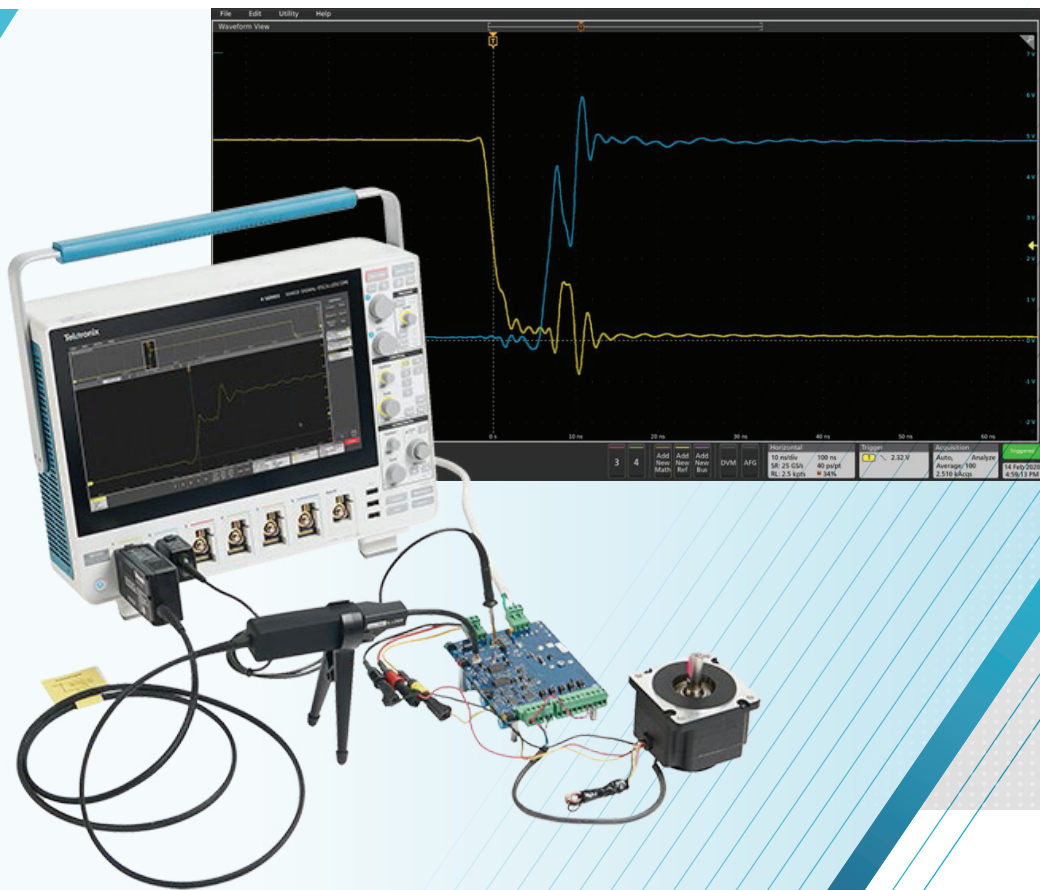


新

IsoVu™ Gen 2 – 改善准确度、灵敏度、接入能力和方便性

白皮书



引言

本白皮书介绍了光隔离测量系统架构怎样提供电流全面隔离功能，成为业内第一个在存在大的共模电压时能够准确解析高带宽、高电压差分信号的测量解决方案。该系统称为 IsoVu，已经进入第二代，与第一代 IsoVu 相比，许多技术特点得到了改进，表现在：

- 体积较第一代 IsoVu 减少了 80%，接入更容易。
- 改善了增益精度，准确度更高。
- 灵敏度更高，噪声更低。
- 需要的端部更少，为用于泰克 4/5/6 系列 MSO 而优化，更加方便。

本白皮书将介绍 IsoVu Gen 2 隔离测量系统的工作原理和性能功能。

工作原理

IsoVu Gen 2 采用光电传感器，把输入信号转换成光调制，在电气上把被测器件与示波器隔开。IsoVu Gen 2 包含 4 个单独的激光器、1 个光传感器、4 条光纤及完善的反馈和控制技术。传感器头连接到测试点，全面实现电气隔离，通过其中一条光纤供电。图 1 是方框图。

