5G 通信システム用リファレンスクロックの要求性能

OUT-20-5536 Rev.2

【概要】

近年の通信需要の増大により、モバイルだけではなく、IoT (Internet of Things)・ADAS (Advanced Driver Assistance System) も対象にした第 5 世代移動通信システム (5G) が導入され、通信システムの高速化が進んでいる。通信容量がますます増大している。通信信号の高速・高周波化が進み、許容されるノイズレベルも小さくなり、通信システム機器に用いられるリファレンスクロックには、高周波かつ低位相ジッタ性能が要求される。さらには、基地局間を結ぶネットワークで用いられる光通信モジュールは高速化・小型化が進み、400 Gbps および 800 Gbps の超高速、かつ 80 km 以上の伝送には±20 x 10^{-6} 以下の周波数許容偏差のクロックが要求される。

今回は、5G 通信システムの状況、およびリファレンスクロックに要求される性能、そしてそれらに対するエプソンの取り組みについて説明する。

【5G 通信システムと市場状況】

5G 通信システムは、各デバイスとの無線通信を行う 5G 基地局 (マクロセル基地局・スモールセル基地局)、各基地局間を結ぶモバイルバックホール、基地局とデータセンター・もしくはデータセンター間を結ぶコア・メトロネットワークで構成される。LTE から 5G への移行により、高速・低遅延を実現する無線システムの変更が行われると同時に、その上位にあるネットワークも高速化が進められている。

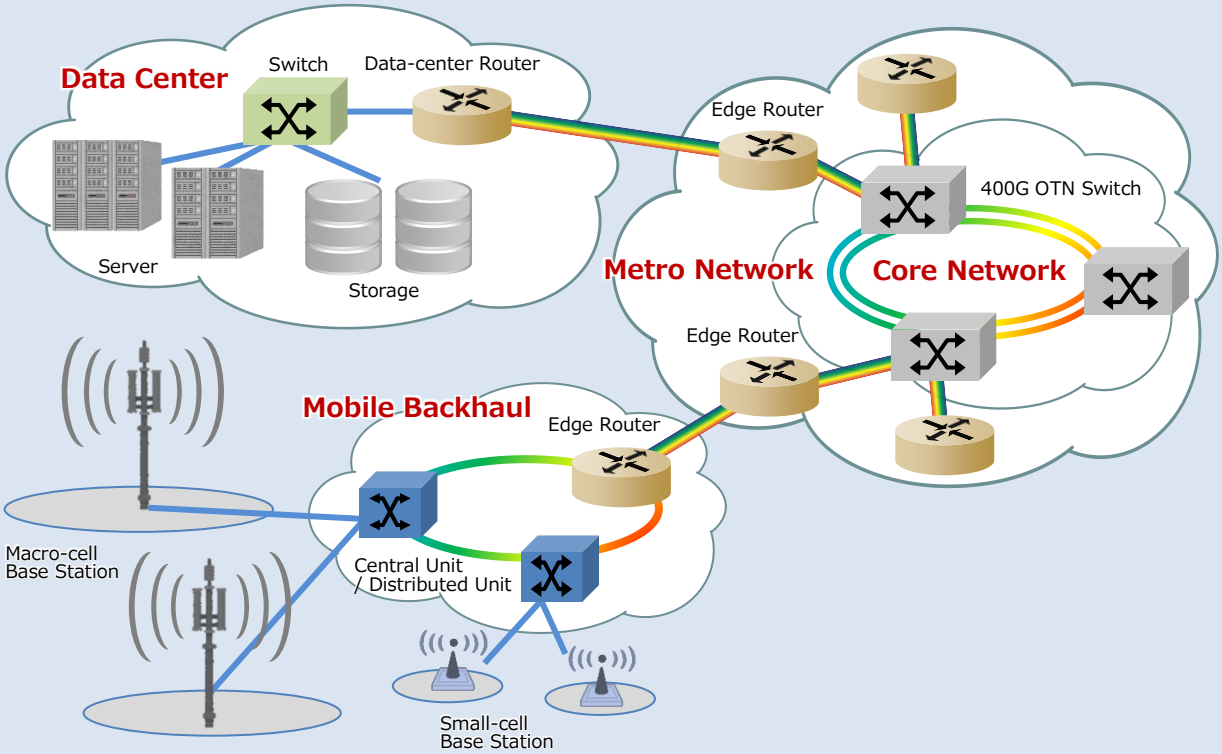

図 1 5G ネットワーク俯瞰図

・光ネットワーク市場

5G 基地局とデータセンター、もしくはデータセンター間を結ぶコア/メトロネットワークは、光ファイバーで接続された光ネットワークで構成されている。そして、5G 導入に伴い、高効率かつ大容量の通信を行う光伝送技術が開発・実用化されてきている。データセンター間接続（DCI: Data Center Interconnect）では、100G/200G から 400G、更には 800G への展開が予定されており、400G コヒーレント DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 用インターフェイス 400ZR が標準化され、800ZR の開発も開始されている。また、クライアント側伝送向けには PAM4 を用いた 400GbE が標準化され、更には最大 800 Gbps の 100G PAM-4 PHY がリリースされ始めている。図 2 に、400ZR, 800G を含む DWDM ポート出荷数を示す。今後、5G の普及に伴い光ネットワーク市場における 400ZR/800ZR・PAM4 の拡大が見込まれる。

