



XAPP1065 (v1.0) 2010 年 3 月 22 日

Spartan-6 FPGAにおける スペクトラム拡散クロックの生成

著者 : Jim Tatsukawa

概要

民生用ディスプレイアプリケーションでは通常、高速 LVDS インターフェイスを使用してビデオデータを転送しています。これら民生機器における電磁両立性 (EMC) の問題には、スペクトラム拡散クロックを使用することで対応できます。このアプリケーション ノートでは、Spartan®-6 FPGA で DCM_CLKGEN プリミティブを使用してスペクトラム拡散クロックを生成する方法について説明します。

はじめに

スペクトラム拡散クロックによる EMI の削減

電子機器メーカーは、製造する製品からの電磁エネルギーが付近で動作している別の電子機器に干渉しないようにする必要があります。たとえば、電話がビデオ ディ스플레이の側にあっても、その通話品質は低下しないようにしなければなりません。EMC とは、EMI (電磁干渉) を含め、このような妨害を引き起こすノイズを規制するものです。EMC の規定は製品がどこで使用されるかによって異なりますが、一般的なソリューションとしては、高価なシールド、フェライト ビーズ、またはチョーク コイルを追加します。このようなソリューションは、結果として PCB の配線が複雑になり、製品の開発期間が長期化するために最終的な製品コストを増加させる可能性があります。

EMC の規定では最終的な製品をテストし、それが発する EMI ノイズ量である磁界強度を測定します (表 1)。磁界強度は、アンテナを用いてさまざまな周波数と距離で測定します。要件を満たすには、規定を課している団体が指定する複数の周波数および距離で最終製品の磁界強度を測定します。

表 1 : 許容可能な EMC レベル

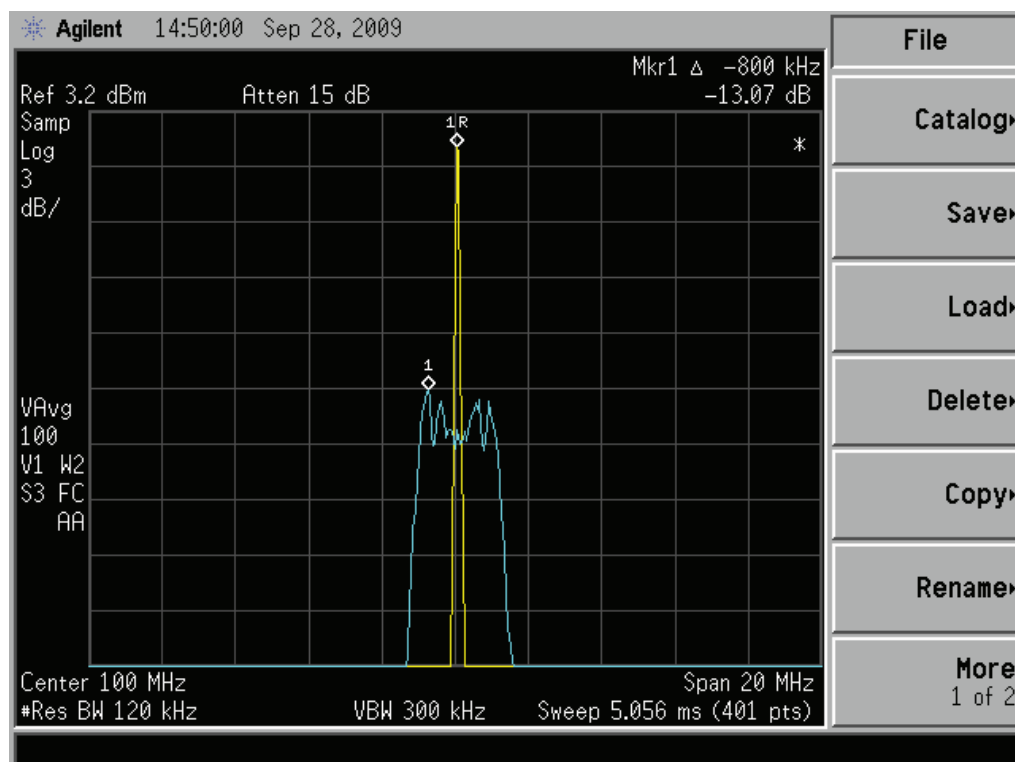
周波数 (MHz)	FCC 磁界強度 (dB μ V/m) @ 10 メートル	CISPR 磁界強度 (dB μ V/m) @ 10 メートル
88	29.5	30
216	33	30
230	35.6	30
960	35.6	37

注記 :

1. FCC : Federal Communications Commission
2. CISPR : International Special Committee on Radio Interference

各最終製品 (システム) は、使用されているあらゆるコンポーネント、PCB 設計、機械的エンクロージャによってその特性が異なってくるため、FPGA 単独の EMC テスト結果はシステム設計者にとって有用な情報ではありません。一方、複数の周波数にわたるクロック エネルギーの拡散の計測は、システム全体が発するノイズに直接影響を及ぼします。

図 1 (1R) は、基準となる標準的なクロック信号のスペクトラム アナライザーによる計測結果です。クロック信号をスペクトラム拡散クロックにすると、エネルギーは 13dB 減少します。この例では、3% のセンター拡散 ($\pm 1.5%$ 拡散と呼ばれることもある) 変調によって、入力周波数を中心に周波数が均等に分散しています。



X1065_01_020910

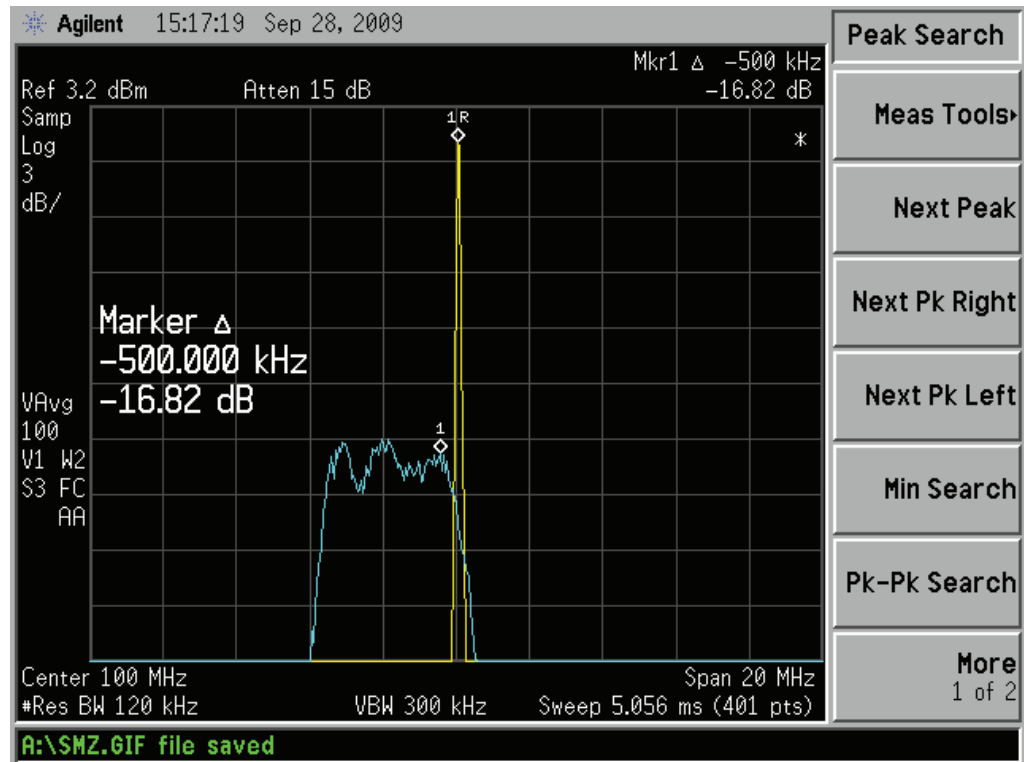
図 1：スペクトラムアナライザーで見るセンター拡散変調

センター拡散変調を使用した場合、クロックの周波数は入力周波数よりも高くなる可能性があります。このため、システムの最大クロック周波数は調整が必要です。図 1 の例では、センター拡散による変調は 1.5% です。スペクトラム拡散をジッターまたはクロック誤差と混同しないようにしてください。スペクトラム拡散には比較的低い変調周波数が用いられるため、スペクトラム拡散による唯一の影響はセンター拡散変調で生成される入力周波数よりも高いクロック周波数です。