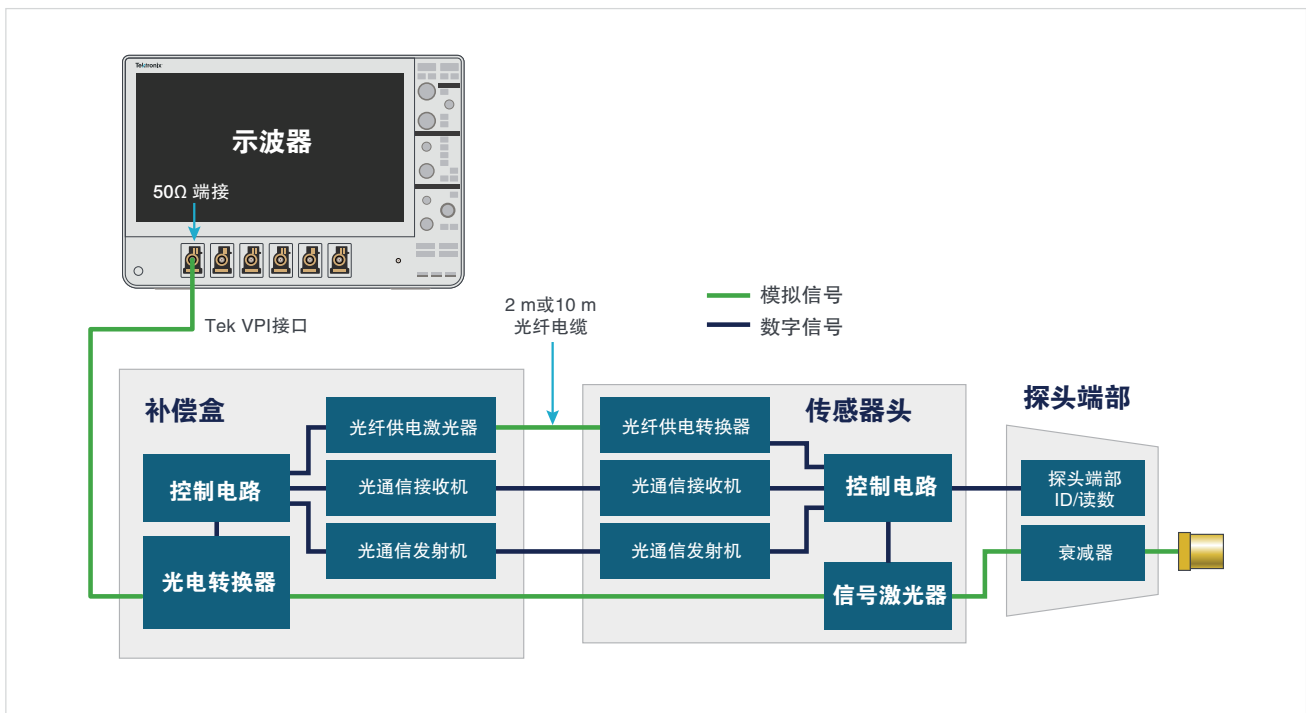


图 1: IsoVu 方框图。

差分与共模信号背景知识

人们一般使用差分探头进行差分测量。差分探头基于差分放大器，差分放大器测量两个测试点之间的电位差。如果一个输入上的电压是 2 V，另一个输入上的电压是 1 V，那么输出是两个输入之差，即 2 - 1 或 1 V，如图 2 所示。但是，一般还要考虑有一个共模成分。

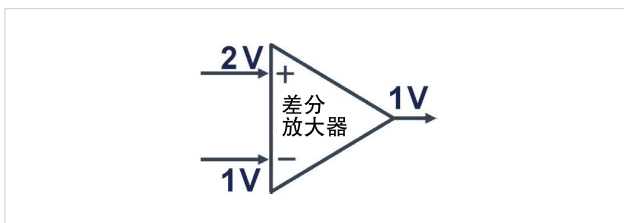


图 2: 差分测量。

因此，如果放大器输入连接到相同的源信号，那么预计输出会怎么样呢？如果这是理想的放大器，那么预计输出是一条完全扁平的直线或 0 V，因为放大器应该在两个输入上减去信号。这个信号对非反相输入和反相输入是“共同”的，称为共模信号。理想的差分放大器应抑制 100% 的共模信号。例如，如图 3 所示，如果非反相输入和反相输入上都是 100 V，那么理想的差分探头的输出应该是 $100 - 100 = 0 V$ 。

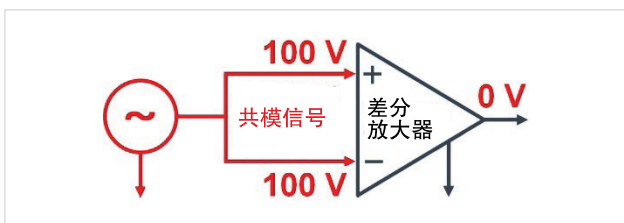


图 3: 共模抑制。

在进行差分测量时，您唯一想看的是要测量的两个信号之差，而不应该看放大器输出上共模电压的影响。放大器的共模抑制比 (CMRR) 是衡量放大器抑制共模信号能力的指标。理想情况下，放大器的 CMRR 是无限的。放大器的 CMRR 越高，共模输入信号对差分测量的影响越小。由于差分探头两个输入不可能完美匹配，所以每个差分测量都会包括一定的共模误差，只是误差有多大的问题。必需指出，放大器的共模抑制比与频率有关。差分探头在 DC 和低频率时的 CMRR 一般较高，而在频率提高时，CMRR 会下降。