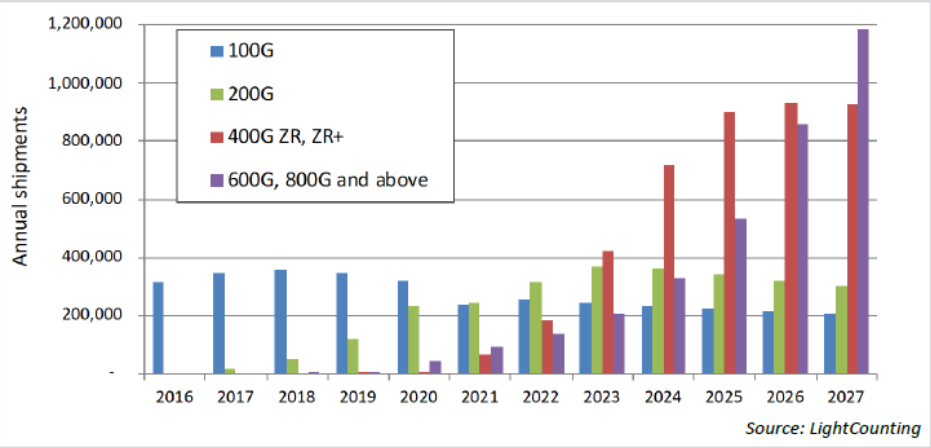

図 2 DWDM ポート出荷数予想

・5G 基地局市場

通信の大容量化は、基地局の通信速度向上も不可欠である。5G の通信速度の高速化技術のうち、最も貢献をしているのは周波数帯域幅を広げたことにある。LTE よりも高いキャリア周波数を用いることで、周波数帯域幅の拡大が可能となった。LTE の 1 チャネル当たりの周波数帯域幅は、最大 20 MHz であったが、3GPP Release15 により、5G では FR1 (搬送波周波数: 410 MHz ~ 7 125 MHz) にて最大 100 MHz、FR2 (搬送波周波数: 24.25 GHz ~ 52.6 GHz) にて最大 400 MHz に拡大されている。 基地局市場に関して、図 3 の通り出荷総数は横ばい傾向となるが、5G 基地局は LTE からの切り替わりで伸びが見込まれる

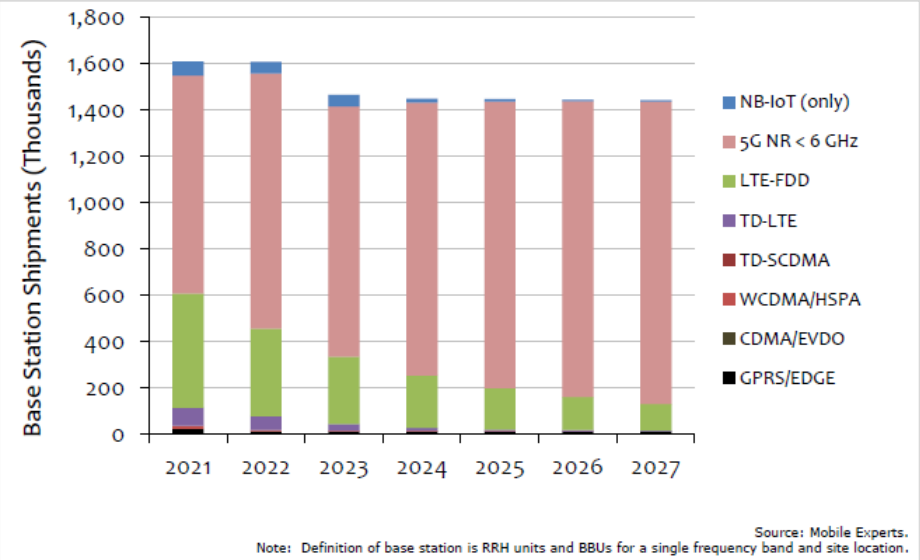

図 3 基地局市場予測

【5G 向け通信システムとリファレンスクロック要求仕様】

・PAM4

従来の光通信は、オン/オフの切り替えによる NRZ 方式が広く用いられてきたが、5G をはじめとする近年の通信速度の高速化には対応できず、限界を迎えている。PAM4 は、4 値強度変調といい、1 クロック当たりの伝送符号が NRZ の 2 倍になる。これにより 2 倍の通信速度が確保可能となる。

