

ISOW14x2 具有集成式高效低辐射低噪声直流/直流转换器的隔离式 RS-485/ RS-422 收发器

1 特性

- 符合或超出 TIA/EIA-485A 标准要求
- 数据速率
 - ISOW1412: 500kbps
 - ISOW1432: 12Mbps
- 低排放、低噪声的集成式低排放直流/直流转换器
 - 符合 CISPR 32 B 类和 EN 55032 B 类要求，并在两层 PCB 上留有裕度
 - 25MHz 的低频电源转换器可实现低噪声性能
- 其他 2Mbps GPIO 通道
- 高效率输出功率
 - 典型效率: 46%
 - V_{ISOOUT} 精度: $\pm 5\%$
 - 额外输出电流: 20mA
- 用于 RS-485 和直流/直流的独立电源
 - 逻辑电源 (V_{IO}): 1.71V 至 5.5V
 - 电源转换器电源 (V_{DD}): 3V 至 5.5V
- RS-485 与 PROFIBUS 兼容
 - 开路、短路和空闲总线失效防护
 - 1/8 单位负载: 多达 256 个总线节点
 - 上电和断电无干扰
- 增强型和基础型隔离选项
- 高 CMTI: 100kV/ μ s (典型值)
- 高 ESD 总线保护
 - HBM: ± 16 kV
 - IEC 61000-4-2 接触放电: ± 8 kV
- 工作温度范围: -40°C 至 125°C
- 电流限值和热关断
- 20 引脚宽体 SOIC 封装
- 安全相关认证:
 - 符合 DIN EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17) 的 VDE 增强型和基础型绝缘
 - UL 1577 组件认证计划
 - IEC 62368-1、IEC 61010-1、IEC 60601-1 和 GB 4943.1 认证

2 应用

- 工厂自动化
- 楼宇自动化
- 工业运输
- 光伏逆变器, 保护继电器
- 电机驱动器

表 2-1. 器件信息

器件	封装 ⁽¹⁾	封装尺寸 ⁽²⁾	封装尺寸 (标称值)
ISOW1412 ISOW1432	DFM (SOIC, 20)	12.83mm × 10.30mm	12.83mm × 7.5mm
ISOW1412B ISOW1432B			

(1) 有关更多信息, 请参阅机械、封装和可订购信息。

(2) 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值, 并包括引脚 (如适用)。

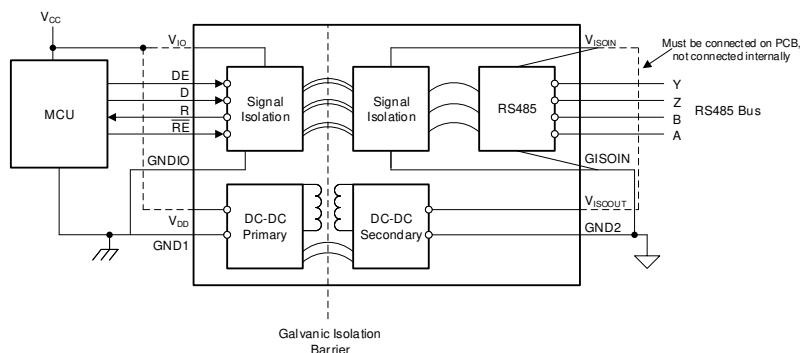


3 说明

ISOW14x2 器件是电隔离 RS-485/RS-422 收发器，内置隔离式 DC-DC 转换器，无需在空间受限的隔离式设计中使用单独的隔离式电源。低辐射、隔离式直流/直流转换器符合 CISPR 32 辐射发射 B 类标准，在简单的两层 PCB 上仅使用两个铁氧体磁珠。额外的 20mA 输出电流可用于为板上的其他电路供电。集成的 2Mbps GPIO 通道有助于去除用于诊断、LED 指示或电源监控的任何额外数字隔离器或光耦合器。

提供了两个数据速率选项：ISOW1412 针对最大 500kbps 进行了优化，ISOW1432 则设计用于最大 12Mbps 的数据速率。除了旁路电容器外，这些器件不需要任何其他外部元件即可实现隔离式 RS-485 端口，专为远距离通信而设计。隔离会破坏通信节点之间的接地回路，从而获得更大的共模电压范围。信号和电源路径均按照 UL1577 进行 5kV_{RMS} 隔离，并符合 VDE、TUV、CSA 和 CQC 的增强型和基础型隔离要求。

ISOW14x2 通过将 V_{IO} 和 V_{DD} 一起连接到 PCB 上，可在 3V 至 5.5V 的单一电源下运行。如果需要较低的逻辑电平，可以分离 1.71V 至 5.5V 的逻辑电源 (V_{IO})，使其独立于 3V 至 5.5V 的电源转换器电源 (V_{DD})。这些器件支持从 -40°C 至 +125°C 的宽工作环境温度范围，并采用 20 引脚 DFM (兼容 SOIC-20 封装尺寸)，可提供最小 8mm 的爬电距离和间隙。



简化版原理图

内容

1 特性	1	8.1 概述	30
2 应用	1	8.2 电源隔离	30
3 说明	2	8.3 信号隔离	30
4 器件比较表	3	8.4 RS-485	30
5 引脚配置和功能	4	8.5 功能方框图	31
6 规格	6	8.6 特性说明	31
6.1 绝对最大额定值.....	6	8.7 器件功能模式	33
6.2 ESD 等级.....	6	8.8 器件 I/O 原理图	35
6.3 建议运行条件.....	7	9 应用和实施	36
6.4 热性能信息.....	8	9.1 应用信息.....	36
6.5 功率等级.....	8	9.2 典型应用.....	37
6.6 绝缘规格.....	9	9.3 电源相关建议.....	39
6.7 安全相关认证.....	10	9.4 布局.....	40
6.8 安全限值.....	10	10 器件和文档支持	41
6.9 电气特性.....	11	10.1 文档支持.....	41
6.10 $V_{ISOOUT} = 3.3V$ 下的电源电流特性.....	13	10.2 接收文档更新通知.....	41
6.11 $V_{ISOOUT} = 5V$ 下的电源电流特性.....	15	10.3 支持资源.....	41
6.12 $V_{ISOOUT} = 3.3V$ 时的开关特性.....	16	10.4 商标.....	41
6.13 $V_{ISOOUT} = 5V$ 时的开关特性.....	18	10.5 静电放电警告.....	41
6.14 绝缘特性曲线.....	19	10.6 术语表.....	41
6.15 典型特性.....	20	11 修订历史记录	41
7 参数测量信息	27	12 机械、封装和可订购信息	42
8 详细说明	30		

4 器件比较表

器件型号	隔离	双工	数据速率	封装
ISOW1412/ISOW1412B	增强型/基础型	全双工	500Kbps	20-DFM(SOIC)
ISOW1432/ISOW1432B	增强型/基础型	全双工	12Mbps	20-DFM(SOIC)

5 引脚配置和功能

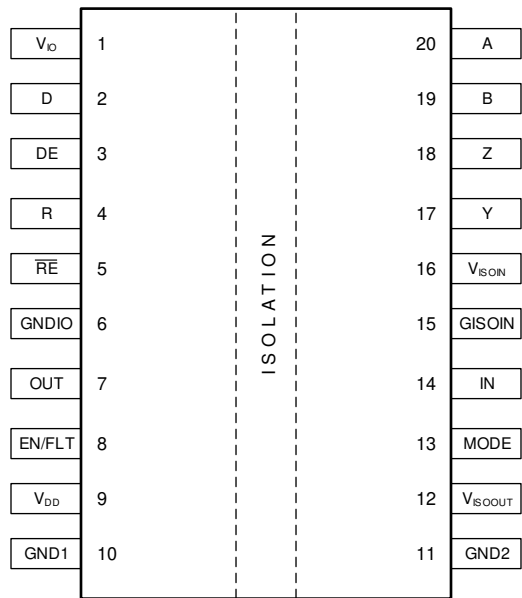


图 5-1. ISOW14x2 20 引脚 DFM 顶视图

表 5-1. 引脚功能

引脚		类型 ⁽¹⁾	说明
名称	编号		
V _{IO}	1	--	1 侧逻辑电源
D	2	I	数据输入
DE	3	I	驱动器使能。如果引脚悬空，则会禁用驱动器（内部下拉电阻器）
R	4	O	已接收数据输出
RE	5	I	接收器启用。如果引脚悬空，则禁用接收器缓冲器（内部上拉电阻器）
GNDIO	6	--	V _{IO} 的接地连接。GNDIO 和 GND1 需在 PCB 上直接短接。
OUT	7	O	通用逻辑输出
EN/FLT	8	I/O	多功能电源转换器使能输入引脚或输出故障引脚。只能用作输入引脚或输出引脚。 - 如果该引脚用作电源转换器使能输入引脚，则该引脚会启用和禁用集成式 DC-DC 电源转换器。可直接连接到微控制器，或通过串联限流电阻器连接以用作使能输入引脚。当 EN 为高电平（连接至 V_{IO}）时，启用 DC-DC 电源转换器；当 EN 为低电平（连接至 GND1）时禁用。如果 EN 悬空，则启用 DC-DC 转换器（内部上拉电阻器） - 如果将该引脚用作故障输出引脚，并且电源转换器运行不正常，该引脚会发出警报信号。该引脚为低电平有效。通过 5kΩ 或更大的上拉电阻器连接到微控制器，以用作故障输出引脚。
V _{DD}	9	--	1 侧直流/直流转换器电源
GND1	10	--	V _{IO} 的接地连接。GNDIO 和 GND1 需在 PCB 上直接短接。
GND2	11	--	V _{ISOOUT} 的接地连接。GND2 和 GISOIN 需要在 PCB 上直接短接，或通过铁氧体磁珠连接。
V _{ISOOUT}	12	--	隔离式电源转换器输出电压。V _{ISOOUT} 和 V _{ISOIN} 需要在 PCB 上直接短接，或通过铁氧体磁珠连接。
模式	13	I	模式选择为了使 RS-485 收发器在 3.3V 电源下运行，将 MODE 连接至 GND2。为了使 RS-485 收发器在 5V 电源 PROFIBUS 模式下运行，将 MODE 连接至 V _{ISOOUT} （内部下拉电阻器）
IN	14	I	通用逻辑输入
GISOIN	15	--	V _{ISOIN} 的接地连接。GND2 和 GISOIN 需要在 PCB 上直接短接，或通过铁氧体磁珠连接。
V _{ISOIN}	16	--	RS485 的 2 侧电源电压。V _{ISOOUT} 和 V _{ISOIN} 需要在 PCB 上直接短接，或通过铁氧体磁珠连接。
Y	17	O	RS-485 驱动器同相输出
Z	18	O	RS-485 驱动器反相输出
B	19	I	RS-485 接收器反向输入
A	20	I	RS-485 接收器同相输入

(1) I = 输入；O = 输出；I/O = 输入或输出

6 规格

6.1 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) (2)

		最小值	最大值	单位
V_{DD}	电源转换器电源电压	-0.5	6	V
V_{ISOIN}	隔离式电源电压, RS-485 收发器的输入电源	-0.5	6	V
V_{ISOOUT}	隔离式电源电压, RS485 模式的电源转换器输出 (MODE = GND2)	-0.5	4	V
V_{ISOOUT}	隔离式电源电压, Profibus 模式的电源转换器输出 (MODE = V_{ISOOUT})	-0.5	6	V
V_{IO}	逻辑电源电压	-0.5	6	V
V_{BUS}	总线引脚 (A、B、Y、Z, 以 GND2 为基准) 上的电压	-12	15	V
V_{LOGIC_IO}	逻辑 I/O 电压电平 (D、DE、 $\overline{RE}$ 、R、EN、OUT)	-0.5	$V_{IO} + 0.5^{(3)}$	V
	IN	-0.5	$V_{ISOIN} + 0.5$	V
	模式	-0.5	$V_{ISOOUT} + 0.5$	V
I_O	R 和 OUT 引脚处的输出电流	-15	15	mA
T_J	结温	-40	150	°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。
- (2) 差分 I/O 总线电压以外的所有电压值均以本地接地引脚 (GND1 或 GND2) 为基准。除差分 I/O 总线电压外的所有电压值都是峰值电压值。
- (3) 最大电压不得高于 6V。

6.2 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 ⁽¹⁾	除总线引脚外的所有引脚	±3000 V
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	总线引脚以 GND2 为基准 (同侧)	±16000 V
$V_{(ESD)}$	静电放电	充电器件模型 (CDM), 符合 JEDEC 规范 JESD22-C101 ⁽²⁾		±1500 V
$V_{(ESD)}$	静电放电	IEC 61000-4-2 接触放电	总线引脚和 GND1 (穿过隔离栅)	±8000 V
$V_{(ESD)}$	静电放电	IEC 61000-4-2 接触放电	总线引脚和 GND2 (同侧)	±8000 V

- (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。

6.3 建议运行条件

			最小值	标称值	最大值	单位
V _{IO}	逻辑电源电压	1.8V 工作电压	1.71		1.89	V
		2.5V、3.3V 和 5V 工作电压	2.25		5.5	
V _{DD}	电源转换器电源电压		3		5.5	V
V _{DD(UVLO+)}	电源转换器电源上升时的正阈值			2.8	2.93	V
V _{DD(UVLO-)}	电源转换器电源下降时的正阈值		2.40	2.55		V
V _{HYS1(UVLO)}	电源转换器电源电压迟滞		0.15	0.25		V
V _{IO(UVLO+)}	逻辑电源电压的上升阈值				1.7	V
V _{IO(UVLO-)}	逻辑电源电压的下降阈值		1			V
V _{HYS2(UVLO)}	逻辑电源电压迟滞		75	125		mV
V _{BUS}	任何总线端子上的输入电压 (单独以 GND2 为基准或共模)		-7		12	V
V _{IH}	高电平输入电压 (D、DE、EN 和 $\overline{RE}$ 输入)		$0.7 \times V_{IO}$		V _{IO}	V
	高电平输入电压 (IN 输入)		$0.7 \times V_{ISOIN}$		V _{ISOIN}	V
V _{IL}	低电平输入电压 (D、DE、EN 和 $\overline{RE}$ 输入)		0		$0.3 \times V_{IO}$	V
	低电平输入电压 (IN 输入)		0		$0.3 \times V_{ISOIN}$	V
V _{ID}	差分输入电压 (接收器端子 A 以 B 为基准)		-12		12	V
I _{O(DRV)}	输出电流, 驱动器 (Y, Z)		-60		60	mA
I _O	输出电流、R 和 OUT 引脚	V _{IO} = 4.5V 至 5.5V	-4		4	mA
		V _{IO} = 3V 至 3.6V	-2		2	mA
		V _{IO} = 2.25V 至 2.75V、1.71V 至 1.89V	-1		1	mA
R _L	总线上的差分负载电阻		54			Ω
1/t _{UI}	信令速率	ISOW1412			500	kbps
1/t _{UI}	信令速率	ISOW1432			12	Mbps
DR	GPIO 通道的数据速率				2	Mbps
t _{pwrap}	施加输入电源后的上电时间 (隔离式输出电源达到设定值的 90% 后即可开始数据传输)			5		ms
T _A	环境工作温度 (MODE= GND2), V _{ISOUT} ⁽¹⁾ 上不提供额外电流		-40		125	°C
	环境工作温度 (MODE= GND2), V _{ISOUT} ⁽¹⁾ 上提供 20mA 额外电流		-40		105	°C
	环境工作温度 (MODE= V _{ISOOUT}), DE 上占空比为 50%, V _{ISOUT} ⁽¹⁾ 上不提供额外电流		-40		125	°C
	环境工作温度 (MODE= V _{ISOOUT}), V _{ISOUT} ⁽¹⁾ 上不提供额外电流		-40		105	°C
	环境工作温度 (MODE= V _{ISOOUT}), V _{ISOUT} ⁽¹⁾ 上提供 20mA 额外电流		-40		85	°C

(1) 仅在 VDD = 5V ± 10% 模式下提供额外电流

6.4 热性能信息

热指标 ⁽¹⁾		ISOW14x2	单位
		DFM	
		20 引脚	
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	68.5	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳 (顶部) 热阻	20.9	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	44.8	°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	13	°C/W
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	44	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳 (底部) 热阻	--	°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。

6.5 功率等级

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
P_D	最大功耗 (两侧)	ISOW1412 : $V_{DD} = V_{IO} = 5.5V$, MODE = V_{ISOOUT} , $T_J = 150^{\circ}C$, Y-Z 负载 = $54\Omega 50pF$, Y 短接至 A, Z 短接至 B (环回), R 端负载 = $15pF$, 输入 250kHz 50% 占空比方波至 D 引脚且 $V_{DE} = V_{IO}$, $V_{RE} = GND1$			1060	mW
P_{D1}	最大功耗 (1 侧)				490	mW
P_{D2}	最大功耗 (2 侧)				570	mW
P_D	最大功耗 (两侧)	ISOW1432 : $V_{DD} = V_{IO} = 5.5V$, MODE = V_{ISOOUT} , $T_J = 150^{\circ}C$, Y-Z 负载 = $54\Omega 50pF$, Y 短接至 A, Z 短接至 B (环回), R 端负载 = $15pF$, 输入 6MHz 50% 占空比方波至 D 引脚且 $V_{DE} = V_{IO}$, $V_{RE} = GND1$			1110	mW
P_{D1}	最大功耗 (1 侧)				510	mW
P_{D2}	最大功耗 (2 侧)				600	mW

6.6 绝缘规格

参数		测试条件	值	单位
常规				
CLR	外部间隙 ⁽¹⁾	端子间的最短空间距离	>8	mm
CPG	外部爬电距离 ⁽¹⁾	端子间的最短封装表面距离	>8	mm
DTI	绝缘穿透距离	最小内部间隙 (内部间隙 - 电容式信号隔离)	>17	μm
		最小内部间隙 (内部间隙 — 变压器电源隔离)	>120	
CTI	相对漏电起痕指数	DIN EN 60112 (VDE 0303-11) ; IEC 60112	>600	V
	材料组	符合 IEC 60664-1	I	
	过压类别 (符合 IEC 60664-1)	额定市电电压 ≤ 150V _{RMS}	I-IV	
		额定市电电压 ≤ 300V _{RMS}	I-IV	
		额定市电电压 ≤ 600V _{RMS}	I-IV	
		额定市电电压 ≤ 1000V _{RMS}	I-III	
DIN EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17) ⁽²⁾				
V _{IORM}	最大重复峰值隔离电压	交流电压 (双极)	1500	V _{PK}
V _{IOWM}	最大工作隔离电压	交流电压 (正弦波) , 时间依赖型电介质击穿 (TDDb) 测试	1000	V _{RMS}
		直流电压	1500	V _{DC}
V _{IOTM}	最大瞬态隔离电压	V _{TEST} = V _{IOTM} , t = 60s (鉴定测试) ; V _{TEST} = 1.2 × V _{IOTM} , t = 1s (100% 生产测试)	7071	V _{PK}
V _{IOSM}	最大浪涌隔离电压 ISOW14x2 ⁽³⁾	测试方法符合 IEC 62368-1 , 1.2/50μs 波形	10000	V _{PK}
V _{IOSM}	最大浪涌隔离电压 ISOW14x2B ⁽³⁾	测试方法符合 IEC 62368-1 , 1.2/50μs 波形	7800	V _{PK}
q _{pd}	视在电荷 ⁽⁴⁾	方法 a : 在 I/O 安全测试子组 2/3 后 , V _{ini} = V _{IOTM} , t _{ini} = 60s ; V _{pd(m)} = 1.2 × V _{IORM} , t _m = 10s	≤5	pC
		方法 a : 环境测试子组 1 后 , V _{ini} = V _{IOTM} , t _{ini} = 60s ; ISOW14x2 : V _{pd(m)} = 1.6 × V _{IORM} , t _m = 10s ISOW14x2B : V _{pd(m)} = 1.2 × V _{IORM} , t _m = 10s	≤5	
		方法 b1 : 常规测试 (100% 生产测试) , V _{ini} = 1.2 × V _{IOTM} , t _{ini} = 1s ; ISOW14x2 : V _{pd(m)} = 1.875 × V _{IORM} , t _m = 1s (方法 b1) ISOW14x2B : V _{pd(m)} = 1.5 × V _{IORM} , t _m = 1s (方法 b1) , 或者 V _{pd(m)} = V _{ini} , t _m = t _{ini} (方法 b2)	≤5	
C _{IO}	势垒电容, 输入至输出 ⁽⁵⁾	V _{IO} = 0.4 sin (2 π ft) , f = 1MHz	≈3.5	pF
R _{IO}	隔离电阻, 输入至输出 ⁽⁵⁾	V _{IO} = 500V , T _A = 25°C	>10 ¹²	Ω
		V _{IO} = 500V , 100°C ≤ T _A ≤ 125°C	>10 ¹¹	Ω
		V _{IO} = 500V , T _S = 150°C	>10 ⁹	Ω
	污染等级		2	
	气候类别		40/125/21	
UL 1577				
V _{ISO}	可承受的隔离电压	V _{TEST} = V _{ISO} = 5000V _{RMS} , t = 60s (鉴定测试) ; V _{TEST} = 1.2 × V _{ISO} = 6000V _{RMS} , t = 1s (100% 生产测试)	5000	V _{RMS}

