EVM User's Guide: LMX2624SPEVM LMX2695SEPEVM LMX2824EPEVM 带 **28GHz** 合成器的 LMX2624-SP、LMX2695-SEP、

LMX2824-EP 评估模块

说明

LMX2624SPEVM、LMX2695SEPEVM 或 LMX2824EPEVM 用于评估 LMX2624-SP、LMX2695-SEP 或 LMX2824-EP 器件的性能。这些器件是采用 10mm x 10mm 64 引脚塑料封装的高可靠性级别射频 合成器。这些器件能够生成高达 28GHz 的连续波信 号。这些评估模块提供了可供用户快速评估和开发这些 射频合成器的所有硬件接口。

开始使用

- 订购 EVM、LMX2624SPEVM、 LMX2695SEPEVM、LMX2824EPEVM。
- 2. 下载最新的编程 GUI TICS Pro。
- 3. 下载 PLL 仿真工具 PLLatinum Sim。
- 4. 如需详细了解 VCO 校准,请参阅 SNAA336。
- 5. 有关乒乓架构概述,请参阅 SNAA357。

特性

• 两个输出端口均提供高达 15GHz 的直接 VCO 输出 和 28GHz 的 VCO 倍频器输出

TEXAS INSTRUMENTS

- JESD204 SYSREF 时钟生成和中继器模式运行
- 支持跨多个器件同步输出相位
- 用于 SPI 控制的板载 USB 接口
- 支持引脚控制操作,无需 SPI 编程

应用

- 航空通信
- 航空雷达系统
- 相控阵天线和波束形成
- 高速数据转换器时钟(支持 JESD204B)





1 评估模块概述

1.1 简介

LMX2624SPEVM 板包含一个 LMX2624-SP 航天级射频合成器(工程模式)、一个极低噪声 LDO 和一个微控制器(也称为 USB2ANY)。该板具有两个射频输出:RFOUTA 和 RFOUTB。射频输出可为分频输出,直接 VCO 或 VCO 倍频器输出高达 28GHz。RFOUTB 还支持低频 SYSREF 时钟输出。SYSREF 运行包括连续 SYSREF 时钟生成和 SYSREF 脉冲发生器模式。通过向 EVM 馈送外部 SYSREF 信号,也可以支持 SYSREF 中继器模式。在 LMX2695SEPEVM 电路板上,合成器为 LMX2695-SEP,这是一个耐辐射的射频合成器(工程模式)。在 LMX2824EPEVM 电路板上,合成器为 LMX2824-EP。

LMX 器件可通过板载 USB2ANY 连接至 PC 进行配置。TICS Pro 用于对 LMX 器件进行配置和编程。

这些 LMX 器件可在引脚模式下运行,在这种情况下,无需寄存器编程。板载旋转开关和 2 引脚接头用于设置 LMX 器件的配置。

1.2 套件内容

每个评估套件包含:

- 一个具有集成 USB2ANY 控制器的 LMX2624-SP、LMX2695-SEP 或 LMX2824-EP EVM 板
- 一条 USB 电缆

1.3 规格

参数	值	条件		
电源电压	VCCIN : 3.3V	板载 LDO 被旁路		
	VCCIN:3.6 至 4.0V VBIAS:5.0V(LMX2624-SP、LMX2695-SEP)	板载 LDO 输出为 3.3V		
电源电流	1.1A 最大值。	取决于配置		
OSCIN 输入频率	5MHz 至 1GHz	10dBm		
RF 输出频率	4.88MHz 至 28GHz	RFOUTA、RFOUTB		
SYSREF	连续时钟生成、 脉冲发生器生成、中继器模式	RFOUTB		

表 1-1. EVM 规格

1.4 器件信息

这些 LMX 器件是具有集成式压控振荡器 (VCO) 的高性能、高可靠性、宽带锁相环 (PLL),可生成 4.88MHz 和 28GHz 之间的任何频率。这些器件采用单个 3.3V 电源供电,集成了 LDO,且无需板载低噪声 LDO。

这些 LMX 器件有两个输出通道,这些通道可以支持直接 VCO 输出、分频输出和 VCO 倍频器输出。输出通道 B 也支持 SYSREF 时钟输出。可以通过引脚控制快速将输出静音,响应时间短至 10ns。此特性对于交替开关应用 特别有用。请参阅 SNAA357 了解详细信息。

可以同步多个 LMX 器件,以便输出相位对齐。相对于输入基准时钟的输出相位也是可调节的。

在新的完全辅助运行模式下, VCO 锁定时间大幅减少到 20µs 内。

这些 LMX 器件通过 SPI 编程进行配置。这些 LMX 器件在引脚模式下可使用引脚配置运行,而无需进行 SPI 编程。

这些 LMX 器件采用德州仪器 (TI) 先进的 BiCMOS 工艺制造,并采用 64 引线 10mm x 10mm QFP 塑料封装。

2 硬件

2.1 设置

2.1.1 评估设置要求

EVM 的评估至少需要:

- 支持至少 5V、2A 的直流电源
- 高质量的信号源,例如 SMA100B
- 高达 26GHz 的频谱分析仪或相位噪声分析仪
- 安装有 TICS Pro 软件且运行 Windows 7 或较新版本的 PC

全面评估需要以下额外硬件:

- 高速 4 通道示波器,能够分辨 5ps 的步长,适用于相位调整和 SYSREF 延迟评估
- 任意函数发生器或能够输出方波连续时钟或脉冲以进行相位同步和 SYSREF 评估的脉冲源

