

TMUXHS4446-Q1 车规级 USB-C 10Gbps 交替模式交叉开关多路复用器

1 特性

- 无源双向 USB-C 交替模式多路复用器，可在 USB 和 DisplayPort 信号之间切换
- 支持 USB 3.2，速率高达 10Gbps (第 2.0 代)；支持 DisplayPort 2.1，每通道速率高达 10Gbps (UHBR10)
- 与源器件/主机和接收器件/器件应用兼容
- -3dB 差分带宽：9.5GHz
- 动态特性：
 - 插入损耗 = -1.6dB (5GHz 时)
 - 回波损耗 = -18dB (5GHz 时)
- 支持 0V 至 1.8V 的共模电压 (CMV)
- 自适应 CMV 跟踪
- 可承受 VBUS 短路事件的 6V 容限 SBU 引脚
- 可通过 GPIO 引脚或 I²C 进行配置
- 同时支持 1.8V 和 3.3V I²C
- 单电源电压 V_{CC}：3.3V
- 工作功耗：340 μ A
- 低待机功耗：0.5 μ A (引脚模式)
- 扩展的汽车级温度范围：-40°C 至 125°C
- 采用 3mm x 6mm QFN 封装

2 应用

- 工厂自动化和控制
- 信息娱乐系统与仪表组
- 音响主机和数字驾驶舱
- 汽车显示屏

3 说明

TMUXHS4446-Q1 是一款高速双向无源交叉点开关或交叉开关 (Xbar)。该器件用于通过 USB Type-C (也称为 USB-C 接口) 在 USB 3.2 Gen2 (超高速) 和 DisplayPort 1.4/2.1 (高达 10Gbps UHBR10) 信号之间切换。该器件还可切换用于 DisplayPort 辅助通道的低速 SBU 信号。TMUXHS4446-Q1 支持共模电压 (CMV) 范围为 0V 至 1.8V 且差分振幅为 0V 至 1800mVpp 的差分信号。自适应 CMV 跟踪可确保通过器件的通道在整个共模电压范围内保持不变。

TMUXHS4446-Q1 的动态特性允许进行高速开关，使信号眼图具有最小的衰减，并且几乎不会增加抖动。该器件的芯片设计经过优化，可在较高信号频谱上实现出色的频率响应。TMUXHS4446-Q1 的芯片信号布线和开关网络相匹配，可实现出色的差分对内延迟性能。

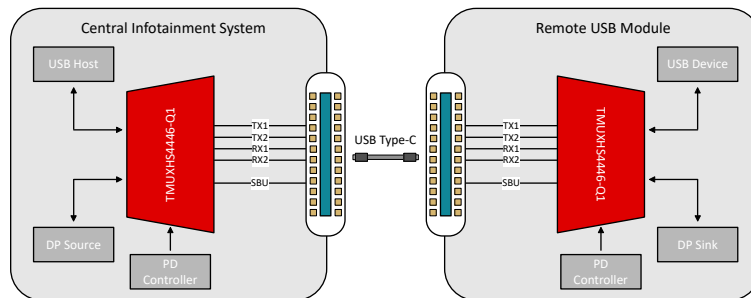
TMUXHS4446-Q1 具有工业级工作温度范围 (-40°C 至 125°C)，适合多种严苛应用，包括工业和高可靠性用例。

封装信息

器件型号	封装 ⁽¹⁾	封装尺寸 ⁽²⁾
TMUXHS4446-Q1	RET (WQFN, 40)	6mm × 3mm

(1) 有关所有可用封装，请参阅节 10。

(2) 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值，并包括引脚 (如适用)。



应用用例



内容

1 特性	1	6.3 特性说明	9
2 应用	1	6.4 器件功能模式	10
3 说明	1	7 应用和实施	14
4 引脚配置和功能	3	7.1 应用信息.....	14
5 规格	5	7.2 典型应用.....	14
5.1 绝对最大额定值.....	5	7.3 电源相关建议.....	16
5.2 ESD 等级.....	5	7.4 布局.....	16
5.3 建议运行条件.....	5	8 器件和文档支持	17
5.4 热性能信息.....	6	8.1 文档支持.....	17
5.5 电气特性.....	6	8.2 接收文档更新通知.....	17
5.6 高速性能参数.....	7	8.3 支持资源.....	17
5.7 开关特性.....	7	8.4 商标.....	17
5.8 I ² C 时序特性.....	8	8.5 静电放电警告.....	17
5.9 典型特性.....	8	8.6 术语表.....	17
6 详细说明	9	9 修订历史记录	17
6.1 概述.....	9	10 机械、封装和可订购信息	17
6.2 功能方框图.....	9		

4 引脚配置和功能

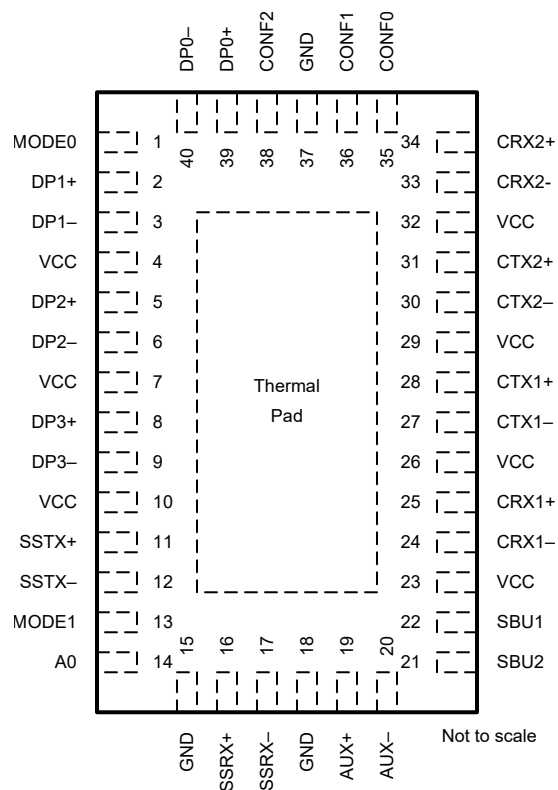


图 4-1. 带散热焊盘的 RET 封装 (40 引脚 QFN — 顶视图)

表 4-1. 引脚功能

引脚		类型 ⁽¹⁾	说明
名称	编号		
DP0+	39	HS I/O	系统侧，用于 DisplayPort DP0 的高速差分正信号
DP0 -	40	HS I/O	系统侧，用于 DisplayPort DP0 的高速差分负信号
DP1+	2	HS I/O	系统侧，用于 DisplayPort DP1 的高速差分正信号
DP1 -	3	HS I/O	系统侧，用于 DisplayPort DP1 的高速差分负信号
DP2+	5	HS I/O	系统侧，用于 DisplayPort DP2 的高速差分正信号
DP2 -	6	HS I/O	系统侧，用于 DisplayPort DP2 的高速差分负信号
DP3+	8	HS I/O	系统侧，用于 DisplayPort DP3 的高速差分正信号
DP3 -	9	HS I/O	系统侧，用于 DisplayPort DP3 的高速差分负信号
SSTX+	11	HS I/O	系统侧，用于 USB TX 引脚的高速差分正信号
SSTX -	12	HS I/O	系统侧，用于 USB TX 引脚的高速差分负信号
SSRX+	16	HS I/O	系统侧，用于 USB RX 引脚的高速差分正信号
SSRX -	17	HS I/O	系统侧，用于 USB RX 引脚的高速差分负信号
CRX1 -	24	HS I/O	连接器侧，用于 USB-C RX 引脚的高速差分负信号
CRX1+	25	HS I/O	连接器侧，用于 USB-C RX 引脚的高速差分正信号
CTX1 -	27	HS I/O	连接器侧，用于 USB-C TX 引脚的高速差分负信号
CTX1+	28	HS I/O	连接器侧，用于 USB-C TX 引脚的高速差分正信号

