

マルチプレクサのセトリング・タイムと サンプリング・レートの計算方法

著者: Theresa Corrigan

はじめに

このアプリケーション・ノートでは、スイッチとマルチプレクサ・スイッチのセトリング・タイムの計算方法について説明します。マルチプレクサの最大サンプリング・レートの計算方法についても説明します。

スイッチまたはマルチプレクサのセトリング・タイムの計算

スイッチまたはマルチプレクサが安定するために要する時間の基本的な計算は、デバイスの RC すなわち $R_{ON} \times C_D$ を計算して、これに必要とされるシステム精度の時定数の個数を乗算することにより評価することができます。この結果をスイッチまたはマルチプレクサのスイッチ・タイミング (T_{ON} 、 T_{OFF} 、または $T_{TRANSITION}$) に加算します。

$$\text{安定に要する時間} = \text{スイッチング・タイミング} + (R_{ON} \times C_D \times \text{時定数の個数})$$

ここで、

R_{ON} はスイッチのオン抵抗。

C_D はスイッチのドレイン容量。

時定数の個数 = $-\ln(\% \text{誤差}/100)$ 。

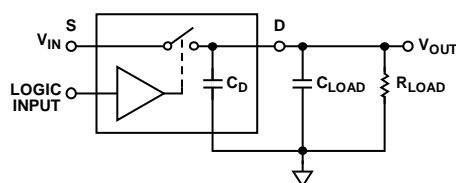
応答はスイッチと回路の抵抗と容量の関数であるため、セトリング・タイムを計算することができます。これは極が 1 個のシステム

と見なすことができるため、表 1 に示すように必要とされるシステム精度へ安定するために要する時定数の個数を計算します。

表 1. 単極システムで 1 LSB 精度に安定するために要する時定数の個数

Resolution, No. of Bits	LSB (%FS)	No. of Time Constants = $-\ln(\% \text{ Error}/100)$
6	1.563	4.16
8	0.391	5.55
10	0.0977	6.93
12	0.0244	8.32
14	0.0061	9.70
16	0.00153	11.09
18	0.00038	12.48
20	0.000095	13.86
22	0.000024	15.25

スイッチの動的伝達関数を図 1 に示します。この図には、代表的なアプリケーション・セットアップでの 1 チャンネルのスイッチとスイッチング時に影響を与える主要パラメータを示してあります。オン→オフとオフ→オンのポジション変化を行うときのスイッチのセトリング・タイムを計算する式を図 1 に示します。



$$\text{OFF-TO-ON: } t_{\text{SETT}} = t_{\text{ON}} + \left(\frac{R_{\text{ON}} \times R_{\text{LOAD}}}{R_{\text{ON}} + R_{\text{LOAD}}} \right) (C_{\text{LOAD}} + C_D) \left(-\ln \frac{\% \text{ERROR}}{100} \right)$$

$$\text{ON-TO-OFF: } t_{\text{SETT}} = t_{\text{OFF}} + (R_{\text{LOAD}})(C_{\text{LOAD}} + C_D) \left(-\ln \frac{\% \text{ERROR}}{100} \right)$$

NOTES

1. SETTLE TIME IS THE TIME REQUIRED FOR THE SWITCH OUTPUT TO SETTLE WITHIN A GIVEN ERROR BAND OF THE FINAL VALUE.

08231-001

図 1. スwitchの動的伝達関数—セトリング・タイム

マルチプレクサのセトリング・タイムはスイッチと同じ方法で計算されますが、スイッチの場合に使った T_{ON}/T_{OFF} の代わりにマルチプレクサの変化時間を使う点が異なります(式 A 参照)。

式A

$$T_{SETTLE\ MUX} = T_{TRANSITION} + [(R_{ON} \times R_{LOAD}/R_{ON} + R_{LOAD}) \times (C_{LOAD} + C_D) \times (\text{時定数の個数})]$$

代表的なアプリケーション・セットアップでの 10 ビット精度への ADG1208 のセトリング・タイムは、式 A を使って計算することができます。

$$T_{SETTLE\ MUX} = T_{TRANSITION} + [(R_{ON} \times R_{LOAD}/R_{ON} + R_{LOAD}) \times (C_{LOAD} + C_D) \times (\text{時定数の個数})]$$

