

静電容量センサ MCU

静電容量タッチリップル対策ガイド

要旨

本アプリケーションノートは静電容量式タッチセンサユニット(Capacitive Touch Sensing Unit : 以下 CTSU)の自己容量方式を使用する際に、CTSU の計測値が電源や周辺回路などによるリップルノイズからどのように影響を受け、タッチの判定にどのような影響を及ぼすかを理解してノイズの対策を行うためのガイドです。

動作対象デバイス

CTSU 搭載 RX ファミリ、RA ファミリ、RL78 ファミリ MCU

(CTSU には CTSU2、CTSU2L、CTSU2SL 等を含みます)

目次

1. 概要	3
1.1 CTSU の計測原理	4
1.2 リップルノイズによる CTSU 計測への影響	5
2. リップルノイズ	6
2.1 リップルノイズの定義	6
2.2 リップルノイズ発生要因	6
2.3 リップルノイズによるタッチ判定への影響	7
2.3.1 リップルによる計測値変動	7
2.3.2 リップルノイズによるタッチ誤判定	8
3. リップルノイズ対策	9
3.1 電源回路	9
3.1.1 電源回路選択	9
3.1.2 電源特性	14
3.2 スイッチング回路	15
3.3 電源構成と基板レイアウト	16
3.3.1 電源構成	16
3.3.2 電源/GND レイアウト設計	17
3.4 タッチパラメータ調整	19
3.4.1 しきい値とヒステリシスの調整	19
3.4.2 タッチ誤判定対策事例	23
4. EMC 対策	24
5. リップル特性	25
5.1 CTSU1 リップル特性	25

5.2	CTSU2 リップル特性	27
6.	その他.....	29
6.1	用語	29
6.2	技術問い合わせ	29
	改訂記録	30

1. 概要

本アプリケーションノートは、静電容量式タッチセンサを使用した製品を開発するシステム設計者、ハードウェア設計者を対象としたガイドです。

静電容量タッチの検出原理、静電容量式タッチセンサ計測に影響を与えるリップルノイズについて説明し、また、リップルノイズ対策に必要な電源構成や電源の選定基準や回路レイアウトについて紹介しています。

静電容量式タッチセンサの詳細な説明や基本的な扱い方については以下の文書を参照してください。

[静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド \(R30AN0424\)](#)

ルネサスの MCU が搭載する静電容量式タッチセンサはその機能により3つの世代に分かれます。第1世代は他社製の IP (SCU/TSCU) を使用しており R8C ファミリ (新規採用非推奨品) に搭載されました。第2世代はルネサス独自に開発した CTSU で、RX ファミリを筆頭として Renesas Synergy™、RA ファミリに搭載されました。現在はさらに進化した第3世代の CTSU2 が各ファミリの MCU に搭載されています。

製品のユーザーズマニュアルなどでは、第2世代の静電容量センサを CTSU/CTSUa/CTSub、第3世代の静電容量センサを CTSU2/CTSU2L/CTSU2La/CTSU2SL/CTSU2SLa と表記していますが、本書ではそれぞれ「CTSU1」、「CTSU2」と表記します。

CTSU1 と CTSU2 の特徴や種類、違いなどについては「静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド」を参考にしてください。

1.1 CTSU の計測原理

図 1-1 に CTSU の計測部回路を示します。

CTSU は TS 端子よりセンサドライブパルスを出力して、その充放電電流を計測することで静電容量値を計測します。電極側の電流 I 、センサドライブパルス周波数 F 、寄生容量を C_p 、検出対象の静電容量を C_s 、センサドライブパルス電圧 V とすると次の式が成立します。

$$I = F(C_s + C_p)V$$

ここで、電流 I は計測用 VDC (Voltage Down Converter) から供給される電流 I_1 とオフセット DAC から供給される電流 I_2 を加算した電流です。

計測用 VDC から供給した電流 I_1 は、カレントミラー回路を介して電流制御発振器 (Current Controlled Oscillator: 以下 CCO) に比例した電流 I_{OUT} が印加されます。CCO は I_{OUT} に比例した周波数のパルスをセンサカウンタに出力します。センサカウンタはセンサドライブパルスを一定時間計測して、センサカウンタレジスタに電流 I_{OUT} の計測値を格納します。

寄生容量 C_p だけの場合と指などの接触により C_s が印加された場合では電流量 (計測値) が異なることを利用して電流計測値の変化から静電容量の変化を検出します。

TSCAP 端子に接続しているコンデンサは内部電圧を安定させる役割があります。

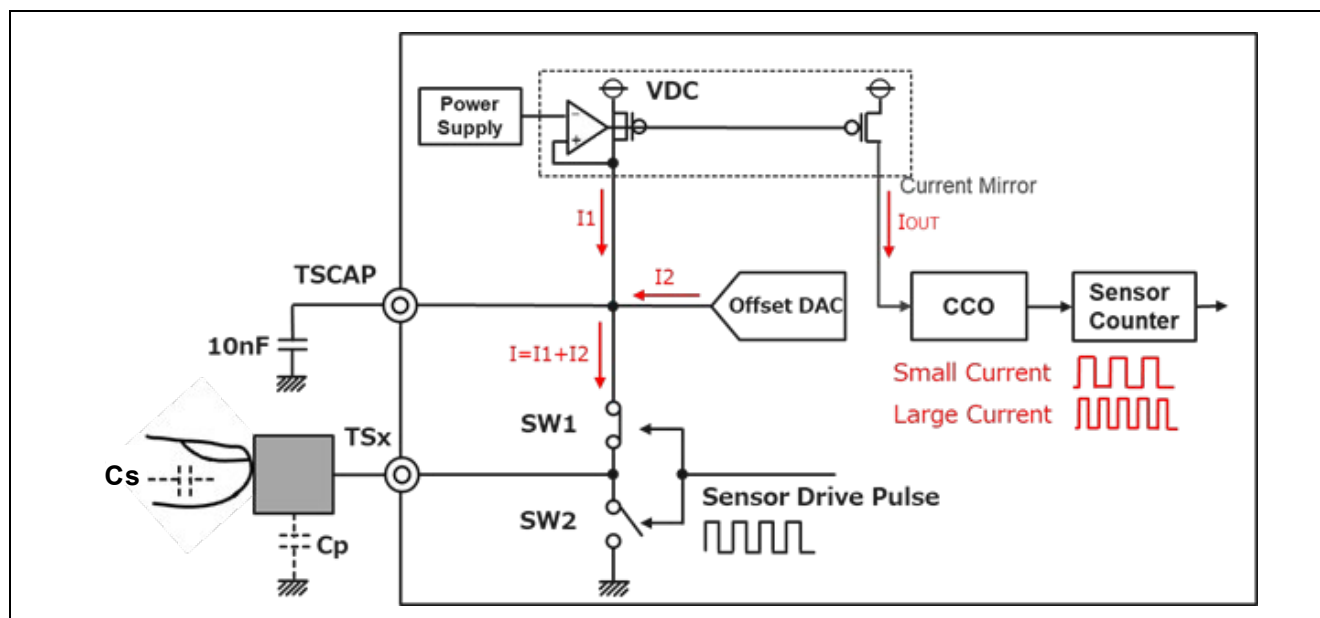


図 1-1 CTSU の計測部回路

1.2 リップルノイズによる CTSU 計測への影響

図 1-2 にリップルノイズによる CTSU の計測への影響の原理図を示します。MCU の電源にリップルノイズが入ると、VDC がリップルノイズ V_n の影響を受け、CTSU 内部回路の電流 I_1 、 I_{OUT} にノイズ電流 I_n 、 I_n' が加わるために、 I_{OUT} の計測値が不正確になります。そのため、高精度、高信頼性のタッチ計測が要求されるシステムでは、電源リップルを極力抑えた設計を行う必要があります。

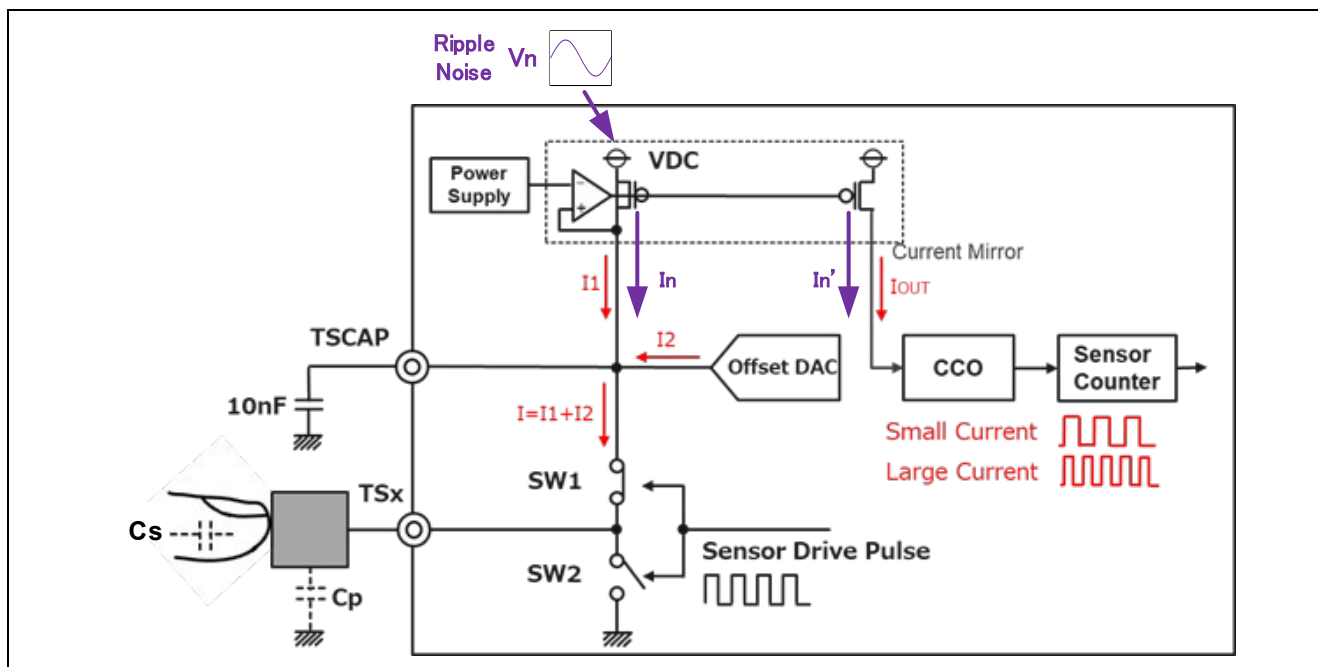


図 1-2 リップルノイズによる CTSU への影響

2. リップルノイズ

2.1 リップルノイズの定義

本アプリケーションノートでは、下記をリップルノイズと定義します。

- (1) 交流電源起因となる AC リップル（商用電源周波数の 50Hz/60Hz が主）
- (2) スイッチング電源、スイッチング回路などから発生するスイッチングノイズ（数 10kHz～数 MHz）

