

# CDCE (L) 9xx ファミリーの VCXOアプリケーション・ガイドライン

Ivo Marocco

High Speed-Clock Drivers

本アプリケーション・レポートはVCXOの応用について主眼を置いています。本デバイスの仕様を満たす水晶振動子の特性について、そして予期せぬ影響を低減するための部

品の実装法について説明します。そして末尾に、推奨する水晶振動子のリストを提供します。

## 内 容

1. はじめに.....	2
2. CDCE(L)9xx上に実装されたVCXO .....	2
2.1 アーキテクチャの概要 .....	2
2.2 水晶振動子：一般理論と基本式.....	2
3. CDCE(L)9xxにおいて水晶振動子に求められる仕様.....	4
3.1 水晶振動子に対する要件 .....	4
3.2 負荷容量.....	4
3.3 周波数可変範囲の絶対値 .....	6
3.4 非VCXOアプリケーションに要求される水晶振動子の仕様 .....	6
4. レイアウトに関する考察.....	6
5. 推奨する水晶振動子.....	6
6. 参考文献.....	7

## 説明図

図 1. CDCE(L)9xx VCXOのアーキテクチャ .....	2
図 2. 水晶振動子の等価回路.....	2
図 3. 水晶振動子のインピーダンス特性 .....	3
図 4. 制御電圧に対する周波数可変範囲特性 .....	4
図 5. 制御電圧に対するバリキャップ特性.....	5
図 6. 負荷容量特性.....	5
図 7. 周波数可変範囲曲線の比較 .....	7

## 説明表

表 1. VCXOアプリケーション向けに推奨する水晶振動子のリスト .....	6
---	---

Pro-Clockはテキサス・インスツルメンツの登録商標です。

この資料は、Texas Instruments Incorporated (TI) が英文で記述した資料を、皆様のご理解の一助として頂くために日本テキサス・インスツルメンツ (日本TI) が英文から和文へ翻訳して作成したものです。  
資料によっては正規英語版資料の更新に対応していないものがあります。日本TIによる和文資料は、あくまでもTI正規英語版をご理解頂くための補助的参考資料としてご使用下さい。  
製品のご検討およびご採用にあたりましては必ず正規英語版の最新資料をご確認下さい。  
TIおよび日本TIは、正規英語版にて更新の情報を提供しているにもかかわらず、更新以前の情報に基づいて発生した問題や障害等につきましては如何なる責任も負いません。

SCAA085 翻訳版

最新の英語版資料  
<http://www-s.ti.com/sc/techlit/scaa085.pdf>

## 1. はじめに

CDCE(L)9xxプログラマブル・クロック・ジェネレータはLVCMOSクロック信号、または外付け水晶振動子を入力とすることができます。

本デバイスにはVCXOが内蔵されているため、出力周波数をアナログ入力電圧により変化させることができ、出力信号を入力(例えばPWM)に同期させることが可能です。

## 2. CDCE(L)9xx上に実装されたVCXO

### 2.1 アーキテクチャの概要

外付けの水晶振動子が図1のように接続されることによって並列共振発振回路が構成されます。

この種のアーキテクチャは水晶振動子と負荷容量を帰還経路とする構成となります。アナログ制御電圧はこれら負荷容量(バラクタとも呼ばれます)に作用し、この電圧を変えることによって出力周波数を変化させることができます。したがって、出力周波数はプログラムで調整可能なCL1、CL2(共にデバイス上に実装)、そして水晶振動子によって決定されます。

### 2.2 水晶振動子：一般理論と基本式

水晶振動子はその電気的特性を図2に示す等価回路により表すことができます。

R1は等価直列抵抗(抵抗性損失)、L1は等価直列インダクタンス(振動質量)、C1は等価直列容量(振動体の弾性)、そしてC0は並列容量(静的容量)です。C1は電極面積に依存し、水晶のカットによっても変化します。また、C0は水晶材料を誘電体とし、真空蒸着された金属電極間の容量です。抵抗性損失を無視すれば、水晶振動子のインピーダンスは純粋なりアクタンスと見做すことができます。このリアクタンスは端子間に印加された電圧とそこに流れる電流の関係として与えられ、その周波数特性は図3のようになります。