表 4-1. 引脚功能 (续)

引脚		类型 ⁽¹⁾	说明
名称	编号		
CTX2 -	30	HS I/O	连接器侧, 用于 USB-C TX 引脚的高速差分负信号
CTX2+	31	HS I/O	连接器侧, 用于 USB-C TX 引脚的高速差分正信号
CRX2-	33	HS I/O	连接器侧, 用于 USB-C RX 引脚的高速差分负信号
CRX2+	34	HS I/O	连接器侧, 用于 USB-C RX 引脚的高速差分正信号
AUX+	19	LS I/O	系统侧, 用于 USB-C SBU 引脚的低速 SBU 信号
AUX -	20	LS I/O	系统侧, 用于 USB-C SBU 引脚的低速 SBU 信号
SBU1	22	LS I/O	连接器侧, 用于 USB-C SBU1 引脚的低速 SBU 信号
SBU2	21	LS I/O	连接器侧, 用于 USB-C SBU2 引脚的低速 SBU 信号
MODE0	1	CTRL	控制模式选择 MODE0 = 1, I ² C 控制 MODE0 = 0, 通过 CONF[2:0] 进行 GPIO 或引脚控制
MODE1	13	CTRL	I ² C 逻辑电平控制 (MODE0 = 1) MODE1 = 0, 1.8V I ² C 逻辑电平 MODE1 = 1, 3.3V I ² C 逻辑电平
CONF0	35	CTRL	GPIO 控制 (MODE0 = 0) 高速和低速引脚的开关配置控制。有关详细信息, 请参阅 器件功能模式 部分。
A1		CTRL	I ² C 控制 (MODE0 = 1) 可配置的 I ² C 目标地址位
CONF1	36	CTRL	GPIO 控制 (MODE0 = 0) 高速和低速引脚的开关配置控制。有关详细信息, 请参阅 器件功能模式 部分。
SCL		CTRL	I ² C 控制 (MODE0 = 1) I ² C 时钟输入
CONF2	38	CTRL	GPIO 控制 (MODE0 = 0) 高速和低速引脚的开关配置控制。有关详细信息, 请参阅 器件功能模式 部分。
SDA		CTRL	I ² C 控制 (MODE0 = 1) I ² C 数据输入
A0	14	CTRL	I ² C 控制 (MODE0 = 1) 可配置的 I ² C 目标地址位
VCC	4、7、10、 23、26、 29、32	P	电源
GND	15、18、 37, 散热焊 盘	G	接地

(1) HS I/O = 高速输入/输出, LS I/O = 低速输入/输出, CTRL = 控制输入, P = 电源, G = 接地

5 规格

5.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明) ⁽¹⁾

		最小值	最大值	单位
V _{CC-ABSMAX}	电源电压	-0.5	4	V
V _{HS-ABSMAX}	高速差分 I/O 引脚电压 ([SS/C]TXx[+/-], [SS/C]RXx[+/-], DPx[+/-])	-0.5	2.4	V
V _{L S-ABSMAX}	低速 I/O 引脚电压 (AUX[+/-], SBUx)	-0.5	6.0	V
V _{CTR-ABSMAX}	控制引脚电压 (MODE[1:0], CONF[2:0], A[1:0], SDA, SCL)	-0.5	V _{CC} +0.4	V
T _{J-ABSMAX}	结温	-65	125	°C
T _{STG}	贮存温度	-65	150	°C

(1) 超出“绝对最大额定值”运行可能会对器件造成永久损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议运行条件但在绝对最大额定值范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能，并缩短器件寿命。

5.2 ESD 等级

			值	单位
V _{ESD}	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准 ⁽¹⁾	±2000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 标准 ⁽²⁾	±1000	

(1) JEDEC 文档 JEP155 指出：500V HBM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

(2) JEDEC 文档 JEP157 指出：250V CDM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

5.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明)

			最小值	典型值	最大值	单位
V _{CC}	电源电压		3.0	3.3	3.6	V
V _{CC-RAMP}	电源电压斜坡时间		0.1		100	ms
⁽¹⁾ DR _{HS}	数据速率，高速数据路径 (Cx 至 DPx/SSx)	差分交流耦合接口			10	Gbps
⁽¹⁾ DR _{SBU}	数据速率，SBU/AUX 路径	差分或单端信号			1	Gbps
V _{IH-GPIO}	GPIO 引脚上的输入高电压	A[1:0]、MODE[1:0]、CONF[2:0] 引脚	0.75 * V _{CC}			V
V _{IL-GPIO}	GPIO 引脚上的输入低电压	A[1:0]、MODE[1:0]、CONF[2:0] 引脚			0.4	V
V _{IH-I2C}	I ² C 引脚上的输入高电压	SDA、SCL 引脚；3.3V I ² C 模式	0.75 * V _{CC}			V
		SDA、SCL 引脚；1.8V I ² C 模式	1.3			V
V _{IL-I2C}	I ² C 引脚上的输入低电压	SDA、SCL 引脚；3.3V I ² C 模式			0.25 * V _{CC}	V
		SDA、SCL 引脚；1.8V I ² C 模式			0.5	V
V _{IO -LS}	低速引脚上的 I/O 电压	SBUx 和 AUX[+/-] 引脚	-0.45		V _{CC}	V
I _{HS-SW}	流经高速开关的电流	Cx[p 或 n] 至 DPx/SSx[p 或 n]			12	mA
V _{DIFF-HS}	高速信号引脚差分电压		0		1.8	V _{pp}
VCM	高速信号引脚共模电压		0		1.8	V
T _A	自然通风条件/自然环境下的工作温度		-40		125	°C

(1) 实际数据速率可能或多或少，具体取决于其他链路元素的链路预算、裕度和性能

5.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		TMUXHS4446-Q1	单位
		RET (WQFN)	
		40 引脚	
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻 - 高 K 值	33.6	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳 (顶部) 热阻	26.4	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	13.2	°C/W
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.6	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	13.2	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳 (底部) 热阻	3.4	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息, 请参阅 [半导体和 IC 封装热指标](#) 应用手册。