注記：変調後のクロックの平均周波数は、入力周波数と異なってもかまいません。

入力周波数より高い周波数が許容されないシステムでは、図 1 の例と類似したダウン拡散変調を使用します。ダウン拡散変調では、最大周波数が入力周波数と同じになります。完全に同期したシステムでは最大周波数は変動しないため、ダウン拡散変調を使用することによる影響はありません。

クロック周波数がどのように変化するか、または変調されるかによって、スペクトラム拡散クロックを使用することによるシステムへの影響が変わります。クロック周波数の変化が多数のクロックサイクルにわたる緩やかなものである限り、スペクトラム拡散クロックはシステムに影響を与えません。クロック周波数の変化があまりにも遅い (20-30Hz) と、スペクトラム拡散クロックの利点が減少します。逆に、クロック周波数の変化が速すぎる (> 120KHz) と、スペクトラム拡散クロックはジッターとして現れたり、PLL がスペクトラム拡散クロックに正しくロックできない可能性が出てきます。



X1065_02_020910

図 2：スペクトラムアナライザーで見るダウン拡散変調

変調は、クロック周波数を経時的に追跡することで測定できます (図 3)。変調周波数とは、変調されたスペクトラム拡散クロックが全周波数域を変移する周波数です。

Spartan-6 FPGA デザインでスペクトラム拡散クロックを使用する場合は、周波数偏差と変調周波数の両方を考慮する必要があります。

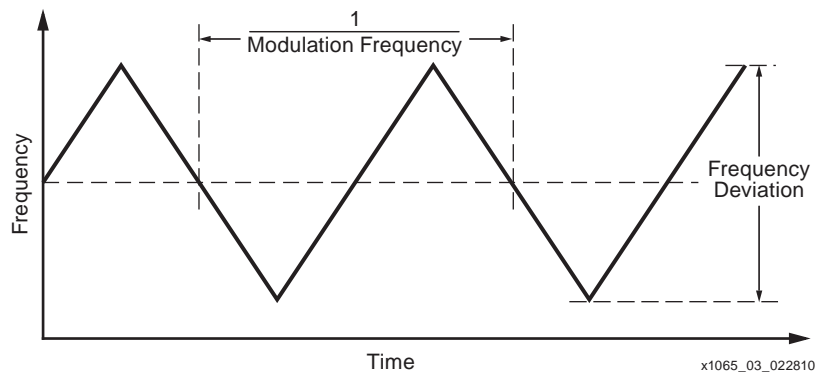


図 3：三角波スペクトラム拡散クロック

スペクトラム拡散 クロックの生成

Spartan-6 FPGA では、標準的な固定周波数のオシレーターからスペクトラム拡散クロック ソースを生成できます。このクロック ソースは DCM_CLKGEN プリミティブを使用して生成されます。DCM_CLKGEN プリミティブは、最も簡単なインプリメンテーションとなる固定スペクトラム拡散クロック ソリューション、または柔軟性には優れるもののスペクトラム拡散クロックの生成に追加の制御ロジックが必要なソフト スペクトラム拡散クロック ソリューションのいずれも提供できます。

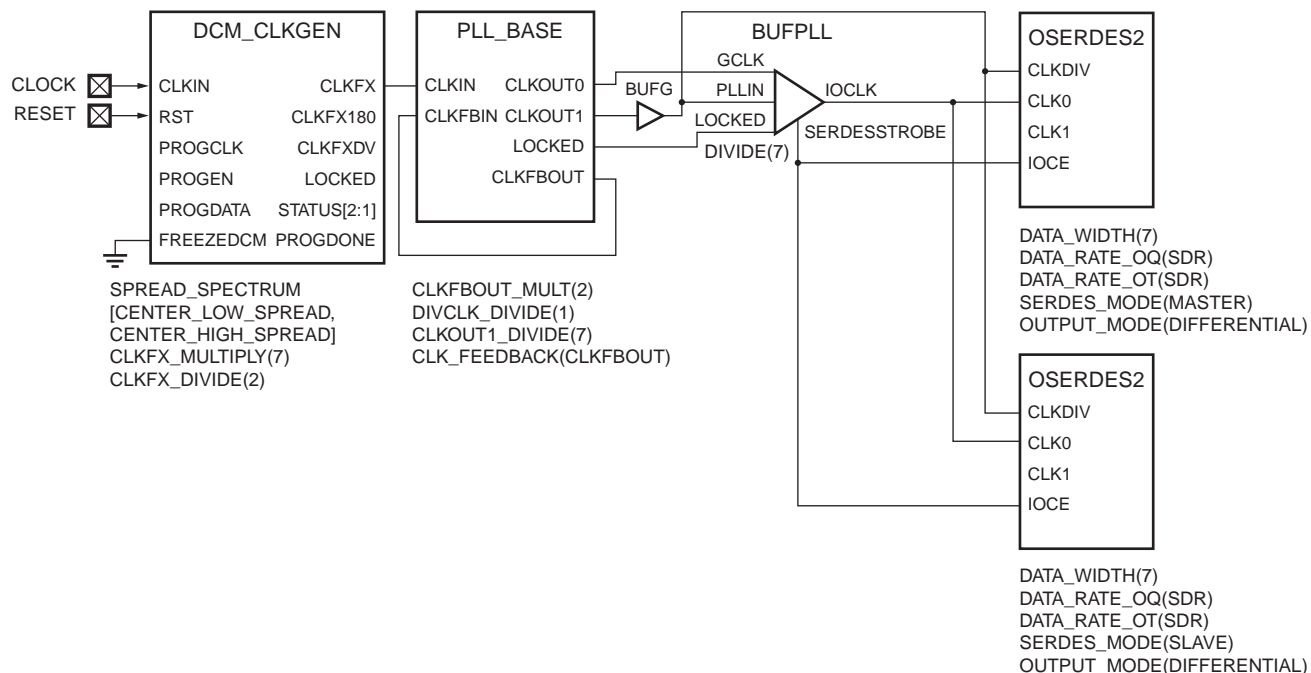
表 2 に示されているように、固定スペクトラム拡散クロック ソリューションは一般的なスペクトラム拡散クロック要件を満たすためのものです。SPREAD_SPECTRUM 属性の設定のみが必要です。ソフト スペクトラム拡散クロック ソリューションは、ビデオ アプリケーション (M = 7、D = 2) 向けのより柔軟なソリューションですが、DCM_CLKGEN プリミティブを制御するステート マシンを追加する必要があります。ソフト スペクトラム拡散クロック ソリューションでは、VIDEO_LINK_M0、VIDEO_LINK_M1 または VIDEO_LINK_M2 属性を使用します。

