

## Application Brief

## 超低消費電力システムのための相対湿度センサの拡張機能の活用



Christy She

消費電流は、多くのシステム (特に、バッテリー駆動システム、または自己発熱による測定誤差を避ける必要がある密閉型システム) のセンサの重要な選択基準です。それは、データシートから 1 つの型番を選択するのと同じように簡単であるとは限りません。温度と湿度を収集するデューティ・サイクルが小さいセンシング・アプリケーションでは特にそうです。その場合、合計または平均電流を計算するには、スリープ電流とアクティブ電流の両方を、測定周波数および測定継続時間と一緒に使う必要があります。事前に設定されたスレッシュホールドを検出値が超えた際に HIGH になるアラート・ピンなどのセンサ機能を利用すると、大電流を消費する MCU または DSP プロセッサがより長くスリープ状態にとどまり、事前に設定されたスレッシュホールドを検出値が超えた際にのみセンサのアラート・ピンによってウェイクアップできるため、アプリケーションによってはシステム・レベルの電流を低減させることができます。

本書では、相対湿度センサに注目し、平均センサ電流の計算方法と電流の低減方法を説明し、目的のアプリケーションで最小の電流を達成するためのシステム・レベルの電流に関する検討事項を考察します。

## センサの平均電流の計算

すべてのデューティ・サイクル方式 (測定と測定の間にスリープ状態に移行する方式) のセンサでは、式 1 を使用して平均消費電流を計算します。

$$I_{\text{sensor\_avg}} = (f_m \times I_{\text{meas}} \times t_{\text{meas}}) + (I_{\text{sleep}} \times (1 - f_m \times t_{\text{meas}})) \quad (1)$$

ここで

- $f_m$  は測定周波数 (Hz) です。
- $I_{\text{meas}}$  は、センサがアクティブに測定している間の消費電流です。これは、RH センサのデータシートでしばしば  $I_{\text{active}}$  と呼ばれます。
- $I_{\text{sleep}}$  は、センサがスリープ状態 (測定と測定の間) の間の消費電流です。
- $t_{\text{meas}}$  はアクティブな測定の継続時間 (秒) です。

## 低消費電力センサにとって、スリープ電流またはアクティブ電流はより重要でしょうか？

湿度、温度など多くのセンシング方式では、センサが測定と測定の間に低消費電力 (スリープ) 状態に移行できるような低い周波数で測定します。HDC3020 など一部のセンサは、測定と測定の間に自動的にこのスリープ・モードに移行します。しかし、その他のセンサはスリープ・モードに移行するために特定のコマンドを必要とします。測定周波数が低いほど、スリープ・モードで費やす時間が長くなり、より大きな電流を消費する測定状態で費やす時間が短くなるため、スリープ・モードによる電流低減効果は大きくなります。

図 1 に、HDC3020 相対湿度 (RH) および温度センサの平均消費電流の計算値 (式 1 を使用) と測定周波数との関係を示します。勾配とオフセットは HDC3020 センサに固有のもですが、センシング周波数の増加に伴って平均電流が増加する傾向はすべてのセンサに当てはまります。これは、毎秒の測定回数が多いほど、スリープに比べて電流が大きいアクティブな測定状態でより多くの時間をセンサが費やすためです。つまり、アプリケーションの測定周波数に応じて、スリープ電流とアクティブ電流のどちらかが、総平均電流に対するより大きな要因となり得ます。

消費電流を低減するため多くの湿度および温度センサでは、アプリケーションでノイズを最小化する必要がなければ低消費電力モードを選択できます。この構成に対して、各種のセンサで各種の名称が使われています。一般的な名前として、分解能の精度、低消費電力モード、測定頻度などがあります。低消費電力モードを選択すると通常、測定継続時間が短くなり、アクティブ電流も減少します。図 1 に、電流の節約状況を示します。4 つの電力モードはすべて、低い測定周波数

では非常に似通った平均電流を示しています。これは、1Hz 未満の測定周波数では、モードが違っていても変化しないスリープ電流によって平均電流が支配されるためです。しかし、測定周波数が高くなるにつれてアクティブ電流がより支配的になるため、モード間の電流の差は大きくなります。