5.5 电气特性

在自然通风条件下的工作温度范围和电源电压范围内测得 (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源引脚 (VCC)						
I _{CC}	器件有源电流	0V ≤ V _{CM} ≤ 1.8V		380	530	μA
I _{STDN}	器件关断电流	所有开关均断开；CONF[2:0]= 000，I ² C 模式		5	10	μA
		所有开关均断开；CONF[2:0]= 000，GPIO 模式		0.5	2.5	μA
高速引脚 ([SS/C]Tx[+/-], [SS/C]Rx[+/-], DPx[+/-])						
C _{ON}	连接到 GND 的输出导通电容	f = 5GHz		0.3		pF
C _{OFF}	连接到 GND 的输出关断电容	CONF[2:1] = 00		0.3		pF
I _{IH,HS,SEL}	输入高电流、选定的高速引脚	对于所选端口 p 和 n 引脚，V _{IN} = 1.8V			6	μA
I _{IH,HS,NSEL}	输入高电流、未选择的高速引脚	对于未选择端口，V _{IN} = 1.8V			110	μA
I _{IL,HS}	输入低电流、高速引脚	V _{IN} = 0V			1	μA
I _{FS,HS}	HS 数据引脚的失效防护漏电流	数据引脚 = 1.8V，V _{CC} = 0V			10	μA
R _{A,p2n}	C[Tx/Rx]x+ 和 C[Tx/Rx]x- 引脚之间的直流阻抗			20		k Ω
SBU 引脚 (SBUx、AUX[+/-])						
I _{IH,SBU}	输入高电流、SBU、AUX 引脚	对于所选端口，V _{IN} = V _{CC}			0.16	μA
I _{IL,SBU}	输入低电流、SBU、AUX 引脚	V _{IN} = 0V			0.1	μA
I _{FS,SBU}	SBU 引脚的失效防护漏电流	SBU 引脚 = 3.6V，V _{CC} = 0V			10	μA
C _{ON,SBU}	连接到 GND 的输出导通电容	f = 1MHz		6	8	pF
C _{OFF,SBU}	连接到 GND 的输出关断电容	f = 1MHz		6	8	pF
R _{ON,SBU}	输出导通电阻	0 ≤ V _{IN} ≤ 3.3V；I _O = - 8mA		7		Ω
控制引脚 (MODE[1:0]、CONF[2:0]、A[1:0]、SDA、SCL)						
I _{IH,CTRL}	输入高电流、控制引脚	V _{IN} = V _{CC}			1	μA
I _{IL,CTRL}	输入低电流、控制引脚	V _{IN} = 0V			1	μA
C _{IN}	输入电容			20		pF

5.6 高速性能参数

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
BW _{HS}	高速路径的 -3dB 带宽 (DP 和 USB)	10Mhz 时与直流频率点相比具有 -3dB 损耗	9.5		GHz
I _L	差分插入损耗, V _{CM-HS} = 0.6V	f = 10MHz	-0.9		dB
		f = 2.7GHz	-1.2		
		f = 4GHz	-1.4		
		f = 5GHz	-1.6		
R _L	差分回波损耗 V _{CM-HS} = 0.6V	f = 10MHz	-22		dB
		f = 2.7GHz	-20		dB
		f = 4GHz	-16		dB
		f = 5GHz	-18		dB
O _{IRR}	差分关断隔离	f = 10MHz	-60		dB
		f = 2.7GHz	-26		
		f = 4GHz	-22		
		f = 5GHz	-21		
X _{TALK}	差分串扰	f = 10MHz	-50		dB
		对于 DP2-DP1 或 CTX1-CTX2, f = 2.7GHz	-28		dB
		对于所有其他通道组合, f = 2.7GHz	-40		dB
		对于 DP2-DP1 或 CTX1-CTX2, f = 5.0GHz	-22		dB
		对于所有其他通道组合, f = 5.0GHz	-38		dB
BW _{SBU}	SBU 引脚具有 -3dB 带宽	10Mhz 时与直流频率点相比具有 -3dB 损耗	1000		MHz

5.7 开关特性

参数	最小值	典型值	最大值	单位
器件开关时间				
t _{SW_POWER_ON}	器件上电时间	80		μs
t _{SW_POWER_OFF}	器件断电时间	160		ns
高速引脚				
t _{PD}	开关传播延迟	f = 1GHz	70	ps
t _{SW_CM_SHIFT}	从一种开关模式切换到另一种开关模式所需的开关时间	从 CTXx/CRXx 侧偏置, CMV 差值 < 1.8V	1.2	us
t _{SW}	从一种开关模式切换到另一种开关模式所需的开关时间	从 CTXx/CRXx 侧偏置, CMV 差值 < 100mV	120	ns
t _{SK_INTRA}	同一通道 + 和 - 引脚之间的对内输出偏斜	f = 1GHz	2.5	ps
t _{SK_INTER}	通道间对内输出偏斜	f = 1GHz	16	ps
SBU 引脚				
t _{PD-SBU}	开关传播延迟		220	ps
t _{SW-SBU}	从一种开关模式切换到另一种开关模式所需的开关时间	在 VIN = 3.3V 时从 SBUx 侧偏置	450	ns
t _{SK-SBU}	SBU1 和 SBU2 引脚之间的输出偏斜	f = 1MHz	2.5	ps

5.8 I²C 时序特性

当器件处于 I²C 控制模式 (MODE0 = H) 时, 针对 SDA、SCL 及 A[1:0] 引脚

参数		最小值	典型值	最大值	单位
f _{SCL}	SCL 引脚上的时钟频率			400	kHz
t _{CH}	SCL 引脚上的时钟高电平时间	0.6			μs
t _{CL}	SCL 引脚上的时钟低电平时间	1.3			μs
t _{SETSTA}	启动或重复启动条件建立时间	0.6			μs
t _{HSTA}	启动或重复启动条件保持时间	0.6			μs
t _{SETDAT}	数据设置时间	100			ns
t _{HDAT}	数据保持时间	0		0.9	μs
t _r	输入上升时间	20 + 0.1 C _b ⁽¹⁾		300	ns
t _f	输入下降时间	20 + 0.1 C _b ⁽¹⁾		300	ns
t _{SETSTO}	停止条件建立时间	0.6			us
t _{SP}	必须由输入滤波器进行抑制的尖峰脉冲宽度			50	ns
t _{VD-DAT}	数据有效时间			0.9	μs
t _{VD-ACK}	数据有效确认时间			0.9	μs

(1) C_b = 一条总线的总电容, 以 pF 为单位

5.9 典型特性

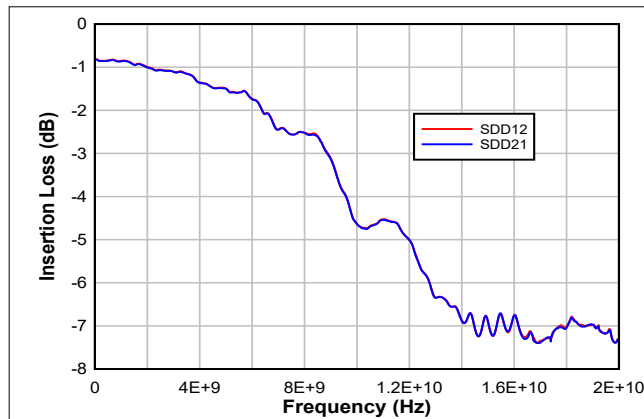


图 5-1. 标称 PVT 时典型通道的插入损耗

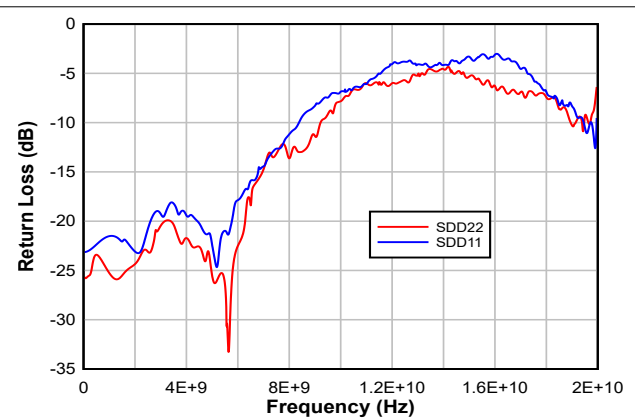


图 5-2. 标称 PVT 时典型通道的回波损耗

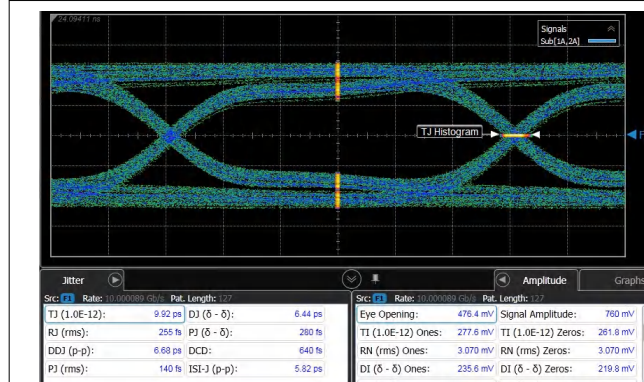


图 5-3. 通过基线设置实现 10Gbps 下的眼图 (校准布线, 无 DUT)