- (1) 爬电距离和间隙应满足应用的特定设备隔离标准中的要求。请注意保持电路板设计的爬电距离和间隙, 从而确保印刷电路板上隔离器的安装焊盘不会导致此距离缩短。在特定的情况下, 印刷电路板上的爬电距离和间隙变得相等。在印刷电路板上插入坡口和/或肋等技术用于帮助提高这些规格。
- (2) ISOW14x2 适用于安全电气绝缘, 而 ISOW14x2B 仅适用于安全额定值范围内的基本电气绝缘。应借助合适的保护电路来确保符合安全等级。
- (3) 在空气或油中执行测试, 以确定隔离栅的固有浪涌抗扰度。
- (4) 视在电荷是局部放电 (pd) 引起的电气放电。
- (5) 将隔离栅每一侧的所有引脚都连在一起, 构成一个双端子器件

6.7 安全相关认证

VDE	CSA	UL	TUV	CQC
根据 DIN EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17) 进行了认证	根据 IEC 62368-1、IEC 61010-1 和 IEC 60601-1 进行了认证	根据 UL 1577 组件认证计划进行了认证	根据 EN 61010-1 和 EN 62368-1 进行了认证	根据 GB 4943.1 进行了认证
证书编号： 40040142 (增强型) 40047657 (基础型)	主合同编号：220991	文件编号：E181974	客户端 ID 编号：77311	证书编号：CQC21001297517

6.8 安全限值

安全限制旨在最大限度地减小在发生输入或输出电路故障时对隔离栅的潜在损害。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I _S	安全输入、输出或电源电流 ⁽¹⁾	R _{θJA} = 68.5°C/W, V _I = 5.5V, T _J = 150°C, T _A = 25°C, 请参阅图 6-1			332	mA
		R _{θJA} = 68.5°C/W, V _I = 3.6V, T _J = 150°C, T _A = 25°C, 请参阅图 6-1			507	
P _S	安全输入、输出或总功率 ⁽¹⁾	R _{θJA} = 68.5°C/W, T _J = 150°C, T _A = 25°C, 请参阅图 6-2			1826	mW
T _S	安全温度 ⁽¹⁾				150	°C

- (1) 最高安全温度 T_S 与器件指定的最大结温 T_J 的值相同。I_S 和 P_S 参数分别表示安全电流和安全功率。不应超过 I_S 和 P_S 的最大限值。这些限值随着环境温度 T_A 的变化而变化。

热性能信息表中的结至空气热阻 R_{θJA} 是安装在引线式表面贴装封装高 K 测试板上的器件热阻。可使用以下公式计算各参数值：

T_J = T_A + R_{θJA} × P, 其中, P 为器件所耗功率。

T_{J(max)} = T_S = T_A + R_{θJA} × P_S, 其中, T_{J(max)} 为允许的最大结温。

P_S = I_S × V_I, 其中, V_I 为最大输入电压。

6.9 电气特性

在建议运行条件下测得，典型值在 $V_{DD} = V_{IO} = 3.3V$ 且 $T_A = 25^\circ C$ ， $GND1 = GNDIO$ ， $GND2 = GISOIN$ 的条件下测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
器件						
V_{ISOOUT}	隔离输出电源电压	MODE=GND2、DE=GND1、D、 $\overline{RE}$ 且 IN 悬空	3.135	3.3V	3.465	V
	隔离输出电源电压	MODE= V_{ISOOUT} 、DE=GND1、D、 $\overline{RE}$ 且 IN 悬空	4.75	5	5.25	V
V_{OH}	OUT 引脚上的输出高电压	$V_{IO} = 5V \pm 10\%$ ， $I_{OH} = -4mA$ ， $IN = V_{ISOIN}$	$V_{IO} - 0.4$			V
	OUT 引脚上的输出高电压	$V_{IO} = 3.3V \pm 10\%$ ， $I_{OH} = -2mA$ ， $IN = V_{ISOIN}$	$V_{IO} - 0.3$			V
	OUT 引脚上的输出高电压	$V_{IO} = 2.5V \pm 10\%$ ， $I_{OH} = -1mA$ ， $IN = V_{ISOIN}$	$V_{IO} - 0.2$			V
	OUT 引脚上的输出高电压	$V_{IO} = 1.8V \pm 5\%$ ， $I_{OH} = -1mA$ ， $IN = V_{ISOIN}$	$V_{IO} - 0.2$			V
V_{OL}	OUT 引脚上的输出低电压	$V_{IO} = 5V \pm 10\%$ ， $I_{OL} = 4mA$ ， $IN = GND2$			0.4	V
	OUT 引脚上的输出低电压	$V_{IO} = 3.3V \pm 10\%$ ， $I_{OL} = 2mA$ ， $IN = GND2$			0.3	V
	OUT 引脚上的输出低电压	$V_{IO} = 2.5V \pm 10\%$ ， $I_{OL} = 1mA$ ， $IN = GND2$			0.2	V
	OUT 引脚上的输出低电压	$V_{IO} = 1.8V \pm 5\%$ ， $I_{OL} = 1mA$ ， $IN = GND2$			0.2	V
I_I	输入电流，IN	0V 或 V_{ISOIN} 时的 IN	-25		25	μA
I_I	输入电流，EN	0V 或 V_{IO} 时的 EN	-25		25	μA
$ CM_H $	高电平共模瞬态抗扰度	驱动器和接收器路径， $V_{CM} = 1000V$ ，请参阅图 7-4		100		kV/ μs
$ CM_L $	低电平共模瞬态抗扰度	驱动器和接收器路径， $V_{CM} = 1000V$ ，请参阅图 7-4		100		kV/ μs
驱动器						
$ V_{OD} $	差分输出电压幅度	空载总线， $V_{DD} = 3V$ 至 $3.6V$ (MODE = GND2) 或 $4.5V$ 至 $5.5V$ (MODE = V_{ISOOUT})	1.5		V_{ISOIN}	V
		$R_L = 60\Omega$ ， $-7V \leq V_{TEST} \leq 12V$ (请参阅图 7-1)， $V_{DD} = 3V$ 至 $3.6V$ ，MODE = GND2	1.5		V_{ISOIN}	
		$R_L = 100\Omega$ (请参阅图 7-2) (RS-422 负载)， $V_{DD} = 3V$ 至 $3.6V$ ，MODE = GND2	2		V_{ISOIN}	
		$R_L = 54\Omega$ (请参阅图 7-2) (RS-485 负载)， $V_{DD} = 3V$ 至 $3.6V$ ，MODE = GND2	1.5		V_{ISOIN}	
$ V_{OD} $	差分输出电压幅度	$R_L = 54\Omega$ ， $V_{DD} = 4.5V$ 至 $5.5V$ ，MODE = V_{ISOOUT} ，请参阅图 7-2	2.1		V_{ISOIN}	V
$ V_{OD} $	差分输出电压幅度	$R_L = 100\Omega$ (请参阅图 7-2) (RS-422 负载)， $V_{DD} = 4.5V$ 至 $5.5V$ ，MODE = V_{ISOOUT}	2.1		V_{ISOIN}	V
$ V_{OD} $	差分输出电压幅度	$R_L = 60\Omega$ ， $-7V \leq V_{TEST} \leq 12V$ (请参阅图 7-1)， $V_{DD} = 4.5V$ 至 $5.5V$ ，MODE = V_{ISOOUT}	2.1		V_{ISOIN}	V
$\Delta V_{OD} $	两个状态之间的差分输出电压变化	$R_L = 54\Omega$ 或 100Ω (请参阅图 7-2)	-200		200	mV
V_{OC}	共模输出电压	$R_L = 54\Omega$ 或 100Ω (请参阅图 7-2)	1	$0.5 \times V_{ISOIN}$	3	V
$\Delta V_{OC(SS)}$	两个状态之间的稳态共模输出电压变化	$R_L = 54\Omega$ 或 100Ω (请参阅图 7-2)	-200		200	mV
$V_{OC(PP)}$	峰峰值共模输出电压	$R_L = 54\Omega$ 或 100Ω ， $V_{ISOIN} = V_{ISOOUT} = 3.3V$ ，请参阅图 7-2		400		mV
I_{OS}	短路输出电流	$V_{DE} = V_{IO}$ ， $V_D = V_{IO}$ 或 GND1， $-7V \leq Y$ 或 $Z \leq 12V$ ，或 Y 短接至 Z，请参阅图 7-10		180		mA

在建议运行条件下测得，典型值在 $V_{DD} = V_{IO} = 3.3V$ 且 $T_A = 25^\circ C$ ， $GND1 = GNDIO$ ， $GND2 = GISOIN$ 的条件下测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I _I	输入电流，D、DE	0V 或 V _{IO} 时的 V _D 、V _{DE}	-25		25	μA
接收器						
I _{I1}	总线输入电流	V _{DE} = 0V，V _{ISOIN} = 0V、3.3V 或 5V，ISOW1412 or ISOW1432，V _A 或 V _B = -7V 至 12V，0V 时的其他输入	-100		125	μA
V _{TH+}	正向输入阈值电压	-7V ≤ V _{CM} ≤ 12V	请参阅 ⁽¹⁾	-78	-20	mV
V _{TH-}	负向输入阈值电压	-7V ≤ V _{CM} ≤ 12V	-200	-141	请参阅 ⁽¹⁾	mV
V _{hys}	输入迟滞 (V _{TH+} - V _{TH-})	-7V ≤ V _{CM} ≤ 12V	40	63		mV
V _{OH}	R 引脚上的输出高电压	V _{IO} = 5V ± 10%，I _{OH} = -4mA，V _{ID} ≥ 200mV	V _{IO} - 0.4		V	
		V _{IO} = 3.3V ± 10%，I _{OH} = -2mA，V _{ID} ≥ 200mV	V _{IO} - 0.3			
		V _{IO} = 2.5V ± 10%，I _{OH} = -1mA，V _{ID} ≥ 200mV	V _{IO} - 0.2			
		V _{IO} = 1.8V ± 5%，I _{OH} = -1mA，V _{ID} ≥ 200mV	V _{IO} - 0.2			
V _{OL}	R 引脚上的输出低电压	V _{IO} = 5V ± 10%，I _{OL} = 4mA，V _{ID} ≤ -200mV	0.4		V	
		V _{IO} = 3.3V ± 10%，I _{OL} = 2mA，V _{ID} ≤ -200mV	0.3			
		V _{IO} = 2.5V ± 10%，I _{OL} = 1mA，V _{ID} ≤ -200mV	0.2			
		V _{IO} = 1.8V ± 5%，I _{OL} = 1mA，V _{ID} ≤ -200mV	0.2			
I _{OZ}	R 引脚上的输出高阻抗电流	V _R = 0V 或 V _{IO} ，V _{RE} = V _{IO}	-1		1	μA
I _{I(RE)}	RE 引脚上的输入电流	0V 或 V _{IO} 时的 V _{RE}	-25		25	μA

(1) 在任何特定条件下，规定的 V_{TH+} 电压至少应比 V_{TH-} 电压高出 V_{hys} 电压。

6.10 $V_{ISOOUT} = 3.3V$ 下的电源电流特性

在建议的运行条件下测得, $V_{DD} = V_{IO} = 3V$ 至 $5.5V$ 、MODE=GND2、GND1 = GNDIO、GND2 = GISOIN (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
已禁用电源转换器						
I _{DD}	电源转换器电源电流	EN = GND1、D、DE、 $\overline{RE}$ 悬空	0.23	0.45		mA
I _{IO}	逻辑电源电流	EN = GND1、D、DE、 $\overline{RE}$ 悬空	0.24	0.55		mA
电源转换器电源电流：驱动器被启用，接收器被禁用						
I _{DD}	电源转换器电源电流	V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 120 Ω , V _D = V _{IO} , V _{DD} = 5V ± 10%, A 和 B 悬空	56	77		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 120 Ω , V _D = V _{IO} , V _{DD} = 3.3V ± 10%, A 和 B 悬空	69	125		mA
I _{DD}	电源转换器电源电流，ISOW1412	V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 120 Ω 50pF, D = 500kbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10%	62	86		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 100 Ω 50pF, D = 500kbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10%	69	88		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 54 Ω 50pF, D = 500kbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10%	90	122		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 120 Ω 50pF, D = 500kbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 3.3V ± 10%	76	131		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 100 Ω 50pF, D = 500kbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 3.3V ± 10%	84	131		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 54 Ω 50pF, D = 500kbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 3.3V ± 10%	111	158		mA
I _{DD}	电源转换器电源电流，ISOW1432	V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 120 Ω 50pF, D = 12Mbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10%	87	99		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 100 Ω 50pF, D = 12Mbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10%	69	96		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 54 Ω 50pF, D = 12Mbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10%	114	130		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 120 Ω 50pF, D = 12Mbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 3.3V ± 10%	105	135		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 100 Ω 50pF, D = 12Mbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 3.3V ± 10%	84	140		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 54 Ω 50pF, D = 12Mbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 3.3V ± 10%	137	163		mA
电源转换器电源电流：驱动器被禁用，接收器被启用						
I _{DD}	电源转换器电源电流，ISOW1412	V _{DE} = V _{GND1} , V _{RE} = V _{GND1} , Y 和 Z 总线已加载且空载，A-B = 方波 500kbps 50% 占空比 V _D = V _{GND1} , V _{DD} = 5V ± 10%，R 上的 C _L = 15pF	16	28		mA
		V _{DE} = V _{GND1} , V _{RE} = V _{GND1} , Y 和 Z 总线已加载且空载，A-B = 方波 500kbps 50% 占空比 V _D = V _{GND1} , V _{DD} = 3.3V ± 10%，R 上的 C _L = 15pF	18	30		
I _{DD}	电源转换器电源电流，ISOW1432	V _{DE} = V _{GND1} , V _{RE} = V _{GND1} , Y 和 Z 总线已加载且空载，A-B = 方波 12Mbps 50% 占空比 V _D = V _{GND1} , V _{DD} = 5V ± 10%，R 上的 C _L = 15pF	15	22		mA
		V _{DE} = V _{GND1} , V _{RE} = V _{GND1} , Y 和 Z 总线已加载且空载，A-B = 方波 12Mbps 50% 占空比 V _D = V _{GND1} , V _{DD} = 3.3V ± 10%，R 上的 C _L = 15pF	17	27		
电源转换器电源电流：驱动器已使能，接收器已使能						

在建议的运行条件下测得， $V_{DD} = V_{IO} = 3V$ 至 $5.5V$ 、MODE=GND2、GND1 = GNDIO、GND2 = GISOIN (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I _{DD}	电源转换器电源电流，ISOW1412	V _{DE} = V _{IO} ，V _{RE} = V _{GND1} ，Y 和 Z 总线负载 = 120 Ω 50pF，环回 ⁽¹⁾ ，D = 500kbps 50% 占空比，V _{DD} = 5V ± 10%，R 上的 C _L = 15pF		63	102	mA
		V _{DE} = V _{IO} ，V _{RE} = V _{GND1} ，Y 和 Z 总线负载 = 120 Ω 50pF，环回 ⁽¹⁾ ，D = 500kbps 50% 占空比，V _{DD} = 3.3V ± 10%，R 上的 C _L = 15pF		77	129	
I _{DD}	电源转换器电源电流，ISOW1432	V _{DE} = V _{IO} ，V _{RE} = V _{GND1} ，Y 和 Z 总线负载 = 120 Ω 50pF，环回 ⁽¹⁾ ，D = 12Mbps 50% 占空比，V _{DD} = 5V ± 10%，R 上的 C _L = 15pF		90	105	mA
		V _{DE} = V _{IO} ，V _{RE} = V _{GND1} ，Y 和 Z 总线负载 = 120 Ω 50pF，环回 ⁽¹⁾ ，D = 12Mbps 50% 占空比，V _{DD} = 3.3V ± 10%，R 上的 C _L = 15pF		109	138	
逻辑电源电流：驱动器已禁用，接收器已禁用						
I _{IO}	逻辑电源电流	V _{DE} = V _{GND1} ，V _{RE} = V _{IO} ，V _D = V _{IO} ，V _{IO} = 3.3V ± 10%		3.2	6.0	mA
逻辑电源电流：驱动器已使能，接收器已使能，静态						
I _{IO}	逻辑电源电流	V _{DE} = V _{IO} ，V _{RE} = V _{GND1} ，V _D = V _{IO} ，环回 ⁽¹⁾ ，V _{IO} = 3.3V ± 10%		4	6.8	mA
逻辑电源电流：驱动器已使能，接收器已使能，动态						
I _{IO}	逻辑电源电流，ISOW1412	V _{DE} = V _{IO} ，V _{RE} = V _{GND1} ，D = 500kbps 50% 占空比方波，环回 ⁽¹⁾ ，V _{IO} = 3.3V ± 10%		4.6	7.2	mA
I _{IO}	逻辑电源电流，ISOW1432	V _{DE} = V _{IO} ，V _{RE} = V _{GND1} ，D = 12Mbps 50% 占空比方波，环回 ⁽¹⁾ ，V _{IO} = 3.3V ± 10%		4.6	7.2	mA

(1) 在环回模式下，驱动器的输出端连接到接收器的输入端。

6.11 $V_{ISOOUT} = 5V$ 下的电源电流特性

在建议的运行条件下测得, $V_{DD} = V_{IO} = 4.5V$ 至 $5.5V$ 、 $MODE = V_{ISOOUT}$ 、 $GND1 = GNDIO$ 、 $GND2 = GISOIN$ (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
已禁用电源转换器						
I _{DD}	电源转换器电源电流	EN = GND1、D、DE、 $\overline{RE}$ 悬空	0.23	0.45		mA
I _{IO}	逻辑电源电流	EN = GND1、D、DE、 $\overline{RE}$ 悬空	0.24	0.55		mA
电源转换器电源电流：驱动器被启用，接收器被禁用						
I _{DD}	电源转换器电源电流	V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 120 Ω , V _D = V _{IO} , V _{DD} = 5V ± 10% , A 和 B 悬空	97	160		mA
I _{DD}	电源转换器电源电流，ISOW1412	V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 120 Ω 50pF , D = 500kbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10%	123	161		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 54 Ω 50pF , D = 500kbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10%	175	227		mA
I _{DD}	电源转换器电源电流，ISOW1432	V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 120 Ω 50pF , D = 12Mbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10%	146	185		mA
		V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{IO} , 总线负载 = 54 Ω 50pF , D = 12Mbps 方波 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10%	202	240		mA
电源转换器电源电流：驱动器被禁用，接收器被启用						
I _{DD}	电源转换器电源电流	V _{DE} = V _{GND1} , V _{RE} = V _{GND1} , Y 和 Z 总线已加载且空载, A-B = 方波 500kbps 50% 占空比 V _D = V _{IO} , V _{DD} = 5V ± 10% , R 上的 C _L = 15pF	17	31		mA
I _{DD}	电源转换器电源电流	V _{DE} = V _{GND1} , V _{RE} = V _{GND1} , Y 和 Z 总线已加载且空载, A-B = 方波 12Mbps 50% 占空比 (ISOW1432) V _D = V _{IO} , V _{DD} = 5V ± 10% , R 上的 C _L = 15pF	24	36		mA
电源转换器电源电流：驱动器已使能，接收器已使能						
I _{DD}	电源转换器电源电流，ISOW1412	V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{GND1} , Y 和 Z 总线负载 = 120 Ω 50pF , 环回 ⁽¹⁾ , D = 500kbps 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10% , R 上的 C _L = 15pF	123	207		mA
I _{DD}	电源转换器电源电流，ISOW1432	V _{DE} = V _{IO} , V _{RE} = V _{GND1} , Y 和 Z 总线负载 = 120 Ω 50pF , 环回 ⁽¹⁾ , D = 12Mbps 50% 占空比, V _{DD} = 5V ± 10% , R 上的 C _L = 15pF	145	210		mA