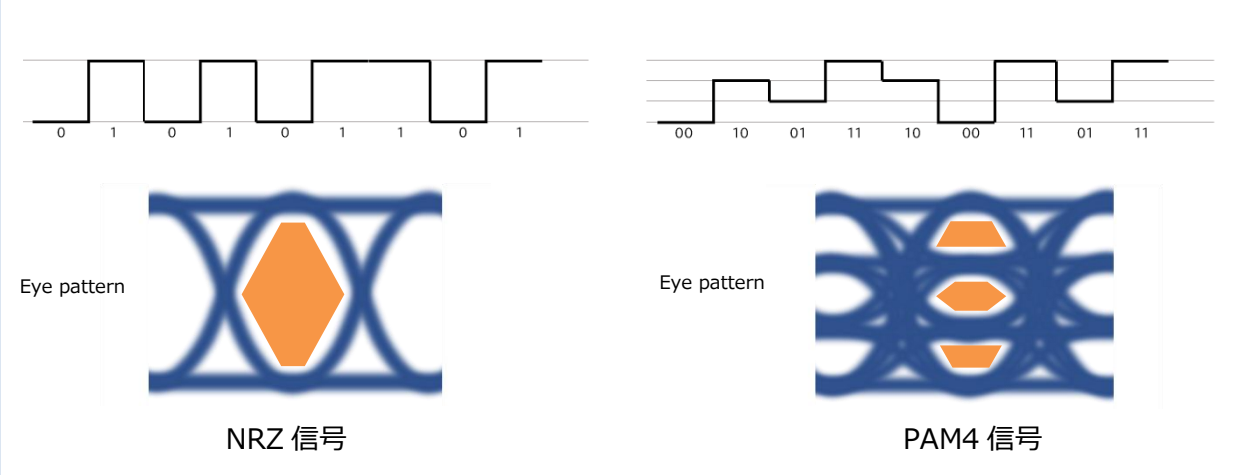

図 4 NRZ および PAM4 信号

PAM4 信号は、NRZ (Non-Return-to-Zero) 信号に比べ Eye Pattern で観測される Eye の開き (図内オレンジ部) が小さくなり、伝送信号の品質が劣化しやすい。伝送信号品質を確保するために、リファレンスクロックには低ジッタ性能を持つ SPXO (Simple Packaged Crystal Oscillator) が必要となる。市場では 100 fs 程度がリファレンスクロックに対するジッタ閾値として浸透している。また光通信部のモジュール化により、リファレンスクロックも小型・低消費電流が要求される。

・400ZR

400 Gbps の高速通信をコヒーレント光伝送にて行う技術。デジタルコヒーレント信号処理回路にて 16QAM を行い、コヒーレント光を変復調することで伝送する。

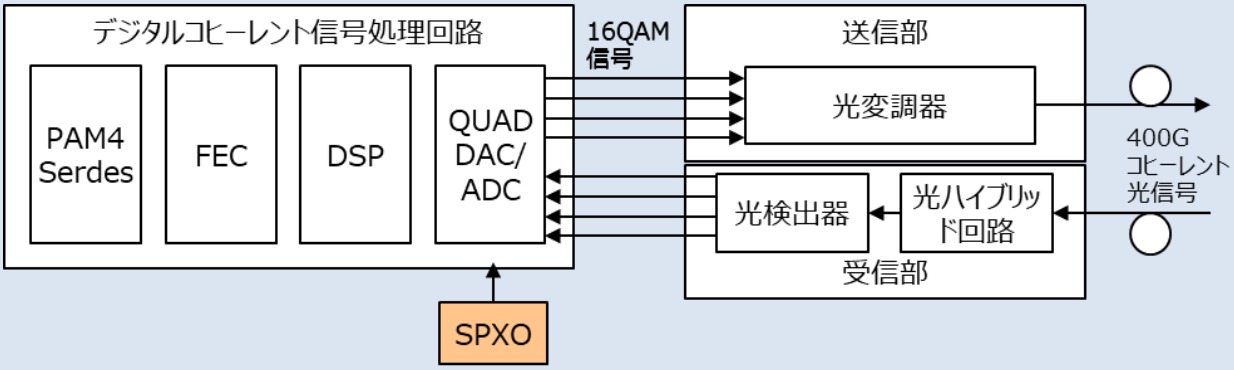

図 5 400ZR ブロック図

400G の信号処理を行うため、信号処理回路の DAC/ADC に必要なサンプリングクロックには、156.25 MHz や 300MHz 以上の高周波、および、100 fs 前後の低ジッタ特性を持つ SPXO が必要とされる。また、周波数許容偏差は、OIF-400ZR-01.0 にて規定されており ±20 x 10^{-6} の高精度が必要とされる。システム全体の省電力化も求められ、クロックに対しても低消費電流特性の志向も強くなっている。

・5G 無線基地局、RU (Radio Unit)

5G 無線基地局では、各データに 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation: 直角位相振幅変調) を行い、多数のチャネルに載せるために OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 直交周波数分割多重変調) を行っている。

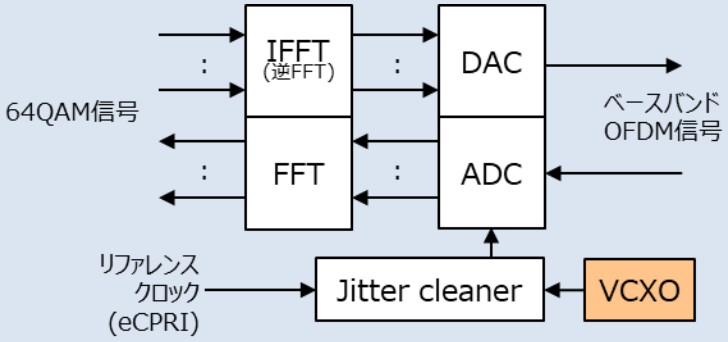

図 6 OFDM ブロック図

周波数帯域幅の拡大による通信速度の高速化に伴い、5G システムの OFDM 内にある DAC/ADC は、LTE よりも高速かつ正確なサンプリングクロックを必要とするため、Jitter Cleaner 用 VCXO (Voltage Controlled Crystal Oscillator) には、高周波・低ジッタ特性が求められる。近年、Jitter Cleaner のリファレンスクロックに SPXO を用いる技術も実用化されつつあるが、この場合も、SPXO には高周波・低ジッタ特性が求められる。さらに、基地局が設置される屋外は、その周囲環境で発生する振動に晒されることから、クロックに対しても振動による特性変化が小さいもの、すなわち、加速度感度が小さいクロックが必要とされている。