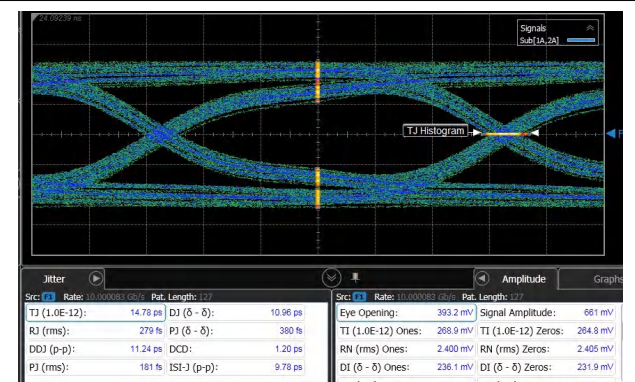


图 5-4. 10Gbps 至 TMUXHS4446-Q1 的眼图 (校准布线+ DUT)

6 详细说明

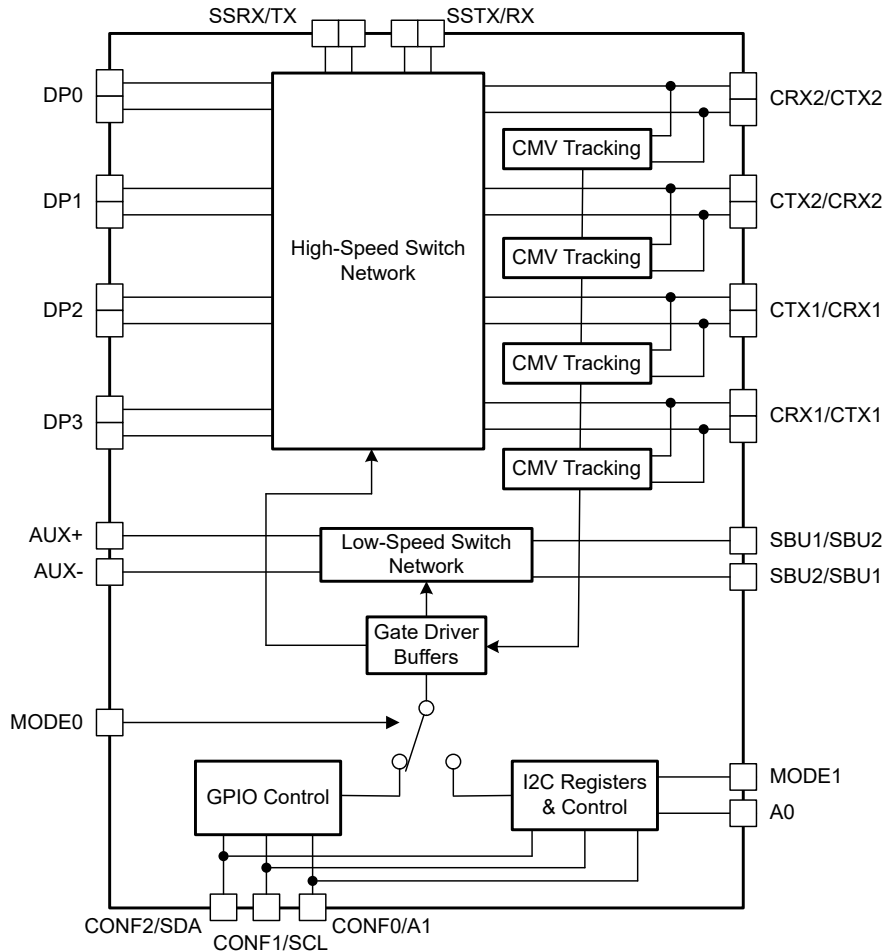
6.1 概述

TMUXHS4446-Q1 是一款高速双向无源交叉点 (Xbar)，可采用多路复用器或多路信号分离器配置。该器件用于通过 USB Type-C 接口在 USB 3.2 Gen2 (超高速) 和 DisplayPort 1.4/2.1 (高达 10Gbps UHBR10) 信号之间切换。该器件还可切换通常用于 DisplayPort 辅助通道的低速 SBU 信号。SBU 引脚可耐受 6V 电压，可承受 VBUS 短路事件。TMUXHS4446-Q1 支持差分信号，其共模电压范围 (CMV) 为 0V 至 1.8V，差分振幅为 0V 至 1800mVpp。自适应 CMV 跟踪可确保通过器件的通道在整个共模电压范围内保持不变。

TMUXHS4446-Q1 的动态特性允许进行高速开关，使信号眼图具有最小的衰减，并且几乎不会增加抖动。芯片设计经过优化，可在较高信号频谱上实现出色的频率响应，并且芯片信号布线和开关网络相匹配，以实现出色的差分对内延迟差性能。

TMUXHS4446-Q1 提供两种形式的控制模式：GPIO 和 I²C。在 GPIO 模式下，控制引脚设置为高电平或低电平。在 I²C 模式下，外部 I²C 控制器 (例如 USB PD 控制器) 设置多路复用器配置和器件控制。凭借控制配置的灵活性，可与各种 USB PD 控制器兼容。

6.2 功能方框图



6.3 特性说明

6.3.1 高速差分信号切换

根据发送到控制引脚的数据，TMUXHS4446-Q1 提供以下多路复用选项：

- 仅 USB SS：仅将 USB-C 连接器上的一组 TX 和 RX 信号连接到 USB 源端/接收端。
- 仅 USB SS (翻转)：当 USB-C 连接器翻转时，启用 仅 USB SS 模式。
- 4 Ln DP：将 USB-C 连接器上的两组 TX/RX 信号连接到 DisplayPort 源端/接收端。
- 4 Ln DP (翻转)：当 USB-C 连接器翻转时，启用 4 Ln DP 模式。
- 2 Ln DP + USB SS：将一组 TX/RX 信号连接到 DisplayPort 源端/接收端，并将另一组连接到 USB 源端/接收端。
- 2 Ln DP + USB SS (翻转)：当 USB-C 连接器翻转时，启用 2 Ln DP + USB SS 模式。
- 开路 (断电)：断开所有开关，并切断器件的电源。
- 开路 (加电)：断开所有开关，但保持器件的供电。

6.3.2 低速 SBU 信号开关

TMUXHS4446-Q1 为通过 USB-C 连接器上的 SBU 线路传输的 DisplayPort 低速边带信号提供开关切换。这些信号连接到 AUX+ 和 AUX- 引脚。如果 USB-C 连接器翻转，则需要使用开关将信号路由到正确的位置。SBU 引脚可耐受 6V。

6.3.3 GPIO 和 I²C 控制模式

TMUXHS4446-Q1 可以通过被驱动为高电平或低电平的 MODE0 引脚，在 GPIO 和 I²C 控制模式之间切换。当设置为 GPIO 模式 (MODE0 = 低电平) 时，CONF[2:0] 引脚被驱动为高电平或低电平，以便设置开关配置。当设置为 I²C 模式 (MODE0 = 高电平) 时，外部 I²C 控制器 (例如 PD 控制器) 通过 SDA 和 SCL 引脚写入 TMUXHS4446-Q1 寄存器位，以便设置多路复用器配置和器件控制。

