



新型电子示波器

张乃国 主编

中国计量出版社

新型电子示波器

张乃国 主编

撰稿： 赵中义 张光明 俞见逸 张洪达
张志伟 张蔷寅 施宗苹 王公诚
黄镜辉 施海熊

中国计量出版社

内 容 提 要

本书着重阐述各种新型电子示波器的原理及应用。主要包括延迟扫描、高灵敏度、取样、记忆、数字存储型示波器及逻辑分析仪等。在一定程度上反映了我国示波器研制和生产的最新水平。

本书供具有电子技术知识并熟悉通用示波器原理的教学、科技和生产部门的技术人员阅读,也可作为大专院校及职工大学的教学参考书。

新型电子示波器

张乃国 主编

责任编辑 倪伟清



中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

河北省永清县第一胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行



开本 787×1092/16 印张 12 字数 287千字

1990年7月第1版 1990年7月第1次印刷

印数 1—6000

ISBN 7-5026-0314-X/TB·260

定价 8.10元

代 序

在电子测量技术的发展史上,没有一种仪器产生过比示波器更大的影响。今天,在科学研究、工业生产等领域,示波器已成为最灵活、多用的电子仪器。自布劳恩 (G.F. Braun) 的第一台示波器 (1897 年) 问世以来,示波器的发展迅速,方兴未艾。示波器的功能可以概括为捕获、显示和分析时域波形,后人在这三个方面进行了大量的改进工作。

本世纪 60 年代以前,人们的工作主要致力于扩展频带宽度和固态化,从 70 年代开始,注意力转向自动化、实用化和提高准确度。微计算机和仪器通用接口的出现,给示波器的自动化发展推到一个崭新的水平。微计算机引入示波器,给传统示波器带来了巨大的冲击和革命性的影响,使示波器在设计、性能、功能、使用与操作以及故障诊断等方面都产生了巨大变化。为适应迅速发展的电子计算机工业中设计、测试的需要,示波器的功能已从时域分析扩展到数据域分析。当前,高精确度、功能多样、使用灵活、操作方便、性能可靠,已成为示波器生产厂家追求的主要目标。

《新型电子示波器》一书的编写出版,迎合了现代示波器的发展潮流。参加本书编写工作的有高校教师、研究所科研工作者和工厂的工程师,这种三结合的方式,能够更好的把编写者们在教学、科研和生产三条战线上所取得的经验与成果反映到本书中来,在一定程度上反映出我国电子示波器研制与生产的水平。本书以近期我国自己生产和研制的示波器为背景材料,且以近代示波器为主写成的,读起来使人感到亲切,并有清新之感。本书公开出版必将推动我国电子仪器工业的发展,并对这一技术领域的知识普及和提高起到积极作用。

蒋焕文*

1989 年 6 月

* 蒋焕文教授系北方交通大学电子测量教研室主任,电子测量分(学)会理事长,国内著名电子测量学专家。

前 言

电子示波器是应用范围最广的电子测量仪器之一，现代的科技、教育、生产及军事等部门如果没有示波器的帮助是不可想象的。

本书叙述的示波器均选取比较新的类型，并以数字存储示波器和逻辑分析仪为主，书中列举的均为国产较有代表性的示波器，除介绍其工作原理外，着重其各种应用方法的阐述。其中的数字存储示波器及逻辑分析仪两章曾先以讲义形式在清华大学智能仪器课中试用两年，效果较好。

为本书提供初稿的有上海无线电二十一厂赵中义（第一章），俞见逸（第七章），张洪达（第二章 2.1），张志伟（第三章），张蓄寅（第四章），施宗苹（第六章 6.3），王公诚（第五章）。北京电子显示仪器厂黄镜辉（第六章 6.2），施海熊（第二章 2.2）。中国科学院计算技术研究所智能仪器研究室张光明副研究员撰写的非实时取样型数字存储示波器（第六章第四节）作为本书的特邀稿。清华大学自动化系电子测量课教师张乃国编写了第六章第一和第五节，对各章节内容做了补充和改写，并对全书进行统编和定稿。

北方交通大学电子测量教研室蒋焕文教授曾对本书的编写给予指导，许多高等院校的老师和工厂的技术人员提供素材和编写意见，在此一并致以衷心的感谢。

本书力图反映我国电子示波器研制和生产的水平，但由于示波器技术发展很快，难于做到全面准确，对于书中的缺点错误，敬请读者批评指正。

编 者

1989年3月于清华大学

目 录

前 言

第一章 电子示波器的发展概况	1
第二章 延迟扫描型示波器	5
2.1 双时基延迟扫描型宽带示波器	5
一、双时基扫描的特点	5
二、SR37A型示波器的工作原理	7
三、SR37A型示波器的应用	13
2.2 单时基延迟触发扫描型示波器	16
一、扫描电路的工作原理	16
二、应用举例	28
第三章 高灵敏度示波器	30
3.1 高灵敏度示波器的电路特点	30
3.2 高灵敏度示波器的应用	39
第四章 取样示波器	43
4.1 取样示波器的基本原理	43
一、取样示波器的取样过程与基本组成	43
二、取样示波器的特点	46
三、取样示波器的主要单元电路	46
4.2 取样示波器的应用	54
第五章 记忆示波器	57
5.1 记忆示波器的组成与特点	57
一、记忆示波器的组成	57
二、可变余辉记忆示波管的结构原理	59
5.2 记忆示波器的特殊电路	60
5.3 记忆示波器的应用	64
第六章 数字存储示波器	67
6.1 数字存储示波器与模拟（通用）示波器的比较	67
6.2 数字波形存储器	69
一、特点	69
二、主要技术指标	71
三、数字波形存储器的原理	71
四、应用举例	82
6.3 实时取样数字存储示波器	85
一、数字存储示波器的基本原理	85

