

LMX2594 EVM 说明 - 带集成 VCO 的 15GHz 宽带低噪声 PLL



Noel Fung, Julian Di Matteo

摘要

此评估模块适用于 LMX2594，它是业内率先具有集成 VCO 的 PLL，可获得高达 15GHz 的基本 VCO 输出。行业内占主导地位的 PLL FOM 为 $-236\text{dBc}/\text{Hz}$ ，具有 $-129\text{dBc}/\text{Hz}$ 的 $1/f$ 。该器件支持 JESD204B 标准（如在 LMX2594 中它可以生成或重复 SYSREF 信号），专为时钟高速数据转换器而设计。载波频率为 9GHz 时，EVM 测量装置的集成抖动小于 50fs。通过提供 SYNC 信号，用户可以跨多个 LMX2594 器件同步输出相位。LMX2594 还可以生成频率斜升，并可将其在此评估模块中进行演示。借助板载振荡器，设置过程仅需一个 3.3V 电源和一个基准专业模块（随附并用于 SPI 编程接口）。此外，软件易于操作，提供直观且易用的 GUI。

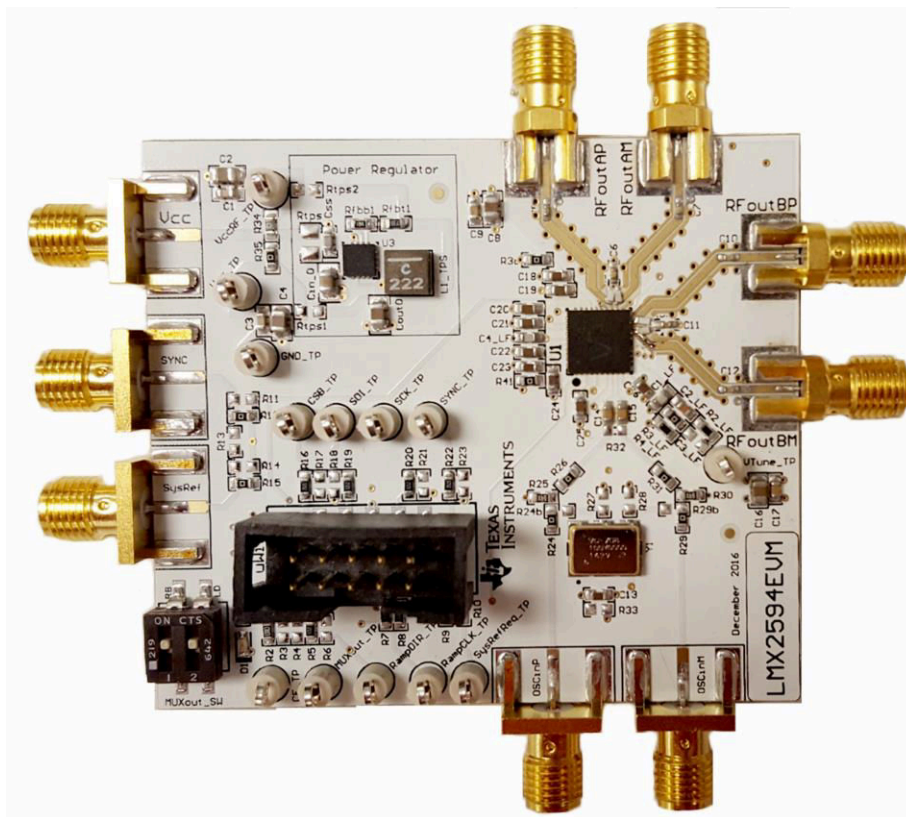


图 1-1. LMX2594EVM

内容

1 评估板设置.....	3
2 EVM 描述.....	3
2.1 安装软件.....	4
3 使 LMX2594 进入锁定状态.....	5

4 环路滤波器配置.....	5
5 预期的主要结果.....	6
A 原理图.....	7
B 物料清单.....	8
C 板层堆叠.....	9
D 更改基准振荡器和设置.....	11
E 连接 Reference Pro.....	12
F 斜升功能.....	14
G SYSREF 功能.....	15
H 启用板载直流/直流降压转换器 (TPS62150).....	16
修订历史记录.....	16

插图清单

图 1-1. LMX2594EVM.....	1
图 1-1. LMX2594EVM 设置.....	3
图 2-1. LMX2594EVM 描述.....	3
图 2-2. 在 TICS Pro 上搜索 LMX2594.....	4
图 2-3. TICS Pro 上的 USB 通信.....	4
图 2-4. TICS Pro 和 Reference Pro 之间的 USB 通信.....	4
图 3-1. TICS Pro GUI LMX2594 默认配置.....	5
图 4-1. 环路滤波器配置.....	6
图 5-1. 输出频率为 14GHz 时的相位噪声图.....	6
图 A-1. 原理图.....	7
图 C-1. 板层堆叠.....	9
图 C-2. 顶层.....	9
图 C-3. GND 层.....	9
图 C-4. 电源层.....	10
图 C-5. 底层.....	10
图 E-1. 使用 Reference Pro 的 LMX2594EVM 设置.....	12
图 E-2. LMK61PD0A2 输出端接.....	13
图 F-1. 斜升示例.....	14
图 F-2. 斜升示例.....	14
图 G-1. SYSREF 示例.....	15
图 H-1. 启用直流/直流的电阻器配置.....	16

表格清单

表 2-1. 串行接口连接器说明.....	4
表 4-1. 环路滤波器配置.....	5
表 B-1. 物料清单.....	8
表 D-1. 基准振荡器要求.....	11
表 D-2. 参考时钟输入配置.....	11
表 E-1. LMK61PD0A2 的输出频率 (Reference Pro).....	12
表 E-2. LMK61PD0A2 的输出类型 (Reference Pro).....	12
表 E-3. 输出端接方案.....	13
表 G-1. SYSREF 模式.....	15