看一下图 4 所示的简化的半桥电路。高侧晶体管栅极和源极之间的差分电压是 5 V。在共模电压是 100 V 时，测量系统需要显示 105 V 和 100 V 之差。测量系统准确解析 5 V 差分信号的能力取决于放大器的共模抑制能力。

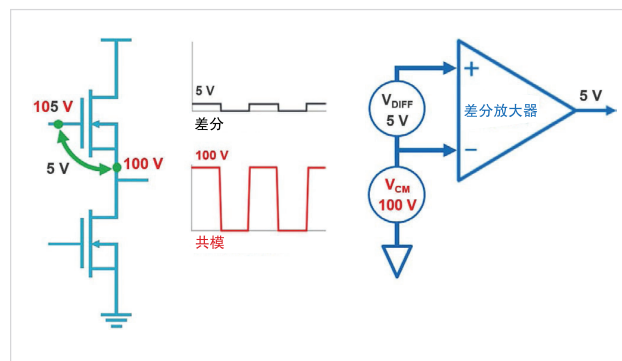


图 4: 简化的半桥电路。

怎样规定共模抑制比

由于 CMRR 与频率有关，所以大多数差分探头在产品资料中只列出 DC 和低频率时的 CMRR 值。我们看一下图 5 所示的高压差分探头产品资料。这是一只 100 MHz 探头，但我们仔细查看产品资料中的数字时，它只指明了 DC、60 Hz、1 kHz 和 1 MHz 时的值。产品资料不包括 100 MHz 时的值，这看上去有点奇怪，因为 100 MHz 是探头列明的带宽。看一下图 6 所示的手册中的 CMRR 图，我们就能明白为什么漏掉较高带宽时的 CMRR 值了。在 100 MHz 时，这只探头只有 ~27 dB CMRR，用 $\text{dB} = 20\log(V_{IN}/V_{OUT})$ 公式换算一下可得，其 CMRR 约为 22:1。

产品	
带宽(-3dB)	→ ≥100 MHz探头带宽
DC CMRR	-70 @ 500 VDC
AC CMRR	-80 dB @ 50/60 Hz -50 dB @ 1 kHz -50 dB @ 1 MHz ←

图 5: 高压差分探头产品资料。

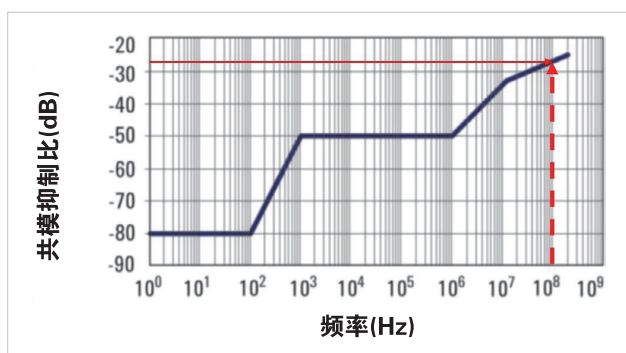


图 6: 高压差分探头 CMRR 图。

回到图 4 中的 100 V 共模电压实例，计算共模误差， $100\text{ V} \div 22 \approx 4.5\text{ V}$ 共模误差。对这个数量的共模误差，当存在 4.5 V 共模误差时，我们是不可能解析 5 V 差分信号的。IsoVu Gen 2 在高得多的带宽时抑制比为 10,000:1，我们计算一下使用 IsoVu 探头时的共模误差： $100\text{ V} \div 10,000 \approx 10\text{ mV}$ 误差。下面的表 1 汇总了这些结果。

	高压差分探头	IsoVu Gen 2 探头
最大带宽	100 MHz	1 GHz
探头最大带宽时的 CMRR	-27 dB (22:1)	-90 dB (10,000:1)
估计误差	4.5 V (太高)	3.2 mV

表 1: 测量 5 V 的差分电压。

在实践中，80 dB (10,000:1) 以上的 CMRR 才能得到有用的测量。大多数差分探头在 DC 和低频率时可以轻松实现 80 dB 或以上的 CMRR，可以准确地调谐成分。在测量频率提高时，差分探头的 CMRR 会劣化，因为不匹配会越来越难控制。在 100 MHz 时，大多数测量系统的 CMRR 能力是 20 dB 或以下。表 2 比较了 IsoVu Gen 2 隔离测量系统与传统高压差分探头的 CMRR 指标。

	带宽	CMRR (DC)	CMRR (1 MHz)	CMRR (100 MHz)	CMRR (1 GHz)
泰克 IsoVu Gen 2 探头	1 GHz	160 dB (100000000:1)	145 dB (10000000:1)	100 dB (100,000:1)	90 dB (10,000:1)
传统高压差分探头	200 MHz	> 80 dB(10,000:1)	50 dB(316:1)	产品资料中未列出。手册 CMRR 图中是 ~27 dB	-