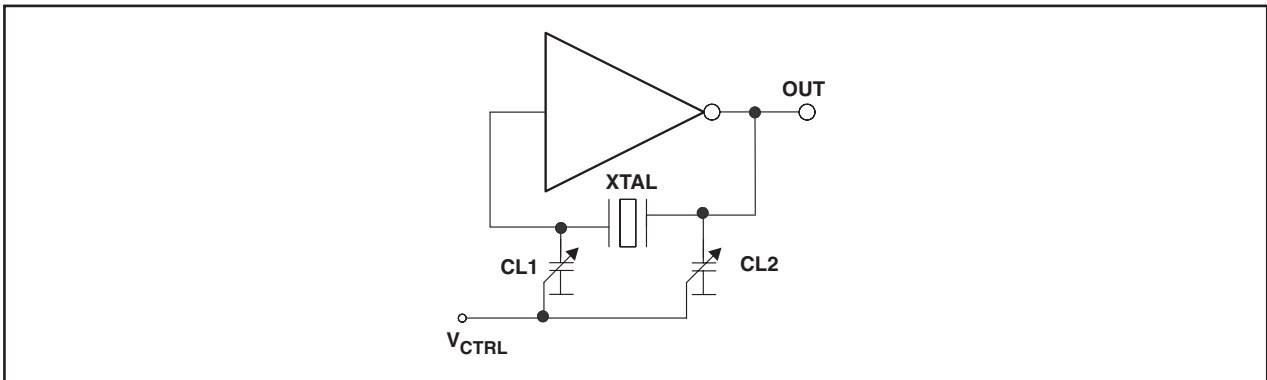


図 1. CDCE(L)9xxのVCXOのアーキテクチャ

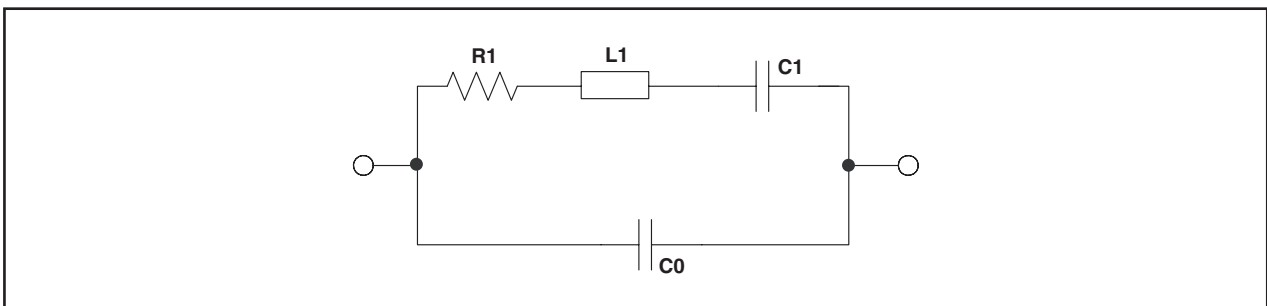


図 2. 水晶振動子の等価回路

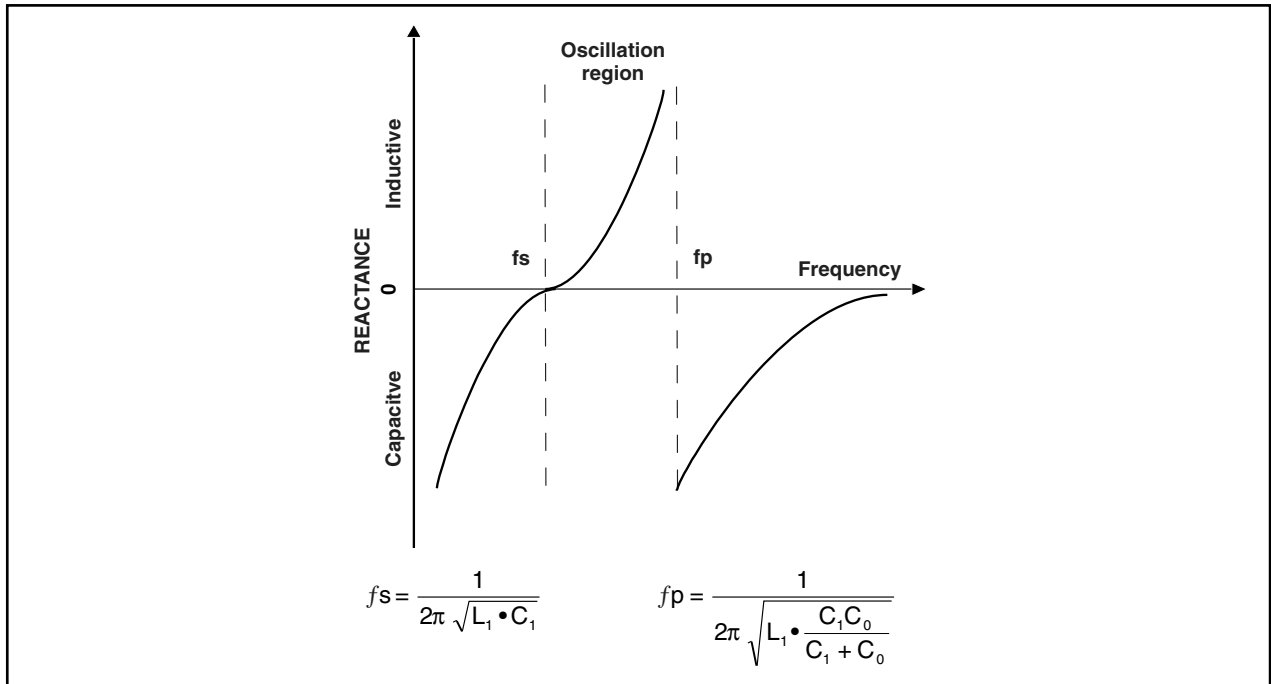


図 3. 水晶振動子のインピーダンス特性

リアクタンスの位相は2つの周波数点で0となります。1番目は直列共振周波数 (fs) 上にあり、2番目は並列共振周波数 (fp) 上にあります。このfsとfpとの間の領域が発振領域であり、この領域が広いほど水晶が引き込める周波数範囲が広がります。そして、この周波数範囲 (pullability) を表す係数は並列容量と等価直列容量との関係  $p = C_0/C_1$  として算出されます。

数式的にfsとfpには次のような関係があります。

$$fp = fs \times \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0}} \rightarrow fs \times \sqrt{1 + \frac{1}{p}} \quad (1)$$

上式より、係数pの値が小さくなるほどfpはfsよりも上方に移動することが分かります。図1の回路においては、容量負荷が動作周波数のある変化分だけfsより上方に移動させるように影響します。なお、この回路の動作周波数fl (負荷時) は次式のように計算できます。

$$fl = fs + fs \times \frac{C_1}{2 \times (C_0 + C_L)} \quad (2)$$

また、負荷容量によるこの周波数の変化量は次式で表すことができます。