商标

PLLATINUM™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

1 评估板设置

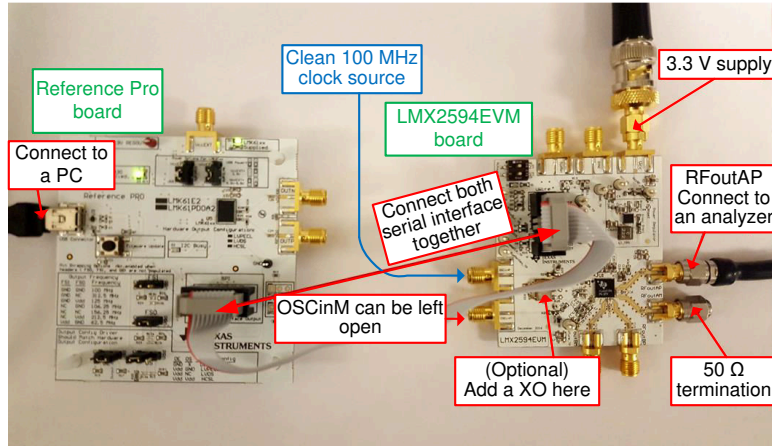


图 1-1. LMX2594EVM 设置

1. 电源：
 - a. 将电源设置为 3.3V，电流限制为 600mA，并连接到 V_{CC} SMA。
2. 输入信号：
 - a. 将干净的 100MHz 时钟源连接到 OSCinP SMA。
3. 编程接口：
 - Reference Pro 将提供 SPI 接口，对 LMX2594 编程。
 - a. 将 USB 电缆从笔记本电脑或 PC 连接到 Reference Pro 中的 USB 端口。这为 Reference Pro 板与 TICS GUI 的通信供电。
 - b. 将 10 引脚带状电缆从 Reference Pro 连接到 LMX2594EVM，如上图所示。
4. 输出：
 - a. 将 RFoutAM 或 RFoutAP 连接到相位噪声分析仪。如果使用的是单端输出，则在未使用的引脚上连接一个 50 Ω 电阻器。如果使用差分输出，请使用平衡-非平衡变压器。

2 EVM 描述

LMX2594 安装在 4 层 PCB 上。该简短描述应该可以帮助您使用 EVM：

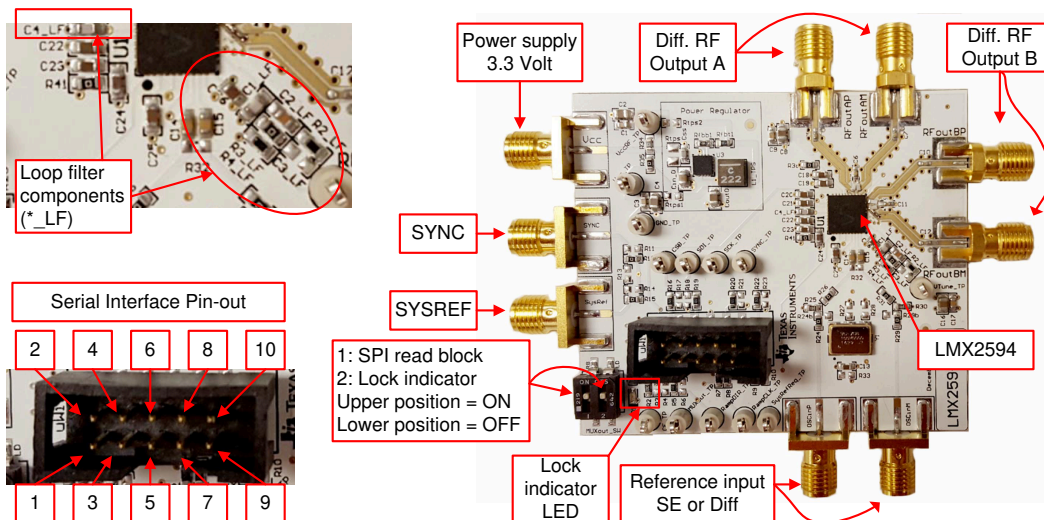


图 2-1. LMX2594EVM 描述

串行接口引脚说明如 表 2-1 所示。

表 2-1. 串行接口连接器说明

编号	名称
1	RAMPDIR 和 CE (选择板载电阻器)
2	CSB
3	MUXout
4	SDI
5	未使用
6	GND
7	RampCLK
8	SCK
9	SysRefReq
10	SYNC

2.1 安装软件

1. 从 TI 网站下载 TICS Pro，网址为 www.ti.com.cn/tool/cn/TICSPRO-SW。
2. 按照向导安装软件。
3. 搜索 LMX2594。在菜单栏中，选择 “Select Device” (选择器件) → “PLL + VCO” → “LMX2594”

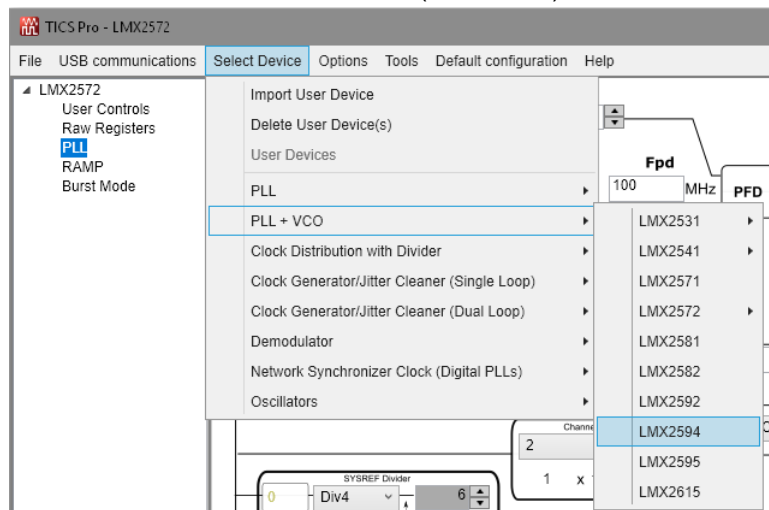


图 2-2. 在 TICS Pro 上搜索 LMX2594

4. 现在您可以使用该软件了。验证您是否可以与 Reference Pro 通信。在 “USB communications” (USB 通信) 下选择 “Interface” (接口)。

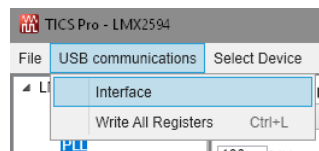


图 2-3. TICS Pro 上的 USB 通信

5. 点击 “Identify” (识别)，您将看到 Reference Pro 上的 LED (MSP430 提供) 闪烁。

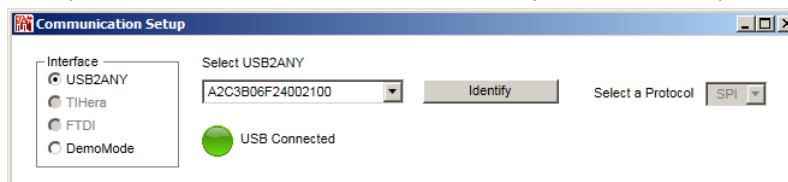


图 2-4. TICS Pro 和 Reference Pro 之间的 USB 通信

3 使 LMX2594 进入锁定状态

1. 点击“Default configuration”（默认配置）→“Default Mode xxxx-xx-xx”（默认模式 xxxx-xx-xx），加载默认模式。
2. 从菜单栏中选择“USB communications”（USB 通信）→“Write All Registers”（写入所有寄存器），将所有寄存器写入 LMX2594。

