

# 通用示波器

## 探极原理及使用方法

张慧玲 西安航空职业技术学院 710089  
 吴智斌 西安卫星测控中心 710089

由于在电子线路的测试过程中，示波器的使用非常广泛，而示波器探极又极易损坏，所以在使用中便存在着大量的维修工作。本文通过对示波器探极电路结构和工作原理的分析，希望对掌握探极的功能和技术要求，保证在测试过程中对探极的正确使用有所帮助。

补偿；衰减；阻抗匹配

探极俗称测量探头，它是连接在示波器外的一个输入电路部件。由于在输入电路的前端采用探极，则可很方便地自备测源探测信号和提高示波器通道的输入阻抗，从而拓宽示波器的使用频带。

### 一、探头的电容补偿和电压的比例衰减

1、采用电容补偿法可提高探极的保真度

图1为示波器的探极内部电路，图中C为补偿电容，可通过调节该补偿电容得到最佳补偿。例如在示波器自校准过程中，将5V 1KHz的标准方波输入探极，通过调节补偿电容C，在屏幕上可显示下图2中的三种波形。

通过上图2中三种波形的比较则可看出采用电容补偿法可提高探极的保真度。

2、采用电压比例衰减，扩展示波器的测量范围

图1中的通用探极也称分压探极，分压比有探极电阻R和示波器输入电阻 $R_i$ 决定，一般为10:1，即原来1mV到10V每格的典型示波器灵敏度范围，在8格显示时能测得4mV峰峰值到40V峰峰值范围内的信号。通过10:1的衰减使得动态测量范围扩展到40mV到400V，非常有效的扩大了示波器的测量范围。其原因是由于在图1电路中，提高了示波器的输入阻抗，从而扩展了示波器的实际测量频率。

### 二、探极的阻抗匹配

图3中的探极是在同轴电缆连接示波器的一端接入RLC阻抗匹配网络，这种探极的同轴电缆在阻抗匹配的情况下工作，使得探极的频率上限值从无匹配网络探极(图1)的几十兆赫兹提高到几百兆赫兹以上。比如P6008型探极，其内部电路如图3，电缆长为1m， $C_1=7.5PF$ ， $R_1=9M\Omega$ ， $L_1=0.15\sim 0.25\mu H$ ， $C_2=2\sim 35PF$ ， $R_2=1K\Omega$ ， $L_2=0.6\sim 1.1\mu H$ ， $C_3=1PF$ ，其中 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $C_2$ 构成匹配网络中的半节串臂的

导出式滤波器。去导出系数 $m=0.6$ 时，从滤波器左端看进去的阻抗在通带内几乎与频率无关，可实现与电缆的匹配；从该滤波器右端看进去的阻抗在通带内随频率升高减小，示波器的输入阻抗想匹配。将这种探极与输入阻抗参数为 $1M\Omega/20PF$ 的示波器配用时，瞬态特性的上升时间 $t_r < 3ns$ ，上限频率可超过100MHz。

通过以上对示波器探极原理分析，

下转第306页

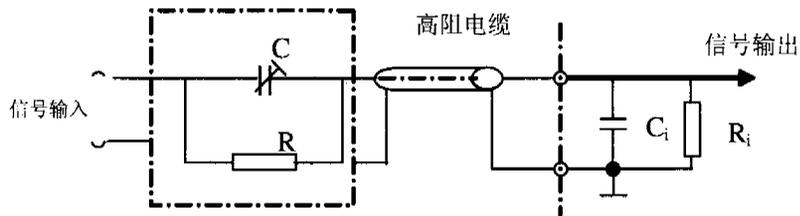


图1 示波器探极内部电路

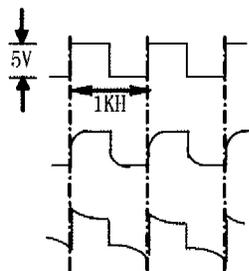


图 a 为最佳补偿

图 b 为欠补偿

图 c 为过补偿

图2 为不同C时的各种波形

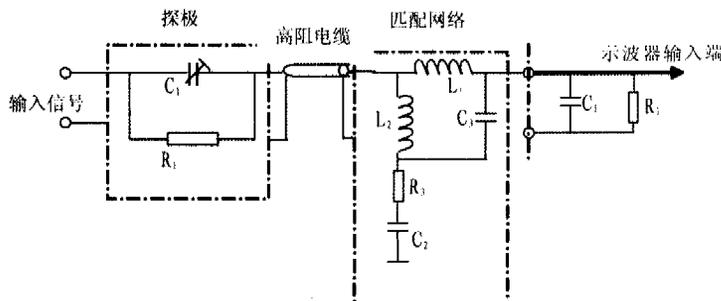


图3 具有匹配网络探极电路

将待求支路接入等效电压源。<sup>[1]</sup>

例：图 (7) 中电路， $E_1 = 230V$ ， $E_2 = 214V$ ， $r_1 = 1.2 \Omega$ ， $r_2 = 2 \Omega$ ， $R_1 = 0.4 \Omega$ ， $R = 110 \Omega$ ， $R$  支路为待求支路。

由图 (8) 计算等效电压源的电动势  $E'$ ，据 KVL：

$$I' = (E_1 - E_2) / (2R_1 + r_1 + r_2) = (230 - 214) / (2 \times 0.4 + 2 + 1.2) = 4(A)$$

$$E' = U_{AB} = E_2 + E' \times R = 214 + 4 \times 110 = 258(V)$$

由图 (9) 计算 A、B 两点间的等效电阻  $r'$ ：

$$r' = r_2(2R_1 + r_1) / (r_2 + 2R_1 + r_1) = 2(2 \times 0.4 + 1.2) / (2 + 2 \times 0.4 + 1.2) = 1(\Omega)$$