静電容量式タッチセンサにおいて、主に考慮が必要なのは周波数の高い(2)のスイッチングノイズです。本アプリケーションノートではスイッチングノイズを中心に影響の考慮や設計時の注意点を記載します。なお、本アプリケーションノートで取り扱うスイッチング電源とは AC/DC コンバータと、DC/DC コンバータのことを指します。

2.2 リップルノイズ発生要因

スイッチング電源やスイッチング回路のリップルノイズはトランジスタなどのスイッチングにより生じた電流が配線流れることで発生します。一般的なスイッチング電源のスイッチング周波数は数 10kHz～数 MHz です。スイッチングに伴うリップルノイズはスイッチング周波数およびその高調波成分を含みます。電源選定時にリップルノイズがタッチセンサ計測に及ぼす影響を見積もるためには、ノイズの振幅だけでなく周波数も考慮する必要があります。

図 2-1 にスイッチングレギュレータの一種である降圧型コンバータの等価回路を示します。入力電圧 V_{IN} に対し、SW1、SW2 を交互にスイッチングすることで、 V_{SW} の電圧は図のように変化します。 V_{SW} を L_F と C_F で構成されるポストフィルタで平滑化することで出力電圧 V_{OUT} を得ます。 V_{OUT} はスイッチング周波数を基本波成分とするリップルをもっています。リップルノイズの振幅や周波数成分は、入力電圧、デューティ比、スイッチング周波数、ポストフィルタの特性に依存します。リップルノイズを最小化するために適切なパラメータ設定は電源ごとに異なるため、各社電源メーカーの設計資料を確認し、十分に評価を行ったうえでご使用されることを推奨します。

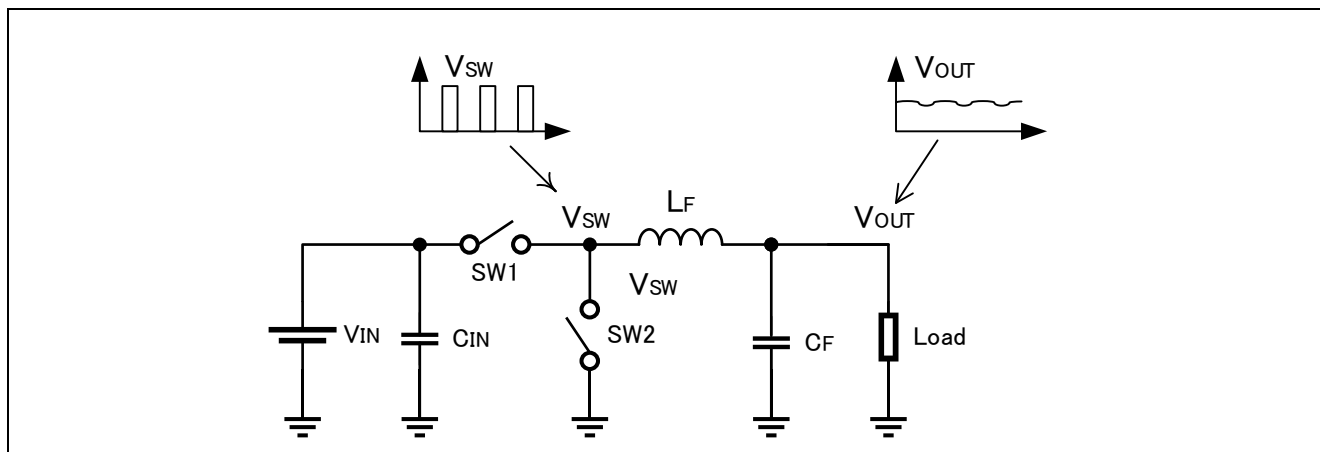


図 2-1 降圧コンバータの等価回路とリップルノイズ

2.3 リップルノイズによるタッチ判定への影響

2.3.1 リップルによる計測値変動

リップルによる計測値の変動量は、リップルの周波数や振幅レベル、デバイス温度(Ta)に応じて変化します。図 2-2 に"リップルノイズなし"の状態のタッチ差分が 1000 で、"リップルノイズあり"の状態では計測値が 4.5%低下する場合の例を示します。"リップルノイズなし"の状態ではタッチ差分が 1000 出ていますが、"リップルノイズあり"の状態ではタッチ OFF、ON ともに計測値が 4.5%低下し、タッチ差分が 1000→955 に減少します。

CTSU を使ってボタンのタッチ ON/OFF 判定をする場合、リップルノイズの有り無しによる計測値の変動量に対してタッチ ON/OFF 判定のしきい値マージンが十分にあれば、最終的なタッチ判定には影響がありません。位置センサや距離センサ、レベルセンサなどで CTSU の計測値をそのまま使用するアプリケーションでは特に注意してリップルノイズを対策する必要があります。

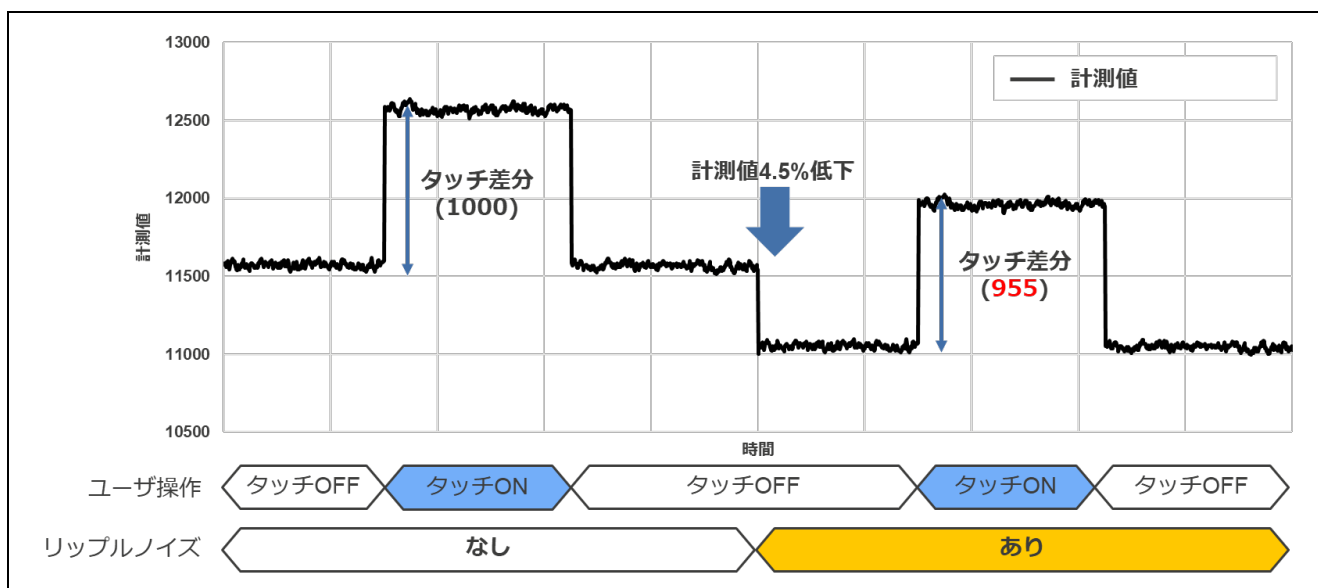


図 2-2 リップルによる計測値の低下の例: [タッチ差分=1000、低下率=4.5%]

2.3.2 リップルノイズによるタッチ誤判定

2.3.1にて、リップルノイズによる計測値の変動について説明しました。本章では、リップルノイズによる誤判定のリスクについて説明します。

周辺機器の動作状況などや環境要因などにより、リップルの有無、周波数、振幅が変化する場合、その変化に伴い CTSU の計測値も変動して誤判定が発生するリスクがあります。例えば、MCU 以外の周辺回路の動作に依存してリップルノイズの周波数や振幅が変化するようなシステムにおいて、自己容量方式を使って CTSU の計測を行う場合を考えます。

図 2-3 のように「リップルノイズなし」の状態から「リップルノイズあり」の状態に変化すると、CTSU の計測値を処理するソフトは一定時間後にドリフト補正処理^{注1}で基準値^{注2}を更新します。その後にリップルが有る状態から無い状態に変化するとリップルによって減少していた CTSU の計測値が復帰（増加）します。この時の増加量がタッチ判定のしきい値を越えていた場合は誤判定が発生します。