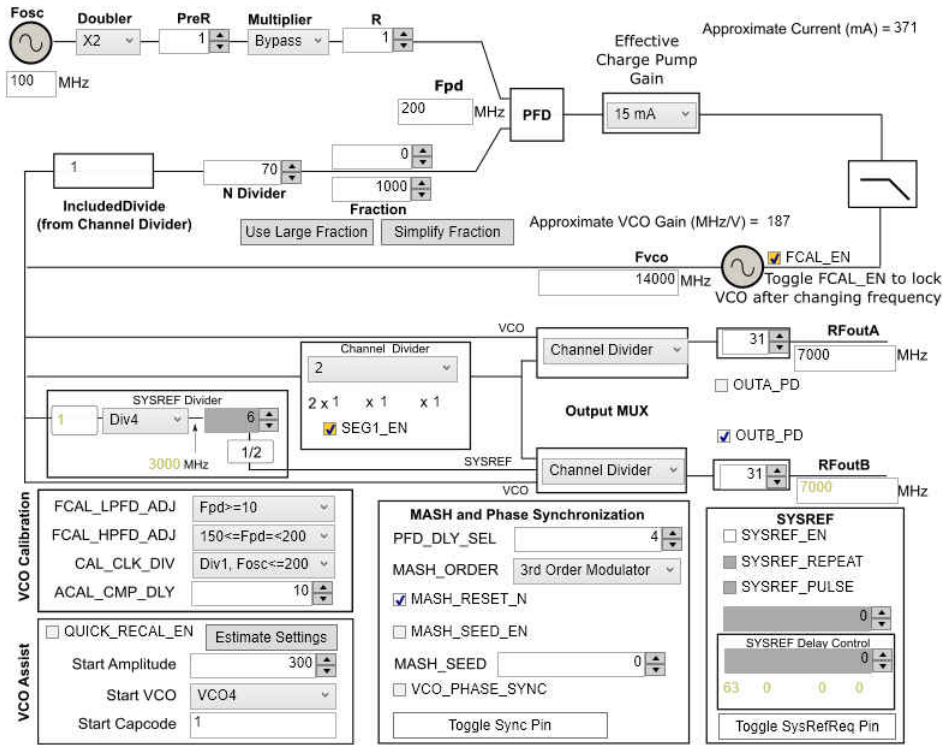


图 3-1. TICS Pro GUI LMX2594 默认配置

4 环路滤波器配置

环路滤波器的参数为：

表 4-1. 环路滤波器配置

参数	值
VCO 增益	132 MHz/V
环路带宽	285 kHz
相位裕度	65 度
C1_LF	390pF
C2_LF	68nF
C3_LF	进行中
C4_LF	1800pF
R2	68 Ω
R3_LF	0 Ω
R4_LF	18 Ω
有效电荷泵增益	15mA
相位检测器频率 (MHz)	200MHz
VCO 频率	为 15GHz 精心设计，但适用于整个频率范围