二、SSI型数字存储示波器的原理	92
三、应用举例	101
6.4 非实时取样数字存储示波器.	103
一、示波器中应用微处理机的基本原理	103
二、硬件设计	112
三、软件的编制方法	118
四、应用举例	133
6.5 双CPU控制数字存储示波器	135
一、基本原理与功能	135
二、软件流程	137
第七章 逻辑分析仪 (逻辑示波器)	139
7.1 概述	139
7.2 逻辑分析仪与通用示波器比较	141
7.3 逻辑分析仪的组成与技术指标.	142
一、逻辑分析仪的基本组成	142
二、逻辑分析仪的主要技术指标	148
三、逻辑分析仪的发展	150
7.4 逻辑状态分析仪.	152
一、SL4型逻辑分析仪的组成与流程图.	152
二、主要单元电路的原理	156
7.5 多功能逻辑分析仪.	165
一、功能	166
二、电路原理	172
7.6 逻辑分析仪的应用	180

封底 北京电子显示仪器厂示波器

第一章 电子示波器的发展概况

随着电子工业的发展，电子技术已渗透到国民经济各个领域。利用电子技术进行的测量——电子测量技术发展很快，已经形成一门学科，并在一定程度上反映该国的科学技术水平。在电子测量仪器中，示波器所占的地位是相当重要的。对于电量和许多非电量的测试来说，是一种主要的、通用的测量工具。其使用面之广，发展速度之快，都远远超过其它测量仪器。据近几年的统计，示波器大约占整个测量仪器销售总额的 13% 左右。它已广泛地应用于国防、科研、学校以及工农商业等各个领域和部门。

表 1.1 各国典型示波器指标比较

种 类	美 国 Tek 公司	美 国 HP 公司	荷 兰 Philips 公司	日 本 岩通公司	中 国 上无二十一厂
通用示波器型号	7104	1722B	PM3263	SS5421	SR13A
带 宽	1000MHz	275MHz	100MHz	350MHz	300MHz
取样示波器型号	7000 / 7SII	180 / 1811A		SAS—601B	SQ20
带 宽	14GHz	18GHz		12.4GHz	12.4GHz
记忆示波器型号	7834	1744A	PM3266	MS—5511	SJ6
带 宽	400MHz	100MHz	100MHz	50MHz	30MHz
最高记录速度	2500cm / μ s	1800cm / μ s	1000cm / μ s	100div / μ s	2div / μ s
高灵敏度示波器 型 号	7000 / 7A22	180 / 1806A		SS8120 / v—811	SG1
最高灵敏度	10 μ V / div	100 μ V / div		10 μ V / div	10 μ V / div
数字存储示波器	468		PM3311	DMS—6440	SS1
实时带宽	100MHz		60MHz		
存储带宽	10MHz		30MHz	100kHz	50kHz
信息处理示波器	7854	1980			
带 宽	400MHz	100MHz			
双线示波器	7844			DS—8122	
带 宽	400MHz			100MHz	
逻辑分析仪	DAS9100 / 9120	64600S	PM3500	SI—4602	SL4
时钟频率	660MHz	400MHz	100MHz	20MHz	5MHz
通道数	104	16	16	34	16

迄今 40 多年来，示波器由电子管发展到晶体管，又发展到集成电路；由模拟电路发展到数字电路；由通用示波器发展到取样、记忆、数字存储、逻辑、智能化示波器等近十大系列、几百个品种。就美国 Tektronix 公司而言，建于 1947 年，目前已有九大系列，100 多个品种，几乎各个门类示波器的最高指标均由它所占据（见表 1.1）。产品的销售遍及全球，

已被世界公认为示波器的权威。1951年以来,我国在示波器生产方面也有很大进展,形成了一支设计和生产示波器的专业队伍,已能生产宽带、取样、高灵敏度、记忆、数字存储、逻辑等各门类的示波器,有些门类的主要技术指标已接近国际先进水平(见表1.1)。

现就几个主要门类示波器发展的近况简述如下。

一、通用示波器(宽带示波器)

它是最早发展起来的示波器。被测信号输入仪器通道并进行放大后,加至示波管的垂直偏转板。扫描电路产生锯齿波电压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。这种示波器应用最为广泛,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轴最高灵敏度为2~10mV/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。需求量较大,占示波器总销售量的50%以上。该类示波器正向集成化(目前集成度达80%以上),多功能(多通道显示、交替触发、延迟触发、双滞后扫描等),准确度高(测量误差由5%提高到0.5%)、成本低、体积小等方向发展。

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(甚至美国市场)。过去一贯着重于高指标示波器研制的Tek公司,面对日本的挑战也不得不采取行动,着手设计性价比较好的2200系列中档示波器。该仪器机械零件减少了65%,电缆接头减少了90%。

2. 高档示波器

随着科学技术的发展,对测试的频带宽度提出了愈来愈高的要求。一般频带宽度为100MHz以上的示波器,称为高档示波器,它主要用于国防、科研等领域。

由于频带的增宽,需解决示波管、集成电路、工艺结构等一系列技术难题,所以,它代表着一个国家示波器发展的水平。目前,多数国家示波器的频带宽度仅做到300MHz左右,只有美国Tek公司遥遥领先。早在1971年,它就试制出带宽为500MHz的示波器(7904型)。又经过八年多的努力,于1979年,一种被称作“微通道板”的示波管在结构上取得了新的突破,并采用了砷化镓、磷化钾为材料的、特征频率 f_T 达到10000MHz的线性集成电路后,使频带宽度扩展到1000MHz(7104型)。看来,提高带宽所需技术、工艺和器件的条件还可以再发展,预计带宽为2000MHz的通用示波器,不久即将问世。

