

プログラム可能な入力マルチプライヤによる整数境界スピリアスの 最小化

Dean Banerjee

ABSTRACT

プログラム可能な入力マルチプライヤを使用すると、特にワースト条件下のVCO周波数で、PLLのスピリアスを劇的に改善できます。この方法を「Spur-b-Gone」(スピリアスの追放)と呼んでいます。この機能は完全にPLL内部に実装されており、入力周波数の変更は不要です。この機能は、LMX2571など一部のTI製PLLに搭載されています。

目次

1	PLLの概要.....	2
2	整数境界スピリアスについて	2
3	Spur-b-Gone (スピリアスの追放)の概念	2
4	プログラム可能な入力マルチプライヤの使用.....	3
5	Spur-b-Goneの詳細情報とCodeLoaderでのSpur-b-Goneボタンの動作	4

1 PLLの概要

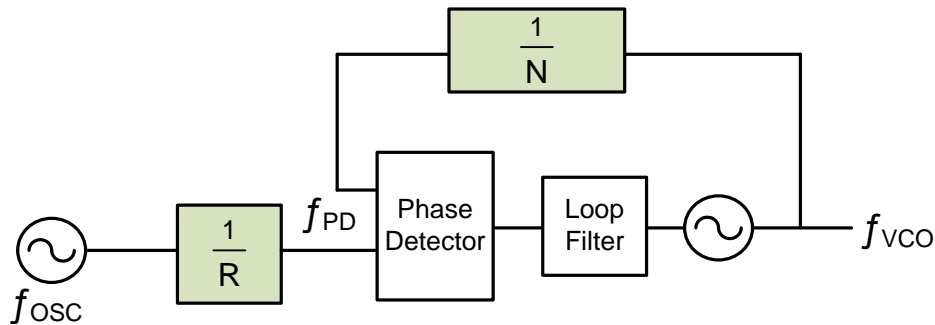


図 1. 基本的なPLL

PLL (位相同期ループ)は、固定の周波数(f_{osc})から開始され、整数R分周器の値(R)で除算することで、位相検出器の周波数(f_{PD})を生成するものです。

$$f_{PD} = \frac{f_{osc}}{R} \quad (1)$$

同様に、VCO周波数(f_{VCO})はN分周器の値(N)により除算され、位相検出器の周波数を生成します。N分周器にはフラクショナル(分数)型もあります。位相検出器はN分周器とR分周器の出力を比較して補正パルスがループ・フィルタに出力し、そのパルスがループ・フィルタを通過することで電圧に変換されます。この電圧は、電圧制御発振器(VCO)によって周波数に変換されます。入力周波数と出力周波数の関係を式 2 に示します。

$$f_{VCO} = N \times f_{PD} = f_{VCO} \times \frac{N}{R} \quad (2)$$

2 整数境界スプリアスについて

N分周器の値が整数でない場合、整数境界スプリアスが発生する可能性があります。このスプリアスは一般に最も厄介なものであり、VCO周波数と、位相検出器周波数の整数倍で最も近い周波数との差に等しいオフセット位置(f_{spur})で発生します。

$$f_{spur} = f_{VCO} \% f_{PD} \quad (3)$$

たとえば表 1 の回路では、ワーストケースのチャンネルは2000.1、2019.9、2020.1、2039.9、2040.1MHzです。これらのチャンネルはいずれも、最も近い整数境界のワーストケースであり、スプリアスのオフセット周波数は100kHzです。

表 1. 整数境界スプリアスの例

パラメータ	値
f_{osc}	20MHz
f_{PD}	20MHz
f_{VCO}	2000~2050MHz
チャンネル間隔	0.1MHz

3 Spur-b-Gone (スプリアスの追放)の概念

Spur-b-Goneの概念は、入力周波数の後段にマルチプライヤを置き、位相検出器の周波数を動的に変更可能にして、望ましくない整数境界スプリアスを回避できるようにするというものです。

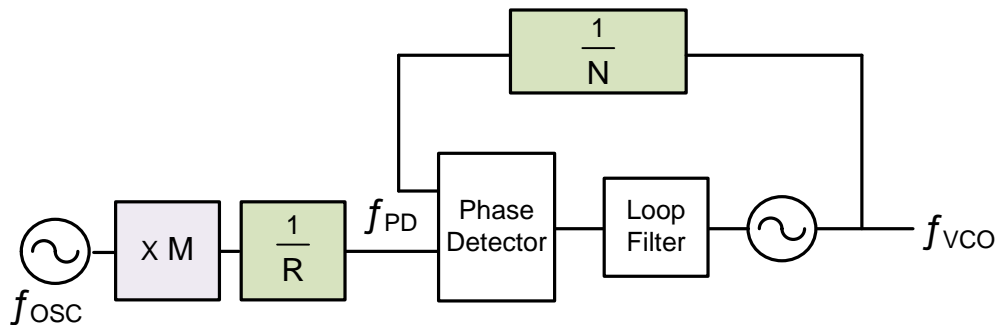


図 2. スプリアスを回避するアーキテクチャ

表 1 に示す例では、マルチプライヤの値(M)を3に、R分周器の値を2に変更すると、位相検出器の周波数が30MHz になり、整数境界スプリアスを回避できます。このように位相検出器の周波数を変えると、ループのダイナミック特性 が変化することも事実ですが、チャージ・ポンプを使用して補償可能です。この場合、位相検出器が20から30MHz に1.5倍増大したとき、チャージ・ポンプのゲインを1.5で除算するのが理想的です。