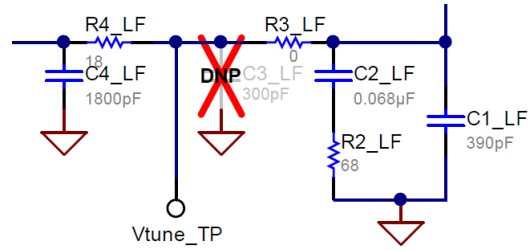


图 4-1. 环路滤波器配置

有关 TI 的 PLLATINUM™ 集成电路的详细设计和仿真，请参阅 [PLLATINUM 仿真工具](#)。

有关 TI PLL 产品的应用手册、博客或视频，请访问 <http://www.ti.com/pll>。

5 预期的主要结果

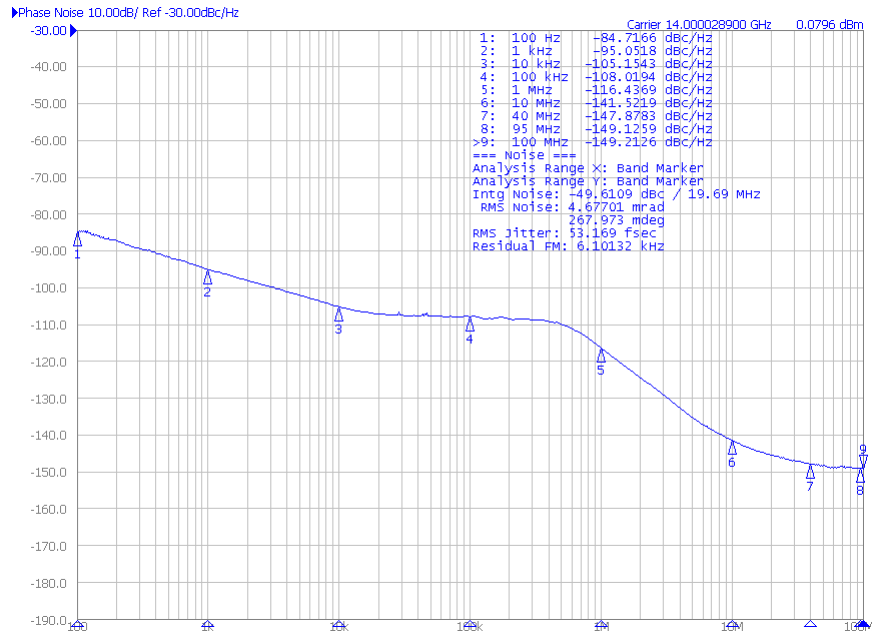


图 5-1. 输出频率为 14GHz 时的相位噪声图

假设输入基准非常干净，例如 100MHz Wenzel 振荡器。信号发生器不够干净。

A 原理图

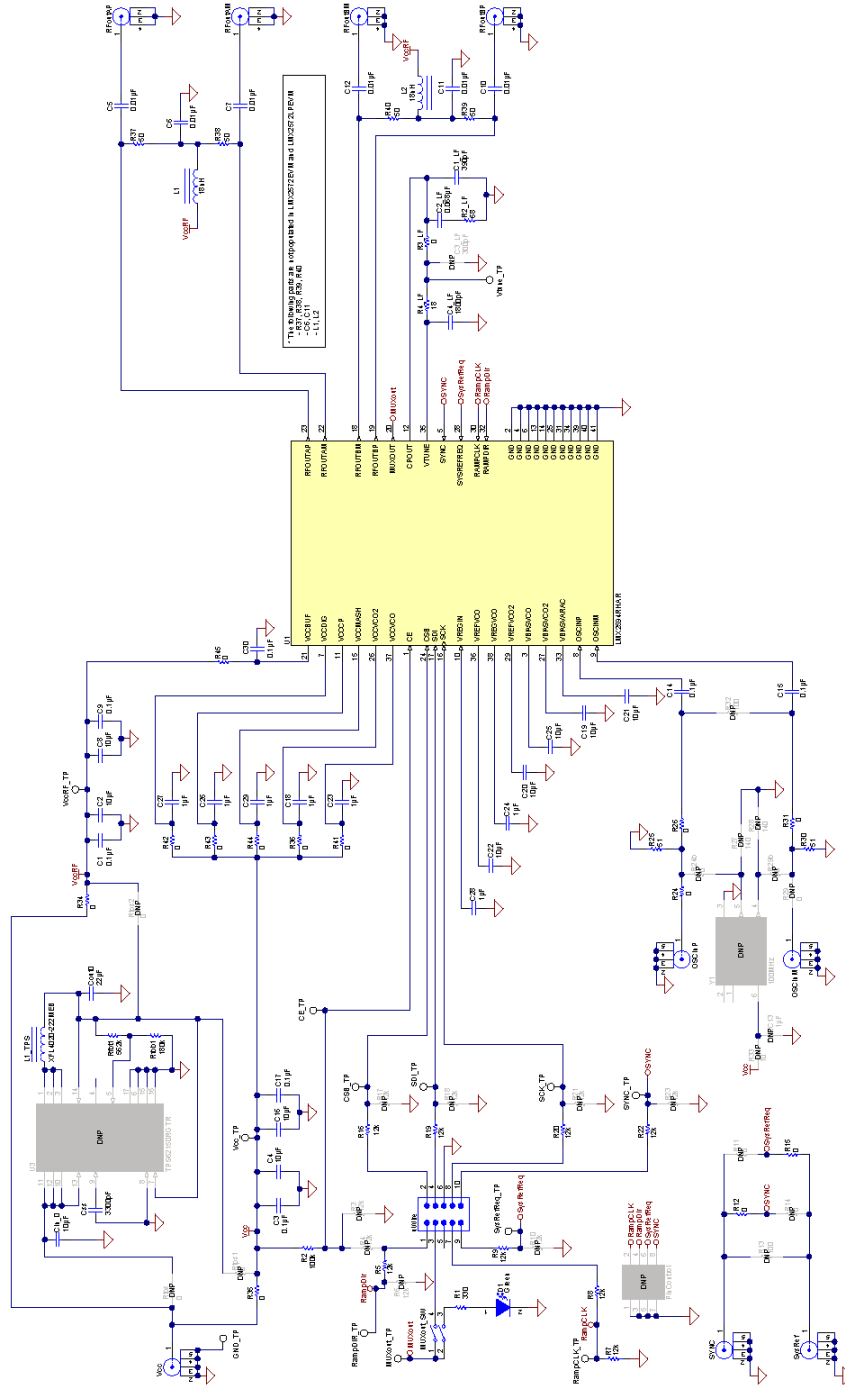


图 A-1. 原理图

B 物料清单

表 B-1. 物料清单

指示符	说明	制造商	器件型号	数量
C1, C3, C9, C14, C15, C17, C30	电容, 陶瓷, 0.1 μ F, 16V, \pm 5%, X7R, 0603	AVX	0603YC104JAT2A	7
C1_LF	电容, 陶瓷, 390pF, 50V, \pm 5%, C0G/NP0, 0603	Kemet (基美)	C0603C391J5GACTU	1
C2, C4, C8, C16	电容, 陶瓷, 10 μ F, 10V, \pm 10%, X5R, 0805	Kemet (基美)	C0805C106K8PACTU	4
C2_LF	电容, 陶瓷, 0.068 μ F, 50V, \pm 10%, X7R, 0603	MuRata (村田)	GRM188R71H683KA93D	1
C4_LF	电容, 陶瓷, 1800pF, 50V, \pm 5%, C0G/NP0, 0603	MuRata (村田)	GRM1885C1H182JA01D	1
C5, C6, C7, C10, C11, C12	电容, 陶瓷, 0.01 μ F, 16V, \pm 10%, X7R, 0402	AT Ceramics	520L103KT16T	6
C18, C23, C24, C26, C27, C28, C29	电容, 陶瓷, 1 μ F, 16V, \pm 10%, X7R, 0603	TDK	C1608X7R1C105K080AC	7
C19, C20, C21, C22, C25	电容, 陶瓷, 10 μ F, 10V, \pm 20%, X5R, 0603	TDK	C1608X5R1A106M080AC	5
CE_TP, CSB_TP, GND_TP, MUXout_TP, RampCLK_TP, RampDIR_TP, SCK_TP, SDL_TP, SYNC_TP, SysRefReq_TP, Vcc_TP, VccRF_TP, Vtune_TP	测试点, 紧凑型, 白色, TH	Keystone (泰科公司)	5007	13
Cin_0	电容, 陶瓷, 10 μ F, 25V, \pm 10%, X5R, 0805	MuRata (村田)	GRM219R61E106KA12D	1
Cout0	电容, 陶瓷, 22 μ F, 16V, \pm 10%, X5R, 0805	TDK	C2012X5R1C226K125AC	1
Css	电容, 陶瓷, 3300pF, 50V, \pm 5%, C0G/NP0, 0603	MuRata (村田)	GRM1885C1H332JA01D	1
