

电子计算机实验

白中英 编

国防工业出版社

6
11

TP36
BZY/1

电子计算机实验

白中英 编



内 容 简 介

本书选择了以计算机系统部件级实验为起点的四十二个有典型意义的实验,其主要实验设备为国产DJS-100系列小型机和国内使用较多的Z-80微处理机。实验的目的是加强实践环节,引导读者进行硬件和软件方面的基本技能训练,通过实验了解计算机的内部结构、功能实现、测试方法和提高应用计算机的能力。

全书内容分四部分:第一章介绍实验和测试设备;第二至四章为计算机组成与原理实验;第六至七章为微处理机编程与接口实验;第五、八章为自行设计的课题实验。每一个实验都有较详细的原理说明、实验要求与步骤,使读者便于理解和进一步思考。

本书取材丰富,内容较全面、系统并由浅入深、由易到难,可作为高等院校计算机专业、自动控制专业的计算机原理实验和微处理机实验教材。对于具有计算机基础知识的广大科技人员深入掌握计算机和应用计算机,本书也是一本有用的参考书。

电子计算机实验

白中英 编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 19 437千字

1984年5月第一版 1986年2月第二次印刷 印数:15,001—21,000册

统一书号:15034·2637 定价:3.30元

前 言

鉴于以往教学中存在的薄弱环节,中国计算机学会教育专业组一九八一年暑期讨论会会议纪要指出:“为了加深学生对课程内容的理解,尤其加强学生的整机概念(硬件和软件),则必须辅以实验教学”。《电子计算机实验》一书就是为了适应独立设课或集中实验的需要,在原来使用的讲义基础上加以修改补充而写成的。

实验设备可采用国产DJS-100系列小型机,JY型和SZ型教学实验仪及国内目前使用量较多的Z-80机,其中小型机和教学实验仪侧重于基本原理实验,而微处理机则侧重于编程与系统实验。

实验安排考虑是由浅入深、由易到难,从部件、处理机到接口,最后进行课题实验。课程可分两学期进行:第一学期进行组成原理实验(第二至五章);第二学期进行微处理机实验(第六至八章),基本上每学期安排六十学时。如果实验学时少于六十,则其中部分内容可酌情删减。

课题实验是在原理实验的基础上由学生自行设计、自行组装的一些难度较大的实验,是训练学生综合运用知识能力和独立工作能力的有效手段。其中部分课题选自美国斯坦福大学《使用标准集成电路的逻辑设计课题》一书。由于这类实验难度较大,既费时间又费器材,故也可采用课程设计方式进行。

本书由西北电讯工程学院李兴无、林兴亚同志审阅。在教学实践与本书编写过程中,得到了康继昌教授、韩兆轩副教授的大力支持和关怀,庞云熙、薛育芬、程工、王良正等同志也给了很多帮助,在此一并致以衷心的感谢。由于暂时的条件限制,部分实验内容还未实践过,加之编者水平有限,书中难免有缺点、错误,敬请读者批评指正。

编 者

1982.5

目 录

第一章 实验和测试设备	1
§ 1.1 数字逻辑实验台	1
§ 1.2 逻辑测试工具	5
§ 1.3 电子示波器	9
§ 1.4 用示波器测量脉冲参数	15
第二章 部件实验	21
§ 2.1 运算器	21
§ 2.2 控制器	27
§ 2.3 磁芯存储器	33
§ 2.4 故障分析	43
§ 2.5 半导体存储器	46
第三章 处理机实验	56
§ 3.1 控制台指令	56
§ 3.2 算逻指令执行过程	65
§ 3.3 访内指令执行过程	70
§ 3.4 乘除指令和 I/O 指令执行过程	77
§ 3.5 主机故障分析	83
第四章 接口实验	90
§ 4.1 程序查询传送	91
§ 4.2 程序中断传送	96
§ 4.3 直接内存传送	104
§ 4.4 基本汇编实验	116
第五章 课题实验	123
§ 5.1 字符图案	123
§ 5.2 中断管理	126
§ 5.3 浮点乘法器	132
§ 5.4 草图显示器	136
§ 5.5 简单处理器	140
第六章 微处理机编程实验	144
§ 6.1 Z-80 单板机的操作	144
§ 6.2 简单程序	153
§ 6.3 数据传送	157
§ 6.4 表格处理	166
§ 6.5 程序转移	173
§ 6.6 逻辑运算	180
§ 6.7 位处理、旋转与移位操作	185
§ 6.8 算术运算	193

