

电子示波器及其应用

张锡纯 等 编著



机械工业出版社

电子示波器及其应用

张锡纯 常凤娥 张铁华 编著



机械工业出版社

本书全面、系统、深入地论述了在生产和科学技术领域中广为采用的现代电子示波器原理、最新技术与信号的示波测量法及示波器的实际应用。

全书共分十五章。第一章为概论；第二章至第七章从应用的角度叙述示波器内部结构、器件、电路的工作原理及其技术特性，尤其将当今新型的智能数字示波器在第七章中进行了重点阐述；第八章至十五章用较多的篇幅论述电学量、磁学量和非电量信号的示波测量法与示波器在电机、仪表、无线电和集成电路与晶闸管等测试技术中的广泛应用，还介绍了测量示波器的正确使用、维护和校准方法。本书侧重电子示波器的实际应用，内容丰富、立意新颖、深入浅出，既有科学性、又具实用性。

本书可供诸多部门的广大示波器使用者、电子设备的设计、研制、检修技术人员、电气工程师与电子工作者及大专院校等有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子示波器及其应用/张锡纯等编著. —北京: 机械工业出版社, 1997. 4
ISBN 7-111-05232-3

I. 电… II. 张… III. 电子仪器: 示波器 N. TM935.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 08028 号

出版人: 马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 何文军 版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣
封面设计: 范如玉 责任印制: 路琳
机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1997 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm^{1/16} 24.5 印张·599 千字
0 001—3 500 册
定价: 32.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

示波器是用来显示、测量被观察信号的波形与参数,并能够记录、存储、处理待研究变化过程中信息的多用途电子显示仪器。在荧光屏或 LCD 等显示器屏幕上,对信号波形和参数所进行的观察、测量、存储、运算与后续处理及信号取出、再显示与研究分析的整个过程中的波形测试技术,称为示波测量法或示波器测量法。基于模拟示波器的示波测量法是对被测信号的全息测量技术;数字示波器是引入 μP (微处理器) / μC (微机) 对仪器实现程序控制和光标测量与数字读出,或 $\mu\text{P}/\mu\text{C}$ 参与波形显示,将信号经过采样、A/D 转换、存储、运算、D/A 转换等智能操作和数字化处理,进而对信号波形与参数实现显示、拷贝、测量与分析,此即为数字化示波测量法。

示波测量法犹如用 B 超、CT、NT 等设备检测人体生理组织或用透射式、扫描式或隧道电子显微镜观察物质结构一样,可以洞察到被检测对象很细微的程度。正如上述,采用模拟示波器的示波测量法乃是对信号全息观察测量的技术。作为电子测量技术重要工具的电子示波器,用它来显示、测量周期性或脉冲模拟信号波形与参数和数字系统的逻辑状态或时序数据,有力地促进了其他学科与技术的新发现和进步;而其他学科、特别是计算机科学与技术的发展,将 $\mu\text{P}/\mu\text{C}$ 和仪器通用接口引入示波器,则给传统的模拟电子示波器以巨大的冲击并带来革命性的影响,使测量示波器在电路设计、扩充功能、提高指标、改善特性、操作使用与故障诊断等多方面产生了巨大变化。现在已将计算机、电视、电话通过卫星通信连成世界范围的广域网,把传真机、计算机、打字机、日历、调制解调器、电话、收音机、全数字式高清晰度电视集于一身的小型多功能的电子设备将进入办公室,会学习、会思考的计算机即将实现,掌上型、多用途、智能示波器将随同智能机器人、计算机、电视、电话共同进入工厂、医院、学校、商店和家庭,并随身携带,以达到无孔不入的地步。可以预见现在的手持 LCD 数字示波器将很快发展成为能准确识别自然语言、高度测量自动化与智能化的、且可兼有图形、数字、语言输出的万用示波表或多功能袖珍智能测量示波器。

由于掌上型电子仪器产品技术已能做成由微电脑芯片与程序控制的、能对信号波形与参数实现直观显示、测量和处理的新型智能示波表,而指针式模拟万用表或数字万用表只能对信号或参数的特征值(有效值、平均值、峰值)进行直读测量,万用表确与具有多功能的便携型袖珍智能示波表不堪媲美。这将一改过去那种只能在研究室、实验室内实验桌上用台式结构的示波器观测信号的历史,而能实现将具有数字万用表、示波器与计算机等多种功能的万用示波表装入背包、工具袋随身带到现场,对电气、电子设备与系统或信号进行测试与检验。现代测量示波器的功能之多、用途之广不言而喻。

目前,还未见有结合现代示波器的原理与技术特性,系统、深入、全面地论述示波测量法方面的专著出版。关于示波器与波形测量技术方面的书籍和教材很少,已见出版的为数几种也多偏重示波器电路原理,不以应用为主要内容。可见,著述并出版一本内容为现代电子示波器测试波形参数的技术、能适于广大读者参阅的著作确为必要。信号的示波测量法即示波器测量技术,其应用领域颇宽,读者面很广,这正是撰写本书的目的所在。由于大专院校

的电子工程系、自动化工程系、计算机系、信息控制工程系、物理系乃至机械系、建筑系等许多系科的师生都需要示波器测量技术方面的教学参考书,而社会各个行业、领域的众多示波器使用者和电气、电子专业及业余电子工作者,都迫切需要学习、掌握现代电子示波器,特别是有关示波器测量技术及广泛应用方面的系统知识与高新技术。为此,作者曾执笔编著出版了《荧光屏上的示波测量法》并撰写了《无线电测量》、《电子测量技术和仪表》三本书,作为我校本科电子工程系和自动化工程系的教材。还在《仪器仪表学报》、《电子技术》、《河北机电学院学报》、《电测与仪表》、《电工技术》等学报、期刊相继发表了多篇关于示波器、示波测量法理论与测试技术应用方面的成果和论文。本书内容即以上述题材为基础,选取作者30余年长期直接从事电子测量技术与仪表方面的教学、科研和实验技术工作所积累的成果和近期国内外示波器产品与应用技术及研究动态方面的最新资料,进一步扩充作者近年在科研、教学与测试工作中所取得的经验和部分科研成果撰著而成;书中的示波测量法与应用的一部分内容系首次发表。本书侧重现代电子示波器在电子测量与检测技术诸多领域的广泛实际应用,以求便于读者解决在生产、科研、教学等实际工作中所经常遇到的现代示波器,特别是示波器测量应用方面的有关课题和测试任务。