【高周波クロックを実現するテクノロジー】

100 MHz 以上の高周波クロックには、一般に SPXO、もしくは VCXO が使用されており、その構成は、振動子と IC が 1 つのパッケージに内蔵された形となっている。高周波クロックを実現するためのテクノロジーにはいくつかの種類が存在し、内蔵する振動子、もしくは IC に盛り込まれている。ここでは、高周波クロックを実現する各種テクノロジーとそれらの特徴を示す。

・基本波発振器: 高周波水晶振動子 (振動子) ＋ 基本波発振回路 (IC)

一般の水晶振動子は、AT カットと言われるカット角で水晶を切り出し、周波数に応じた薄さの水晶片に加工している。高周波ほど薄く加工する必要があり、100 MHz の水晶振動子は、厚みが 16.7 μm となる。高周波発振回路との組み合わせで、安定した高周波クロックが得られ、ノイズが低く、低ジッタ特性を持つ。反面、水晶片の厚みが薄いため、機械的強度が低く振動に弱い。

・3 次オーバートーン発振器: 3 次オーバートーン水晶振動子 (振動子) ＋ 3rd オーバートーン発振回路 (IC)

水晶振動子は、基本波以外に 3 次・5 次などの奇数次にも共振点を持っている。3 次オーバートーン水晶振動子は、3 次の共振点にて発振させる水晶振動子である。すなわち、100 MHz の 3 次オーバートーン水晶振動子は、33.3333 MHz の水晶振動子と同じ厚みとなるため、厚みが 50.1 μm と厚く、機械的強度が高く振動にも強い。また、基本波発振器に匹敵する低ノイズ、低ジッタ特性を持つ。ただし、3 次の共振点では等価直列抵抗が大きいため、発振回路の設計難易度が高く、動作環境によっては基本波発振してしまい、システム動作に致命的な問題を及ぼす恐れがある。また、Q 値が高いことから、発振回路の負荷容量を可変させても周波数変化しにくいため、VCXO には不向きである。

・HFF (High-Frequency Fundamental) 発振器: HFF 水晶振動子（振動子）＋ 基本波発振回路（IC)

HFF 水晶振動子は、フォトリソ加工により、水晶片の振動エリアのみを極薄な構造（逆メサ構造）にして高周波発振を可能にした水晶振動子である。水晶片は、振動エリア以外の厚みが確保されているため、機械的強度が高く振動に強い。高周波発振回路との組み合わせで、安定した高周波クロックが得られ、ノイズが低く、低ジッタ特性を持つ。

・PLL 発振器: 低周波水晶振動子（振動子）＋ 基本波発振回路 & PLL 回路（IC)

水晶振動子には、機械的強度や振動に強い低周波水晶振動子を使用し、発振回路で得られた周波数を PLL 回路によって逓倍し、高周波化を実現している。PLL 回路は、比較的容易に高周波クロックが生成できる反面、ノイズを増大させてしまうため、他のテクノロジーに比べてジッタ特性が劣る。PLL 回路を駆動する分、消費電流が大きくなる傾向にある。

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 発振器とは、本テクノロジーにて、水晶振動子の代わりに MEMS 振動子を用いたものである。

・SAW (Surface Acoustic Wave) 発振器: SAW 共振子（振動子）＋ 基本波発振回路（IC)

SAW 共振子は、水晶片の表面に弾性表面波を発生させ、共振させるデバイスで、水晶片の厚みではなく、水晶表面に構成される櫛歯状電極（IDT: Interdigital Transducer）の間隔で決定される。フォトリソ加工で電極形成することで、1 GHz 程度まで高周波化が可能で、水晶片も厚く機械的強度も高い。発振時のノイズも低く、低ジッタ特性が得られる。一方で、水晶振動子の周波数温度特性が 3 次特性を示すのに対して、SAW 共振子は 2 次特性を示すことから、周波数安定度が低い。

表 1 に、上記の高周波テクノロジーと特徴を一覧にまとめたものを示す

表 1　高周波クロックを実現するテクノロジー、および特徴

		基本波発振器	3 次オーバートーン発振器	HFF 発振器	PLL 発振器 (MEMS 発振器)	SAW 発振器
テクノロジー	振動子	高周波水晶振動子	3 次オーバートーン水晶振動子	HFF 水晶振動子	低周波水晶振動子 or MEMS 振動子	SAW 共振子
	IC	基本波発振回路	3rd オーバートーン発振回路	基本波発振回路	基本波発振回路＋PLL 回路	基本波発振回路
特徴	ノイズ・ジッタが低い	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓	✓✓✓
	振動・衝撃に強い	✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
	消費電流が低い	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓
	動作信頼性が高い	✓✓✓	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓✓
	周波数安定度が高い	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓
	VCXO 設計に適している	✓✓✓	✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓

セイコーエプソンは、いくつかの高周波クロックを実現するテクノロジーのうち、5G 通信システムの市場ニーズにマッチした HFF 発振器を採用し、商品化を実現している。

【弊社 HFF 水晶発振器の特長】

前述の通り、HFF 発振器は、HFF 水晶振動子と基本波発振回路（IC）が 1 つのパッケージに入った構成となっており、内蔵する HFF 水晶振動子は、フォトリソ加工により、水晶片の振動エリアのみを極薄な構造（逆メサ構造）にして高周波発振を可能にした水晶振動子である。

