

# 数字示波器 50 欧阻抗故障的维修

付少辉, 杨志成, 郭海涛

(中国电子科技集团公司第十三研究所, 河北 石家庄 050051)

**摘要:** 研究了数字示波器在50欧输入阻抗模式时, 发生超差故障的原因、现象。得出故障可分为固定型、变化型、无规律型三类的结论, 给出三类故障相应的损坏部位和维修方法, 可做到此类故障的快速定位和维修。

**关键词:** 数字示波器;阻抗匹配;维修

## Maintenance of 50 ohm Impedance fault for Digital Oscilloscope

Fu Shaohui, Yan Zhicheng, Guo Haitao

(The 13th Research Institute of CETC, Shijiazhuang 050051, China)

**Abstract:** This paper studies the causes and phenomena of impedance out of tolerance faults when the digital oscilloscope is in 50-ohm impedance mode. It is concluded that the faults can be divided into three categories: fixed, variable and irregular, and the corresponding damage parts and repair methods are given for these three types of faults, which can realize the rapid location and maintenance of such faults.

**Keywords:** digital oscilloscope; impedance matching; maintenance

### 1 引言

示波器是一种综合性电信号特性通用测量仪器, 广泛应用于各类信号测试, 可完成信号质量、眼图分析、电源纹波分析, 故障诊断等, 在信号的时域分析有着不可替代的作用<sup>[1]</sup>。示波器的发展经历了从单一功能向多功能, 从模拟向数字的过程。数字示波器<sup>[2]</sup>的主要指标是模拟带宽和实时采样率, 随着带宽的不断提高, 输入阻抗由1M $\Omega$ 变为50 $\Omega$ 或两者兼顾。因输入阻抗为50 $\Omega$ 时灵敏度提高, 承受信号的幅度减小, 导致前端垂直模拟通道中数字步进衰减放大电路的故障增加。故障现象为在Y轴上示值的超差, 实质上是输入阻抗超差。

数字示波器市场保有量大, 以往维修多为板卡级别, 维修成本高, 元器件级维修时无维修资料供参考, 难度大。相对容易维修部分集中在电源模块和模拟通道电路, 这两部分也是

示波器的易损部位。对示波器模拟通道电路的工作原理及故障进行研究分析，可以快速故障诊断并完成维修，对提高降低维修成本，提高维修质量，保障科研具有重要意义。

## 2 示波器输入阻抗

示波器的输入阻抗是输入端的等效模型，即在输入端加上的电压比上输入端电流，信号输入端口向内看去，对外呈现的阻抗。为了做到示波器输入阻抗应与被测信号源的阻抗互相适配。当示波器接入测试系统时，因负载变化而对被测信号产生影响称为负载效应。为了减少负载效应或提高测试频率，示波器具备两种内阻模式，方便测试。

### 2.1 示波器的两种内阻模式

1MΩ阻抗模型如图 1 所示，可等效成是 1MΩ电阻与 16pF 左右电容的并联。频率较低时，电阻是主要负载，由源内阻  $R_e$  与 1MΩ 的分压决定，对被测电路分流较少，影响不大。频率超过 10MHz 则电容为主要负载，需要加上  $R_e$  与 16pF 容抗的分压，若使用无源探头，会因寄生电容的并入，分流效果更加明显<sup>[3]</sup>，如图 1。

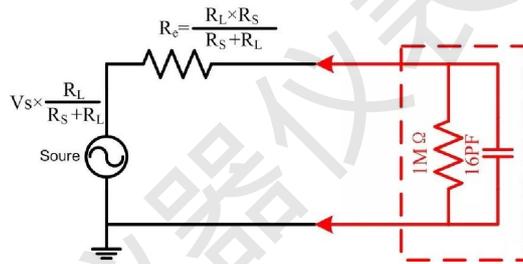


图1 1MΩ阻抗等效模型

随着示波器测试带宽的提高，1MΩ阻抗模式不能适应测试的需求。50Ω阻抗模式是传输功率、传输损耗、成本的最佳平衡点，可以消耗掉传输线的反射信号，从而对信号进行准确测量，如图2。

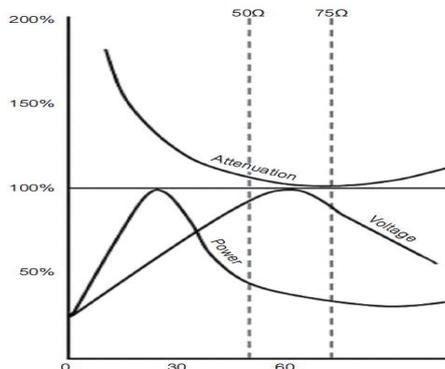


图2 50Ω阻抗模式

综上，示波器的两种输入阻抗模式是为适应不同频率的测试需求。1MΩ内阻模式有较小的负载效应，减少对被测电路影响<sup>[4]</sup>；50Ω内阻模式是为了消除高频信号在传输线上的反

