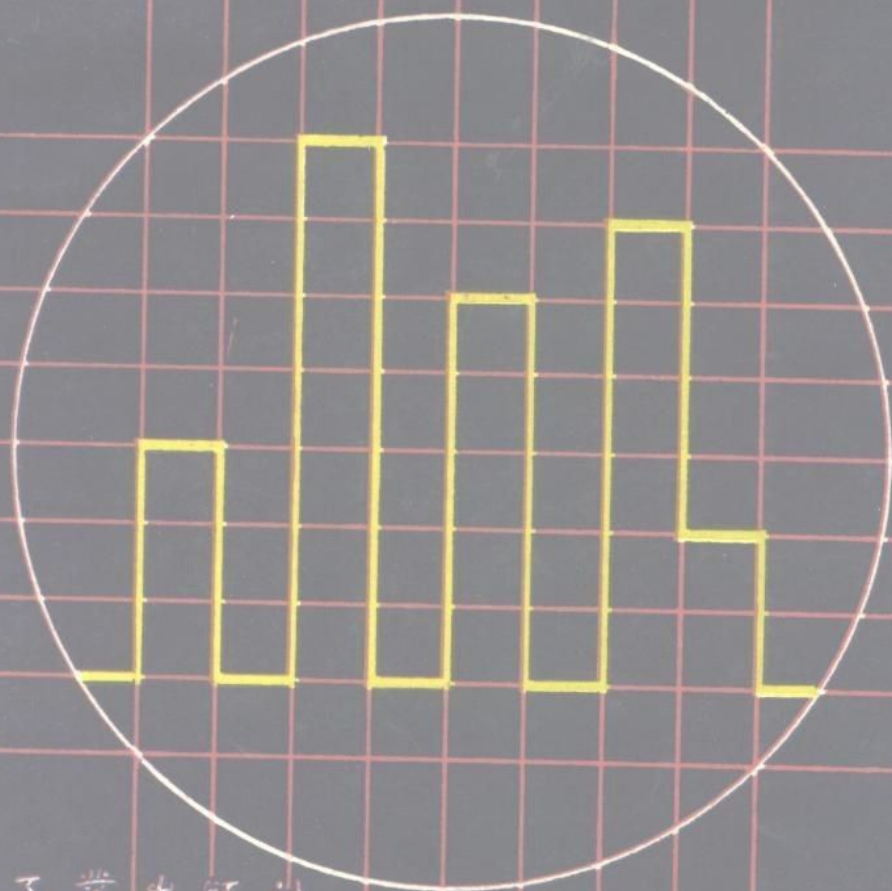


示波器原理、 维修与检定

赵中义 主编



电子工业出版社

示波器原理、维修与检定

赵中义 主编

电子工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了国内外广泛使用的九类示波器的基本原理, 示波器的维修方法及几百种常见故障的分析排除方法, 还介绍了示波器维修后进行检定的方法, 以及示波器校准仪的原理与维修。书中还附录了国内外主要示波器生产厂家及产品一览表供参考。

示波器原理、维修与检定

赵中义 主编

责任编辑 杜振民

*

电子工业出版社出版 (北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

人民卫生出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 32.5 插页: 7 字数: 853千字

1990年11月第1版 1991年7月第2次印刷

印数: 10100—20200册 定价: 16.00元

ISBN 7-5053-0999-4/TN·319

示波器原理、维修与检定

编写人员

顾问 常新华

主编 赵中义

副主编 李延昌 吴 昕 潘惟力

参加编写人员

赵中义	潘惟力	俞见逸	陈志达
余桂明	廖仁麒	张志伟	施宗萍
刘 峰	殷德宏	倪维健	张吉祥
洪锦屏	翁中岳	罗大章	陆松杰
沈一新	吴振宇	周达夫	徐建国
沈梅君			