水晶振動子の発振周波数 F [MHz] と、水晶片の振動エリアの厚み t [μm] は、下記の式の関係がある。

$$F = 1{,}670/t$$

80 MHz ~ 500 MHz の発振周波数を得るには、振動エリアの厚みが 3 μm ~ 20 μm と大変薄く加工する必要がある。しかし、逆メサ構造の場合、振動エリア以外の厚みが確保されており、弊社製品では 80 μm の厚みがある。これは、発振周波数 21 MHz 水晶片の厚みに相当し、一般的な水晶振動子に相当する機械的強度があり、振動に強い特長をもつ。

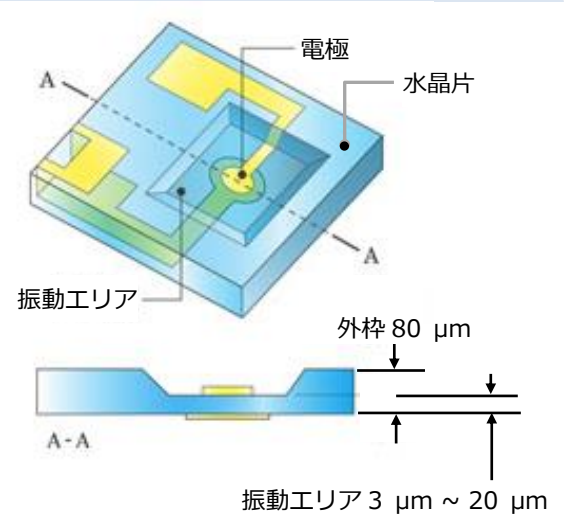

図 7 HFF 水晶振動子の構造

・衝撃、振動性能

弊社製品は、信頼性試験にて衝撃、および振動試験を実施している。下図に、弊社 HFF SPXO SG3225EEN 491.52 MHz の衝撃、振動試験結果を示す。衝撃試験で 1 000 G, 振動試験で 20 G の標準条件に対し、±10 ppm 以内の周波数変動という社内規格をクリアした。更に、標準条件を超えた振動、衝撃を加えても、HFF 振動子破壊による故障は発生せず、周波数変動にも異常はなかった。この結果より、HFF 発振器は、上限 500 MHz において高い衝撃、振動性能を保有していることが確認できる。

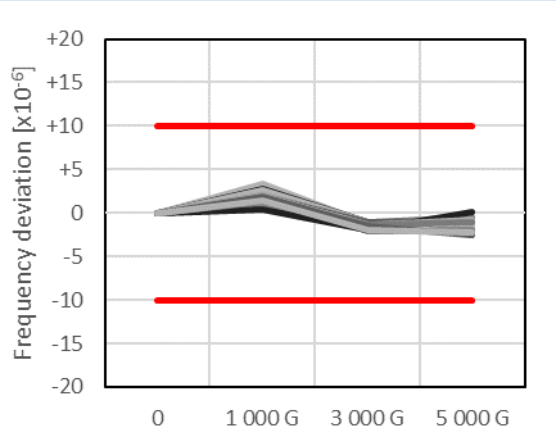

図 8 SG3225EEN 491.52 MHz 衝撃試験結果

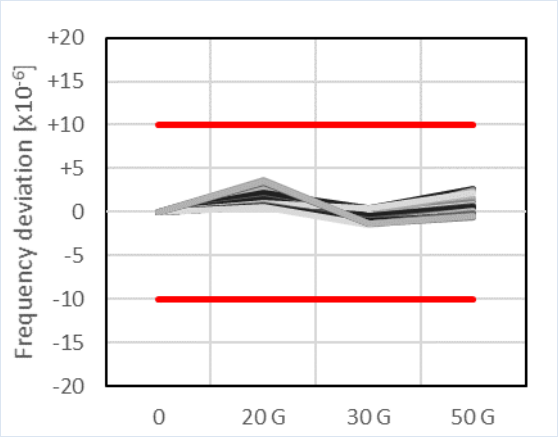

図 9 SG3225EEN 491.52 MHz 振動試験結果

・加速度感度（G-sensitivity）

前述の通り、基地局が設置される屋外は、その周囲環境で発生する振動に晒されることから、クロックに対しても振動による周波数変化が小さいもの、すなわち、加速度感度が小さいクロックが必要とされる。弊社では、振動中の特性影響を最小限に抑える水晶片の形状をシミュレーションにより固有値解析し、試作検証により最適設計を行っている。下図は、弊社 HFF VCXO VG7050VFN 122.88 MHz の加速度感度であり、2 x 10^{-9}/g という低加速度感度を実現している。

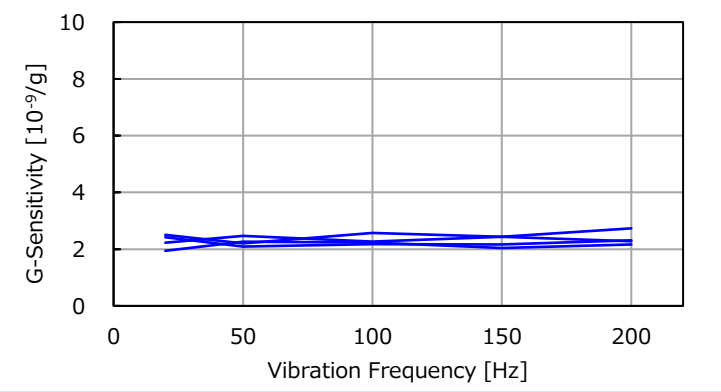

図 10 VG7050VFN 122.88 MHz 加速度感度

・周波数温度特性

400ZR では、クロックの周波数許容偏差±20 x 10^{-6} Max.が求められる。一般の水晶発振器は、-40 °C ~ +85 °C において周波数温度特性だけで±20 x 10^{-6} を超える特性となり、実現が不可能である。弊社 HFF SPXO の SG2520VHN では、温度補償回路を IC に内蔵することで下図のような特性を実現。400ZR の要求を満足している。

