

## SiTime スペクトラム拡散クロック発振器

### 1 はじめに

今日の電子システムでは、プロセッサスピードやデータ通信の高速化に伴い、EMI(Electro-Magnetic Interference (電磁妨害))が設計者にとって主要な課題の一つとなりました。一つのデバイスで生じたEMIは、そのデバイス近辺にある他の電子デバイスの動作を妨げる可能性があります。

システムにおいてクロックジェネレータがEMIの主要な発生源であることが多くあります。矩形波クロックの周波数スペクトルは、基本周波数と高調波の集合により生成されます。EMI除去フィルタ、ノイズシールド、PCB設計の工夫によってシステム内のEMIを抑制することはできますが、コストが増す上に貴重なPCB面積を消費することになります。代替手段の一つとして、クロックの周波数をゆっくりと僅かに変調することで、基本周波数および高調波周波数の両方のピークスペクトルエネルギーを減少させるという手法があります。FCCでは特定帯域内(通常100kHz)のピーク電力でEMIを定義するため、この低減方法は有効です。

### 2 スペクトラム拡散の利点

SiT9001、SiT9002、SiT9003等のスペクトラム拡散クロックは、PLLを用いて32kHz三角波の変調をかける事により生成されます。(図1参照)

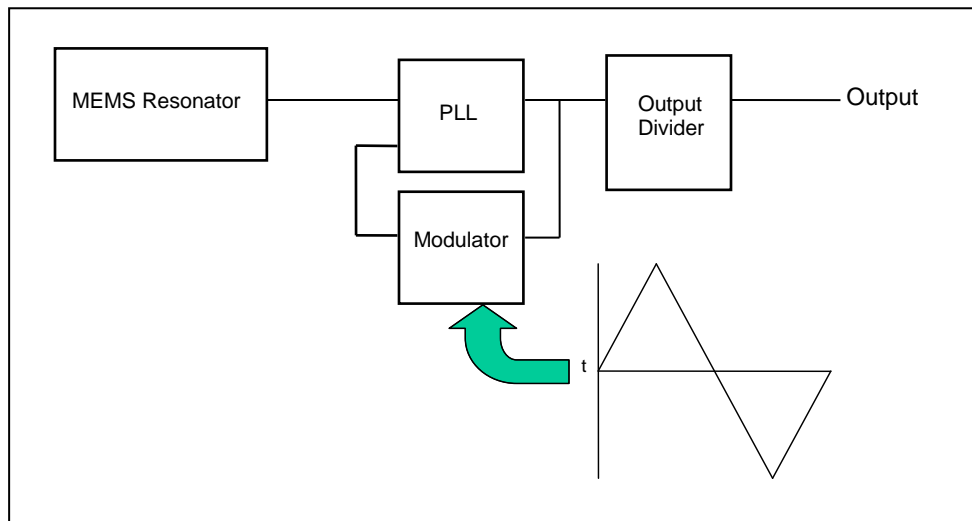


Figure 1. Modulating the PLL with a Triangular Wave

変調プロファイルは複数用意されており、ユーザーが自らパラメータを設定する事が可能です。

1. 変調タイプ：センタースプレッドまたはダウンスプレッド
2. 変調率（または変調限界）
  - センタースプレッド           :  $\pm 0.25\%$ ,  $\pm 0.5\%$ ,  $\pm 1.0\%$ ,  $\pm 2.0\%$
  - ダウンスプレッド           :  $-0.5\%$ ,  $-1.0\%$ ,  $-2.0\%$ ,  $-4.0\%$

クロック周波数が100 MHzの場合、 $\pm 1.0\%$ のセンタースプレッドを選択すると、出力範囲は99 MHzから101 MHzまでに制限されます。同様に、 $-2\%$ のダウンスプレッドを選択すれば、出力範囲は98 MHzから100 MHzまでとなります。

変調信号として三角波を用いる事により、周波数領域においてフラットな電力密度を得る事が可能となります。スペクトラム拡散クロック、非拡散クロックのスペクトルプロットをそれぞれ図 2 に示します。この図から、スペクトラム拡散クロックにする事で、非拡散クロックが持つ高いエネルギーピークが拡散され、ピークを低減する事ができていることが分かります。

