310 kΩ
	0.47 F	133'084 kΩ (*)	24'000 kΩ (*)	3'222 kΩ (*)
	1.0 F	74'305 kΩ (*)	13'400 kΩ	1'799 kΩ (*)

参照資料: パナソニック “Gold Capacitors ABC0000PE103_TechGuide_Oct 1st 2014” (*)
*不足していた値はグラフから読み取り等で補っています。

V_{backup}平均電圧値(∅V_{BACKUP})が異なる場合の平均リーク電流 (I_{C1,L}) :

V _{backup} 平均電圧	C1	平均リーク電流 (I _{C1,L})		
		T _A = -20°C	T _A = +25°C	T _A = +70°C
(2.8 V + 1.5 V) / 2 = 2.15 V (V _{DD} = 3.0 V, 24 hours)	0.1 F	12 nA	67 nA	499 nA
	0.47 F	16 nA	90 nA	667 nA
	1.0 F	29 nA	160 nA	1195 nA
(5.3 V + 1.5 V) / 2 = 3.4 V (V _{DD} = 5.5 V, 24 hours)	0.1 F	19 nA	106 nA	789 nA
	0.47 F	26 nA	142 nA	1055 nA
	1.0 F	46 nA	254 nA	1890 nA

3.4.4. RV-8803-C7 の消費電流

(参考)RTCモジュール RV-8803-C7は1秒に一回温度測定を行っています。
1秒の間で1.3msの間、温度センサの動作電流 ($I_{DD_8803_PULS}$) が発生します(19 μ A)。正確な消費電流測定のためには1秒間の電流値を積分する必要があります。

RTCモジュール RV-8803-C7 の消費電流の代表値(I_{DD_8803}) :

$\emptyset V_{BACKUP}$	I_{DD_8803}		
	$T_A = -20^\circ\text{C}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$T_A = +70^\circ\text{C}$
1.5 V	195 nA	235 nA	330 nA
2.15 V	200 nA	240 nA	335 nA
3 V	200 nA	240 nA	345 nA
3.4 V	200 nA	245 nA	350 nA
5.5 V	210 nA	250 nA	360 nA

3.4.5. ショットキーダイオードのリーク電流

ショットキーダイオード BAS70 のリーク電流代表値(I_{D1L}) :

$\emptyset V_{BACKUP}$	I_{D1L}		
	$T_A = -20^\circ\text{C}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$T_A = +70^\circ\text{C}$
2.15 V	0.03 nA	1.3 nA	47 nA
3.4 V	0.05 nA	2 nA	75 nA
5 V	0.07 nA	3 nA	110 nA

3.4.6. バックアップ保持時間の計算

スーパーキャパシタの放電時間を計算するための標準的な式は、一定の電流が適用されることを前提としています。電流値の合計は、RTCモジュールの動作電流値にショットキーダイオード及びスーパーキャパシタのリーク電流を加えたものになります。また V_{backup} 時の平均電圧は $\varnothing V_{\text{BACKUP}} = (V_1 + V_0)/2$ になります。

算出例：

スーパーキャパシタ〈C1〉 = 0.1 F (EECS0HD104H), $V_{\text{DD}} = 3.0 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 24時間充電後の条件として .

$$t = \frac{C_1 * (V_0 - V_1 - V_{C1})}{I}$$

$$t = \frac{C_1 * (V_{\text{DD}} - V_F - V_K - V_1 - V_{C1})}{I_{C1_L} + I_{\text{DD_8803}} + I_{D1_L}}$$

$$t = \frac{0.1 \text{ F} * (3.0 \text{ V} - 0.2 \text{ V} - 0 \text{ V} - 1.5 \text{ V} - 0 \text{ V})}{67 \text{ nA} + 240 \text{ nA} + 1.3 \text{ nA}} = \frac{421'711 \text{ 秒}}{67 \text{ nA} + 240 \text{ nA} + 1.3 \text{ nA}}$$