$$\frac{fl - fs}{fs} = \frac{C_1}{2 \times (C_0 + C_L)} \quad (3)$$

負荷容量に対するこの周波数変化は周波数可変感度と呼ばれ、水晶に関するもう一つの重要なパラメータであり、次のように定義されます。

$$S = \frac{\delta_{\text{offset}}}{\delta_{C_L}} = \frac{C_1}{2 \times (C_0 + C_L)^2} \quad (4)$$

### 3. CDCE(L)9xxにおいて水晶振動子に求められる仕様

#### 3.1 水晶振動子に対する要件

これまで、水晶振動子に関するいくつかの重要なパラメータと数式について一般的に述べてきました。それではこれらのパラメータや数式がCDCE(L)9xxに要求される内容とどのように関係するのでしょうか？27MHzビデオへの応用で本デバイスが同期用に使われる場合、このアプリケーションでVCXOに求められる最も重要な仕様は周波数可変範囲となります。これは、制御電圧が変化させることのできる動作周波数の可変範囲を示します。その範囲は通常中心周波数に対してppm(百万分の一)の桁の大きさになります。CDCE(L)9xxでは0Vから1.8Vまでの電圧範囲で120ppmを可変範囲の標準値として規定しています(図4参照)。

VCXOとしての用途に使用される水晶振動子には、この要件を満たすために比 $p = C0/C1$ の値が220(または、それよりも小さい)に近いことが要求されます。また、 $C1 > 20pF$ であれば、さらにより良い性能(可変範囲 $> 120ppm$ )が得られます。

確実に発振を起動させるためにはESRはできるだけ小さく、また $C0$ は $6pF$ より小さい必要があります。これらの値が大きいと、VCXOの起動に影響することがあります。