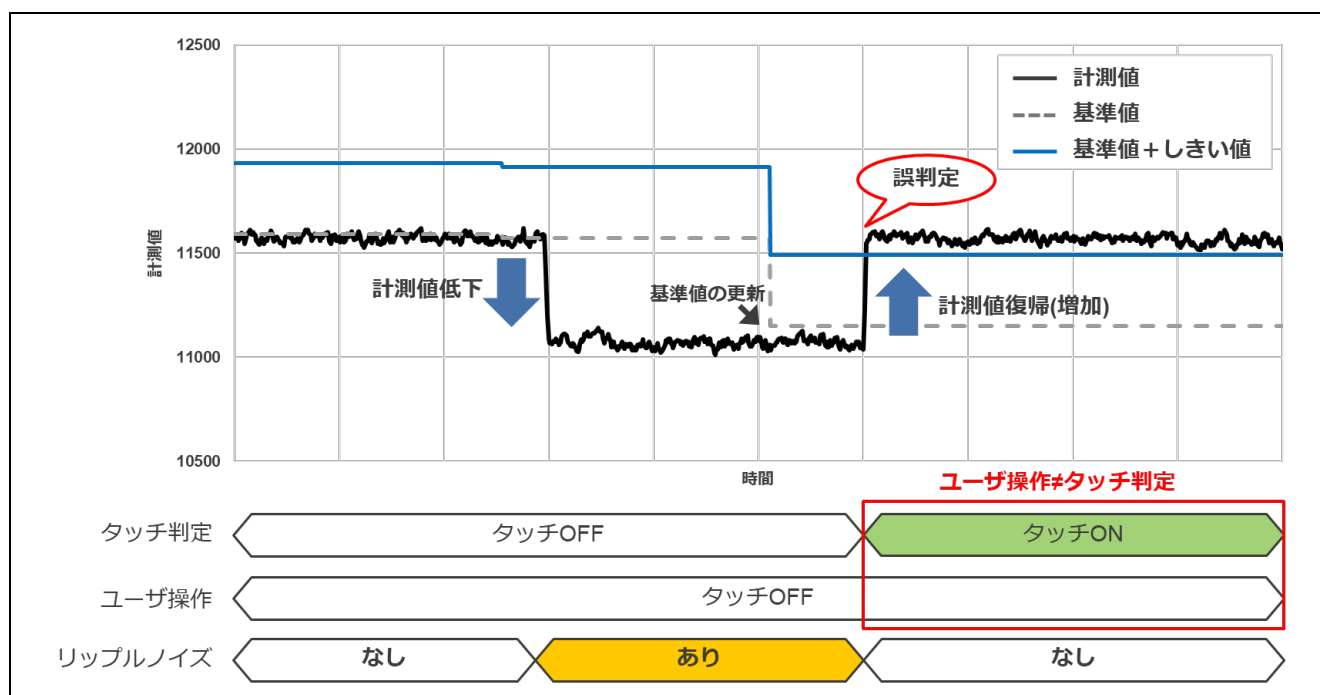


図 2-3 リップルによるタッチ誤判定の例

注 1 ドリフト補正処理：

周囲環境の変化により電極の寄生容量が変動した場合にもタッチによる容量変化を適切に判定するためにタッチ OFF 時のみ、計測値の一定期間の平均値を基準値^{注2}として更新します。

注 2 基準値：

マイコン電源投入時のタッチ OFF 時の計測値を基準値としています。ユーザが設定したしきい値は、この基準値からの相対値としてタッチ ON/OFF を判断しています。

ユーザが設定したしきい値は、この基準値からの相対値としてタッチ ON/OFF 判定をしています。ドリフト補正処理が有効設定されていると設定計測回数ごとにリアルタイムに更新されます。

詳しくは「[静電容量センサマイコン 静電容量タッチ導入ガイド \(R30AN0424\)](#)」の「2.4 ドリフト補正処理とタッチ検出」を参照下さい。

3. リップルノイズ対策

ここまで述べてきたように、精密な計測や、信頼性の高いタッチセンサ機能を必要とする場合は、リップルノイズの対策は非常に重要になります。本章ではリップルノイズを発生させない電源や基板の設計思想や注意点について記載します。

3.1 電源回路

3.1.1 電源回路選択

適切な電源回路の選択は、リップルノイズを低減するために最も重要です。計測精度や信頼性が必要なシステムでは、極力リップルが少ない電源を選択してください。また、電源回路の特性や推奨回路、推奨部品などを十分に確認し、実機での評価を行った上で製品に搭載してください。周辺部品の選定や周辺回路設計およびレイアウト設計が不十分な場合、電源特性が悪化し、動作が不安定になる場合があります。

以下に一般的な電源の分類を示します。

(1)AC/DC コンバータ

- ・トランス方式
- ・スイッチング方式

(2)DC/DC コンバータ

- ・リニアレギュレータ
- ・スイッチングレギュレータ

ノイズの影響を極力避けるため、タッチセンサの電源にはリニアレギュレータを用いることを推奨します。しかしリニアレギュレータには出力電圧が入力電圧より低くなる、電力損失が大きい、価格が高いなどの欠点があるために、リニアレギュレータではなくスイッチングレギュレータが採用されることもあります。スイッチングレギュレータを使用する場合は特にスイッチングによるリップルノイズに注意する必要があります。本章では、各種電源の特徴や使用する際の注意点について記載します。

(1) AC/DC コンバータ

AC/DC コンバータは商用電源などの AC 電圧を DC に変換し出力する回路です。AC/DC コンバータには大きく分けてトランス方式とスイッチング方式があります。

・トランス方式

トランス方式の AC/DC コンバータは、始めにトランスで AC 電源電圧を降圧します。次にダイオードブリッジなどで整流し、最後にコンデンサなどの平滑回路でリップルを除去して DC 電圧を出力する回路です。この方式では出力電圧に AC 電源のリップルが残り、また負荷の影響も受けるため、安定した電圧が必要な場合は後段にスイッチングレギュレータやリニアレギュレータなどを配置します。

この方式ではノイズ周波数は商用電源周波数やその 2 倍波（全波整流の場合）が主となります。この回路はリップルの除去が難しいため、後段にリニアレギュレータなどを配置し、安定化させて使うことが一般的です。

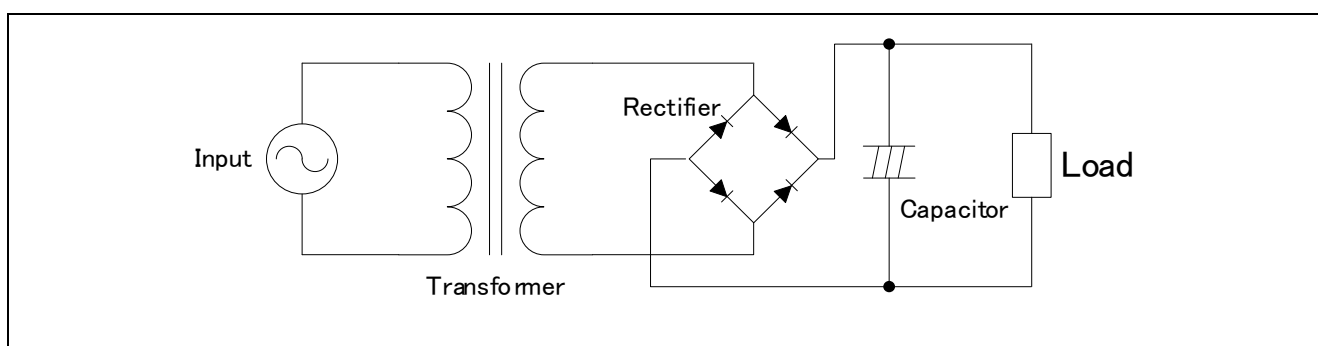


図 3-1 トランス方式の AC/DC コンバータの一般的な構成

・スイッチング方式

スイッチング方式の AC/DC コンバータは始めにダイオードブリッジで AC 電圧を整流し、次にコンデンサなどの平滑回路でリップルを除去し DC 電圧にします。その後、スイッチング素子により DC 電圧を ON/OFF し高周波の電圧に変換し、トランスにより 2 次側にエネルギーを伝達します。最後に 2 次側の電圧をダイオードにより整流し、コンデンサなどの平滑回路でリップルを除去し DC 電圧を出力します。出力電圧の変動をフィードバックしてスイッチング素子のスイッチング周波数、デューティ比を制御することで、この回路は負荷の変動に追従します。

この方式では、スイッチング周波数およびその高調波を含む 10kHz～数 MHz のリップルノイズが出力に重なります。このような電源回路、電源 IC、電源モジュールを使用する際は、出力リップルなどの特性をデータシートで確認し、平滑用フィルタなどは適切な部品を選択してください。負荷と部品の組み合わせが適切でない場合には、負荷が小さくても大きくても動作が不安定になることがあります。予想される全ての負荷条件範囲において十分な実機評価を行ってください。スイッチング周波数の調整が可能な場合、「5. リップル特性」をご確認の上、タッチセンサが影響を受けにくい周波数にすることをご検討ください。