表 2 : DCM_CLKGEN を使用するスペクトラム拡散モードのまとめ

	固定スペクトラム拡散クロック	ソフト スペクトラム拡散クロック
SPREAD_SPECTRUM 値	CENTER_LOW_SPREAD	VIDEO_LINK_M0
	CENTER_HIGH_SPREAD	VIDEO_LINK_M1
		VIDEO_LINK_M2
追加ロジック	なし	sstop.v
変調プロファイル	三角波	三角波
拡散方式	センター	ダウン
F _{MOD} (変調周波数)	F _{IN} /1024	図 8 を参照
CLKFX クロック周期の拡散 (周波数偏差)	CENTER_LOW_SPREAD : 100ps/CLKFX_DIVIDE CENTER_HIGH_SPREAD : 240ps/CLKFX_DIVIDE	図 11 を参照
CLKFX_MULTIPLY	2-32	7
CLKFX_DIVIDE	1-4	2、4
DCM_CLKGEN プログラミング ポート	—	PROGCLK、PROGEN、 PROGDATA、PROGDONE

固定スペクトラム 拡散

スプレッド拡散クロックの最も単純な実装方法は、DCM_CLKGEN プリミティブのいずれかの固定モードを使用することです。SPREAD_SPECTRUM を CENTER_LOW_SPREAD または CENTER_HIGH_SPREAD に設定すると、DCM_CLKGEN は自動的にスペクトラム拡散クロックを生成します。このプリミティブには、固定モードで三角波のセンター拡散変調に必要な回路がすべて含まれています。図 4 に、固定モードを使用した場合のビデオ アプリケーションの典型的な実装を示します。OSERDES2 が必要とするフル SDR クロック レートを生成するには、クロック周波数を通倍する追加の PLL が必要です。



x1065_04_031810

図 4： 固定モードの DCM_CLKGEN スペクトラム拡散クロックを使用したセンター拡散変調の例

拡散量は、デザインの最終的な構成に依存します。図 5 に、DCM_CLKGEN でクロック周波数を 3.5 倍 (CLKFX_MULTIPLY = 7、CLKFX_DIVIDE = 2) にしている、一般的なビデオ アプリケーションの拡散を示しています。アプリケーションに必要な拡散量に応じて、CENTER_LOW_SPREAD または CENTER_HIGH_SPREAD のいずれかを選択します。

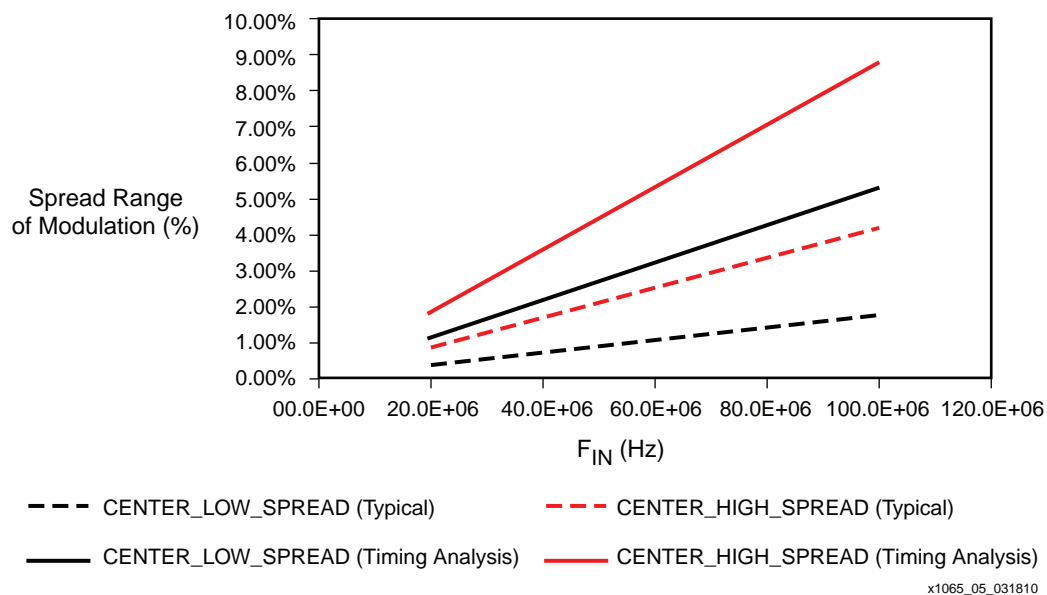


図 5: ビデオ アプリケーションにおける固定スペクトラム拡散クロックの拡散の例

図 6 に示すように、固定モードでの変調周波数は CENTER_LOW_SPREAD と CENTER_HIGH_SPREAD のどちらの場合も同じです。

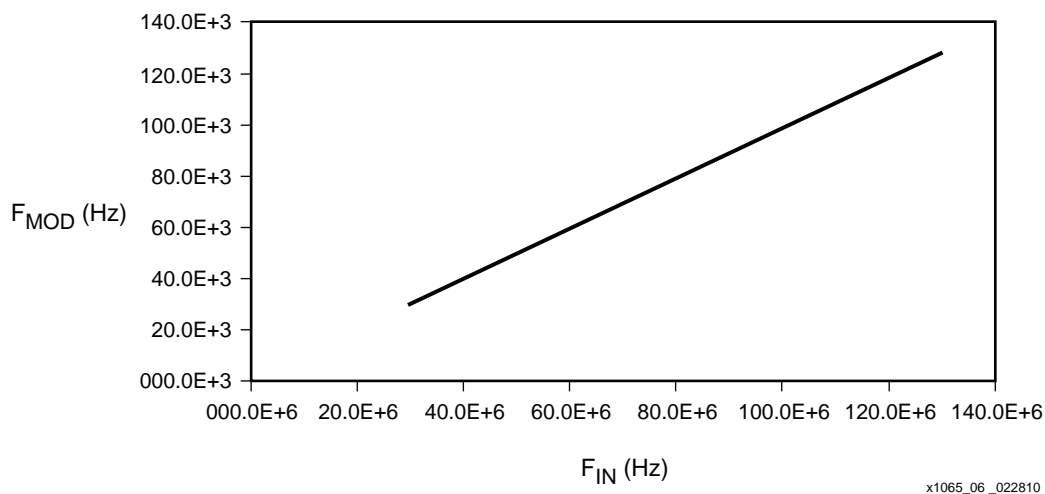


図 6: 固定スペクトラム拡散の変調周波数

式 1 で示すように、変調周波数は入力周波数に依存します。

$$F_{MOD} = \frac{F_{IN}}{1024} \tag{式 1}$$

センター拡散変調はクロックの最高周波数を増加させるため、それに合うようにタイミング制約を調整する必要があります。例として、4% (± 2%) のセンター拡散変調の 100MHz の入力クロックを使用するデザインに対して入力周波数を 102MHz に制約します。

DCM_CLKGEN プリミティブを使用する場合、CLKFX_MD_MAX を使用して最大拡散量を指定できます。CLKFX_MD_MAX は整数値を取ります。

$$CLKFX_{MAX_SPREAD_SPECTRUM} = \left(1 + \frac{SPREAD}{2}\right) \times \frac{M}{D} \quad \text{式 2}$$