二、取样示波器

通用示波器带宽的提高,受到各种因素的限制。观察和测试高频或超高频信号(一般为1000MHz以上的信号),采用了新的取样技术。将高频的重复性的周期信号,经过非实时取样变换成低频的重复性的周期信号,再运用通用示波器的原理进行显示和观测。

它主要用于国防、科研以及尖端科学等部门。因此,问世后发展很快。早在1969年HP公司试制的1811A型取样示波器,其频带宽度达到18GHz。但后来进展缓慢,甚至停滞不前。其主要原因:一是在使用上有局限性,只能观测重复性的周期信号(而实际需要观察的快速波形,多数为瞬态的单次脉冲),应用面窄;二是所显示的波形,经过取样后容易失真,操作也不方便。因此,随着通用示波器的发展,它已退居次要地位。尽管荷兰飞利浦

(Philips) 公司是取样示波器的鼻祖, 在 70 年代最先退出示波器市场。美国 HP 公司虽是取样示波器的先锋, 也于 1980 年停止了取样示波器的生产。近两年, 由于光纤通讯技术的兴起, 取样示波器又有所回升。另外, 取样技术非常适用于时域反射仪和 A/D 变换器, 在模数变换技术方面, 得到了较多应用。

三、高灵敏度示波器

它是一种灵敏度较高 (一般为 μV 量级), 频带宽度较窄 (一般为 1MHz) 的示波器。它能将外界较强的干扰信号抑制掉, 显示出有用的低频微弱信号, 主要用于医学和生理研究领域。

60 年代, 美国 Tek 公司攻克了器件和电路的技术关键, 研制出低漂移、低噪声的场效应管, 采用浮动电源, 使 7A22 型插件的最高灵敏度指标提高到 $10\mu\text{V}/\text{div}$ 。我国也于 70 年代末研制出 SG1 型 ($10\mu\text{V}/\text{div}$) 高灵敏度示波器, 目前已投产。近年来, 采用数字技术提高其性能指标将是有效途径。

高灵敏度并且宽频带的示波器, 虽然在技术上有一定的难度, 但随着电子技术的发展, 必将攻克一个个难关, 使该种示波器作为通用示波器和高灵敏度示波器的边缘门类出现于市场。

四、记忆示波器

它是一种借助记忆示波管以及相应的电路, 将被测信号波形记忆下来 (在关机后, 可记忆相当长一段时间) 的示波器。主要用于观测瞬变的单次信号, 对波形的分析研究带来很大方便。

在 1957 年, 美国休斯公司已研制出记忆示波器。但由于记忆示波管价格昂贵, 且有使用寿命短、存储记录速度慢、等效带宽较窄等缺点, 因此发展缓慢。但从 70 年代以来, 记忆示波管在制造技术上有了新的突破, 存储方式不断增多, 在最早双稳态存储方式的基础上, 又研制出了可变余辉存储和快速转移存储方式。当前, 采用快速转移存储示波管的记忆示波器的记录速度已达 $2500\text{cm}/\mu\text{s}$ (Tek 公司的 7834 型)。存储带宽达 250MHz。由于记忆示波管技术的迅速发展, 工艺水平的不断提高, 它的寿命已基本上接近普通示波管的水平, 价格也显著下降。在性能类似的前提下, 记忆示波器的价格只比通用示波器贵 1/3 左右。

五、数字存储示波器

它是随着数字电路的发展而发展起来的一种具有存储功能的新型示波器。它与记忆示波器一样, 都具有记忆功能, 但其工作原理却截然不同。它是采用数字电路, 把输入信号经过 A/D 转换, 将模拟波形变换成数字信息, 并存入存储器中。待需读出时, 再通过 D/A 转换, 将数字信息变换成模拟波形显示在示波管上。因此, 与记忆示波器相比, 它具有存储时间长, 能捕捉触发前的信号, 可通过接口与计算机相连接等特点。是与计算机连成系统、分析复杂的单次瞬变信号的有效仪器。刚一问世, 就显示出它强大的生命力, 各行各业 (包括电子、机械、纺织、水力等) 均迫切急需, 有其广阔的发展前途。

近年来, 数字存储示波器的发展极为迅速, 美国 Tek 公司提高其 A/D 转换速度, 使

存储带宽达到 10MHz (468 型), 荷兰 Philips 公司研制出新型的电荷耦合器件, 大大提高了转换速率, 可存储 30MHz 的单次信号 (PM3311 型)。预料随着新的模数转换技术的出现和扫描技术的发展, 数字存储示波器完全可能在近期内克服存储带宽较窄、价格较高等缺点, 而获得新的飞跃。

六、逻辑分析仪 (逻辑示波器)

它是随着数字技术、计算机技术的发展, 而产生的一种崭新的测量仪器。主要用来检查、调试、维修数字计算机的软件和硬件。它在数字领域里的重要地位与示波器在模拟领域里的重要地位相当。示波器与逻辑分析仪的基本区别是: 前者所显示与测量的是信号的参量值, 而后者显示的则为电路信号的状态, 特别是电路之间的状态和时序关系。

逻辑分析仪历史虽然不长, 但发展速度却是相当惊人的。除生产示波器的厂家外, 一些生产计算机的厂家也参与了该类仪器的竞争, 而其竞争能力更强。当前, 频带已发展到 330MHz (同步), 660MHz (非同步); 通道数发展到 104 个; 显示功能逐步增加, 有状态、定时、映射、彩色显示等。近年来, 逻辑分析仪与计算机融为一体更显示出其优越性。国外, 逻辑分析仪每年以近 19% 的增长率递增, 可以看出它广阔的发展前途。

