

スイッチド・キャパシタADコンバータの アナログ入力の計算

Tom Kugelstadt

Advanced Analog Applications Group

このアプリケーション・レポートでは、スイッチド・キャパシタ・アナログ・デジタル・コンバータに接続されたアナログ入力回路を解析するための計算について解説します。外

部駆動源の抵抗の最大値を計算で判定することにより、所要のADコンバータ変換の精度が分かります。

内 容

1. はじめに.....	2
2. 駆動源抵抗の最大値.....	2
2.1 アナログ入力回路の解析.....	2
2.2 式(5)を使用して時定数を計算する.....	3
3. 任意のADCサンプリング時間(T_s)を求めるための一般式.....	4
3.1 8ビット製品TLC549の例.....	4
3.2 12ビット製品TLC2543の例.....	4
4. 要約.....	4

説明図

図 1. 駆動源の組み込まれた等価入力回路.....	2
図 2. (充電時間 t_c の関数としての)内部キャパシタ電圧 V_C	3

説明表

表 1. LSBの1/16の精度に必要な充電時間 t_c	3
--------------------------------------	---

1. はじめに

多くの逐次比較型アナログ・デジタル・コンバータ (ADコンバータ) では、スイッチド・キャパシタ・アレイ・アーキテクチャが使用されています。1次近似ADコンバータに対するアナログ入力は、電気的には直列抵抗とそれに続くグラウンド接続のキャパシタとして表すことができます (図1参照)。

アナログ入力のサンプリング時間中、キャパシタは内部直列抵抗 (内部スイッチの直列抵抗) を介してアナログ駆動源に接続されています。これから述べる解析では、所要のADコンバータの変換精度を得るためにこの入力回路を外部駆動源抵抗の最大値に関連付けます。

オペアンプを直列の抵抗・キャパシタ負荷とともに使用するとほとんどの場合に2次システムが形成されますが、デバイスの内部抵抗も外部抵抗もオーバーシュートを防止するのに十分な値であると考えられます。このような結果は、ADコンバータファミリー製品TLC54x、TLC154x、TLC254xで大体において有効です。

2. 駆動源抵抗の最大値

スイッチド・キャパシタ入力ADコンバータに対する入力インピーダンスは指数関数的な特性を持つため、サンプリング間隔中に不変のインピーダンスとして扱うことはできません。したがって駆動源抵抗の最大値も、I/Oクロックの速度によって変わります。

電源抵抗の最大値の一般式はつぎのとおりです。

$$R_s = \frac{T_s \times TC}{tc \times C_i} - r_i$$

ここで、

- T_s = コンバータ固有のサンプリング時間
- tc = 必要な精度を実現するために要する充電時間
- TC = RC回路網全体の時定数

となります。

このレポートの記載例では、所要のADコンバータ精度を得るために必要なアナログ信号源抵抗の最大値を得る方法を示しています。

2.1 アナログ入力回路の解析

次に紹介する解析では、キャパシタ電圧V_cを電源電圧V_sに対して誤差1/16LSB、つまり6.25%以内に近づけていく必要があると仮定します (図2参照)。この精度は誤差0.1LSB以下に相当し、変換誤差の総量を±1/2 LSBの範囲内に抑えながら、DNLやINLといった他の固有誤差について考慮することが可能です。

アナログ入力容量を0ボルトから入力アナログ電圧V_sまで、誤差1/16LSBで充電するために必要な時間は、図1の等価回路を使用して次のように求められます。

$$V_c = V_s \left(1 - e^{-\frac{tc}{Rt \times Ci}} \right) \quad (1)$$

なお、V_c = C_i全体の電圧および

$$Rt = R_s + r_i \quad (2)$$

ここで、

- R_s = 信号源抵抗 および
- r_i = ADコンバータ入力の直列抵抗

誤差1/16LSBを得るための最終的なキャパシタ電圧は、次のように求められます。

$$V_{c_{1/16}} = V_s - \frac{V_s}{2^{N+4}} = V_s \left(1 - \frac{1}{2^{N+4}} \right) \quad (3)$$