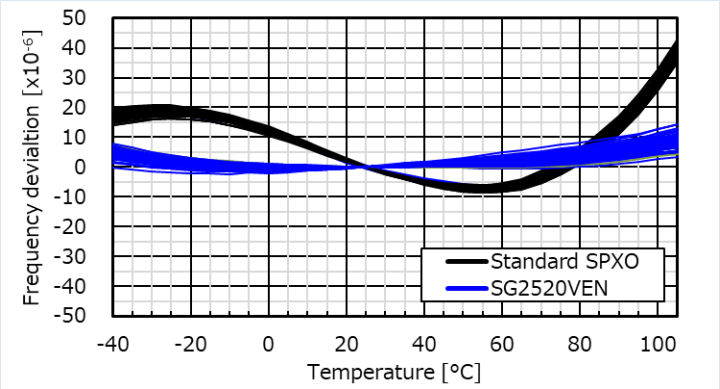

図 11 一般の水晶発振器 vs SG2520VHN 周波数温度特性

・位相雑音、位相ジッタ、PSNR (Power Supply Noise Rejection) 特性

弊社 HFF 発振器は、HFF 水晶振動子を用いることで、500 MHz までの安定した高周波発振を実現し、低ノイズ・低ジッタ特性であると共に、内蔵する弊社開発 IC は、シミュレーションを活用した最適設計により徹底した低ノイズ設計を行っている。下図に、弊社 HFF SPXO SG2520VHN 491.52 MHz、および HFF VCXO VG3225VFN 491.52 MHz の位相雑音特性を示す。いずれも優れた位相雑音、位相ジッタ特性を有する。

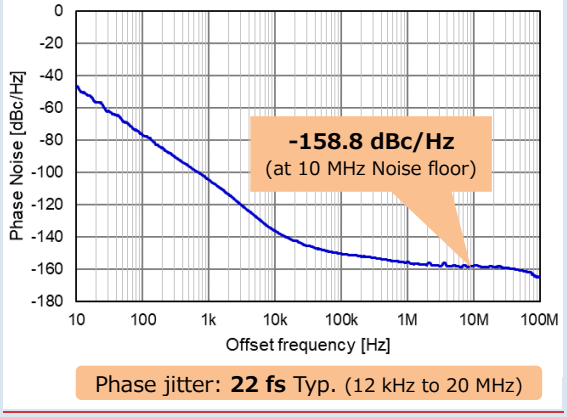

図 12 SG2520VHN 491.52 MHz 位相雑音特性

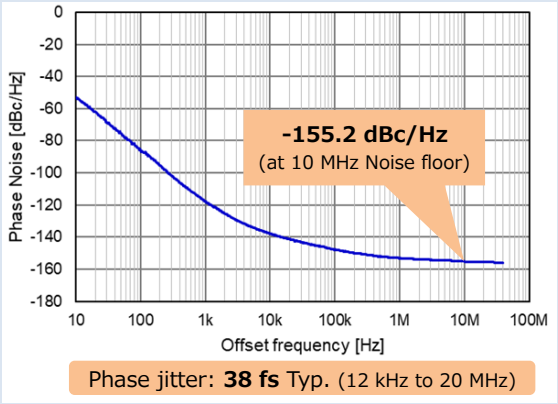

図 13 VG3225VFN 491.52 MHz 位相雑音特性

実際のアプリケーションでは、発振器に印加する電源電圧には、雑音が含まれるため、この雑音に影響を受け、発振器の位相雑音や位相ジッタが劣化する。例えば、電源電圧に 10 kHz の周波数成分の雑音が含まれる場合、位相雑音特性のオフセット周波数 10 kHz 付近にスプリアスが発生する。 弊社 HFF SPXO は、電源電圧を安定化し雑音を低減する低ノイズ LDO (Low Dropout)を採用し、位相雑音・位相ジッタ特性の劣化を抑制している。 下図に、SG2520EHN、および他社同等品の電源電圧に雑音を重畳させた際の位相ジッタ特性、すなわち PSNR 特性を示す。雑音モデルは、正弦波で 20 kHz から 5 MHz までの周波数、レベルは 50 mVp-p とした。SG2520EHN の位相ジッタ特性劣化が抑制されていることが確認できる。