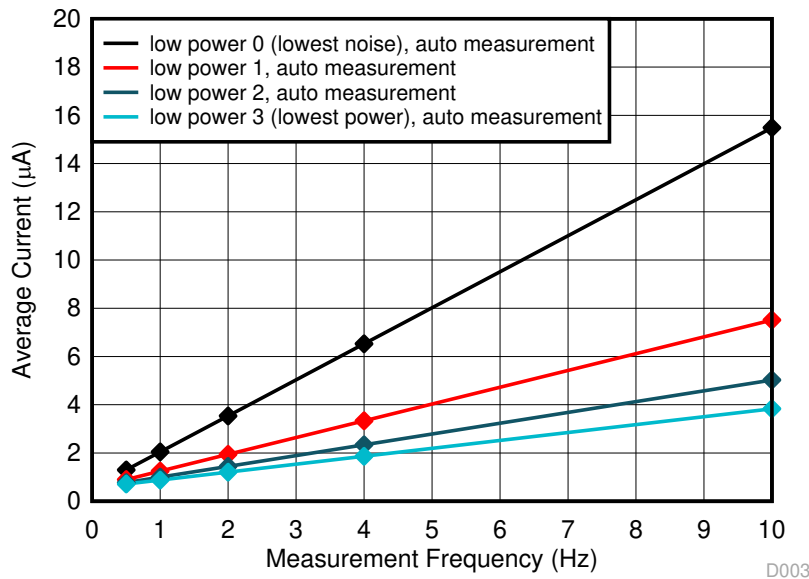


図 1. HDC3020 湿度センサの各種電力モードでの平均電流と測定周波数との関係

図 2 に、HDC2080 および HDC3020 湿度および温度センサの平均電流と測定周波数との関係を示します。HDC2080 のスリープ電流は HDC3x の約 10 分の 1 ですが、HDC3x のアクティブ電流は HDC2080 の 6 分の 1 です。このグラフは、1Hz 以上の測定周波数で HDC3x のより小さなアクティブ電流が優位に立ち、より小さな平均電流をもたらすことを示しています。非常に低い測定周波数 (0.5Hz 以下) では、HDC2080 のより小さなスリープ電流がより小さな平均電流をもたらします。これは、センサの消費電力の低減がアプリケーションの測定周波数で決まることを示しています。

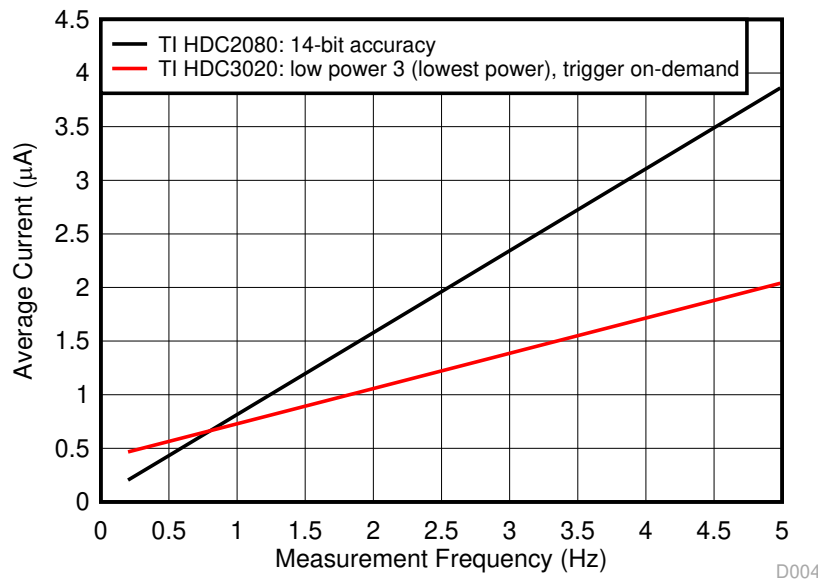


図 2. HDC2080 と HDC3020 の湿度センサの平均電流と測定周波数との関係

複数のデバイス間で湿度センサの電流を比較するのは、特に異なるベンダを比較する場合、データシートから 1 つの型番を選択するのと同じように簡単であるとは限りません。多くの場合、データシートには毎秒 1 回の測定に対する平均電流が記載されています。そのため、アプリケーションの測定周波数が毎秒 1 回であり、そのテスト条件がアプリケーションに当てはまる場合、平均電流を計算する必要はありません。しかし、テスト条件には細心の注意を払う必要があります。図 2 で、HDC3020 の最小消費電力モードと比較するために HDC2080 の最も高い分解能精度を選択しました。これらのモードの測定頻度と測定ノイズは似通っているためです。