本书力求做到内容丰富、取材翔实、立意新颖、通俗易懂,作到理论结合实际,阐述深入浅出,既有科学性,又具实用性。不论全书内容,还是著述方式,均适于多方面广大读者参阅。读者对象为电气、电子、通信、机械、建筑、纺织、军工等多种部门从事检测、计量、测试与装配维修工作的广大示波器使用者和无线电工作者与大专院校的众多师生;也为设计、研制和生产示波器与电子仪表的专业人员提供了必要的理论、数据和实用参考资料。

本书第一~四、六~八、十、十二~十五各章由张锡纯执笔;第九、十一两章与附录A、B、C、D由常凤娥执笔;第五章由张铁华执笔;全书由张锡纯统稿。

在撰著本书过程中,曾得到北京电子显示仪器厂、上海新建电子仪器厂、内蒙古电子仪器厂、清华大学、西安交通大学、河北机电学院、中国电子技术标准化研究所、HP公司、Tek公司、PHILIPS公司、红华仪器厂等部门专业工作者的大力帮助,诚致谢意。同时,本书也参考了国内外有关专著、书刊和示波器生产厂商等最新技术资料,对此,作者一并谨表诚谢。

本书力图反映现代电子测量示波器和应用技术的最新水平。但由于示波器技术及示波测量法发展迅速,难于作到全面、准确。限于作者水平,疏漏欠妥之处在所难免,请读者赐正。

张锡纯
于河北科技大学

目 录

前言

第一章 现代示波器概论 1

第一节 示波器种类 1

第二节 电子示波器特性 2

第三节 现代示波器总体电路结构 3

第四节 电子示波器的重要技术指标 8

第五节 通用示波器显示波形的原理 14

第六节 示波器技术的发展 16

第二章 示波管和新型显示器 23

第一节 示波管的类型和内部结构 23

第二节 普通示波管及电子束偏转量的计算 30

一、电子透镜的形成 30

二、电子枪对电子束的聚焦原理 31

三、电子枪结构和性能的改善 34

四、电子束偏转量的计算 37

五、偏转板的供电移位电路 42

六、辅助聚焦 43

七、自动聚焦电路 44

八、示波管的后加速电极 44

九、示波管的磁屏蔽 45

十、矩形屏幕示波管的图象旋转线圈 46

十一、荧光屏 47

第三节 高灵敏度示波管 51

一、高灵敏度示波管的结构和技术特性 51

二、三重倾斜偏转板电子束偏转量的理论分析与计算 54

第四节 多束示波管 57

第五节 高频行波电场式示波管 60

第六节 磁偏转 CRT 62

第七节 微通道板 CRT 64

第八节 平板型 CRT 65

第九节 LED/LCD 显示器 66

第十节 示波管主要技术特性的测试 69

第三章 示波器的垂直通道 74

第一节 对垂直通道的技术要求 74

第二节 垂直通道的构成 78

第三节 Y 通道输入电路 79

一、无源探极与有源探极 79

二、输入衰减器 83

三、平衡倒相放大器 85

第四节 Y 通道的前置放大器 87

第五节 Y 通道延迟级 91

第六节 Y 通道输出放大器 94

第七节 示波器的多波形显示 97

第八节 Y 通道电路的设计步骤 101

第四章 示波器的水平通道 107

第一节 对水平通道的技术要求 107

第二节 水平通道的构成 110

第三节 触发同步电路 112

第四节 X 通道扫描电路 117

一、示波器 X 通道的时基电路 117

二、时基闸门电路 118

三、扫描发生器 120

四、扫描环中的释抑电路 126

五、单次扫描原理 131

六、自动扫描方式 133

七、高速扫描的实现 134

八、时基晃动及其改善 135

第五节 双时基系统与延迟扫描 138

第六节 X 通道放大器与 X—Y 显示方式 146

第七节 X 通道电路的设计步骤 149

第五章 示波器的其他电路 155

第一节 示波器的高压电源 155

第二节	示波器的低压电源	156	一、测量相位的椭圆示波图形法	230
第三节	示波管的供电电路	160	二、圆扫描示踪法测量相位	238
第四节	Z 通道放大器	161	三、半圆示踪法测量相位	240
第五节	自动聚焦电路实例	162	四、用直接比较法测量相位差	241
第六节	校准信号源	163	五、用示波法精确测量相位	242
第六章	特殊结构与专用测量示波器	166	六、极小相位差的测量	243
第一节	模拟取样示波器	166	七、用实时显示数字示波器 (RTDO) 测读相位差	247
第二节	高灵敏度示波器	170	八、用 Lissajous Patterns 和 Z—MOD 法测量相位	248
第三节	晶体管特性图示仪	171	九、多个信号间相位差的测量	249
第四节	扫频仪和频谱仪	173	十、示波法测量相位方案的选择和 应用技术条件	250
第五节	模拟记忆示波器	176	第七节 频率的示波测量法	252
第六节	手持型多用示波表	178	一、屏幕直读测频法	253
第七节	光线示波器	179	二、频率的示波器屏幕光标测读 法	253
第八节	新型波形记录器	181	三、用 Lissajous Patterns 测量频率	254
第九节	其他专用与特种示波器	183	四、Z—MOD——亮度调制测频法	259
第七章	数字示波器	188	五、阳极调制齿轮形法	260
第一节	数字示波器的类型和特性	188	六、圆拂掠法测量频率	261