4 プログラム可能な入力マルチプライヤの使用

表 2 に示す例で、通常のアプリケーション(Spur-b-Goneなし)とSpur-b-Goneを使用するアプリケーションとを比較し ます。VCOの整数境界スプリアスが著しく改善されることがわかります。また、この整数境界スプリアスは混在するこ とがあり、分周によって別のスプリアスを形成することもあるため、この100kHzの主な整数境界スプリアスから他のス プリアスが派生するリップル効果も減少しています。

表 2. Spur-b-Goneの例

パラメータ	通常	Spur-b-Gone使用
f_{osc}	20MHz	20MHz
R	1	3
M	1	4
f_{PD}	20MHz	26.66.. MHz
f_{VCO}	5400.1MHz	5400.1MHz
出力周波数	540.01MHz	540.01MHz
100kHzオフセットの VCO整数境界スプリアス	-63dbc	-70dBc
50kHzオフセットの 1/2 VCO整数境界スプリアス	-59dBc	-72dBc
10kHzオフセットの 1/10整数境界スプリアス	-53dBc	< -72dBc

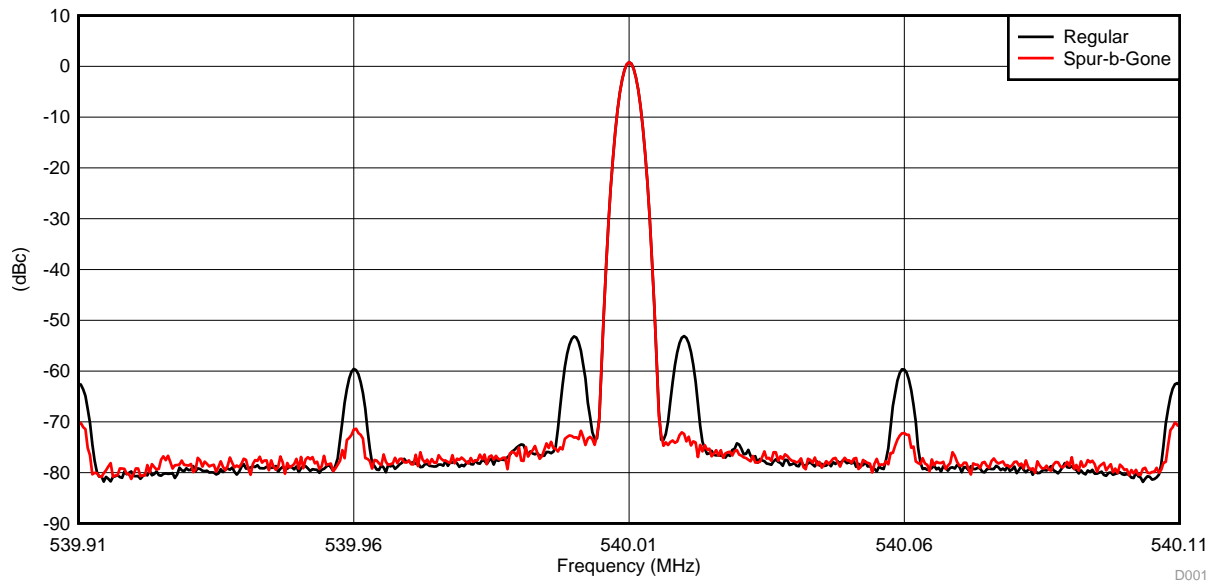


図 3. Spur-b-Goneの例

図 3に見られるように、VCOの整数境界スプリアスが低減しただけでなく、分周器を経由することで、他の多くのスプリアスも影響を受けています。同じループ帯域幅を維持するため、チャージ・ポンプの電流が調整されていることに注意してください。ループ・フィルタはLMX2571評価時のデフォルト、チャージ・ポンプ・ゲインは通常のケースで用いられる最大値を用いていますが、これらは重要ではありません。重要なのは、Spur-b-Goneによって達成されるスプリアス・レベルの相対的な変化です。

5 Spur-b-Goneの詳細情報とCodeLoaderでのSpur-b-Goneボタンの動作

Spur-b-Gone使用の基本的な考え方は、整数境界からの距離を最大にすることです。ただし、2つの整数チャンネルの中点またはその近くでは、スプリアスも大きくなるのがわかっています。しかし、まさに整数境界に該当する位置ほどは大きくありません。また、マルチプライヤの値が大きくなりすぎると、ノイズも増える可能性があります。

CodeLoaderのSpur-b-Goneボタンは、有効なすべてのPLL_R_PRE、PLL_R、MULTの値に反復して計算を適用し、それぞれのインデックスを計算します。その後で、最も高い(最良の)インデックスが選択されます。このインデックスの計算では、最も近い整数チャンネルまでの距離に、中点までの40倍の重み付けを行い、これらを並列的に組み合わせます。その後で、マルチプライヤの値で除算を行います。このため、高いマルチプライヤの値は、それによって何らかの利点がない限り採用されません。

```

IBS = Fvco % Fpd (Distance to closest integer channel)
IBS2 = Fvco % (Fpd/2) (Distance to closest midpoint between 2 integer channels)
If IBS = 0 then
Index = Infinite (Ideal to be exactly on an integer channel)
Else If IBS2=0 then
Index = 0 (Stay away from 1/2 of integer boundary)
Else
If IBS<IBS2 then
Index = IBS / Mult
Else
Index = IBS * (40 * IBS2) / (IBS + 40 * IBS2) / Mult
End If
End If
    
```

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供されるものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関係する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的のみに使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他のような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示の保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。