(1) 在环回模式下，驱动器的输出端连接到接收器的输入端。

6.12 $V_{ISOOUT} = 3.3V$ 时的开关特性

最小值/最大值规格是在建议运行条件下测得，典型值是在 $V_{DD} = V_{IO} = 3.3V$ 、MODE = GND2 ($V_{ISOOUT} = 3.3V$)、GND1 = GNDIO、GND2 = GISOIN、 $T_A = 25^\circ C$ 条件下测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
驱动器：500-kbps 器件 (ISOW1412)						
t_r, t_f	差分输出上升时间和下降时间	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3	190	300	600	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	传播延迟	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		450	610	ns
PWD	脉宽失真 ⁽¹⁾ , $ t_{PHL} - t_{PLH} $	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		3	40	ns
t_{PHZ} , t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		56	200	ns
t_{PZH} , t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		280	600	ns
接收器：500-kbps 器件 (ISOW1412)						
t_r, t_f	输出上升时间和下降时间	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7			4	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	传播延迟	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		60	135	ns
PWD	脉宽失真 ⁽¹⁾ , $ t_{PHL} - t_{PLH} $	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		2	15	ns
t_{PHZ} , t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		9	30	ns
t_{PZH} , t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		8	30	ns
驱动器：12Mbps 器件 (ISOW1432)						
t_r, t_f	差分输出上升时间和下降时间	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3	6	15	25	ns
t_{PHL}	传播延迟	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		49	125	ns
t_{PLH}	传播延迟	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		49	125	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	传播延迟	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		52	125	ns
PWD	脉宽失真 ⁽¹⁾ , $ t_{PHL} - t_{PLH} $	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		1	10	ns
t_{PHZ}	禁用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		35	125	ns
t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		35	125	ns
t_{PHZ} , t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		36	125	ns
t_{PZH}	启用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		46	150	ns
t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		36	150	ns
t_{PZH} , t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		48	110	ns
接收器：12Mbps 器件 (ISOW1432)						
t_r, t_f	输出上升时间和下降时间	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7			4	ns
t_{PHL}	传播延迟	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		59	120	ns
t_{PLH}	传播延迟	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		59	120	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	传播延迟	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		42	120	ns
PWD	脉宽失真 ⁽¹⁾ , $ t_{PHL} - t_{PLH} $	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		1.7	10	ns
t_{PHZ}	禁用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		7	30	ns
t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		6	30	ns
t_{PHZ} , t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		9	30	ns
t_{PZH}	启用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		6	30	ns

最小值/最大值规格是在建议运行条件下测得，典型值是在 $V_{DD} = V_{IO} = 3.3V$ 、MODE = GND2 ($V_{ISOOUT} = 3.3V$)、GND1 = GNDIO、GND2 = GISOIN、 $T_A = 25^\circ C$ 条件下测得 (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		5	30	ns
t_{PZH} , t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		8	30	ns
GPIO 通道						
t_{PHL} , t_{PLH}	传播延迟时间	请参阅图 7-11		227	347	ns
PWD	脉宽失真, $ t_{PHL} - t_{PLH} $			20	110	ns
t_r	输出信号上升时间			1	4	ns
t_f	输出信号下降时间			1	4	ns

(1) 也称为脉冲偏斜。

6.13 $V_{ISOOUT} = 5V$ 时的开关特性

最小值/最大值规格是在建议运行条件下测得，典型值是在 $V_{DD} = V_{IO} = 5V$ 、 $MODE = V_{ISOOUT}$ ($V_{ISOOUT} = 5V$)、 $GND1 = GNDIO$ 、 $GND2 = GISOIN$ 、 $T_A = 25^\circ C$ 条件下测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
驱动器：500-kbps 器件 (ISOW1412)						
t_r, t_f	差分输出上升时间和下降时间	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3	200	300	600	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	传播延迟	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		400	610	ns
PWD	脉宽失真 ⁽¹⁾ , $ t_{PHL} - t_{PLH} $	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		2	40	ns
t_{PHZ} , t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		30	200	ns
t_{PZH} , t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		115	600	ns
接收器：500-kbps 器件 (ISOW1412)						
t_r, t_f	输出上升时间和下降时间	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7			4	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	传播延迟	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		49	135	ns
PWD	脉宽失真 ⁽¹⁾ , $ t_{PHL} - t_{PLH} $	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		2	20	ns
t_{PHZ} , t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		8	30	ns
t_{PZH} , t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		7	30	ns
驱动器：12Mbps 器件 (ISOW1432)						
t_r, t_f	差分输出上升时间和下降时间	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3	4	10	18	ns
t_{PHL}	传播延迟	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		40	125	ns
t_{PLH}	传播延迟	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		40	125	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	传播延迟	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		40	125	ns
PWD	脉宽失真 ⁽¹⁾ , $ t_{PHL} - t_{PLH} $	$R_L = 54\ \Omega$, $C_L = 50pF$, 请参阅图 7-3		2	10	ns
t_{PHZ}	禁用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		30	125	ns
t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		30	125	ns
t_{PHZ} , t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		28	40	ns
t_{PZH}	启用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		34	150	ns
t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		25	150	ns
t_{PZH} , t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-5 和图 7-6		33	150	ns
接收器：12Mbps 器件 (ISOW1432)						
t_r, t_f	输出上升时间和下降时间	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7			6	ns
t_{PHL}	传播延迟	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		55	120	ns
t_{PLH}	传播延迟	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		55	120	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	传播延迟	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		52	120	ns
PWD	脉宽失真 ⁽¹⁾ , $ t_{PHL} - t_{PLH} $	$C_L = 15pF$, 请参阅图 7-7		2.5	10	ns
t_{PHZ}	禁用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		5	30	ns
t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		5	30	ns
t_{PHZ} , t_{PLZ}	禁用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		8	30	ns
t_{PZH}	启用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		4	30	ns

最小值/最大值规格是在建议运行条件下测得，典型值是在 $V_{DD} = V_{IO} = 5V$ 、 $MODE = V_{ISOOUT}$ ($V_{ISOOUT} = 5V$)、 $GND1 = GNDIO$ 、 $GND2 = GISOIN$ 、 $T_A = 25^\circ C$ 条件下测得 (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		4	30	ns
t_{PZH} , t_{PZL}	启用时间	请参阅图 7-8 和图 7-9		7	30	ns
GPIO 通道						
t_{PHL} , t_{PLH}	传播延迟时间	请参阅图 7-11		227	347	ns
PWD	脉宽失真, $ t_{PHL} - t_{PLH} $			20	110	ns
t_r	输出信号上升时间			2.2	4	ns
t_f	输出信号下降时间			2.2	4	ns