参加审阅人员

席德熊	方 明	郝怀新	胡寿曾
陈 林	李洪胜	李志贤	栾立竹
刘国禹	白天赐	过振华	曹传宁

前 言

随着科学技术的发展,电子技术已渗透到各个领域。凡是应用电子技术的行业和部门都离不开电子测量仪器。电子测量仪器已发展成为一门独立的学科。

示波器是一种测量和观察用的仪器。它以直观、准确、简便之特点广泛被应用。在电子测量仪器中它属通用仪器之一,占据着相当重要的地位。随着示波器的广泛应用,它的计量测试与维修工作便急迫地提到议事日程上来了。

机械电子部科技司着眼于普及示波器的基础知识,培养示波器计量测试、维修使用的专业人才,提高其理论水平和实践能力,同时为满足广大用户使用维修示波器的需要,特组织编写了本书。

本书包括原理、维修、检定及校准仪部分,共十八章。另外,还附录了国内外有关示波器的标准索引,以及国内外主要示波器生产厂家及示波器产品等内容。本书适用于从事生产、使用、计量、维修示波器的中高级技术人员,也可作为培养示波器专业人员,特别是培养示波器维修计量人员的基础教材。它是一本资料齐全的示波器技术手册。

示波器品种繁多,电路各异,受篇幅所限,不可能一一详述。本书选取量大面广的示波器(一般为中、低档通用示波器)为重点,典型的电路为代表进行详述。对其它类型的示波器,仅对其特殊部分加以介绍。读者可据此举一反三,达到精其一点,通其全局之目的。

第一章为概述部分。介绍了示波器的特点、简史及发展趋势。

第二章至第十章为原理部分。第二章是通用示波器的工作原理,作了较详细地叙述。有些电路选取了常用的几种加以介绍,以便扩大读者的思路。第三章到第十章分别介绍了其它八种类型示波器的工作原理。其中,凡与通用示波器相同的部分不再赘述,仅就其独特之处予以阐明。

第十一章至第十六章为维修部分。第十一章着重介绍示波器的检修方法和故障的检索判断程序,给维修人员提供基本的技能和实践经验。第十二章列举了通用示波器常见故障 50 多例。详细地介绍了常见故障的现象,产生故障的原因及排除方法。第十三章和第十四章分别选取了具有代表性的 15MHz 和 100MHz 通用示波器。第十五章选取了 1GHz 取样示波器进行分析,便于读者从中得到更具体的启迪。第十六章介绍其它七类示波器的维修。

第十七章为示波器的检定部分。编入了示波器检定规程体系表和各类示波器检定规程十四个。其中,代号为 JJG 的是国家级检定规程,共 5 个。代号为 JJG (电子)的是部级检定规程,共 6 个。部级检定规程报批稿 3 个。

为了有利于计量维修工作的开展,将示波器校准仪的原理、维修和检定规程单列为第十八章。

本书在编写过程中，国防科工委、国家计量院、机械电子部的有关部门给予了大力支持。国内主要示波器生产厂家及机械电子部第三研究所，第二十研究所作了许多具体地工作，在此，一并表示衷心地感谢。

由于时间紧迫，资料有限，对近代发展起来的一些新技术还研究不够，错漏之处，敬请批评指正。

编著者

1990年4月

目 录

前言

第一章 示波器概述	(1)
第一节 示波器的特点与分类	(1)
一、示波器的特点与地位	(1)
二、示波器分类	(1)
第二节 示波器发展简史与发展趋势	(2)
一、示波器发展简史	(2)
二、示波器发展趋势	(3)