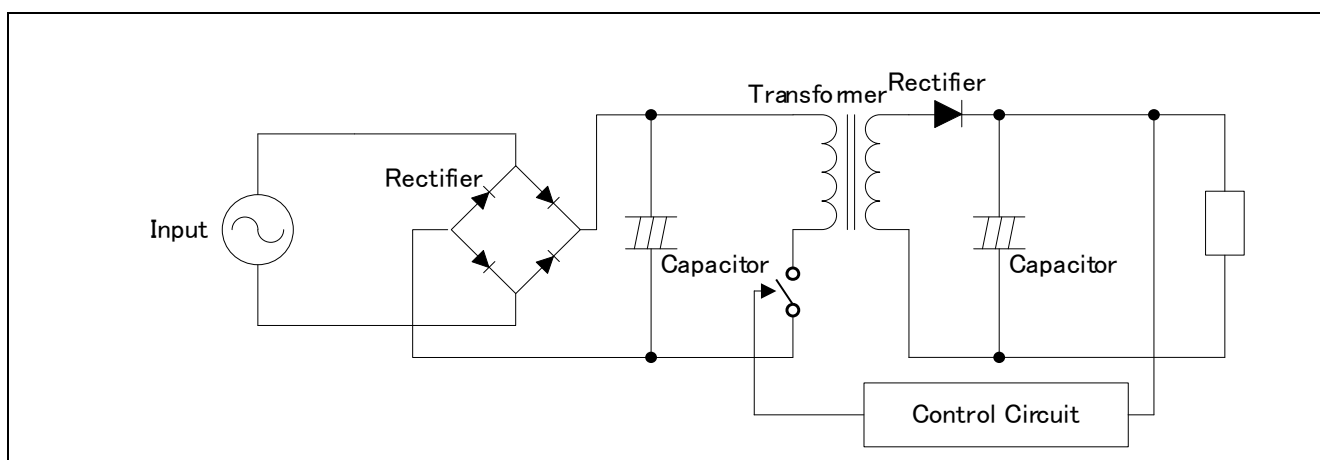


図 3-2 スイッチング方式の AC/DC コンバータの一般的な構成

(2) DC/DC コンバータ

DC/DC コンバータは直流電圧を別の電圧の直流電圧に変換する回路です。DC/DC コンバータには大きくわけてリニアレギュレータとスイッチングレギュレータがあります。

・リニアレギュレータ

シ리즈レギュレータとも呼ばれます。入出力間に直列に入っているトランジスタに出力電圧信号をフィードバックすることで出力電圧が所望の電圧になるように制御します。リニアレギュレータは電力損失が発生しますが、スイッチング回路を含まないのでスイッチングに伴うノイズが原理的に発生しないという特徴を持っています。一般的にリニアレギュレータの出力ノイズは小さいですが、出力フィルタの定数や負荷条件によっては動作が不安定になることもありますので、実機で十分に評価してください。

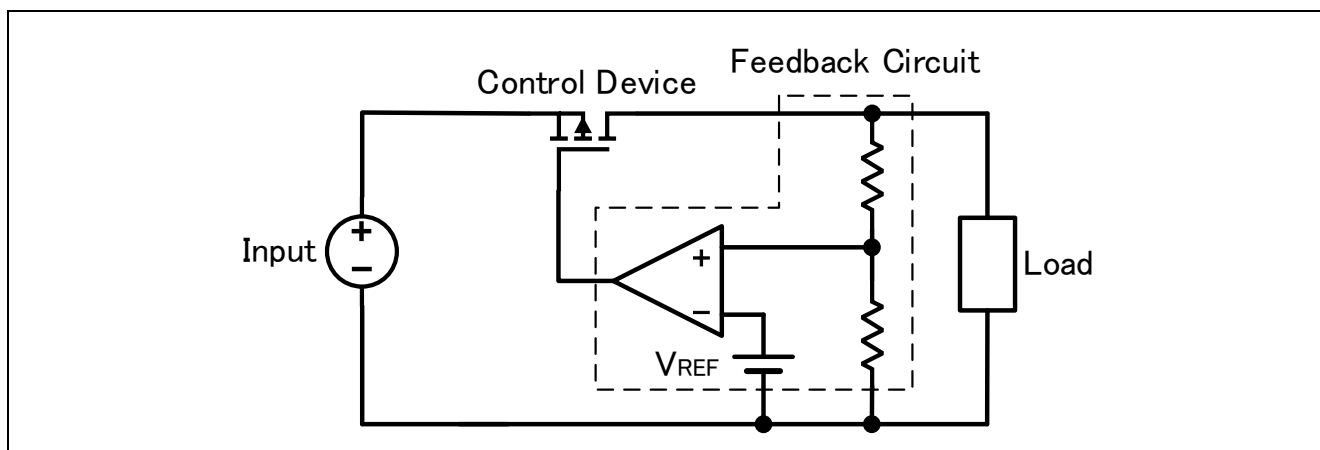


図 3-3 リニアレギュレータの基本構成

・スイッチングレギュレータ

入出力間にスイッチを設け、スイッチの ON と OFF の期間を調整することにより出力電圧を制御する回路です。このスイッチングを高速に行い、出力電圧を LC フィルタなどで平滑化することで安定した電圧を出力します。スイッチが OFF の間は出力側に電流が流れないため、電力損失が少ないですが、スイッチングに伴うノイズの発生があります。

この方式では、スイッチング周波数およびその高調波を含む 10kHz～数 MHz のリップルノイズが出力に重なります。このような電源回路、電源 IC、電源モジュールを使用する際は、出力リップルなどの特性をデータシートで確認し、平滑用フィルタなどは適切な部品を選択してください。負荷と部品の組み合わせが適切でない場合には、負荷が小さくても大きくても動作が不安定になることがあります。予想される全ての負荷条件範囲において十分な実機評価を行ってください。スイッチング周波数の調整が可能な場合、「5. リップル特性」をご確認の上、タッチセンサが影響を受けにくい周波数にすることをご検討ください。

図 3-4 は降圧コンバータの構成ですが、そのほかにも昇圧コンバータ、昇降圧コンバータなど、幅広い入出力電圧に対応したものや、トランスを介した絶縁型コンバータも存在します。

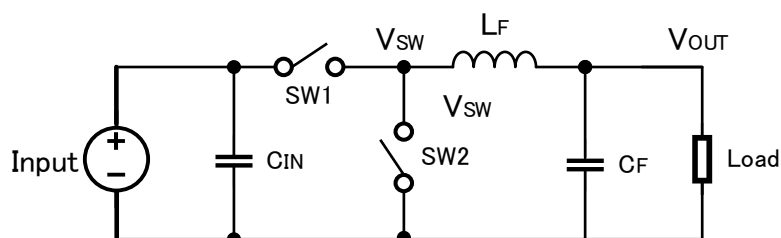


図 3-4 スwitchングレギュレータの基本構成（降圧コンバータ）

3.1.2 電源特性

タッチセンサを含むシステムの電源を選択する際に特に注意すべき特性を以下に示します。

・入力/出力リップル電圧

スイッチングレギュレータでは入力側と出力側の双方にリップルが発生します。

入力リップルはスイッチング回路がスイッチングに伴い間欠的に過渡電流を引き込むことによって発生します。このとき、入力部の寄生インダクタンスが大きいと、電流変化に応じて大きなスパイク電圧が発生する場合があります。入力ピンに対して低インダクタンスとなる位置に入力コンデンサを接続するなどの対策が必要になります。

出力リップルは使用する電源やスイッチング周波数などによって変化します。出力フィルタによってリップルを低減することは可能ですが、出力フィルタに使用するコンデンサの ESR や ESL といった寄生成分の影響を十分に考慮する必要があります。出力コンデンサに積層セラミックコンデンサを使用する場合は、高電圧を印可した時にコンデンサの DC バイアス特性によって実効容量が減少することに注意してください。実効容量が減少すると、リップル電圧が増加し、過渡応答特性の悪化や動作が不安定になる場合があります。

・ラインレギュレーション

入力電圧変動に対する出力電圧の変動を表す特性です。ラインレギュレーションは連続的な電圧の変動に対する特性であり、過渡的な変動に対する特性を表したものではありません。近年のスイッチングレギュレータ IC はラインレギュレータ特性に優れたものが多いですが、システム全体としてはスイッチングレギュレータ IC の性能に頼るだけでなく、入力電圧自体が安定するようなフィルタ回路や配線設計を行う必要があります。

・PSRR（電源電圧変動除去比）

入力電源に対する出力電圧の変動割合を周波数特性で表した特性です。PSRR が高いほど、入力電源に入ったノイズが除去されて、出力に影響が出にくくなります。ラインレギュレーションは DC に対する特性ですが、PSRR は AC 特性として表されます。高周波の入力ノイズに対するノイズ除去比を確認するにはラインレギュレーションではなく PSSR を見てください。特にスイッチングレギュレータの後段にリニアレギュレータを配置する場合には、スイッチングレギュレータが発生させたリップルノイズを除去できるような PSRR 特性を持ったリニアレギュレータを選定することが重要です。スイッチングレギュレータに十分な PSRR 特性を発揮させるには周辺回路の部品として低 ESR 出力コンデンサを選定し、電源の帰還ループの抵抗や寄生インダクタが極力小さくなるように配線を設計する必要があります。

・ロードレギュレーション

負荷電流の変動に対する出力電圧の変動を表した特性です。ラインレギュレーション同様、過渡的な変動に対する特性を表したものではありません。実際の回路では使用する電源 IC のロードレギュレーションだけでなく、負荷までの電流経路の配線抵抗による電圧降下によっても負荷電流が変動したときに出力電圧が変動します。負荷変動の大きな回路がある場合、精度が必要な電源 IC の配線経路と分離を行うなどの考慮を行う必要があります。

・負荷過渡応答

負荷過渡応答は出力電圧が急激に変化した場合に出力電圧が定常値に戻るまでの応答速度を表した特性です。出力コンデンサの ESR 特性や電源回路の応答特性により決まります。過渡的な負荷変動が生じる回路が電源の負荷側に存在する場合、この特性に対する考慮が必要になります。

3.2 スイッチング回路

スイッチングレギュレータなどと同様に、モータードライバ、インバータなどの、MOSFET、IGBTなどのスイッチング素子を高速でスイッチングさせる回路も、スイッチングに伴うノイズを発生させます。これらの回路から発生したノイズは様々な経路で電源や GND、あるいはタッチセンサの電極やタッチセンサ MCU に入り込み計測精度を悪化させます。