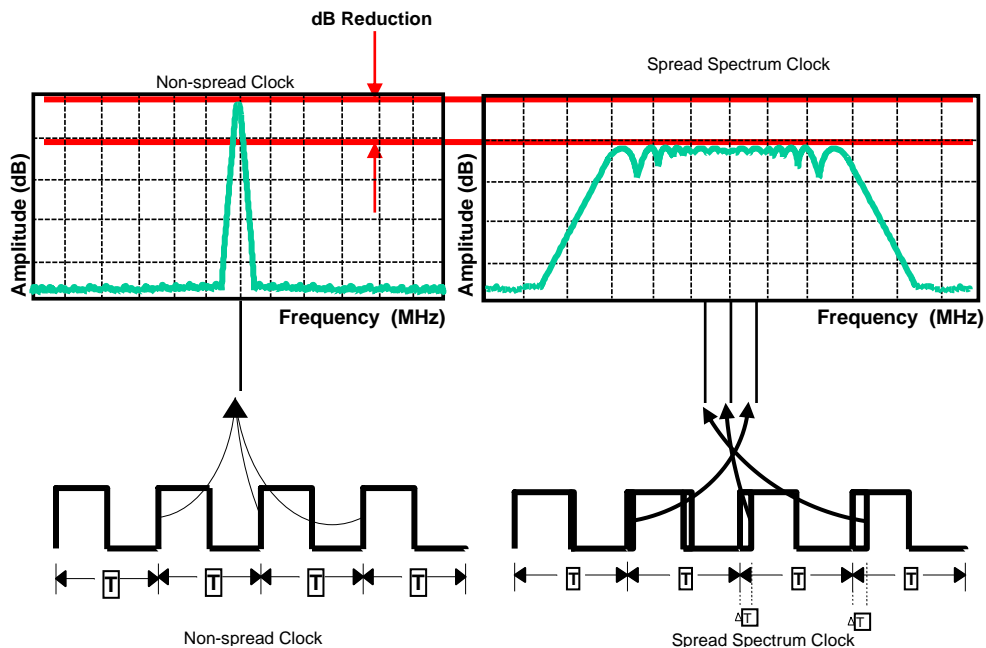


Figure 2. Spectrum plots of a non-spreading clock and a spread spectrum clock as measured by a spectrum analyzer with a 100 KHz resolution bandwidth

スペクトラム拡散クロックのノイズ低減効果を理解していただくため、SiT9001を125MHzで動作させた際に現れるピーク電力を、スペクトラム拡散方式の有り無しそれぞれでスペクトラムアナライザを用いて計測しました。この試験では-2%のダウンスプレッドを選択しました。図3はスペクトラムアナライザの出力を示しています。スペクトラム拡散方式を用いた場合、スペクトラム拡散におけるピークto平均値でのEMI低減値は13 dB (marker 3 - marker 1)、ピークtoピークでのEMI低減値は11 dB (marker 3 - marker 2) となっています。