2.1.2 连接图



图 2-1. 连接图

2.2 跳线信息

跳线 J1、J4 和 J23 确定了电路板的电源电压。



图 2-2. 电源跳线

要旁路 LDO,请将跳线 J4 设置到 1-2 位置。这是 EVM 默认配置。

要使用 LDO,请将跳线 J4 设置到 2-3 位置。对于 LMX2624SPEVM 和 LMX2695SEPEVM,短接跳线 J1。对于 LMX2824EPEVM,短接跳线 J23。

TEXAS INSTRUMENTS www.ti.com.cn

2.3 电源要求

旁路 LDO(EVM 默认配置)时,对 VCCIN SMA 连接器施加 3.3V 电压。可接受的电源电压范围为 3.2V 至 3.4V。

使用 LDO 时,对 VCCIN SMA 连接器施加 3.6V 至 4V 电压。对于 LMX2624SPEVM 和 LMX2695SEPEVM,向 VBIAS SMA 连接器施加额外的 5V 电压。

在运行过程中,该电路板可汲取的电流最高为1A,因此电源电缆的电阻很重要。

2.4 参考时钟

将 OSCIN_P SMA 连接器连接到高质量信号源,例如 SMA100B 信号发生器。将信号发生器的输出功率设置为 10dBm。

输入可以采用差分驱动。组装 R56,将 OSCIN_P 和 OSCIN_N SMA 连接器连接到平衡-非平衡变压器或差分时钟 源。正确组装 R55、R59 或 R60,以满足输入信号终端要求。



图 2-3. 参考时钟

2.5 输出接头

将 RFOA_P 或 RFOA_N 2.92mm 连接器连接至一个信号分析器。必须将未使用的连接器通过 50 Ω 电阻器或 SMA 负载端接。在默认 TICS Pro 评估软件配置中, RFOA 输出 6GHz 信号并且 RFOB 断电。RFOB 2.92mm 连接器可以保持开路。

2.6 测试点

表 2-1. SPI 测试点

测试点	位号	属性
TP9	SDO	串行数据输出 (寄存器读取返回或诊断信号)
TP6	CSB	SPI 芯片选择输入
TP7	SCK	SPI 时钟输入
TP8	SDI	SPI 数据输入

测试点	位号	属性
TP4	VCCIN	3.3V(LDO 旁路) 3.6V 至 4V(使用板载 LDO)
TP2	VBIAS	5V(使用板载 LDO) 仅适用于 LMX2624SPEVM 和 LMX2695SEPEVM
TP1	VCC	3.3V
TP3	GND	0V



3 软件

3.1 软件说明

德州仪器 (TI) 时钟和合成器 (TICS) Pro 软件用于通过板载 USB2ANY 接口对此评估模块 (EVM) 进行编程。

3.2 软件安装

从 www.ti.com.cn/tool/cn/ticspro-sw 下载并安装 TICS Pro 软件。

3.3 USB2ANY 接口

板载 USB2ANY 接口提供了 TICS Pro 软件和 LMX 器件之间的桥梁。当板载 USB2ANY 控制器首次连接到 PC 时,或者如果控制器的固件版本与 TICS Pro 使用的版本不匹配,则需要对控制器进行固件更新。

- 1. 使用 USB 电缆将 PC 连接到 EVM。USB 接口提供启用板载 USB2ANY 控制器所需的电源。
- 2. Windows 设置 USB 器件后,在 PC 中运行 TICS Pro。
- 3. 下一个屏幕如下图所示。

USB2ANY Firmware Requirement	×
The connected USB2ANY requires a firmware update to version 2.9.1.1.	
Serial Number: 8C4D5C510B002900 Current version is: 2.7.0.0	
The update takes only a few seconds and does not require an Internet connection.	
OK Cancel	

图 3-1. 固件更新请求

4. 点击 OK, 屏幕如下图所示。点击 Update Firmware。



图 3-2. 固件加载程序

5. 然后出现以下屏幕。

USB2ANY Firmware Loader	×
USB2ANY firmware update is complete.	
Mass erase occured! Password Sent Successfully Sending RAM BSL v00.07.88.38 Sending RAM BSL v00.07.88.38 Sending firmware (USB2ANY v2.9.1.1) Firmware Sent Memory successfully verified Total programming time is 1422ms Sending reset vectors Reset vector sent Interrupt reset successfully verified Resetting device Done! Close	

图 3-3. 固件升级完成

- 6. 点击 Close 按钮关闭窗口。
- 7. 弹出 TICS Pro 默认器件。检查以确保 GUI 底部的 Connection Mode 亮起绿灯。



软件								
		Connection Mode: Protocol: SPI Serial #: 8C4	USB2ANY D5C510B002900	🔑 Tex	kas Ins	TRUMEN	TS	
8.	转到菜单栏,点击 US	SB Communicati	图 3 - ions,然后站	• 4. 连接模 式 选择 <i>Interfa</i> 蹤 TICS Pro - LN File USB Com	式 CCC。 MX2572 munications			
			Unterface Write All R Read Focu	egisters ised Register	Ctrl+L Ctrl+R			
9.	点击 <i>Identify</i> 按钮,U	SB2ANY 接口的	图 3- 为 LED 灯闪灯	5. USB 通 乐。	信			
	M Comn	nunication Setup				_		×
	Interfa S US TII FT De	ce Select 3B2ANY 8C4D Hera 'DI emoMode	USB2ANY 5C510B002900 JSB Connected	~	Identify	Protocol	SPI	~