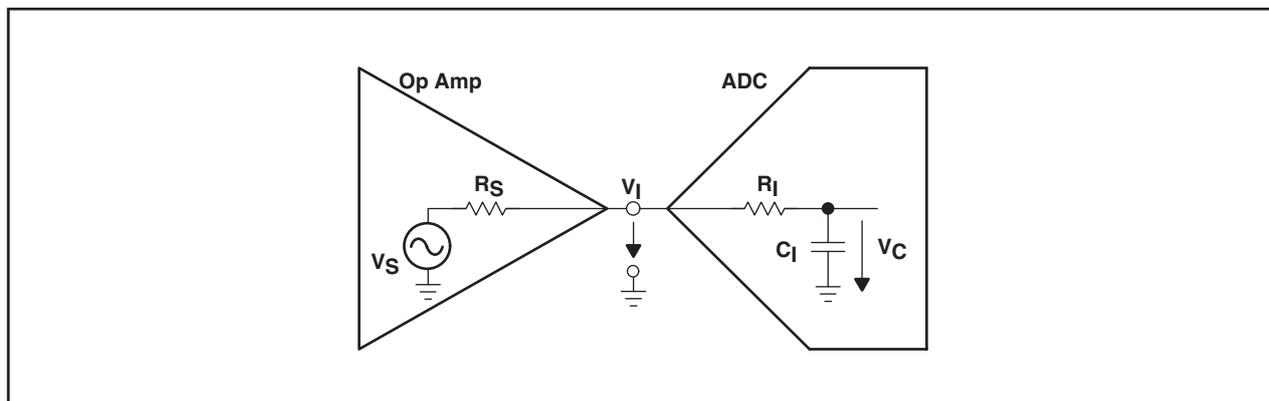


図1. 駆動源の組み込まれた等価入力回路

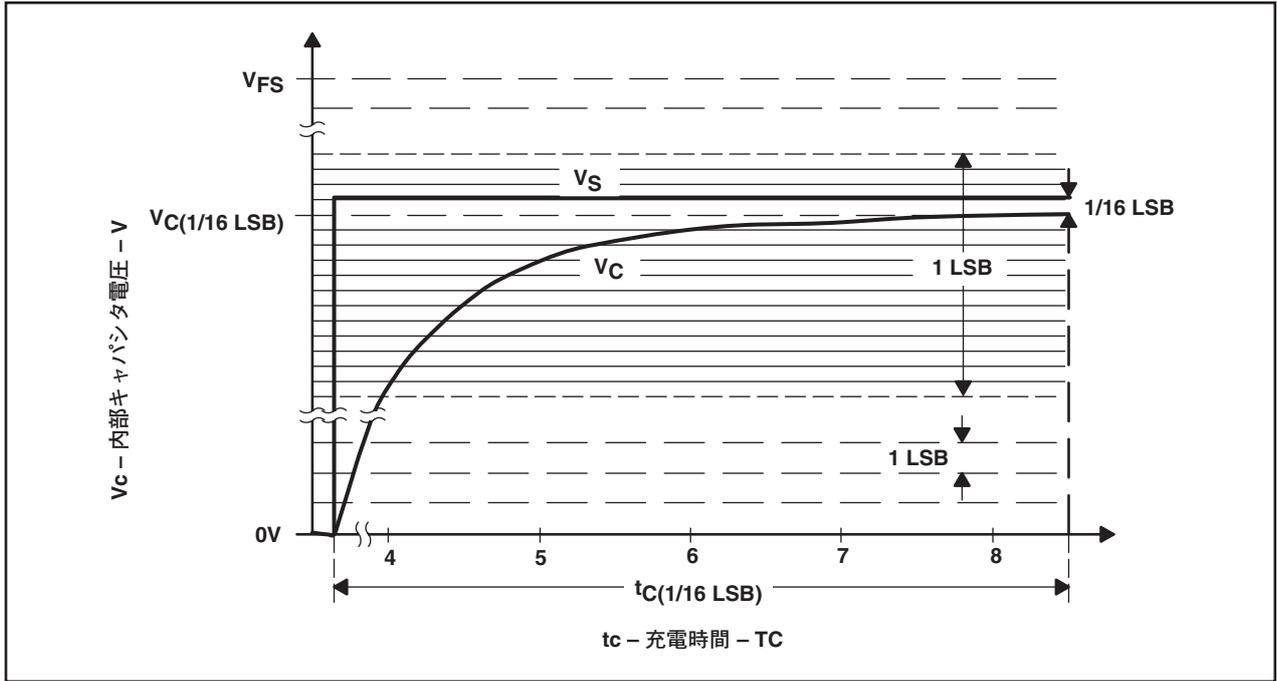


図 2. (充電時間tcの関数としての)内部キャパシタ電圧Vc

ここで、Nはコンバータの分解能です。また4は追加の分解能のビットと等価の数であり、LSBひとつを16レベルに分解して、LSBの1/16の精度を実現するために必要となります。

次のように、式(1)と式(3)をイコールで結びます。

$$Vs \left(1 - \frac{1}{2^{N+4}} \right) = Vs \left(1 - e^{-\frac{tc}{Rt \times Ci}} \right) \quad (4)$$

充電時間tcについて上の式を解くと、次のようになります。

$$tc_{1/16 \text{ LSB}} = Rt \times Ci \times \ln 2^{N+4} \quad (5)$$

ここで、lnは自然対数です。

2.2 式(5)を使用して時定数を計算する

式(2)に示した合計直列抵抗を持つ、分解能8ビット(N=8)のコンバータを考えてみてください。式(5)からは下記のように、等価ADコンバータ入力静電容量をLSBの1/16誤差まで充電するのに必要な時間が、時定数の数値の形で得られます。

$$\begin{aligned} tc_{1/16 \text{ LSB}} &= Rt \times Ci \times \ln 2^{8+4} \\ &= Rt \times Ci \times 8.32 \\ &= 8.32 \text{ 時定数} \\ &= 8.32 \text{ TC} \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、

$$TC = Rt \times Ci \quad (7)$$

従って、8ビットの分解能で、LSBの1/16誤差以内に入力を充電するには、時定数8.32が必要となります。表1に、10、12、14、16およびそれ以上のビット変換を行うために同様の計算を行った結果を示します。