ノイズの侵入経路は以下のように分類できます。

(1) 輻射ノイズ

ノイズ源自身やケーブルをアンテナとして空気中に飛び出すノイズです。ノイズ源をシールドケースやシールドパターンで覆うことや、ケーブルにノイズフィルターを取り付けることで低減できます。ノイズ源とノイズの影響を受けやすい回路を遠ざけることも有効です。

(2) 誘導ノイズ

静電誘導や電磁誘導により伝わるノイズです。静電誘導で伝わるノイズの影響はシールド線を使用してそのシールド線を 1 点接地することで低減することができます。電磁誘導で伝わるノイズによる影響は信号線にツイストペアケーブルを使って 2 本の信号線の電磁誘導を打ち消したうえで、シールドを組み合わせ、他の回路から距離を空けることで低減することができます。

(3) 伝導ノイズ

電源線やアース経路で伝わる高周波ノイズです。電源にノイズフィルターを設けたり、影響を受けやすい回路側の接地を外したりするなどの対策が有効です。

3.3 電源構成と基板レイアウト

3.3.1 電源構成

タッチセンサなどノイズの影響を受けやすい回路は、ノイズの大きい電源やノイズ源となる回路とは別電源にすることも有効です。ボード上に電流負荷や負荷変動が大きいデバイス、回路がある場合、図 3-5 のように、タッチセンサ用の電源とそれらの電源を分けことを推奨します。電源を分ける構成が難しい場合、共通の電源として用いるスイッチングレギュレータはノイズが少なく、広い負荷変動に耐えうるものを選定してください。スイッチングレギュレータは負荷電流に応じて動作状態が変化するので、負荷電流によっては、リップルノイズが大きくなる場合があります。実機で十分に評価を行った上で製品に搭載してください。負荷電流の変化による電圧降下の影響を避けるため、負荷変動の大きい回路とタッチセンサは電源供給ラインを切り離すように配線してください。電源、GND レイアウトの詳細は「3.3.2 電源/GND レイアウト設計」を参照してください

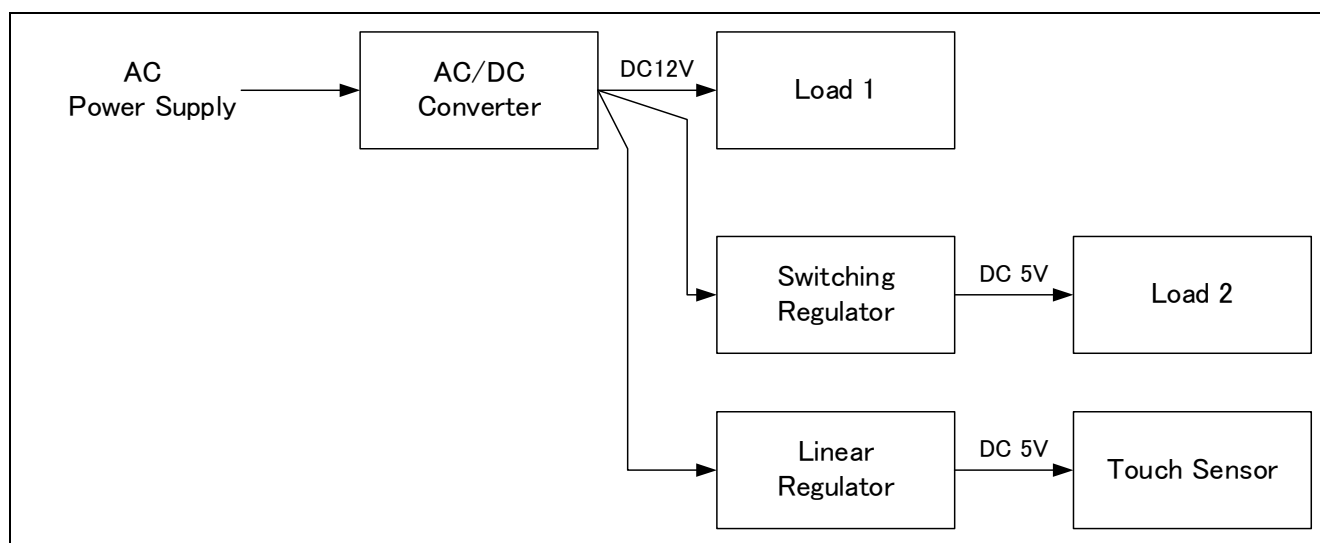


図 3-5 電源構成例

3.3.2 電源/GND レイアウト設計

(1) 電源レイアウト

電流負荷や負荷変動が大きいデバイス、回路が存在し、かつそれらに対して個別の電源を用意することができない場合、図 3-6 の(b)や(c)のように、共通の電源供給ラインを持たないように配線してください。また、ノイズ源からタッチセンサへのノイズの飛び込みを防ぐために、電源パターンを分離し、電源パターンの周辺にシールドを配置して各電源ライン間の電気的結合を弱くすることも有効です。

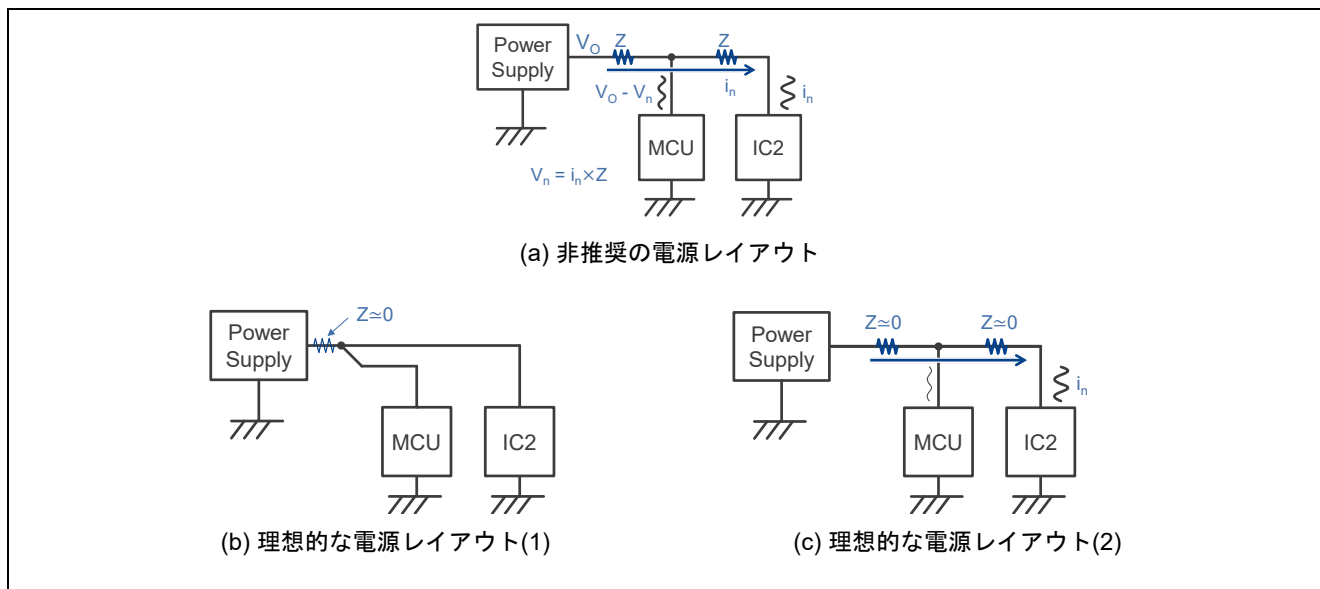


図 3-6 電源レイアウト

(2) GND レイアウト

電流負荷や負荷変動が大きいデバイス、回路が存在し、かつそれらに対して個別の電源を用意することができない場合、図 3-7 の(b)や(c)のように、各デバイス、回路が共通の GND ラインを持たないように配線してください。ノイズ源からタッチセンサへのノイズの飛び込みを防ぐために、GND パターンを分離することも有効です。

基板の空き領域には上記の注意を守った上で可能な限り GND ベタパターンを配置してください。両面板や多層板で複数の層に共通の GND が存在する場合は適切に GND ビアを配置することで、ベタ間のインピーダンスを小さくするように、また開放端となるパターンが作られないように基板を設計してください。

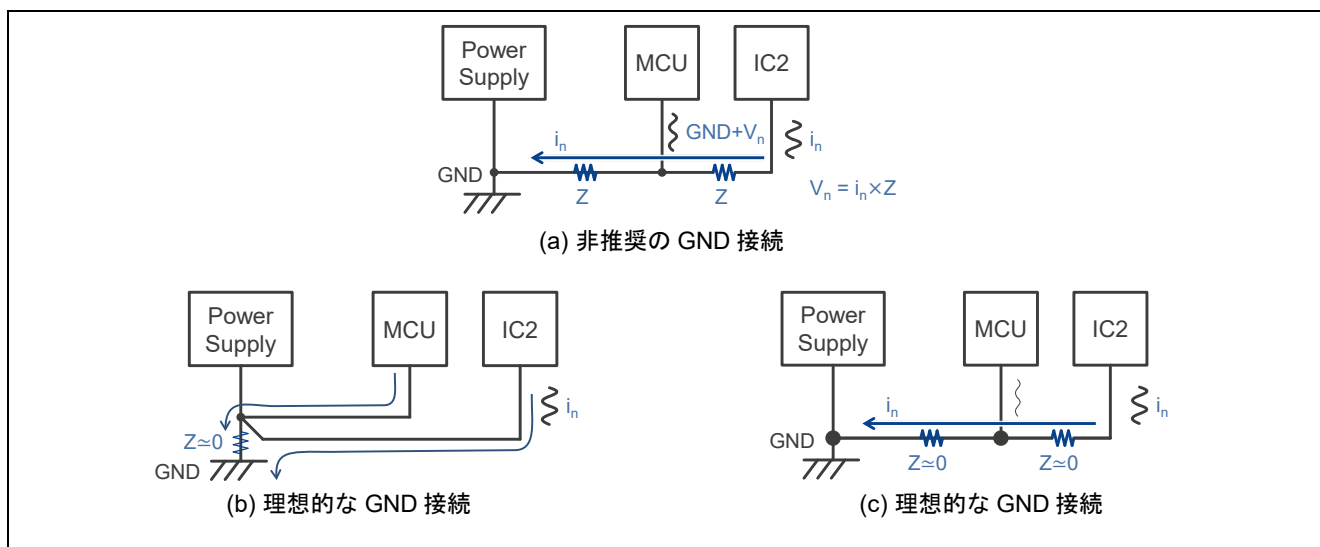


図 3-7 GND レイアウト

3.4 タッチパラメータ調整

3.4.1 しきい値とヒステリシスの調整

リップルノイズによるタッチ誤判定対策に有効なタッチパラメータとして、しきい値とヒステリシスがあります。タッチ ON/OFF 差分デフォルト値を C_{sdef} 、しきい値を α 、ヒステリシスを β としたときのタッチ ON/OFF 判定と各値の関係を図 3-8 に示します。