(1) 也称为脉冲偏斜。

6.14 绝缘特性曲线

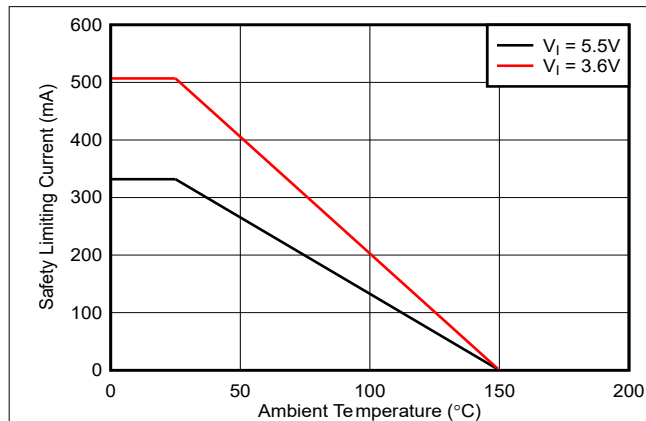


图 6-1. 根据 VDE 标准限制电流的热降额曲线

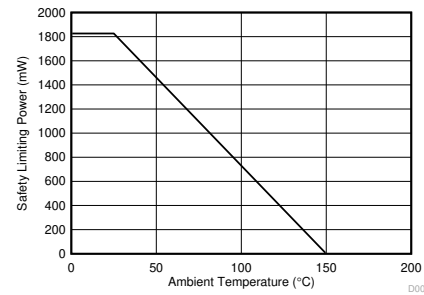


图 6-2. 根据 VDE 标准限制功率的热降额曲线

6.15 典型特性

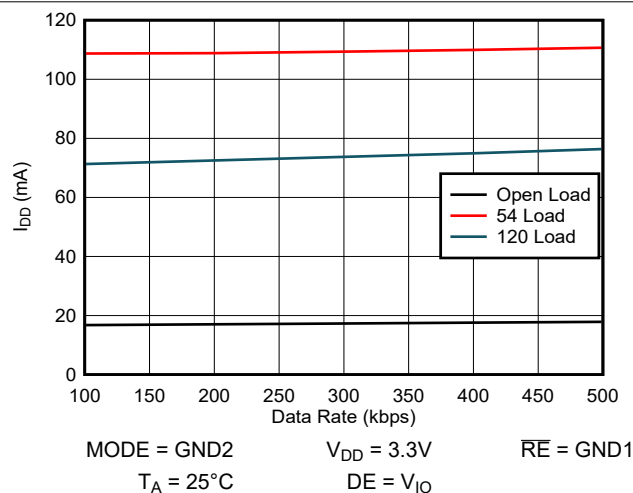


图 6-3. ISOW1412 V_{DD} 电源电流与数据速率间的关系 - RS485 模式

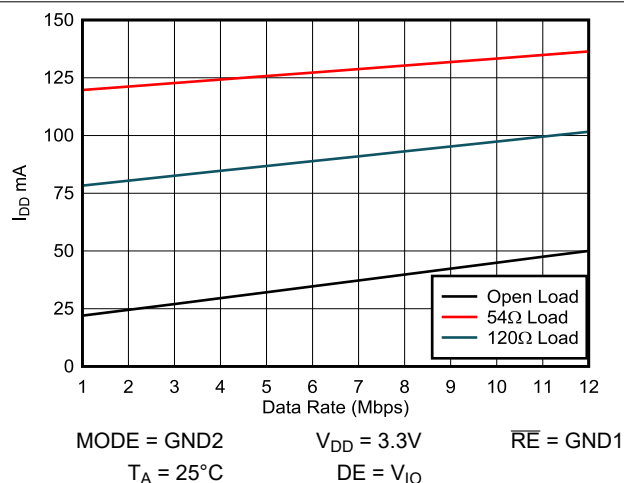


图 6-4. ISOW1432 V_{DD} 电源电流与数据速率间的关系 - RS485 模式

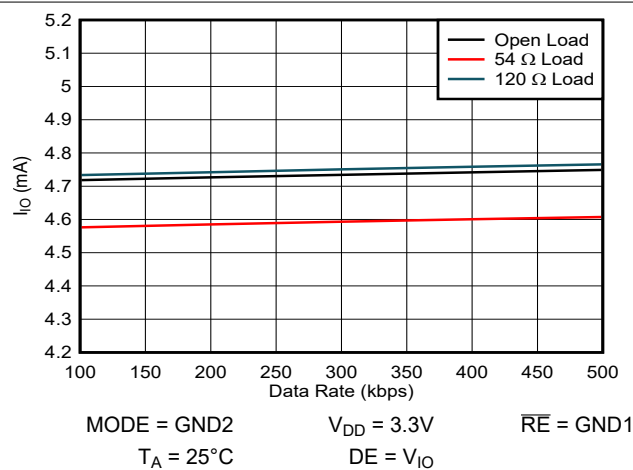


图 6-5. ISOW1412 V_{IO} 电源电流与数据速率间的关系 - RS485 模式

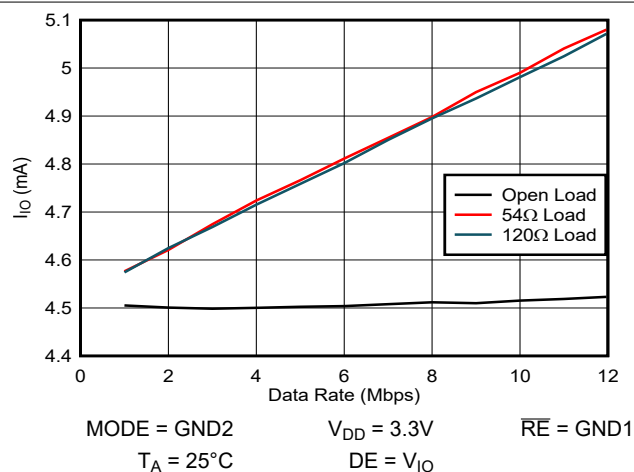


图 6-6. ISOW1432 V_{IO} 电源电流与数据速率间的关系 - RS485 模式

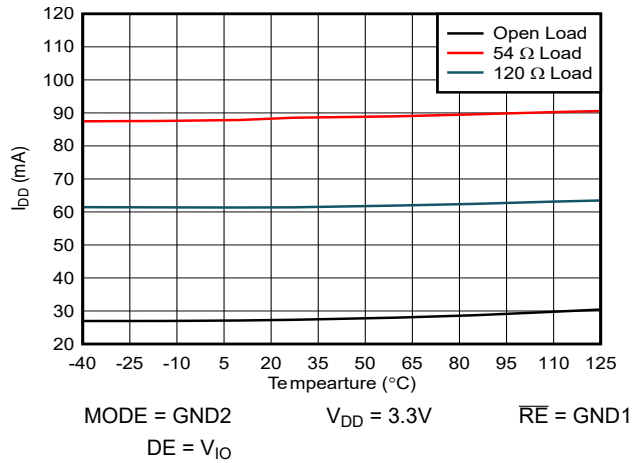


图 6-7. ISOW1412 V_{DD} 电流与温度间的关系 - RS485 模式

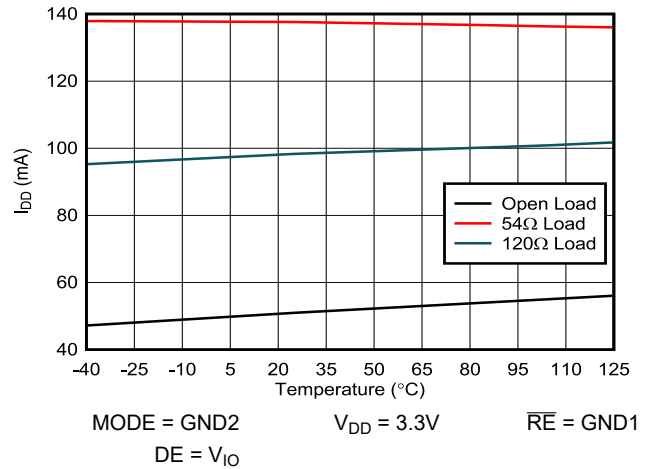


图 6-8. ISOW1432 V_{DD} 电流与温度间的关系 - RS485 模式

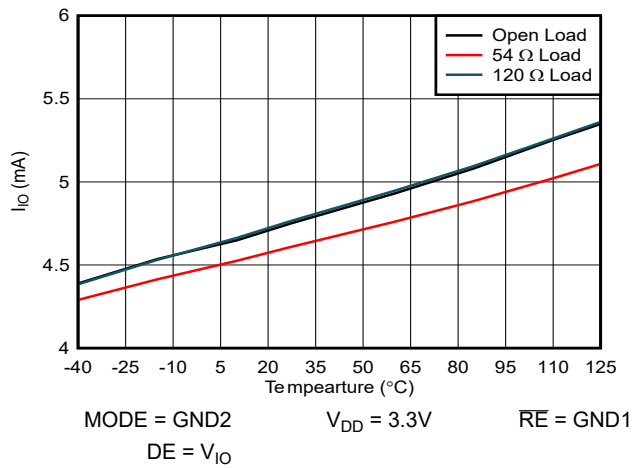


图 6-9. ISOW1412 V_{IO} 电流与温度间的关系 - RS485 模式

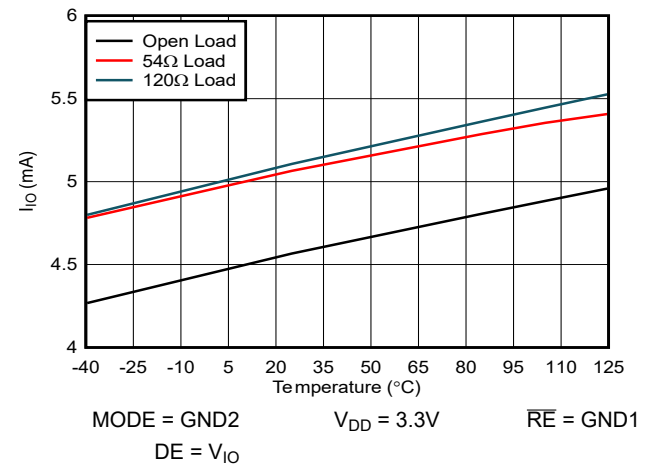


图 6-10. ISOW1432 V_{IO} 电流与温度间的关系 - RS485 模式

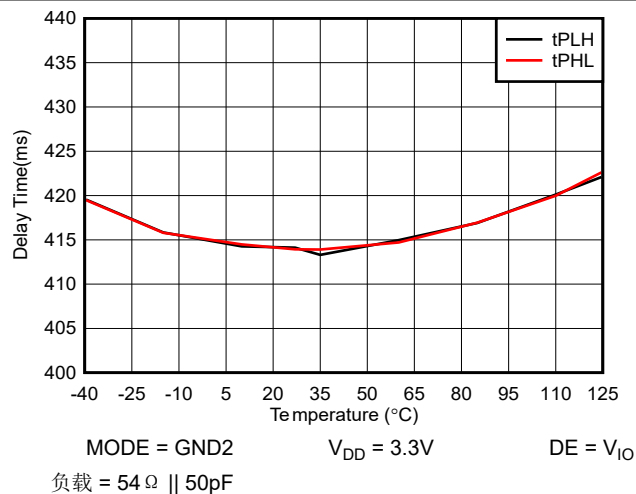


图 6-11. ISOW1412 驱动器传播延迟与温度间的关系 — RS485 模式

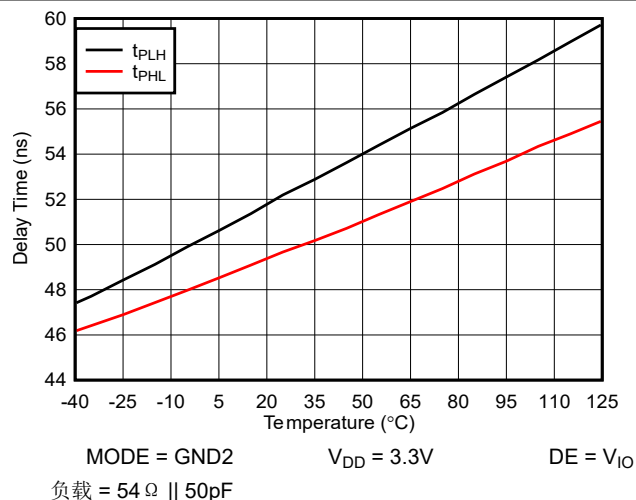


图 6-12. ISOW1432 驱动器传播延迟与温度间的关系 — RS485 模式

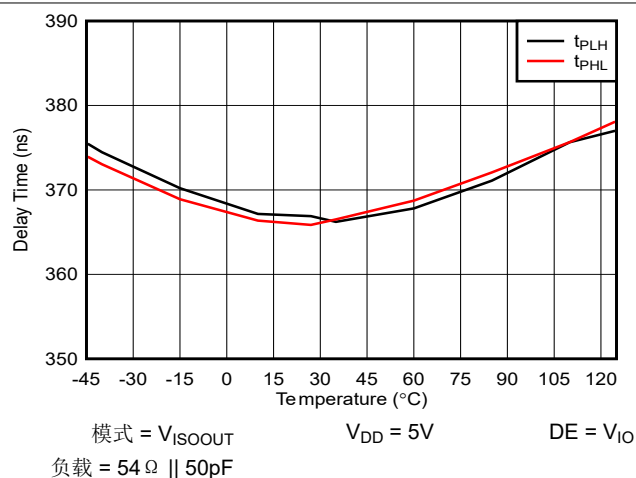


图 6-13. ISOW1412 驱动器传播延迟与温度间的关系 — Profibus 模式

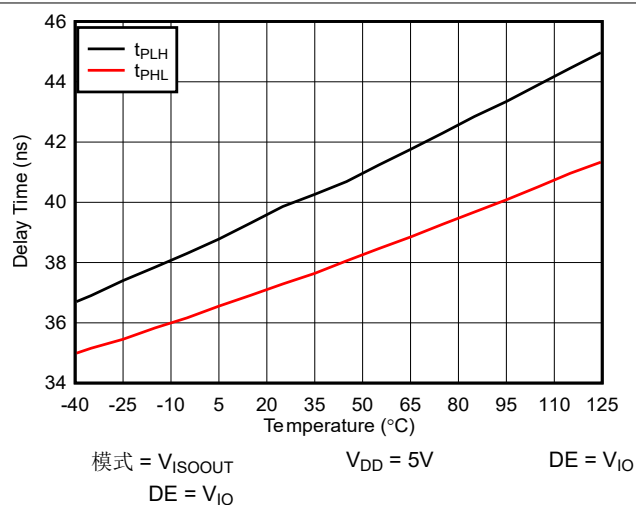


图 6-14. ISOW1432 驱动器传播延迟与温度间的关系 — Profibus 模式

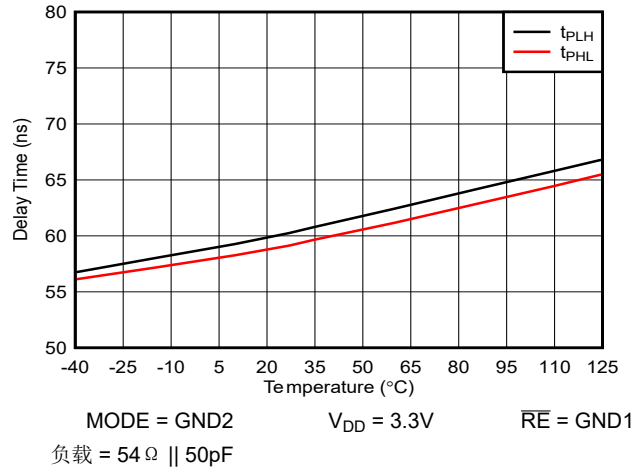


图 6-15. ISOW1412 接收器传播延迟与温度间的关系 — RS485 模式

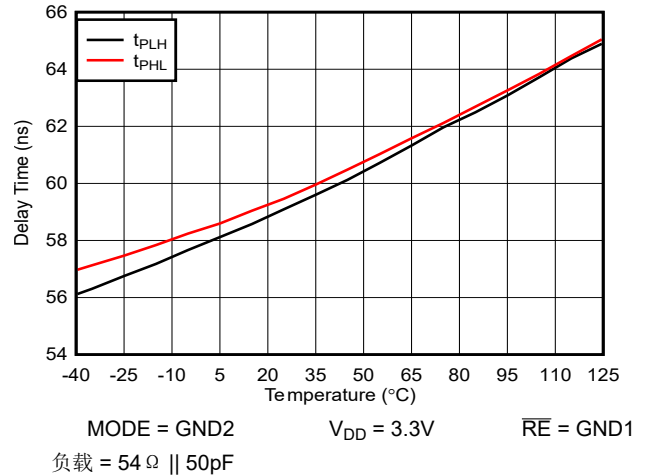


图 6-16. ISOW1432 接收器传播延迟与温度间的关系 — RS485 模式

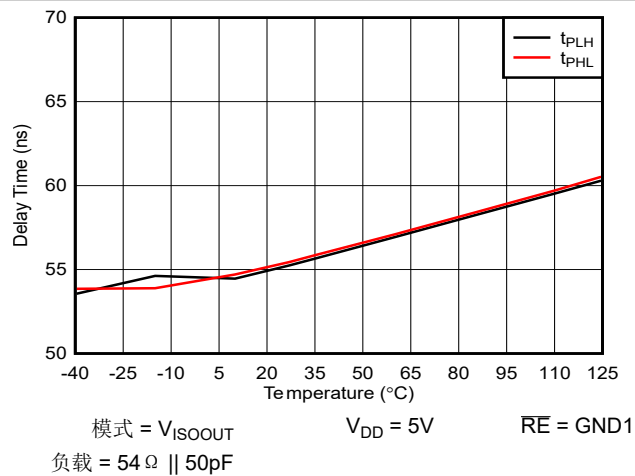


图 6-17. ISOW1412 接收器传播延迟与温度间的关系 — Profibus 模式

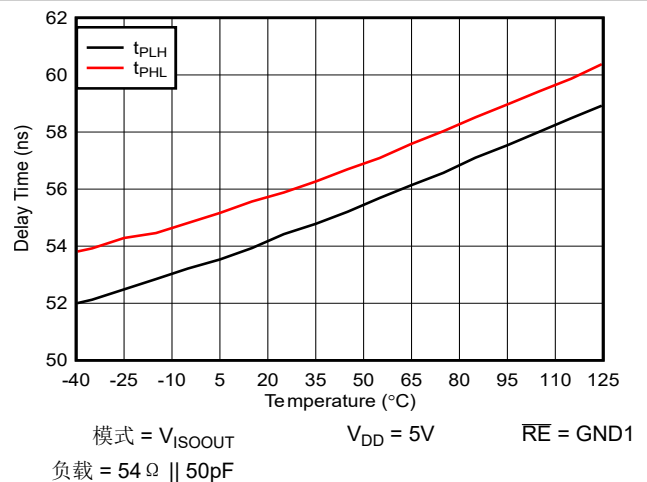
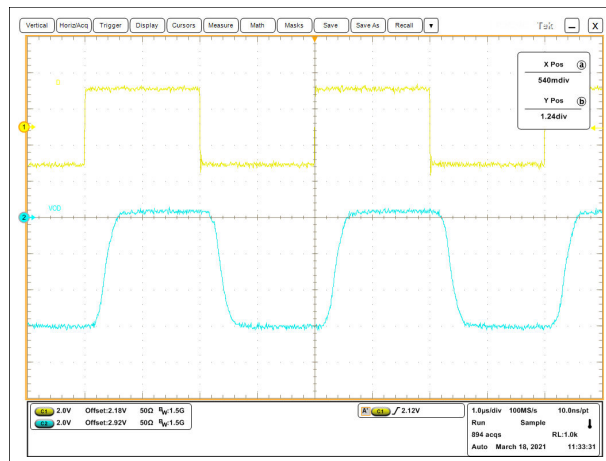
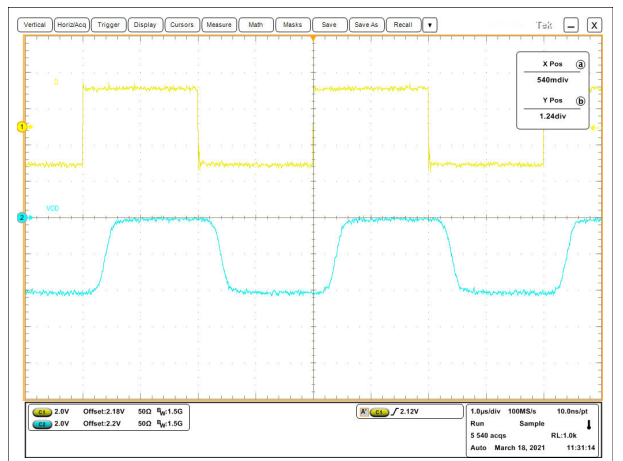


图 6-18. ISOW1432 接收器传播延迟与温度间的关系 — Profibus 模式



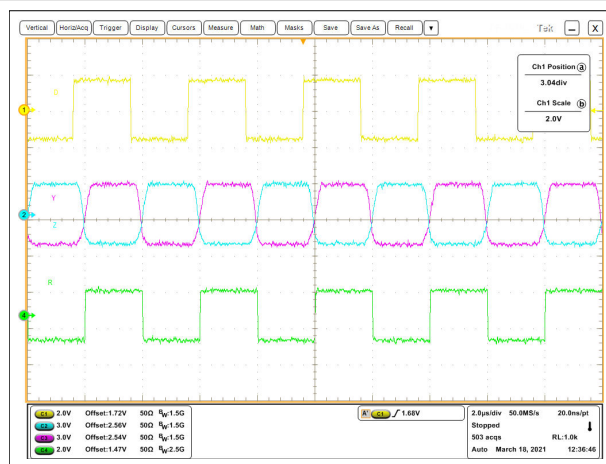
模式 = V_{ISOOUT} $V_{DD} = 5V$ $DE = V_{IO}$
负载 = $54\Omega \parallel 50pF$ $T_A = 25^\circ C$

图 6-19. ISOW1412 驱动器传播延迟 — Profibus 模式



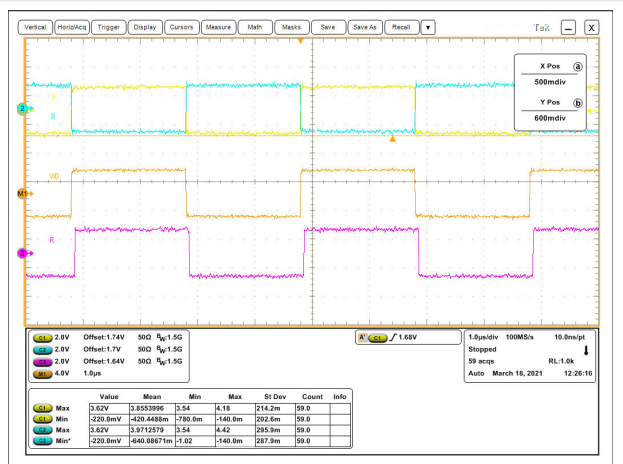
MODE = GND2 $V_{DD} = 3.3V$ $DE = V_{IO}$
负载 = $54\Omega \parallel 50pF$ $T_A = 25^\circ C$

图 6-20. ISOW1412 驱动器传播延迟 — RS485 模式



模式 = V_{ISOOUT} $V_{DD} = 5V$ $RE = GND1$
负载 = $54\Omega \parallel 50pF$ $T_A = 25^\circ C$

图 6-21. ISOW1412 接收器传播延迟 — Profibus 模式



MODE = GND2 $V_{DD} = 3.3V$ $RE = GND1$
负载 = $54\Omega \parallel 50pF$ $T_A = 25^\circ C$

图 6-22. ISOW1412 接收器传播延迟 — RS485 模式

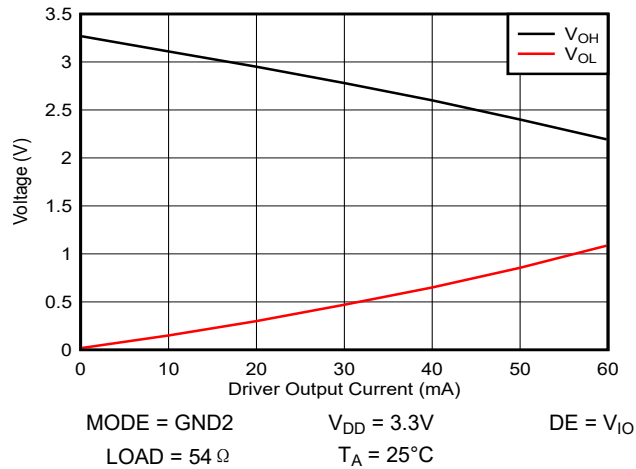


图 6-23. ISOW1412 驱动器输出电压与驱动器输出电流间的关系 - RS485 模式

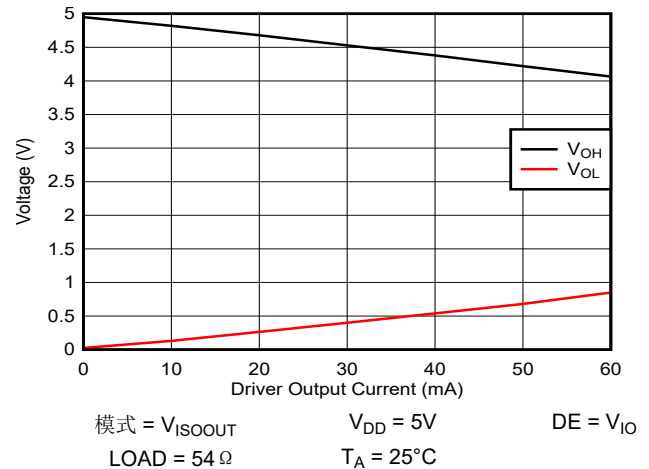


图 6-24. ISOW1412 驱动器输出电压与驱动器输出电流间的关系 - Profibus 模式

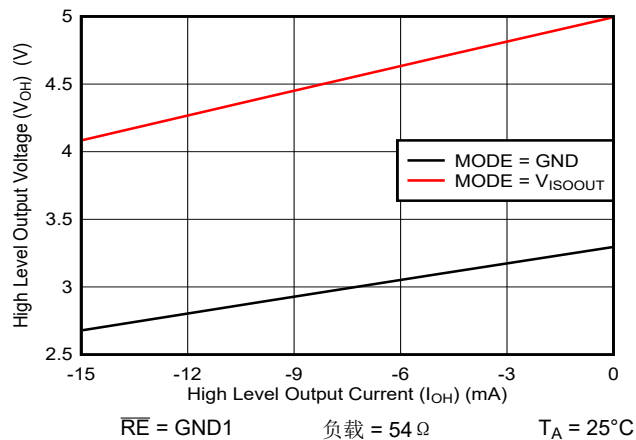


图 6-25. ISOW1412 接收器缓冲器高电平输出电压与高电平输出电流间的关系 — RS485 和 Profibus 模式

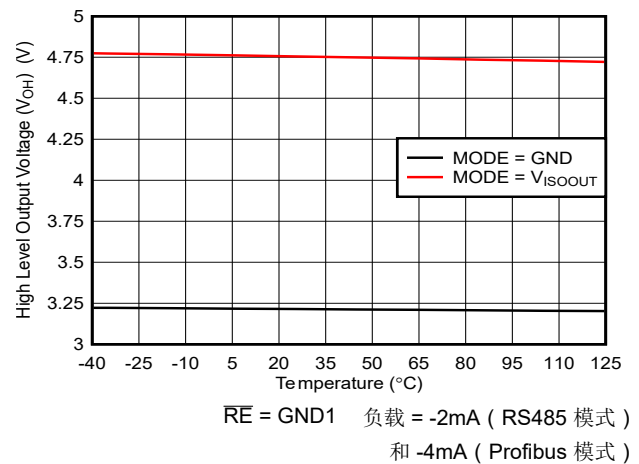


图 6-26. ISOW1412 接收器缓冲器高电平输出电压与温度间的关系 — RS485 和 Profibus 模式

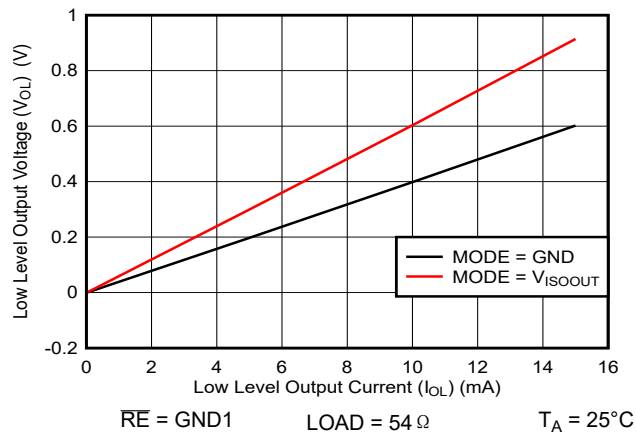


图 6-27. ISOW1412 接收器缓冲器低电平输出电压与低电平输出电流间的关系 — RS485 和 Profibus 模式

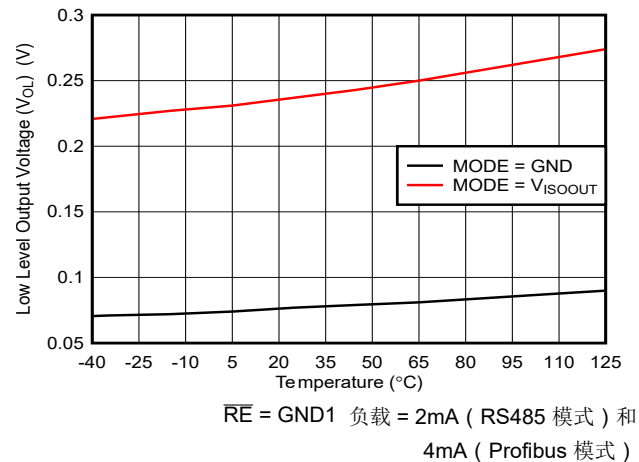


图 6-28. ISOW1412 接收器缓冲器低电平输出电压与温度间的关系 — RS485 和 Profibus 模式

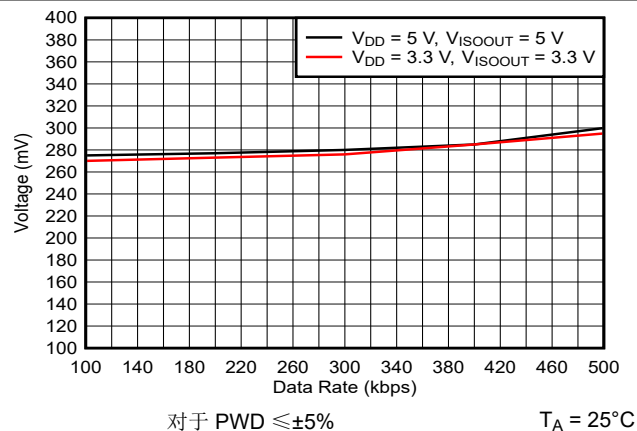


图 6-29. ISOW1412 接收器 V_{ID} 与数据速率间的关系 - RS485 和 Profibus 模式

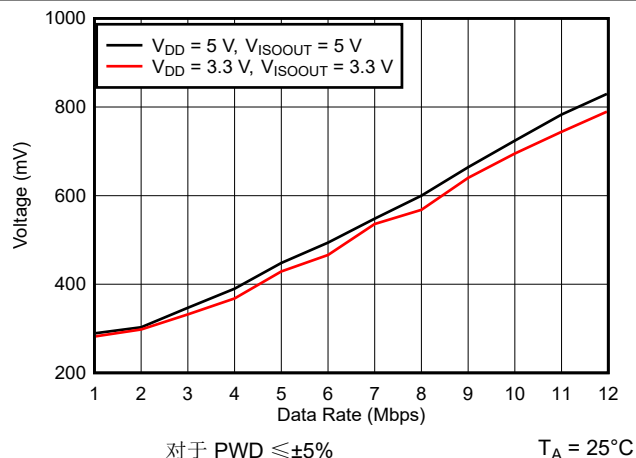
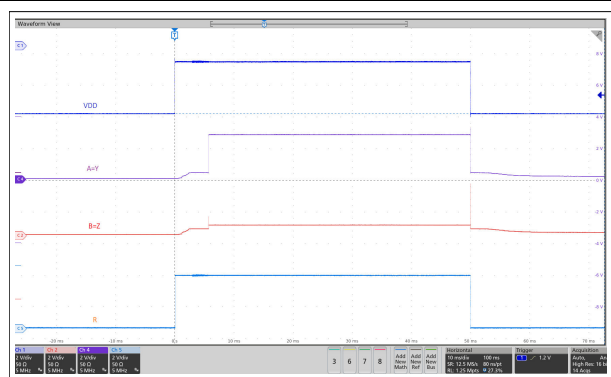
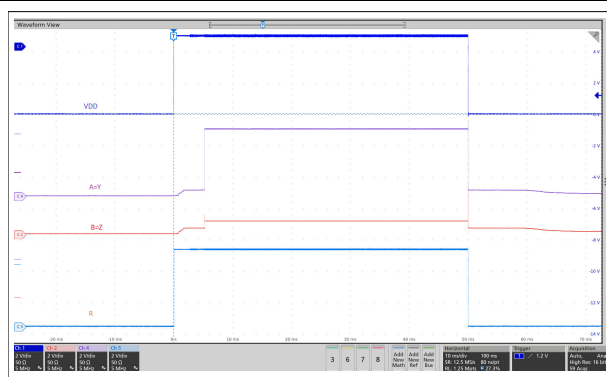


图 6-30. ISOW1432 接收器 V_{ID} 与数据速率间的关系 - RS485 和 Profibus 模式



MODE = GND2 $D = V_{IO}$ $DE = V_{IO}$
RE = GND1 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 负载 = $54\ \Omega \parallel 50\text{pF}$

图 6-31. 上电/断电无干扰 - RS485 模式



模式 = V_{ISOOUT} $D = V_{IO}$ $DE = V_{IO}$
 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 负载 = $54\ \Omega \parallel 50\text{pF}$

图 6-32. 上电/断电无干扰 - Profibus 模式

7 参数测量信息

在本部分中，GND1 = GNDIO、GND2 = GISOIN (除非另有说明)。

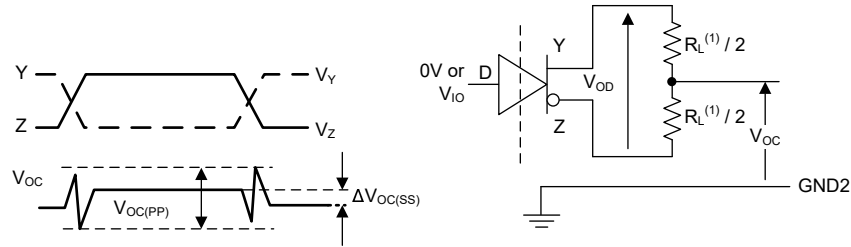
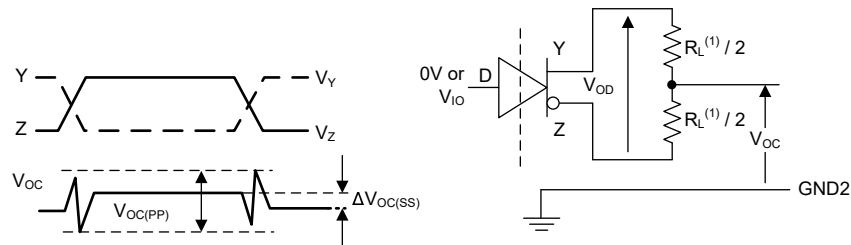
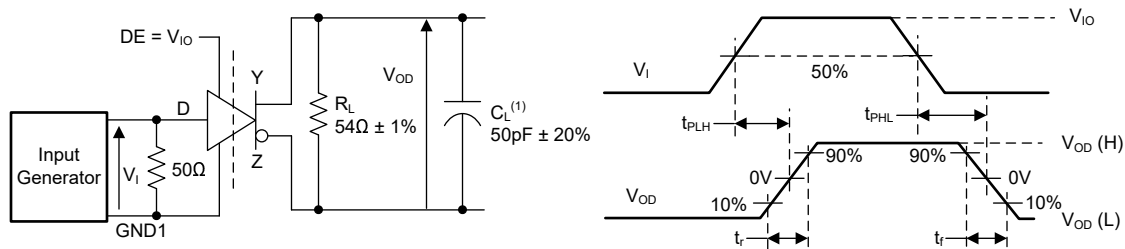


