

示波器探头在测量中的重要性

常志文

(昆明冶金高等专科学校 云南 昆明 650033)

摘要: 示波器一直是工程师设计调试产品的好帮手。随着计算机、半导体和通信技术的发展,电路系统的信号时钟速度越来越快,信号上升时间也越来越短,导致因底层模拟信号完整性问题引发的数字错误日益突出。要想准确快速地对系统信号进行分析,测量时还有很多新的因素必须考虑。如仪器速度能否跟上被测信号的变化,带宽是否足够,测量方法会不会引入干扰,甚至还有所使用的探头是否合适等等。

关键词: 信号时钟; 上升时间; 速度; 带宽; 测量方法; 探头

中图分类号: TN873

文献标识码: B

文章编号: 1004-373X (2005) 23-073-03

Importance of Oscilloscope's Probe in Measurement

CHANG Zhiwen

(Kunming Metallurgy College, Kunming, 650033, China)

Abstract: Oscilloscope is a helpful assistant for engineers in product designing and debugging. With the development in computer, semiconductor and communication technology, the signal clock in a circuit system works faster and the signal rise time gets shorter. therefore, the integrality of substrate analog signals brings about more and more eminent digital errors. In quick and accurate analysis of the system signal, many new factors as the following must be taken into accounts in measurement. The apparatus operating speed as fast as the surveyed signal changing, bandwidth wide enough, possible interfering factors in measurement, suitable probe, and so on.

Keywords: signal clock; rise time; speed; bandwidth; measurement; probe

示波器探头是测量链中的关键一环。探头并不仅仅是连接被测电路与示波器的管道,他对测量结果及被测电路均有影响。探头分为有源探头和无源探头两大类,有源探头内包含有源电子元件,可以提供放大能力;不包含有源元件的探头称为无源探头,其中只包含无源元件(如电阻和电容),这种探头通常对输入信号有衰减。所有探头均存在着阻性、感性和容性负载;问题是要把这些负载影响限制在可接受的极限范围之内。输入电阻和电容常用来描述探头的负载作用,在低频(<1 MHz)时,探头输入电阻是探头增加被测电路负载的关键因素。在较高频率时,探头输入电容就是重要因素。与探头有关的主要测量误差是容性负载。

1 阻性负载

进行测量时,常常以为测得的电压和电路中未连入示波器时是完全一样的。实际上,每个探头都有其输入阻抗,输入阻抗包含了电阻、电容和电感分量。由于探头引入的额外负载,所以,连入探头后就会影响被测电路,分析测量结果时必须考虑探头的特性以及测试电路的阻抗。

有些探头里没有串联的电阻,这类探头主要就一段电缆和一个测试头构成。因此,在其工作频率范围或有用带宽之内,探头对信号没有衰减作用。这类探头称为1:1或 $\times 1$ 探头。由于这类探头在测试点处将其自身的电容(包括电缆的电容)与示波器的输入阻抗连在一起,所以这种探头具有负载效应。当信号频率高时,探头的容性负载效应更加显著。由于电缆的类型和长度的不同以及探头本身构造等原因,1:1探头的输入电容通常可以从大约35~100 pF以上,这等于给被测电路施加了一个低阻抗因素负载,具有47 pF输入电容的1:1探头,在20 MHz之下的电抗仅为169 Ω ,这就使得这个探头在此频率无法使用。

可以在探头中增加一个和示波器输入阻抗相串联的阻抗,减小探头的负载效应。然而,这就意味着输入电压不能完全加到示波器的输入端,因为已经引入了一个分压器。这样一来就使得这种探头(包含串联的电阻及其补偿电容)的频率响应比1:1探头频率响应要宽得多。

一个实际的10:1探头具有几个可调的电容和电阻以便在很宽的频率范围内获得正确的频率响应,这些可调元件的大多数都是在制造探头时由工厂调好的。只有一个微调电容留给用户去调节。这个电容称为低频补偿电容,应当通过调节这个电容使得探头和与之相配用的示波器

匹配,使用示波器前面板上的信号输出可以很容易地进行这项调节工作,示波器的这个输出端标有“探头调节”,“校准器”,“CAL”或者“探头校准”等标志,并能送出一个方波输出电压。方波中包含很多频率分量,当所有这些分量都以正确的幅度送至示波器时,就能在示波器屏幕上再现方波信号。在使用衰减探头之前一定不要忘记检查探头的补偿情况,由于一台示波器的不同输入通道的输入电容可能有小的差异,所以,你应当按照示波器上要使用的通道来进行探头补偿调整工作。