D1	LED, 绿色, SMD	Lite-On (建兴电子)	LTST-C190GKT	1
L1, L2	电感, 多层, 空芯, 18nH, 0.3A, 0.36 Ω , SMD	MuRata (村田)	LQG15HS18NJO2D	2
L1_TPS	电感, 屏蔽, 复合, 2.2 μ H, 3.7A, 0.02 Ω , SMD	Coilcraft (线艺)	XFL4020-222MEB	1
MUXout_SW	开关, SPST, 幻灯片, 关-开, 2 Pos, 0.1A, 20V, SMD	CTS Electrocomponents	219-2MST	1
OSCinM, OSCinP, SYNC, SysRef, Vcc	连接器, SMT, 末端发射 SMA 50 Ω	Emerson Network Power Connectivity	142-0701-851	5
R1	电阻, 330 Ω , 5%, 0.1W, 0603	Yageo America (国巨)	RC0603JR-07330RL	1
R2	电阻, 100k Ω , 5%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale (威世达勒)	CRCW0603100KJNEA	1
R2_LF	电阻, 68, 5%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale (威世达勒)	CRCW060368R0JNEA	1
R3_LF, R12, R15, R24, R26, R25, R30, R31, R34, R35, R36, R41, R42, R43, R44, R45	电阻, 0, 5%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale (威世达勒)	CRCW06030000Z0EA	16
R4_LF	电阻, 18, 5%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale (威世达勒)	CRCW060318R0JNEA	1
R5, R7, R8, R9, R16, R19, R20, R22	电阻, 12k Ω , 5%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale (威世达勒)	CRCW060312K0JNEA	8
R37, R38, R39, R40	电阻, 50, 0.1%, 0.05W, 0402	Vishay-Dale (威世达勒)	FC0402E50R0BST1	4
Rfb1	电阻, 180k, 0.1%, 0.1W, 0603	Yageo America (国巨)	RT0603BRD07180KL	1
Rfbt1	电阻, 562k Ω , 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale (威世达勒)	CRCW0603562KFKEA	1
RFoutAM, RFoutAP, RFoutBM, RFoutBP	插孔, SMA, 50 Ω , 金, 边缘安装	Johnson	142-0771-831	4
U1	宽带射频合成器	德州仪器 (TI)	LMX2594RHAR	1
uWire	接头 (带护罩), 100mil, 5x2, 镀金, SMD	FCI	52601-S10-8LF	1