七、数字化、智能化示波器

微处理器的诞生并广泛地应用于电子测量仪器领域, 必然渗透到示波器中来。这种带有微处理器的示波器称为数字化、智能化示波器。是继集成化示波器之后的又一个新阶段, 是示波器的发展方向。

微处理器在示波器中应用的目的很多, 控制能力各异。一般地说, 是在原有通用示波器的基础上, 引入微处理器 (如美国 Tek 的 2465A, 荷兰飞利浦的 PM3263 型) 后进行逻辑设计、编排程序, 来替代操作者的部分计算与重复测量工作, 它对增加测试功能, 简化重复操作, 减少测试时间, 提高测试准确度等都有显著的效果。

随着微处理器的应用, 对于信号的处理和显示都增加了许多功能, 根据不同的要求, 进行不同的数字化处理, 例如快速傅里叶变换 (FFT)、信号平均等等。

近年来, HP 公司 1980A/B 型示波器的推出, 将微处理器在示波器中的应用推向新的阶段。该仪器面板上只设置一个控制开关, 测试完全自动化。垂直通道衰减器的输入方式与衰减范围的转换都是由微处理器控制的, 输入方式的转换是将用键盘所确定的方式通过接口实现的, 前置放大器增益的控制是通过 16 个档级的数模转换器来完成的。触发电路的触发电平与扫描电路的扫描时间的设定均由数模转换器控制。并运用了触发标志, 使其具备自动显示功能。

随着微处理器性能的提高, 价格的下降, 以及设计人员对其熟练掌握和运用, 各类数字化、智能化示波器必将很快占领市场, 使示波器的测量向高度准确、高度可靠、高度自动化方向迈进。

第二章 延迟扫描型示波器

2.1 双时基延迟扫描型宽带示波器

一、双时基扫描的特点

随着现代科学技术的迅速发展，对示波器性能的要求日益增高，具备各种功能的示波器相继问世。

在电子测量中经常会遇到如图 2.11 (a) 所示的周期性脉冲信号，在一个周期内为复杂的脉冲串。欲测试脉冲④的各个参数（脉宽、前后沿、上冲等），如采用普通的单时基示波器进行测试，触发极性选择正极性，将触发电平调至 UF_1 ，在脉冲 1, 6, 11……的前沿 (t_1, t_6, t_{11}) 可以产生触发脉冲，见同图 (b)。扫描从此时刻开始，如同图 (c)。在示波管屏幕上可以显示出稳定波形，见同图 (d)。

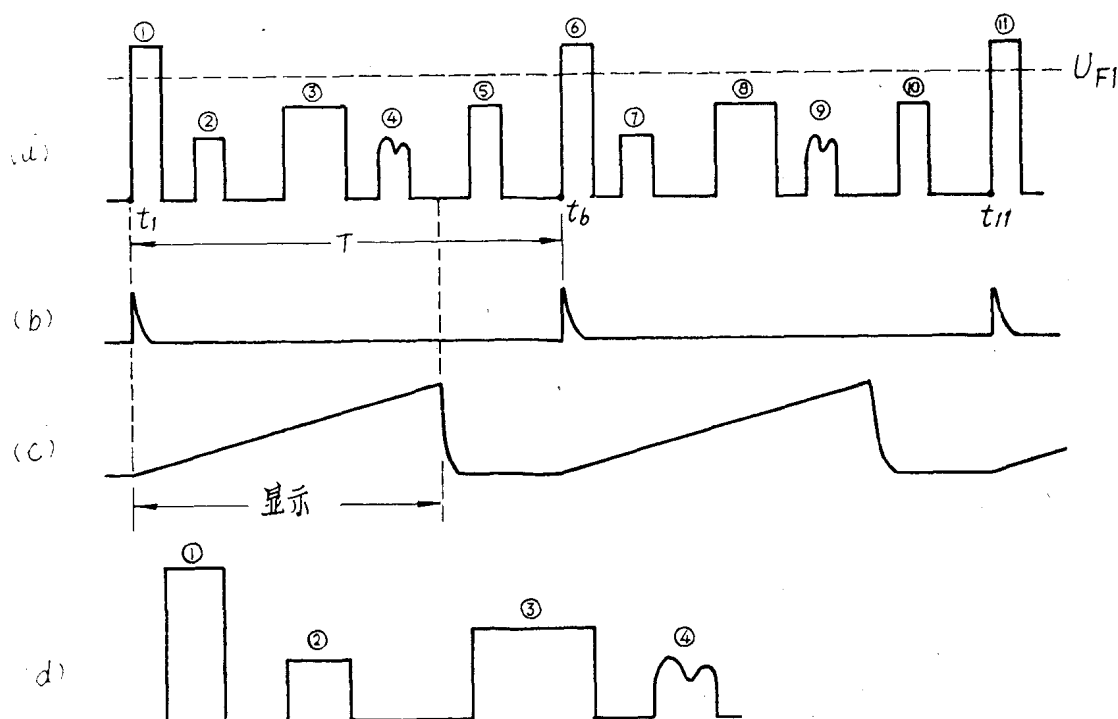


图 2.1.1 用普通单时基示波器测量复杂波形

为了精确地读测脉冲④的各个参数，需要将波形扩展，即加快扫描速度。但是这只能将波形的几个脉冲扩展，而欲测部分（脉冲④）在屏幕上却看不见了（如图 2.1.2），因为

这个周期的扫描只能从 t_1 开始。

如果将示波器的触发电平下降至 V_{F_2} (见图 2.1.3), 可获得密集的触发脉冲, 起扫点可自脉冲①, ⑤, ⑨的前沿开始, 在示波管屏幕上所显示的波形不能同步, 见图 2.1.3 中 (d)。