(a) しきい値

しきい値は計測値からタッチ ON、OFF を検知するときに関係するパラメータで、自己容量方式の場合、下式の条件を満たしたときにタッチ ON を検知します。なお、式内の数値の単位は容量、もしくは計測値で統一されます。

$$\text{タッチ差分 } C_s > \text{しきい値 } \alpha$$

QE for Capacitive Touch の自動調整後のしきい値 α はタッチ ON/OFF 差分の 60% に設定されます。例えば自動調整時のタッチ ON/OFF 差分デフォルト値 C_{sdef} が 1000 のとき、しきい値 α は 600 に設定され、タッチ差分 C_s が 600 より増加したときタッチ ON を検知します。しきい値 α をそれ以外の値に設定する場合は、QE for Capacitive Touch の”CapTouch パラメーター一覧”で設定してください。

(b) ヒステリシス

ヒステリシスは、計測値からタッチ OFF を検知するときに関係するパラメータで、自己容量方式の場合、下記の条件を満たしたときにタッチ OFF を検知します。式内の数値の単位は容量、もしくは計測値で統一されます。

$$\text{タッチ差分 } C_s > \text{タッチ差分デフォルト値 } C_{sdef} - (\text{しきい値 } \alpha - \text{ヒステリシス } \beta)$$

QE for Capacitive Touch の自動調整後のヒステリシス β はしきい値 α の 5% に設定されます。例えば自動調整時のタッチ ON/OFF 差分デフォルト値 C_{sdef} が 1000 で、しきい値 α が 600 のとき、ヒステリシス β は 30 になり、タッチ OFF を検知する計測値はしきい値 α の 600 からヒステリシス β の 30 を差し引いた値の 570 に設定され、タッチ ON からタッチ差分 C_s が 430 より大きく減少したときタッチ OFF を検知します。ヒステリシス β をそれ以外の値に設定する場合は、QE for Capacitive Touch の”CapTouch パラメーター一覧”で設定してください。

しきい値、ヒステリシスの詳しい調整方法については「[静電容量センサマイコン QE for Capacitive Touch アドバンスドモード\(高度な設定\)パラメータガイド \(R30AN0428\)](#)」の「1.2 CapTouch パラメータの手動チューニング」を参照ください。

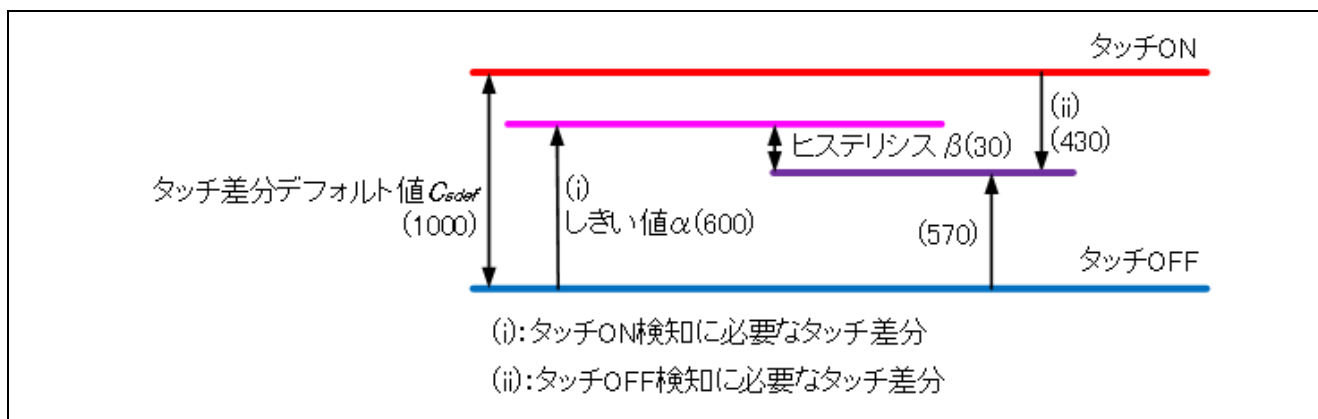


図 3-8 タッチ ON/OFF 検知条件としきい値、ヒステリシスの関係

タッチの誤検知を防ぐためにはまず MCU に入るリップルノイズを小さくすることが重要です。リップルノイズによる計測値の変動が大きい場合、しきい値やヒステリシスの調整を行っても誤検知が防げない場合があります。リップルノイズを対策した上で、それでも誤検知が防げない場合は下記の対策を検討してください。

- ・電極設計によりタッチ ON/OFF 差分を大きくする
- ・しきい値を大きくし、タッチ ON 検知条件を厳しくする
- ・しきい値を小さく、ヒステリシスを大きくし、タッチ OFF 検知条件を厳しくする

電極設計については[静電容量センサマイコン 静電容量タッチ電極デザインガイド\(R30AN0389\)](#)を参照してください。

表 3-1 にタッチパラメータ調整時のタッチ ON/OFF 差分デフォルト値 C_{sdef} を 1pF、リップルノイズによる静電容量変化 C_n を 0.2pF としたときのしきい値 α 、ヒステリシス β とタッチ ON/OFF マージン C_{nm_on} 、 C_{nm_off} の関係を示します。タッチ ON/OFF マージン C_{nm_on} 、 C_{nm_off} は以下の式で求めています。

$$C_{nm_on} = (i) - C_n$$

$$C_{nm_off} = (ii) - C_n$$

表 3-1 では CTSU の原理的な考え方を示すため、計測値ではなく容量値で記載しています。また、表 3-1 に記載の各数値は図 3-8 と対応しています。表 3-1 から、タッチ ON マージンはしきい値を増加することで改善することがわかります。タッチ OFF マージンは、しきい値を減少させ、ヒステリシスを増加することで改善することがわかります。

QE for Capacitive Touch の” CapTouch パラメーター一覧” からしきい値、ヒステリシスのパラメータを変更する場合は容量値ではなく、タッチセンサの計測値で設定を行います。しきい値とヒステリシスの調整はリップルノイズ対策に有効ですが、タッチ ON/OFF 差分が小さい場合はタッチの ON/OFF 検知がされない可能性があります。必ず実機にてタッチ ON/OFF 差分とノイズの有無による計測値の変動とそれらのばらつきを確認の上、しきい値とヒステリシスの調整を行ってください。

表 3-1 しきい値・ヒステリシスの設定とタッチ ON/OFF 検知・マージンとの関係

タッチ ON/OFF 差分 デフォルト値 C_{sdef} [pF]	ノイズ による 変動 C_n [pF]	しきい値 α		ヒステリシス β		ON 検知 (i)[pF]	OFF 検知 (ii)[pF]	ON マージン C_{nm_on} [pF]	OFF マージン C_{nm_off} [pF]
		[pF]	[%]	[pF]	[%]				
1.0	0.2	0.6	60	0.03	5%	0.6	0.43	0.40	0.23
1.0	0.2	0.6	60	0.2	33%	0.6	0.60	0.40	0.40
1.0	0.2	0.7	70	0.2	29%	0.7	0.50	0.50	0.30
1.0	0.2	0.8	80	0.6	75%	0.8	0.80	0.60	0.60

(1) CTSU1 の容量計測値換算式

CTSU1 (RX113 グループ、RX130 グループ他)の自己容量方式で設定計測時間 526μs のときに、リップルノイズが MCU の電源に入った場合の CTSU の計測値の減少量 $Count$ は「5.1 CTSU1 リップル特性」に記載されている静電容量減少量 C_s [pF] から下記の容量計測値換算式で求めることができます。

ここで、 K_δ [-] は変調係数、 f_d [MHz] はドライブパルス周波数、 V_{VDC} [V] は VDC 電源電圧、 I_{FS} [μA] は計測最大電流、 $Count_{FS}$ [LSB] は計測値のフルスケールです。 V_{VDC} 、 $Count_{FS}$ は固定値です。 K_δ 、 f_d 、 I_{FS} はユーザー設定に依存します。

$$Count \text{ [LSB]} = \left(\frac{K_\delta \cdot f_d \cdot C_s \cdot V_{VDC}}{I_{FS}} \right) \cdot Count_{FS}$$

K_δ は下式で求めることができます。

$$K_\delta = \frac{\text{計測パルス数}}{\text{計測時間}}$$

K_δ の詳細は CTSU1 搭載デバイスのユーザーズマニュアル ハードウェア編の「CTSU 同期ノイズ低減設定レジスタ」を参照してください。

表 3-3 に CTSU1 の容量計測値換算式の係数のデフォルト値を示します。

表 3-2 CTSu1 の容量測値換算式の変数デフォルト値

自己容量方式, 設定計測時間 526μs,
CTSU 電源動作モード設定ビット: 通常動作モード (CTSUCR1.CTSUATUNE0 = 0)
CTSU 電源能力調整ビット: 通常出力 (CTSUCR1.CTSUATUNE1=0)