表 2: 共模抑制比比较。

用户可能会落入一个陷阱，认为 1 MHz 指标对其应用已经“足够快了”。但要记住，尽管重复速率可能并不快，但测量的信号的上升时间可能会相当快，上升时间可能会在几 ns 或几十 ns。

如果测量的差分信号存在 500 V 共模电压，那么预计误差是多少呢？这也取决于信号的上升时间。表 3 介绍了当带宽中存在 500 V 共模电压时用户应预计共模误差有多大。

	带宽中 500 V 共模电压的共模误差			
	DC	1 MHz (35 ns 上升时间)	100 MHz (3.5 ns 上升时间)	1 GHz (≤ 1 ns 上升时间)
泰克 IsoVu Gen 2 探头	5 μV	28 μV	5 mV	15.8 mV
传统高压差分探头	50 mV	1.6 V	22.3 V	-

表 3: 共模抑制比不足导致的误差。

测试整个开关电路的特点

在评估高侧晶体管的信号时，比如 VDS 或 VGS，开关式电压在“地电平”和输入供电电压之间快速切换，那么要求测量解决方案拥有以下特点：

- 高带宽：> 500 MHz
- 大共模电压：> 输入供电电压
- 大共模抑制比：> 60 dB @ 100 MHz
- 大输入阻抗：> 10 MΩ || < 2 pF

泰克推出 TIVM 系列产品，直接针对高侧 VGS 之类的测量，在这些测量中，测量系统需要高性能、高共模电压及在带宽中需要大的共模抑制比。泰克在 TIVM 系列之后推出了 TIVH 系列产品，明显提高了差分电压范围和输入阻抗，使高侧 VDS 之类的测量成为可能。与 IsoVu 第一代 (TIVM/H) 相比，泰克最新 IsoVu Gen 2 TIVP 差分探头改善了增益精度，频响更加平坦，噪声也更低。

主要指标比较			
	泰克 TIVP (带 TIVPMX50X 端部 [†]) IsoVu Gen 2	泰克 TIVH (带 MMCX250X 端部 [†]) IsoVu 第一代	泰克 THDP0200 差分探头
应用	高侧 V_{GS} , 宽带隙 (GaN 和 SiC) 表征, SMPS 优化, 温度测试 (使用 SMA 电缆)	高侧 V_{GS} , 宽带隙 (GaN 和 SiC) 表征, SMPS 优化	通用, 基于 Si 和 IGBT 的电力电子器件
带宽	200 MHz, 500 MHz, 1 GHz	200 MHz, 500 MHz, 800 MHz	160 MHz, 200 MHz
上升时间	2 ns, 850 ps, 450 ps	2 ns, 850 ps, 450 ps	1.75 ns
CMRR @DC	160 dB	160 dB	80 dB
CMRR @100 MHz	85 dB	85 dB	26 dB
差分电压范围	250 V [†]	250 V [†]	150 V, 1500 V
共模电压范围	± 60 kV	± 60 kV	± 1500 V
偏置电压范围	± 250 V	± 250 V	50X 示波器输入偏置范围 ± 50V 典型值
噪声 (200mV ~ 3 V 测量)	41.8 mVpp	79.8 mVpp	110 mVpp
DC 增益精度	0.6% 典型值	3%	2%
输入阻抗	10 MΩ 3 pF	10 MΩ 2 pF	
工作温度范围	0°C ~ 50°C (探头头部) 0°C ~ 85°C (探头端部电缆)	0°C ~ 70°C (探头头部) 0°C ~ 85°C (探头端部电缆)	0°C ~ 40°C
示波器兼容能力	仅 4/5/6 系列 MSO	所有 TekVPI 示波器 (包括 4/5/6 系列 MSO)	所有 TekVPI 示波器 (包括 4/5/6 系列 MSO)

[†] 选择的最接近 THDP0200 的值, 以进行比较。

表 4: 泰克 TIVP 和 TIVH 系列指标与传统差分探头指标对比 (取决于探头端部电缆)。

IsoVu Gen 2 可以查看隐藏的信号

只有在半桥电路、栅极驱动电路和布线全都正确设计和优化时, 我们才能实现半桥电路这类设计的优势。而如果测量不了, 那么就根本不可能调谐和优化这条电路。为满足这一设计要求, 我们需要表征图 7 所示的理想情况下的波形。