図 3 に、HDC3020 と競合製品 A の比較を示します。どちらのデバイスでも同じ RH 精度仕様(±1.5% (標準値)、±2% (最大値) の RH 精度) が規定されています。競合製品 A のデータシートでは低測定頻度の平均電流のみが規定されているため、式 1 とデータシートの数値を使って計算を行い比較しました。競合製品 A の高測定頻度モードは HDC3020 の低消費電力モード 3 と類似の測定頻度であるため、2 つのデバイスを比較するためにこれらの設定を選択しました。連続測定モード (これらの 2 つのデバイスでは自動測定および周期モードと呼ばれています) では、毎秒 1 回の測定で HDC3020 は競合製品 A に比べて約 60 分の 1 の平均電流を示し、シングル・ショットまたはトリガ・オンデマンド・モードでは、毎秒 1 回の測定で HDC3020 は競合製品 A に比べて約 10 分の 1 の平均電流を示します。HDC3020 は低消費電力モード 0 (競合製品 A よりも測定頻度が高い (測定ノイズが少ない)) に構成されている場合でも、依然として競合製品 A よりもはるかに低い平均電流を示します。シングル・ショット・モードでは 4 分の 1、連続測定モードでは 25 分の 1 の電流です。

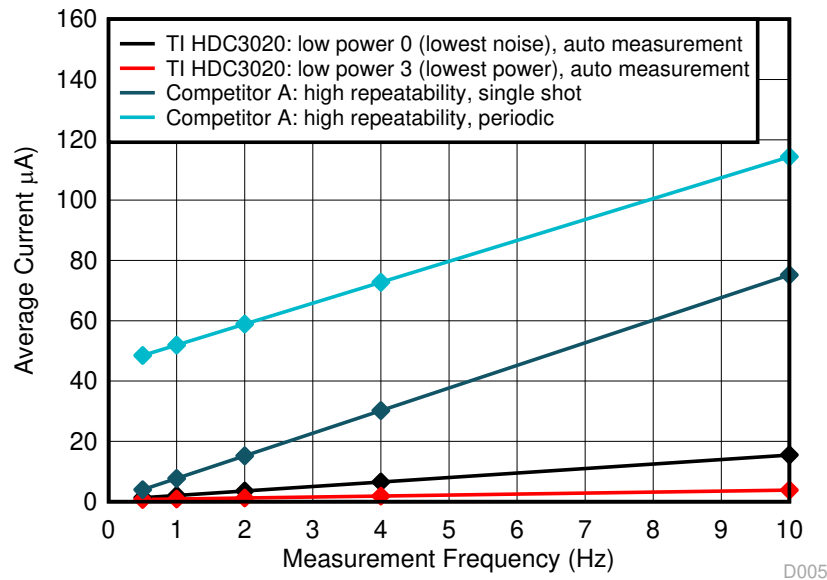


図 3. 競合製品比較 (平均電流と測定周波数との関係)

図 3 から、競合製品 A のスリープ電流は HDC3020 の半分であるにもかかわらず、HDC3020 のアクティブ電流は競合製品 A の 6 分の 1 であり、このアクティブ電流が平均電流を支配しているため、HDC3020 は常により小さい電流を示すことに注意します。一方、競合製品 A の周期モードは HDC3020 よりもスリープ電流が約 10 倍大きいので、低い測定周波数ではそのスリープ電流が優位を占めます。競合製品 A はアクティブ電流も大きいので、測定周波数全体にわたって大きな電流を示します。

### センサ機能がシステム・レベル電流に与える影響

バッテリー駆動アプリケーションでは、バッテリー寿命に注意を払う必要があります。バッテリー切れは、バッテリー交換による消費者の不便やメーカーがバッテリーを交換するための費用のかかるメンテナンスの原因となるためです。バッテリー寿命を最大限に延ばすには、システム・レベルの電流を最小限に抑える必要があります。湿度センサの電流、I2C 通信、湿度センサを読み取るためのシステム内プロセッサは、システム・レベルの検討事項の一部です。自動測定モード、データ・レディ割り込み、アラート・ピンなどのシステム・レベルの機能を使うと、プロセッサは低消費電力状態により長い時間とどまることができるため、システム全体の電流の低減に効果的です。