説明：

M = CLKFX_MULTIPLY

D = CLKFX_DIVIDE

SPREAD = CENTER_LOW_SPREAD または CENTER_HIGH_SPREAD [%] による拡散量

前出の 4% (± 2%) のセンター拡散変調の例および式 2 で、CLKFX_MULTIPLY = 7 および CLKFX_DIVIDE = 2 とした場合、CLKFX_MD_MAX は次のようになります。

$$CLKFX_MD_MAX = (1.02 \times 7) / 2 = 3.57$$

ソフト スペクトラム拡散

ソフト スペクトラム拡散クロックは、DCM_CLKGEN プリミティブを別のモードで使用します。ソフト スペクトラム拡散クロックは、DCM_CLKGEN を繰り返しプログラミングして三角波のダウン拡散変調をかけます。DCM_CLKGEN プリミティブには、次の設定が必要です。

SPREAD_SPECTRUM = <VIDEO_LINK_M0、VIDEO_LINK_M1 または VIDEO_LINK_M2>

ソフト スペクトラム拡散クロックは、プログラミング インターフェイスが使用されている場合にのみ機能します。そのため、PROGCLK および PROGDATA が使用されていないとエラーが発生します。

注記：Spartan-6 デバイスでは、上位 8 個の BUFGMUX クロック バッファのみが PROGCLK を駆動できます。

ソフト スペクトラム拡散ソリューションによる変調はダウン拡散であるため、システム全体のタイミング解析に影響を与えません。ダウン拡散変調は平均周波数を低下させるため、デザインでは、入力クロックとスペクトラム拡散クロックの間でドメインを切り替える際にデータ損失が発生しないように注意する必要があります。

ソフト スペクトラム拡散クロックのリファレンス デザイン

「[リファレンス デザイン](#)」ファイルには次のファイルが含まれています。

xapp_ss.v

M/D = 7/2 とする OSERDES 出力を生成するために PLL を組み合わせるリファレンス デザイン

dcm_clkgen_softspread.v

M/D = 7/2 とする DCM_CLKGEN インスタンスの代わりに使用するラッパー

dcm_clkgen

DCM_CLKGEN のインスタンス化

sstop.v

拡散を制御するために使用するステート マシン

sscontrol

ステート マシンのプログラム

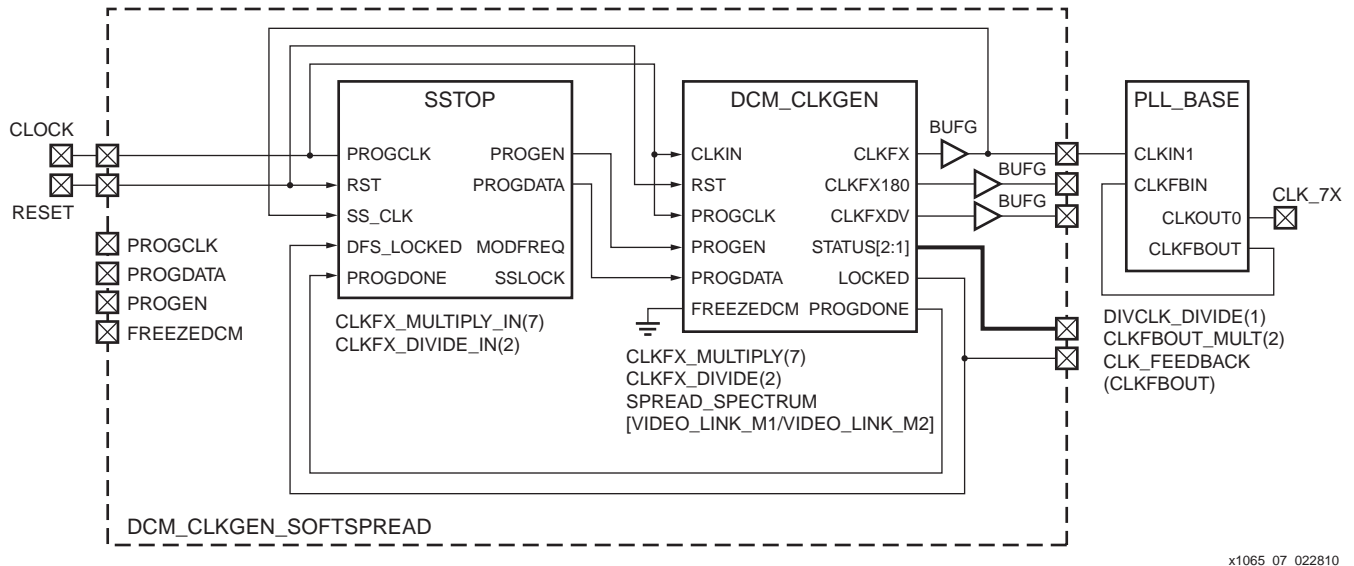
xapp_ss_m7d4.v

M/D = 7/4 とする OSERDES 出力を生成するために PLL を組み合わせるリファレンス デザイン

dcm_clkgen_softspread_m7d4.v

M/D = 7/4 とする DCM_CLKGEN インスタンスの代わりに使用するラッパー

リファレンス デザインには、ソフト スペクトラム拡散クロックを使用して OSERDES2 のクロック周波数を生成する、一般的なビデオ アプリケーションも含まれています。図 7 に示すように、DCM_CLKGEN_SOFTSPREAD は DCM_CLKGEN プリミティブに置き換わります。DCM_CLKGEN_SOFTSPREAD 内では、DCM_CLKGEN はスペクトラム拡散の生成を制御するステート マシン (SSTOP) に接続されています。



x1065_07_022810

図 7: リファレンス デザインのクロック構造

変調をかける際には、リファレンス デザインは SSTOP に含まれる小型のステート マシンを使用してさまざま CLKFX 周波数をプログラムします。想定される変調範囲における最小周波数での変調によって、CLKFX は増加します。同様に、変調範囲の最大周波数での変調によって CLKFX は減少します。

たとえば、CLKFX_MULTIPLY = 7、CLKFX_DIVIDE = 2 とプログラムされた DCM_CLKGEN プリミティブに対して入力周波数が 85MHz の場合、CLKFX は 297.5MHz に設定されます。高速化するときには、CLKFX を CLKFX_MULTIPLY = 7、CLKFX_DIVIDE = 1 に再プログラムします。これにより、85MHz の入力クロックに対して CLKFX の周波数は 595MHz になります。ただし、実際にこの周波数に到達することはありません。周波数は緩やかに変化するため、SSTOP は周波数を監視できます。変調周波数が想定範囲内の最速値に到達すると、SSTOP は CLKFX 周波数を低くプログラムして変調の方向を設定します。変調周波数を低速化するときには、DCM_CLKGEN プリミティブを CLKFX_MULTIPLY = 7、CLKFX_DIVIDE = 3 に再プログラムします。SSTOP で定義されている最小の周波数まで到達すると、ここでも SSTOP は CLKFX を再プログラムします。リファレンス デザインはビデオ アプリケーションをターゲットとしているため、M、D の両方を考慮する必要があります。リファレンス デザインでは、M = 7、D = 2 が使用されています。

ソフト拡散スペクトラム クロックでは、プログラムされてから DCM_CLKGEN プリミティブの周波数が変化するまでの速度は、SPREAD_SPECTRUM 属性を VIDEO_LINK_M0、VIDEO_LINK_M1 または VIDEO_LINK_M2 のいずれかに設定するかで制御します。CLKFX による周波数変化の速度は、SPREAD_SPECTRUM 属性を VIDEO_LINK_M0 に設定する場合が最も高速になります。図 8 に示すように、変調周波数は VIDEO_LINK_M0 の使用時に一番高速です。