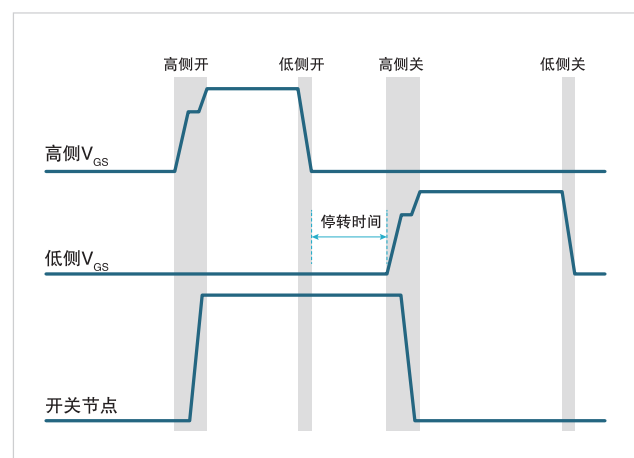


图 7: 理想的半桥开关波形实例。

一般来说，要关注的开波形的特性区域有三个：第一个区域是 C_{GS} 充电时间。之后是米勒平坦区，也就是栅极 - 漏极米勒电容 (C_{GD}) 所需的时间，它与 V_{DS} 相关。这个充电时间会随着 V_{DS} 提高而提高。一旦通道进行传导，栅极将充电直到最终值。图 8 显示了这些区域的理想化表示。

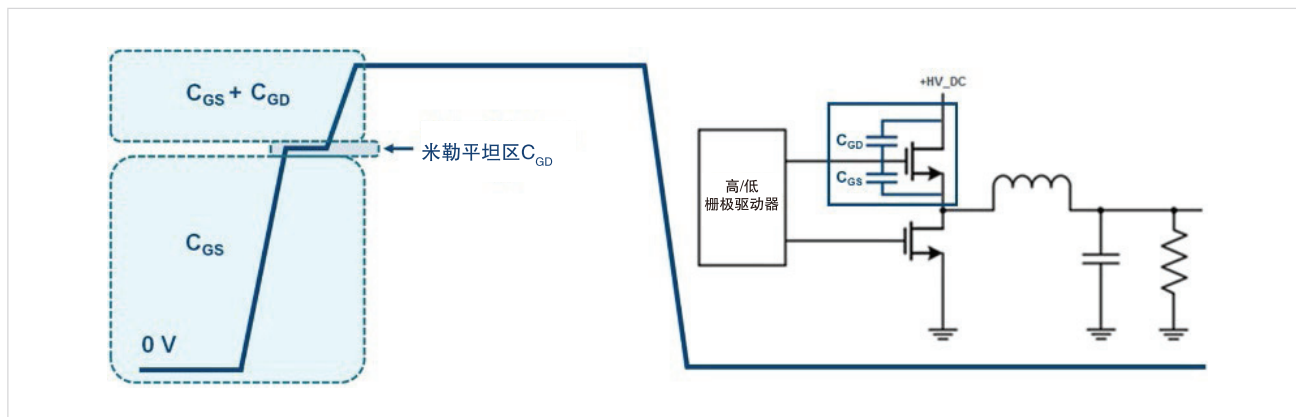


图 8: 高侧开特点。

高侧 V_{GS} 位于开关节点电压顶部上面，在“地电平”和输入供电电压之间切换。由于这个迅速变化的共模电压，如果没有足够的共模抑制比，那么是不可能测量栅极 - 源极电压的。

把这个实际输出与理想跳变进行对比，很难提取出与上面提到的每个区域中发生的情况有关的任何有意义的细节，也很难根据这一测量制订设计决策。值得一提的是，图 9 所示的波形会随着探头输入引线的位置而明显变化，所以不可能进行可重复的测量。