原理部分

第二章 通用示波器工作原理	(8)
第一节 通用示波器概述	(8)
一、基本构成	(8)
二、各种电路的作用	(8)
三、面板控制件及其功能	(9)
四、示波器的主要技术指标及定义	(11)
第二节 主机	(13)
一、低压电源	(13)
二、高压及显示电路	(16)
三、Y轴放大器	(19)
四、校准信号	(20)
第三节 垂直系统	(22)
一、输入电路	(23)
二、前置放大器	(25)
三、垂直通道开关转换电路 (电子开关)	(27)
四、延迟线功能及驱动放大器	(30)
五、内触发放大器	(32)
六、主放大器	(34)
七、输入探极	(38)
第四节 水平系统	(41)
一、触发信号和耦合电路	(41)
二、触发放大器及整形电路	(42)
三、扫描电路	(47)
四、双扫描电路	(52)

五、水平放大器及 X-Y 显示·····	(57)
第三章 高灵敏度示波器工作原理·····	(60)
第一节 Y轴高增益直流放大器电路·····	(60)
一、基本构成·····	(60)
二、前置放大器·····	(60)
三、增益转换放大器·····	(64)
四、微调移位控制级·····	(64)
五、后置放大器·····	(64)
第二节 技术关键·····	(64)
一、共模抑制比及其提高的方法·····	(64)
二、交叉中和电路·····	(66)
三、栅流补偿电路·····	(67)
四、零漂的抑制·····	(67)
五、噪声的处理·····	(68)
第四章 取样示波器工作原理·····	(69)
第一节 概述·····	(69)
一、取样原理·····	(69)
二、取样示波器的基本方框图·····	(70)
三、取样示波器的主要技术指标·····	(71)
第二节 取样示波器垂直系统的主要电路·····	(75)
一、取样门电路·····	(75)
二、取样脉冲发生器·····	(78)
三、延长门脉冲发生器·····	(79)
第三节 取样示波器水平单元及其主要电路·····	(79)
一、同步分频电路·····	(79)
二、快斜坡发生器、比较电路·····	(81)
三、阶梯波发生器·····	(81)
第五章 记忆示波器工作原理·····	(83)
第一节 记忆示波管·····	(83)
一、双稳记忆示波管·····	(83)
二、栅网记忆示波管·····	(84)
三、快速转移记忆示波管·····	(84)
第二节 记忆示波器基本组成和主要指标·····	(85)
一、基本组成·····	(85)
二、主要记忆技术指标和功能·····	(86)
第三节 记忆示波器的特有电路·····	(86)
第六章 数字存储示波器工作原理·····	(89)
第一节 概述·····	(89)
一、基本原理与方框图·····	(89)

二、主要技术指标·····	(90)
三、功能特点·····	(92)
第二节 数字存储示波器中的关键器件·····	(94)
一、A/D 变换器·····	(94)
二、D/A 变换器·····	(96)
三、随机存取存储器·····	(96)
第三节 数字存储示波器中的关键电路·····	(97)
一、时基控制电路·····	(97)
二、存储控制电路·····	(99)
三、读写地址计数器·····	(99)
四、功能控制电路·····	(100)
五、峰值检测电路·····	(103)
六、随机取样电路·····	(106)
第七章 逻辑分析仪工作原理 ·····	(108)
第一节 概述·····	(108)
一、逻辑分析仪的特点·····	(108)
二、逻辑分析仪的分类·····	(110)
第二节 逻辑分析仪的基本组成·····	(112)
一、原理框图·····	(112)
二、主要单元·····	(112)
三、基本工作过程及流程图·····	(123)
第三节 逻辑分析仪的主要技术指标和功能·····	(124)
一、输入通道数 N ·····	(124)
二、时钟频率·····	(124)
三、时钟数据输入幅度·····	(124)
四、建立时间 (t_s) 和保持时间 (t_h)·····	(124)
五、存储容量 K ·····	(125)
六、触发功能·····	(126)
七、显示方式·····	(126)
八、限定功能·····	(126)
九、其它·····	(127)
第四节 逻辑分析仪的主要电路·····	(127)
一、数据获取控制电路·····	(127)
二、图形显示 (MAP) 电路·····	(133)
三、数据整形和逻辑电平转换电路·····	(134)
四、并行数据输入电路·····	(135)
五、数据字识别器电路·····	(137)
第八章 矢量示波器工作原理 ·····	(141)
第一节 概述·····	(141)