C 板层堆叠

顶层是 1oz 铜。

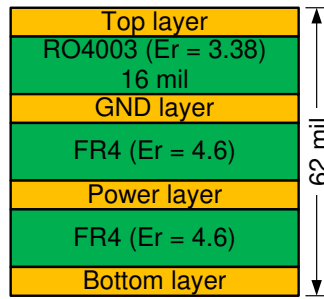


图 C-1. 板层堆叠

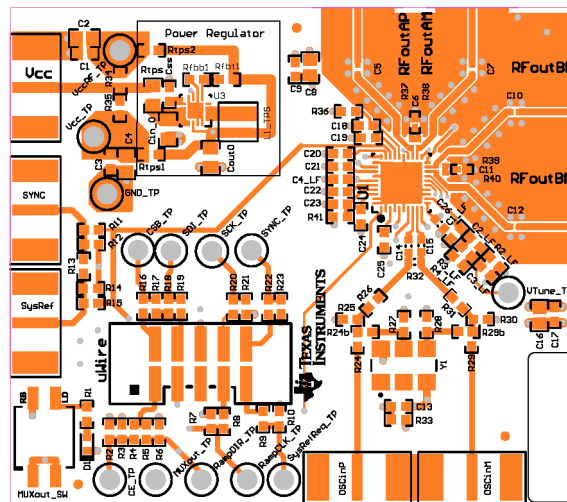


图 C-2. 顶层

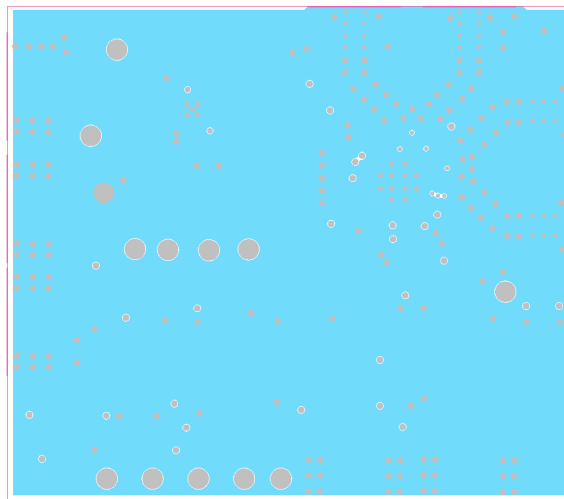


图 C-3. GND 层

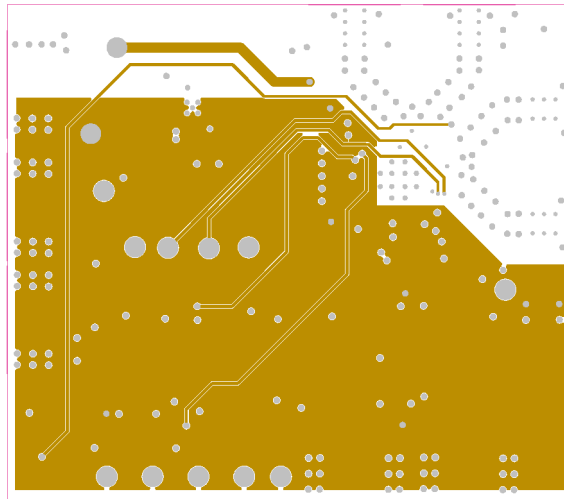


图 C-4. 电源层

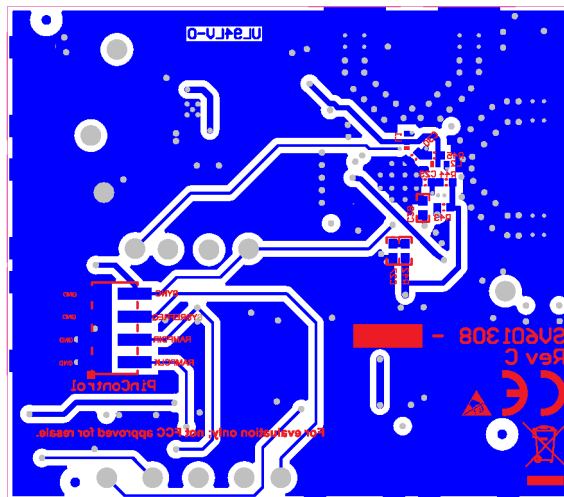


图 C-5. 底层

D 更改基准振荡器和设置

基准可以是单端或差分形式的。为了仅测量 PLL 的性能，基准应至少具有此级别的性能。我们明白，这在偏移频率为 100Hz 时会成为一个挑战：

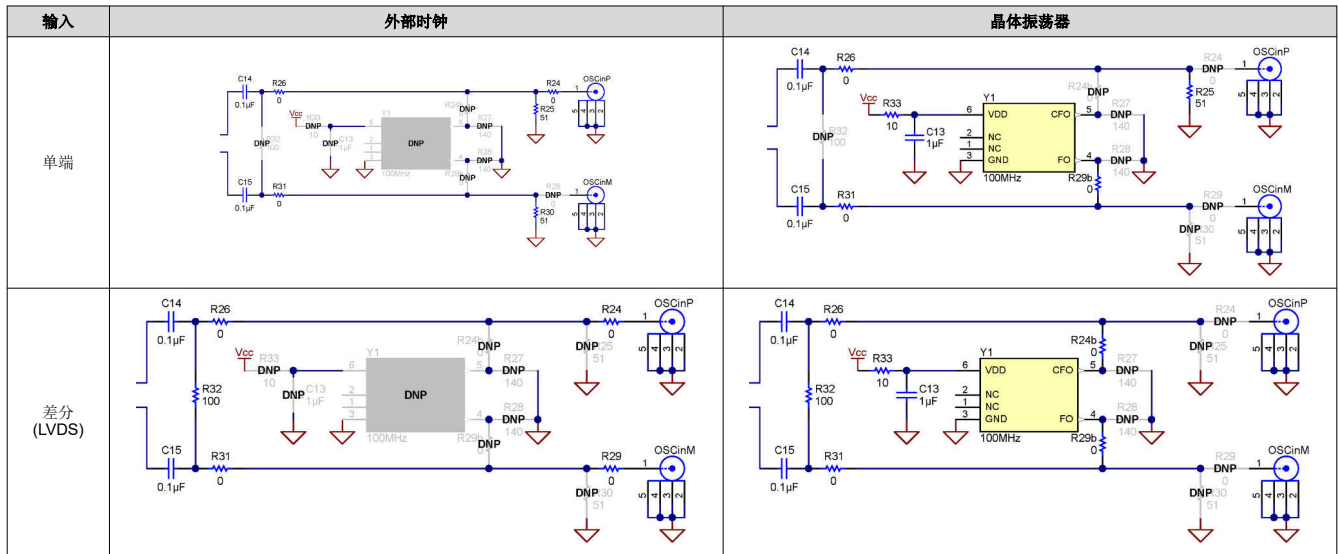
表 D-1. 基准振荡器要求

对 PLL 带内 PN 产生 0.4dB 影响的 100MHz 基本基准要求 ⁽¹⁾				
偏移 [Hz]	100	1k	10k	100k
噪声水平 [dBc/Hz]	-139	-149	-159	-164

(1) 比 PLL 噪声低 10dB 的噪声源会使噪声升高 0.4dB。

为 LMX2594 提供基准振荡器，有多种方法可供选择。使用板载振荡器，从 Reference Pro PCB 启用 LMK61xx，或使用外部振荡器。默认情况下，EVM 配置为外部单端时钟。

表 D-2. 参考时钟输入配置



E 连接 Reference Pro

若要使用 Reference Pro，请更改 SE 或差分连接的配置，如 [Appendix D](#) 所示。

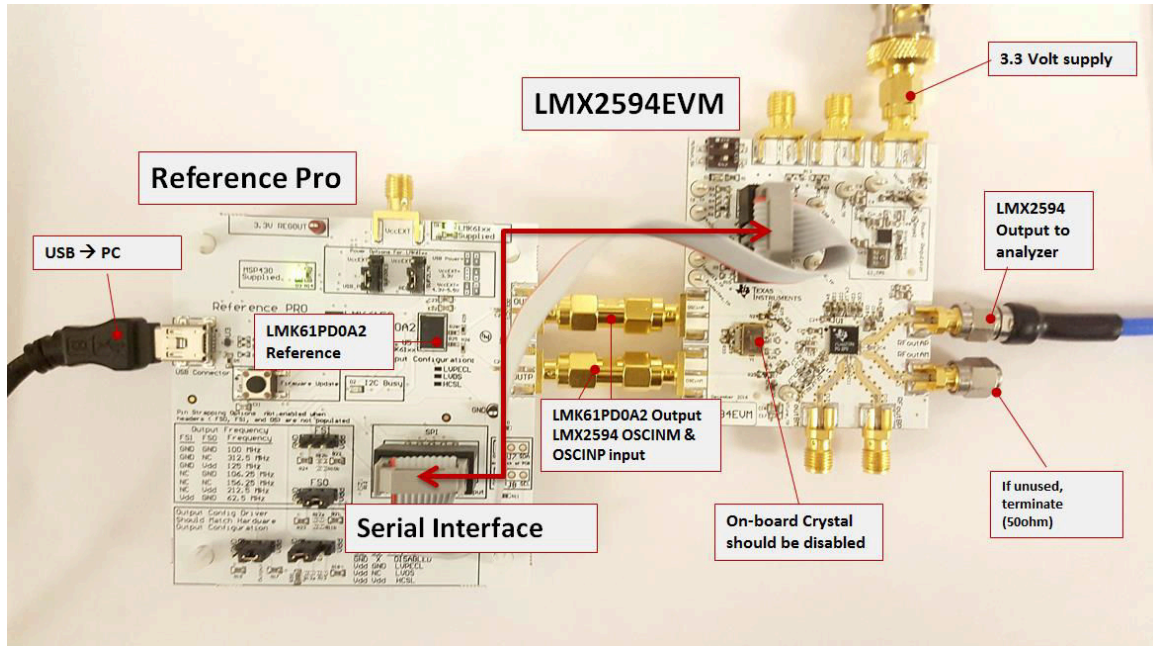


图 E-1. 使用 Reference Pro 的 LMX2594EVM 设置

LMK61PD0A2 具有多个专用于输出格式控制、输出频率控制和输出使能控制的控制引脚。这些控制引脚可通过 [表 E-1](#) 和 [表 E-2](#) 所示的跳线进行配置。

跳线 FS1、FS0、OS 和 OE 可用于配置相应的控制引脚，通过将中心引脚分别搭接在 VDD 位置（连接引脚 2 和 3）或在 GND 位置（连接引脚 1 和 2），使其处于高电平或低电平状态。从 VDD 位置到器件电源的连接或者从 GND 位置到接地层的连接由 1.5kΩ 电阻器实现。

表 E-1. LMK61PD0A2 的输出频率 (Reference Pro)