V_{VDC} (typ.) [V]	f_d [MHz]	K_δ [-]	I_{FS} [μA]	$Count_{FS}$ [LSB]
1.6	2	$\frac{248}{263}$	38.4	40960

(2) CTSU2 の容量計測値換算式

CTSU2 (RL78/G22 グループ他)の自己容量方式で設定計測時間 256μ のときに、リップルノイズが MCU の電源に入った場合の CTSU の計測値の減少量 $Count$ は「5.2 CTSU2 リップル特性」に記載されている静電容量減少量 C_s [pF] から下記の容量計測値換算式で求めることができます。

ここで、 f_d [MHz] はドライブパルス周波数、 V_{VDC} [V] は VDC 電源電圧、 I_{FS} [μA] は計測最大電流、 $Count_{FS}$ [LSB] は計測値のフルスケールです。 V_{VDC} 、 $Count_{FS}$ は固定値です。 f_d 、 I_{FS} はユーザー設定に依存します。

$$Count \text{ [LSB]} = \left(\frac{f_d \cdot C_s \cdot V_{VDC}}{I_{FS}} \right) \cdot Count_{FS}$$

表 3-3 に CTSU2 の容量計測値換算式の係数のデフォルト値を示します。

表 3-3 CTSU2 の容量計測値換算式の変数デフォルト値

自己容量方式, 設定計測時間 256μs,
計測電源設定 : 1.5V (CTSUCRAL.ATUNE0 = 0)
計測電源電流設定 : 20uA (CTSUCRAL.ATUNE1 = 0, CTSUCRAH.ATUNE2 = 1)

V_{VDC} (typ.) [V]	f_d [MHz]	I_{FS} [μA]	$Count_{FS}$ [LSB]
1.5	2	20	30720

3.4.2 タッチ誤判定対策事例

タッチ OFF の誤判定事例を図 3-9 に示します。

図 3-9 のようにエンドユーザがタッチ ON 操作を継続している状態で”リップルノイズなし”の状態から”リップルノイズあり”の状態に変化すると計測値が減少します。この時の減少量が[基準値+しきい値-ヒステリシス]を下回った場合、タッチ OFF 判定となり、ユーザ操作とタッチ判定が不一致となります。このような場合、図 3-10 のようにヒステリシスを大きくすることでタッチ誤判定を回避することが可能です。

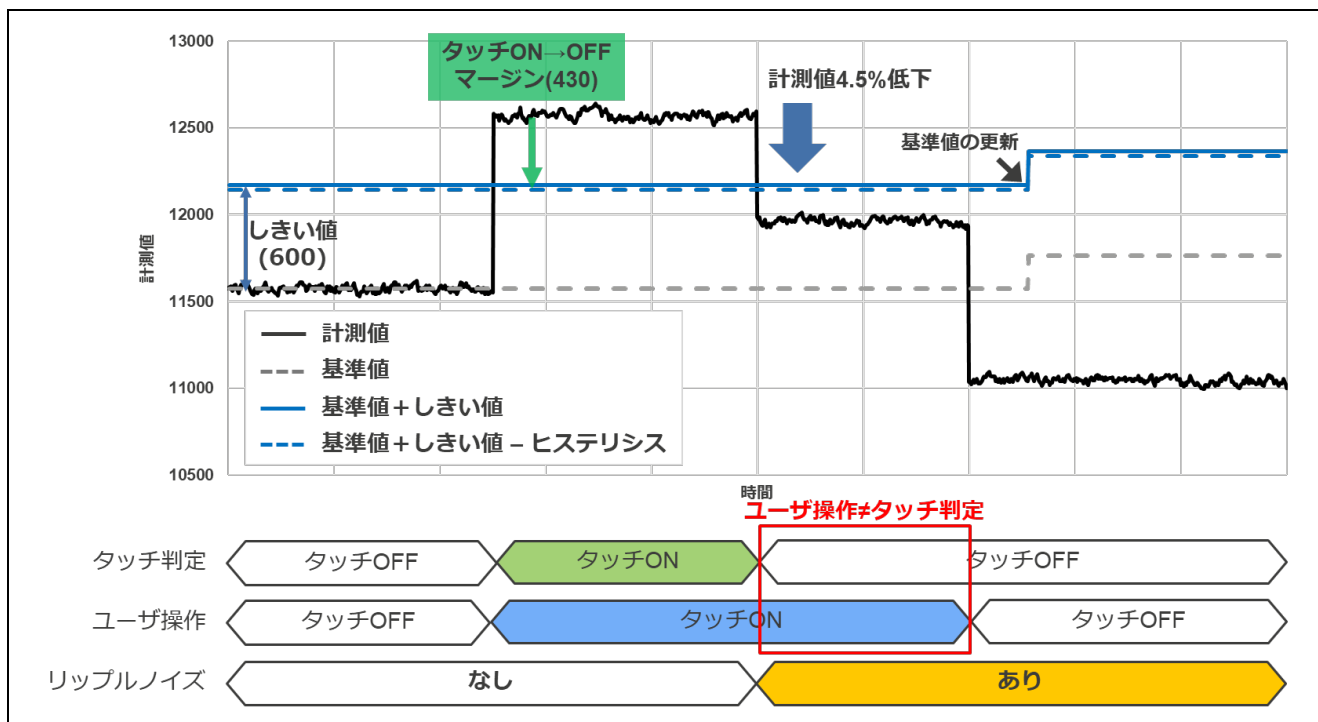


図 3-9 タッチ OFF 誤判定事例

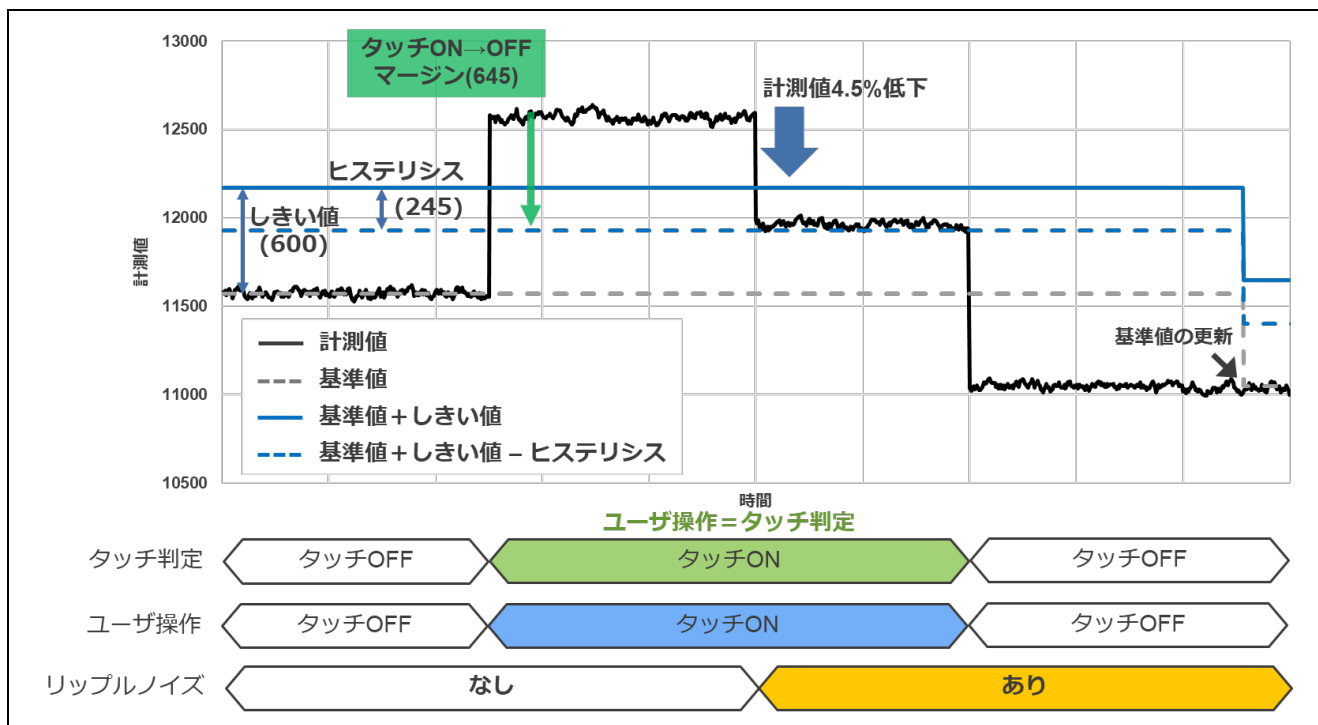


図 3-10 タッチ OFF 誤判定対策事例（ヒステリシス約 40%）

4. EMC 対策

計測精度、信頼性を高めるためには EMC に伴う電源の変動や計測値の変動対策も重要です。EMC 対策の詳細は下記を参照してください。[静電容量センサマイコンノイズイミュニティガイド \(R30AN0426\)](#)

5. リップル特性

5.1 CTSU1 リップル特性

MCU の電源電圧 VCC にリップルノイズが印加されたときの CTSU1 の計測静電容量の減少特性を示します。各図と対応製品の関係を表 5-1 に示します。各図において、"Conditions"に記載の条件で計測したときのワースト値をグラフにプロットしています。

表 5-1 CTSU1 リップル特性対応表

番号	対象製品グループ	備考
図 5-1	RX113 グループ, RX230 グループ, RX231 グループ, RX23W グループ	
図 5-2	RX130 グループ	