一、基本原理框图·····	(143)
二、面板控制件及其功能·····	(143)
三、主要技术指标·····	(144)
第二节 矢量示波器主要电路·····	(145)
一、输入放大器电路·····	(145)
二、相位锁定和定时电路·····	(146)
三、解调驱动器和偏转放大器电路·····	(149)
第九章 波形监视示波器工作原理 ·····	(151)
第一节 概述·····	(151)
一、基本电原理框图·····	(151)
二、面板控制件及其功能·····	(151)
三、主要技术指标·····	(154)
第二节 特殊单元电路·····	(155)
一、垂直系统·····	(155)
二、水平系统·····	(158)
第十章 立体声示波器工作原理 ·····	(160)
一、对两信号幅度与相位同时进行测量·····	(160)
二、左右显示及叠加显示控制电路·····	(160)

维修部分

第十一章 示波器检修的基本方法 ·····	(164)
第一节 检修步骤·····	(164)
第二节 检修注意事项·····	(164)
第三节 检修的基本方法·····	(165)
一、电压测量法·····	(165)
二、电路分割测量法·····	(165)
三、波形测量法·····	(166)
四、短路法·····	(166)
五、电阻测量法·····	(166)
六、信号寻迹法·····	(167)
第四节 故障的逻辑判断程序·····	(167)
第十二章 通用示波器常见故障分析 ·····	(174)
第一节 低压电源电路故障分析·····	(174)
第二节 高压电源及显示电路故障分析·····	(175)
第三节 Y轴系统故障分析·····	(177)
第四节 扫描系统故障分析·····	(189)
第五节 触发电路故障分析·····	(198)
第六节 无工频变压器电源故障分析·····	(201)

第十三章 SR8 型 (开关电源) 双踪单时基示波器的维修	(204)
第一节 概述	(204)
第二节 低压电源的维修	(206)
一、电路简介及各档电源对地电阻	(206)
二、常见故障	(206)
第三节 高频高压显示电路的维修	(208)
一、电路简介及各点直流电平	(208)
二、常见故障	(210)
第四节 增辉放大器的维修	(212)
一、电路简介	(212)
二、常见故障	(213)
第五节 校准信号电路的维修	(214)
一、电路简介	(214)
二、常见故障	(214)
第六节 垂直放大系统的维修	(215)
一、电路简介及各级放大器直流电平	(215)
二、常见故障	(217)
第七节 扫描时基电路的维修	(223)
一、电路简介及各点波形、直流电平	(223)
二、常见故障	(226)
第八节 触发电路的维修	(228)
一、电路简介及各点波形图	(228)
二、常见故障	(230)
第九节 X放大器的维修	(232)
一、电路简介及各点直流电平	(232)
二、常见故障	(232)
第十四章 SR37A 型双踪双时基示波器的维修	(235)
第一节 概述	(235)
第二节 主机的维修	(238)
一、低压电源	(238)
二、高压电源与显示电路	(239)
三、Z轴放大器	(241)
四、校准信号发生器	(241)
第三节 Y轴系统的维修	(243)
一、电路简介及静态工作点	(243)
二、常见故障	(247)
第四节 触发同步电路的维修	(251)
一、A触发电路	(251)
二、B触发电路	(254)