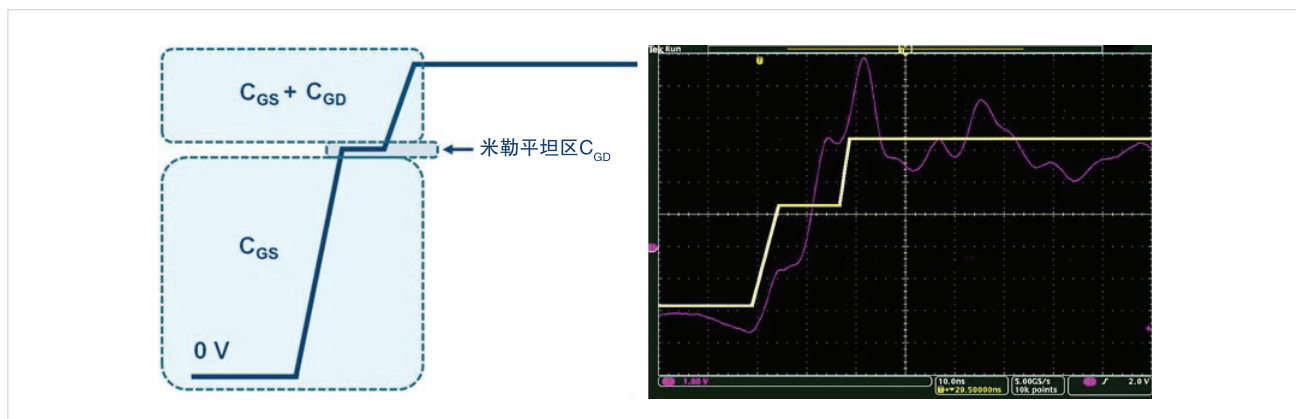


图 9: 使用 CMRR 不足的探头进行 V_{GS} 测量。

直到现在，传统高压差分探头一直都能最有效地查看这类测量。在这种测量系统中，用户可能会一直被劝导根据波形信息优化设计，毕竟其似乎显示了某些预计的特点。而 IsoVu Gen 2 系统则讲了一个完全不同的故事。**图 10** 比较了这两种测量系统，揭示了根据 CMRR 和带宽有限的测量系统进行优化时，会怎样导致用户严重地错误调谐其设计。左面的截图表示使用 IsoVu 第一代测量时得到的结果 (参见黄色波形)，右面的截图表明了 IsoVu Gen 2 的性能较 IsoVu 第一代怎样大幅度提高 (参见黄色波形)。IsoVu Gen 2 提供的结果更详细，更准确，更灵敏。

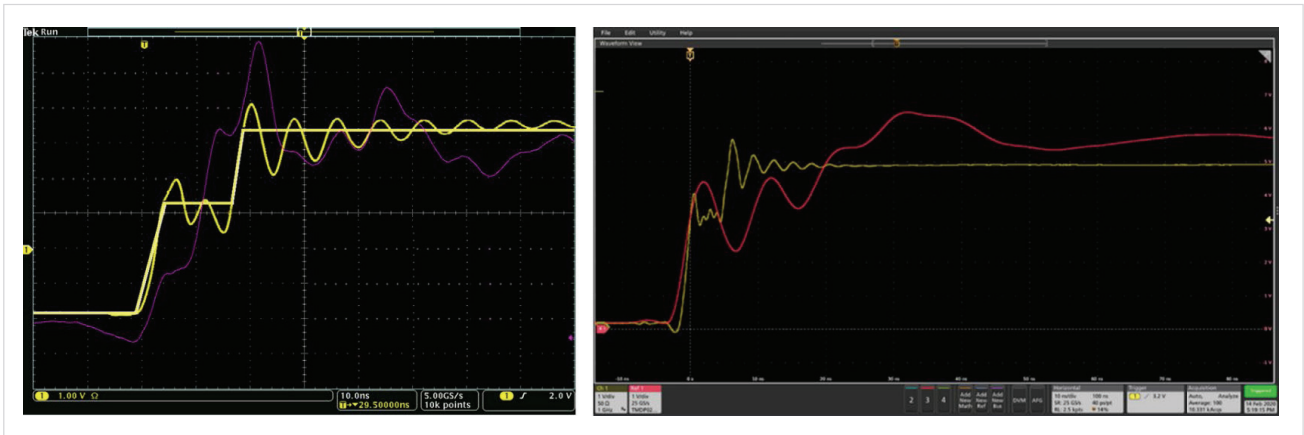


图 10: 高侧开特点 – IsoVu 第一代 (左) 和 IsoVu Gen 2 (右) 比较。

虽然低侧开关应该参考“地电平”，但仍有必要看一下实际波形及其对高侧性能的影响。**图 11** 显示低侧开关因低侧开关、高侧栅极和开关节点之间的寄生耦合而产生振铃。我们再次比较 IsoVu 第一代 (左) 结果与 IsoVu Gen 2 的结果。右面的截图揭示了 IsoVu Gen 2 的性能较 IsoVu 第一代怎样大幅度改善。IsoVu Gen 2 提供的结果更详细，更准确，更灵敏。