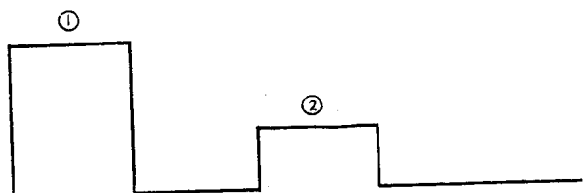


图 2.1.2 扫描扩展后, 第 4 个脉冲不能显示

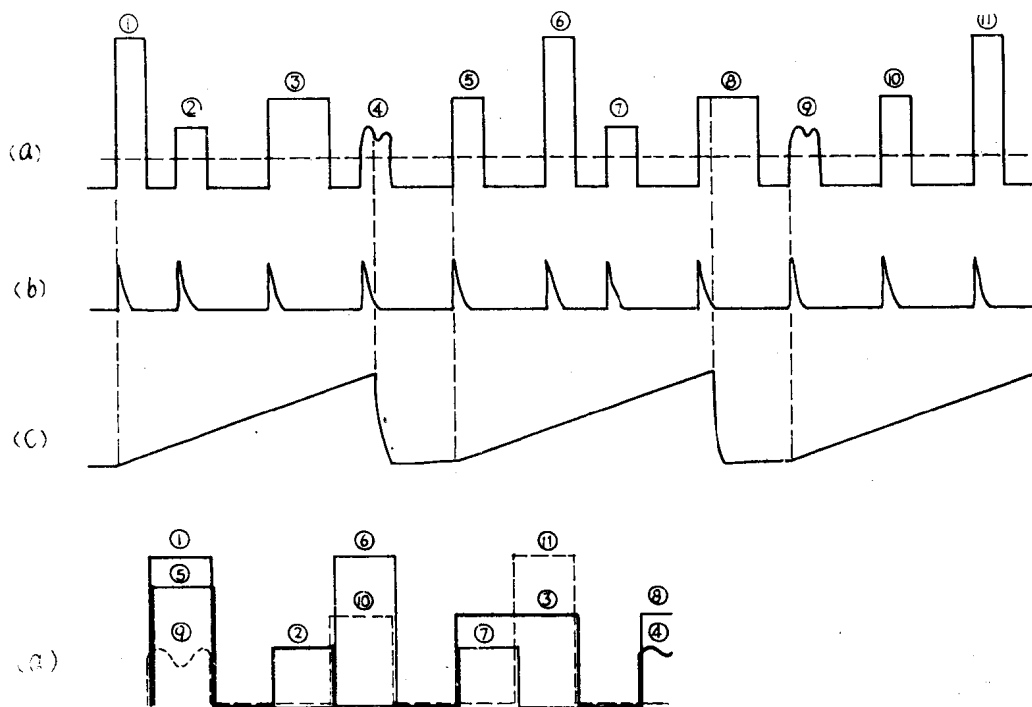


图 2.1.3 不能任选起扫点

可见, 普通示波器的单时基扫描对于上述这种复杂波形的测试是难以胜任的。于是具备延迟扫描功能的双时基示波器应运而生。该种示波器有两套扫描发生器: 主扫描 A 用于观测周期信号的全貌; 延迟扫描 B 用于观测信号中的给定部分。将延迟扫描 B 的扫描速度加快, 则只将信号的欲测部分被扩展, 可以在屏幕上清晰地显示出来, 见图 2.1.4。图中 (a) 是主扫描显示的波形全貌, 延迟扫描显示被加亮部分 (脉冲④)。

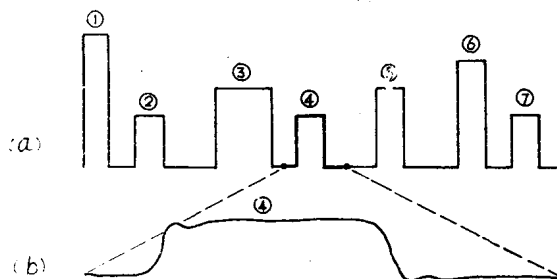


图 2.1.4 用双时基示波器观察复杂波形

双时基扫描系统除了比单时基系统多一套扫描发生器之外, 还需要增加如下功能:

(1) 两套增辉系统 以使主扫描与延迟扫描各自在扫描正程增辉, 在扫描逆程及等待期间灭迹。

(2) 延迟加亮 在主扫描中设置延迟标记 (例加亮脉冲④), 以便选取延迟扫描的部位。

(3) X 通道电子开关 使主扫描及延迟扫描

可以任选，并能交替显示。

(4) Y 线分离 使主扫描、延迟扫描两条光迹分开。

(5) A 截止 B, B 截止 A。

上述各种功能的设置，使时基系统的电路变得复杂，因而仪器的价格贵一些。

双时基技术早在 50 年代后期就问世了，经过 20 多年的发展，不论电路结构还是技术性能都有了较大的改进。

目前各种双时基示波器可归纳为三种类型：加亮扫描、自动交替扫描及混合扫描。上海无线电二十一厂生产的 SR37A 型示波器具有加亮扫描及混合扫描两种功能，它是这种示波器的典型实例。