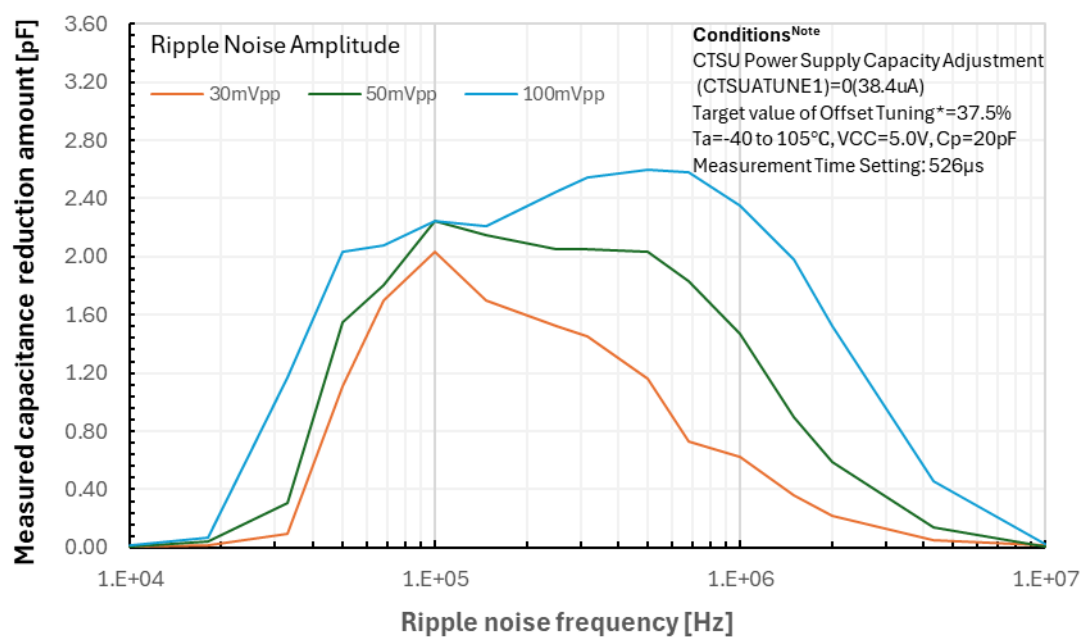


図 5-1 CTSU1 リップル特性 対象製品グループ : RX113 グループ他

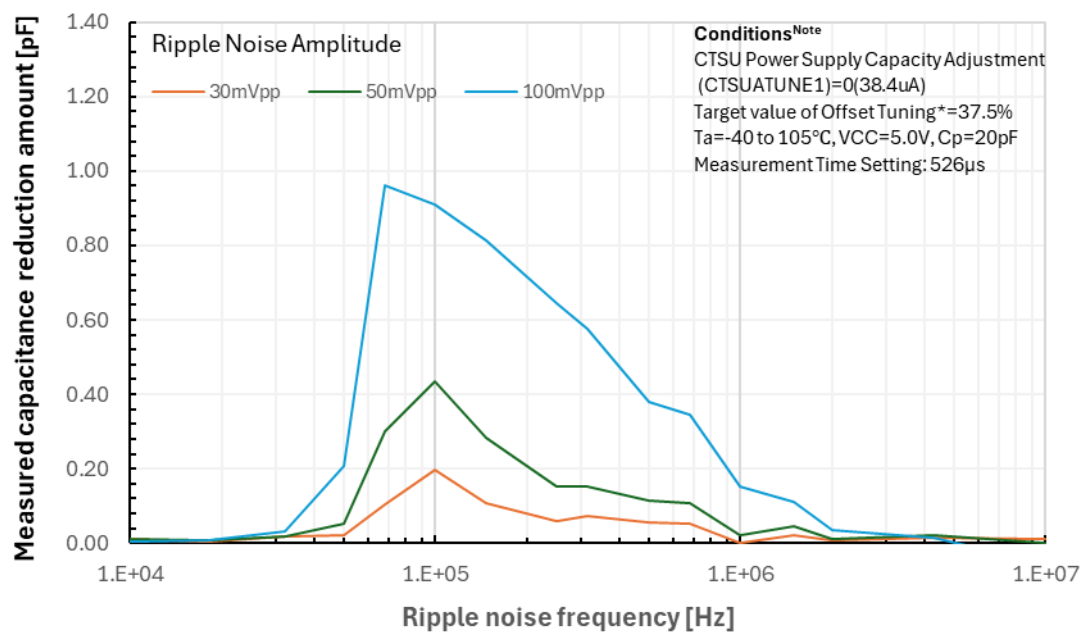


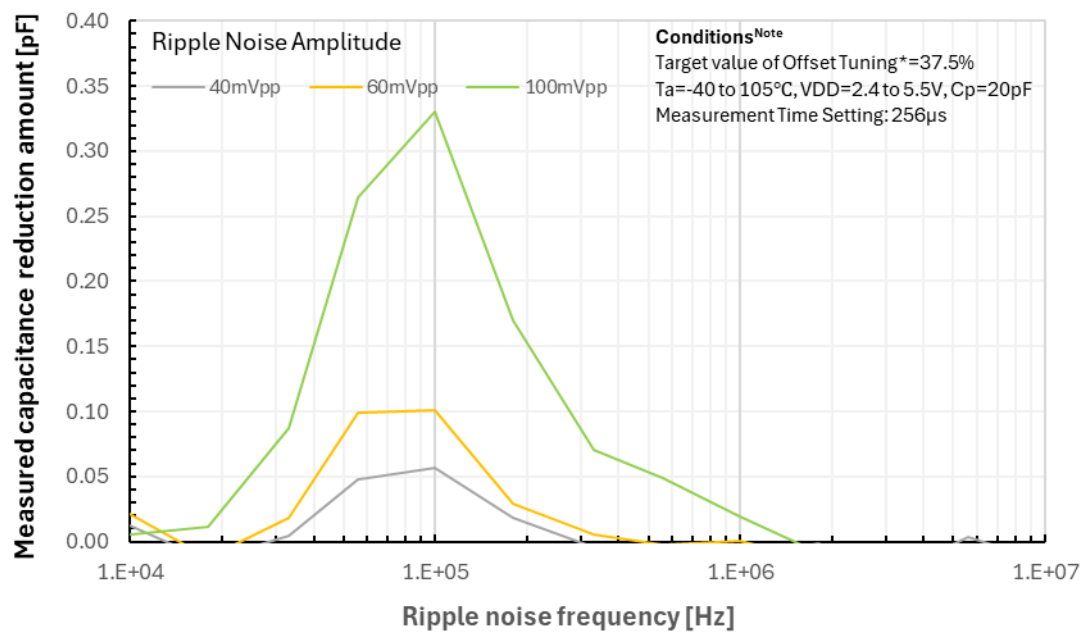
図 5-2 CTSU1 リップル特性 対象製品グループ : RX130 グループ

5.2 CTSU2 リップル特性

MCU の電源電圧 VDD にリップルノイズが印加されたときの CTSU2 の計測静電容量の減少特性を示します。各図と対応製品の間係を表 5-2 に示します。各図において、"Conditions" に記載の条件で計測したときのワースト値をグラフにプロットしています。

表 5-2 CTSU2 リップル特性対応表

図番	対象製品グループ	備考
図 5-3	RL78/G22 グループ, RL78/G23 グループ, RX140 グループ, RX260 グループ, RX261 グループ, RA2L1 グループ, RA2E1 グループ	



Note: Refer to "Capacitive Sensor MCU QE for Capacitive Touch Advanced Mode Parameter Guide (R30AN0428)"

図 5-3 CTSU2 対象製品グループ RL78/G22 他 (電流計測レンジ:40uA)

6. その他

6.1 用語

用語	説明
CCO	CCO (Current Control oscillator) とは静電容量式タッチセンサで使用する電流制御発振器です。アプリケーションノートによっては ICO と表記しています。
ICO	CCO と同じです。
TSCAP	CTSU の内部電圧を安定させるためのコンデンサです。
VDC	VDC(voltage down converter)は CTSU に内蔵している静電容量センサ計測用の電源回路です。

6.2 技術問い合わせ

テクニカルサポートにお問合わせを送信するか、ナレッジベースのよくある質問 (FAQ) またはコミュニティフォーラムを検索してください。

<https://www.renesas.com/contact-us>

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2024.07.12	－	初版発行
1.10	2025.07.31	25-28	図表追加：表 5-1、表 5-2、図 5-1 グラフの体裁変更、計測時間表記の追加： 図 5-2、図 5-3

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

1. 静電気対策

CMOS 製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS 製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS 製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。

2. 電源投入時の処置

電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

3. 電源オフ時における入力信号

当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。

4. 未使用端子の処理

未使用端子は、「未使用端子の処理」に従って処理してください。CMOS 製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI 周辺のノイズが印加され、LSI 内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。

5. クロックについて

リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

6. 入力端子の印加波形

入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS 製品の入力がノイズなどに起因して、 V_{IL} (Max.) から V_{IH} (Min.) までの領域にとどまるような場合は、誤動作を引き起こす恐れがあります。入力レベルが固定の場合はもちろん、 V_{IL} (Max.) から V_{IH} (Min.) までの領域を通過する遷移期間中にチャタリングノイズなどが入らないように使用してください。

7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。アドレス領域には、将来の拡張機能用に割り付けられている リザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

8. 製品間の相違について

型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。同じグループのマイコンでも型名が違うと、フラッシュメモリ、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ輻射量などが異なる場合があります。型名が違う製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含みます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 当社製品または本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
6. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。

標準水準： コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等

高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。

7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア／ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限られません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因したまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア／ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
8. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
10. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は、一切その責任を負いません。
11. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
12. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものとしします。
13. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
14. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.5.0-1 2020.10)

本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

www.renesas.com

お問合せ窓口

弊社の製品や技術、ドキュメントの最新情報、最寄の営業お問合せ窓口に関する情報などは、弊社ウェブサイトをご覧ください。

www.renesas.com/contact/

商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。