#### 3.2 負荷容量

負荷容量は、水晶振動子の接続点間で実測されたあるいは計算された容量の値として定義されます。つまり、 $CL1$ および $CL2$ だけでなく、浮遊容量 $Cs$ (水晶振動子用ソケットの容量、およびプリント基板とデバイスとが水晶振動子と接続される接続点間の寄生容量)も含まれます。

$$C_L = CL_{On-Chip} + C_s \rightarrow CL_{On-Chip} = \frac{CL_1 \times CL_2}{CL_1 + CL_2} \quad (5)$$

$CL_{ON-Chip}$ はデバイス上に実装された容量で、プログラムで調整することが可能です。また、この容量はバラクタとも呼ばれます。CDCE(L)9xxでは、レジスタ05hのビット[7:3]により(データシートSCAS844を参照)0pFから20pFまで1pF単位で変更することができます。デフォルト値は10pFです。

水晶振動子の仕様から得られる負荷容量 $CL$ と、データシートから得られる $Cs$ から、それら容量値の差を求めることによって $CL_{ON-Chip}$ の値を算出することができます。そしてその値に相当するビットを選択し、プログラムすることでその目的の容量値を設定することが可能です。

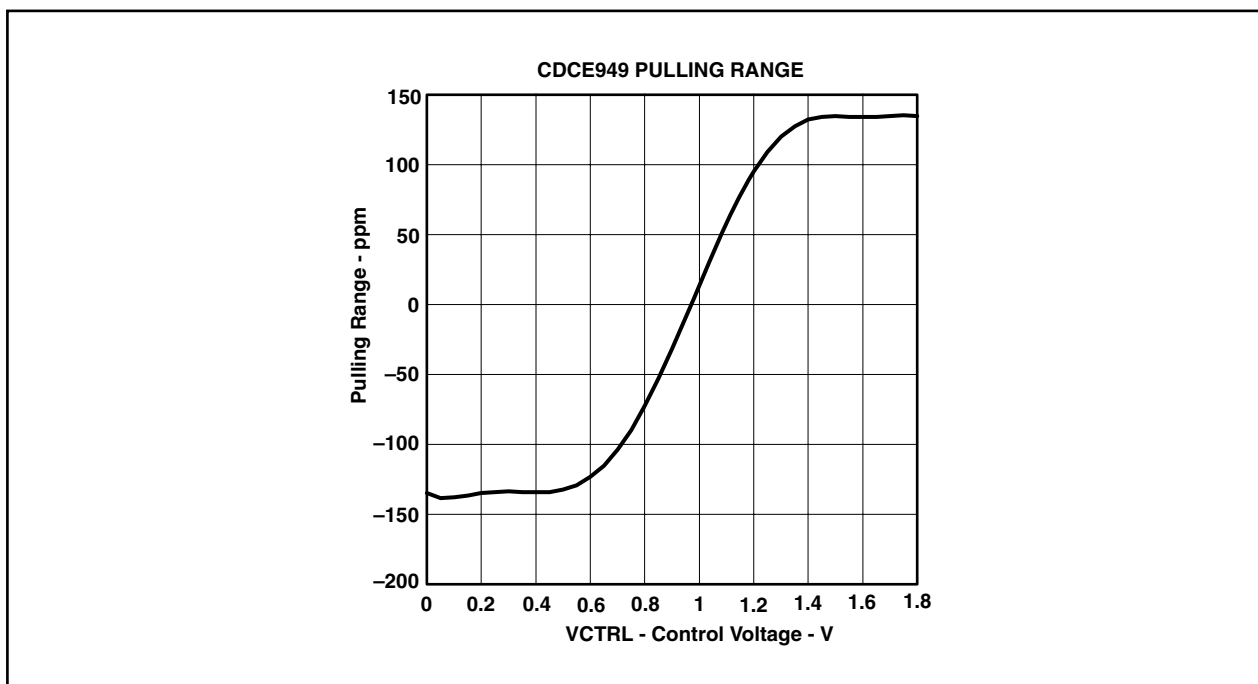


図 4. 制御電圧に対する周波数可変範囲特性

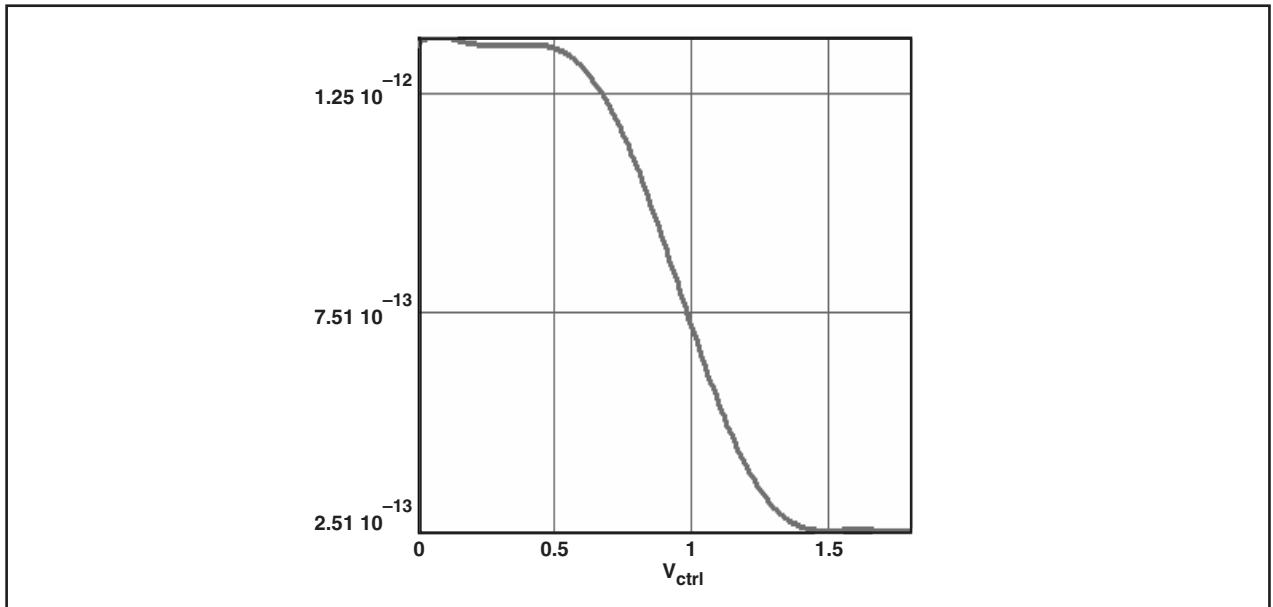