第五节 扫描时基发生器电路的维修	(256)
一、A扫描电路	(256)
二、B扫描延迟电路	(258)
三、增辉电路	(259)
第六节 X放大器的维修	(260)
一、X放大器电路	(260)
二、常见故障	(260)
第十五章 SQ12A 取样示波器的维修	(262)
第一节 概述	(262)
第二节 取样示波器维修注意事项和故障检索过程	(264)
一、取样示波器维修注意事项	(264)
二、取样示波器故障检索过程图	(266)
第三节 低压电源维修	(266)
一、电路简介及直流工作点	(266)
二、常见故障	(267)
第四节 高频高压及显示电路的维修	(268)
一、高压电路简介	(268)
二、常见故障	(270)
第五节 偏转放大器的维修	(271)
一、X、Y轴偏转放大器简介	(271)
二、常见故障	(273)
第六节 校准信号电路的维修	(273)
第七节 X轴插入单元的维修	(274)
一、触发分频电路的维修	(274)
二、快斜坡发生器电路的维修	(278)
三、阶梯波发生器电路的维修	(282)
第八节 垂直放大系统的维修	(286)
一、双踪控制电路的维修	(287)
二、B通道X轴放大器电路及阻塞振荡器的维修	(289)
三、取样门及取样脉冲发生器的维修	(291)
四、低频放大器及延长电路的维修	(294)
第十六章 七类示波器维修要点	(300)
第一节 高灵敏度示波器的维修	(300)
第二节 记忆示波器的维修	(302)
第三节 数字存储示波器的维修	(304)
第四节 逻辑分析仪的维修	(307)
第五节 矢量示波器的维修	(310)
第六节 波形监测示波器的检修	(310)
第七节 立体声示波器的维修	(312)

检定部分

第十七章 示波器的计量检定	(316)
一、通用示波器检定规程.....	(317)
二、300MHz 宽带示波器检定规程	(328)
三、TEK 7904 型 500MHz 宽带示波器检定规程.....	(341)
四、SG1型二线高灵敏度示波器检定规程.....	(353)
五、慢扫描示波器检定规程.....	(361)
六、1GHz 取样示波器检定规程.....	(370)
七、SQ-27型取样示波器试行检定规程.....	(378)
八、SQ20 型取样示波器检定规程.....	(389)
九、存储示波器检定规程.....	(398)
十、TEK 1240/1241 型逻辑分析仪检定规程.....	(409)
十一、SL4逻辑示波器检定规程.....	(426)
十二、XJ5440 波形监视示波器检定规程	(437)
十三、521 型 PAL 矢量示波器检定规程.....	(447)
十四、XJ4245 型立体声示波器检定规程.....	(453)

标准仪

第十八章 示波器校准仪	(460)
第一节 概述.....	(460)
第二节 典型示波器校准仪工作原理.....	(460)
一、时标产生电路工作原理.....	(460)
二、幅标电路原理.....	(464)
三、快沿方波发生电路.....	(467)
第三节 校准仪的维修.....	(467)
一、时标电路的维修.....	(467)
二、幅标电路的维修.....	(468)
三、快沿方波发生器的维修.....	(469)
四、SO6 型校准仪的特殊维修.....	(470)
第四节 程控示波器校准仪.....	(470)
一、程控示波器校准仪特点.....	(471)
二、NH4602 型程控校准仪的维修.....	(475)
第五节 示波器校准仪检定规程.....	(477)

附录

附录A 示波器标准索引.....	(485)
------------------	-------

一、国际电工委员会 (IEC) 的有关标准·····	(485)
二、国内有关基础标准和专业标准·····	(485)
附录B 国内外示波器主要生产厂商·····	(486)
一、国外示波器主要厂商·····	(486)
二、我国示波器生产厂·····	(488)
附录C 国内外示波器产品一览表·····	(491)

第一章 示波器概述

第一节 示波器的特点与分类

一、示波器的特点与地位

随着科学技术突飞猛进的发展，世界已进入新的技术革命时代。作为技术革命先导的电子技术已渗透到国民经济各个领域中去。

人类在认识自然和改造自然的过程中，必定要进行测量活动。测量，就是为确定被测对象的量值所进行的实验过程。电子测量，从广义上来说是指利用电子技术进行的测量。电子测量仪器则是采用电子技术测量电量或非电量的测量仪器。它是电子工业的基础和先行，近来发展极为迅速，已形成一门独立的学科。可以说，一个国家的电子测量技术水平，在一定程度上反映了该国的电子技术水平。