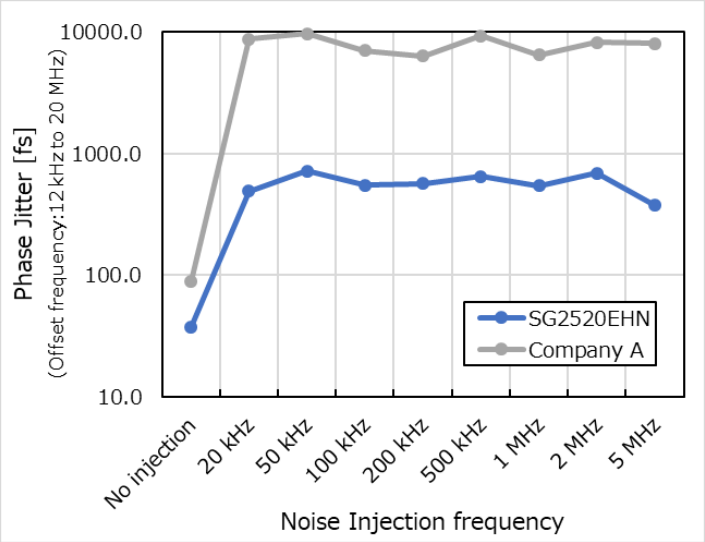

図 14 SG2520EHN および 他社同等品 PSNR 特性

【弊社 HFF 発振器の詳細仕様】

以下に、5G 通信システムの市場ニーズにマッチした特性を有する、弊社 HFF 発振器（SPXO/VCXO）の詳細仕様を示します。

・HFF SPXO: SG2016EHN/SG2520EHN, SG2016VHN/SG2520VHN 仕様

項目	記号	仕様			条件		
		LV-PECL	LVDS				
		SG2016EHN SG2520EHN	SG2016VHN SG2520VHN				
出力周波数範囲	fo	25 MHz ~ 500 MHz			対応周波数はお問い合わせください		
電源電圧	V_{CC}	D: 2.5 V ± 5 % C: 3.3 V ± 5 %	E: 1.8 V ± 5 %	D: 2.5 V ± 5 % C: 3.3 V ± 5 %			
保存温度範囲	T_stg	-55 °C ~ +125 °C					
動作温度範囲	T_use	G: -40 °C ~ +85 °C, H: -40 °C ~ +105 °C					
周波数許容偏差	f_tol	C: ±20 × 10^{-6} Max.			周波数初期偏差・周波数温度特性・電源電圧変動特性・10 年エージング(+25 °C)を含む		
消費電流	I_{CC}	60 mA Max.	–		OE or $\overline{S}\overline{T}$ = V_{CC}, L_ECL = 50 Ω		
		–	25 mA/–/25 mA Max.	25 mA/30 mA/25 mA Max.	OE or $\overline{ST}$ = V_{CC}, 出力オプション: A/B/C	25 MHz ≤ fo < 212 MHz	
				28 mA/35 mA/28 mA Max.		212 MHz ≤ fo < 392 MHz	
				28 mA/35 mA/30 mA Max.		392 MHz ≤ fo ≤ 500 MHz	
ディセーブル時電流	I_dis	35 mA Max.	20 mA Max.		OE = GND		
スタンバイ時電流	I_std	30 μA Max.			$\overline{ST}$ = GND		
波形シンメトリ	SYM	45 % ~ 55 %			At output crossing point		
出力電圧（LV-PECL）	V_{OH}	V_{CC} - 1.1 V Min.	–		出力オプション: A		DC 特性
	V_{OL}	V_{CC} - 1.5 V Max.					
出力電圧（LVDS）	V_{OD}	–	250 mV ~ 450 mV		出力オプション: A	差動出力電圧, V_{OD1}, V_{OD2}	DC 特性
			–	200 mV ~ 500 mV	出力オプション: B		
			300 mV ~ 600 mV		出力オプション: C		
	dV_{OD}	–	50 mV Max.		dV_{OD} = | V_{OD1} - V_{OD2} |		
	V_{OS}	–	0.65 V ~ 0.85 V	1.15 V ~ 1.35 V	オフセット電圧, V_{OS1}, V_{OS2}		
	dV_{OS}	–	50 mV Max.		dV_{OS} = | V_{OS1} - V_{OS2} |		
出力負荷条件	L_ECL	50 Ω	–		V_{CC} - 2.0 V に終端		
	L_LVDS	–	100 Ω		出力オプション: A, C	OUT - $\overline{OUT}$ 間に接続	
			50 Ω		出力オプション: B		
入力電圧	V_{IH}	70 % V_{CC} Min.			OE or $\overline{S}\overline{T}$ 端子		
	V_{IL}	30 % V_{CC} Max.					
立ち上がり/ 立ち下がり時間	tr/tf	0.35 ns Max.			LV-PECL: 20 % - 80 % (V_{OH} - V_{OL}) LVDS: 20 % - 80 % 差動出力 Peak to peak		
発振開始時間	t_str	10 ms Max.			t = 0 at 90 % V_{CC}		
位相ジッタ	t_{PJ}	250 ps Max. 200 ps Typ.	400 ps Max. 300 ps Typ.	250 ps Max. 170 ps Typ.	fo < 100 MHz		オフセット周波数 fo < 50 MHz: 12 kHz ~ 5 MHz fo ≥ 50 MHz: 12 kHz ~ 20 MHz
		90 ps Max. 70 ps Typ.	130 ps Max. 100 ps Typ.	100 ps Max. 70 ps Typ.	100 MHz ≤ fo ≤ 156 MHz		
		70 ps Max. 40 ps Typ.	70 ps Max. 50 ps Typ.	60 ps Max. 40 ps Typ.	156 MHz < fo ≤ 212 MHz		
		60 ps Max. 30 ps Typ.	60 ps Max. 35 ps Typ.	50 ps Max. 25 ps Typ.	212 MHz < fo ≤ 391 MHz		
		50 ps Max. 25 ps Typ.	60 ps Max. 30 ps Typ.	50 ps Max. 20 ps Typ.	fo > 391 MHz		
寸法	-	2.0 x 1.6 x 0.63 mm			SG2016EHN/SG2016VHN		
		2.5 x 2.0 x 0.74 mm			SG2520EHN/SG2520VHN		