在阻性、感性和容性负载误差源中,阻性负载的影响最小,因为他通常不会在电路中产生非线性行为。虽然太大的阱电流也会产生非线性响应,但在使用10 MΩ的探头时不会出现这一问题。最常见的阻性负载问题是由电路输出电阻与探头本身电阻(如图1)构成的电阻分压器。

$$V_{\text{MEASURED}} = V_{\text{ACTUAL}} \times \frac{R_{\text{PROBE}}}{R_{\text{SOURCE}} + R_{\text{PROBE}}}$$

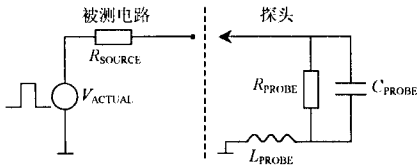


图1 电阻、电容和电感的加载效应

这里 R_{SOURCE} 是被测电路的输出阻抗。

使用不正确的探头不仅会使信号失真,而且会使电路出现错误的行为。

与 R_{SOURCE} 相比,探头电阻越低,所测到的波形幅度也就越低。例如,如果 R_{SOURCE} 为1 MΩ,测到的幅度比实际值约低9%。而若 R_{PROBE} 仅为1 MΩ,则测到的幅度将低50%。

2 感性负载

感性负载会在被观察信号中出现振铃(如图2)。振铃源是由探头内电容,地线电感及探头触针电感构成的LC电路。地线电感包括焊在电路检测点的各跳线电感。简单LC电路的振铃频率为:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

探头的带宽(BW)可以定义为用户对示波器探头系统可预期的-3 dB最高频率。大多数探头带宽(Hz)与上升时间(s)乘积接近0.35。在很多情况下,带宽由脉冲上升时间验证来保证最小失真。上升时间通常规定为信号从其稳态最大值的10%~90%所用的时间。上升时间是一个示波器从理论上来说能够显示的最快的瞬变时间。

如果波形上升时间对激励振铃而言足够短,振铃将作为捕获信号的一部分出现。例如,要计算地线造成的振铃频率,可假设探头地线的电感约为25 nH/in。因此,有8 pF电容和6 in长地线的探头的振铃频率近似为145 MHz。

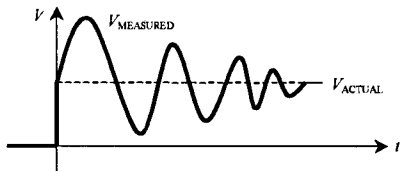


图2 感性负载在被测信号上叠加振铃

因而用该探头测量上升时间大于约2.4 ns的任何波形都将会出现振铃。

$$t_{\text{上升}} = \frac{0.35}{\text{BW}} = \frac{0.35}{145 \times 10^6} = 2.4 \times 10^{-9} \text{ s} = 2.4 \text{ ns}$$

探头的设计应把自身电容减到最小,同时应使用尽可能短的接地线(有些探头在地线上增添铁磁环以减小振铃。但你会为此付出增加地线阻抗的代价,而这又会降低探头的共模抑制)。在测量中,感性负载一般不成问题,除非被测信号的频率成分超过了带宽,或太差的地线和触针连接。

这里提供两个识别感性问题的提示。首先,根据信号频率、精度要求和其他测量因素,考虑是否会出现振铃问题。其次,通过减小地线或探头线的长度,看看能否降低共振频率,如果可以,就存在着感性负载问题。

3 容性负载

在阻性、感性和容性负载效应中,解决容性负载问题最为困难,他影响延迟、上升时间和带宽的测量。在高频时,容抗将影响幅度测量。由于引入了指数响应,容性负载还会改变被测波形的形状(见图3)。

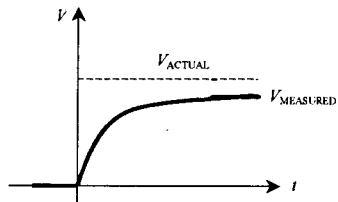


图3 由于电容的指数响应,容性负载改变了波形的形状

对简单RC电路,指数响应的时间常数近似为:

$$T_{\text{RISE}} = 2.3 \times R_{\text{TOTAL}} \times C_{\text{IN}}$$

这里 C_{IN} 是探头和示波器的组合电容, $R_{\text{TOTAL}} = \frac{R_{\text{IN}} R_{\text{SOURCE}}}{R_{\text{IN}} + R_{\text{SOURCE}}}$ 。

这一时间常数确定了被测信号上升时间的上限。例如,对于100 Ω输出电阻的电路,使用具有1 MΩ电阻和8 pF电容的探头时,其上升时间极限为1.75 ns(带宽近似为200 MHz)。信号可能有更快的上升时间,但用这样的探头不能看到如此快的信号(为使测量误差≤2%,测试信号的上升时间至少应小于示波器上升时间的1/5)。