第七章 微处理机接口实验	200
§ 7.1 微处理器与存储器接口	200
§ 7.2 数据输出	210
§ 7.3 数据输入	221
§ 7.4 并行 I/O 接口电路 PIO	226
§ 7.5 音频输出	236
§ 7.6 D/A 转换与 A/D 转换	243
§ 7.7 中断处理	251
第八章 微处理机课题实验	264
§ 8.1 电子乒乓	264
§ 8.2 交通管理	265
§ 8.3 取小棒游戏机	267
§ 8.4 记忆示波器	269
§ 8.5 草图显示器	271
§ 8.6 终端控制	273
§ 8.7 图书检索	276
§ 8.8 旅馆业务	279
附录	282
A 美国信息交换标准代码(ASCII)字符表	282
B 实验配套集成电路	282
C 集成电路一览表	283
D Z-80PIO编程摘要	285
E Z-80指令系统的操作说明	285
F Z-80指令名称与操作码对照表	291
参考文献	295

第一章 实验和测试设备

要进行计算机实验，需要有实验设备和测试设备。实验设备包括小型通用计算机，微处理机以及数字逻辑通用实验仪。本章首先介绍数字逻辑通用实验仪的结构，然后介绍两种常用的测试设备——逻辑测试工具和脉冲示波器。为了在以后实验中熟练使用示波器，本章最后特意安排了一个用示波器测量脉冲参数的实验。

§ 1.1 数字逻辑实验台

数字逻辑实验仪的结构

数字逻辑实验仪是一种通用的数字逻辑电路实验装置。它配备有实验所需的电源、标准器件、工具以及逻辑测试工具。这种设备的最大优点在于不需要焊接，器件可以反复使用。不论是按标准的双列直插式封装的所有大、中、小规模集成电路，还是其他帽状封装的集成电路以及各种分离元件，都可以进行试验。

国产JS-1实验仪除用作一般通用数字逻辑实验器外，还附有一块单独的插件板，以进行本书第二章所述的运算器、控制器、存储器等部件实验。图 1.1 是 JS-1 实验仪的结构图，它主要由以下几部分组成(JS-1 型实验仪由江苏沙洲计算机存储器厂生产)：