図 5. 制御電圧に対するバリキャップ特性

一度  $CL_{ON-Chip}$  が設定されれば、0Vから1.8Vまでの制御電圧の変化に対応してバラクタの値は  $1.3 \times CL_{ON-Chip}$  (所定値より30%高い) から  $0.3 \times CL_{ON-Chip}$  (所定値より70%低い) までの範囲で変化します。より具体的には、図5の曲線をご参照ください。

周波数可変範囲が要件を満たすかどうかについては、使われている水晶振動子の、容量  $CL_{ON-Chip}$  に対して持つ周波数可変感度に依存します。この点においては、制御電圧は  $CL_{ON-Chip}$  にのみ作用して寄生容量には影響しないため、寄生容量を低減することが重要となります。寄生容量が大きいと周波数可変範囲は狭くなります。

図6には負荷容量に対する周波数変化の一例を示します。これは、負荷容量特性とも呼ばれます。この例に示す水晶振動子は12pFの負荷容量に対して25ppm/pFの調整感度を持っています。

この図6の例では、制御電圧の変化に対しバラクタの値が中心値 (12pF) から上述した範囲 (3.6pFから15.6pF) の間で変化し、最大の変化幅は12pFとなります。この変化に対応して出力周波数は変化し、最終的にはおおよそ300ppm ( $\pm 150\text{ppm}$ ) ( $12\text{pF} \times 25\text{ppm/pF}$ ) の周波数可変範囲が得られます。