SR37A 型示波器是 100MHz 的双时基宽带示波器，可以用于观察纳秒级脉冲信号及高速连续信号，定量测量脉冲幅度及时间等参量。还可以对两个相关信号的波形和参数同时进行比较，特别是能对脉冲串中波形的任意部分进行扩展显示，可以对复杂信号进行逐段观察、逐段测试，既可以把波形一个一个地拉开，也可以把两个波形放在一起扩展。

该示波器的组成如图 2.1.5 所示，Y 轴系统具有 Y_1 、 Y_2 两个结构相同的输入通道，有 Y_1 、 Y_2 、交替、断续和 Y_1+Y_2 五种显示方式。X 轴由两个时基系统组成，包括两套触发电路和 A、B 两组扫描，其中 A 扫描能单独进行常态和单次扫描，能与 B 扫描组合。有 B 加亮 A、A 延迟 B 和 AB 组合扫描等显示方式，以显示信号波形中微小的变化。

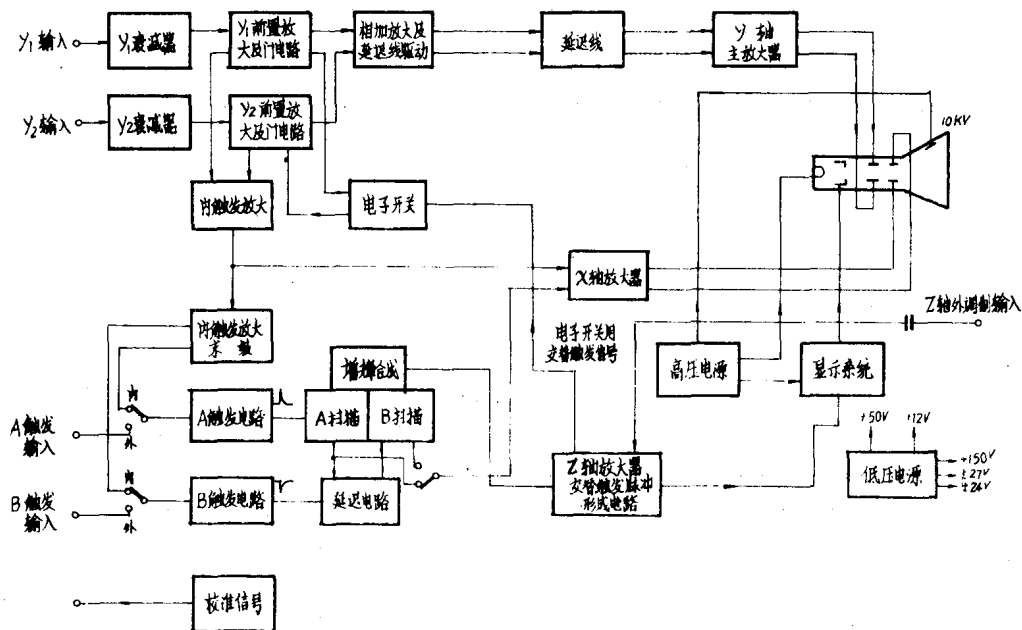


图 2.1.5 SR37A 型示波器的组成

二、SR37A 型示波器的工作原理

SR37A 型示波器的 Y 轴放大器和时基系统分别为两个插入单元，主机内装有示波管显示系统、低压电源、高频高压、X 轴放大器、Z 轴放大器等。下面仅对该示波器有特点的一

1. Y 通道系统

SR37A 的 Y_1 和 Y_2 两个输入通道由电子开关进行转换控制。 Y_1 和 Y_2 的电路形式是类似的, 所不同的是 Y_2 比 Y_1 增加了一个极性转换开关。

被测信号自 Y_1 或 Y_2 的输入端经交、直流耦合选择电路送到 Y_1 或 Y_2 的衰减器。当放大器在不扩展位置时, Y 轴最高灵敏度为 10 mV/cm , 其余八档, 输入信号均由各自的独立衰减器, 从 10 mV/cm 按 1-2-5 分档至 5 V/cm 。各档的电路形式基本相同, 如图 2.1.6 所示。在电路正常情况下应

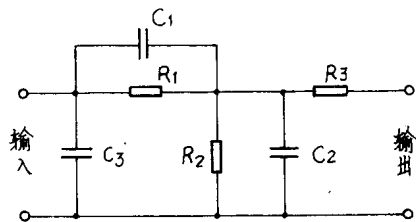


图 2.1.6 阻容衰减器电路

满足 $C_1 R_1 = C_2 R_2$ ，以获得最佳频率补偿。 C_3 用来调整各档输入电容的一致性，以利于和机外探极线获得最佳配合。在阻容衰减器中，阻容元件的引线电感和分布电容有可能引起衰减器高频传输特性的畸变，其中 C_2 的引线电感影响最为严重，为了减小这种畸变，大衰减档级的 C_2 采用盘形穿心电容，外壳焊在接地铜板上，以减小电容器的引线电感。