测量误差仅仅是容性负载所产生问题的一半。他会把你引入一条死胡同,使你看不到存在的问题,或忙于解决

实际并不存在的问题。你可能有过这样的经历:容性负载探头会衰减毛刺,减小振铃或过冲,减慢跳变沿;同样,容性负载也会使电路不能正常工作。最麻烦的是除非你事先确实知道(不是理论上的)信号的大小和形状,否则就难以发现探头是否影响了测量的结果。解决办法是对每一种应用,都要保证使用正确的探头。

兼顾阻性负载和容性负载是相当困难的。在改进某一探头性能时,往往会影响到另一性能。因此,有适应不同应用和预算的多种探头。

4 结 语

(1) 探头选择的准则

正确的探头选择会扩展和增强仪器的性能,而错误的探头选择往往会降低系统性能。对探头特性的深思熟虑,会帮助、保证仪器性能满足应用要求。虽然对合适的探头主要考虑是他的负载影响和信号逼真度的传送。但物理参数,例如:探头尺寸大小、电缆长度和与被测装置互相连接的适配器等,对你测量的成功可能更重要。

(2) 在选择探头时考虑下列因素:

① 探头与示波器输入电阻和输入电容匹配

确信所要求的探头与所用示波器的输入电阻和电容匹配。50 Ω 示波器输入要求50 Ω 探头;1 M Ω 示波器输入要求1 M Ω 探头。此外,还要检查连接器接口的兼容性或选择所要求的合适的适配器。

② 与示波器带宽和上升时间匹配

选择对示波器有合适上升时间与带宽的探头。

③ 探头的加载作用

选择低阻抗测试点,使探头的加载影响减至最小。尽管探头的输入阻抗做得尽可能高,他对被测电路始终有一定的影响。

注意:探头输入阻抗随频率反方向变化的特性。例如:带宽为50 MHz,在DC时输入电阻为10 M Ω 的探头,在

50 MHz时探头的输入电阻就只有约1.5 k Ω 。测量时,应尽可能选择最低输入电容和最高输入电阻的探头,以取得最佳的总信号逼真度。

④ 时间延迟作用

时间延迟差必须加以考虑,特别是在相位和时间重合性测量及差分测量中。在进行延迟或时间差测量时,两探头应选用匹配好的一对,所谓匹配好实际上是指两探头的电缆要一样长,即对信号的延迟要一样,其输入电容、电阻和衰减也一样。用微调电容可以减小两者的差别(将两个探头都接到同一个有代表性的信号上,根据示波器上两波形的差别对两探头进行细致的调整,以改善共模抑制)。

⑤ 对于无源探头,在更换探头或探头交换通道的时候,必须进行探头补偿调整。所有有源探头在使用前应该有至少20 min的预热,有些有源探头和电流探头需要进行零点漂移调整。

⑥ 接地影响

接地的做法应始终记住,特别是在高阻抗探头应用中更应注意:使用尽可能短的接地路径(最好是同轴适配器或短的接地连接器)使串联电感对探头引入的影响减至最小。

参 考 文 献

- [1] 陈铁牛. 电工电子技能实训指导 [M]. 昆明: 云南大学出版社, 2002.
- [2] 佚名. 示波器知识百问(一) [EB/OL]. <http://www.znna.com/Article/Class12/hardware/200506/2430.html>.
- [3] Chengy. 示波器探头的工作原理 [EB/OL]. http://bbs.leowood.net/web/leowood/forum/forum_read.asp?id=1300506&page=1&property=0&ClassID=0, 2005-10-30.
- [4] 未知. 示波器基础(四)——附件和软件 [EB/OL]. <http://www.91tech.cn/Article/HardTech/AnalogDigitalBase/200508/1808.html>.

作者简介 常志文 男, 1963年出生, 副教授。主要从事《电子技术》、《电工学》、《电视机原理与维修》、《复印机原理与维修》等课程的教学。

(上接第72页)

7 结 语

由系统的实测效果证明, 基于Rocket I/O的视频数据采集和高速串行传输系统是一种高性能的、简单的解决方案。在此基础上增加差分时钟、采用信道绑定技术就可以实现10 Gb/s以上数据率的点对点高速串口通信, 可推广应用于高速背板通信和高速远距离大容量数据通信的场合。

作者简介 龚 坚 男, 1980年出生, 硕士研究生。主要研究方向为光通信。

参 考 文 献

- [1] Rocket I/O TM Transceiver User Guide [S]. Xilinx Inc. 2004.
- [2] 沈振元, 聂志泉, 赵雪荷. 通信系统原理 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1997.
- [3] 黄德勇, 张扬, 杨云志. 高速电路设计中的信号完整性研究 [J]. 电讯技术, 2004, 44 (2): 149-152.