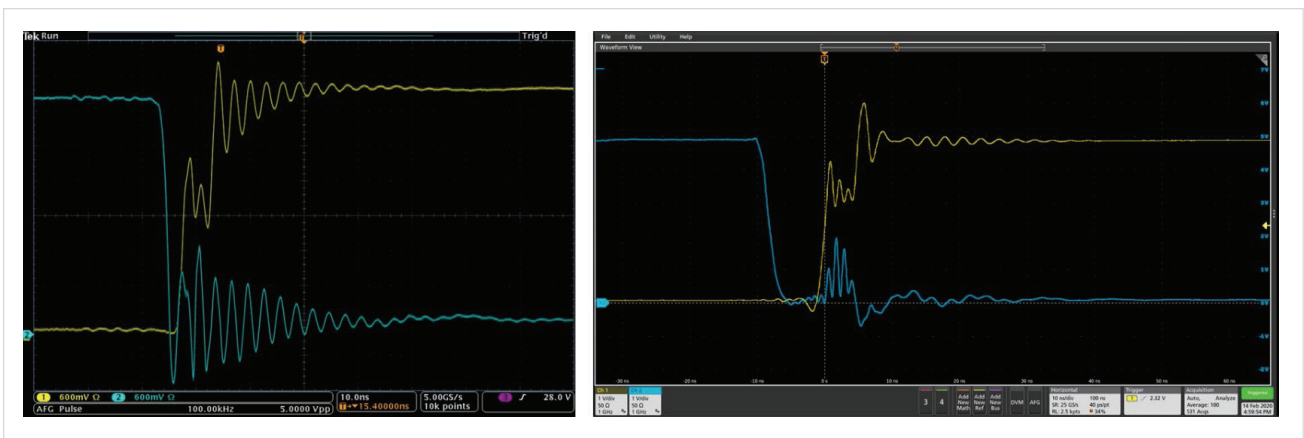


图 11: 高侧开关和低侧开关交互 – IsoVu 第一代 (左) 和 IsoVu Gen 2 (右) 比较。

在高侧关 / 低侧开关跳变过程中，也会出现许多相同的特点。如图 12 所示，可以清楚地看到低侧 V_{GS} 上的米勒平坦区。开关节点和高低侧 FET 之间的寄生信号引起的耦合很明显，IsoVu Gen 2 测量系统提供的带宽要远高于测量停转时间所需的带宽。

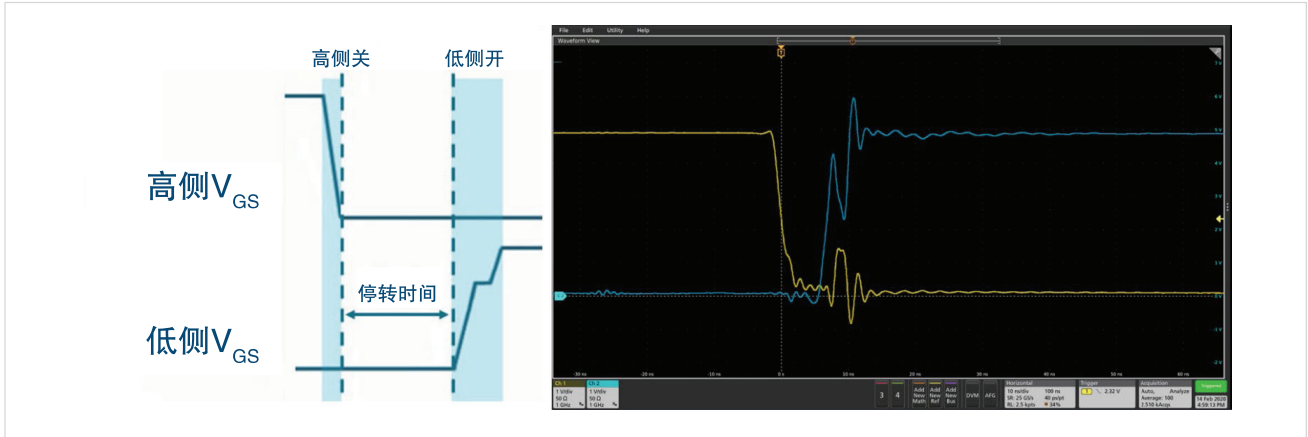


图 12: 高侧关、低侧开和停转时间。

通过 IsoVu Gen 2 (TIVP 系列)、TIVM 系列和 TIVH 系列产品，我们可以全面表征整个电路，如图 13 所示。IsoVu Gen 2 能够：

- 表征栅极电压 V_{DS} 和 I_S
- 表征高侧事件和低侧事件的时间一致性
- 优化和调谐开关特点 (边沿速率、过冲、振铃和停转时间)