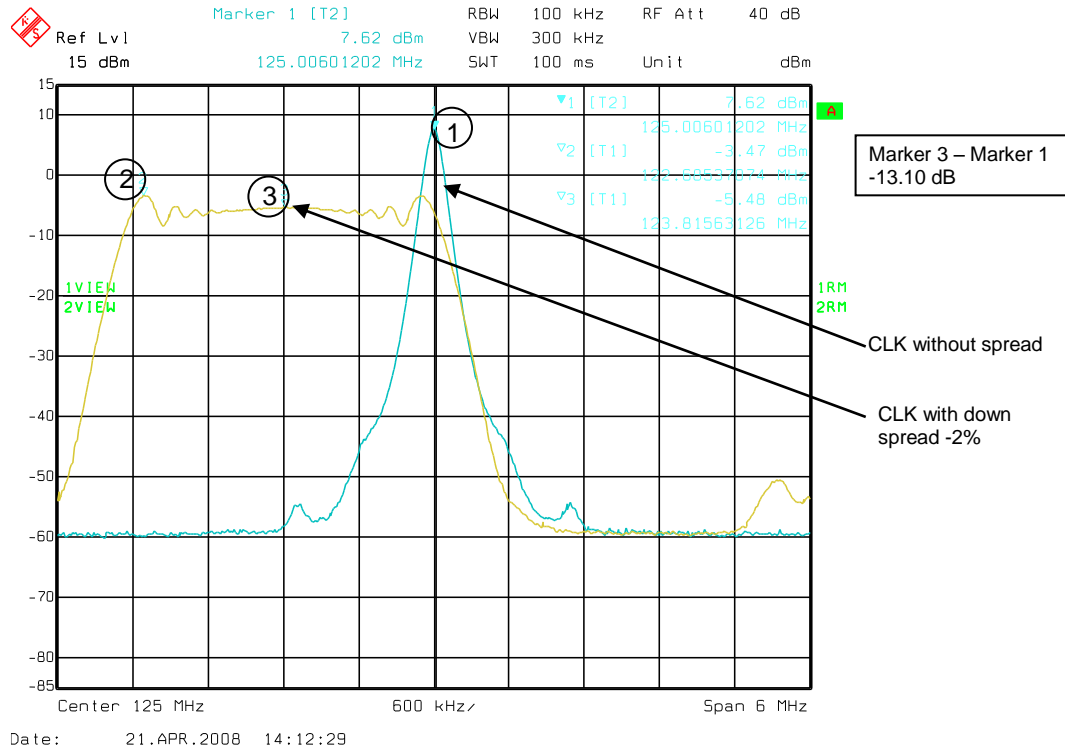


Figure 3. Noise Reduction Benefits of a Spread Spectrum Clock

### 3 スペクトラム拡散クロックにおける EMI 低減の概算

ユーザーは次の式を用いる事で、実験室での測定に頼ることなく机上で EMI の低減概算値を見積もる事ができます。

$$\text{EMI reduction (dB)} = 10 \log \frac{|S|fc}{RBW} \quad \text{式 1}$$

S はピーク to ピークでの変調率、fc は搬送周波数、RBM はスペクトラムアナライザの分解能を示しています。クロック測定時、RBW は通常 100 kHz に設定しています。

式 1 の結果を測定値と比較して検証することができます。SiT9001 を 125MHz で動作させ、2%のダウンスプレッドを用いた場合の EMI 低減概算値は次の通りです。

$$\text{EMI reduction} = 10 \log (0.02 \times 125\text{MHz}) / 100 \text{ KHz} = 14 \text{ dB}$$

この計算値は、実測のピーク to アベレージの 13 dB と近い値ですが、スペクトラム拡散のリップルによりピーク to ピークの 11 dB よりも 3 dB 高くなっています。ピーク to ピーク値で EMI 低減値を見積もる場合、式 1 により算出される概算値との差異は大きくなる傾向にありますのでご注意ください。

さらに式 1 の確度を確認するため、SiT9001 の EMI 低減値を 3 種類の異なるダウンスプレッド率を用いて測定し計算値と比較しました。これらの結果を図 4 に示します。点線は計算値、実線は Rohde & Schwarz 社製のスペクトラムアナライザを用いたピーク to アベレージの値を示しています。図より、計算値は測定値から概ね±1 dB 以内に留まっていることが分かります。