图 3-6. 识别 USB2ANY 控制器

10. 现在, USB2ANY 就可以使用了。点击 Close 按钮关闭窗口。

4 实现结果

4.1 评估设置

默认 EVM 配置在 SPI 模式下运行 (旁路 LDO)。按照图 2-1 所示设置连接。运行 TICS Pro 评估软件并按照以下步骤启动程序。其他两种 EVM 型号也采用相同的运行方式。

1. 转到 Select Device → PLL + VCO → LMX2624-SP。

	TICS Pro - LMK3H0102		
	File USB Communications	Select Device	Options Tools Default
Impor	rt User Device		Is Get BAW Frequency
Delet	e User Device(s)		
User	Devices	•	
PLL		•	zard
PLL +	+ VCO	•	LMX2531
Clock	Distribution with Divider	•	LMX2541 • 2
Clock	Generator/Jitter Cleaner (Sing	e Loop) 🔹 🕨	LMX2571 +
Clock	Generator/Jitter Cleaner (Dual	Loop)	LMX2572
Demo	odulator	•	LMX2581
Netwo	ork Synchronizer Clock (Digital	PLLs)	LMX2582
Oscill	lators	•	LMX2592
Refer	ence-less Clock Generators	•	LMX2594
			LMX2595
	1		LMX2615
	General Context		LMX2624-SP

图 4-1. 在 TICS Pro 中选择器件

- 2. 随后加载"ReadMe"页面。请花一点时间来阅读其中的内容,简要了解 GUI。
- 3. 转到 Default Configuration → EVM Default Mode。

τ în	ICS Pro - LMX2624-SP (U	ser Device)				
File	USB Communications	Select Device	Options	Tools	Default Configurations	Help
▲ LI	MX2624-SP User Controls Raw Registers ** README **			EVI	/I Default Mode	
					TICS Pro - TMS	0694.

图 4-2. 默认模式

4. 转到 USB Communications → Write All Registers,将所有寄存器写入 LMX2624-SP。

4.2 性能数据和结果

使用 EVM 默认模式配置时, VCO 频率为 12GHz、RFoutA 输出为 6GHz。





图 4-3. 分频输出

点击 Output MUX 并选择 VCO, RFoutA 输出变成 12GHz。



图 4-4. 输出多路复用器选项



图 4-5. 直接 VCO 输出

要获取 VCO 倍频器输出,请点击 Output MUX 并选择 Doubler。需要使用 VCO 倍频器校准来配置内部跟踪滤波器,以便在抑制次谐波时 2 倍信号通过。要完成倍频器校准,请设置 FCAL_DBLR_EN = 1 并点击一次 Calibrate VCO 按钮(这会对 R0 进行编程)。

VC	O calil	oratio	n 🗌	Help
FCAL_EN		¥ F0	CAL_DBL	R_EN
QUICK_RECA	L_EN	D		EN .
VCO_FULL_A	SSIST		FastChg t	ime =
VCO_FASTCHG_C	NT	* *		
FCAL_LPFD_ADJ	PFD >	= 10M	Hz	
FCAL_HPFD_ADJ	100 < 1	PFD <	= 200MHz	
CAL_CLK_DIV	Fosc <	= 1001	VIHz	
VCO_SEL	VCO5		Full as:	ist 🗌
VCO_DACISET		× 0	Full ass	
VCO_CAPCTRL	19	1 +	Full as	ist 🗌
	Calibrate	VCO		

图 4-6. VCO 倍频器校准



图 4-7. VCO 倍频器输出

次谐波抑制在 24GHz 输出时约为 -52dBc,在 15GHz 输出时约为 -42dBc。



如果不使用 RFOUTA 或 RFOUTB,则可以通过设置 OUTx_PD = 1 来关断输出驱动器。未使用的输出引脚可以悬 空或交流分流至地。也可以在不关断驱动器的情况下将输出静音。输出静音由 MUTEA 和 MUTEB 引脚控制或使 用 SPI 编程进行配置。

OUTB_PD RFOUTB	MHz Power
	Power
6000	MHz 5
Outpo	ut mute DUTA
OUTA_MUTE_PIN	Pin control v
OUTA_MUTE_POL	Active HIGH V
MUTEA (pin)	RFOUTA muted
RF	OUTB
OUTB_MUTE_PIN	Pia control. 👻
OUTB_MUTE_POL	AutoeniiGiu 💙
	RFOUTB disabled
Mute durin	g calibration
OUT_MUTE Both	outputs are muted v

图 4-10. 输出静音控制



使用硬件引脚进行静音控制的响应速度非常快,典型值为10ns。



4.2.2 VCO 校准

每当 VCO 频率发生变化时,就需要进行 VCO 校准,以选择合适的 VCO 内核和频带,从而使 PLL 锁定。在这些 LMX 器件中,有7个 VCO 内核,每个内核有192个频段。只要寄存器 R0 被编程为 FCAL_EN = 1,就会自动选 择 VCO 内核和频带。这称为无辅助运行。无辅助运行时,要设置 TICS Pro EVM 默认模式。如果对 VCO 开关时 间没有要求,建议使用无辅助运行。但是,如果您的应用需要非常快速的 VCO 开关,则可以将这些器件置于完全 辅助运行模式。在这种情况下,会绕过 VCO 校准。有关 VCO 校准详情,请参阅应用手册 SNAA336。