MODE1 引脚用于控制 I²C 数据的逻辑电平。如果 MODE1 处于高电平，则当 MODE1 处于低电平时，逻辑电平为 3.3V 和 1.8V。

6.4 器件功能模式

本节描述如何配置 TMUXHS4446-Q1 控制引脚以配置器件模式和复用器配置。

表 6-1 显示了如何使用 MODE0 和 MODE1 引脚来设置器件控制配置模式。

表 6-1. 控制模式配置

控制模式	MODE0	MODE1
GPIO/引脚控制模式	0	X
I ² C (1.8V 逻辑)	1	0
I ² C (3.3V 逻辑)	1	1

表 6-2 显示了 I²C 寄存器设置。A1 和 A0 (字节 1、位 2 和 1) 由引脚 35 和 14 设置。CONF[2-0] (字节 3、位 2-0) 设置 I²C 模式下的器件配置。

表 6-2. I²C 控制

字节编号和说明	寄存器位							
	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
字节 1、I ² C 次级目标地址	1	0	1	0	1	A1	A0	0/1 (W/R)
字节 2、器件 ID (只读)	0	0	0	0	0	0	0	0
字节 3、选择控制 (读取/写入)	0	0	0	0	0	CONF[2]	CONF[1]	CONF[0]

表 6-3 展示了 GPIO 模式下的 CONF[2:0] 引脚及寄存器字节 3、位 2-0 (CONF[2:0]) 如何设置源应用中的多路复用器配置，如表 6-2 所示。

表 6-3. 用于源应用的高速和低速通道映射

系统侧通道	连接器侧通道连接到系统侧通道							
	开路 (断电)	开路 (上电)	USB-C USB 3.x		DP 交替模式插座 DFP 引脚分配 (源端)			
			仅 USB SS	仅 USB SS (翻转)	C、E 4 Ln DP	C、E Flip 4 Ln DP	D2 Ln DP + USB SS	D 翻转 2 Ln DP + USB SS
	CONF[2:0] = 000	CONF[2:0] = 001	CONF[2:0] = 100	CONF[2:0] = 101	CONF[2:0] = 010	CONF[2:0] = 011	CONF[2:0] = 110	CONF[2:0] = 111
SSTX	X	X	CTX1	CTX2	X	X	CTX1	CTX2
SSRX	X	X	CRX1	CRX2	X	X	CRX1	CRX2
DP0	X	X	X	X	CRX2	CRX1	CRX2	CRX1
DP1	X	X	X	X	CTX2	CTX1	CTX2	CTX1
DP2	X	X	X	X	CTX1	CTX2	X	X
DP3	X	X	X	X	CRX1	CRX2	X	X
AUX+	X	X	X	X	SBU1	SBU2	SBU1	SBU2
AUX-	X	X	X	X	SBU2	SBU1	SBU2	SBU1

图 6-1 显示了基于表 6-3 的源应用的 TMUXHS4446-Q1 多路复用器配置的图形视图。在此图中，所有信号均为差分信号，同时具有正负引脚，但为了简洁起见，显示为单引脚。

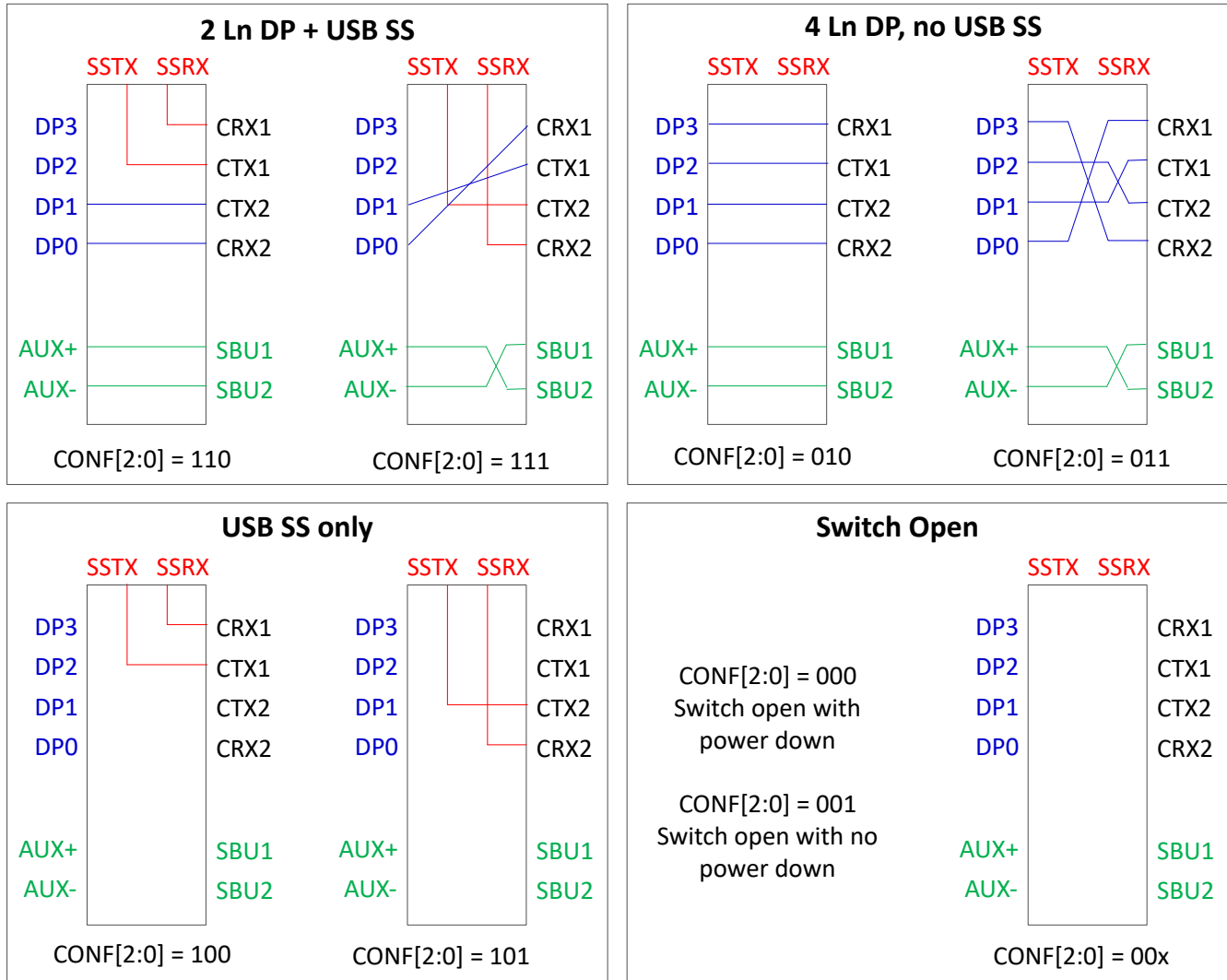


图 6-1. 不同配置下适用于源应用的 TMUXHS4446-Q1 信号流程图

接收端信号流也可以根据表 6-4 构建。

表 6-4. 用于接收端应用的高速和低速通道映射

系统侧通道	连接器侧通道连接到系统侧通道							
	开路 (断电)	开路 (上电)	USB-C USB 3.x		DP 交替模式插座 UFP 引脚分配 (接收端)			
			仅 USB SS	仅 USB SS (翻转)	C4 Ln DP	C 翻转 4 Ln DP	D2 Ln DP + USB SS	D 翻转 2 Ln DP + USB SS
	CONF[2:0] = 000	CONF[2:0] = 001	CONF[2:0] = 100	CONF[2:0] = 101	CONF[2:0] = 010	CONF[2:0] = 011	CONF[2:0] = 110	CONF[2:0] = 111
SSTX	X	X	CTX1	CTX2	X	X	CTX1	CTX2
SSRX	X	X	CRX1	CRX2	X	X	CRX1	CRX2
DP0	X	X	X	X	CTX2	CTX1	CTX2	CTX1
DP1	X	X	X	X	CRX2	CRX1	CRX2	CRX1
DP2	X	X	X	X	CRX1	CRX2	X	X
DP3	X	X	X	X	CTX1	CTX2	X	X
AUX+	X	X	X	X	SBU2	SBU1	SBU2	SBU1
AUX-	X	X	X	X	SBU1	SBU2	SBU1	SBU2