±15 V 電源での代表的なデータ・シート仕様を使うと、

$$R_{ON} = 120\ \Omega$$

$$C_{D(OFF)} = 6\ \text{pF}$$

アプリケーション・パラメータは、

$$R_{LOAD} = 1\ \text{k}\Omega$$

$$C_{LOAD} = 5\ \text{pF}$$

$$T_{SETTLE\ MUX} = T_{TRANSITION} + [(R_{ON} \times R_{LOAD}/R_{ON} + R_{LOAD}) \times (C_{LOAD} + C_D) \times (\text{時定数の個数})]$$

$$T_{SETTLE\ MUX} = 80\ \text{ns} + [(120 \times 1000/120 + 1000) \times (5\ \text{pF} + 6\ \text{pF}) \times (6.93)]$$

$$T_{SETTLE\ MUX} = 80\ \text{ns} + 8.2\ \text{ns}$$

$$T_{SETTLE\ MUX} = 88\ \text{ns}$$

マルチプレクサの最大サンプリング・レートの計算

式 B を使って、マルチプレクサの最大サンプリング・レート f_s を計算します。

式B

$$f_s = 1/[T_{SETTLE\ MUX} (\text{チャンネル数})]$$

ここで、 $T_{SETTLE\ MUX}$ は式 A を使って計算します。

ADG1208 の場合は、

$$T_{SETTLE\ MUX} = 88\ \text{ns}$$

$$\text{チャンネル数} = 8$$

これから最大サンプリング・レートは次のように求まります。

$$f_s = 1/[(88\ \text{ns}) (8)] = 1.4\ \text{MSPS}$$

オンライン・セトリング・タイム・カルキュレータによるスイッチまたはマルチプレクサのセトリング・タイムの計算

スイッチ/マルチプレクサのセトリング・タイム・カルキュレータはアナログ・デバイセズのウェブサイト <http://designtools.analog.com/dt/settle> で提供しています。

Interactive Design Tools: Utilities : Switch / Mux Settling-time Calculator
A tool to estimate settling time and multiplexed sampling rate for an idealized multiplexer.

Instructions | Troubleshooting | Related Information

Device / Application Data		Time constant, t_{RC}	Settle	Sample
R_{SOURCE}	0 ohms	0.0127 us		
R_{ON}	200 ohms	$4.6 \times t_{RC}$	0.0586 us	17.06 MS/sec
R_{LOAD}	10000 ohms	$6.9 \times t_{RC}$	0.0879 us	11.37 MS/sec
$C_{S(OFF)}$	10 pF	$9.2 \times t_{RC}$	0.117 us	8.528 MS/sec
$C_{D(OFF)}$	30 pF	$11.5 \times t_{RC}$	0.147 us	6.823 MS/sec
C_{LOAD}	35 pF			

Transition time: 0 ns
Prog. gain amp. settling time: 0 ns

Calculate
V 1.0.3 CPP3

Circuit Diagram: V_{IN} is connected to a switch with resistance R_S . The switch is connected to a node with resistance R_{ON} . This node is connected to a load with resistance R_L and capacitance C_L . There is also a parasitic capacitance C_D at the node and a source capacitance C_S at the input.

図 2. スイッチ/マルチプレクサ・カルキュレータ・ツール

このカルキュレータは、縦続接続された低速な RC ネットワークの 2 個の時定数を求め、次にシステムが最終値の 1%、0.1%、0.01%、0.001%以内に安定するまでに通過する時定数の個数を計算することにより、マルチプレクサのセトリング・タイムを計算します。

このオンライン・セトリング・ツールは、セトリング・タイムを RC と時定数の個数との積として計算することに注意してください。スイッチング・タイミング(T_{ON} 、 T_{OFF} 、または $T_{TRANSITION}$)は含まれていません。

カルキュレータを使うときは、マルチプレクサのパラメータを R_{ON} (スイッチまたはマルチプレクサのオン抵抗)、 $C_{S(OFF)}$ (ソース・オフ容量)、 $C_{D(OFF)}$ (ドレイン・オフ容量)へ入力します。

アプリケーション・パラメータを R_{SOURCE} 、 R_{LOAD} 、 C_{LOAD} へ入力します。Tab を使ってフィールド間を移動してテーブル表示を更新するか、**Calculate** をクリックします。