4.2.2.1 无辅助运行

在无辅助运行模式下,切换 VCO 频率所需的时间等于 (1) 寄存器编程时间、(2) VCO 校准时间和 (3) PLL 锁定时 间之和。VCO 校准时间取决于频率是向上还是向下变化以及寄存器 VCO SEL、VCO DACISET 和 VCO CAPCTRL 设置。PLL 锁定时间取决于环路滤波器带宽。通常,较宽的环路带宽会返回较短的锁定时间。例 如,在无辅助运行模式下,使用默认 EVM 配置在 7500MHz (VCO1) 和 15GHz (VCO7) 之间切换 VCO 频率,锁 定时间(不包括寄存器编程时间)约为 300µs 到 600µs。(由于测试设备的限制,输出4分频)





图 4-13. 完全辅助下跳

编程信息:

- 1. 设置 DBL BUF EN = 1 以启用寄存器双缓冲。在寄存器 R0 被编程前,写入双缓冲寄存器不会改变 PLL 的配 置。
- 2. 设置 Channel divider = 4。
- 3. 针对 VCO = 7500MHz 对 PFD_DLY、PLL_N、PLL_NUM 进行编程。
- 4. 点击一次 Calibrate VCO 按钮以启动 VCO 校准。(使用 CSB 引脚触发测试设备)
- 5. 针对 VCO = 15000MHz, 重复步骤 3。
- 6. 点击一次 Calibrate VCO 按钮以启动 VCO 校准。(使用 CSB 引脚触发测试设备)





图 4-15. 无辅助 VCO 开关配置

4.2.2.2 完全辅助运行

每次更改 VCO 频率时,完全辅助运行都会指定 PLL 锁定的 VCO 内核和频带,而不是执行 VCO 校准。因此,不 需要 VCO 校准时间。切换 VCO 频率所需的总时间等于寄存器编程时间加上 PLL 锁定时间。

为了能够了解在特定的 VCO 频率下使用哪个 VCO 内核和频带,需要执行一次性 VCO 校准,需要执行寄存器回 读来收集该信息,并且该信息需要存储在查询表 (LUT) 中。除了 VCO 参数外,如果使用 VCO 倍频器,则可以通 过类似的方式获取 VCO 倍频器参数。例如,再次在 7500MHz 和 15GHz 之间切换 VCO 频率。RFOUTA 由 4 分 频输出。在完全辅助运行模式下,锁定时间(不包括寄存器编程时间)小于 20µs。



*3000 *3000 *3000 *2000 *2000 *2000 *0000 *

编程信息:

a. LUT 创建

- 1. 设置 MUXOUT = Register read back。
- 2. 设置 READBACK = Read state machine value。
- 3. 对 LMX 器件进行编程,以在无辅助运行模式下锁定到 7500MHz。
- **4**. 点击 **Register Read Back** 按钮一次,以读回寄存器值,如 **Full assist read back** 列中所示。将这些值记录 在文本文件中。
- 5. 对于 15GHz, 重复步骤 3 至 4。







图 4-18. LUT 创建



- **b**. 应用 LUT 数据
- 1. 设置 VCO_FULL_ASSIST = 1。
- 2. 设置 DBL_BUF_EN = 1。
- 3. 针对 VCO = 7500MHz 对 PFD_DLY、PLL_N、PLL_NUM 进行编程。
- 4. 使用来自 LUT 的值对 VCO_SEL、VCO_DACISET 和 VCO_CAPCTRL 进行编程。
- 5. 点击一次 Calibrate VCO 按钮以启动 VCO 切换。(使用 CSB 引脚触发测试设备)
- 6. 针对 VCO = 15000MHz, 重复步骤 3 至 4。
- 7. 点击一次 Calibrate VCO 按钮以启动 VCO 切换。(使用 CSB 引脚触发测试设备)

4.2.3 SYSREF

这些 LMX 器件支持生成 SYSREF 连续时钟和脉冲序列。SYSREF 时钟由 RFOUTB 输出。SYSREF 时钟和射频 时钟(来自 RFOUTA)之间的相位是可调节的。这些 LMX 器件还支持 SYSREF 中继器模式。传入的 SYSREF 时钟可以异步传递到 RFOUTB,也可以重新计时,以便与射频时钟实现相位对齐。

4.2.3.1 SYSREF 时钟生成

要启用 SYSREF 功能,请设置 SYSREF_EN = 1。SYSREF 运行需要一些相位同步构建块,因此也必须将 VCO_PHASE_SYNC 设置为 1。设置该位后,相位检测器频率必须等于或小于 50MHz。将 *Output MUX* 设置为 SYSREF,使 RFOUTB 输出为 SYSREF 时钟。要生成连续 SYSREF 时钟,请设置 SYSREF_REPEAT = *Generation mode*;设置 SYSREF_PULSE = *Continuous mode*。在 SysRefReq 引脚被拉高后,RFOUTB 将在 20ns 内输出时钟。这可以通过选中 *SRREQ (pin)* 复选框来实现。使用 *SYSREF divider* 来调整输出 SYSREF 时 钟频率。



图 4-20. SYSREF 连续时钟生成







SYSREF 时钟 (RFOUTB) 和射频时钟 (RFOUTA) 之间的相位可以使用寄存器 JESD_DACx 进行调整。

SY	SREF Help
SYSREF_EN	
SRREQ_INPIN_FMT	CMOS Y
SYSREF_REPEAT	Generation mode
SYSREF_PULSE	Continuous mode
SYSREF_PULSE_CNT	SYSREF delay
SYSREF delay control	4 5.291
DAC1: 59 DAC2: 4	DAC3: 0 DAC4: 0
SRREQ (pin)	