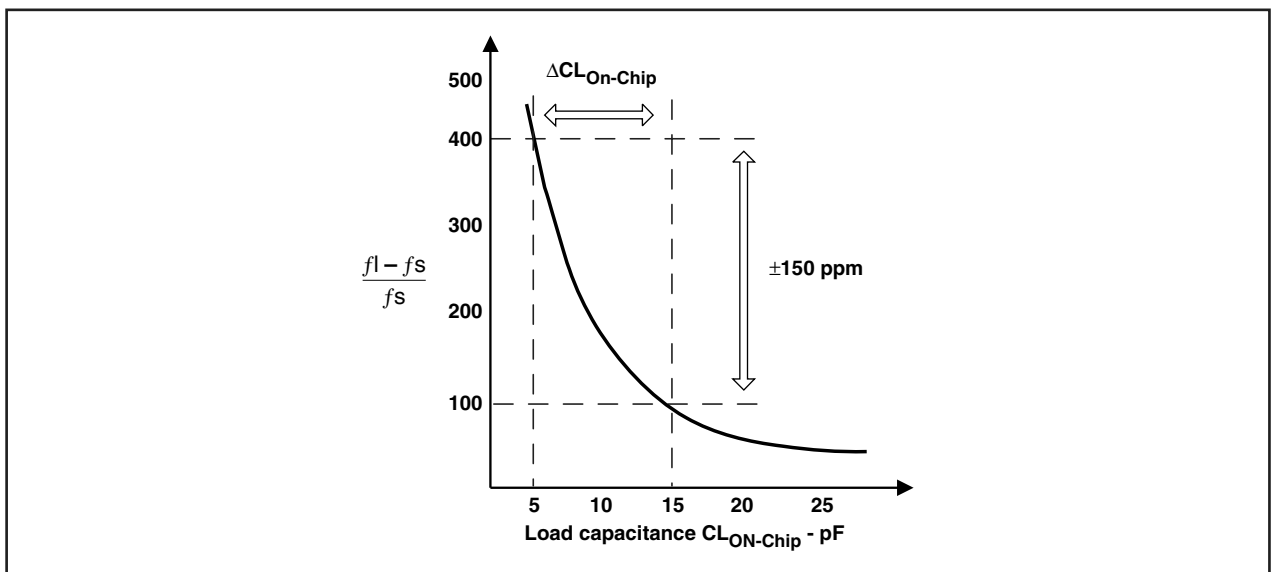


図 6. 負荷容量特性

### 3.3 周波数可変範囲の絶対値

VCXOはそのリファレンスである水晶振動子にロックする共振子としても考えることもできます。水晶振動子から成るVCXO回路は、温度の安定性、経年変化、回路のばらつきなどの影響を受けます。つまり、周波数可変範囲の絶対値は、先に計算した周波数可変範囲から全ての誤差要因を差し引いたものとなります。この絶対値はVCXOが水晶振動子にどれだけ良く追従し、どれだけ良好にその基本波モードにロックできるかを示す指標になります。

ここで先の例(±150ppm)に対して下記の各誤差要因を考慮に入れると、最終的な周波数可変範囲の絶対値は±70ppmとなります。

周波数許容偏差	20ppm
温度安定性	30ppm
経年変化	15ppm
回路のばらつき	15ppm

### 3.4 非VCXOアプリケーションに要求される水晶振動子の仕様

本デバイスが水晶振動子を入力とする場合でもVCXOとして使用されない場合は周波数可変範囲という概念を考慮に入れる必要がなく、この水晶振動子に対する要件は大幅に緩和されます。

水晶振動子に求められる基本周波数の範囲は最小8MHzから最大32MHzまでです。電氣的仕様については等価直列抵抗(ESR)と並列容量(C0)について配慮を払う必要があります。

起動を確実なものにするため、ESRは100Ωより小さく、C0は6pFより小さい必要があります。

## 4. レイアウトに関する考察

先述したように、水晶振動子の端子間に存在する寄生容量によってVCXOの周波数可変範囲は狭くなります。したがって、水晶振動子を基板上に実装する際には注意を払う必要があります。水晶振動子は常にデバイスのできるだけ近くに配置し、水晶振動子の端子からデバイスのXINおよびXOUTへ至る配線の長さは共に等しくするようにします。可能であれば、水晶振動子と本デバイスとの間の配線が通る部分の下のグラウンドパターンと電源パターンは切り抜いてください。加えてこの部分はノイズ源となる可能性があるため、他のいかなる配線も避けてください。

水晶振動子の負荷容量に関する仕様を満たすためにディスクリートのコンデンサを追加しなければならない場合があります。例えば、水晶振動子の負荷容量10.7pFに対しては、デバイス上では1pF単位でしか設定できないので、これと全く一致した負荷容量値を設定することはできません。