射，防止信号的叠加，将传输线影响降到最低，提高测试频率。1M $\Omega$ 模式时，测试信号 RMS 一般在 150V~300V 间，测试带宽在 200M 以内；而 50 $\Omega$ 阻抗模式时测试信号 RMS 为 5V，测试带宽在 500M 以上。因此，一般的低端示波器只有 1M $\Omega$ 输入阻抗；中端示波器输入阻抗可以在 50 $\Omega$ 和 1M $\Omega$ 之间切换；高端的只有 50 $\Omega$ 一种输入阻抗模式。

## 2.2 阻抗匹配

对信号进行测量时为保证被测信号和示波器之间尽可能无失真地传送，应做到阻抗匹配，这时能够传送最大功率<sup>[5]</sup>。失配时会出现示值的超差，例如内阻 50 $\Omega$ 的源信号接入 1M $\Omega$ 模式的示波器，幅度示值是源输出真实值的两倍。

## 3 内阻超差的故障现象

相较于1M $\Omega$ 阻抗模式，50 $\Omega$ 输入模式下灵敏度高，但更易发生故障，表现为幅度上示值的超差，故障实质上是输入阻抗超差。输入阻抗是示波器垂直放大器的四个重要指标（灵敏度、带宽、上升时间、输入阻抗）之一，输入阻抗超差后一定会带来阻抗的失配，失配后会出现幅度超差的现象。

维修时可通过示波器校准仪或数字万用表测量输入阻抗来检测，当超出正常范围即故障（一般为 $\pm 3\%$ ），且执行自校准程序后仍无法达到指标要求，可判定为示波器输入阻抗失配故障。故障部位在前端模拟通道的输入端与ADC电路间的元件。

## 4 阻抗超差的故障分析

### 4.1 数字示波器垂直通道工作原理

垂直灵敏度是指单位输入电压变化所产生的垂直方向上显示值的变化，通常以垂直方向上单位显示长度（一格）所代表的电压值（V/div）来表示<sup>[6]</sup>也就是在垂直方向上进行调控波形幅度的缩放。

数字示波器核心元件是模数转换ADC电路，垂直通道电路是ADC信号处理的第一步，由继电器开关矩阵、固定衰减器、阻抗变换器、增益调节、ADC等组成。当输入信号由端口进入后完成对输入信号的交直流耦合、阻抗匹配、放大衰减、AD转换等功能，最终将输入信号调整到 ADC 的固定动态范围内，如图3所示。

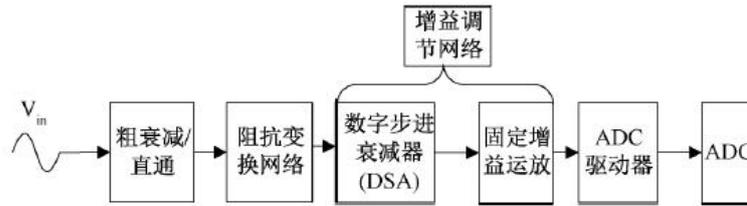


图3 垂直模拟通道电路

## 4.2 50Ω阻抗超差的故障分析

1MΩ内阻模式时中心导体与屏蔽之间的最大电压为400V峰值，最大瞬时承受电压是±800V峰值。130MHZ 以下时为250V<sub>RMS</sub> 降额到500MHZ时的2.6 V<sub>RMS</sub>。50Ω内阻模式时中心导体与屏蔽之间的最大输入电压为5V<sub>RMS</sub>，峰值≤±20V。两种阻抗模式下所测最大电压幅值相差极大，因此，具有两种阻抗模式转换的数字示波器在阻抗为50Ω时，阻抗匹配电路容易出现故障。

示波器垂直模拟通道损坏的原因是超过承受力的信号由端口进入到垂直衰减放大电路，但引发原因却有多样，器件失效、静电、过压或过流、阻抗自动转换或保护电路未及时响应，都会造成通道垂直部分的故障。尤其在测试过程中出现两种类型阻抗类型的测试信号或各通道设置为不同阻抗模式，容易出现误操作，也是引发故障的原因。

故障可分为内阻固定型、随档位变化型、阻抗不定型三种。

### (1) 内阻固定

在传输线终端保证几何结构和填充材料的特性阻抗不变，在输入端并联与特性阻抗相等的电阻，将反射吸收称为终端匹配。串联匹配是最常用的终端匹配方法，优点是功耗小，不会给驱动器带来额外的直流负载，也不会信号和地之间引入额外的阻抗，仅需一个50Ω电阻（串联或并联）作为负载与特征阻抗匹配抑制从负载端反射回来的信号发生再次反射。