湿度センサのシステム・レベルの電流を考慮するには、測定値の読み取りのためだけでなく測定の要求のための I2C 通信の電流も含めるように式 1 を拡張する必要があります。通常、これらの数値はデータシートには記載されていませんが、湿度センサと I2C プルアップ抵抗への供給電流を測定するスコープ波形を使ったベンチ・テストから得ることができます。I2C の SCL ピンのプルアップ抵抗は、ホスト・プロセッサのピンがオープン・ドレインである場合のみ必要です。I2C の SDA ピンはプルアップ抵抗を必要とします。通信距離を伸ばすにはより多くの電流が流れるようにこのプルアップ抵抗のサイズを調整する必要があります。その値はアプリケーションで決まります。湿度センサと通信するプロセッサの電流も、I2C 通信がアクティブな間とセンサ・データを待機している間の両方で考慮する必要があります。平均システム電流を式 2 に示し、その式の詳細な展開を式 3 に示します。

$$I_{\text{system\_avg}} = I_{\text{sensor\_avg}} + I_{\text{I2C\_avg}} + I_{\text{MCU\_sleep\_avg}} \quad (2)$$

ここで

- $I_{\text{sensor\_avg}}$  は式 1 で定義されます。
- $I_{\text{I2Cavg}}$  は、I2C 出力に関連する時間平均された電流です。
- $I_{\text{MCU\_sleep\_avg}}$  は、次のセンサ測定または読み取り要求を待機している最小電力モードの MCU の時間平均された電流です。

$$I_{\text{system\_avg}} = I_{\text{sensor\_avg}} + \left( f_m \times \left( I_{\text{sensorI2C}} + I_{\text{MCU\_active}} + I_{\text{MCU\_I2C}} + \left( I_{\text{SDA}} \times SF_{\text{SDA}} \right) + \left( I_{\text{SCL}} \times SF_{\text{SCL}} \right) \right) \times \left( t_{\text{I2Cmeas}} + t_{\text{I2Cread}} \right) \right) + \left( I_{\text{MCU\_sleep}} \times \left( 1 - \left( f_m \times \left( t_{\text{I2Cmeas}} + t_{\text{I2Cread}} \right) \right) \right) \right) \quad (3)$$

ここで

- $I_{\text{sensor\_avg}}$  は式 1 で定義されます。
- $f_m$  は測定周波数 (Hz) です。
- $I_{\text{sensorI2C}}$  は、I2C 通信中の湿度センサの電流です。
- $I_{\text{MCU\_active}}$  は、I2C 通信が可能な最小消費電力モードまたはアプリケーションが必要とする任意の電力モードの MCU の電流です。
- $I_{\text{MCU\_I2C}}$  は、MCU の I2C ペリフェラルの電流です。
- $I_{\text{SDA}}$  は、I2C の SDA ピンのプルアップ抵抗を流れる電流です。これは単純に  $V_{\text{DD}}/R_{\text{SDA\_pullup}}$  です。
- $SF_{\text{SDA}}$  は、I2C データがゼロである割合を表します (SDA プルアップ抵抗は、データが LOW の間にも電流をソースするため)。
- $I_{\text{SCL}}$  は SCL プルアップ抵抗を流れる電流です。これは単純に  $V_{\text{DD}}/R_{\text{SCL\_pullup}}$  です。これは、ホスト・プロセッサのピンがオープン・ドレインである場合にのみ必要です。プルアップ抵抗が存在しない場合、値 0 を使用してこの項を削除します。
- $SF_{\text{SCL}}$  は、SCL が LOW である時間の割合を表します。SCL クロックのデューティ・サイクルが 50% の場合、これは 0.5 です。
- $t_{\text{I2Cmeas}}$  は、測定を要求するための I2C 通信の継続時間 (秒) です。
- $t_{\text{I2Cread}}$  は、湿度および温度データを要求し読み出すための I2C 通信の継続時間 (秒) です。
- $I_{\text{MCU\_sleep}}$  は、次のセンサ測定または読み取り要求を待機している最小消費電力モードの MCU の電流です。

$I_{\text{system\_avg}}$  には、湿度センサ自体との相互作用以外のアプリケーション・レベルの電流は何も含まれません。消費電流が大きいその他の動作には、測定値の LCD 表示またはすべての RF 通信が含まれます。データ・ログ転送の頻度が低いことと、より幅広い動作を必要とする条件にデータ転送を制限するためのローカル処理および意思決定とのどちらかによってデータ転送量が少ない場合を除いて、これらの動作は平均電流を短時間で支配する可能性があります。