7 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规格，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户负责确定元件是否适合其用途，以及验证和测试其设计实现以确认系统功能。

7.1 应用信息

TMUXHS4446-Q1 交叉点开关 (Xbar) 支持通过 USB Type-C 端口路由 USB 3.2 和 DisplayPort 2.1 信号。在汽车应用中，这允许客户在整个车辆的 USB-PD 模块中使用 Apple CarPlay™ 和 Android Auto™。该器件支持一个 USB 3.2 Gen2 通道和两个 DP2.1 UHBR10 通道，而 AUX± 通道会切换 USB 边带引脚 (SBU1/2)。

7.2 典型应用

图 7-1 展示了汽车系统中 USB 交替模式应用的方框图。

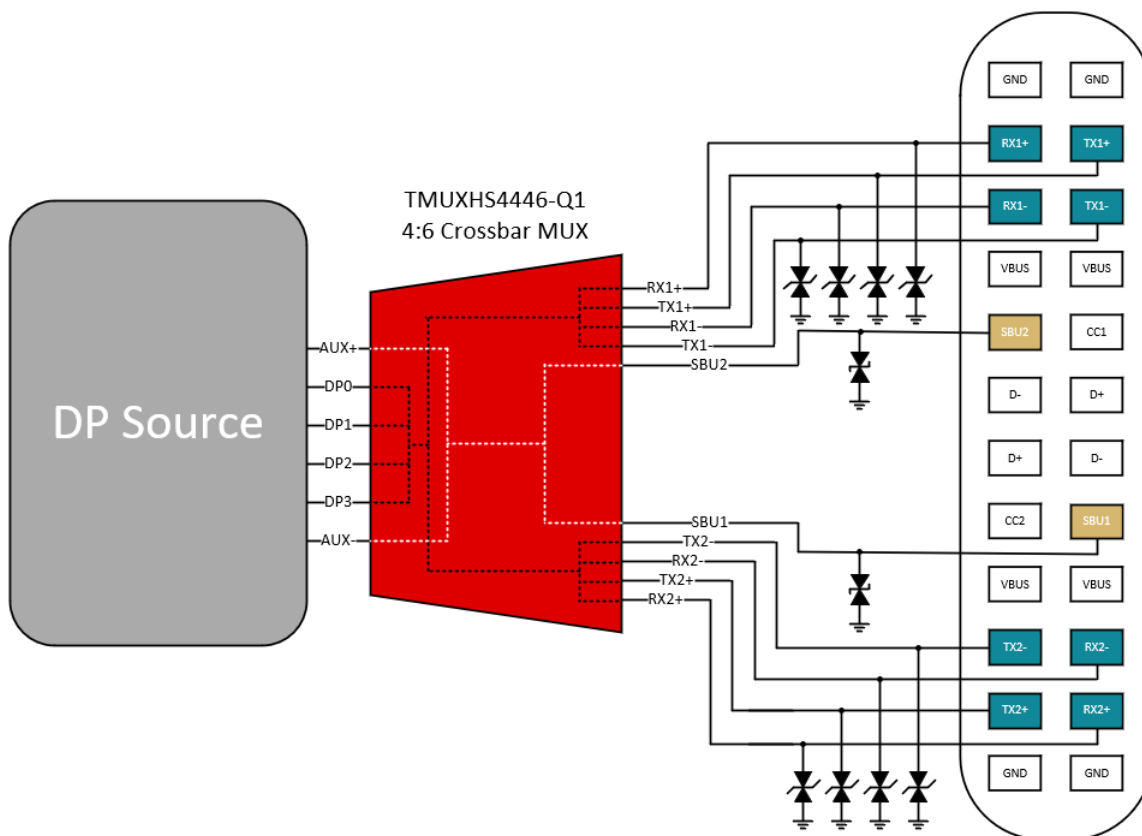


图 7-1. TMUXHS4446-Q1 USB 交替模式典型应用

7.2.1 设计要求

对于这个设计示例，请使用表 7-1 中显示的参数。

表 7-1. 设计参数

参数	值
电源电压, V_{CC}	3.3V
USB-C 连接器侧 TX 引脚的交流耦合电容器 C_{TX}	220nF
I ² C 上拉电阻器 R_{I2C}	2k Ω
I ² C 上拉电压 V_{I2C}	3.3V
DP 辅助通道上拉电压 DP_PWR	3.3V
DP 辅助通道耦合电容器 C_{AUX}	100nF

7.2.2 详细设计过程

在实现具有 DP 交替模式的 USB Type-C 期间，必须小心放置交流耦合电容器。请注意，TMUXHS4446-Q1 支持 V_{cm} 范围，不超过 0V 至 1.8V 的典型范围。请注意，交流电容器仅在拉电流端和灌电流端的 TX 引脚上使用。但是，如果在应用中无法保证此类 V_{cm} 范围，TI 建议更改交流耦合电容器的放置。RX 引脚使用了额外的可选交流耦合电容器。

7.2.3 应用曲线

图 7-2 至图 7-3 展示了 HBR3 8.1Gbps 时的 DisplayPort 1.4 Tx 合规性结果。对比了基线配置与加入 TMUXHS4446-Q1 评估板后的眼图测试结果（基于示波器实测，未包含线缆模型）。图中显示的是通道 0。其他通道也会产生相似的眼图。通过 TMUXHS4446-Q1 实现的抖动下降非常小。

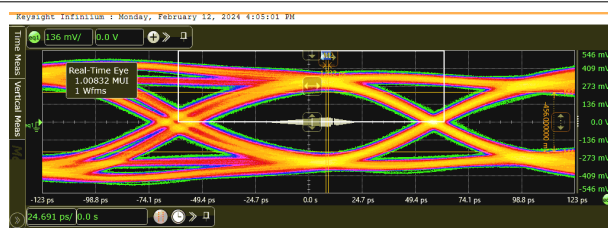


图 7-2. 8.1Gbps DP 合规性眼图 — 基线设置 (无 DUT)

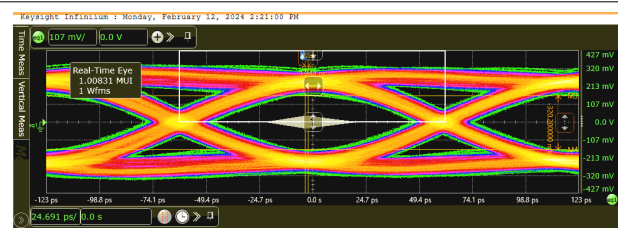


图 7-3. 8.1Gbps DP 合规性眼图 — 采用 TMUXHS4446-Q1

图 7-4 至图 7-5 显示了 10Gbps 时的 USB 3.x Gen2 Tx 合规性结果。对比了基线配置与加入 TMUXHS4446-Q1 评估板后的眼图测试结果（基于示波器实测，近端）。图中显示的是通道 0。其他通道也会产生相似的眼图。通过 TMUXHS4446-Q1 实现的抖动下降非常小。