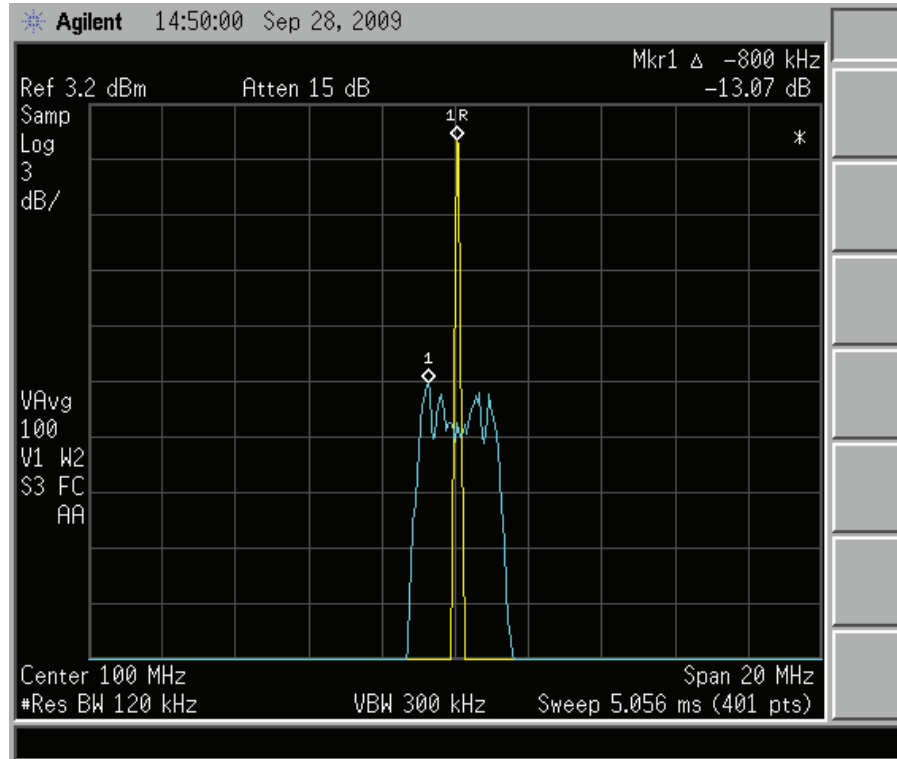
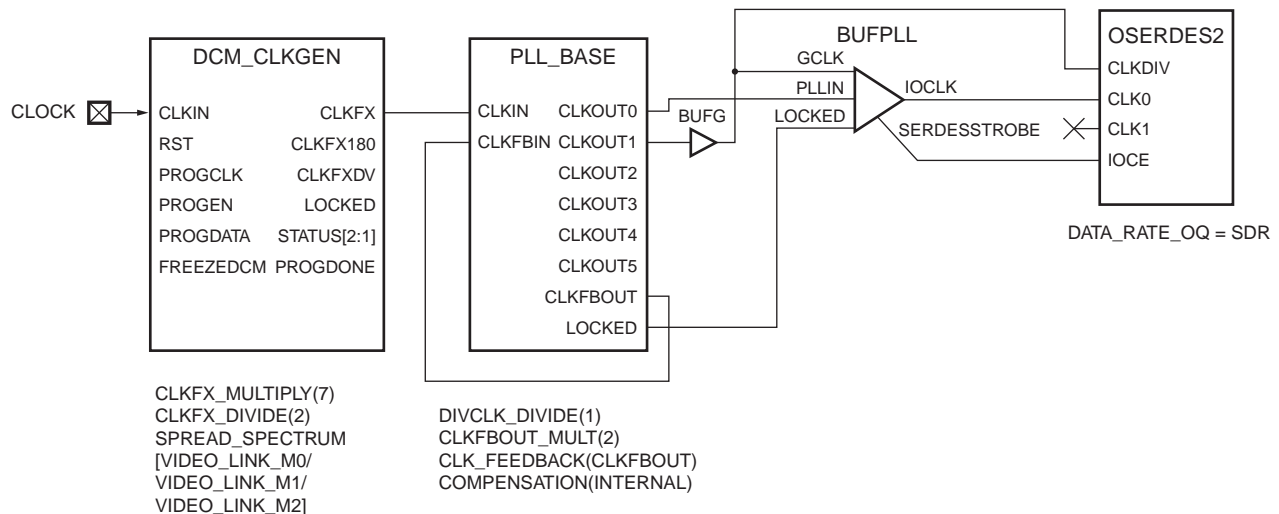


図 8：変調周波数に対する SPREAD_SPECTRUM の影響

例：30 ~ 105MHz のビデオ クロック周波数に対応する LVDS

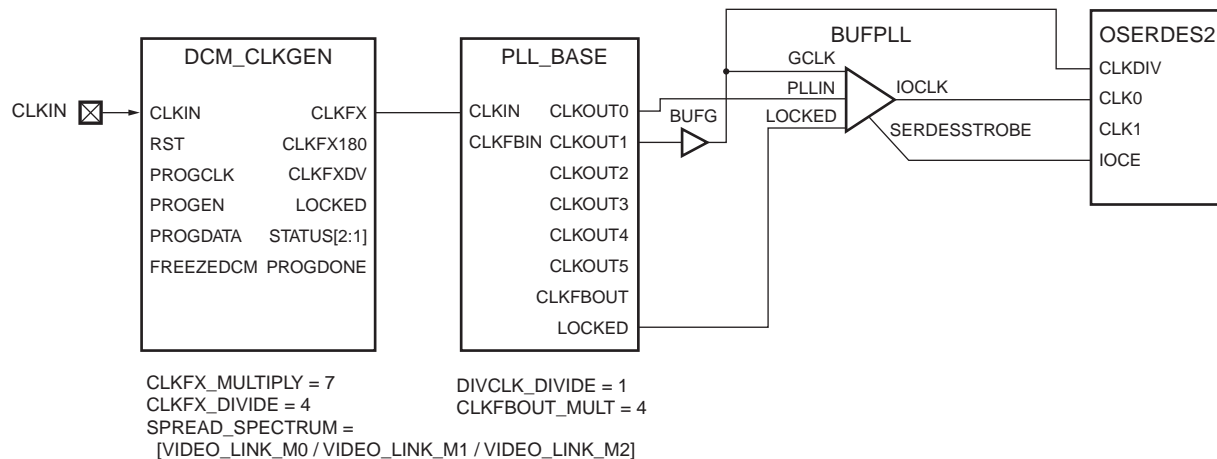
ビデオの設計でよく見られる一般的な LVDS インプリメンテーションに注目し、リファレンス デザインには **SOFT_SS** ステート マシンが含まれています。リファレンス デザインは、**DCM_CLKGEN** を **PLL** とカスケード接続して使用する 7:1 のシリアライズを必要とする典型的なビデオ アプリケーションをサポートしています (図 9)。**DCM_CLKGEN** プリミティブがスペクトラム拡散変調をかけます。カスケード接続された **PLL** は、**BUFPLL** が必要とする高速クロックを供給すると共に、サイクル間ジッターを低減するための追加フィルターを提供します。

図 9：OSERDES2 のビデオ インプリメンテーション向けソフト スペクトラム拡散クロック ($30 < F_{IN} < 105\text{MHz}$) のサポート