$$= 117 \text{ 時間}$$

$$= 4.9 \text{ 日}$$

パラメータ	内容／算出例の値
t = バックアップ保持時間 (単位:秒), 目的とする算出値	
C1 = 容量値 (単位:F)	C1 = 0.1 F
T _A = 周囲温度	T _A = 25°C
V _{DD} = 主電源電圧	V _{DD} = 3.0 V
V ₀ = バックアップ開始電圧, V _{BACKUP} = V ₀	V ₀ = V _{DD} - V _F - V _K
V _F = ショットキーダイオードのV _F 電圧	
V _K = 電圧補正值	24時間充電後の場合は V _K = 0 V
V ₁ = バックアップ時間終了時の電圧, V _{BACKUP} = V ₁	V ₁ = 1.5 V (RV-8803-C7 の最低動作電圧)
V _{C1} = コンデンサ内部抵抗及び電流制限抵抗 R1による電圧ドロップ: R _{DC} (ca. R _{ESR}) (無視してよい値)	V _{C1} = (I _{DD_8803} + I _{D1_L}) * (R _{DC} + R1) → V _{C1} = 0 V
∅V _{BACKUP} = V _{backup} 時の平均電圧 (単位:V)	∅V _{BACKUP} = (V ₀ + V ₁)/2 (電流値の算出に使用)
I = 平均放電電流 (単位:A)	I = I _{C1_L} + I _{DD_8803} + I _{D1_L}
I _{C1_L} = スーパーキャパシタの平均リーク電流	I _{C1_L} = ∅V _{BACKUP} / R _{ISO}
I _{DD_8803} = RTCモジュール RV-8803-C7 の平均消費電流	
I _{D1_L} = ショットキーダイオードの平均リーク電流	