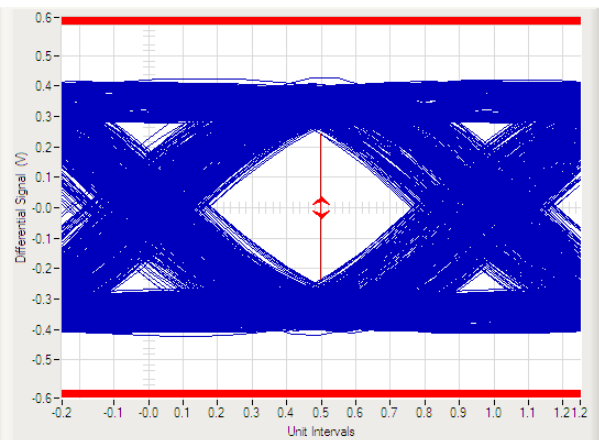


图 7-4. 10Gbps USB 合规性眼图 — 基线设置 (无 DUT)

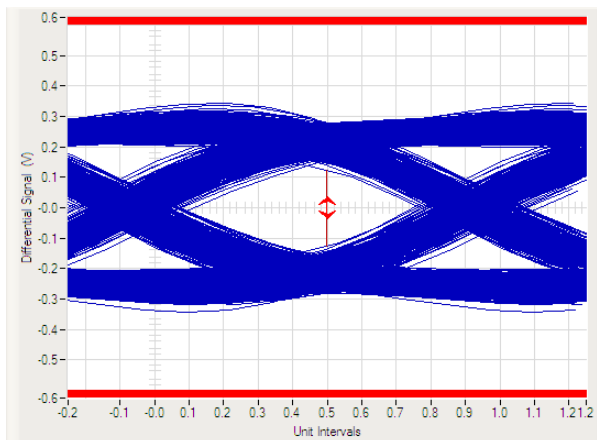


图 7-5. 10Gbps USB 合规性眼图 — 采用 TMUXHS4446-Q1

7.3 电源相关建议

TMUXHS4446-Q1 不需要电源时序。但是，TI 建议在器件电源 V_{CC} 稳定并符合规格后器件上电。TI 还建议在器件 V_{CC} 引脚附近放置充足的去耦电容器。

7.4 布局

7.4.1 布局指南

对于高 K 电路板，TI 始终建议将 PowerPAD™ 集成电路封装焊接到散热焊盘上。散热焊盘是电源焊盘封装下方的焊锡铜区域。在高 K 值电路板上，TMUXHS4446-Q1 可以通过将电源焊盘焊接到没有过孔的散热焊盘上，在整个温度范围内工作。

有关高速布局指南，请参阅[信号调节器和 USB 集线器的高速布局指南应用手册](#)。

在低 K 电路板上，使用 1oz 铜布线将 GND 引脚连接到导热焊盘，以便器件能够在整个温度范围内运行。[电源板热增强型封装应用手册](#)中提供了电源板封装的通用 PCB 设计指南。

7.4.2 布局示例

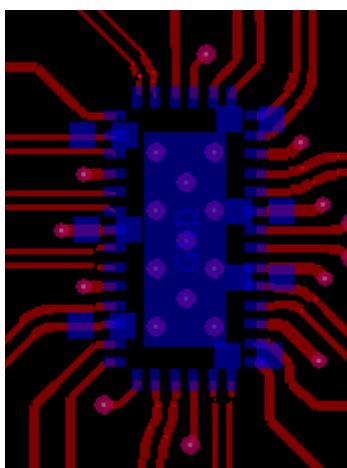


图 7-6. TMUXHS4446-Q1 布局示例

8 器件和文档支持

TI 提供广泛的开发工具。下面列出了用于评估器件性能、生成代码和开发解决方案的工具和软件。

8.1 文档支持

8.1.1 相关文档

如要查看相关文件，请参阅以下内容：

- 德州仪器 (TI)，[信号调节器和 USB 集线器的高速布局指南应用手册](#)
- 德州仪器 (TI)，[PowerPAD™ 热增强型封装应用手册](#)

8.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 [ti.com](#) 上的器件产品文件夹。点击 [通知](#) 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

8.3 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的[使用条款](#)。

8.4 商标

Apple CarPlay™ is a trademark of Apple Inc.

Android Auto™ is a trademark of Google Inc.

PowerPAD™ and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

8.5 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

8.6 术语表

[TI 术语表](#) 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

9 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

日期	修订版本	注释
June 2026	*	初始发行版

10 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package Pins	Package qty Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
PTMUXHS4446RETRQ1	Active	Preproduction	WQFN (RET) 40	3000 LARGE T&R	-	Call TI	Call TI	-40 to 125	

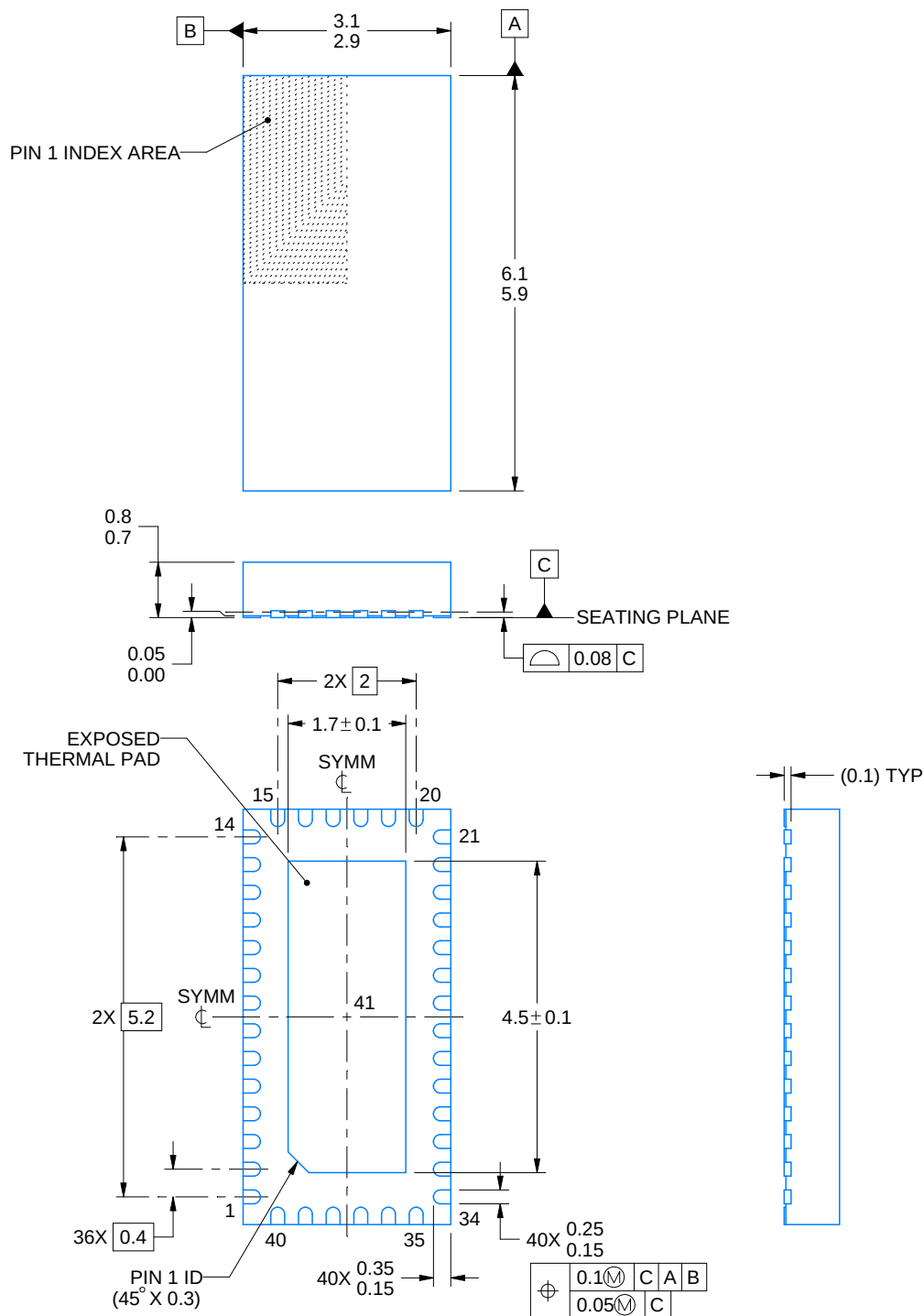
- (1) **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).
- (2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.
- (3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.
- (4) **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.
- (5) **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.
- (6) **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "-" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer:The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