上記製品の詳細情報は、弊社ホームページの下記リンク先にて公開しております。

商品ページ: SG2016EHN SG2520EHN (LV-PECL 出力)

SG2016VHN SG2520VHN (LVDS 出力)

HFF の優位性を紹介する動画コンテンツ

・HFF VCXO: VG3225EFN/VG5032EFN/VG7050EFN, VG3225VFN/VG5032VFN/VG7050VFN 仕様

項目	記号	仕様		条件	
		LV-PECL	LVDS		
		VG3225EFN VG5032EFN VG7050EFN	VG3225VFN VG5032VFN VG7050VFN		
出力周波数範囲	fo	25 MHz ~ 500 MHz (※ 250 MHz < fo ≤ 500 MHz は、近日リリース予定)		対応周波数はお問い合わせください	
電源電圧	V_{CC}	C: 3.3 V ± 0.165 V			
制御電圧	Vc	1.65 V ±1.65 V			
保存温度範囲	T_stg	-55 °C ~ +125 °C			
動作温度範囲	T_use	G: -40 °C ~ +85 °C, H: -40 °C ~ +105 °C			
周波数許容偏差	f_tol	J: ±50 × 10^{-6} Max.		下記以外	Vc = 1.65 V にて、周波数初期偏差・周波数温度特性・電源電圧変動特性・10 年エージング (+25 °C) を含む
		V: ±60 × 10^{-6} Max.		VG3225EFN/VFN, T_use: H, fo > 250 MHz	
絶対周波数可変範囲	APR	B: ±50 × 10^{-6} Min.		25 MHz ≤ fo ≤ 42.5 MHz, 50 MHz ≤ fo ≤ 85 MHz, 100 MHz ≤ fo ≤ 170 MHz	T_use: G or H
		M: ±20 × 10^{-6} Min.		25 MHz ≤ fo ≤ 250 MHz	T_use: G or H
				250 MHz < fo ≤ 420 MHz	T_use: G
		S: ±10 × 10^{-6} Min.		全周波数帯	T_use: G
消費電流	I_{CC}	60 mA Max.	25 mA Max.	OE = V_{CC}, L_ECL = 50 Ω or L_LVDS = 100 Ω	
ディセーブル時電流	I_dis	25 mA Max.	15 mA Max.	OE = GND	
入力インピーダンス	Zin	10 MΩ Min.		DC level	
周波数変化極性	-	正極性		V_C = 0 V ~ 3.3 V	
波形シンメトリ	SYM	45 % ~ 55 %		At output crossing point	
出力電圧 (LV-PECL)	V_{OH}	V_{CC} - 1.1 V Min.	–	DC 特性	
	V_{OL}	V_{CC} - 1.5 V Max.	–		
出力電圧 (LVDS)	V_{OD}	–	250 mV ~ 450 mV	差動出力電圧, V_{OD1}, V_{OD2}	DC 特性
	V_{OS}	–	1.15 V ~ 1.35 V	オフセット電圧, V_{OS1}, V_{OS2}	
LVPECL 負荷条件	L_ECL	50 Ω	–	V_{CC} - 2.0 V に終端	
LVDS 負荷条件	L_LVDS	–	100 Ω	OUT - $\overline{OUT}$ 間に接続	
入力電圧	V_{IH}	70 % V_{CC} Min.		OE 端子	
	V_{IL}	30 % V_{CC} Max.			
立上り/立下り時間	tr/tf	0.5 ns Max..	0.3 ns Max.	LV-PECL: 20 % - 80 % (V_{OH} - V_{OL}) LVDS: 20 % - 80 % 差動出力 Peak to peak	
発振開始時間	t_str	10 ms Max.		最小電源電圧の t を 0 とする	
位相ジッタ	t_{PJ}	120 fs Max.	160 fs Max.	fo = 122.88 MHz	オフセット周波数: 12 kHz ~ 20 MHz
		80 fs Max.	80 fs Max.	fo = 245.76 MHz	
		70 fs Max.	80 fs Max.	fo = 500.00 MHz	
加速度感度	Gs	2 × 10^{-9}/g Typ., 4 × 10^{-9}/g Max.		振動周波数: 20 Hz ~ 200 Hz	
寸法	-	3.2 x 2.5 x 1.05 mm		VG3225EFN/VG3225VFN	
		5.0 x 3.2 x 1.30 mm		VG5032EFN/VG5032VFN	
		7.0 x 5.0 x 1.50 mm		VG7050EFN/VG7050VFN	

上記製品の詳細情報は、弊社ホームページの下記リンク先にて公開しております。

商品ページ: VG3225EFN VG5032EFN VG7050EFN (LV-PECL 出力)

VG3225VFN VG5032VFN VG7050VFN (LVDS 出力)

【結論】

HFF 発振器は、5G 通信システムに最適なリファレンスクロックであり、お客様が生み出す商品の価値の最大化に貢献いたします。

そして、セイコーエプソンは、今後も社会を豊かにする水晶デバイスのご提案を続けてまいります。