图 4-23. SYSREF 延迟控制

如果需要对 SYSREF 时钟进行直流耦合,则必须注意输出共模电压,该电压不是恒定值,而是随输出电压摆幅设置而变化。将 Power 设置为不同的值会更改 SYSREF 时钟输出电压摆幅以及共模电压。



图 4-24. Power = 2 时的 SYSREF 输出

图 4-25. Power = 7 时的 SYSREF 输出

4.2.3.2 SYSREF 脉冲生成

要生成 SYSREF 脉冲,请将 SYSREF_PULSE 更改为*脉冲模式*,并使用 SYSREF_PULSE_CNT 寄存器字段设置所需的脉冲数。点击 切换 SysRefReq 引脚 按钮一次以触发脉冲生成。脉冲生成模式支持 SYSREF 延迟控制。使用 JESD_DACx 寄存器更改延迟。







图 4-26. SYSREF 脉冲模式配置

图 4-27. SYSREF 脉冲生成

4.2.3.3 SYSREF 中继器模式

有两种类型的 SYSREF 中继器模式操作,即同步和异步中继器模式。使用同步中继器模式时,传入的 SYSREF 时钟会重新计时以与 VCO 保持一致,支持 SYSREF 延迟控制。在异步中继器模式下,传入 SYSREF 时钟通过器件,并在 RFOUTB 处输出。SYSREF 延迟控制在此模式下不适用。要将 LMX 器件置于该模式,请设置 RPTR_NONSYNC = 1。



图 4-30. SYSREF 同步中继器模式

4.2.4 相位调整

MASH_SEED 字可以使用 PLL 的 Σ-Δ 调制器相对于输入基准时钟移动输出信号相位。要启用相位调整,请设置 **MASH_SEED_EN = 1**,然后将值编程为 **MASH_SEED**。或者,可以在 TICS Pro 中使用所需的相移值来计算 MASH_SEED 值。使用相位调整存在一些限制,点击 *Help* 按钮可查看详细信息。





图 4-31. 相位调整配置

图 4-32. 相位调整

在上述示例中,如果 MASH_SEED = 10 被编程 100 次,则结果是 180 度翻转。

4.2.5 相位同步

如果系统中有多个 LMX 器件,并且需要所有射频时钟的相位对齐,则相位同步非常有用。有四种不同的同步类别。

- 类别 4:无法同步。
- 类别 3:使用时间关键型 SYNC 脉冲且器件处于 SYNC 模式,可实现同步。
- 类别 2:使用非时间关键型 SYNC 脉冲且器件处于 SYNC 模式,可实现同步。
- 类别 1b:要求器件处于 SYNC 模式。
- 类别 1a:无需任何设置,器件相位会自动对齐。

4.2.5.1 类别 1b 和类别 2 同步

类别 1b 和类别 2 同步需要将 LMX 器件置于 SYNC 模式。这意味着 VCO_PHASE_SYNC = 1。请注意,在 SYNC 模式下,最大 f_{PD} 为 50MHz。

对于类别 1b 同步, 启用 SYNC 模式即可满足要求。对器件进行编程后, 输出相位全部对齐。

对于类别 2 同步,除了将器件置于 SYNC 模式之外,还需要一个非时间关键型 SYNC 脉冲来触发所有器件进行同步。SYNC 脉冲可通过外部源或通过切换 SYNC 引脚 LOW-HIGH-LOW 来提供。点击 *Toggle Sync pin* 按钮会将 SYNC 引脚 L-H-L 切换一次。

Phase s	ynchron	izat	ion Help
VCO_PHASE_S	YNC		
SYNC_INPIN_FMT		~	MASH reset
MASH_RST_COUNT		*	une (µs) =
SYNC category	RFOUTA:	1b	RFOUTB: 1b
	2		



ynchron	izat	tion Help			
YNC					
	~	MASH reset			
	* *				
RFOUTA:	2	RFOUTB: 2			
Toggle Sync pin					
	YNC RFOUTA:	ynchroniza YNC RFOUTA: 2 gle Sync pin			

图 4-34. 类别 2 同步

4.2.5.2 类别 3 同步

用于类别 3 同步的 SYNC 脉冲需要相对于输入基准时钟的特定建立和保持时间。此要求旨在验证所有器件是否使用相同的输入时钟边沿来启动同步。必须设置 MASH_RST_COUNT,以便提供足够的时间来完成同步。





图 4-35. 类别 3 同步配置

如果将非时间关键型 SYNC 脉冲用于类别 3 同步,或在 VCO 校准后使用非时间关键型 SYNC 脉冲,器件之间的相位将不相同。



对于时间关键型 SYNC 脉冲,输出相位对齐。请注意,每个器件的输出相位不能完全相同,但差异在同步后保持不变。



这些 LMX 器件支持引脚配置操作,无需寄存器编程。引脚模式操作的设置与图 2-1 中所示的图相同,只是不需要 连接到 PC。在 EVM 中,这些器件的配置由旋转 DIP 开关和 2 引脚接头决定。



图 4-40. 引脚控制元件

N 分频器值由 NDIVx 旋转 DIP 开关进行配置, CDIVx 旋转 DIP 开关用于设置通道分频器值。NDIVx 和 CDIVx 引 脚是 4 电平输入引脚。旋转 DIP 开关的位置(0、1、2 或 3) 将引脚设置为以下电平之一:VL (0V); VML; VMH 和 VH (3.3V)。