一例として、オンライン・ツールを使って、ADG1208 マルチプレクサのセトリング・タイムを計算することができます。この場合も、 ± 15 V 電源での代表的なデータ・シート仕様を使います。

$$R_{ON} = 120 \Omega$$

$$C_{S(OFF)} = 1.5 \text{ pF}$$

$$C_{D(OFF)} = 6 \text{ pF}$$

アプリケーション・パラメータは、

$$R_{SOURCE} = 0 \Omega$$

$$R_{LOAD} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C_{LOAD} = 5 \text{ pF}$$

図 3 に示す 10 ビット精度へのセトリングの場合、セトリング・タイムは 9 ns と求まります。

前述のように、このカルキュレータではセトリング・タイムの計算にはスイッチ・タイミング(T_{ON} 、 T_{OFF} 、または $T_{TRANSITION}$)が含まれず、システムの RC と時定数の個数との積を使って計算しています。スイッチ・タイミングの計算では、式 A を使った計算に非常に近い値が得られます。

オンライン・カルキュレータによるマルチプレクサの最大サンプリング・レートの計算

また、オンライン・セトリング・カルキュレータは、S/H 入力を持つ従来型 ADC に適用可能な最大サンプリング・レートも計算します。サンプリング・レートは $1/\sqrt{t}$ として計算されます。

$$[(T_{SETTLE} + T_{TRANSITION})^2 + t_{PGA}^2]$$

この値は ADC の和($t_{ACQ} + t_{CONV}$)より小さい値である必要があります。そうしないと、最大サンプリング周波数は後者により制限されます。最大サンプリング周波数の計算値は、セトリング・タイム値の右側にメガ・サンプル/sec で示されます(図 3 参照)。

このオンライン・ツールは、マルチプレクサの 1 チャンネルの最大サンプリング・レートを計算します。マルチプレクサ上のスイッチするすべてのチャンネルの最大サンプリング・レートが必要な場合は、カルキュレータから得られたサンプル・レートをスイッチするチャンネル数で除算してください。図 3 に示すように、カルキュレータは ADG1208 の最大サンプリング・レートを 11.24 MSPS と計算します。これは、1 チャンネルだけのスイッチングに基づいています。ADG1208 の 8 チャンネルすべてをスイッチさせる場合は、この値を 8 で除算する必要があります。ADG1208 の 8 チャンネルの 10 ビットへのセトリングでは $11.24 \text{ MSPS} / 8 = 1.4 \text{ MSPS}$ サンプリング・レートとなります。この場合も、式 B を使った場合と同じ結果が得られます。

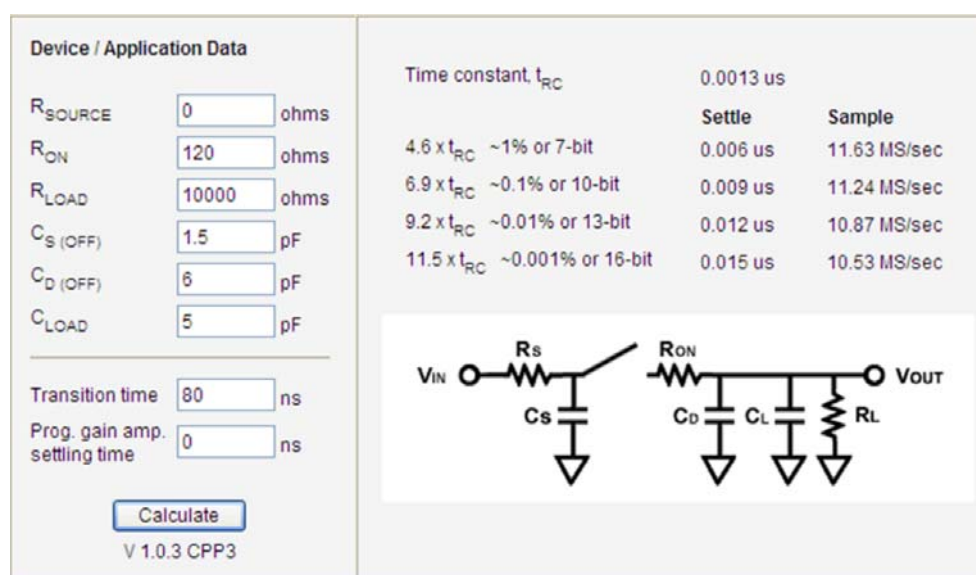


図 3.セトリング・タイム・カルキュレータ一例として ADG1208 を使用