信号通过衰减器后送 Y 前置放大器, 它是一个级数较多的直流放大器, 各级放大器的静态电平不同, 以使放大器最终的输出电平不至于升得很高。

Y轴放大器中电子开关的控制原理犹如在两个通道中设置两个闸门一样,通过电路的电平控制,实现信号的接通或断开,见图 2.1.7。

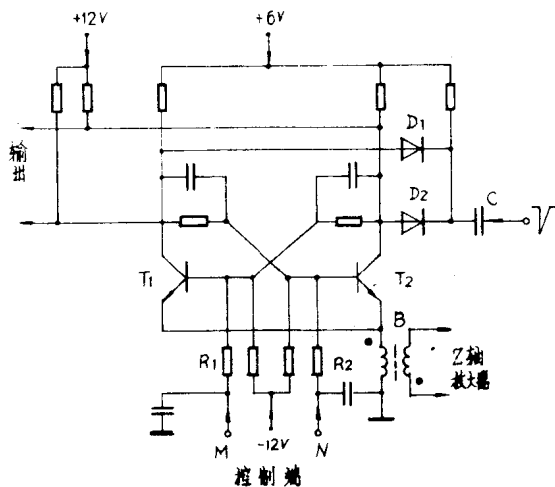


图 2.1.7 Y 轴电子开关电路

构成断续方式, 由于晶体管 T_1 和 T_2 的基极偏置电流同时增加, 双稳电路变成自激多谐振荡器, 此时电子开关以 400kHz 的重复频率轮流工作, “断续”方式通常用于慢扫描显示; 荧光屏上出现的波形成线段状。在自激跳变过程中, 由于 T_1 和 T_2 突变电流的存在, 脉冲变压 B 器的次级出现脉冲电压, 驱动 Z 轴放大器, 实现断续跳变过程的消隐。在 Y 轴工作方式置于“ Y_1+Y_2 ”时, 双稳电路的正电源断开, 两个输出端均为低电位, Y 轴放大器的两个通

这种电子开关电路是一个典型的双稳态触发器，当 Y 轴工作方式处于“交替”状态时， R_1 和 R_2 的控制端 M、N 不接任何电位，双稳电路，处于正常状态，当扫描发生器工作时，在每一次回扫过程中，电容 C 的左端有一负向尖脉冲，通过隔离二极管 D_1 和 D_2 触发双稳电路使其翻转，它的输出端轮流输出低电平，控制相应的放大器工作，而对应于高电平控制的放大通道被切断。当 M 或 N 其中一端加高电平时，它所对应的三极管导通，而另一只三极管截止，这时 Y 轴放大器处于单通道工作状态 (Y_1 或 Y_2)。若 M 和 N 端同时加高电平就

道同时工作，两路信号叠加。

电子开关对 Y 轴放大器的接通或切断工作是分别在两个通道的放大电路中实现的，如图 2.1.8 所示。 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 组成一般的共基-共射放大电路，而 T_5 和 T_6 为两个控制管，它们的射极分别与两个共基晶体管 T_3 和 T_4 的射极相连。当控制电平为低电平时， T_5 和 T_6 截止， T_3 和 T_4 导通，放大器处于正常放大状态。而控制电平为高电平时， T_5 和 T_6 导通， T_3 和 T_4 截止，共射晶体管 T_1 和 T_2 的集电极电流分别流过 T_5 和 T_6 的发射极，共基晶体管 T_3 和 T_4 中无电流流过，通道信号被切断。由于 Y_1 和 Y_2 通道中都有这样一套电路，只要适当地设置控制电平，就能很方便地完成 Y 轴工作方式的各种转换。

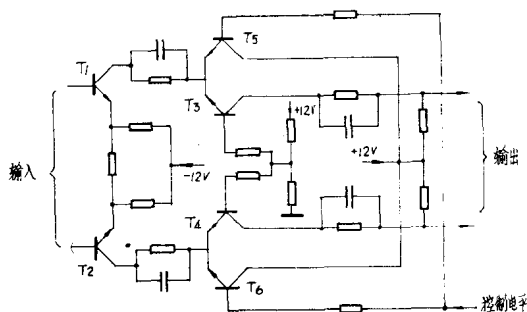


图 2.1.8 Y 轴通道中信号接通和切断的控制电路

与一般的通用示波器相同，在 Y 轴放大器的“前置”和“后置”之间串有螺旋形的对称延迟线。由于延迟线的存在，被测信号通过 Y 轴放大系统后，约有 120ns 的延迟。而用来产生扫描触发脉冲的内同步信号取自 Y 轴放大器延迟线之前，所以由触发脉冲所驱动的扫描起点必然比 Y 轴放大器末级的输出信号超前，这样在荧光屏上可以观察和测量到脉冲信号的前沿部分。

2. X 通道系统

X 通道由主扫描（A 扫描）和延迟扫描（B 扫描）的触发电路、扫描发生器电路、延迟电路以及 X 轴放大器组成。

A 触发电路的功能是将内同步或外同步信号转换成 A 扫描所需要的 A 触发脉冲。而且通过它的控制电平，使 A 扫描自动工作。

来自外触发或内同步的信号，送 A 触发放大器进行放大。A 触发放大器为三级共射差分放大，在第一级放大器的负载电阻上增加了二极管极性转换电路，通过控制负载电阻的供电电源来改变输出信号的极性，见图 2.1.9。

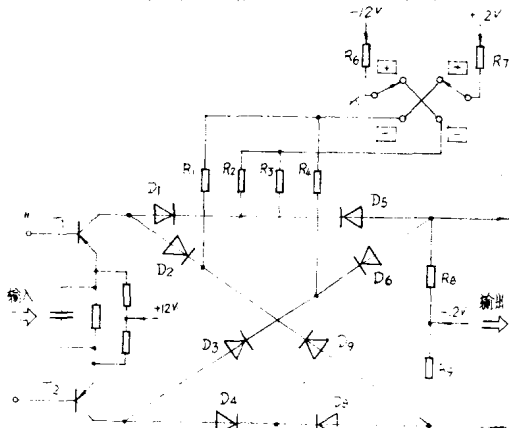


图 2.1.9 A 触发极性转换电路

在极性开关 K 置“+”时， R_1 和 R_4 经 R_7 接 +12V 电源， R_2 和 R_3 经 R_6 接 -12V 电源，二极管 D_1 、 D_5 、 D_4 、 D_8 均导通，此时 R_2 和 R_3 为 T_1 和 T_2 的负载电阻， R_2 获得 T_1 的集电极信号， R_3 获得 T_2 的集电极信号。 D_2 、 D_3 、 D_6 、 D_7 反向， R_1 和 R_4 上无电流流过。若极性置“-”时，原来导通的二极管处于反向，而原来反向的二极管变为导通，这时 R_1 和 R_4 为负载电阻， R_1 和 R_4 分别获得 T_1 和 T_2 集电极送出的信号，而 R_2 和 R_3 无电流流过。