图 7-1. 驱动器电压



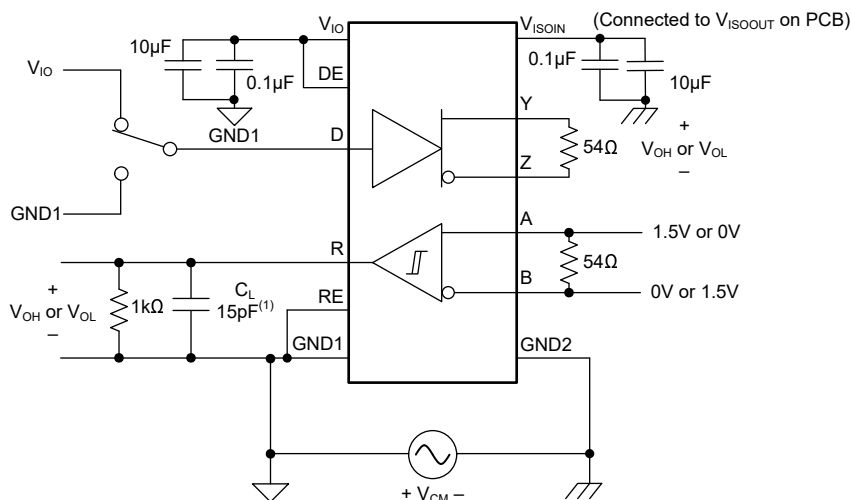
A. 对于 RS-422, $R_L = 100 \Omega$, 对于 RS-485, $R_L = 54 \Omega$

图 7-2. 驱动器电压



A. C_L 包括夹具和仪表电容

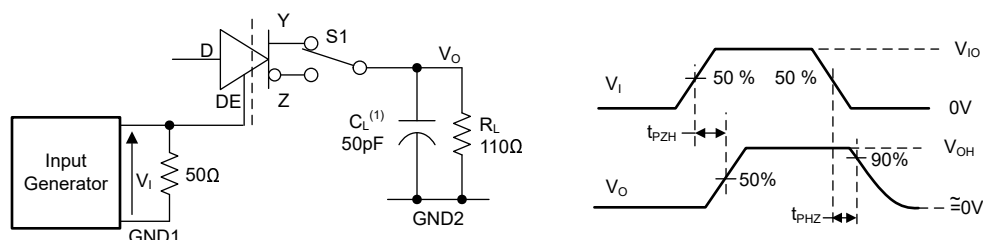
图 7-3. 驱动器开关规格



A. 包括探头和夹具电容

- B. 通过/失败标准：器件在半双工和全双工条件下均已进行测试。在施加 CMTI 脉冲期间，信号路径和电源路径必须均处于符合规格的区域。这意味着 R 引脚上没有位翻转，并且 V_{ISOOUT} 和驱动器 V_{OD} 必须均处于电气特性表中提到的规格范围内。

图 7-4. 共模瞬态抗扰度 (CMTI) — 全双工



- A. C_L 包括夹具和仪表电容

图 7-5. 驱动器使能和禁用时间

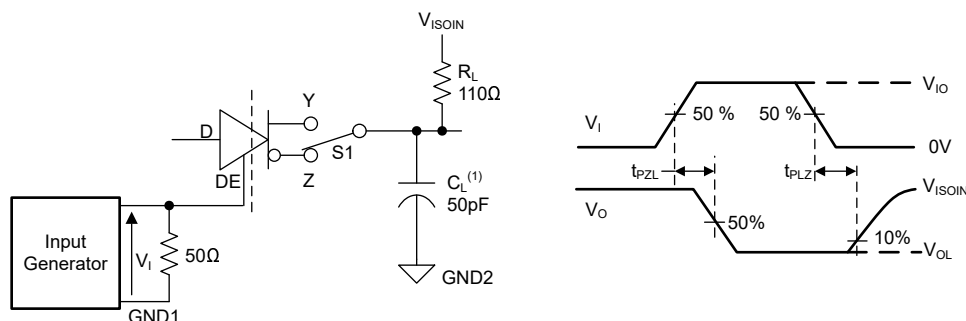
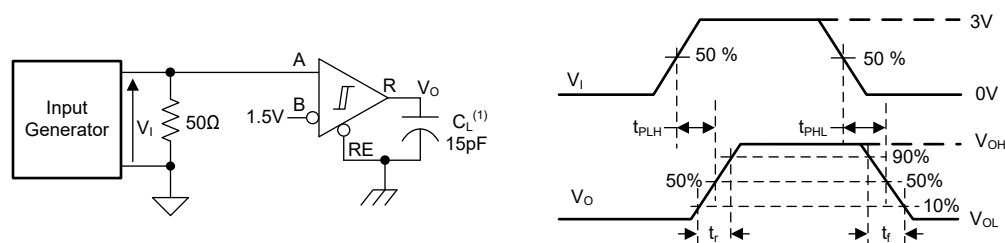


图 7-6. 驱动器使能和禁用时间



- A. C_L 包括夹具和仪表电容

图 7-7. 接收器开关规格

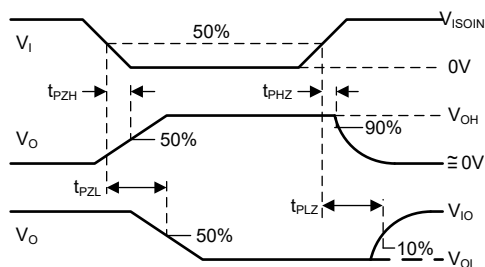


图 7-8. 接收器启用和禁用时间

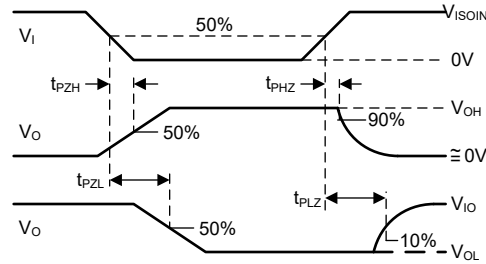
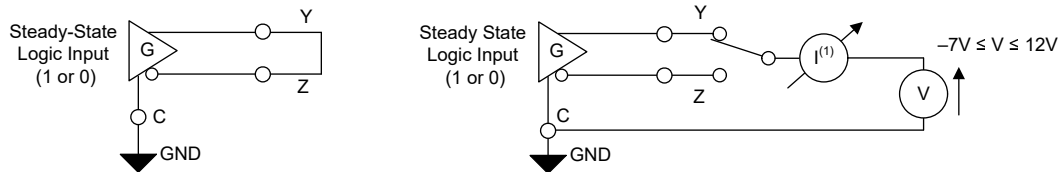
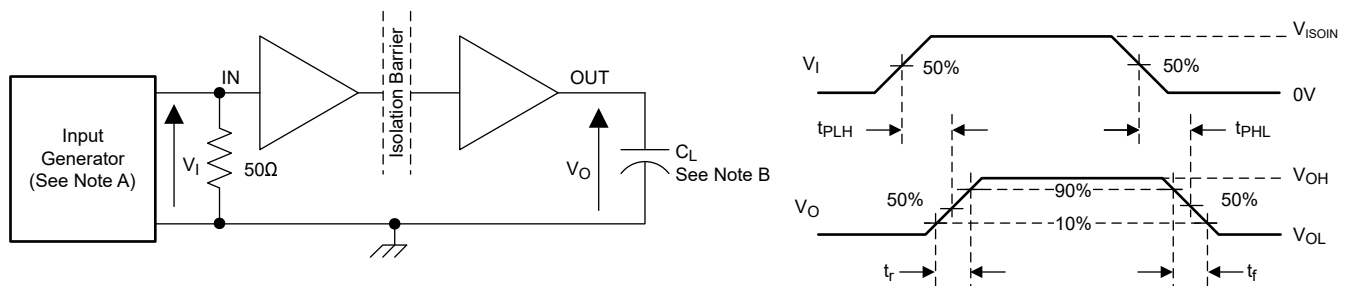


图 7-9. 接收器启用和禁用时间



A. 使用此配置时，驱动器不得受到任何损坏

图 7-10. 短路电流限制



输入脉冲由具有以下特性的发生器提供：PRR ≤ 50kHz，50% 占空比， $t_r \leq 3\text{ns}$ ， $t_f \leq 3\text{ns}$ ， $Z_O = 50\Omega$ 。输入端需要 50Ω 电阻器来端接输入发生器信号。实际应用中并不需要该电阻器。 $C_L = 15\text{pF}$ 并包含 $\pm 20\%$ 范围内的仪表和设备电容。

图 7-11. GPIO 通道：开关特性测试电路和电压波形

8 详细说明

8.1 概述

ISOW14x2 系列器件将信号隔离通道、带集成变压器的电源隔离和 RS-485 收发器全部集成在单个封装中。ISOW1412 支持高达 500kbps 的最大信令速率，而 ISOW1432 设计用于 12Mbps 的最大数据速率。图 10-1 显示 ISOW14x2 系列器件的功能方框图。

8.2 电源隔离

集成隔离式直流/直流转换器采用先进的电路和片上布局技术，可减少辐射发射，实现高达 46% 的典型效率。集成式变压器采用薄膜聚合物作为绝缘栅。可以使用 MODE 引脚将电源转换器的输出电压控制为 3.3V 或 5V。如果不需要总线通信，可以使用 EN (使能) 引脚关闭 DC-DC 转换器以节省功耗。输出电压 V_{ISOOUT} 会被监控，而反馈信息会通过专用的隔离式通道传输至初级侧。随即会相应地调整初级侧开关级的占空比。电源转换器的快速反馈控制环路可在负载瞬变过程中提供低过冲和下冲。 V_{IO} 、 V_{DD} 和 V_{ISOOUT} 电源集成了带磁滞功能的欠压闭锁 (UVLO) 功能，可在有噪声条件下提供稳健的失效防护系统性能。集成的软启动机制提供可控的浪涌电流，并避免上电期间输出端出现任何过冲。

8.3 信号隔离

集成的信号隔离通道采用开关键控 (OOK) 调制方案，以跨越基于二氧化硅的隔离栅传输数字数据。发送器通过跨隔离栅发送高频载波来表示一种状态，通过不发送信号来表示另一种状态。接收器在信号调节完成后对信号进行解调并通过缓冲器级产生输出。信号隔离通道采用了先进的电路技术，可最大限度地提高 CMTI 性能，并最大限度地减少高频载波和 IO 缓冲器开关产生的辐射。图 8-2 显示了典型信号隔离通道的功能方框图。

为了使电源转换器的任何噪声耦合远离信号路径，1 侧电源转换器 (V_{DD}) 和信号路径 (V_{IO}) 的电源保持分开。同样在 2 侧，电源转换器输出 (V_{ISOOUT}) 需要从外部连接到 PCB 上 RS-485 的电源 (V_{ISOIN})。更多详细信息，请参阅布局指南部分。

8.4 RS-485

在典型的 RS-485 网络中，可以在总线上连接多个节点，通信节点之间的距离可长达 4000 到 5000 英尺。在如此远的距离进行通信时，非隔离式 RS-485 收发器的常见共模范围不足以满足要求。ISOW14x2 具有集成式隔离栅，额定工作电压高达 1500Vpk。隔离会破坏通信节点之间的接地环路，并允许在存在较大接地电势差的情况下进行数据传输。与传统收发器相比，这些器件具有更高的典型差分输出电压 (V_{OD})，可实现更好的抗噪性能。当 V_{ISOIN} 配置为 5V 电源时，规定最小差动输出电压为 2.1V，满足 PROFIBUS 应用的要求。

ISOW14x2 系列器件设计用于布板空间有限且需要更多集成的应用。完全实现隔离式 RS-485 端口只需外部旁路电容器。该系列器件还专为超高电压应用打造，这些应用为满足所需隔离规范而采用体积庞大且价格昂贵的分立式隔离电源变压器。尽管该器件系列为全双工，但器件也可用于半双工应用，方法是将驱动器输出 (Y、Z) 连接到 PCB 上的接收器输入 (A、B)，这有助于降低布线成本。有关更多详细信息，请参阅应用信息。

8.5 功能方框图

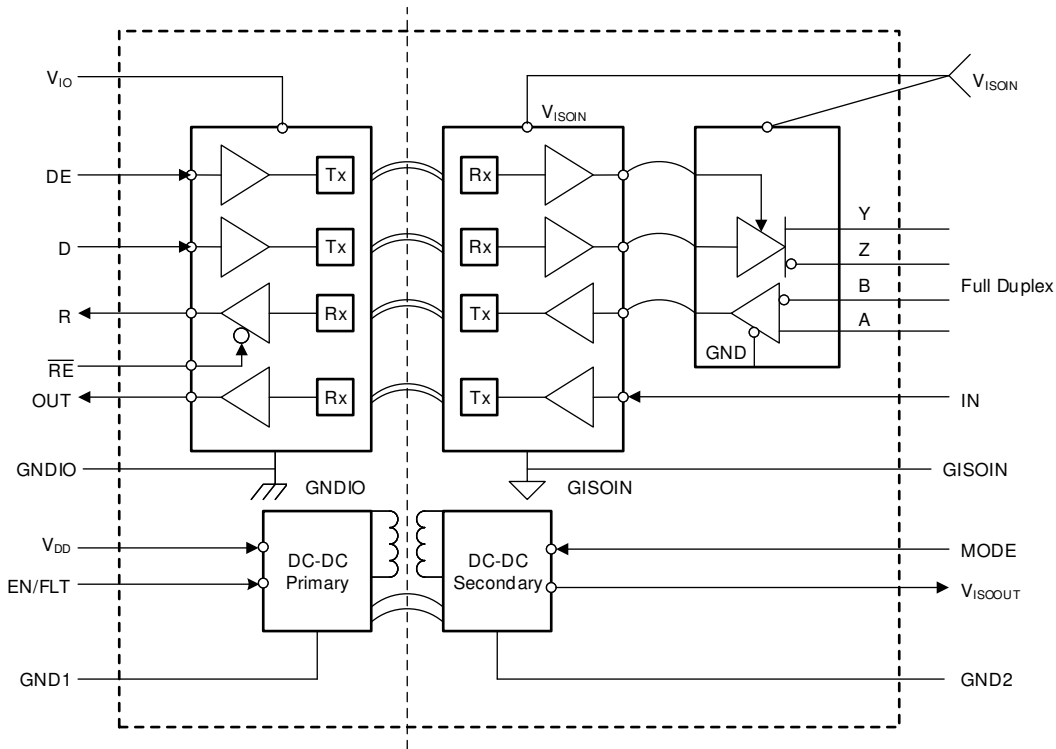


图 8-1. 方框图

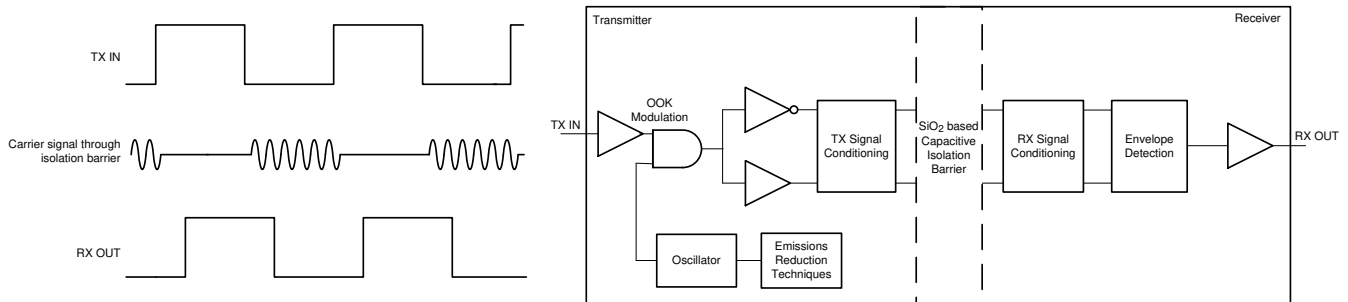


图 8-2. 信号隔离通道

8.6 特性说明

8.6.1 上电和断电行为

ISOW14x2 系列器件在所有电源 (V_{DD} 、 V_{IO} 和 V_{ISOOUT}) 上均有内置的欠压锁定 (UVLO) 功能, 并且具有正向和负向阈值及磁滞。需要同时具备电源转换器电源 (V_{DD}) 和逻辑电源 (V_{IO}), 器件才能正常工作。如果其中任何一个低于 UVLO, 则会同时禁用信号路径和电源转换器。

假设 V_{IO} 高于 UVLO+, 则 V_{DD} 电压在上电期间超过正向 UVLO 阈值时, 直流/直流转换器会进行初始化, 同时电源转换器占空比会以受控的方式增加。此软启动方案会限制从 V_{DD} 电源获取的初级峰值电流, 并以受控方式为 V_{ISOOUT} 输出充电, 从而避免出现过冲。在此期间, RS-485 驱动器输出处于高阻抗状态。当次级侧 V_{ISOOUT} 引脚上的电压超过 UVLO 正向阈值时, 反馈通道开始向初级控制器提供反馈。调节环路接管后, RS-485 驱动输出、接收数据输出 (R) 和通用逻辑输出 (OUT) 分别根据器件输入 (即驱动器使能 (DE)、待发送驱动器数据 (D)、接收器使能 ($\overline{RE}$) 和通用逻辑输入 (IN)) 所定义的状态进行输出。设计人员必须考虑留出足够的时间裕度 (通常为 5ms 并使用 10 μ F 负载电容), 以便在任何可用系统功能启动之前完成此上电序列。

当 V_{DD} 或 V_{IO} 丢失时，初级侧直流/直流转换器会在达到 UVLO 阈值下限时关断。然后， V_{ISOOUT} 电容器会根据隔离通道和 RS-485 负载进行放电。

8.6.2 保护特性

ISOW14x2 系列器件具有多种保护功能，形成高抗扰度的系统级设计。

- 第一个特性是使能/故障保护特性。EN/FLT 引脚既可用作输入引脚，以启用或禁用集成式 DC-DC 电源转换器，也可用作输出引脚，从而在电源转换器运行不正常时发出警报信号。在 /Fault 应用场景中，如果 $V_{DD} > 7V$ 、 $V_{DD} < 2.5V$ 或结温 $> 170^{\circ}C$ ，则会报告故障。当检测到故障时，该引脚变为低电平，从而禁用 DC-DC 转换器以防止造成任何损坏。

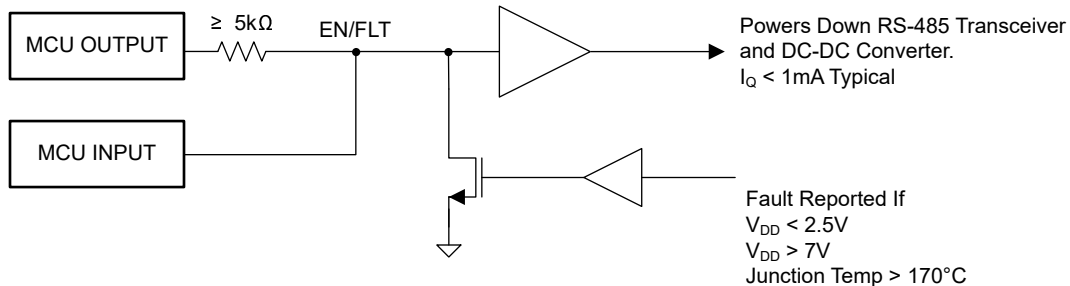


图 8-3. EN Fault 引脚图

- V_{ISOOUT} 上具有过压钳位特性：如果电压升高，在 Profibus 模式下 ($MODE = V_{ISOOUT}$)，将其钳制在 6V；在 RS485 模式下 ($MODE = GND2$)，将其钳制在 4V。为确保器件可靠性，TI 建议 V_{ISOOUT} 的值保持低于过压钳位电压。
- 当 V_{DD} 上出现高于 7V 的电压时， V_{DD} 上会发生过压锁定 (OVLO)。在 OVLO 时，器件进入低功耗状态，EN/FLT 引脚变为低电平。
- 这些器件具有输出过载和短路保护功能。如果电源转换器输出 V_{ISOOUT} 发生过载或短路，则电源转换器的最大占空比会受到限制。如果由于外部电源线短接至总线电缆或由于总线争用而导致驱动器总线短路，RS-485 芯片上的短路电流保护会将总线电流限制在 $\pm 250mA$ 最大值。
- 此外，还集成了热保护功能，有助于防止器件在此类情况下损坏。系统会监测芯片温度的升高，当芯片温度变为 $165^{\circ}C$ (典型值) 时禁用器件，从而切断短路状态。当结温变为 $155^{\circ}C$ (典型值) 时，将重新使能该器件。如果过载或输出短路情况依然存在，此保护周期会重复。在系统设计中须注意避免反复发生或长时间持续存在总线短路，因为这会使器件暴露于高结温下极长时间，从而影响器件可靠性。