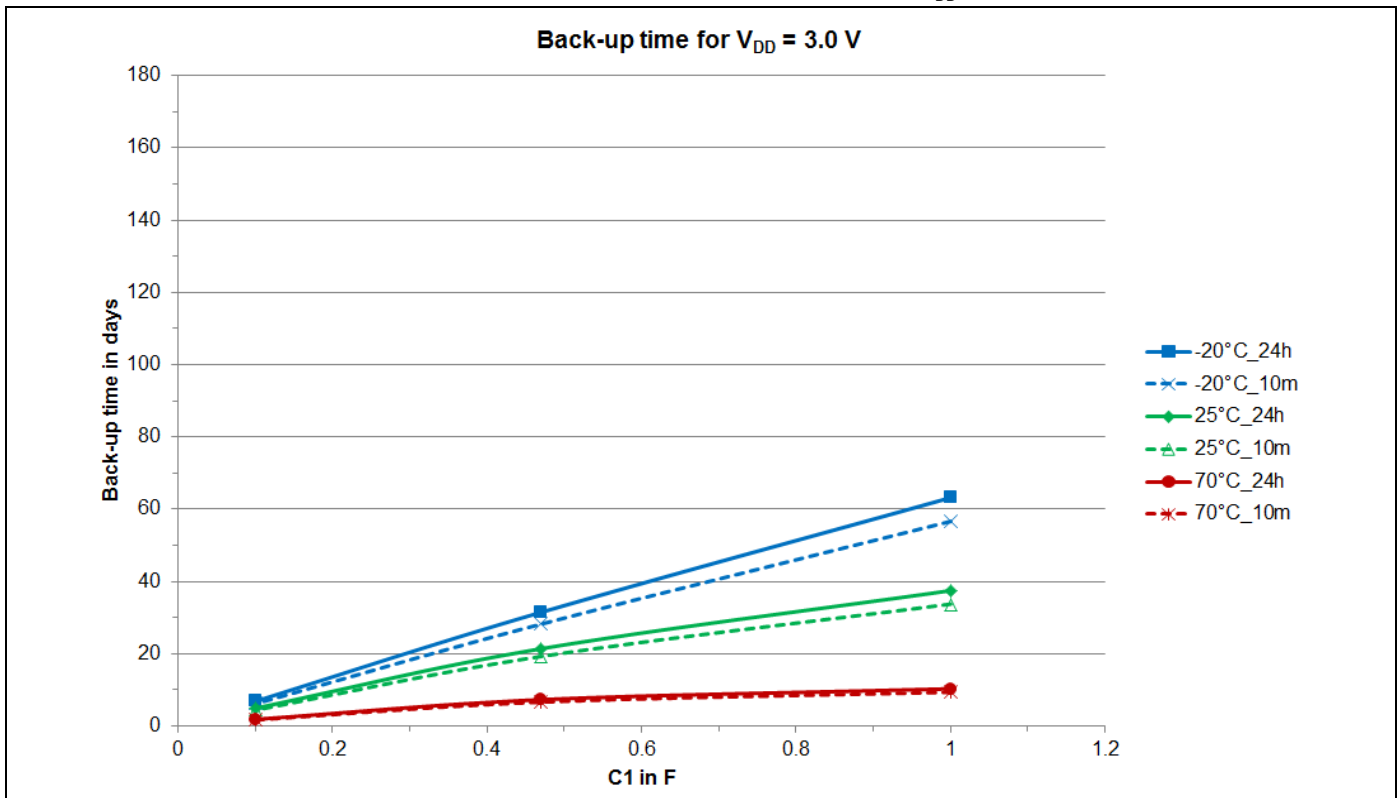
3.4.7. バックアップ保持時間の条件による違い

スーパーキャパシタの容量: C1 (0.1 F / 0.47 F / 1 F)、スーパーキャパシタの充電時間 (10 分または 24 時間)、周囲温度 (-20°C、25°C、70°C)、および動作電圧 V_{DD} (3.0 V、5.5 V)の違いでのバックアップ時間の違いを示します。

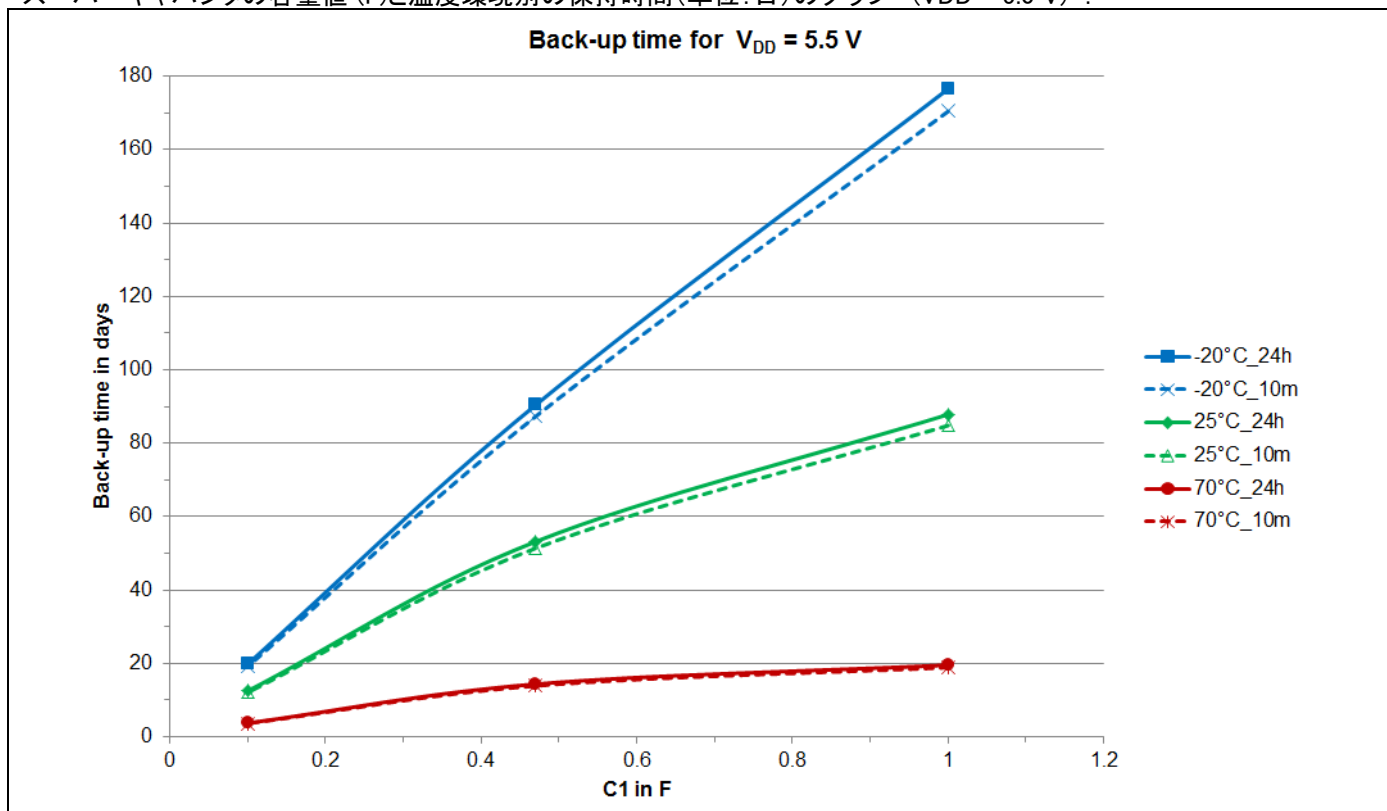
バックアップ保持時間 (単位: 日):