触发放大级的隧道二极管 D_1 处于双稳工作状态，见图 2.1.10。随着同步信号的变化，隧道二极管在高态和低态间来回跳变，当调节触发电平电位器时，触发放大器的平衡状

态发生变化。对同步输入信号而言，隧道二极管的跳变位置也跟着变化，隧道二极管在正跳时输出一快速正向脉冲，触发分频电路。

图中的分频电路是一个闭环电路，它的作用是对高频同步信号产生分频，从而改善高频同步的稳定性。

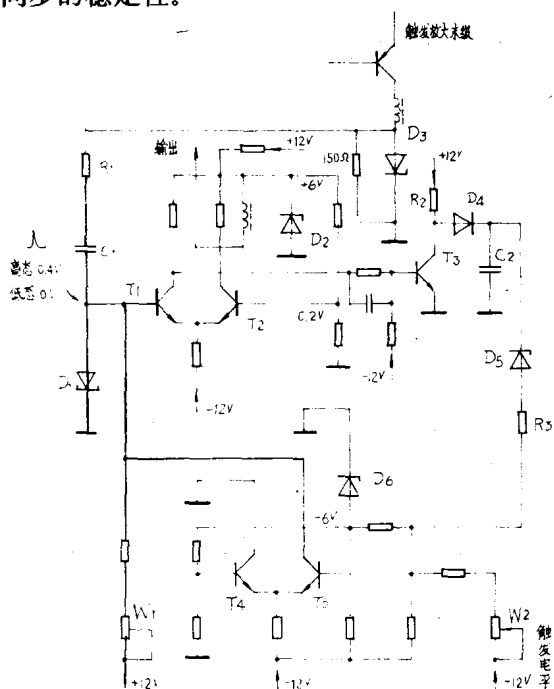


图 2.1.10 A 触发电路中的分频电路

D_5 和 R_3 缓慢放电。 C_2 电位下降至一定数值时， T_5 由导通变为截止， D_1 又回到最初的待触发状态。随着同步信号的相继到来，上述过程不断重复。这种过程和触发放大的输出脉冲完全同步。 T_2 的集电极输出正向窄脉冲，通过耦合电容和射极输出器分别触发 A 扫描发生器和 A 扫描自动单稳电路。当信号频率高于 10MHz 时，电路开始分频，因为有 C_2 的存在，使完成上述过程所需要的时间增加。 T_5 有锁定作用，在一个过程结束前它总是导通的， D_1 被 T_5 控制在低态，这时若通过 C_1 送来正向脉冲， D_1 是不会跳变的，只有 T_5 完全截止， D_1 才有可能被正向脉冲触发。

A 扫描自动方式由自动单稳电路来实现，见图 2.1.11。所谓 A 扫描自动方式，就是指宽带示波器在不输入被测信号时，示波管荧光屏上显示水平亮线。一旦输入信号，只要适当地调节 A 触发电平，A 扫描自动地转入待触发状态，波形立即稳定。

图中 T_1 和 T_2 组成射极耦合单稳电路。当 K_1 在“触发”位置时， T_1 导通， T_2 截止， T_2 集电极的高电平通过 D_1 和 R_1 控制 T_3 饱和， T_3 集电极输出零电平，控制 A 扫描处于待触发状态。 K_1 在“自动”位置时，假使单稳电路没有被信号触发， T_2 集电极为低电平，经 D_1

在同步信号频率低于 10MHz 时，分频电路处于单稳状态。假设隧道二极管没有输出正向脉冲， T_5 截止，隧道管 D_1 处于双稳状态的低态， T_1 基极电位接近零伏。电位器 W_1 用于调节分频电路的待触发工作点， D_1 的峰值电流 I_p 为 5mA，调 W_1 使 D_1 在待触发时流过电流约 4mA，一旦正向触发脉冲经 R_1 和 C_1 输入， D_1 自低态跳至高态，大约 0.4V， D_1 的跳变信号经 T_1 和 T_2 组成的差分放大器放大，控制由 T_3 构成的开关电路，使 T_3 从原来的饱和状态突变为截止状态，+12V 电源经 R_2 和 D_4 向 C_2 充电， C_2 的电压自 0V 按 RC 充电规律正向上升，当 C_2 的电位上升到一定数值时，通过 D_5 和 R_3 使 T_5 由截止变为导通， T_5 的集电极电流使 D_1 负跳，负跳电位由 T_1 和 T_2 放大，控制 T_3 饱和， T_3 的集电极很快回到 0V。在 T_3 回跳时， D_6 处于反向， C_2 通过

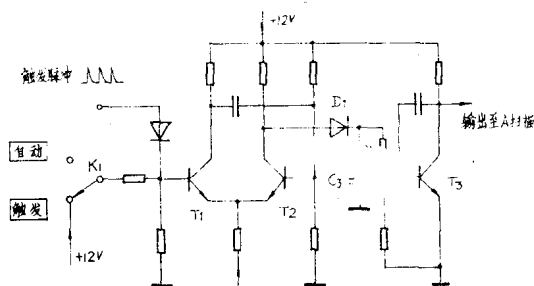


图 2.1.11 A 扫描自动单稳电路