第二节	数字示波器的光标测读 和字符显示	189	七、用插入法测定频率	262
第三节	实时显示数字读出示波器	194	八、用双 R—C 分相器的调制法测量 频率	263
第四节	数字存储示波器 (DSO)	197	九、椭圆基线 Lissajous Patterns 法	265
第五节	实时与存储示波器 (RTSO)	202	十、示波法测频的实际应用条件	266
第六节	LCD 数字示波器	203	第九章 示波器用于磁测量	268
第七节	计算机系统的有力测试 工具——逻辑示波器 (LO) /逻辑分析仪 (LA)	205	第一节 铁磁性材料的一般特 性	268
第八节	数字示波器的鉴别选用和 测量实例	209	第二节 磁滞回线在示波器屏幕上 的获得	270
第八章	电学量的示波测量法	215	第三节 铁损耗功率的示波测 量法	273
第一节	电压的示波测量法	215	第四节 磁滞回线簇和基本磁化曲 线的获得	278
第二节	电流的示波测量法	219	第五节 用示波器测定铁氧体磁心 的功耗	279
第三节	功率的示波测量法	221	第十章 用示波法测试晶体管、IC 器 件、晶闸管及电子管的 特性	283
第四节	阻抗、电抗和电阻的测 量	224	第一节 用示波器测试半导体二极	
第五节	电容、电感和互感的测 量	227		
第六节	相位的示波测量法	230		

管的动态特性	283	第五节 对变压器的检验	318
一、功率整流二极管动态特性的测试	283	第六节 观察电器中的电弧特性	319
二、小信号二极管动态特性的测试	284	第七节 用电子示波器测量开关触头的动作时间	320
三、测试齐纳二极管的动态特性	285	一、正圆图形在荧光屏上的显示	320
四、隧道二极管负阻特性的测试	285	二、触头动作时间的测定	322
五、单结晶体管发射极和基极间曲线的显示	287	三、测定触头动作时间的虚线弧调制法	323
第二节 晶体管特性曲线的描绘	287	四、测量过程中的实际问题和误差分析	323
第三节 晶体三极管特性曲线簇的显示	288	第八节 电子示波器作为交流电桥的平衡指示器	325
第四节 晶体三极管截止频率 f_{α} 、 f_{β} 的测量	295	第九节 借助于电子示波器校验仪表	327
第五节 示波器在半导体材料与晶体管生产和研制中的实际应用	295	第十二章 电子示波器在无线电测试技术中的应用	329
第六节 用示波器测试集成电路的特性	298	第一节 整流器、放大器和振荡器特性的测定	329
第七节 晶闸管整流元件特性的示波测量法	301	第二节 发信机的测试	333
第八节 二极管伏安特性曲线的描绘	303	第三节 扩音机的检验	336
第九节 三极管特性曲线的描绘	304	第四节 收音机的校准	337
第十节 五极管特性曲线的描绘	305	第五节 电视接收机的测试	338
第十一节 电子管特性曲线簇的显示	308	第六节 电路中元件的检查与试验	339
第十一章 示波器在电机、变压器、电器和仪表试验中的应用	310	第十三章 非电量的示波测量法	342
第一节 测定直流发电机的空载特性	310	第一节 概述	342
第二节 异步电动机转速-转矩曲线的描绘	311	第二节 压力的测量	342
第三节 检查电机铁心的绝缘情况	315	第三节 短促时间的测量	344
第四节 检查电机绕组的损伤情况	316	第四节 速度的测量	344
		第五节 物体厚度的测量	346
		第六节 长度的测量	347
		第十四章 示波测量法在其他方面的应用	349
		第一节 核磁共振现象的观察	349
		第二节 计算机汉字和 A/D 转换信号的示波器显示	349
		第三节 立体示波图形在荧光屏上的显示	350

第四节	在示波器荧光屏上解代数方程	351	第二节	周期性信号波形与参数的观测	364
第五节	金属材料的探伤和机械零件的检验	352	第三节	脉冲信号波形及其参数的观测	366
第六节	示波器作为电火花机床的指示装置	355	第四节	示波图形的记录、存储和摄影	367
第七节	示波器用于测定照相机快门的动作时间	356	第五节	示波器的维护、校准和输入阻抗的测量	368
第八节	示波器用于试验建筑材料	357	附录 A	测量示波器产品简表	374
第九节	示波器在生物医学领域中的应用	358	附录 B	示波器主要生产厂家、公司简表	381
第十节	示波器在军事技术方面的应用	359	附录 C	示波器有关技术标准和文件名称、代号	381
第十五章	示波器的使用、维护和校准	361	附录 D	我国仪器仪表期刊简表（电子测量与仪表专业类）	382
第一节	测量示波器的选择与操作使用	361	参考文献		382

第一章 现代示波器概论

示波器是用来显示被观测信号的波形和能够记录、存储、处理待研究变化过程波形参数的电子测量仪器。

电子示波器能够神奇地将人眼无法直接看见的电子束运动状态与电信号的瞬变过程以曲线、图形、字符或数据域参数的形式清晰地展现在荧光屏或其他显示器屏幕上，变成人的眼睛能直接观察到的光迹图象。单就示波器的显示原理而论，它不仅是观测电压、电流或其他被测信号波形的显示仪器，而且也是一种能够测量、显示被观察信号波形参数数值大小的电子仪表。通过测量传感器，用示波器可以方便地观测和研究各种非电量的变化现象和过程。