也可用电压源与电流源互换的方法将一个有源二端网络用一个具有电动势  $E'$  和内电阻  $r'$  的等效电压源来代替，原则如下：

- 1、具有电动势  $E$  和内阻  $r$  的电压源，可以等效变换为具有相同内阻的电流源，它的电激流  $I_S$  等于书籍电压源的短路电流，即  $I_S = E/r$ 。
- 2、具有电激流  $I_S$  和内阻  $r$  的电流源，可以等效变换为具有相同内阻的电压源，它的电动势  $E$  等于已知电流源的开路电压，即  $E = rI_S$ 。<sup>[1]</sup>

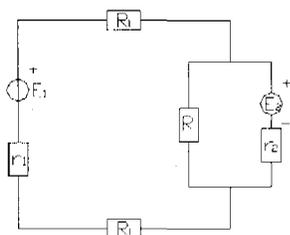


图 (7) 原题

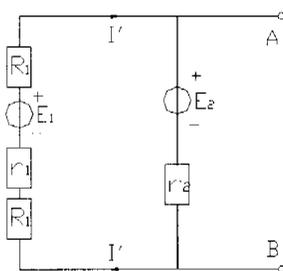


图 (8) 有源二端网络的开路电压

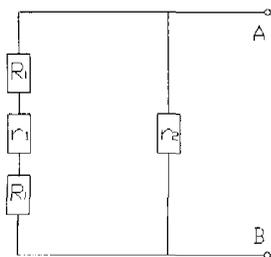


图 (9) 求等效电源内电阻的电路

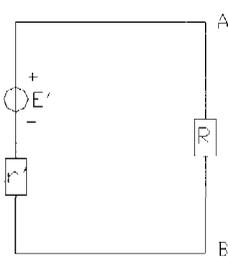
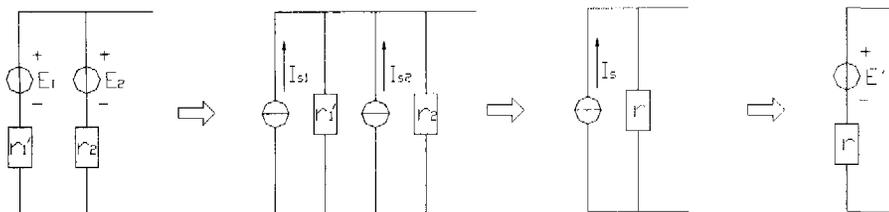


图 (10) 用  $E'$  和  $r'$  代替有源二端网



(11) 对原题图进行等效变换图

如将图 (7) 中电路用此法进行等效变换，如图 (11) 所示

先将两个电压源分别等效变换为电流源：

$$r_1' = 2R_1 + r_1 = 2 \times 0.4 + 1.2 = 2(\Omega)$$

$$I_{S1} = E_1 / r_1' = 230 / 2 = 115(A)$$

$$I_{S2} = E_2 / r_2 = 214 / 2 = 107(A)$$

然后将这两个电流源合并为一个等效电流源：

$$I_S = I_{S1} + I_{S2} = 115 + 107 = 222(A)$$

$$r = r_1' / r_2' = (r_1' + r_2) / (r_1' + r_2) = 2 / (2 + 2) = 1(\Omega)$$

最后将这个等效电流源变换为等效电压源： $E' = R I_S = 222 \times 1 = 222(V)$ ， $r = 1(\Omega)$ 。

### 3. 结语

对于复杂的电路，如果没有巧妙的思考和分析，恐怕一时很难理出头绪来。所以在求解过程中，深刻地理解“等效变换”的思想，熟练掌握“等效变换”的方法在电路分析中是重要的，这是解决问题的突破口。在求无源电路的等效变换时，运用等电势和电流流向相结合的方法；在求有源电路的等效变换时，运用戴维南定理、电压

源和电流源互换的方法，这些都体现了一定的解题技巧。电路的等效变换有各种花样，有兴趣的读者可作进一步探讨研究。

### 参考文献

- [1]徐国和. 电工学与工业电子学 (第五版). 上海: 高等教育出版社, 1993: 19 - 23

### 作者简介

陈斗 (1969-), 女, 1991 年大学毕业, 本科学历, 讲师, 主要从事物理教学与研究。

上接第 307 页

现对如何正确使用示波器探极提出几点建议：

1、足够的带宽或上升时间：探头的带宽应等于或大于示波器的带宽，比测量的波形频率大 5 倍。或者说探头、示波器上升时间之和应比被测信号的上升时间 3~5 倍。

2、电压限制：为了保证个人安全以及避免损坏探头和仪器，应初步了解被测电压的范围及所使用探极的电压限制。

3、电容补偿：一根为补偿的探极能产生各种各样的测量错误，特别是测量脉冲上升或下降时间。为了避免此类错误，通常先把探极连接到示波器校准探极端进行校准，以保证测量精度。

4、接地线尽可能的短且直接：延伸的接地线所增加的电感能在快速交换的波形上引起阻尼振荡。

5、张力和过湿的环境对探极也有危害：探极的电缆阻止一般为 300~500  $\Omega$ /m，典型值为 400  $\Omega$ /m，张力过大引起的断线将会减小电缆电阻，使反射失真不够彻底。过湿的环境易导致电击及设备的损坏。