8.6.3 失效防护接收器

在由以下情况造成总线无效状态时，ISOW14x2 器件的差分接收器具有失效防护保护：

- 总线开路，例如电缆损坏或连接器断开
- 总线短路，例如电缆发生绝缘击穿导致双绞线短路
- 当总线上的驱动器没有进行有源驱动时，出现总线空闲。

对于端接传输线，在上述任一种条件下，RS-485 接收器的差分输入均为 0。接收器会在 R 引脚上输出一个失效防护逻辑高电平状态，因此接收器的输出是确定的。接收器阈值在接收器设计中进行了偏移，旨在使不确定范围不包括 0V 差分电压。请参阅[接收器功能表](#)，了解更多详细信息。

8.6.4 上电和断电无干扰

在新节点加入或退出网络时，RS-485 网络中控制器节点和目标节点之间的总线上已存在的通信不得受到干扰。当器件符合以下条件时，总线上不得出现干扰：

- 在未通电状态下热插拔至网络
- 在通电状态和禁用状态下热插拔至网络
- 当已连接到总线时，在禁用状态下上电或断电

在电源斜升速率 $\geq 50\mu\text{s}$ 时的禁用状态下，ISOW14x2 器件满足上述标准，上电或断电时不会导致总线上发生任何错误的数据切换。

8.7 器件功能模式

表 8-1 列出了这些器件的电源配置：

表 8-1. 电源配置功能表

输入				输出
$V_{DD}^{(1)}$	V_{IO}	EN/FLT	模式	$V_{ISOOUT}^{(3)}$
$< V_{DD(UVLO+)}$	$> V_{IO(UVLO+)}$	H 或开路	X	OFF
$> V_{DD(UVLO+)}$	$< V_{IO(UVLO+)}$		X	无效操作
5V	1.71V 至 5.5V		高电平 (短接至 V_{ISOOUT})	5V
5V 或 3.3V	1.71V 至 5.5V		低电平 (短接至 GND2) 或悬空 ⁽²⁾	3.3V
3.3V	1.71V 至 5.5V		高电平 (短接至 V_{ISOOUT})	无效操作
X	X	L	X	OFF

(1) $V_{DD} = 3.3\text{V}$ 、MODE 短接至 V_{ISOOUT} (本质上即 $V_{ISOOUT} = 5\text{V}$) 并非有效运行

(2) MODE 引脚具有内部弱下拉电阻。因此，在有噪声的系统场景中，当 $V_{ISOOUT} = 3.3\text{V}$ 时，MODE 引脚必须强连接至 GND2 引脚。

(3) PCB 上 V_{ISOOUT} 与 V_{ISOIN} 短接。GND2 和 GISOIN 引脚相互短接，且 EN = 高电平

表 8-2 展示了驱动器功能模式：

表 8-2. 驱动器功能表

输入					输出 ⁽³⁾	
$V_{DD}^{(1)}$	V_{IO}	EN/FLT	D	DE	Y	Z
PU	PU	H 或开路	H	H	H	L
			L	H	L	H
			X	L	Hi-Z	Hi-Z
			X	开路	Hi-Z	Hi-Z
			开路	H	H	L
		L	X	X	Hi-Z	Hi-Z
PD	PU	X	X	X	Hi-Z	Hi-Z
PU	PD ⁽²⁾	X	X	X	无效操作	

(1) PU = 上电；PD = 断电；H = 高电平；L = 低电平；X = 不相关；Hi-Z = 高阻抗状态

(2) D、DE 或 RE 上的强驱动输入信号可通过内部保护二极管为悬空 V_{IO} 提供微弱的电能，导致输出不确定。

(3) V_{ISOOUT} 短接至 PCB 上的 V_{ISOIN} ，GND2 引脚相互短接，EN = 高电平

当驱动器使能引脚 DE 为逻辑高电平时，差分输出 Y 和 Z 跟随数据输入 D 的逻辑状态。D 输入的逻辑高电平会导致 Y 输出变为高电平，Z 输出变为低电平。因此，公式 1 定义的差分输出电压为正。

$$V_{OD} = V_Y - V_Z \quad (1)$$

D 输入的逻辑低电平会使 Z 输出变为高电平，Y 输出变为低电平。因此，公式 1 定义的差分输出电压为负。DE 输入端的逻辑低电平会使两个输出进入高阻抗 (Hi-Z) 状态。当 DE 输入为逻辑低电平时，D 引脚的逻辑状态与之无关。DE 引脚有一个内部下拉电阻接地。当 DE 引脚保持开路时，该驱动器默认处于禁用状态 (总线输出处于高阻态)。D 引脚具有内部上拉电阻器。使能驱动器后，当 D 引脚保持开路时，Y 输出变为高电平，Z 输出变为低电平。

表 8-3 展示了接收器功能模式：

表 8-3. 接收器功能表

输入					输出
$V_{DD}^{(1)}$	V_{IO}	EN/FLT	差分输入 $V_{ID} = V_A - V_B$	$\overline{RE}$	$R^{(3)}$
PU	PU	H 或开路	$V_{ID} > V_{IT+}$	L	H
			$V_{IT-} < V_{ID} < V_{IT+}$	L	不确定
			$V_{ID} < V_{IT-}$	L	L
			X	H	Hi-Z
			X	开路	Hi-Z
			开路、短路和空闲	L	H
PD	PU	L	X	X	H
PD	PU	X	X	X	Hi-Z
PU	PD ⁽²⁾	H 或开路	X	X	无效操作
		L	X	X	

(1) PU = 上电；PD = 断电；H = 高电平；L = 低电平；X = 不相关；Hi-Z = 高阻抗状态

(2) D、DE 或 $\overline{RE}$ 上的强驱动输入信号可通过内部保护二极管为悬空 V_{IO} 提供微弱的电能，导致输出不确定。

(3) V_{ISOOUT} 短接至 PCB 上的 V_{ISOIN} ，两个 GND2 引脚相互短接，EN/FLT = 高电平

当接收器使能引脚 $\overline{RE}$ 为逻辑低电平时，接收器被启用。当公式 2 定义的差分输入电压大于正输入阈值 V_{TH+} 时，接收器输出 R 变为高电平。

$$V_{ID} = V_A - V_B \quad (2)$$

当公式 2 定义的差分输入电压低于负输入阈值 V_{TH-} 时，接收器输出 R 变为低电平。如果 V_{ID} 介于 V_{TH+} 和 V_{TH-} 阈值之间，则输出是不确定的。接收器输出处于高阻抗状态，当 $\overline{RE}$ 引脚为逻辑高电平或保持开路时， V_{ID} 的幅度和极性无关紧要。当收发器与总线断开（开路）、总线与其他线路短接（短路）或未对总线进行有源驱动（空闲总线）时，接收器输入的内部偏置会导致输出失效防护高电平。

其他器件具有的功能状态如下方的表 8-4 和表 8-5 所示：

表 8-4. DC-DC 转换器启用/禁用

输入			输出
V_{DD}	V_{IO}	EN/FLT	V_{ISOOUT}
PU	PU	H 或开路	3.3V 或 5V，取决于 MODE 引脚设置
PU	PU	L	OFF

表 8-5. 通用逻辑输入/输出

输入				输出	说明
$V_{DD}^{(1)(2)}$	V_{IO}	EN/FLT	IN	OUT	
PU	PU	H 或开路	H	H	输出通道假定逻辑状态由 IN 控制
			L	L	
			开路	L	
		L	X	Hi-Z	默认状态
PD	PU	X	X	Hi-Z	
PU	PD	X	X	无效操作	

(1) PU = 上电；PD = 断电；H = 逻辑高电平；L = 逻辑低电平；X = 不相关；Hi-Z = 高阻抗（关闭）状态

(2) PCB 上 V_{ISOOUT} 与 V_{ISOIN} 短接。GISOIN 和 GND2 引脚相互短接，EN/FLT = 高电平

8.8 器件 I/O 原理图

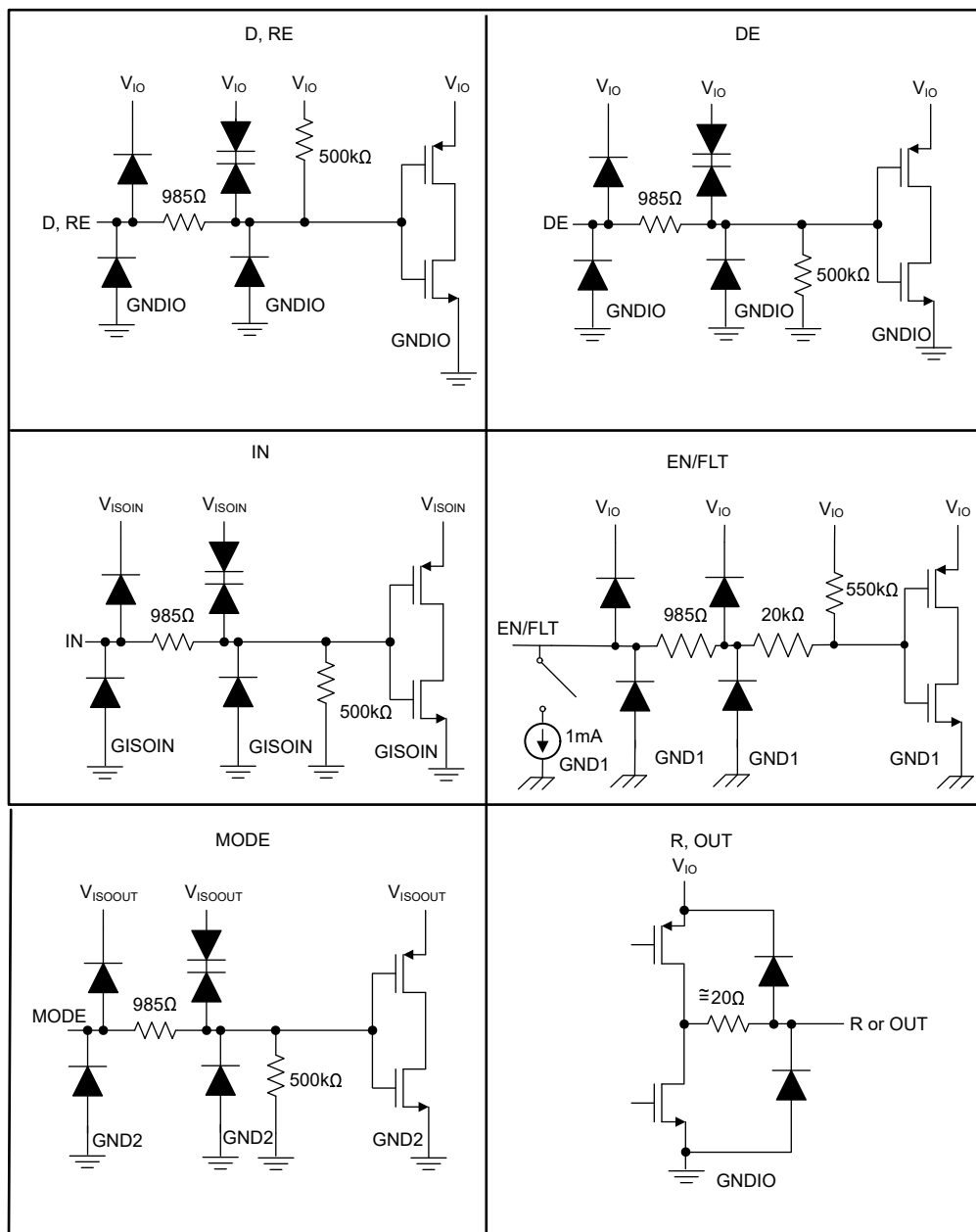


图 8-4. 器件 I/O 原理图

9 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 的客户应负责确定各元件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计是否能够实现，以确保系统功能。

9.1 应用信息

ISOW14x2 器件旨在实现多点 RS-485 网络上的双向数据传输。RS-485 总线具有多个并联到总线电缆的收发器。电缆两端都用一个端接电阻 R_T 端接，以消除线路反射。 R_T 的值与电缆的特征阻抗 Z_0 匹配。这种方法称为并行端接，允许在更长的电缆长度上使用更高的数据速率。

如图 9-1 所示，全双工实现需要两个信号对（四根电线）。全双工实现允许每个节点在一个对上发送数据，同时在另一个对上接收数据。

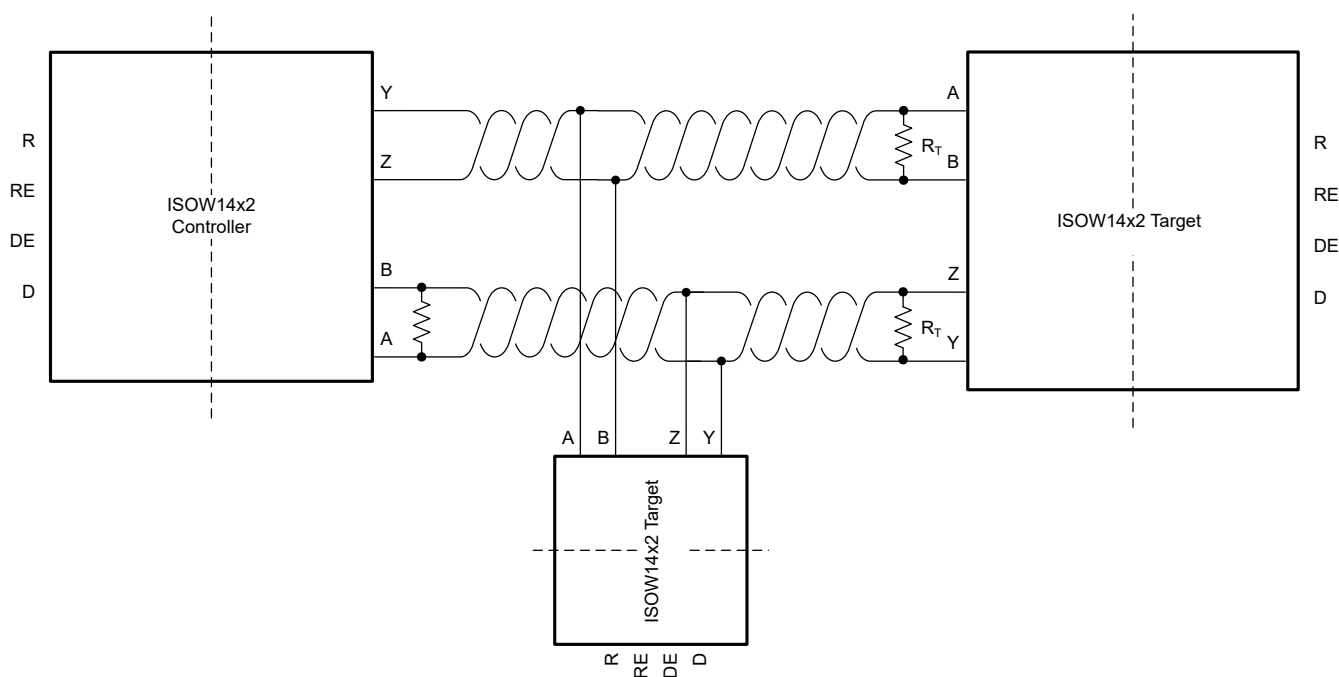


图 9-1. 具有全双工隔离式收发器的典型 RS-485 网络

下面的图 9-2 显示了半双工配置中使用的 ISOW14x2 器件。驱动器输出 Y 和 Z 分别短接至 A 和 B。这可降低总体布线要求。此外，DE/RE 彼此短接，任何节点在同一时间只能充当驱动器或接收器。此配置还展示了分体式端接，通过提供共模噪声滤波来帮助提高嘈杂环境中的网络抗扰度，同时通过为总线共模偏移提供低阻抗接地路径来降低辐射发射。

图 9-2. 具有半双工隔离式收发器的典型 RS-485 网络

9.2 典型应用

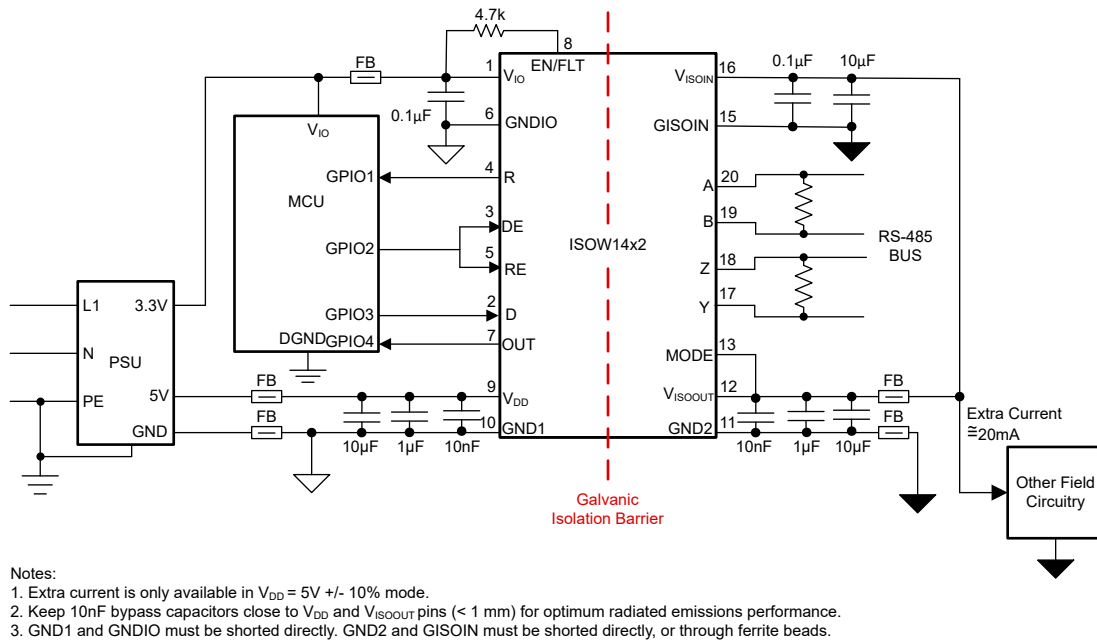


图 9-3. ISOW14x2 的应用电路

9.2.1 设计要求

不同于需要多个外部元件来提高性能、提供偏置或限制电流的光耦合器设计，ISOW14x2 器件只需外部旁路电容器即可工作，如上方的应用图所示。由于流经 V_{DD} 和 V_{ISOOUT} 电源的峰值电流较高，建议在这两个引脚上使用最小 $10\ \mu F$ 的大容量电容。使用较高值的大容量电容器可进一步衰减噪声和纹波，从而提升性能。

9.2.2 详细设计过程

RS-485 总线是一个高抗扰度的电气接口，设计用于长距离通信。RS-485 接口可用于对通信距离、数据速率和节点数量具有不同要求的各种应用。

9.2.2.1 数据速率、总线长度和总线负载

RS-485 标准的典型曲线与图 11-4 中所示的曲线类似。这些曲线显示了信号传输速率和电缆长度之间的反比关系。如果两个节点之间的有效载荷数据速率较低，则节点之间的电缆长度会更长。使用下图作为电缆选择、数据速率、电缆长度和后续抖动预算的指南。

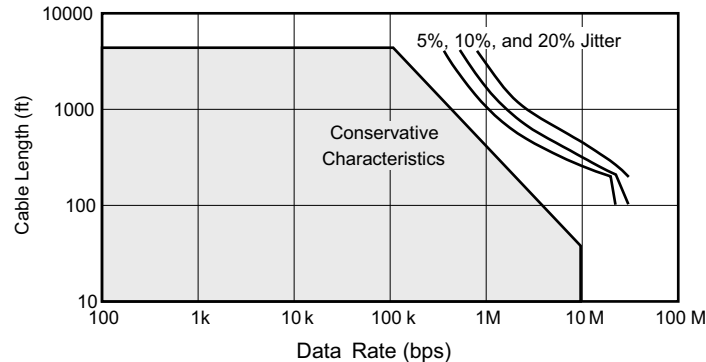


图 9-4. 电缆长度与数据速率特性间的关系

驱动器提供的电流必须提供给负载，因为驱动器的输出取决于该电流。在总线中添加收发器可增加总线总负载。RS-485 标准指定了单位负载 (UL) 的假设项，用于估算可能的总线负载的最大数量。UL 表示约 12kΩ 的负载阻抗。符合标准的驱动器必须能够驱动这些 UL 中的 32 个。ISOW14x2 器件具有 1/8 UL 阻抗收发器，最多可将 256 个节点连接到总线。

9.2.2.2 桩线长度

在 RS-485 网络中，收发器输入与电缆主干之间的距离被称为桩线。当节点连接到总线时，桩线必须尽可能短。桩线是一段无端接的总线线路，随着桩线长度的增加，它会引入不同相位的反射。作为通用指南，桩线的电气长度或往返延迟必须小于驱动器上升时间的十分之一。因此，最大物理桩线长度 (L(STUB)) 的计算方法如公式 3 所示。

$$L(\text{STUB}) \leq 0.1 \times t_r \times v \times c \quad (3)$$

其中：

- t_r 是驱动器上升时间的 10/90。
- c 是光速 ($3 \times 10^8 \text{m/s}$)。
- v 是电缆或布线的信号速度，以 c 的系数表示。