この場合、残りの0.7pFはディスクリート部品で付加することができます。このとき、配線の誘導性の影響を最小限にするためこのコンデンサはデバイスのできるだけ近くに、XINおよびXOUTに対して対称になるように配置するようにしてください。

## 5. 推奨する水晶振動子

表1に本デバイスの要件を満たす水晶振動子のリストを示します。

水晶メーカー	部品番号
大真空	SMD-49
大真空	DSX530GA
KVG	XA 3648
NewXtal	C18P06002 SMD 5032
Pletronics	SMT13T065
Quartzcom	UM-1 MJ

表 1. VCXOアプリケーション向けに推奨する水晶振動子のリスト

与えられた水晶振動子に対するVCXOの周波数可変範囲は、TI Pro-Clock™プログラミングソフトウェア (TIウェブサイト入手可)にその電気的仕様 (C0, C1, CL, およびL1) を入力するだけでシミュレーションすることができます。図7に、このソフトウェアによるシミュレーション結果と、実際に測定で得られた周波数可変範囲を示す曲線とを対比する形で示します。

## 6. 参考文献

- Schwingquarze: ein unverzichtbares Bauelement in der Elektronik (Vistas Verlag, Berlin)
- 「High Speed Layout Guidelines」アプリケーションレポート (SCAA082)

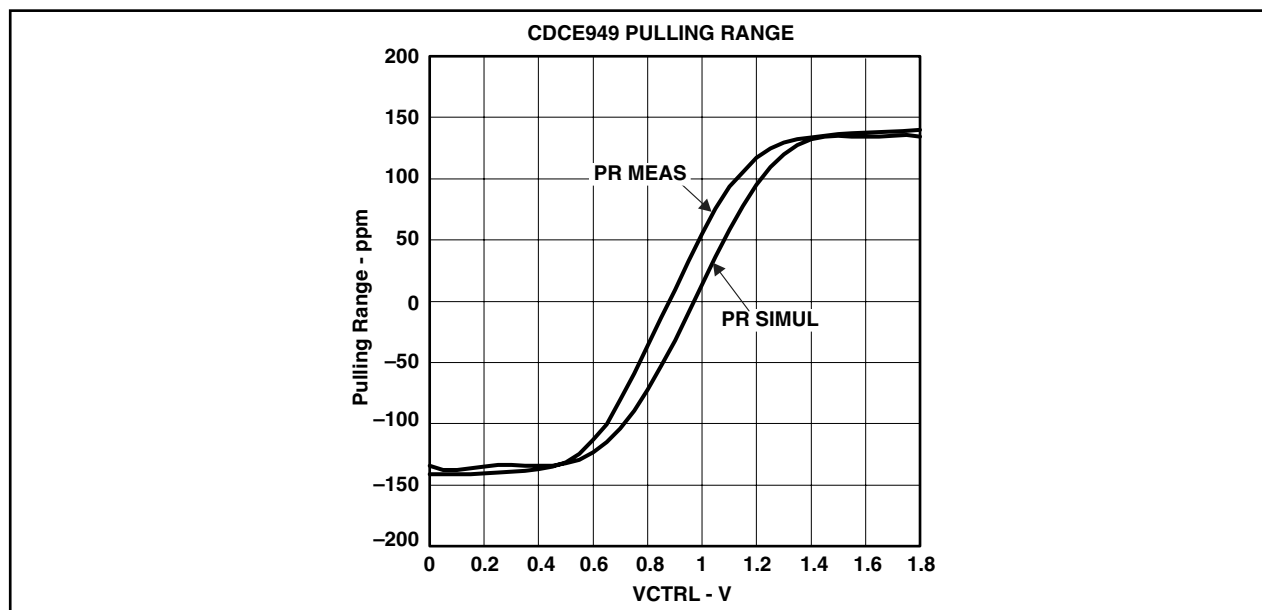


図 7. 周波数可変範囲曲線の比較



# 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TIJ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。

TIJ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と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。

TIJ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。

TIJ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いません。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、保証もしくは承認をする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TIJにより示された数値、特性、条件その他のパラメータと異なる、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。TIJ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。

TIJ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TIJ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いません。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いません。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 © 2009, 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 °C、相対湿度: 40 ~ 85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(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 °C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