无疑，示波器是应用领域最为广阔电子测量仪器。

本章论述示波器的种类、通用电子示波器的构成单元、电子示波器的特性参数和技术指标以及现代示波器技术的发展水平与趋势。

第一节 示波器种类

依据示波器的工作原理，可将测量示波器分为两大类。

第一类是电子示波器。这是用阴极射线管（CRT——Cathode Ray Tube）显示波形和符号的示波器，即阴极射线示波器（CRO——Cathode Ray Oscilloscope），或叫电子测量示波器，简称示波器。

第二类是电磁示波器。它采用磁电式振动子由光线将波形显示在毛玻璃屏幕上或记录在对紫外线感光的专用记录纸上。电磁示波器也叫做磁电式示波器，俗称振子示波器或光线示波器。

按照电子示波器采集测量数据和显示波形的原理和特点，现代电子示波器共有模拟示波器、数字示波器（包括数字存储示波器和具有 CRT 数字读出功能的示波器）与模拟/数字混合型示波器三大类。

通常，又将电子示波器划分为五种类型。

1. 通用示波器

它采用单枪示波管作为显示器，是能定性、定量地观测信号的示波器。

2. 多束与多踪示波器

采用多枪或多束示波管显示波形的示波器叫做多束或多线示波器；采用单枪单束示波管经变换进行多踪或多迹显示波形的示波器叫做多踪或多迹示波器。这类示波器能同时定性、定量地观测与比较两个以上信号的波形。多束（多线）、多踪（多迹）示波器的型号国内用汉语拼音字母“SR”表示。例如 SR6 型双线示波器、SR2 型四踪示波器、SR13 型双踪双时基示波器。

3. 取样示波器

这是一类依据取样原理，对高频信号取样变换成低频信号，然后用普通示波管显示波形

的示波器。取样示波器的型号用汉语拼音字母“SQ”表示,例如SQ12型、SQ13型及SQ22型取样示波器等。

4. 记忆示波器

这是一种采用记忆示波管、具有存储信号功能的示波器。记忆示波器的型号用汉语拼音字母“SJ”表示。例如国产SJ-1型记忆示波器即是能模拟存储信号的示波器。

5. 特种示波器

指不属于以上四种类型,能满足特殊或专门用途或具有特殊装置、特别功能的示波器。我国用汉语拼音字母“SZ”表示特种示波器的型号,如SZ6型电视示波器、SZ5型矢量电平示波器、SZ4型X-Y示波器等。近年问世的数字存储示波器、数据处理示波器、逻辑分析仪以及其他新型专用示波器也被归类于特种示波器。但国内外各公司、厂家表示型号的方法还不尽统一。很有应用前景的示波器像数字存储示波器将自身发展成为一个系列。

通用与多束示波器的品种按外形结构可分为立式、卧式、装架式三种。还可根据它们的性能、结构、特点的不同又分为四个类别。

(1) 普通示波器 Y轴放大器的频率响应为5~30MHz的示波器。

(2) 宽带示波器 Y轴放大器的频率响应达60MHz或高于60MHz的示波器。

(3) 低频示波器 Y轴放大器的频率响应不大于1MHz的示波器。

(4) 简易示波器 仅能对信号进行一般定性观察,扫描系统采用连续扫描方式,Y轴放大器电路的频率响应不大于100kHz的示波器。

通常,15MHz以上的普通示波器应有双踪显示,而60MHz以上的宽带示波器要具有双扫描电路——主扫描及延迟扫描电路。

Y通道上限频率在15MHz~100MHz范围内的示波器的应用领域较广。

在实际工作中遇到的用汉语拼音字母“SD”表示型号的属于多用示波器,例如SD1型、SD2型、SD13型等。这种示波器一般具有通过更换X轴或Y轴插入单元达到扩大使用范围或改变所属类别的功能。

便携式示波器是一种能供生产现场和野外维护使用的示波器。它的特点是重量轻、体积小,属于上述五种示波器中派生出来的轻型电子示波器。近年手持式LCD示波器已经问世。

国外公司制造的示波器和国内某些厂家生产的示波器其型号与上述的不同,为自定型号。读者选用示波器时,应事先阅读厂方提供的技术说明书和有关资料,熟悉性能,达到合理、正确操作,充分发挥仪器功能效用的目的。

电子测量示波器的产品逐年更新,尤其是数字示波器和具有LCD等平板显示器的新型智能示波器的种类、型号繁多,在购置和选择电子示波器时,读者应参阅示波器生产厂家提供的最新产品信息,以便有助于正确选用测量示波器。

关于新型数字示波器的类型和技术特性,请参阅本书第七章。在其他各章,若无特别说明,本书均以广为应用的具有CRT显示器的电子测量示波器和现代示波器的测量技术与应用作为核心内容。

第二节 电子示波器特性

由无惰性电子束的运动描绘被研究过程和测取参数的电子示波器的用途极广。它明显具

有如下特性:

(1) 示波器不同于数字仪器和指针式仪表,能够显示出待测量的波形,更胜一筹。它是一种观察、存储和测量瞬时值的仪器。

(2) 电子射线即电子束的偏转几乎不需要功率,示波器的输入阻抗很大,对被测系统的影响甚小。

(3) 电子束的惰性极小,测量的频率范围很宽,从直流到交流几百兆赫兹乃至数千兆赫兹。示波器的灵敏度很高,当采用高增益放大器时,可以用示波器观测以微伏计的电压信号。虽然,示波器如此灵敏,但又不像检流计那样娇嫩,它具有一定的过载能力。

(4) 可以用示波器观察瞬变现象的细微过程和测量极短暂的时间参数,以纳秒计。

(5) 在示波器的屏幕上,可以描绘出决定于任何两个量的函数曲线。利用调制极还可输入 Z 轴调制信号,即第三输入端信号,这样便可在荧光屏上产生由三个信号所决定的曲线、图形和字符。