9.2.3 绝缘寿命

绝缘寿命预测数据是使用业界通用的时间依赖性电介质击穿 (TDDb) 测试方法收集的。在该测试中，隔离栅两侧的所有引脚都连在一起，构成了一个双端子器件并在两侧之间施加高电压，如下面的 TDDb 测试设置所示。绝缘击穿数据是在开关频率为 60Hz 以及各种高电压条件下在整个温度范围内收集的。对于增强型绝缘，VDE 标准要求使用故障率小于 1 ppm 的 TDDb 预测线。尽管额定工作隔离电压条件下的预期最短绝缘寿命为 20 年，但是 VDE 增强认证要求工作电压具有额外 20% 的安全裕度，寿命具有额外 50% 的安全裕度，也就是说在工作电压高于额定值 20% 的条件下，所需的最短绝缘寿命为 30 年。

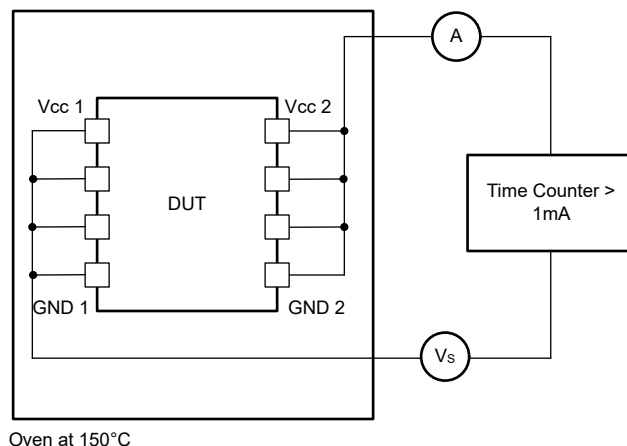


图 9-5. 绝缘寿命测量的测试设置

绝缘寿命预测数据展示了隔离栅在整个隔离寿命期内承受高压应力的固有能力。根据 TDDb 数据，固有绝缘能力为 $1000V_{RMS}$ ，寿命为 1184 年。

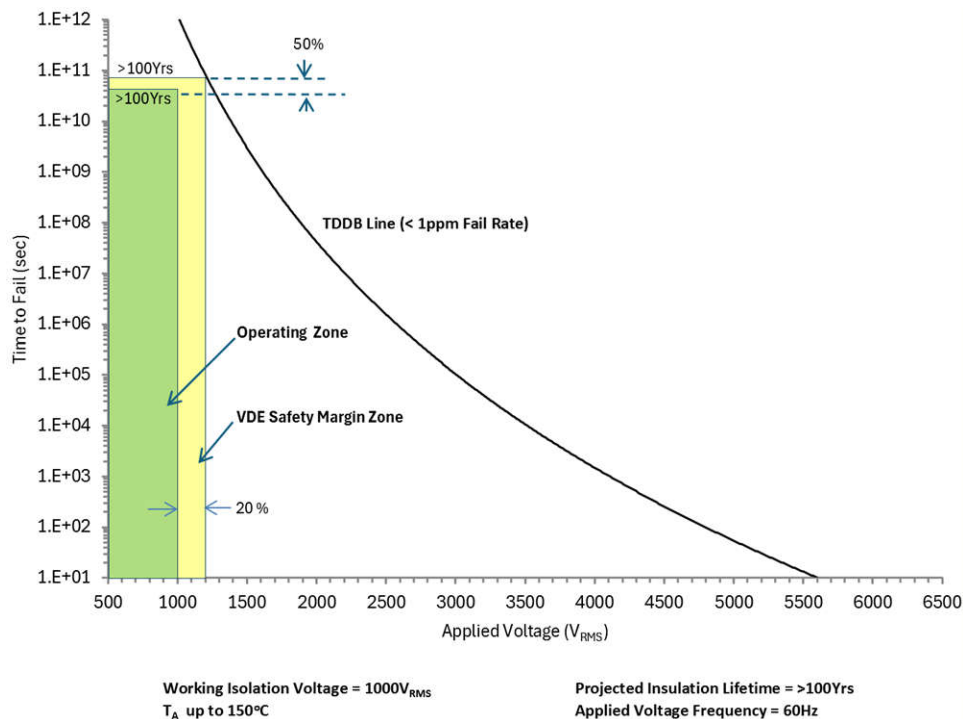


图 9-6. 绝缘寿命预测数据

9.3 电源相关建议

为确保在各种数据速率和电源电压条件下可靠运行，必须尽可能靠近电源引脚放置足够的去耦电容器。电源转换器输入 V_{DD} 和输出 V_{ISOOUT} 电源引脚必须就近放置 $10nF$ 高频陶瓷电容器和至少 $10\mu F$ 的大容量电容器。信号路径电源引脚 V_{IO} 和 V_{ISOIN} 旁必须放置 $100nF$ 或更大容值的陶瓷旁路电容器，并尽可能靠近器件引脚。满载条件下，ISOW1412 可在短时间（数十微秒）内从为 ISOW1412 的 V_{DD} 供电的电源消耗高达 $250mA$ 的典型峰值脉冲电流。请确保上游电源器件的电流限值至少为 $300mA$ （典型值）。

9.4 布局

9.4.1 布局指南

图 11-1 显示了器件旁路电容器的推荐布置和布线。为实现低辐射设计，必须遵循以下指南：

1. 10nF 高频旁路电容器必须靠近 V_{DD} 和 V_{ISOOUT} 引脚放置，距离器件引脚的距离小于 1mm。这对于优化辐射发射性能至关重要。验证这些电容器尺寸为 0402，以使电容器产生最少的电感 (ESL)。
2. 在电源转换器输入端 (V_{DD}) 和输出端 (V_{ISOOUT}) 电源引脚上必须放置至少 10 μ F 的大容量电容器。
3. V_{DD} 和 GND1 上的布线必须对称，一直到连接旁路电容器。同样， V_{ISOOUT} 和 GND2 上的布线须保持对称。
4. 将两个 0402 型铁氧体磁珠 (器件型号：BLM15EX331SN1) 放置在电源引脚上，一个位于 V_{ISOOUT} 和 V_{ISOIN} 之间，另一个位于 GND2(11) 和 GISOIN(15) 之间，如示例 PCB 布局所示，因此电源转换器输出的任何高频噪声在到达 PCB 上的其他元件之前都会出现高阻抗。
5. 在电源转换器输出端子 V_{ISOOUT} (引脚 12) 和 GND2 (引脚 11) 的 4mm 范围内，不得有任何金属布线或接地覆铜。MODE 引脚也处于 V_{ISOOUT} 域中，并且必须短接至引脚 11 或引脚 12 才能选择输出电压。
6. 总线端子 (Y/Z/A/B) 上的共模扼流圈或铁氧体磁珠可以大幅减少任何高频噪声，这些噪声可能会耦合到 RS-485 总线电缆上，而电缆可用作天线并放大该噪声。这有助于改善系统级的辐射发射性能。
7. 对于低辐射发射设计，强烈建议尽可能遵循 EVM 的布局指南。相关文档中提供了对 EVM 的参考。

9.4.2 布局示例

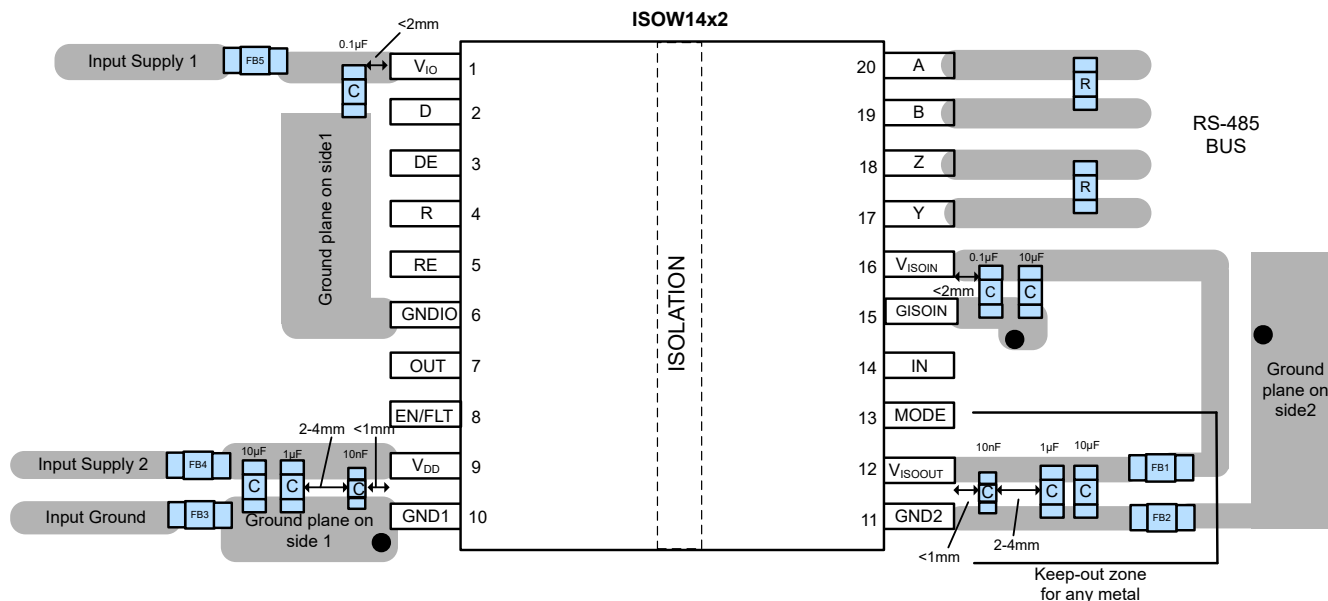


图 9-7. 布局示例

10 器件和文档支持

10.1 文档支持

10.1.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI)，[数字隔离器设计指南](#)
- 德州仪器 (TI)，[隔离相关术语 应用手册](#)
- ISOW1412DFM 评估板

10.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 ti.com.cn 上的器件产品文件夹。点击右上角的 [提醒我](#) 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。

10.3 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](#)。

10.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

10.5 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。

10.6 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。

11 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 C (March 2022) to Revision D (August 2026)	Page
• 添加了 ESD 等级表	6
• 修复了 功耗等级表 中的拼写错误，并将 ISOW1432 P _{D2} 从 610mW 更改为 600mW.....	8
• 根据 DIN EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17) 更新了 绝缘规格 部分.....	9
• 更新了 安全相关认证 部分，删除了相关证书中的内容.....	10
• 将文档中所有旧术语更新为“控制器”和“目标”.....	32
• 在 器件功能模式 部分更新了 驱动程序功能表	33
• 更新了 绝缘寿命 部分和 绝缘寿命预测数据图	38

Changes from Revision B (October 2021) to Revision C (March 2022)	Page
• 将 ISOW1432 从“预告信息”更改成了“量产数据”。.....	2

Changes from Revision A (May 2021) to Revision B (October 2021)	Page
• 将 ISOW1412 从“预告信息”更改成了“量产数据”。.....	2

Changes from Revision * (May 2018) to Revision A (May 2021)	Page
• 更新了数据表以包含 ISOW1432 器件.....	2

12 机械、封装和可订购信息

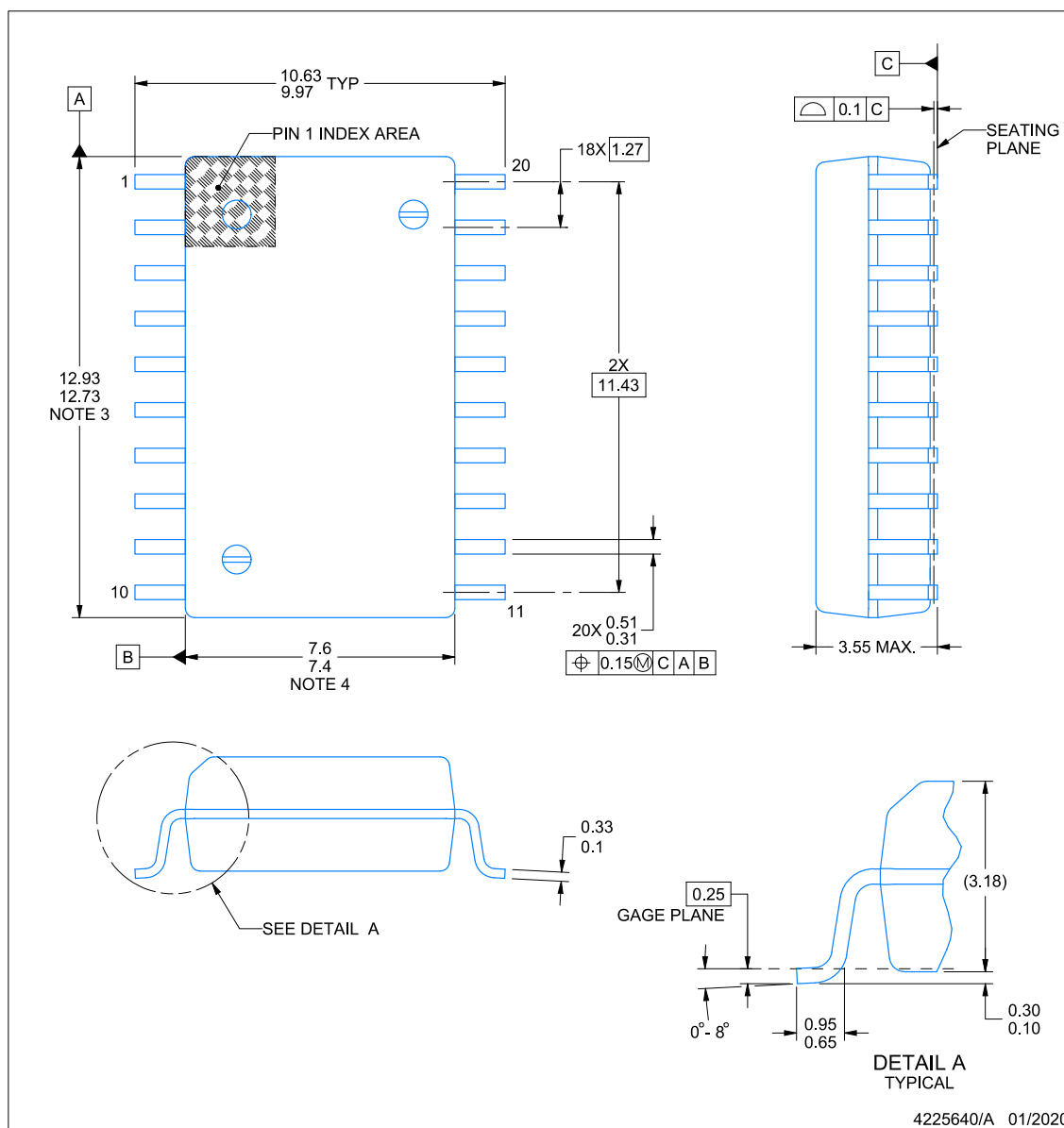
以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

PACKAGE OUTLINE

DFM0020A

SOIC - 3.55 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES:

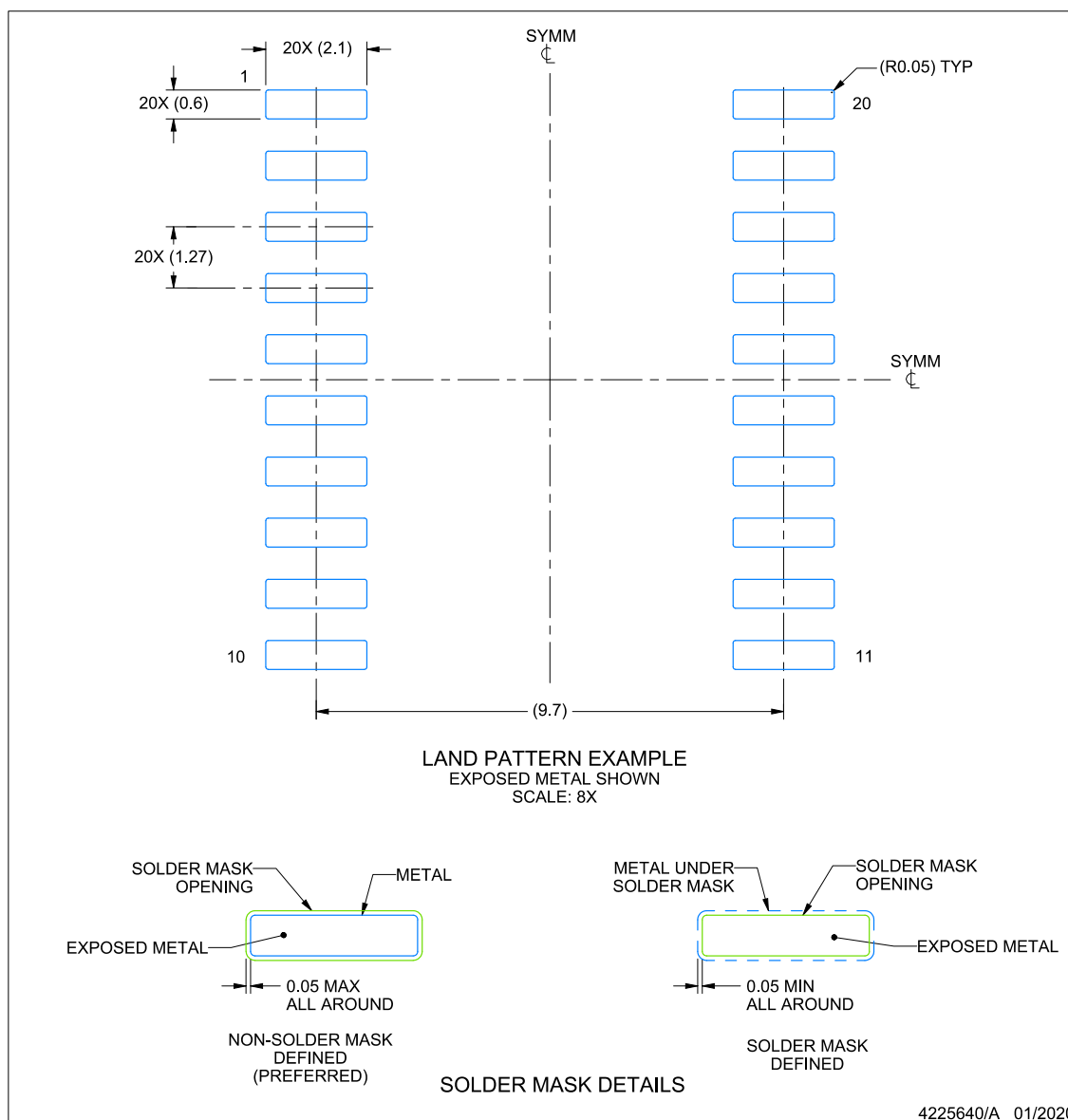
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm per side.
5. Ref. JEDEC registration MS-013

EXAMPLE BOARD LAYOUT

DFM0020A

SOIC - 3.55 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

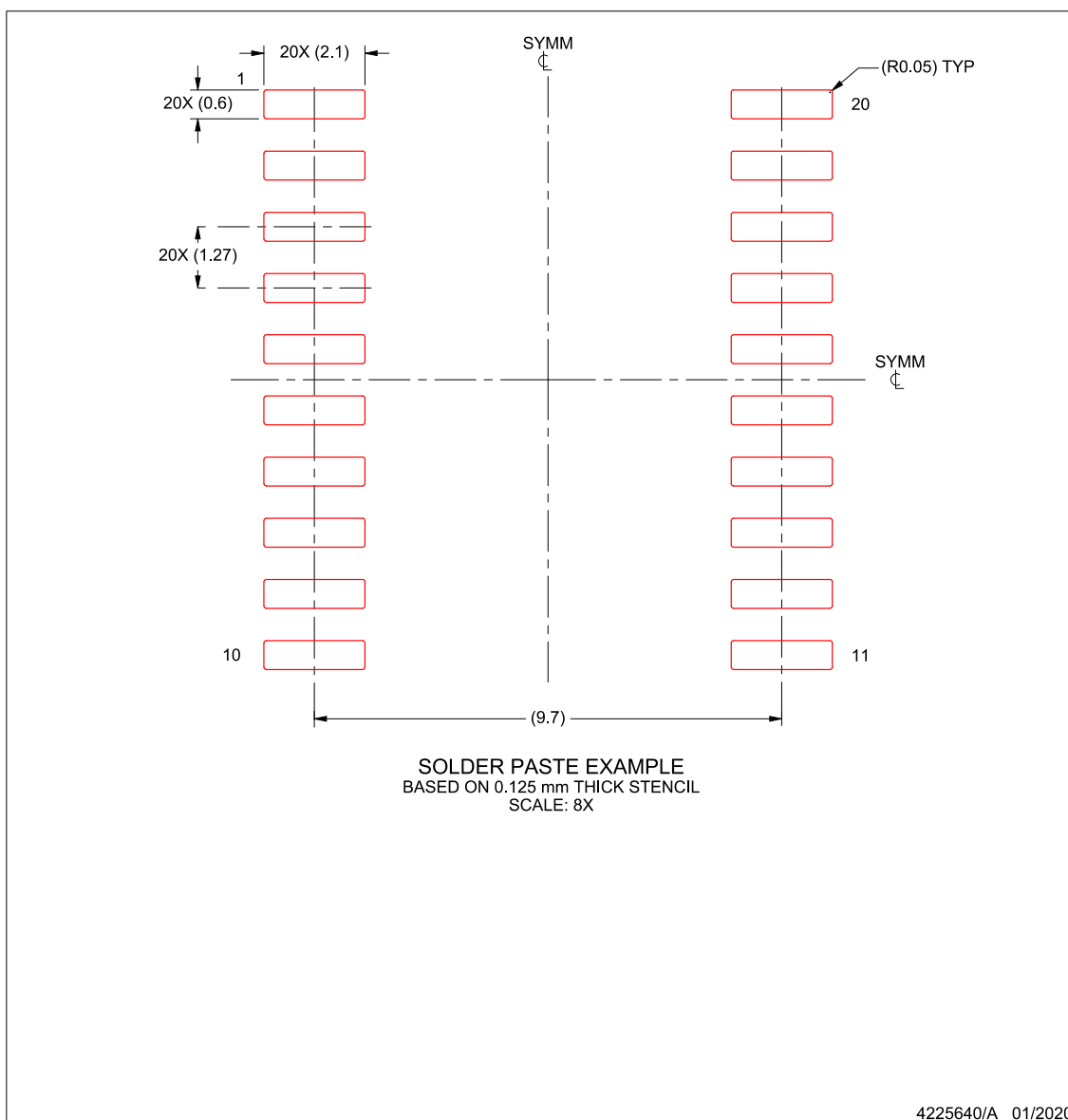
5. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
6. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DFM0020A

SOIC - 3.55 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES: (continued)

7. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
8. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

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)
ISOW1412BDFMR	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1412
ISOW1412BDFMR.A	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1412
ISOW1412DFMR	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1412
ISOW1412DFMR.A	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1412
ISOW1412DFMRG4	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1412
ISOW1412DFMRG4.A	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1412
ISOW1432BDFMR	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1432
ISOW1432BDFMR.A	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1432
ISOW1432DFMR	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1432
ISOW1432DFMR.A	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1432
ISOW1432DFMRG4	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1432
ISOW1432DFMRG4.A	Active	Production	SOIC (DFM) 20	850 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	ISOW1432

⁽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.

