

# 示波器探头的原理与选用

秦源淋

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

## 0 引言

示波器探头是测量链中的一个重要环节。其基本作用是从被测电路中探测信号, 并且提高示波器的输入阻抗; 从被测电路中提取最小的信号能量并把它们以最大的信号保真度输送到示波器中。示波器探头的类型有很多, 从功能上分有电压探头和电流探头, 从电路原理上可分为有源和无源两种。具体到不同的应用还有很多类型, 如差分探头、高压探头、逻辑探头等, 本文只对最常用的几种探头的原理进行了说明。

## 1 电压探头原理

### 1.1 无源电压探头

无源电压探头是最常用的一种探头。最简单的无源电压探头可以是两根普通的导线。两根导线构成的无源电压探头, 由于未加屏蔽, 会感应到干扰信号, 同时由于导线分布参数的影响, 带宽比较低。由同轴电缆构成的无源电压探头可以抑制外界干扰信号, 也有较宽的工作频带。但它必须在阻抗匹配的情况下才能正常工作, 否则信号就会在电缆中多次反射而严重失真。

常见的无源电压探头一般做成电容补偿的电阻分压式电路, 如图1所示。

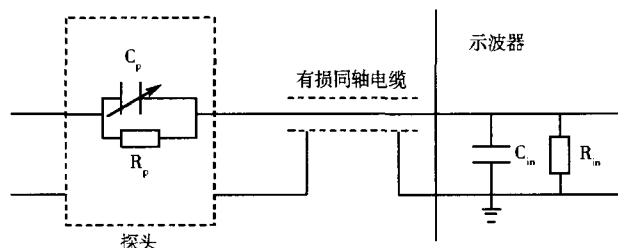


图1 RC补偿无源电压探头原理图

这种探头采用有损同轴电缆, 可以减少由于阻抗不匹配带来的失真, 衰减瞬时振荡。有损同轴电缆芯线有较高的电阻率, 但其阻值远小于示波器的输入阻抗, 因此其对被测信号的损耗可以忽略。探头的电阻 $R_p$ 、电

容 $C_p$ 和示波器的输入电阻 $R_{in}$ 、输入电容 $C_{in}$ 组成分压电路。采用补偿电容可以提高探头的工作频率, 分压作用扩展了示波器的量程上限。适当调整 $C_p$ 使 $R_p C_p = R_{in} C_{in}$ , 可获得较宽的频带, 分压比一般为10:1和100:1。示波器的标准输入电阻 $R_{in} = 1\text{ M}\Omega$ , 使探头的电阻 $R_p = 9\text{ M}\Omega$ , 就构成了一个10:1探头, 其尖端的输入阻抗为10 MΩ。

### 1.2 有源电压探头

无源探头可以在较高的频率下工作, 有较大的过载能力, 但由于有分压作用, 不宜探测小信号。而有源探头可在对输出信号无衰减的情况下, 获得优良的高频工作性能, 适于探测高频、高速的小信号。

现代有源探头大多采用结型场效应管源极跟随器, 输入阻抗高, 具有较低的噪声, 电路原理图如图2。

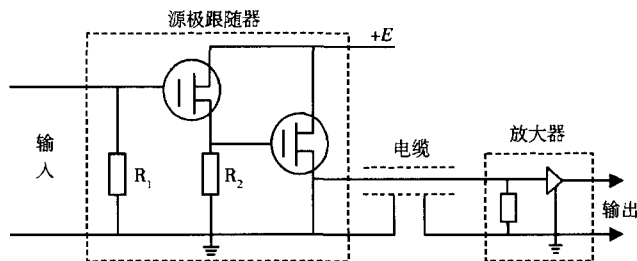


图2 有源电压探头电路原理图

$R_1$ 阻值一般为兆欧级, 使得探头对被测电路呈高阻;  $R_2$ 与同轴电缆的特性阻抗及示波器的输入阻抗一致, 以实现匹配工作状态。放大器用来补偿源极跟随器和电缆的传输损耗, 使整个探头的电压传输系数为1。有源电压探头使用时需要供电, 它的过载能力和动态范围都较无源电压探头差, 使用时要小心。

## 2 电流探头原理

在线性电路中, 电流的波形和幅度可通过观测相应的电压得到, 但在非线性电路中, 电流与电压的波形并不相同, 而且在某些电路中, 因接入示波器时对电路的工作状态的改变比较大, 不允许直接测量电压, 需要将电流转换为电压。在类似的情况下需要直接探测电流, 因为它可以不用直接与电路接触。电流通过导线引起导线周围形成电磁场, 电流探头感应到磁场的强度,

并且转换为电压信号供示波器测量。所以电流探头实质上是一个电流-电压转换器。由于电流探头的“不接触”性质,比起其它探头有较小的负载作用。基本的示波器电流探头有交流(AC)电流探头和交流/直流(AC/DC)电流探头两种。