例：105MHz 以上のビデオ クロック周波数に対応する LVDS

図 9 に示すソリューションは、ピクセルクロック周波数をサポート可能な範囲で機能しますが、CLKFX および CLKOUT_FREQ_FX の最大周波数によって制限があります。ピクセルクロック周波数が 105MHz 以上に増加すると、より大きな分周設定が必要になります (図 10)。このように大きな分周設定に対応するため、xapp_ss_m7d4.v および dcm_clkgen_softspread_m7d4.v に次の変更を適用します。

- dcm_clkgen_softspread_m7d4.v で DCM_CLKGEN を .CLKFX_DIVIDE(4) に設定する
- dcm_clkgen_softspread_m7d4.v で DCM_CLKGEN を .SPREADSPECTRUM VIDEO_LINK_M1 に設定する
- dcm_clkgen_softspread_m7d4.v で SSTOP を .CLKFX_DIVIDE_IN(4) に設定する
- xapp_ss_m7d4.v で PLL_BASE を .CLKFBOUT_MULT(4) に設定する



x1065_10_031810

図 10： OSERDES2 におけるビデオ インプリメンテーション向けソフト スペクトラム拡散クロック ($F_{IN} > 105\text{MHz}$) のサポート

dcm_clkgen_softspread_m7d4.v では、DCM_CLKGEN の CLKFX_DIVIDE を 4 に変更すると、変調速度が下がります。このため、SPREAD_SPECTRUM 属性を VIDEO_LINK_M1 に設定し、変調速度を上げて許容範囲内に戻します。

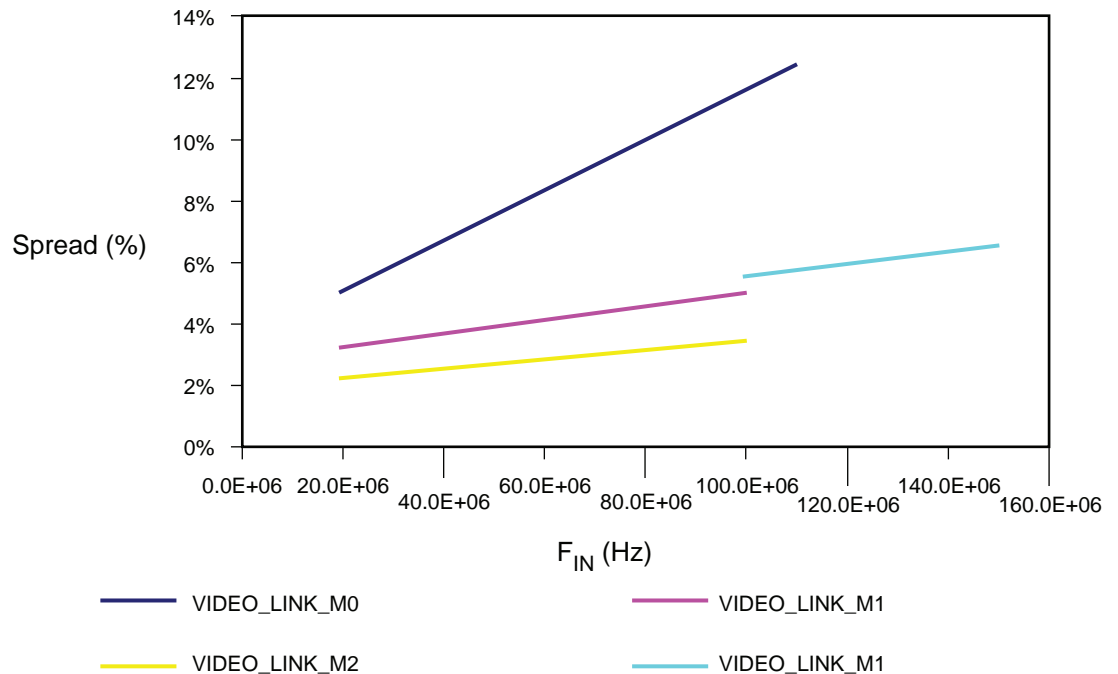
dcm_clkgen_softspread_m7d4.v で必要なもう 1 つの変更は、ステート マシンへの変更です。SSTOP のインスタンス化内では CLKFX_DIVIDE_IN パラメータを 4 に変更して調整できます。インスタンス化内で CLKFX_DIVIDE_IN を設定することで、sstop.v および sscontrol.v 内のステート マシンが新しいターゲット周波数を目標にするよう調整されます。リファレンス デザインでは、変調を高速化する場合は CLKFX_MULTIPLY = 7 および CLKFX_DIVIDE = 5 を使用し、低速化する場合には CLKFX_MULTIPLY = 7 および CLKFX_DIVIDE = 3 を使用します。

xapp_ss_m7d4.v では、DCM_CLKGEN から出力されるクロックの周波数が 183.75MHz になったため、VCO 範囲の許容最低周波数 (F_{VCOMIN}) を満たすよう、DIVCLK_DIVIDE および CLKFBOUT_MULT の元の PLL_BASE 設定を増加する必要があります。DIVCLK_DIVIDE はそのままにし、CLKFBOUT_MULT を 4 に設定します。

ソフト スペクトラム拡散クロックによる拡散

ソフト スペクトラム拡散のステート マシンはレジスタに基づいて使用する範囲を制御します。リファレンス デザインは、ダウン拡散のスペクトラム拡散変調をかけるように設定されています。sstop.v は一連のカウンターを使用して変調を制御します。変調の制御には変数 (SLOW および FAST) が使用されます。リファレンス デザインでは、FAST = 7、SLOW = 5 としてダウン拡散変調をかけます。拡散量を増加させるには、SLOW を下げます (ゼロまで可)。拡散量が増加するにつれ、変調周波数は低下します。FAST = 7、SLOW = 5 以外での拡散量および変調周波数を確認してください。

図 11 に、リファレンス デザインにおける入力周波数に対する拡散の変化を示します。一方、変調周波数を無視すると、図 9 はピクセル クロック周波数域での拡散の変化を示します。



x1065_11_031910

図 11：リファレンス デザインによるビデオ周波数域での拡散

SOFT_SS ステート マシンの変調周波数

スペクトラム拡散クロックのソースを使用した場合、変調周波数はスペクトラム拡散クロックの変調に対するシステムの応答にも影響を与えます。

生じたノイズをスペクトラム拡散ソリューションを使用して効果的に低減するには、変調周波数を 20KHz より高く維持します。変調周波数が低すぎると、スペクトラム拡散変調の速度が遅くなりすぎ、EMI を効率的に低減できません。

変調周波数が高く拡散量も大きいと、スペクトラム拡散変調はシステムのノイズのように見えたり、変調に従うほかの PLL コンポーネントの性能に影響を与え始めたりする可能性があります。変調周波数は 120KHz より低くする必要があります。

ビデオ アプリケーションに SOFT_SS ステート マシンを使用する場合、変調周波数はいくつかの要因の影響を受けます。SPREAD_SPECTRUM による変調は入力周波数に比例しないため、変調周波数を推定するにはより多くの解析が必要になります。SOFT_SS ステートマシンを使用している場合、変調周波数は、入力周波数、CLKFX_MULTIPLY、CLKFX_DIVIDE および SPREAD_SPECTRUM の設定 (VIDEO_LINK_M0、VIDEO_LINK_M1、VIDEO_LINK_M2) に依存します。潜在的な変数を単純にするため、式 3 を用いてリファレンス デザインを使用しているときの変調周波数 (F_{MOD}) の概算値を求めます。

$$F_{MOD} = F_{IN2} \times CONST \tag{式 3}$$

変調周波数は、表 3 の値を使用して 20 から 120KHz の範囲で設定されます。低周波数域では、VIDEO_LINK_M0 を用いて変調を高速化し、変調周波数を可聴周波数よりも高く維持します。入力周波数の増加に伴い、VIDEO_LINK_M1 および VIDEO_LINK_M2 を使用して変調速度が 120KHz を下回るように減速します。