T _A	C1	V _{DD} = 3.0 V		V _{DD} = 5.5 V	
		10分間充電	24時間充電	10分間充電	24時間充電
-20°C	1.0 F	57	63	170	177
	0.47 F	28	31	87	90
	0.1 F	6.1	6.8	19	20
+25°C	1.0 F	34	37	85	88
	0.47 F	19	21	51	53
	0.1 F	4.4	4.9	12	12
+70°C	1.0 F	9	10	19	20
	0.47 F	6.6	7.3	14	14
	0.1 F	1.7	1.8	3.6	3.7

スーパーキャパシタの容量値 (F)と温度環境別の保持時間(単位: 日)のグラフ (V_{DD} = 3.0 V) :



スーパーキャパシタの容量値 (F)と温度環境別の保持時間(単位:日)のグラフ (V_{DD} = 5.0 V) :



4. まとめ

マイクロ クリスタル RTC モジュール RV-8803-C7 の非常に低い電力消費により、業界で初めて、ユーザーフレンドリーなスーパーキャパシタをバックアップ電源として実装できるようになりました。

このホワイトペーパーで提案されたソリューションを実装することにより得られるバックアップ時間の延長は、様々なアプリケーションにとって非常に有益です。主な要因:リーク電流、周囲温度、および電圧範囲の影響を定量化できるため、適切なサイズのスーパーキャパシタを選択することで、利用可能な電力バックアップの必要な最小時間を決定できます。

このホワイトペーパーで説明するすべてのテストと測定は、実際のハードウェアを使用して実施されました。目的は、様々な漏れ電流を特定し、選択したコンデンサのサイズに対して計算されたバックアップ時間が実際の結果と一致することを確認することでした。

最小限の基板専有面積で、BOM への影響が少ない低コスト RTCバックアップ電源のソリューションは、スーパーキャパシタ、ショットキー ダイオード、および Micro Crystal 製の RTC モジュール RV-8803-C7 を使用するだけで簡単にデザインインすることができます。

5. 改訂履歴

Date	Version #	Changes
Juni 2015	0.90	Erster Entwurf in English
Juni 2015	0.91	Geändert Wort Anwender Entfernt Kapazitätsbereich Ergänzt erste Schaltung Ergänzt IC1_Lmax und IDD_8803max Ergänzt Schottky BAS70 Vereinfacht zweite Schaltung Separiert Beispiel Leckstrom des Superkondensators Ergänzt Stromverbrauch RV-8803-C7 Vereinfacht Berechnung der Backup-Zeit Vereinfacht Backup-Zeiten
August 2015	0.92	Geändert, „der RTC“ zu „die Echtzeituhr“ und „das RTC-Modul“ Kleine Änderungen in Satzstellungen
September 2015	0.93	Hinzugefügt: Autor Kleine Textänderungen Ergänzt Verwendete Superkondensatoren Ergänzt Überwachung der RTC-Zeit mit abgeänderter Schaltung Geändert Darstellung der Backup-Zeiten (neu: 3.0 V / 5.5 V)
December 2015	1.0E	英語版をリリース

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, Micro Crystal assumes no responsibility for the consequences of the use of such information or for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. In accordance with our policy of continuous development and improvement, Micro Crystal reserves the right to modify specifications mentioned in this publication without prior notice. This product is not authorized for use as critical component in life support devices or systems.

掲載情報の正確さには慎重を期していますが、MicroCrystalは提供した情報をご使用された結果、またはそのご使用に起因する可能性のある第三者の特許またはその他の権利の侵害についての一切の責任を負いません。MicroCrystalは、継続的な開発と改善のポリシーに従って、予告なしにこの出版物に記載されている仕様を変更する場合があります。この製品は、生命維持装置またはその故障などが社会的に大きな損失を与えてしまうシステムの重要なコンポーネントとして使用することは許可されていません。