(6) 通过一些辅助设备与测量电路,可以用电子示波器同时测量和比较多个被测信号。

(7) 若给示波器配备必要的测量传感器,则示波器可用于观察和研究自然界过程中众多的非电量变化现象和参数。

(8) 特别重要的是将 μP (Microprocessor——微处理器) 芯片和 SC μC (Single Chip Micro-computer) 以及 A/D、D/A 转换接口等 LSI 与 VLSI 芯片用于示波器,相应制造出具有全新功能和特性的数字存储示波器、逻辑分析仪等智能型示波器产品。通过 VXI Bus 和 IEEE-488 总线可将模板插件式或台架式仪器构成自动测试系统 ATS——Automatic Testing System。

现代示波器具有数字存储、数据处理、光标(游标)测量和 CRT 读出等多种功能,借助于总线能与主控电子计算机联网。这使得示波器在当今人类探索物理、化学、生物与生命现象等内在奥秘的科学研究、实验以及现场监测等领域里,不仅起着显示波形的作用,而且能同时测得被测量的数值大小。其神通显得比数字化仪表还要道高一丈。这是因为示波器比起数字频率计、数字电压表等数字化电子仪器,它还具备测量、显示波形、存储、比较、光标数字读出、计算、程控、接口连接等许多重要功能。现在,每个科学技术人员的实验台上几乎都必备一台测量示波器,每个人自幼读书做物理实验就要开始用到示波器。倘若把计算机 CRT 显示终端、电视设备或电视机也看作为专用特殊示波器的话,那么,电子示波器就不仅被广泛利用在研究室、实验室、控制台和观测现场,而且也应用于每个家庭和办公室中。实际上,电子示波器已成为现代信息社会通信与信息工程领域中人人必备的电子显示仪器。

第三节 现代示波器总体电路结构

图 1-3-1 是通用示波器的面板照片;图 1-3-2 是微电脑控制的具有 CRT 光标测量与数字存储、读出功能的 150MHz 数字示波器外形。从示波器的面板上,可以看到显示波形的 CRT 荧光屏和各种功能旋钮、按键、插孔、开关等。

示波器的内部电路结构由以下几部分组成。

1. 示波管或其他显示器

示波管是形状如喇叭状的一种特殊电子管——电子束管,即阴极射线管(CRT)。在示波管中,由阴极发射出来的电子束轰击涂在荧光屏内壁上的发光材料——荧光剂(磷光质)而

产生荧光，可将输入到示波管偏转板上的信号波形显示在荧光屏上。LCD（液晶）等为新型平板显示器。

2. Y 轴偏转系统（垂直偏转电路）

Y 轴偏转系统即 Y 轴通道、Y 信道，或称垂直通道电路。它是输入被测信号的主要通道。由于被测电压信号往往很小，须经放大后才能送到示波管的 Y 轴偏转板——垂直偏转板，所以要设置 Y 轴放大器。Y 轴放大电路由前置放大器和输出放大器构成。为了能观测较大的信号，Y 轴输入电路还接有衰减器。为达到扩展频带和观测快速单次瞬变现象，示波器的 Y 轴电路还具有触发信号放大器和延迟网络。

3. X 轴偏转系统（水平偏转电路）

X 轴偏转系统即 X 轴通道、X 信道，也称时基单元或水平通道电路。它主要由扫描发生器和水平放大器组成。扫描发生器通常是锯齿波振荡器。该振荡器所产生的锯齿波电压经 X 轴放大器放大后，送至水平偏转板，使电子束在荧光屏上形成与时间成正比的水平位移，即形成为时间基线。这样可将随时间变化的被测信号的波形展现在荧光屏上。为了使波形稳定，扫描锯齿波的频率必须与被测信号的频率成线性关系，因而水平电路系统要有触发和同步电路。此外，还设置有增辉和消隐电路，用于提高显示波形的亮度并抹去电子束在荧光屏上的回扫痕迹。