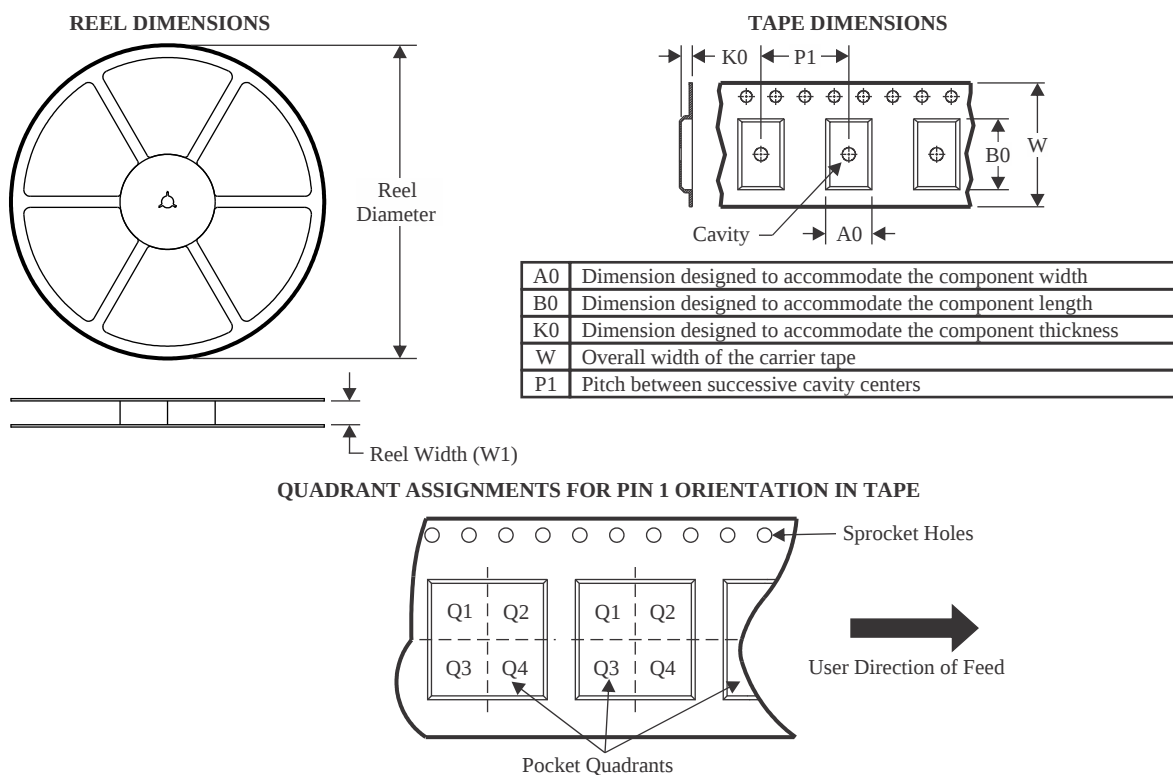
⁽⁶⁾ **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

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.

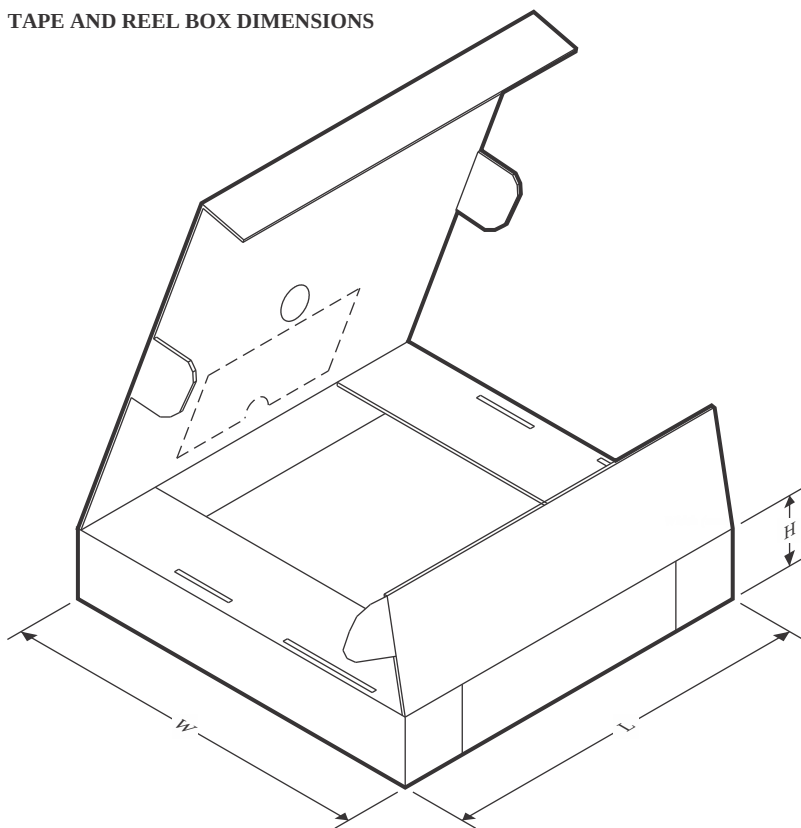
TAPE AND REEL INFORMATION



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
ISOW1412BDFMR	SOIC	DFM	20	850	330.0	24.4	10.85	13.4	4.0	16.0	24.0	Q1
ISOW1412DFMR	SOIC	DFM	20	850	330.0	24.4	10.85	13.4	4.0	16.0	24.0	Q1
ISOW1412DFMRG4	SOIC	DFM	20	850	330.0	24.4	10.85	13.4	4.0	16.0	24.0	Q1
ISOW1432BDFMR	SOIC	DFM	20	850	330.0	24.4	10.85	13.4	4.0	16.0	24.0	Q1
ISOW1432DFMR	SOIC	DFM	20	850	330.0	24.4	10.85	13.4	4.0	16.0	24.0	Q1
ISOW1432DFMRG4	SOIC	DFM	20	850	330.0	24.4	10.85	13.4	4.0	16.0	24.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

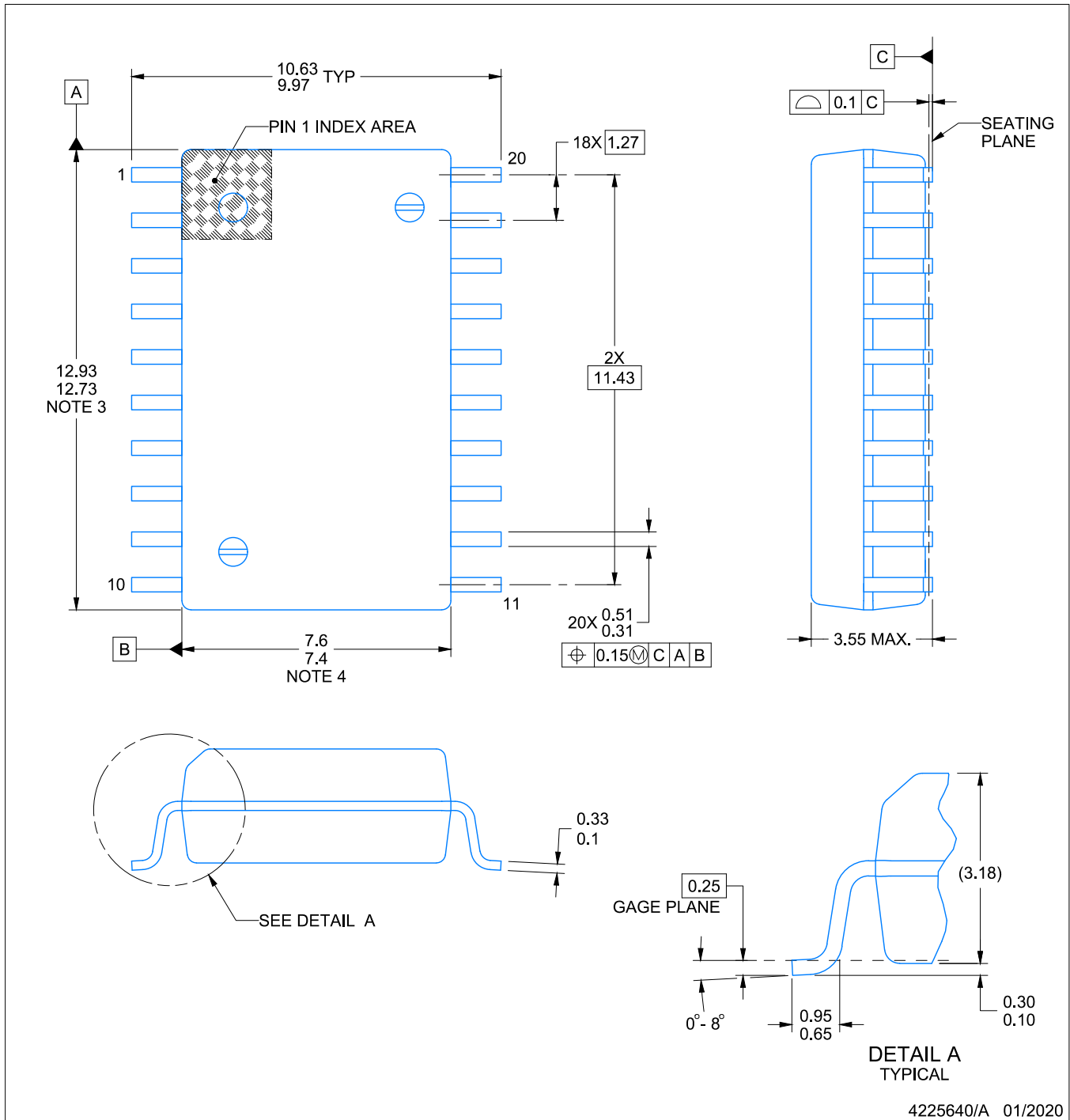
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
ISOW1412BDFMR	SOIC	DFM	20	850	350.0	350.0	43.0
ISOW1412DFMR	SOIC	DFM	20	850	350.0	350.0	43.0
ISOW1412DFMRG4	SOIC	DFM	20	850	350.0	350.0	43.0
ISOW1432BDFMR	SOIC	DFM	20	850	350.0	350.0	43.0
ISOW1432DFMR	SOIC	DFM	20	850	350.0	350.0	43.0
ISOW1432DFMRG4	SOIC	DFM	20	850	350.0	350.0	43.0

PACKAGE OUTLINE

DFM0020A

SOIC - 3.55 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES:

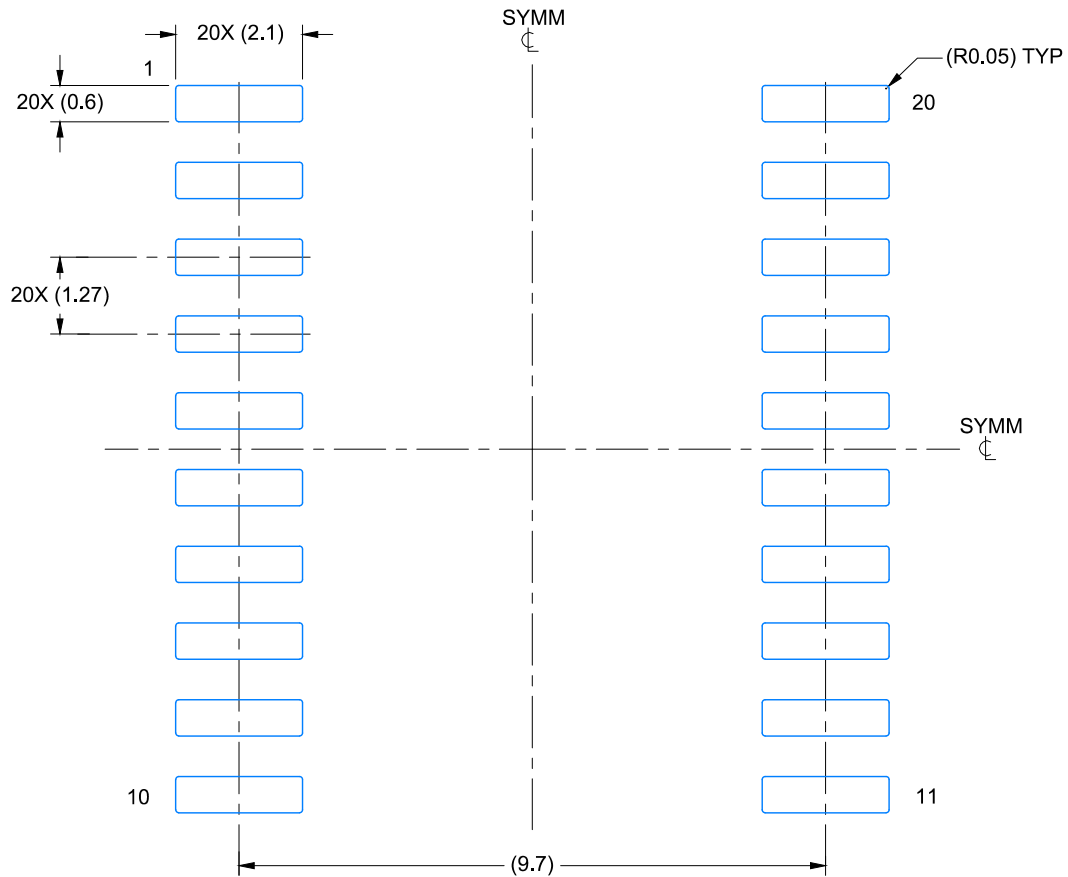
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm per side.
5. Ref. JEDEC registration MS-013

EXAMPLE BOARD LAYOUT

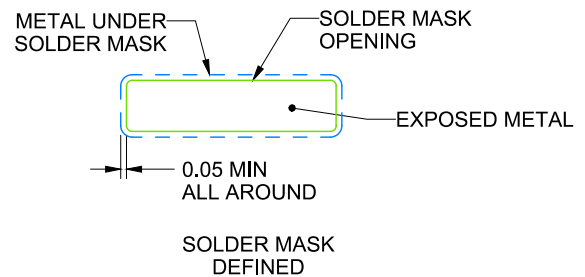
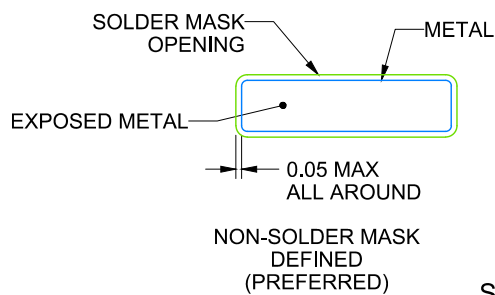
DFM0020A

SOIC - 3.55 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 8X



SOLDER MASK DETAILS

4225640/A 01/2020

NOTES: (continued)

5. Publication IPC-7351 may have alternate designs.

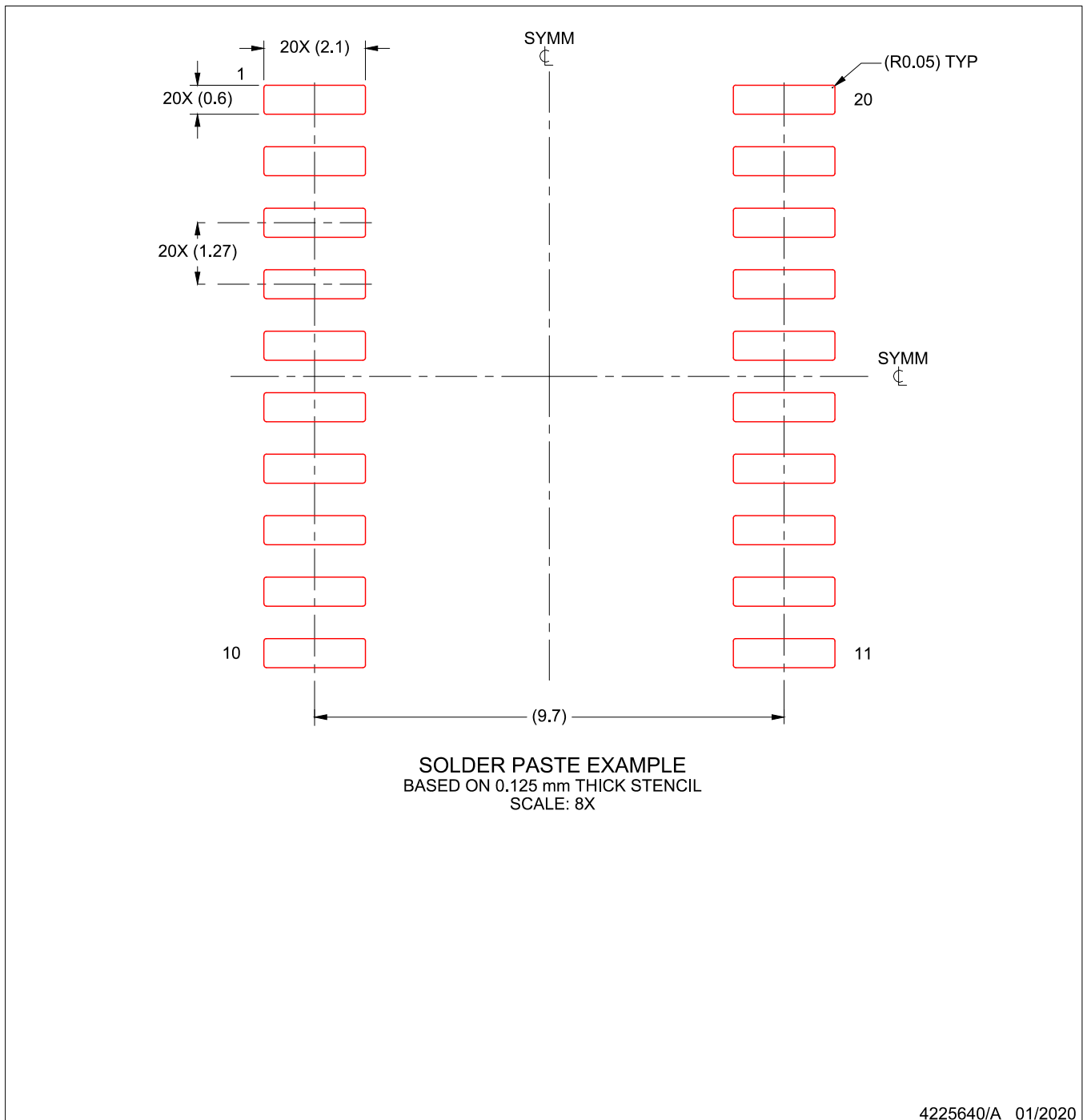
6. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

DFM0020A

SOIC - 3.55 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



4225640/A 01/2020

NOTES: (continued)

7. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
8. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

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