FS1	FS0	输出频率 (MHz)
0	0	100
0	NC	312.5
0	1	125
NC	0	106.25
NC	NC	156.25
NC	1	212.5
1	0	62.5

表 E-2. LMK61PD0A2 的输出类型 (Reference Pro)

操作系统	OE	输出类型
X	0	禁用 (PLL 功能)
0	1	LVPECL
NC	1	LVDS
1	1	HCSL

OS 引脚用于偏置内部驱动器并更改输出类型。必须将 [表 E-3](#) 所示的输出端接无源器件与 [表 E-2](#) 的输出类型进行匹配。

表 E-3 列出了每个配置的器件值。

表 E-3. 输出端接方案

输出格式	耦合	组件	值
LVPECL	AC (默认 EVM 配置)	R25、R28	0Ω
		R26、R29	150Ω
		C24、C25	0.01μF
		R27、R30、R31	DNP
	DC ⁽¹⁾	R25、R28、C24、C25	0Ω
		R26、R29、R27、R30、R31	DNP
LVDS ⁽²⁾	交流	R25、R28、R27、R30	0Ω
		R31	100Ω
		C24、C25	0.01μF
		R26、R29	DNP
	DC	R25、R27、R28、R30、C24、C25	0Ω
		R31	100Ω
HCSL	交流	R25、R28	0Ω
		R26、R29	50Ω
		C24、C25	0Ω
		R27、R30、R31	DNP
	DC	R25、R28	0Ω
		R26、R29	50Ω
	C24、C25	0.01μF	
	R27、R30、R31	DNP	

(1) 50 Ω 至 V_{CC} - 接收器上需要 2V 端接。

(2) Reference Pro PCB 上具备 100 Ω 差分端接 (R31)。如果接收器上的差分端接可用，则可以移除 EVM 上的差分端接。

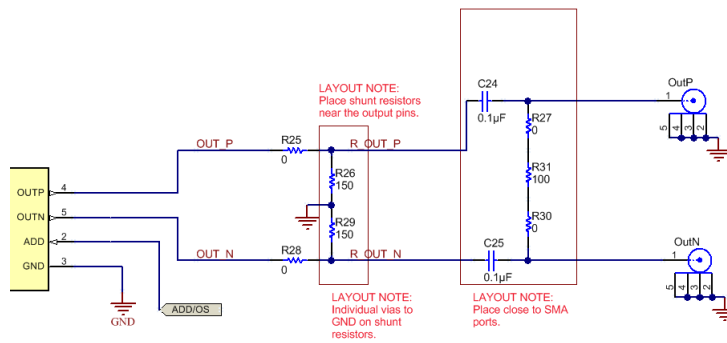


图 E-2. LMK61PD0A2 输出端接

F 斜升功能

VCO 从 12GHz 上升到 12.125GHz。这可以在斜坡 GUI 选项卡上设置。

From PLL Tab VCO Start (MHz) 12000 Phase Detector (MHz) 50 Accumulator Start 4026531840
Ensure that the PLL denominator is set to a value of 4294967295 on the PLL tab as it is forced to this in ramping mode.

RAMP_EN Update Ramp GUI

Ramp Limits

VCO Output Limit

High 20000 MHz

Low 5000 MHz

RAMP_LIMIT Register Programming

Decimal Value	2's Complement
2684354560	2684354560
-2348810240	6241124352

VCO Calibration

Threshold 300 MHz RAMP_TRIG_CAL

Min VCO Calibration Time 0 us

RAMP_THRESH 100663296

RAMP_DLY_CNT 0

RAMP_SCALE_CNT 1

Manual Ramping Mode

RAMP_MANUAL

Clock Ramp Reverse Direction

Ramp	Step Frequency (MHz)
RAMP0	100
RAMP1	-100

Trigger Definitions

Trigger A RampClk Pin Rising Et

Trigger B RampClk Pin Rising Et

RAMP0_NEXT_TRIG TOC Timeout

RAMP1_NEXT_TRIG TOC Timeout

Ramp Increments

RAMPx_INC (decimal)	(2s complement)
8389	8389
-8389	107373435

Automatic Ramping Mode

Ramp	Actual Start Frequency (MHz)	Desired End Frequency (MHz)	RST	Desired Duration (us)	Dly	Next Ramp	Actual End Frequency (MHz)	RAMPx_LEN	Actual Length With VCO Calibration (us)
RAMP0	12000	12125	<input checked="" type="checkbox"/>	100	<input type="checkbox"/>	RAMP1	12125.0058412	5000	100
RAMP1	12125.0058412	12000	<input type="checkbox"/>	100	<input type="checkbox"/>	RAMP0	12000	5000	100

Burst Ramping Mode

RAMP_BURST_EN Ramp Count 0 Next Ramp Trigger Ramp Transition

图 F-1. 斜升示例

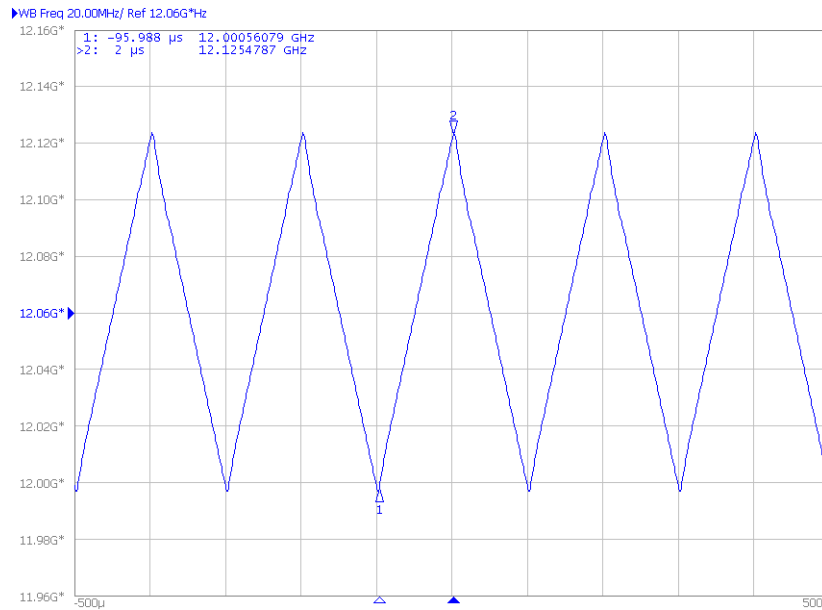


图 F-2. 斜升示例

G SYSREF 功能

- 为 SYSREF 配置 TICS Pro PLL 选项卡。
 - 选中 *SYSREF_EN* 框和 *VCO_PHASE_SYNC* 框。
 - 将 *OUTB_MUX* 更改为 *SysRef*，并取消选中 *OUT_PD* 框。
 - 确认内插器频率在 800MHz 和 1500MHz 之间。如果不在该范围内，将 *SYSREF_DIV_PRE* 下拉列表更改为 *Div2* 或 *Div4*。
 - 若要修改 SYSREF 频率，请更改 *SYSREF_DIV* 框中的值。
 - 转至侧栏中的 *User Controls* (用户控件)，确保 *INPIN_IGNORE* 框未选中。
- 点击 *Toggle SysRefReq Pin* 框启动 SYSREF。