CDIV2	CDIV1	CDIV0	分频器值
0	0	0	SPI 模式
0	1	0	2
0	2	0	4
0	2	3	6
1	0	0	8
1	0	3	12
1	1	0	16
1	1	3	24
1	2	0	32
1	2	3	48
1	3	0	64
1	3	3	96
2	0	0	128
2	0	3	192
2	1	0	256
2	1	3	384
2	2	0	512
2	2	3	768
2	3	0	1024
2	3	3	1536

表 4-1. CDIVx 通道分频器真值表



十进制	NDIV5	NDIV4	NDIV3	NDIV2	NDIV1	NDIV0
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	2
3	0	0	0	0	0	3
4	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1	1
6	0	0	0	0	1	2
7	0	0	0	0	1	3
8	0	0	0	0	2	0
59	0	0	0	3	2	3
60	0	0	0	3	3	0
61	0	0	0	3	3	1
62	0	0	0	3	3	2
4092	3	3	3	3	3	0
4093	3	3	3	3	3	1
4094	3	3	3	3	3	2
4095	3	3	3	3	3	3

表 4-2. NDIVx N 分频器真值表

2 引脚接头 MUX0、MUX1 和 MUX2 确定 RFOUTA 和 RFOUTB 输出。 表 4-3. 输出多路复用器设置

MUX2	MUX1	MUX0	RFOUTA	RFOUTB
0	0	0	通道分频器	通道分频器
0	0	1	通道分频器	VCO
0	1	0	VCO	通道分频器
0	1	1	VCO	VCO
1	0	0	倍频器	通道分频器
1	0	1	VCO	倍频器
1	1	0	倍频器	VCO
1	1	1	倍频器	倍频器

其他2引脚接头的定义如下:

表 4-4.2 引脚接头定义

位号	功能
MUTEA、MUTEB	输出静音控制。
RECAL	如果 RECAL 为高电平,则当器件失去锁定时,器件会自动重新校准以重新增益锁定。EVM 默认将此引脚连接 至高电平。
DBLR	启用 OSCin 倍频器。
CAL	连接高电平可启用该器件。低电平到高电平转换会触发 VCO 校准。

例如,要在引脚模式下针对以下配置来配置 LMX 器件:

- $f_{OSC} = 100MHz$; $f_{PD} = 200MHz$; $f_{VCO} = 12GHz$
- RFOUTA = 24GHz 输出; RFOUTB = 3GHz

硬件配置为:

- N 分频器 = 12G / 200M = 60 → NDIV[5:0] = (000330)₄
- RFOUTA = 24GHz \blacksquare RFOUTB = 3GHz \rightarrow MUX[2:0] = (100)₂
- 通道分频器 = 12G / 3G = 4 → CDIV[2:0] = (020)₄
- $f_{PD} = 200 \text{MHz} \rightarrow \text{DBLR} = \text{HIGH}$



图 4-41. 引脚模式硬件配置

5 硬件设计文件

5.1 原理图









图 5-2. 功率和控制 (LMX2824EPEVM)





图 5-3. LMX 合成器





English Document: SNAU308 Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5.2 PCB 布局



图 5-5. 顶层



图 5-6. 第二层



图 5-7. 第三层



图 5-8. 第四层



图 5-9. 第五层



图 5-10. 底层



表 5-1. PCB 层叠

层	材料	厚度 (mil)	常量
顶层	铜	2.8	
电介质	RO4350B LoPro	7.3	3.55
2nd	铜	1.4	
电介质	FR4	13	4.2
3rd	铜	1.4	
电介质	FR4	9	4.2
4th	铜	1.4	
电介质	FR4	13	4.2
5th	铜	1.4	
电介质	FR4	9	4.2
底层	铜	2.8	