NOTES:

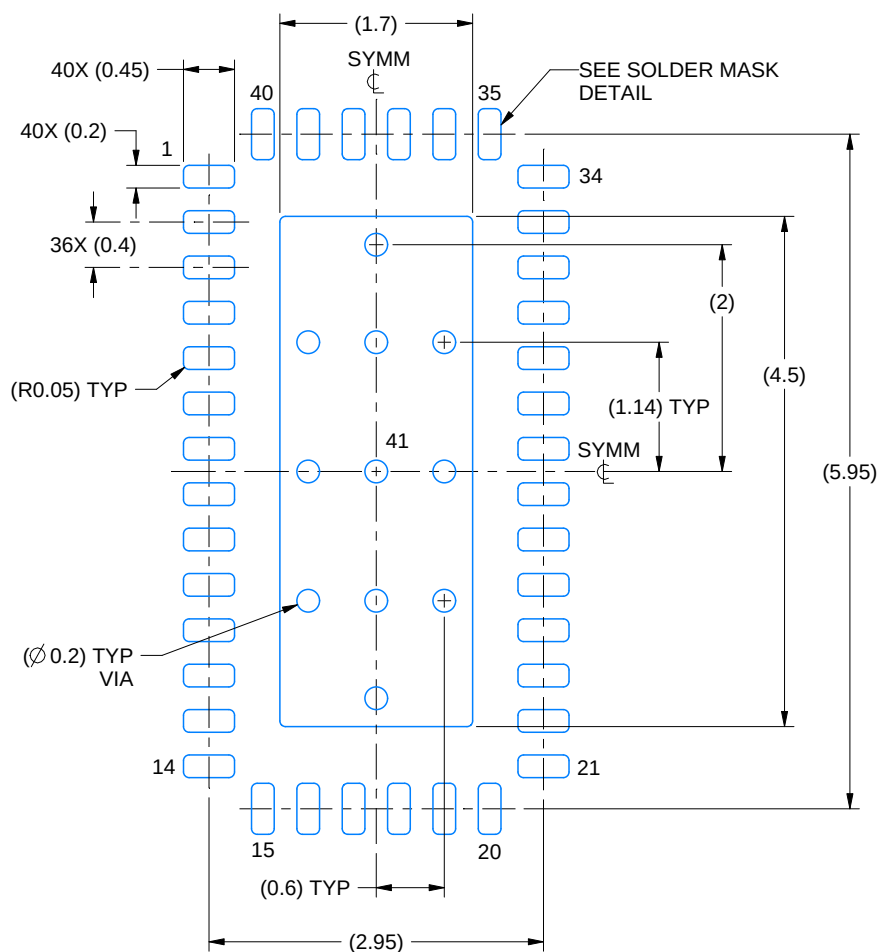
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for thermal and mechanical performance.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

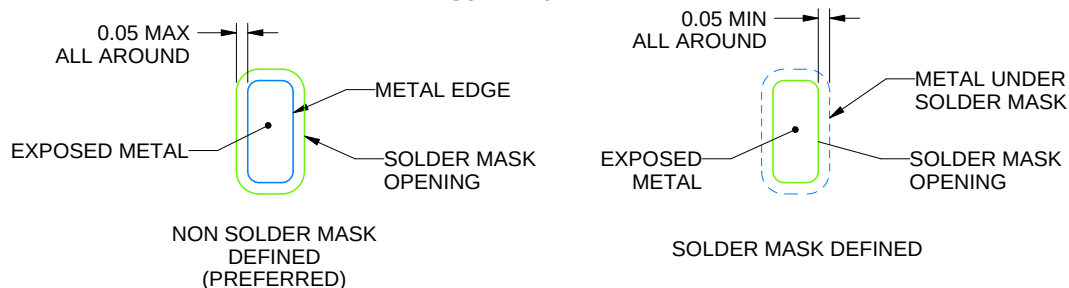
RET0040A

WQFN - 0.8 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 15X



SOLDER MASK DETAILS

4229203/A 11/2022

NOTES: (continued)

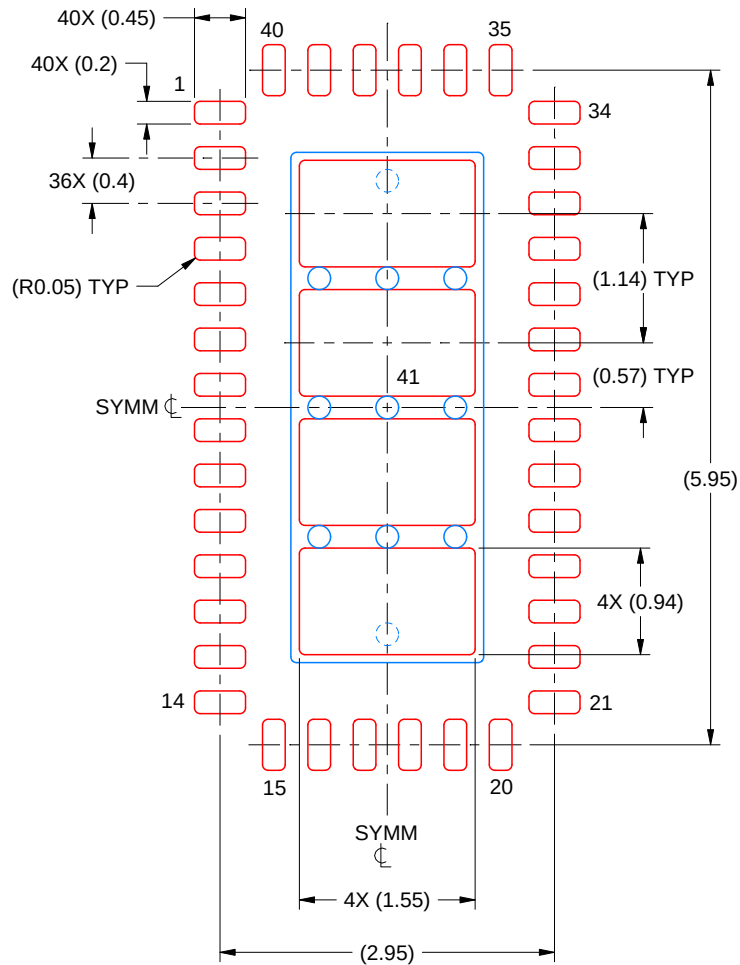
- This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).
- Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

RET0040A

WQFN - 0.8 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 MM THICK STENCIL
SCALE: 15X

EXPOSED PAD 41
76% PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE

4229203/A 11/2022

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

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任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途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、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月