此类故障有以下两个特点：一、负载电阻阻值大于标称值 50Ω，不会小于标称值，这是因为电阻长时间使用或信号幅度过大，其阻值变大不会变小。二、只有负载电阻参与阻抗匹配，无论垂直通道V/div 旋钮置于何档位，输入阻抗为固定阻值且稳定不变。

### (2) 内阻规律变化

一类表现为随档位变化，当调节垂直通道 V/div 旋钮置于某个或某段档位时，会出现50Ω输入阻抗超差，阻值可能向大变化，也可能向小变化，其余档位时输入阻抗正常。这是因为切换至某档位时继电器将内部50Ω电阻接入负载匹配电路。示波器带宽提高时普通电阻无法完成阻抗匹配，将电阻网络集成于继电器内部，由继电器控制接入。此类继电器典型型号有TELEDYNE公司的A150系列，AXICOM公司的HF3系列，都可用于DC~3GHz示波器的

50Ω系统中。

一类表现为随温度变化出现内阻超差，特点为开机时正常，随着开机时长增加，温度升高后内阻值变大。示波器关机降至室温后重启或外加其它降温措施后，内阻能恢复正常。

### (3) 内阻随机变化

垂直通道 V/div 旋钮几乎所有档位都出现50Ω输入阻抗超差，变化较大且无规律，阻值可能变大也可能变小，其余档位时输入阻抗正常的情况。此类故障多为数控增益放大器在承受过大冲击后造成损坏。

## 5 阻抗超差的维修实例

随着数字示波器技术的快速发展，将垂直、时基、触发、ADC、DSP、存储、嵌入式系统集成于一块主板上，外加电源模块、计算机系统。因集成度提高、元件密度加大、专用电路的大量使用，使得示波器的可维修性变差，多为更换主板的板卡级维修。控制维修成本，则必须采用元器件级维修。

安捷伦DSO系列的示波器，内阻超差故障部位在输入端口至ADC电路之前的模拟信号通道电路，最少为两路或四路完全对称的电路，所有通道全部损坏的可能性较小，这样就给使用对比法维修提供了正确参考值。多数人习惯使用1通道，以1通道损坏较为常见。故障定位有以下原则：

(1) 对于内阻为一个固定的错误值时，观察垂直通道电路中是否有负载电阻，多为20Ω、50Ω、100Ω的电阻进行串并联，封装方式大于其它电阻多为1206封装形式，通过测量可发现故障元件。维修较为简单更换精度1%的贴片电阻即可。

(2) 对于内阻随温度变化出现超差，开机时阻抗正常，随着开机时长增加温度升高，故障出现，多为固态继电器故障，因为存在机械触点的继电器对温度响应不明显。

(3) 对于内阻随档位变化的故障。切换档位时用数字表监测继电器电压即可，也可由吸合的声或轻微振动进行辅助判断，如继电器动作和故障同时出现，可判断为此继电器故障。

(4) 对于内阻随机变化的故障。此类变化故障部位在增益调节网络，故障元件为数控增益放大器。此集成电路为安捷伦的1GG系列的专用芯片，管脚密度大，且市场不易采购，对维修人员要求较高。

## 6 结论

认真阅读使用说明，确认示波器在不同阻抗条件下对信号输入指标参数的要求，可以很大程度避免示波器因为输入信号超出量程能力导致的示波器的损坏。在接入测试信号前根据

信号频率、幅度确认合适的探头<sup>[7]</sup>。避免在 50Ω阻抗模式接入应在 1MΩ阻抗模式下的测试信号造成损坏。初始状态可以设置的示波器应将复位默认阻抗设置为 1MΩ。无源探头采用 1MΩ阻抗档位；有源探头按要求进行匹配设置。

使用时避免ESD静电损坏，使用正确接地，对于安全性和精确测量都是必要的。佩带接地腕带，尤其2GHz以上带宽示波器。

安捷伦 DSO90000 系列，在使用示波器校准仪与数字表测试输入阻抗数据不一致，需进一步研究。

#### 参考文献：

- [1] 王志田.无线电电子学计量[M].上册.北京:原子能出版社, 2002:243-312.
- [2] GB/T 15289-2013 数字存储示波器通用规范[S].2013.
- [3] Fisherpan.教你认识示波器探头.2010
- [4] 赵中义.示波器原理、维修与检定[M].北京:电子工业出版社, 1990:89-106.
- [5] 韩淑杰. 示波器校准中阻抗失配问题的探讨[J]. 计量与测试技术.2014(6):101-102.
- [6] 谢尚豪.双通道 100MSPS 数据采集板卡设计[J]. 电子测量技术, 2018,41(19): 118-123.
- [7] 陈晓华. 示波器探头的使用及测量结果的误差分析[J]. 半导体技术. 2010.7.634-636.