分解能	充電時間, tc
8 bit	時定数 8.32
10 bit	時定数 9.70
12 bit	時定数 11.10
14 bit	時定数 12.48
16 bit	時定数 13.87

表 1. LSBの1/16の精度に必要な充電時間 tc

3. 任意のADCサンプリング時間 (Ts) を求めるための一般式

所要の精度を実現するための入力時定数は、ADコンバータのアナログ入力サンプリング時間 (Ts) の範囲内に収まる小さい値でなければなりません。セクション4に示す例では、誤差を6.25%以下にするために1/16LSBが選択されています。ADコンバータの内部サンプリング時間は、必要な時定数の値かそれ以上でなければならないため、所要の精度を実現するための最低サンプリング時間は次の一般式で求められます。

$$T_s(\min) = \text{所要の精度に必要なTCの数値} \quad (8)$$

3.1 8ビット製品TLC549の例

8ビット・コンバータ製品TLC549が、I/Oクロック周波数2MHzで動作していると仮定します。(データシートの)図2のタイミング・チャートを見ると、デバイスには「サンプル・サイクルB」と呼ばれる、I/Oクロック周期4つからなるサンプリング時間があることがわかります。8番目の立ち下りエッジでアナログ入力が入力がホールドされ、変換サイクルが始まります。したがって、ある選択された精度でTLC549がアナログ入力サンプリングを行うことのできる総時間は次のようになります。

$$T_s = \text{サンプリング用のI/Oクロック数} \times \frac{1}{\text{I/Oクロック周波数}} \quad (9)$$

$$T_s = 4 \times \frac{1}{2 \text{ MHz}} \\ = 4 \times 500 \text{ ns} = 2 \mu\text{s}$$

この式(9)のアナログ・サンプリング時間を、アナログ入力容量による1/16LSB誤差以内の充電に必要な時定数の総数とイコールで結ぶと、次のようになります。

$$t_{c1/16\text{LSB}} = T_s = 2 \mu\text{s} \\ = 8.32 (R_s + R_i) \times C_i$$

Ci = 100pF および ri = 1kΩとし、Rsについて解くと、次のようになります。

$$R_s = \frac{2 \mu\text{s}}{8.32 \times 100 \text{ pF}} - r_i \\ R_s = 2.4 \text{ k}\Omega - 1 \text{ k}\Omega = 1.4 \text{ k}\Omega$$

したがって、精度がLSBの1/16である場合、アナログ信号源抵抗は1.4kΩより大きくできません。

3.2 12ビット製品TLC2543の例

今回は、12ビット・コンバータ製品TLC2543がI/Oクロック・レート4MHzおよび12 I/Oクロック・モードで動作していると仮定します。(データシートの)図9を見ると、アナログ入力のサンプリング時間が「サンプル・サイクルB」と呼ばれており、長さがI/Oクロック8つ分であることがわかります。I/Oクロック・シーケンスの12番目の立ち下りエッジで入力がホールドされ、変換が始まります。したがって、アナログ入力サンプリングの総時間は次のようになります。

$$T_s = \text{I/Oクロック数} \times \frac{1}{4 \text{ MHz}} \\ = 8 \times 250 \text{ ns} = 2 \mu\text{s}$$

このアナログ・サンプリング時間を式(7)に挿入し、TLC2543コンバータが1/16LSB単位で安定するために必要な時定数の総数とイコールで結ぶと、次のようになります。

$$t_{c1/16\text{LSB}} = 2 \mu\text{s} = 1.11 \times (R_s + R_i) \times C_i$$

Ci = 100pF および Ri = 1kΩとし、Rsについて解くと、次のようになります。

$$R_s = \frac{2 \mu\text{s}}{1.11 \times 100 \text{ pF}} - r_i \\ R_s = 1.8 \text{ k}\Omega - 1 \text{ k}\Omega = 800 \Omega$$

したがって、12 I/Oクロック・モードで動作するTLC2543アナログ入力の精度がLSBの1/16である場合、入力アナログ信号源抵抗は800Ωより大きくできません。

4. 要約

このアプリケーション・レポート中に出てくる計算が示すのは、あるADコンバータの駆動源抵抗の最大値はサンプリング時間および回路パラメータによって様々に変化し、次の式を使用すれば、それに応じた必要な精度を求められるということです。

$$R_s = \frac{T_s}{C_i \times \ln 2^{N+m}} - r_i$$

ここで、

Rs = 駆動源抵抗

Ts = ADコンバータの固有サンプリング時間

Ci = ADコンバータの等価入力容量

ri = ADコンバータの等価入力抵抗

N = ADコンバータの分解能(ビット単位)

m = LSBの1/2mの精度を達成するために必要な、追加の分解能ビットと等価の数

(s1aa036)

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといたします）及びTexas Instruments Incorporated (TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといたします)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは承認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されてもありません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されてもありません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2007, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
 - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。
 4. 機械的衝撃
 - 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
 5. 熱衝撃
 - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）
 6. 汚染
 - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
 - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上