表 3：変調周波数計算

	CLKFX_MULTIPLY	CLKFX_DIVIDE	CONST
VIDEO_LINK_M0	7	2	40.0 x 10 ⁻¹²
VIDEO_LINK_M1	7	2	15.0 x 10 ⁻¹²
VIDEO_LINK_M2	7	2	5.0 x 10 ⁻¹²
VIDEO_LINK_M3	7	4	2.5 x 10 ⁻¹²

入力周波数が増加し続けて 105MHz に到達すると、DCM_CLKGEN は M = 7、D = 2 をサポートできなくなります。「例：105MHz 以上のビデオ クロック周波数に対応する LVDS」で説明されているように、CLKFX_MULTIPLY(7) および CLKFX_DIVIDE(4) がサポートできるようにリファレンス デザインを調整します。CLKFX_DIVIDE が増加すると、変調周波数が低下します。このため、VIDEO_LINK_M1 を使用して調整します。図 12 の M1_74F_{MOD} がその結果です。

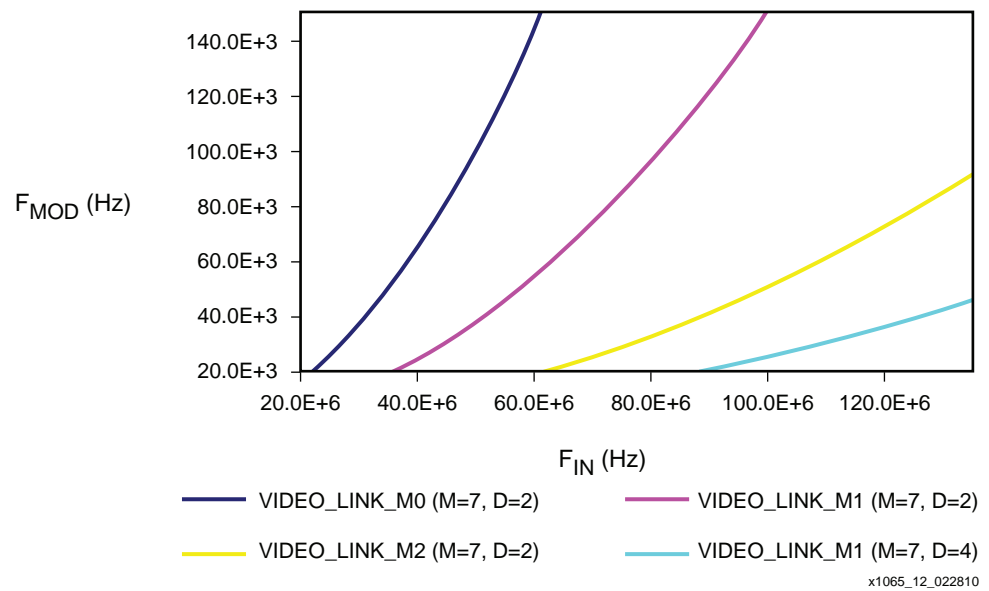


図 12：変調周波数対 F_{IN}

スペクトラム拡散クロックの受信

PLL_BASE または DCM_SP プリミティブは、スペクトラム拡散クロックが外部で生成されるデザインに使用できます。

DCM_CLKGEN プリミティブは入力クロックのノイズを取り除くように設計されており、受信したスペクトラム拡散クロックにひずみを生じさせるため、SPREAD_SPECTRUM = NONE と指定してスペクトラム拡散クロックの受信に使用しないでください。

DCM_SP プリミティブを使用してスペクトラム拡散クロックを受信する場合は、DCM_SP がどのように変調に従うかを理解しておくことが重要です。位相と周波数のアライメントを維持するには、DCM は図 3 に示すスペクトラム拡散クロックのソースに従う必要があります。また、元のスペクトラム拡散ソースをひずませないようにするため、DCM_SP は頻繁にデスキューおよび位相シフトを更新する必要があります。

許容可能な DCM の動作範囲は、ある周波数偏差に対する変調周波数の制限を概算することで大まかにわかります。この範囲外では、DCM_SP の位相と周波数アライメントにずれが生じ、受信側のスキューマージンを低下させます。

ビデオ ディスプレイのレシーバー設計では、DCM の DLL (遅延ロック ループ) と DFS (デジタル周波数合成) を併用する必要があります。DLL はデジタル スキュー調整回路を構成します。式 4 からある入力周波数におけるスペクトラム拡散クロック ソースの最大変調周波数 (Hz で表される F_{MDLL}) を求めることができます。

$$F_{MDLL} < \frac{DCM_DELAY_STEP}{24 \times S \times T_{IN}^2} \quad \text{式 4}$$

説明:

F_{MDLL} = DLL 許容可能な最大変調周波数 (Hz)

DCM_DELAY_STEP = DCM の最小遅延精度 (秒)

S = 最大拡散または周波数偏差

T_{IN} = 最も短い有効な入力クロック周期 (秒)

24 = DLL の周波数および位相調整の更新レートに関連した定数

DFS はユーザーが定義する 2 つの整数値、通倍値 (CLKFX_MULTIPLY) と分周値 (CLKFX_DIVIDE) の比に基づいてさまざまな周波数の出力が作成されます。式 5 から DFS の最大変調周波数 (F_{MDFS}) を求めることができます。

$$F_{MDFS} < \frac{DCM_DELAY_STEP}{2 \times M \times D \times S \times T_{IN}^2} \quad \text{式 5}$$

説明:

F_{MDFS} = DFS で許容可能な最大変調周波数 (Hz)

DCM_DELAY_STEP = DCM の最小遅延精度 (秒)

M = CLKFX_MULTIPLY

D = CLKFX_DIVIDE

S = 最大拡散または周波数偏差

T_{IN} = 最も短い有効な入力クロック周期 (秒)

2 = DFS の周波数および位相調整の更新レートに関連した定数

式 5 から DFS、DLL の両方が使用されているビデオ アプリケーションにおける最大変調周波数を求めることができます。

このセクションの DCM 設定は、リファレンス デザインのテストで使用されたものです。これらのパラメーターは、ディスプレイでよく使用される 7:1 LVDS デザインを表しています。CLKFX_MULTIPLY = 7、CLKFX_DIVIDE = 2 と設定した場合、DCM では周波数が 3.5 倍のクロックが作成されます。また、DDR レジスタを使用することで、データ レートを 7 倍にできます。

スペクトラム拡散クロック使用時は、固定位相シフト モードを使用します。可変位相シフト モードでは、周波数の変化に応じて位相シフトを更新する内部の位相シフト制御が無効になります。そのため、スペクトラム拡散クロックの入力には可変位相シフトは使用できません。