示波器是以短暂扫迹的形式显示一个量的瞬时值的仪器，也是一种测量、观察、记录用的仪器。它利用一个或多个电子束的偏转，得到表示某变量函数瞬时值的显示。直观表示二维、三维及多维变量之间的瞬态或稳态函数关系、逻辑关系，以及实现对某些物理量的变换或存储。示波器已成为一种直观、通用、精密的测量工具，广泛地应用于工农业生产、科研、军事、教育各个领域，进行对电量和许多非电量的测试、分析、监视，示波器发展速度、销售额都远远超过其它电子测量仪器。据近几年的统计，示波器年销售额大约占整个电子测量仪器总销售额的百分之十三左右。

二、示波器分类

根据目前示波器发展的现状，示波器可分为以下九类：

1. 通用示波器——简易示波器、示教示波器、高灵敏度示波器、慢扫描(超低频)示波器、多线示波器、多踪示波器等。
2. 取样示波器——高阻取样示波器、低阻取样示波器、时域反射仪等。
3. 存储示波器——记忆示波器、数字存储示波器等。
4. 数字智能化示波器——数字读出示波器、数字处理示波器、智能化示波器等。
5. 电视示波器——矢量示波器、波形监视器、选行示波器。
6. 逻辑分析仪——逻辑示波器、逻辑分析仪等。
7. XY 示波器——XY 示波器、立体声示波器等。
8. 显示器——CRT 终端、监视示波器等。

9. 特种示波器——高压示波器、行波示波器、雷达示波器等。

第二节 示波器发展简史与发展趋势

一、示波器发展简史

1878年,英国W·克鲁克斯发现了阴极射线,并且用磁铁使真空管中的阴极射线产生了偏移。到了1897年,德国K·F·布劳恩研制成第一支冷阴极静电偏转电子射线示波管,同时用它制作了一台“可变电流观察仪”,这台原始的装置即是最早的“示波”仪器。1931年,美国通用无线电公司利用曼弗雷德·冯·阿德奈研制的示波管制成了示波器。这种示波器分成为阴极射线管和装有聚焦旋钮的主机两部分,售价265美元,这在当时是十分昂贵的。美国艾伦·B·杜蒙对现代示波器的发展起了重要作用,他在1930年至1931年间研制成功多种示波管,并在1932年制成了他的第一台示波器。1933年杜蒙推出了一体化的示波器,1934年初又发表了137型示波器。这种新型的示波器带有测量坐标片,可利用前面板的旋钮连续调扫描和聚焦,堪称现代示波器的雏型。此后,杜蒙不断致力于示波器的改进,为使示波器成为一种重要的测量工具做了大量的工作。1946年美国Tektronix公司创立,成为示波器开发生产的主要厂商。

从第一台商品示波器出现到今天,已有50余年的历史,其间的发展,大致可分为三个阶段。

20世纪30~50年代是电子管示波器阶段。到1958年示波器的带宽达到了100MHz后便长期停滞不前。1957年美国休斯飞机制造公司研制成功了记忆示波器;1959年美国卢米特龙公司生产出由R·休格曼研制的取样示波器。

20世纪60年代是晶体管示波器阶段。由于采用了晶体管器件,示波器的带宽在驻足9年之后终于突破了100MHz,达到150MHz,到了1969年又跃至300MHz。同年,取样示波器的带宽达到了18GHz的高峰。

20世纪70年代是集成化示波器阶段。集成电路技术为示波器的小型化和向高性能、高可靠发展创造了条件。1971年问世的微处理器,更为示波器的智能化增添了双翅。1971年,示波器的带宽提高到500MHz,1979年达到了1GHz的高峰。1972年,第一台数字存储示波器诞生,它对示波器的发展产生了重大的影响。1973年,同时出现的逻辑状态分析仪和逻辑定时分析仪标志着“示波”测量已经跨入了数据域。1974年发表了带微处理器的示波器,从此,示波器的发展进入了一个崭新的阶段。