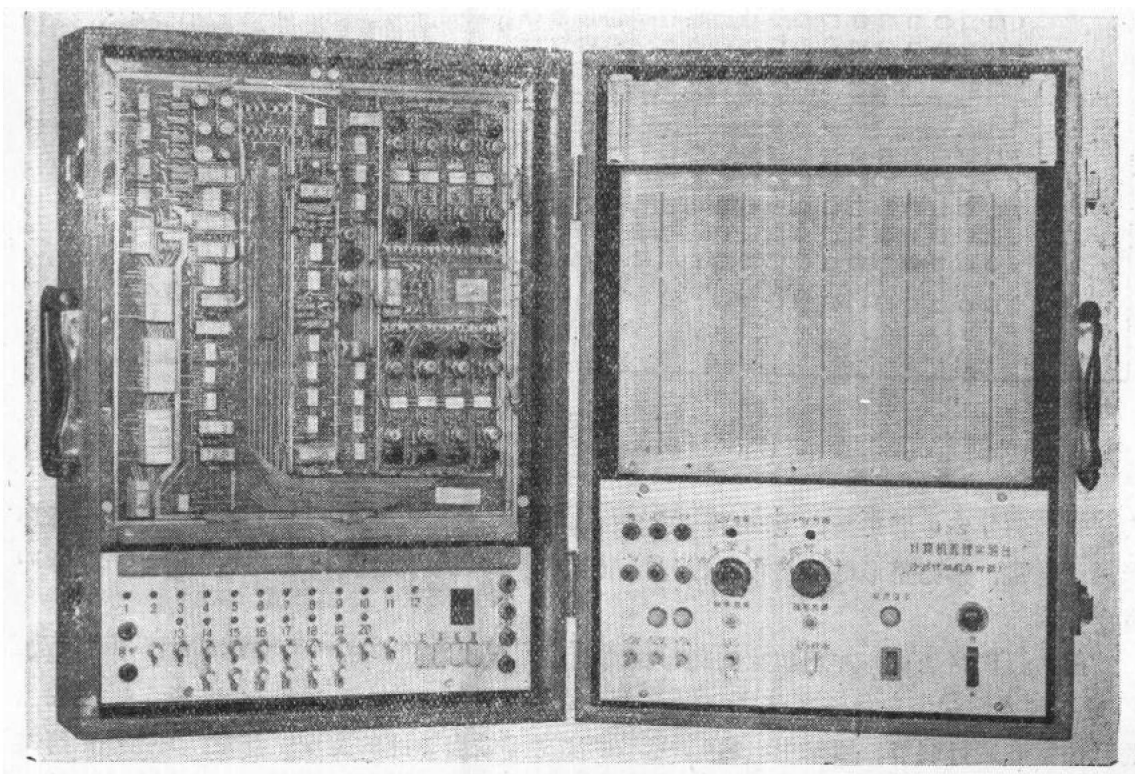


图1.1 JS-1数字逻辑实验仪结构图

多孔电路插座板五块；
 可调脉冲信号源(时钟信号发生器)；
 三组互相独立的直流稳压电源(+5伏、-5伏、+12伏)；
 具有驱动电路的20个逻辑电平指示灯和一个十六进制显示管；
 十六个逻辑电平开关和四个按钮开关；
 单脉冲及清“0”按钮；
 专用插件。

1. 可扩多孔电路插座板SJB-118

插座板外形如图 1.2 所示。上下左右均可扩充另一插座板。插座板由两行五十九排弹性接触簧片构成，每个簧片有五个触头孔，这五个小孔在电路上是互连的。触头之间及簧片之间均为双列直插式集成电路块的标准间距。当集成电路块跨插入两行簧片之间时，空余的插孔可供集成电路块各引脚作为输入、输出及互联之用。上下两个单行的簧片是供接入电源线与地线用的。

实验台共有五块 SJB-118 型多孔电路插座板，最多可插入十六个引脚的双列直插式器件四十块。当各器件进行连接时，导线必须使用单股硬线，其规格一般以铜心直径为 $\phi 6 \sim \phi 7$ 为宜。