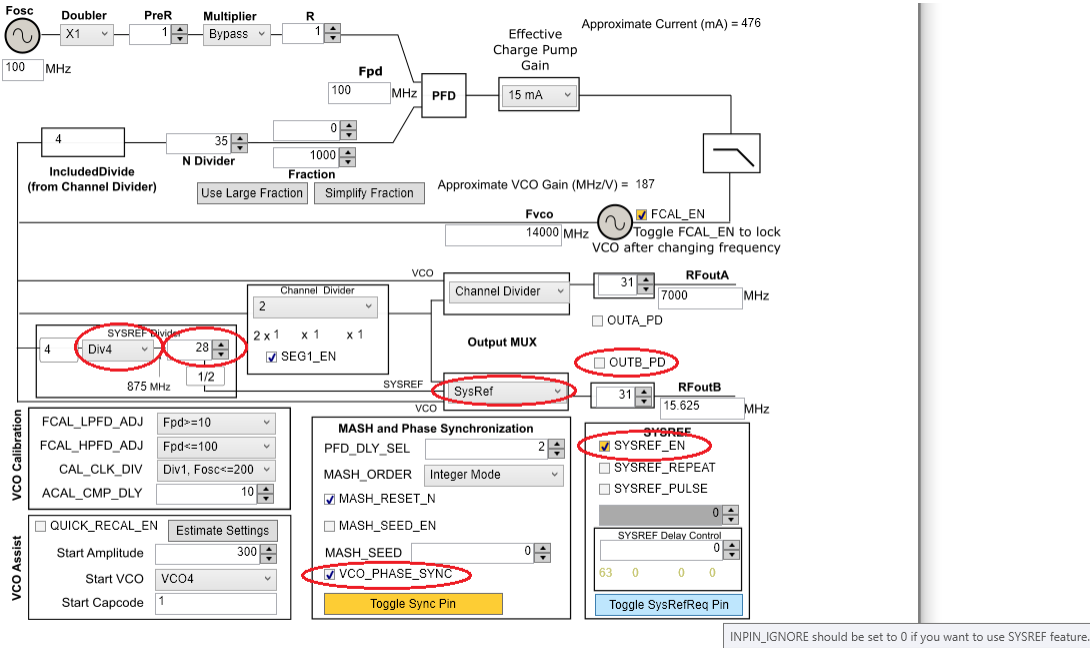


图 G-1. SYSREF 示例

表 G-1. SYSREF 模式

模式名称	说明	TICS Pro - SYSREF 设置
主器件 - 连续	只要 SysRefReq 引脚保持高电平，LMX2594 就会生成 SysRef 脉冲。	默认模式。请参阅快速入门说明
主器件 - 脉冲	只要 SysRefReq 引脚保持高电平，LMX2594 就会生成有限数量的脉冲。 注意：SysRefReq 必须在脉冲持续时间内保持高电平。	<ul style="list-style-type: none"> 在 <i>User Controls</i> (用户控件) 选项卡中的 <i>Pins</i> 下取消选中 <i>SysRefReq</i> 选中 <i>SYSREF_PULSE</i> 将 <i>SYSREF_PULSE_CNT</i> 设置为所需的脉冲数 在 <i>User Controls</i> (用户控件) 选项卡中的 <i>Pins</i> 下选中 <i>SysRefReq</i>
中继器	RFOUTB 将重复外部输入到 SysRefReq 引脚。输出将时钟恢复到 LMX2594 内部频率	<ul style="list-style-type: none"> 取消选中 <i>SysRefReq</i> 选中 <i>SysRef_Repeat</i>

H 启用板载直流/直流降压转换器 (TPS62150)

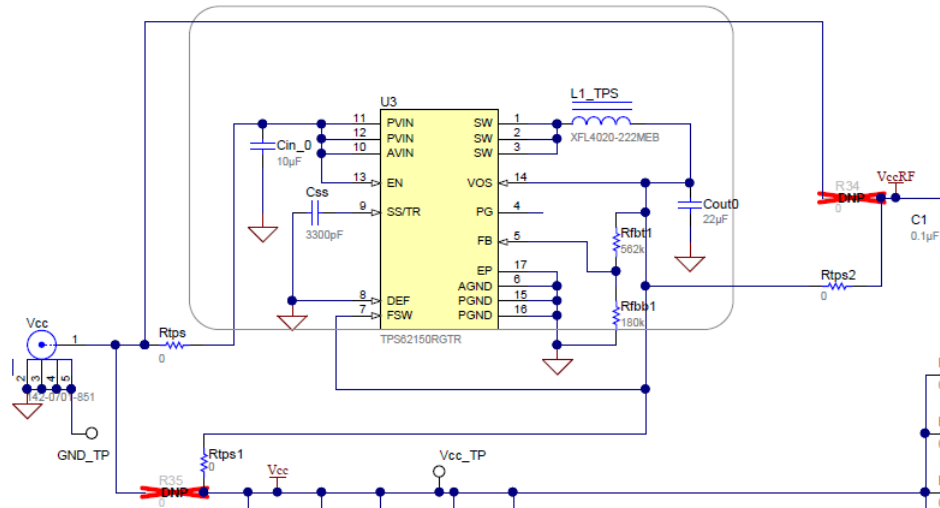


图 H-1. 启用直流/直流的电阻器配置

1. 必须将 R35 切换到 Rtps1
2. 必须将 R34 切换到 Rtps2
3. 填充 Rtps
4. 直流/直流电路针对 5V 至 8V 电压进行了优化，从而提升效率，但在通过上述步骤正确配置电阻网络后，可以将 3.3V 至 17V 的电压施加到 VCC SMA。

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

Changes from Revision A (March 2020) to Revision B (July 2021)

Page

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。..... 3

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司