80年代以来,示波器正朝着数字化、智能化方向飞速地发展,示波器面貌日新月异,新产品层出不穷。

我国在1949年前,示波器工业是一片空白,仅有少数厂商做一些进口示波器的维修工作。1950年,我国开始研制示波器,并于1951年初完成了实验样机。当时这台用于观察“生物电信息”的示波器成为我国自己研制的第一台示波器。1951年上海成立新建电仪工业社,当时职工仅6人,从事示波器和其它电子测量仪器的开发和生产。从

1951年开始先后研制生产了103型、105型、113型和125型示波器。1957年,新建电仪工业社更名为新建电子仪器厂,1967年又改名为上海无线电二十一厂。示波器的“新建”牌商标一直沿用至今。

为了科研和生产的需要,解放初期一些研究单位也曾进行过示波器的研制,但都未形成批量生产能力。随着我国电子工业的发展,在70年代中期,国内示波器生产厂家曾一度猛增到150多家。经过多年来的调整,到1986年统计,示波器生产厂尚有42个,其中主要生产厂有9个,年产各类示波器3.3万台。从技术发展水平上看,1960年前,国内示波器主要产品是通用电子管示波器,带宽不超过5MHz;到1965年,使用国产品体管的示波器带宽达到了30MHz;紧接着,示波器的科研生产集中于解决小型化、高集成度、宽带,并向多功能示波器方向发展,并于1979年开发生产了宽带300MHz的SR13A示波器和带宽为12.4GHz的SQ20型取样示波器;1981年研制生产了带宽30MHz、记录速度为 $2\text{div}/\mu\text{s}$ 的SJ6型记忆示波器和灵敏度为 $10\mu\text{V}/\text{div}$ 的SG1型高灵敏度示波器;1982年开发生产了16通道的SL4型逻辑分析仪;1983年投产了存储带宽50kHz的SS1型数字存储示波器;并从1975年开始生产电视专用示波器(包括波形监视示波器、选行示波器、矢量示波器等)。虽然与国际先进水平尚有一定差距,但从示波器门类上讲已经完全可以立足国内生产,绝大多数中、低档示波器我国生产能力有余,并已开始出口,一些高技术产品也正在积极开发之中。在示波器的研究开发生产中,上海无线电二十一厂、西安红华无线电厂、内蒙古电子仪器厂、辽宁无线电二厂、哈尔滨电子仪器厂和前卫无线电厂等都做出了自己的贡献。

二、示波器发展趋势

近年来,示波器发展极为迅速。目前,世界各国示波器的最高水平和我国的水平见表1-1。

现就几种主要门类示波器发展情况简述如下:

1. 通用(宽带)示波器

它是最早发展起来的示波器。被测信号输入通道进行放大后,加至示波管的垂直偏转板。扫描电路产生锯齿波加至示波管的水平偏转板,将被测信号稳定地显示在示波管屏幕上。该种示波器应用面最为广泛,凡涉及电子技术的地方均离不开它。

(1) 中、低档示波器

指频带宽度为100MHz以下,Y轴灵敏度为 $2\sim 10\text{mV}/\text{div}$ 的示波器。它主要用于现场维修,生产线调试及实验室一般性测量等方面,需求量很大;占示波器总销售量的百分之五十以上。该类示波器正向集成化(目前集成度达百分之八十以上)、多功能(多通道显示、交替触发、延迟触发、双滞后扫描等)、高精度(测量误差由5%提高到0.5%)、低成本、及小型化等方向发展。

近几年,日本厂商从低档示波器入手,以价廉、可靠打入世界市场(包括美国市场)。过去一贯着重于高指标示波器研制的Tek公司,立即着手设计了有较好性能价格比的2200系列示波器。该类仪器机械零件减少了百分之六十五,电缆接头减少了百分