一般的な湿度センサの各種機能を使うと、MCU がスリープ・モードにより長くともりまたはより低電流の (より深い) スリープ・モードに移行できるため、また必要な I2C 通信を減らせるため、システム電流を低減できます。HDC3020 ファミリーが備えている機能は自動測定モード、データ・レディ割り込み、ALERT です。

湿度センサの自動測定モードを使用すると、ユーザーが選択した測定周波数で湿度センサは湿度と温度を自動的に測定できます。測定を要求するのに I2C 通信を必要としないため、電流を節約できます。また、定期的にウェイクアップしてセンサ・データを読み取るように MCU に通知するための、低消費電力タイマのみが動作する低消費電力モードに MCU はとどまることができます。データ・レディ割り込みを使用する場合、データ・レディ割り込みを受信するまで MCU は最も深いスリープ (割り込み時にウェイクアップ) に入っているため、さらに多くの電流を節約できます。湿度センサの自動測定モードのスリープ電流は、要求に応じてトリガする単発測定のスリープ電流よりもしばしば大きくなります。次の測定を自動的にトリガするためのタイマを動作させる必要があるためです。そのため、このモードでシステム・レベルの電流が節約されるかどうか、またどの程度節約されるかを判断するために式 3 を使って計算します。節約されるシステム・レベル電流はアプリケーション固有であるためです。

MCU に必要とされる動作が、湿度の監視して特定の相対湿度 (%) に達した際に対応策を講じることのみである場合、湿度センサのアラート機能が監視タスクを引き継ぎ、条件が満たされた時点で MCU をウェイクアップすることができます。HDC3020 の ALERT 機能を使うと、ユーザーは RH と温度の両方を監視するための最小および最大スレッショルドを設定できます。湿度センサは温度および RH 測定値を監視し、これらがスレッショルドを超えた場合、ALERT ピンが HIGH

に設定されます。湿度センサでのこのスマート処理により、MCU をウェイクアップするためのアラートを受信するまで、最も深いスリープ・モードに MCU はとどまることができます。測定が終わるたびにセンサを読み取り、測定値が範囲外であるかどうかを確認する必要はありません。このアラート機能を使うと総平均システム電流を低減できます。自動測定モードの周波数を最大に設定した場合、その節約量は最大です。

表 1 に、システム・レベル電流低減機能の各種組み合わせに対して寄与するシステム・レベル電流の種類をまとめています。この表から、どのような使用事例のどのような電流がシステム電流に寄与しているかがすぐに分かります。N/A は該当しないことを表し、その使用例ではその電流が使われていないことを意味します。I<sub>SCL</sub> は、I2C の SCL ピンにプルアップ抵抗を使用した場合のみの要素です。

表 1. 湿度センサのシステム・レベルの平均電流に関する検討事項

使用事例	I <sub>sensorI2C</sub> , I <sub>SDA</sub> , I <sub>SCL</sub>	t <sub>I2Cmeas</sub>	t <sub>I2Cread</sub>	I <sub>MCU_sleep</sub> (ピン割り込み時にウェイクアップ)	I <sub>MCU_sleep</sub> (RTC タイマ使用)	I <sub>MCU_active</sub>	I <sub>MCU_I2C</sub>
単発読み取り	Y	Y	Y	N/A	Y	Y	Y
自動測定	Y	N/A	Y	N/A	Y	Y	Y
データ・レディを使った自動測定	Y	N/A	Y	Y	N/A	Y	Y
ALERT	N/A	N/A	N/A	Y	N/A	N/A	N/A

## まとめ

低消費電力の湿度センサを探す際に、考慮すべきことは多くあります。センサ・モードと同様、スタンバイ電流とアクティブ電流も電流低減に重要です。また、システムの電力バジェットを計算する際にシステム・レベルの総電流を考慮することが重要です。また、湿度センサの自動測定またはアラートなどの機能は、一部のアプリケーションのシステム・レベルの電流低減に大きな効果があります。HDC3020 湿度センサは、毎秒 1 回の測定で、同じ精度クラスの競合製品に比べて、自動測定モードでは約 10 分の 1 の電流、シングル・ショット・モードでは約 60 分の 1 の電流を示します。多くのアプリケーションでシステム・レベルの電流を低減するため、HDC3020 はデータ・レディ割り込みとアラート機能も備えています。アプリケーションで高精度かつ低電流の湿度センシングが必要な場合、業界で最も高精度低消費電力の湿度および温度センサであるテキサス・インスツルメンツの [HDC3020](#) と [HDC3020-Q1](#) を最初にご検討ください。

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022, Texas Instruments Incorporated