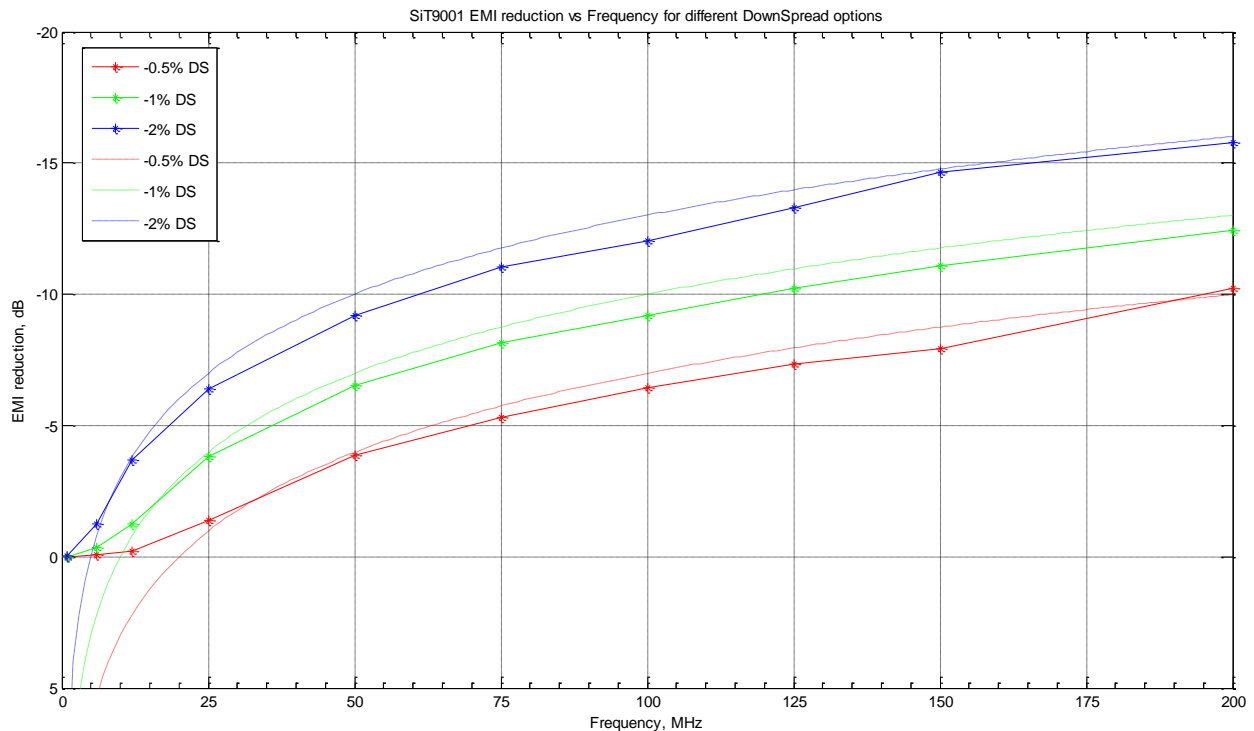


Figure 4. Calculated EMI Reductions vs Measured Values

#### 4 クロック高調波におけるスペクトラム拡散の効果

FCC コンプライアンスでは、クロックの基本周波数および高調波周波数の両者を考慮します。第 2 項および第 3 項では、基本周波数におけるスペクトラム拡散の効果を説明しましたが、EMI 低減効果は高調波スペクトルにも適用されます。

式 1 から、EMI の低減量は周波数に正比例することが分かります。これを検証するため、SiT9001 を 100MHz で動作させた際に現れる基本周波数（100MHz）第三高調波（300MHz）および第五高調波（500MHz）のスペクトルを 2%のダウンスプレッドの有無に応じて測定しました。これらの結果を図 5 および図 6 に示します。