位号	说明	器件型号	制造商
C1、C4、C8、C12、C16、C18、C20、 C22、C28、C30、C32、C33、C40、 C42、C45、C70、C71、C73、C74	电容器,陶瓷,10µF,10V,10%,X5R, 0603	GRM188R61A106KAALD	MuRata
C2、C3	电容器,固体钽,100µF,20V,E CASE, 10%	TPME107K020R0035	KYOCERA AVX
C5、C11、C57、C63、C64、C65、 C68、C69	电容器,陶瓷,0.1µF,16V,10%,X7R, 0603	885012206046	Wurth Elektronik
C6、C9	电容器,陶瓷,4.7µF,16V,10%,X7R, 0603	GRM188Z71C475KE21D	MuRata
C7	电容器,陶瓷,4.7nF,50V,5%,C0G, 0805	GRM2165C1H472JA01D	MuRata
C10、C56、C58、C72	电容器,陶瓷,1µF,16V,10%,X7R,0603	885012206052	Wurth Elektronik
C13、C14、C19、C24、C25、C26、 C37、C38、C43、C49、C51、C52、 C53、C54、C55	电容器,陶瓷,0.1µF,10V,10%,X5R, 0201	ATC530Z104KT10T	AT Ceramics
C15、C17、C21、C23、C27、C29、 C31、C34、C35、C36、C39、C41、 C44、C75	电容器,陶瓷,1µF,25V,10%,X5R,0402	GRM155R61E105KA12D	MuRata
C47	电容器,陶瓷,68nF,25V,10%,X7R, 0603	885012206070	Wurth Elektronik
C48	电容器,陶瓷,390pF,50V,5%,C0G, 0603	C0603C391J5GACTU	Kemet
C50	电容,陶瓷,1.8nF,±10%,X7R,0603	C0603C182K5RACTU	Kemet
C59	电容器,陶瓷,2.2µF,16V,20%,X5R, 0603	885012106018	Wurth Elektronik
C60	电容器,陶瓷,3.3nF,50V,10%,X7R, 0603	885012206086	Wurth Elektronik
C61	电容器,陶瓷,2.2nF,16V,10%,X7R, 0603	885012206036	Wurth Elektronik
C62、C67	电容器,陶瓷,220pF,50V,5%,C0G, 0603	C0603C221J5GACTU	Kemet
C66	电容器,陶瓷,0.47µF,16V,10%,X7R, 0603	GRM188R71C474KA88D	MuRata
D1、D2	LED,绿色,SMD,0603	LTST-C190GKT	Lite-On
H1、H2、H3、H4、H5	BUMPER CYLIN 0.312" DIA	SJ61A6	3M
J4	接头,100mil,3x1,金,TH	TSW-103-07-G-S	Samtec
J2、J3、J15、J17、J19、J21	连接器,SMA,插孔,直式,边缘安装	CON-SMA-EDGE-S	RF Solutions Ltd.
J1、J5、J6、J7、J8、J9、J10、J11、 J12、J23	接头,100mil,2x1,金,TH	TSW-102-07-G-S	Samtec
J13、J14、J16、J18	2.92mm 连接器,50 Ω 板边缘	1521-00002	SV Microwave
J22	USB 2.0,Micro-USB Type B,R/A,SMT	10118194-0001LF	FCI
L1	铁氧体磁珠,120Ω(在 100MHz 时),3A, 0603	BLM18SG121TN1D	MuRata
Q1、Q2	MOSFET,N 沟道,50V,0.22A,SOT-23	BSS138	Fairchild
R1	电阻, <mark>10,5%,0.1W,0603</mark>	CRCW060310R0JNEA	Vishay-Dale
R2	电阻,88.7k,1%,0.1W,0603	CRCW060388K7FKEA	Vishay-Dale
R3	电阻, 33.2k ,0.1%,0.1W,0603	RT0603BRD0733K2L	Yageo America
R4	电阻,12.0k,0.1%,0.1W,0603	RT0603BRD0712KL	Yageo America
R5	电阻,10.0k,1%,0.1W,0603	CRCW060310K0FKEA	Vishay-Dale
R6	电阻,5.05k,0.5%,0.1W,0603	RT0603DRE075K05L	Yageo America

28GHz 合成器的 LMX2624-SP、LMX2695-SEP、LMX2824-EP 评估模块 27



位号	说明	器件型号	制造商
R7、R8、R9、R10、R11、R12、R13、 R14、R15、R16、R17、R18、R19、 R20、R21、R22、R23、R24、R25、 R29、R30、R31、R32、R33、R34、 R39、R40、R41、R74	电阻,10k,5%,0.1W,0603	CRCW060310K0JNEA	Vishay-Dale
R26、R27、R28、R35、R36、R37、 R38	电阻,6.8k,5%,0.1W,0603	CRCW06036K80JNEA	Vishay-Dale
R42、R43、R44、R45、R46、R47、 R48、R49、R50、R52、R94	电阻,0,5%,0.1W,0603	CRCW06030000Z0EA	Vishay-Dale
R51	电阻,18.2,1%,0.1W,0603	CRCW060318R2FKEA	Vishay-Dale
R53	电阻,68.1,1%,0.1W,0603	CRCW060368R1FKEA	Vishay-Dale
R54	电阻,0,5%,0.063W,0402	CRCW04020000Z0ED	Vishay-Dale
R57、R58、R61、R62、R63、R65、 R66、R67、R69、R70、R96、R101	电阻,10.0k,1%,0.05W,0201	CRCW020110K0FKED	Vishay-Dale
R59、R60	电阻,49.9,1%,0.063W,0402	CRCW040249R9FKED	Vishay-Dale
R68、R81、R82、R85、R95、R97、 R98、R99、R100、R102、R103、R104	电阻,1.0k,1%,0.063W,0402	CRCW04021K00FKED	Vishay-Dale
R71、R86	电阻,330,5%,0.1W,0603	CRCW0603330RJNEA	Vishay-Dale
R72、R73、R75、R76、R77、R78、 R79、R80、R83、R84、R89、R90	电阻,33,5%,0.063W,0402	CRCW040233R0JNED	Vishay-Dale
R87	电阻,1.0M,5%,0.1W,0603	CRCW06031M00JNEA	Vishay-Dale
R88	电阻,33k,5%,0.1W,0603	CRCW060333K0JNEA	Vishay-Dale
R91	电阻,1.5k,5%,0.1W,0603	CRCW06031K50JNEA	Vishay-Dale
R92	电阻,1.2M,5%,0.1W,0603	CRCW06031M20JNEA	Vishay-Dale
R93	电阻,1.78k,1%,0.063W,0402	CRCW04021K78FKED	Vishay-Dale
R95	电阻,1.00k,1%,0.063W,0402	CRCW04021K00FKED	Vishay-Dale
S1	开关,触控式,单刀单掷,0.05A,12V,SMT	FSM4JSMA	TE Connectivity
SH-J4、SH-J6	分流器,100mil,镀金,黑色	SNT-100-BK-G	Samtec
SW1、SW2、SW3、SW4、SW5、 SW6、SW7、SW8、SW9	开关,旋转式,DIP SP4T 100MA 50V	220ADB04	CTS
TP1、TP2、TP4	测试点,微型,红色,TH	5000	Keystone
ТРЗ	测试点,微型,黑色,TH	5001	Keystone
TP6、TP7、TP8、TP9	测试点,微型,白色,TH	5002	Keystone
U1	1.5A 耐辐射 LDO	TPS7H1111MPWPTSEP	德州仪器 (TI)
U2	航天级宽带射频合成器	LMX2624PAP/EM LMX2695PAP/EM LMX2824MPAPTEP	德州仪器 (TI)
U3	超低噪声, 150mA LDO	LP5900SDX-3.3/NOPB	德州仪器 (TI)
U4	25MHz 微控制器	MSP430F5529IPN	德州仪器 (TI)
U5	4 通道 ESD 二极管	TPD4S009DRYR	德州仪器 (TI)
U6	射频 LDO	TPS7A4701MRGWREP	德州仪器 (TI)
U7	具有三态输出的八通道缓冲器	SN74LV541ARKSR	德州仪器 (TI)
Y1	高性能 BAW 振荡器	CDC6CE024000ADLFT	德州仪器 (TI)