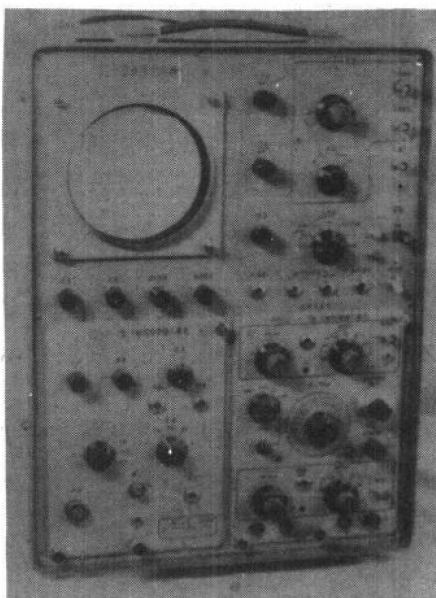


图 1-3-1 通用示波器

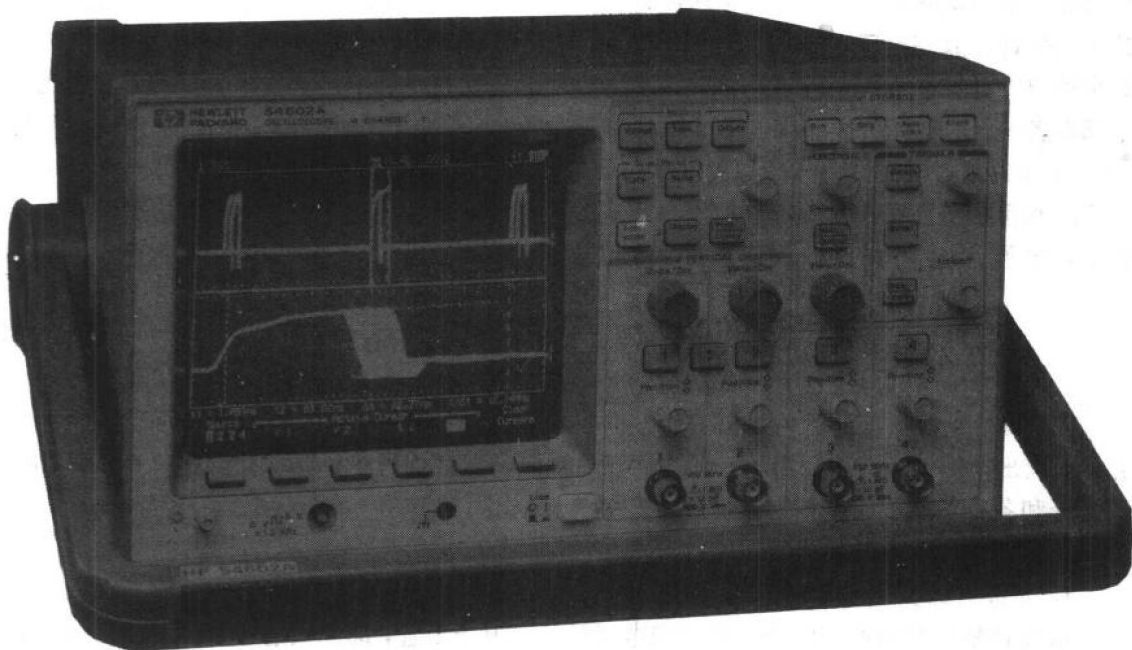


图 1-3-2 数字示波器

4. 控制电路

通用示波器的控制电路可由逻辑电路设计组成。现代示波器的控制电路由微处理器和相应的外部芯片完成逻辑控制功能。当然，这部分电路可采用包括 RAM 和 ROM 的微控制器（单片机）芯片来构成。

控制电路的重要功能是控制示波器（主要是数字示波器、智能示波器）的测量工作流程，接收键盘和其他输入信号，完成自检、测量、运算、存储、判断和有关的信息采集、处理、显示、传输、优化等控制功能。

5. 电源

示波器的电源供给示波管的高压、偏压、灯丝电压以及放大器、扫描发生器等各部分线路的供电电压。电源电路包括电源变压器，整流、滤波、稳压电路和电源变换器等。

6. 校准信号源

为在测量前校准示波器的偏转因数和时基，以求获得较准确的定量测量结果，在电子示波器内设置有校准信号。该校准信号具有确定的幅度和频率，通常是矩形波或方波，便于探头（探头）的校准，也可以是正弦波，从示波器面板上的专门输出端引出。

图 1-3-3 示出了通用电子示波器的电路原理框图。

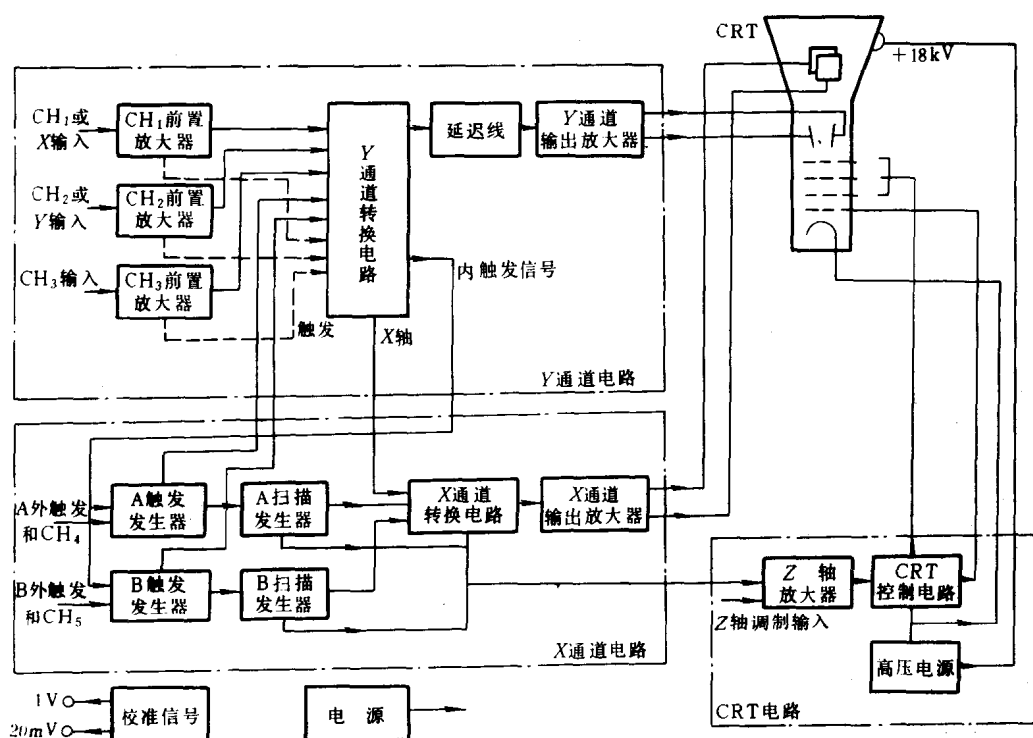


图 1-3-3 100MHz 通用示波器电路原理框图

这是 COS 6100G 型 100MHz 通用示波器的实际整机电路原理框图。

该示波器电路由垂直偏转电路、水平偏转电路、示波管电路、校准电路和电源电路所组成。

垂直偏转电路包括三个通道（CH₁、CH₂、CH₃）彼此独立的前置放大器、一个垂直（Y 通

道)转换电路和触发电路。

垂直转换电路切换来自通道 1 (CH_1)、通道 2 (CH_2)、通道 3 (CH_3) 的前置放大器的信号和来自通道 4 (CH_4) 与通道 5 (CH_5) 的 A、B 触发发生器的信号。切换后的信号经过延迟电路送到垂直输出放大器, 触发信号也被切换而被送至 A、B 触发发生器而作为内触发信号。