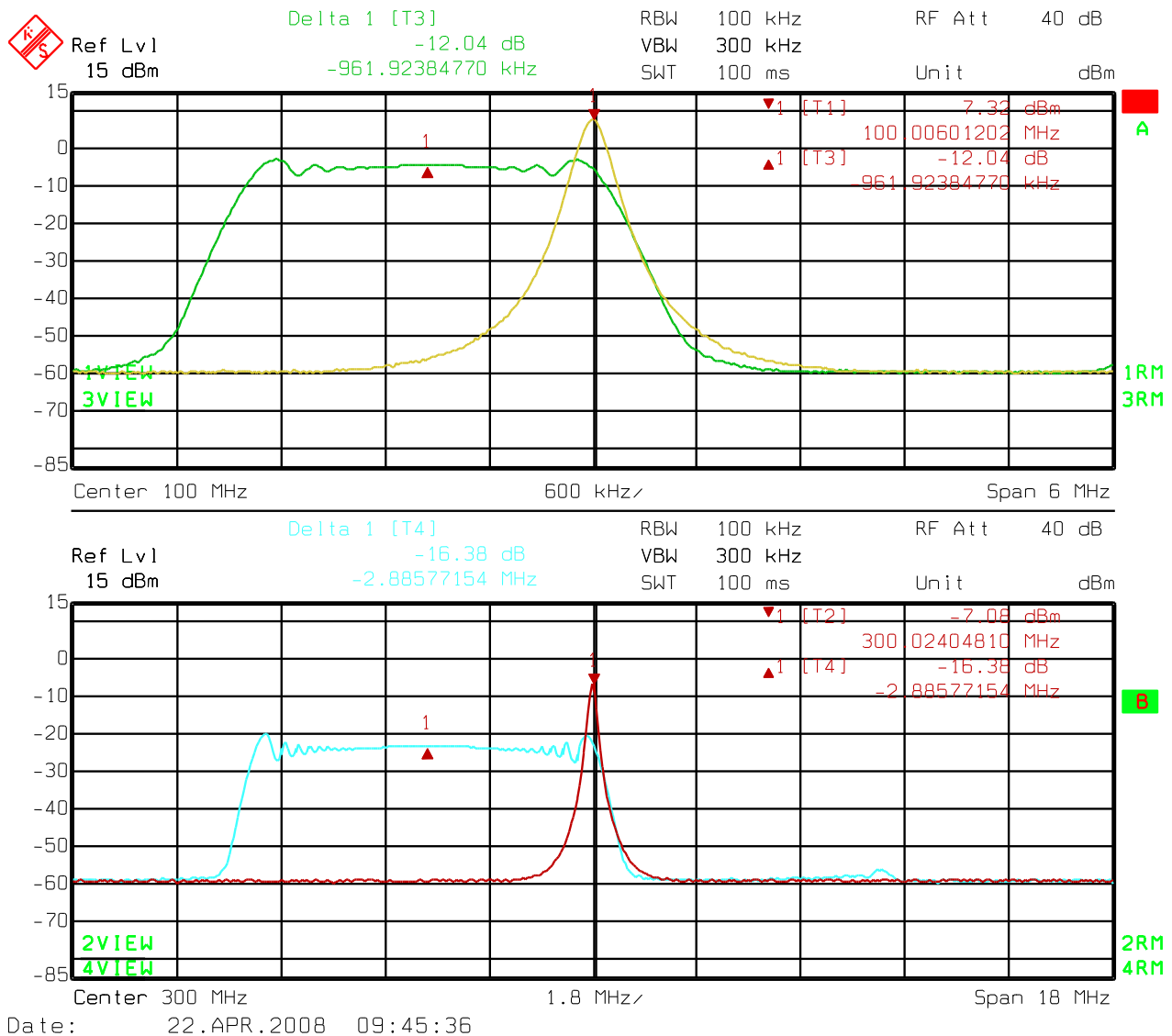


Figure 5. spectrum plots of a 100 MHz SiT9001 at 100 MHz and 300 MHz

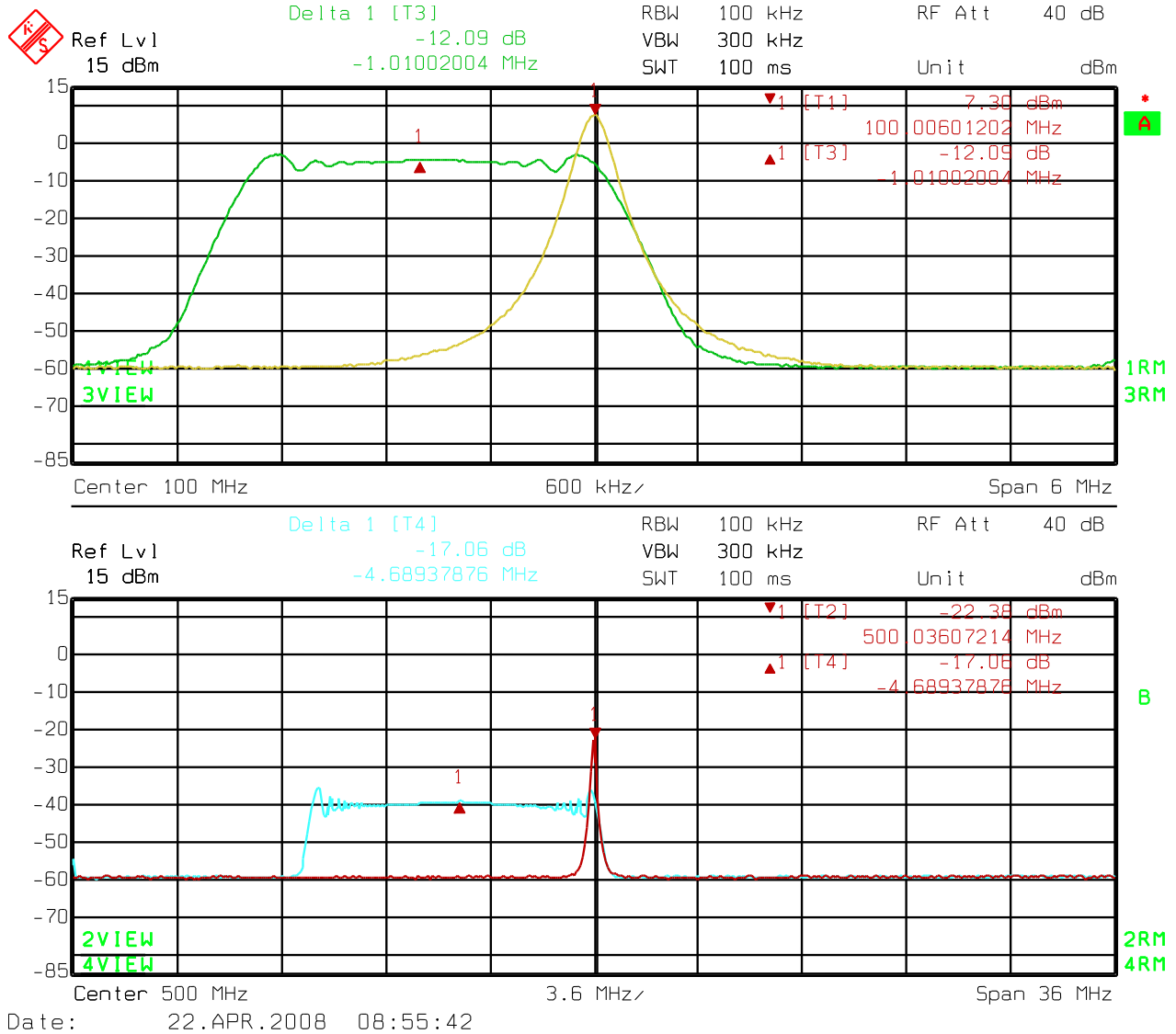


Figure 6. spectrum plots of a 100 MHz SiT9001 at 100 MHz and 500 MHz

基本周波数（100MHz）でのスペクトラム拡散による EMI 低減は 12.9 dB です。第三高調波（300MHz）では 16.38 dB、第五高調波（500MHz）では 17.68 dB へと増加しています。言い換えれば、スペクトラム拡散はクロック出力におけるすべての周波数成分において EMI を低減させることができるということです。

## 5 結論

SiTime 製品のスペクトラム拡散機能は優れた EMI 低減効果を発揮する為、電磁ノイズに敏感な用途において有用な機能であるといえます。

---

SiTime Corporation  
990 Almanor Avenue,  
Sunnyvale, CA 94085  
USA  
Phone: 408-328-4400  
<http://www.sitime.com>

© SiTime Corporation, 2008-2009. The information contained herein is subject to change at any time without notice. SiTime assumes no responsibility or liability for any loss, damage or defect of a Product which is caused in whole or in part by (i) use of any circuitry other than circuitry embodied in a SiTime product, (ii) misuse or abuse including static discharge, neglect or accident, (iii) unauthorized modification or repairs which have been soldered or altered during assembly and are not capable of being tested by SiTime under its normal test conditions, or (iv) improper installation, storage, handling, warehousing or transportation, or (v) being subjected to unusual physical, thermal, or electrical stress.

**Disclaimer:** SiTime makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this material, and specifically disclaims any and all express or implied warranties, either in fact or by operation of law, statutory or otherwise, including the implied warranties of merchantability and fitness for use or a particular purpose, and any implied warranty arising from course of dealing or usage of trade, as well as any common-law duties relating to accuracy or lack of negligence, with respect to this material, any SiTime product and any product documentation. Products sold by SiTime are not suitable or intended to be used in a life support application or component, to operate nuclear facilities, or in other mission critical applications where human life may be involved or at stake.