6.1 调试信息

如果 EVM 无法按预期工作,请考虑以下情况:

验证硬件设置:

- 在验证 EVM 正常工作之前,请勿修改 EVM 或更改默认设置。
- 验证是否电源己连接、已打开,并且电流限制适用于器件。
- 验证 OSCIN 信号是否已提供、已开启并且输出电平是否适当。
- 验证频谱分析仪中心频率是否与目标频率一致。选择宽范围,以便在频率偏离中心时可以看到载波。
- 确保器件未在引脚模式下通过 CAL 引脚断电。
- 当 EVM 处于引脚模式时,
 - 如果 CAL 接头已搭接,则 EVM 的上电电流大概为 240mA。
 - 如果 CAL 接头为开路,则 EVM 的上电电流大概为 16mA。
- 当 EVM 连接到 PC 时,
 - 如果加载了具有 EVM 默认模式配置的 TICS Pro,则 EVM 的上电电流约为 240mA。
 - 否则, EVM 的上电电流约为 16mA。
- 对于 LMX2624SPEVM 和 LMX2695SEPEVM,
 - 如果使用板载 LDO,则 LDO 会消耗额外的 20mA 电流。
 - 如果使用板载 LDO,则需要 VBIAS 和 VCCIN 电源。

验证软件设置:

- 如果您的配置无法正常工作,请恢复到 EVM 默认模式配置,验证器件已锁定,然后再次根据您的配置修改器件。
- 验证是否未出现红色警告提示。如果是,请将鼠标悬停在警告元素上,阅读工具提示或查看左下方状态窗口中 的消息。
- 点击一次 Reset device 按钮,将器件复位,然后加载所有寄存器。
- 在无辅助运行模式下,在更改 VCO 频率或启用 VCO 倍频器输出后,需要进行 VCO 校准。点击 Calibrate VCO 按钮可启动 VCO 校准。
- 寄存器读回需要正确的配置,有关详细信息,请参阅图 4-18。

验证 PC 通信:

- 在菜单栏中,点击 USB Communications → Interface。验证 USB2ANY 按钮是否变为绿色。点击 Identify 以 验证 EVM 上的 USB LED 是否闪烁。
- 编程 POWERDOWN = 1 以验证电流是否有显著变化。

6.2 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

7 修订历史记录

注:以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Cł	hanges from Revision * (November 2024) to Revision A (May 2025)	Page
•	更新了内容以支持所有 LMX2x EVM 型号	1
•	更新了特性部分中的频率范围	1
•	更新了 <i>简介</i> 部分内容以支持所有 EVM 型号	2
•	更新了 <i>套件内容</i> 部分以支持所有 EVM 型号	2
•	更新了频率范围和内容以支持所有 EVM 型号	2
•	更新了频率范围和内容以支持所有 EVM 型号	2
•	更新了 <i>跳线信息</i> 部分以支持所有 EVM 型号。	3
•	更新了 <i>电源要求</i> 部分以支持所有 EVM 型号	4



•	更新了 <i>测试点</i> 部分以支持所有 EVM 型号	4
•	将 USB2ANY 接口中的 LMX2624-SP 器件更改为 LMX 器件	5
•	更新了 <i>评估设置</i> 部分的内容以支持所有 EVM 型号	7
•	更新了 <i>射频输出</i> 部分中的频率范围	7
•	更新了 VCO 校准 部分的内容,以支持所有 EVM 型号	10
•	将"完全辅助运行"部分中的 LMX2624-SP 器件更改为 LMX 器件	11
•	更新了 SYSREF 部分以支持所有 EVM 型号	12
•	在 SYSREF 脉冲生成 部分中添加了切换 SysRefReq 引脚操作	13
•	在 SYSREF 中继器模式 部分中将 LMX2624-SP 器件更改为了 LMX 器件 器件	14
•	在 <i>相位同步</i> 部分中将 LMX2624-SP 器件更改为 LMX 器件	15
•	将 <i>类别 1b 和类别 2 同步</i> 部分中的 LMX2624-SP 器件更改为 LMX 器件	15
•	更新了 <i>引脚模式</i> 部分以支持所有 EVM 型号	17
•	更新了 <i>原理图</i> 部分中的 PCB RevB 原理图	20
•	根据 RevB PCB 布局更新了 PCB 布局部分	24

重要通知和免责声明

TI"按原样"提供技术和可靠性数据(包括数据表)、设计资源(包括参考设计)、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源, 不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保,包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担 保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任:(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品,(2) 设计、验 证并测试您的应用,(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更,恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。 严禁以其他方式对这些资源进行 复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索 赔、损害、成本、损失和债务,TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款或 ti.com 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址:Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265 版权所有 © 2025,德州仪器 (TI) 公司