垂直输出放大器将来自延迟线电路的 Y 轴信号放大到几伏至几十伏, 以控制示波管屏幕上电子束的垂直偏转。

水平偏转电路由彼此独立的 A、B 触发发生器、A 与 B 扫描发生器、水平转换电路和水平输出放大器组成。

触发发生器将来自垂直转换电路的内触发信号或来自 EXT TRIG (外触发) 即通道 4 (CH_4) 和通道 5 (CH_5) 输入端的外触发信号放大和整形并产生触发脉冲信号。

A 扫描发生器由 A 触发脉冲驱动而产生 A 锯齿波信号。

B 扫描发生器产生 B 锯齿波信号。在延迟扫描方式时, 它是由相对于 A 扫描信号所产生的被延迟扫描起始信号驱动。在 B 触发工作方式时, B 扫描发生器由 B 触发脉冲驱动, 而 B 触发脉冲也跟随着上述被延迟扫描的起始信号。

X 通道转换电路切换来自 A、B 扫描发生器的锯齿波信号和来自垂直转换电路的 CH_1 和 CH_3 HOR (通道 1 和通道 3 水平) 信号, 将其送到 X 通道输出放大器。

X 通道输出放大器将水平转换电路的输出信号放大到几伏至几十伏, 以推动示波管屏幕上电子束的水平偏转。

CRT 电路即示波管电路, 由高压发生器 (HV 稳压器)、Z 轴放大器及示波管控制电路组成。

高压 HV 稳压器产生 -1.8kV 的阴极电压和 18kV 的后加速极电压。

Z 轴放大器将来自 A、B 扫描发生器的增辉信号和辉度^①控制信号放大到几十伏后, 经过示波管电路加到示波管的控制栅极 (调制极)。

示波管控制电路向示波管各电极提供所需电压, 使示波管工作于最佳状态, 以保证显示出聚焦良好、失真很小的被测信号波形。通过示波管电路还可将来自 Z 轴放大器及其他电路的信号设置到适合于示波管的电平值。

图 1-3-4 示出了 V-1065/V-1065C (HITACHI) 100MHz 双通道由微电脑控制具有光标测量、CRT 读出功能的数字示波器电路结构原理图, 此也称为数字读出示波器。

此类型示波器的电压、时间与频率的测量以及数码、字符的显示和扫描等都具有自动功能, 而且该示波器还提供 TV (电视) 同步触发信号, 以满足检测电视机和有关其他电视设备的需要。

2245A 型 μP 控制的光标测量、CRT 读出示波器 (Tek 产品, 中美合作制造) 与 V-1065/V-1065C 相比具有类似的性能, 但 2245A 型数字读出示波器具有四个通道, 后者为两个通道。2245A 型示波器带宽为 $0\sim 100\text{MHz}$, 上升时间为 35ns , Y 通道灵敏度为 0.5cm/mV (对应 2mV/cm), 四个通道 CH_1 、 CH_2 、 CH_3 、 CH_4 可反相、相加、交替、断续工作, 时基因数为 $0.02\mu\text{s}\sim 0.5\text{s/div}$, 双自动交替扫描, 扫描扩展为 $\times 10$, 具有 X-Y 显示方式 ($0\sim 3\text{MHz}$), 示波管为矩形、内刻度, 荧光屏 $8\text{cm}\times 10\text{cm}$, 见图 1-3-2 照片。