7:1 LVDS アプリケーションの DCM 設定を適用し、式 4 および式 5 を使用すると、75MHz のスペクトラム拡散クロックの範囲を 5% の周波数偏差で求めることができます。

$$F_{MDLL} < \frac{23 \times 10^{-12}}{24 \times 0.05 \times (13.3 \times 10^{-9})^2} = 108 \text{ KHz}$$

$$F_{MDFS} = \frac{23 \times 10^{-12}}{2 \times 7 \times 2 \times 0.05 \times (13.3 \times 10^{-9})^2} = 92.9 \text{ KHz}$$

同様に、PPDS (10:1) または MINI-LVDS (8:1) などのディスプレイ機能の設計では、別のシリアライズが使用されます。DCM で周波数を過倍した際にスペクトラム拡散信号に対応できる能力は、式 5 における過倍値および分周値の関数になります。PPDS (M = 5、D = 1) または MINI-LVDS (M = 4、D = 1) などのディスプレイ機能では、変調周波数のしきい値はこの 7 倍の例よりも高くなります。

その他の EMI 低減方法

Spartan-6 デバイスは、スペクトラム拡散クロックに対応するだけでなく、特定の SelectIO™ インターフェイスを選択して IO タイプを制御することでも EMI を低減させることができます。

Spartan-6 デバイスは、スルーレートと駆動能力属性が別々に指定された LVCMOS と LVTTTL IO を使用します。DRIVE を下げると、駆動能力が減少します。SLEW を SLOW または QUIETIO に変更するとスルーレートを低下でき、さらにリングングが削減されます。

LCD モジュールで使用されるノイズの多い LVTTTL インターフェイスは、RSDS (Reduced Swing Differential Signalling) や MINI-LVDS、さらには、PPDS (Point-to-Point Differential Signaling) などの差動インターフェイスに置き換えられています。Spartan-6 デバイスはこれらの差動インターフェイスを直接駆動して、さらに EMI を低減できます。

リファレンス デザイン

リファレンス デザインの概要は、表 4 を参照してください。表 5 に、固定スペクトラム拡散、ソフトスペクトラム拡散の両デザインの詳細なデバイス使用率を示します。

リファレンス デザインのファイルは次のサイトからダウンロード可能です。

<https://secure.xilinx.com/webreg/clickthrough.do?cid=143697>

表 4: リファレンス デザインのチェック項目

開発元	Xilinx
ターゲット デバイス	Spartan-6 FPGA
ソース コードの提供	Yes
ソース コードの形式	Verilog
既存のリファレンス デザインまたはアプリケーション ノート、サードパーティ、Core Generator ソフトウェアからデザインへのコードまたは IP 流用の有無	No
シミュレーション	
機能シミュレーション ソフトウェア/使用バージョン	ISE v12.1 以上
タイミングシミュレーション ソフトウェア/使用バージョン	ISE v12.1 以上
機能およびタイミング シミュレーション用テストベンチの提供	該当なし
テストベンチの形式	該当なし
シミュレータ ソフトウェア/使用バージョン	MXE
SPICE/IBIS シミュレーション	No
インプリメンテーション	
合成ソフトウェア ツール/使用バージョン	XST 11.4
インプリメンテーション ソフトウェア ツール/使用バージョン	ISE V11.4
スタティック タイミング解析	Yes

表 4：リファレンス デザインのチェック項目 (続き)

ハードウェア検証	Yes
検証に使用したハードウェア プラットフォーム	SP601

表 5：デバイス使用率

	固定スペクトラム拡散 デザイン	ソフト スペクトラム拡散 デザイン
DCM_CLKGEN の使用数	1	1
BUFG の使用数	0	2
スライス LUT-FF の使用ペア数	0	99

まとめ

このアプリケーション ノートでは、Spartan-6 FPGA の DCM_CLKGEN プリミティブを用いて、一般的なビデオ アプリケーション向けにスペクトラム拡散クロックを生成する例について説明しています。DCM_CLKGEN は、ロジックなしで固定スペクトラム拡散クロックを生成したり、またはステート マシンを用いるソフト スペクトラム拡散ソリューションに使用できます。本書は特に LVDS ディスプレイ アプリケーション向けとなっていますが、スペクトラム拡散クロックは同様の方法で DCM を使用するその他のアプリケーションでも利用可能です。

参考資料

この文書は次のザイリンクス資料を参考にしています。

1. [DS162](#)：『Spartan-6 FPGA データシート』
2. [UG382](#)：『Spartan-6 FPGA クロック リソース ユーザー ガイド』
3. [XAPP469](#)：『ディスプレイ アプリケーションにおけるスペクトラム拡散クロックの受信』
このアプリケーション ノートは Spartan-3E および Extended Spartan 3-E ファミリ デバイスのみを対象としています。

その他のリソース

次のリソースには、このアプリケーション ノートおよびリファレンス デザインの使用に関連する追加情報が記載されています。

4. Federal Communications Commission : <http://www.fcc.gov>
5. American National Standards Institute : <http://www.ansi.org>
6. International Special Committee on Radio Interference, National Telecommunications and Information Administration : <http://www.ntia.doc.gov/osmhome/international/cispr.html>
7. Flat Panel Displays, National Semiconductor : <http://www.national.com/appinfo/fpd/>
8. Engineering Note 290 : Comparison of FCC Limits with CISPR Limits, Communication Certification Laboratory : <http://www.cclab.com/engnotes/eng290.htm>

改訂履歴

次の表に、この文書の改訂履歴を示します。

日付	バージョン	内容
2010 年 3 月 22 日	1.0	初版リリース

Notice of Disclaimer

Xilinx is disclosing this Application Note to you “AS-IS” with no warranty of any kind. This Application Note is one possible implementation of this feature, application, or standard, and is subject to change without further notice from Xilinx. You are responsible for obtaining any rights you may require in connection with your use or implementation of this Application Note. XILINX MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES, WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, STATUTORY OR OTHERWISE, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, NON-INFRINGEMENT, OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. IN NO EVENT WILL XILINX BE LIABLE FOR ANY LOSS OF DATA, LOST PROFITS, OR FOR ANY SPECIAL, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, OR INDIRECT DAMAGES ARISING FROM YOUR USE OF THIS APPLICATION NOTE.

AUTOMOTIVE APPLICATIONS DISCLAIMER

XILINX PRODUCTS ARE NOT DESIGNED OR INTENDED TO BE FAIL-SAFE, OR FOR USE IN ANY APPLICATION REQUIRING FAIL-SAFE PERFORMANCE, SUCH AS APPLICATIONS RELATED TO: (I) THE DEPLOYMENT OF AIRBAGS, (II) CONTROL OF A VEHICLE, UNLESS THERE IS A FAIL-SAFE OR REDUNDANCY FEATURE (WHICH DOES NOT INCLUDE USE OF SOFTWARE IN THE XILINX DEVICE TO IMPLEMENT THE REDUNDANCY) AND A WARNING SIGNAL UPON FAILURE TO THE OPERATOR, OR (III) USES THAT COULD LEAD TO DEATH OR PERSONAL INJURY. CUSTOMER ASSUMES THE SOLE RISK AND LIABILITY OF ANY USE OF XILINX PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS.

本資料は英語版 (v1.0) を翻訳したもので、内容に相違が生じる場合には原文を優先します。

資料によっては英語版の更新に対応していないものがあります。

日本語版は参考用としてご使用の上、最新情報につきましては、必ず最新英語版をご参照ください。

この資料に関するフィードバックおよびリンクなどの問題につきましては、jpn_trans_feedback@xilinx.com までお知らせください。いただきましたご意見を参考に早急に対応させていただきます。なお、このメールアドレスへのお問い合わせは受け付けておりません。あらかじめご了承ください。