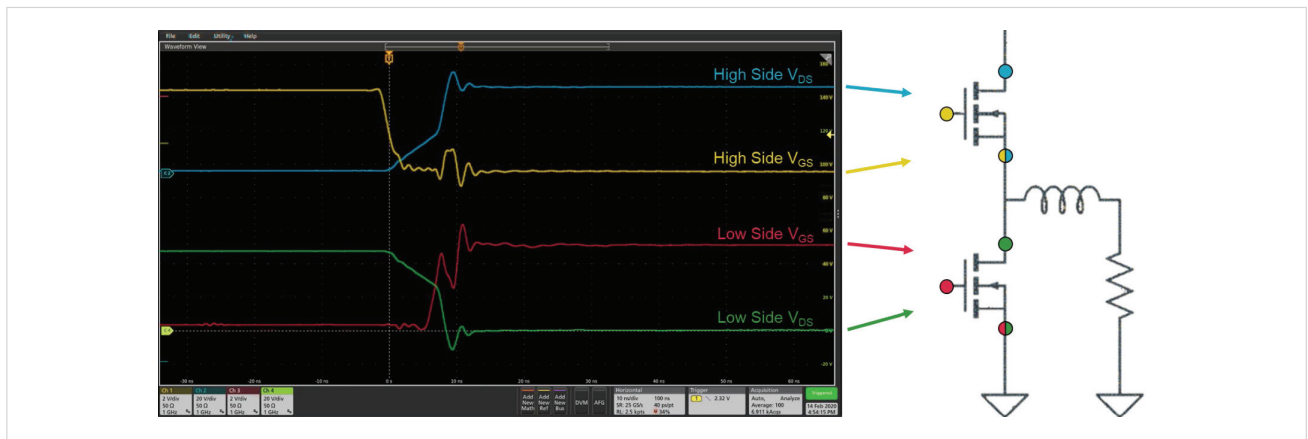


图 13: 高侧关、低侧开和停转时间。

不同的端部连接器

为实现最优性能和方便性专门设计

MMCX 式传感器端部电缆 (高达 250 V 的高性能应用)

在 MMCX 连接器插到测试点附近时，可以实现 IsoVu Gen 2 测量系统的最佳性能。MMCX 连接器是一种行业标准，许多电子器件分销商都提供 MMCX 连接器。这些连接器提供了高信号保真度。坚实的金属主体和黄金触点提供了屏蔽精良的信号路径。配对的 MMCX 接口为卡接提供了正向固定力，可以实现稳定的免提连接。脱离力为高压应用提供了安全稳定的连接。MMCX 连接器分成许多配置，如下所示，即使电路板中没有设计连接器，仍可适配到许多设计。如需进一步了解怎样把这些连接器焊接到设计中，可以参见：<https://www.tek.com.cn/isolated-measurement-systems>。



图 14: MMCX 连接器。

方针到 MMCX 转接头

在不能使用 MMCX 连接器时，可以转接端部电缆，直接适应行业标准方针。泰克提供了探头端部转接头，把传感器端部电缆连接到电路板的方针上。泰克提供了两种不同间距的转接头：MMCX 到 0.1 英寸 (2.54 毫米) 转接头和 MMCX 到 0.062 英寸 (1.57 毫米) 转接头。

转接头有一个 MMCX 插座，用来连接 IsoVu 端部电缆。转接头另一端有一个中心引脚插座，转接头外面周围有 4 个公共 (屏蔽) 插座。转接头上的凹口可以放置屏蔽插座。在探头端部转接头靠近电路板时，可以实现最好的电气性能。

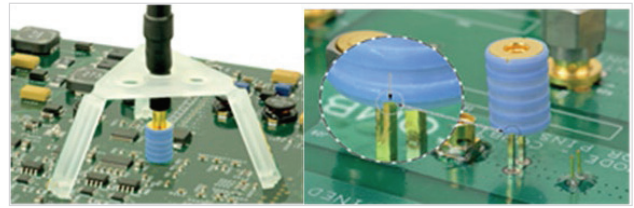


图 15: MMCX 到方针转接头。

方针式传感器端部电缆

TIVP 系列 (IsoVu Gen 2) 产品还包括方针式的传感器端部电缆，实现了更高的输入差分电压功能。这些端部接口不仅连接简便，而且连接牢固，可以在高压环境中实现安全免提操作。方针式的传感器端部分成两种间距：0.100 英寸 (2.54 mm) 间距，可以用于高达 600 V 的应用中；0.200 英寸 (5.08 mm) 间距，可以用于高达 2500 V 的应用中。

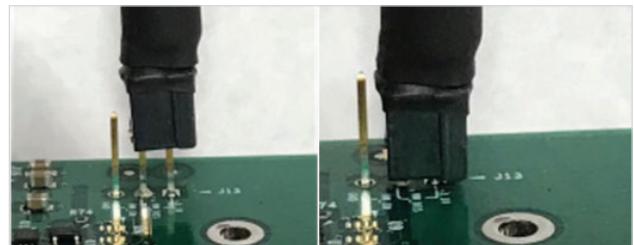


图 16: 方针式的传感器端部电缆。

总结

准确的差分测量依赖于测量系统的带宽、上升时间、共模电压范围、共模抑制功能及能够连接较小的测试点，来表征体积不断缩小、性能不断提高的器件。虽然差分电压探头在带宽方面有一些性能增益，但这些探头在共模抑制和连接能力方面并未能作出任何重大改进。IsoVu Gen 2 测量系统在技术上实现了飞跃，是唯一能够以要求的方式同时提供高带宽、高共模电压和高模抑制功能，能够实现现代差分测量的系统。



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：www.tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

北京市朝阳区酒仙桥路6号院
电子城·国际电子总部二期
七号楼2层203单元
邮编：100015
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 6530 4900
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处

西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层L座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处

香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 2585 6688
传真：(852) 2598 6260

更多宝贵资源，尽在 WWW.TEK.COM.CN

© 泰克公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利及外国专利的保护。本文中的信息代替以前出版的材料中的所有信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

110920 SBG 51C-60485-2