① GB3102. 6—93 中已取消了“辉度”这个名称, 辉度即 [光] 亮度。

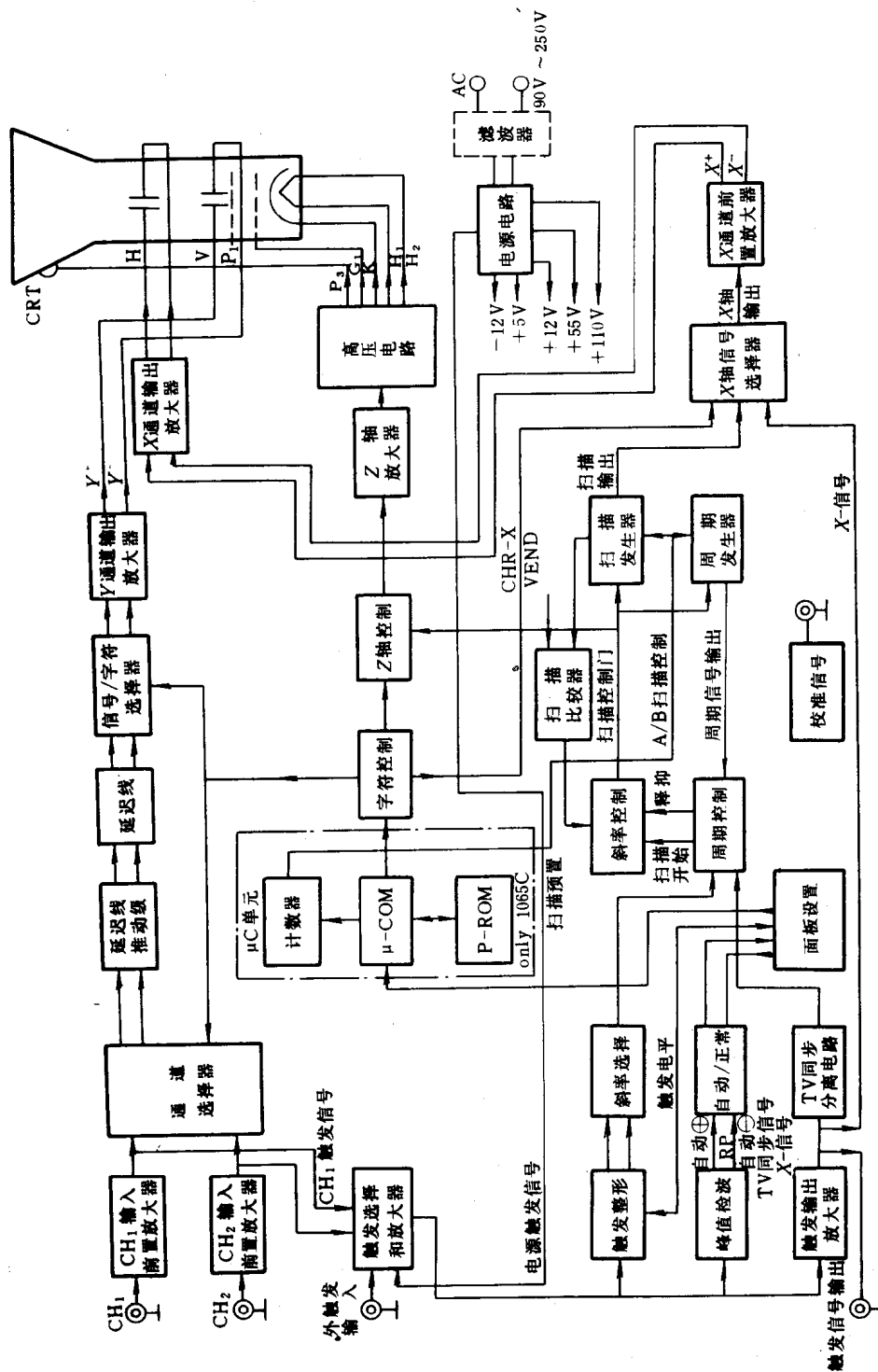


图 1-3-4 V1065/1065C 100MHz 双通道 CRT 数字读出示波器电路原理框图

图 1-3-5 是在智能数字示波器的荧光屏上直接拍摄下来的被测信号波形的实际曲线。在照片上可以看出,从荧光屏上不但能显示出来被测信号 ΔV 幅度、 Δt 时间,而且在屏幕上标示具有 CRT 读出功能的测量光标、通道号与 A、B 扫描参数等。

在微电脑控制的示波器内,将信号经 A/D、D/A 转换器的变换作用并设置足够容量的存储器,就构成数字存储示波器(DSO——Digital Storage Oscilloscope)。这种示波器具有存储信号波形参数的功能,并可将其再现出来。有时,DSO 也可被当作普通模拟示波器使用。通过 IEEE-488 (GP-IB) 接口总线,即可将 DSO 挂接在 AST 上,在程序控制下,作为智能测量显示仪器。

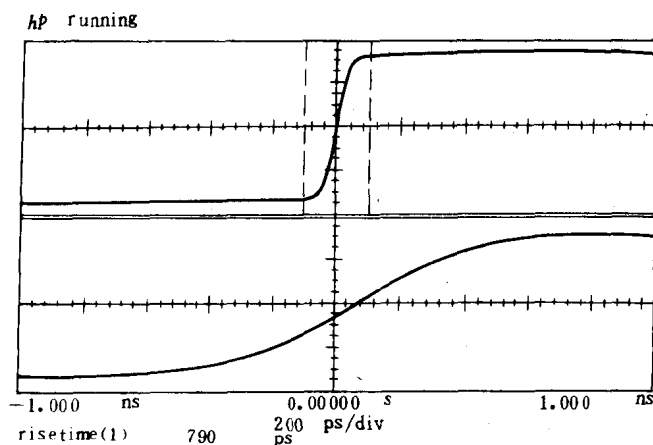


图 1-3-5 智能型数字示波器的屏幕显示

DSO 的电路结构方案之一示于图 1-3-6。

有时将数字读出示波器(CRT 读出示波器)和数字存储示波器统称为数字化示波器(Digitizing Oscilloscope),两种数字示波器的区别在于后者(DSO)具有存储与再现波形的功能。实时与存储示波器(RTSO)兼有上述两类数字示波器的功能,是性能更为完善的数字示波器,此即模拟/数字两用示波器。

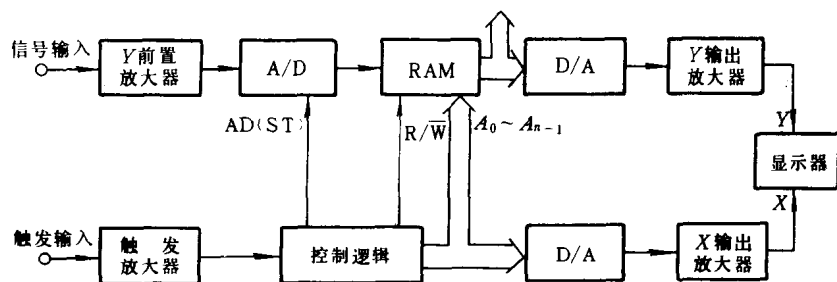


图 1-3-6 DSO 原理电路框图

第四节 电子示波器的重要技术指标

技术参数与指标对于示波器的重要性是不言而喻的。无论是示波器的设计、制造、质量检验,还是示波器的应用、分类,都是以技术指标为依据的。这就是说,示波器的优劣及应用范围都是可以通过技术指标来体现的。

通用电子示波器的技术指标可充分反映示波器的性能,主要技术指标如下:

1. 频率响应(频带宽度或带宽)

这是用稳态表示频率特性的方法。用它来表示垂直通道电路和水平扫描电路频率特性的上限和下限。频率的上限 f_H 和下限 f_L 规定如下。