### 2.1 AC 电流探头

AC 电流探头通常是无源电流探头。图3所示为AC 电流探头的基本组成,包括电流-电压变换器、连接电缆和匹配网络。

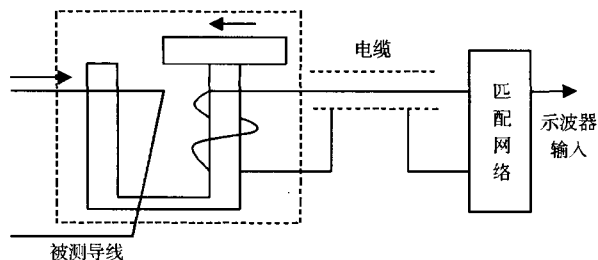


图3 AC 电流探头原理示意图

电流-电压变换器由铁芯和绕在铁芯上边的次级线圈组成。测量时,推开探头夹子,把载有被测电流的导线放入变压器孔中,使通过被测电流的导线成为变压器的初级线圈,然后把夹子合上,将磁路闭合,次级线圈便感应出一个与初级线圈电流成比例的电压。该电压经电缆和匹配网络输送到示波器输入端。由上边的原理可知,电流探头的本质就是一对紧密耦合的变压器,它的带宽取决于探头铁芯和线圈的设计。由于直流不能引起磁场的变化,也就不能引起变压器的感应,所以交流电流探头有一低频截止频率,它由线圈的电抗决定,最低为几赫兹。

### 2.2 AC/DC 电流探头

AC/DC 电流探头带宽起始于直流,所以探头中加入了霍尔效应器件来检测直流电。AC/DC 电流探头的终端由衰减器、放大器和电源组成。衰减器对被测电流进行衰减,放大器将被衰减的电流进行放大,以便和灵敏度相当的示波器配合。电源作为霍尔效应器件的偏流,用于直流检测,因此交流/直流电流探头通常是有源探头。

### 3 示波器探头的选用

探头对测量结果和被测电路都有影响。一个理想的探头,应该具有以下特点:连接简单便利、绝对的信号保真度、零负载和完全的抗干扰性。根据此原则,再结合探头的带宽、负载作用等主要技术指标,总结出如下示波器探头的选用原则:

1) 确定被测信号类型。探头是用来探测信号的。所以选择探头,首先要确定被测信号类型。信号可以被分

为电压信号、电流信号、逻辑信号和其他信号。其中,电压信号是电子测量中的最常见的信号类型,也是示波器要求输入的信号类型。其它类型的示波器探头的作用就是变换其它信号为电压信号。所以要根据不同的信号选择需要的探头。

2) 探头与示波器的输入阻抗、输入电容匹配。

3) 足够的带宽/上升时间。探头向示波器传送信号,为了保持足够的信号保真度,探头/示波器组合必须有足够的带宽或上升时间,一般其上升时间至少要比被测信号的最快上升时间快3~5倍。而在这个组合中,探头的带宽通常都大于或等于示波器的带宽。

4) 负载效应。所有探头均存在着阻性、感性和容性负载,与探头有关的主要测量误差是容性负载引起的。阻性负载由于分压作用而影响被测信号的幅度和直流偏置,容性负载影响延迟、上升时间和带宽的测量。高频时,容抗将影响幅度测量,还会改变被测波形的形状。在测量中,感性负载一般不成问题,除非是被测信号的频率成分超过了带宽。兼顾阻性负载和容性负载是相当困难的,在改进探头的某一性能时,往往会影响另一性能。当信号频率增高时容性负载变得最重要;在直流和低频情况下阻性负载最重要。一般来说,应该选择低阻抗测试点和最低输入电容、最高输入阻抗的探头来减小负载效应。

5) 选择合适的衰减比。探头衰减比与频率特性密切相关,如同一探头,衰减比为10:1时比1:1时的探测频率范围宽,而且有更小的负载。一根1:1的探头,它的动态测量范围和示波器是一样的,而衰减探头可以扩展动态测量范围。

6) 时间延迟作用。在相位和时间重合性测量及差分测量中,必须考虑时间延迟作用。要使用同型号和同样电缆长度的探头。

7) 接地影响。使用尽可能短的接地路径,使串联电感对探头引入的影响减到最小。

对于实际测量中的某一个应用,从来没有正确的探头选择,只有正确的“探头/示波器”组合选择。

### 4 结束语

本文对常用的几种示波器探头的原理分别进行了说明,并对探头的选用原则作了说明,对实际工作中探头的使用有一定的指导作用。

### 参考文献

[1] 国防科工委科技与质量司. 无线电电子学计量[M]. 北京:原子能出版社,2002.

[2] 泰克公司. 探头入门[Z].