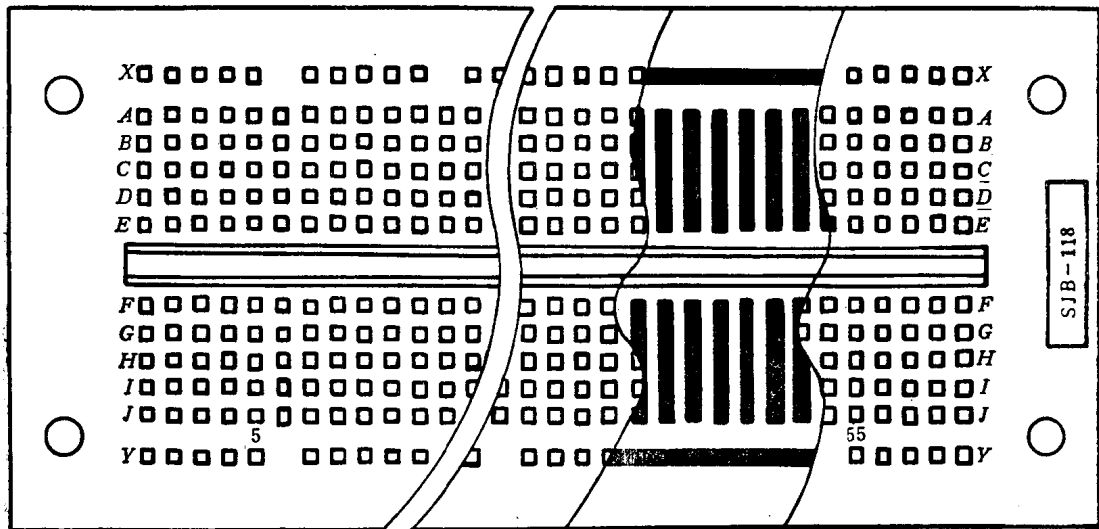


图1.2 SJB-118多孔电路插座板

2. 时钟信号发生器

时钟信号发生器用来产生60Hz~5MHz的时钟信号，其电路如图 1.3 所示。它包括环形振荡电路、单稳整形电路及单次脉冲控制电路，其频率调节范围大，各档覆盖，且脉冲宽度可调。

振荡器线路是由与非门组成的环形振荡电路，用电容 $C_1 \sim C_5$ 进行频率粗调，用电位器 W_1 进行频率微调。单稳整形电路的作用是对环形振荡器的输出脉冲进行整形，并对输出的脉冲宽度进行调节。回路中电容 $C_6 \sim C_{10}$ 则决定了输出脉冲的宽度。注意，环形振荡器的输出脉冲利用其后沿来触发单稳电路。单稳电路既可输出正脉冲也可输出负脉冲。单次

脉冲控制电路是一个RS触发器，当需要产生单次脉冲输出时，可通过按钮的置位—复位动作产生单次脉冲输出。如果需要连续脉冲输出，则通过“单次—连续”开关转接即可。

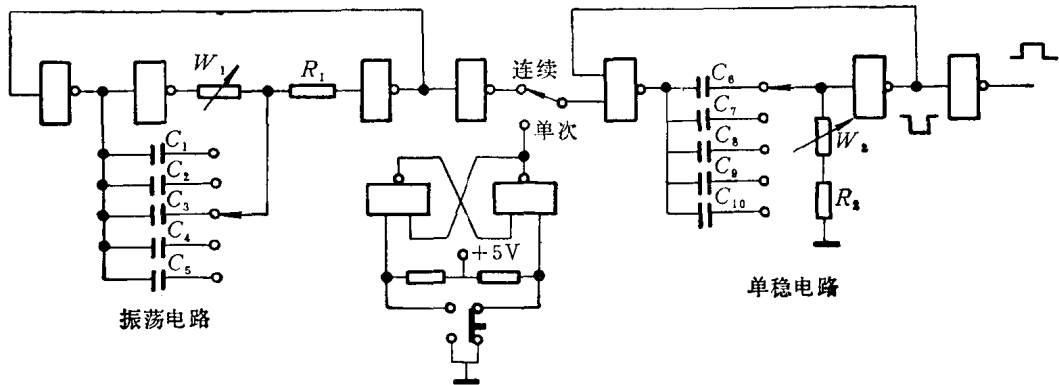


图1.3 脉冲信号发生器

3. 稳压电源

通常使用的是+5伏电源。—5伏和+12伏电源在磁芯存贮器实验中使用。为了保证实验器件安全，电源具有短路保护装置。

电源的最大输出电流是：+5伏档为1.5安；—5伏档为0.2安；+12伏档为1安。

4. 电平指示灯和七段显示器

二十个电平指示灯位于实验台左半部下端，它用作数据或逻辑电平显示，其驱动电路装在实验台内。显示灯用的是发光二极管，灯亮表示逻辑“1”，灯灭表示逻辑“0”。电平通过紧靠各指示灯的引线孔对应位置引入，如图1.4所示。图中所示的“引线孔”用来接显示信号。

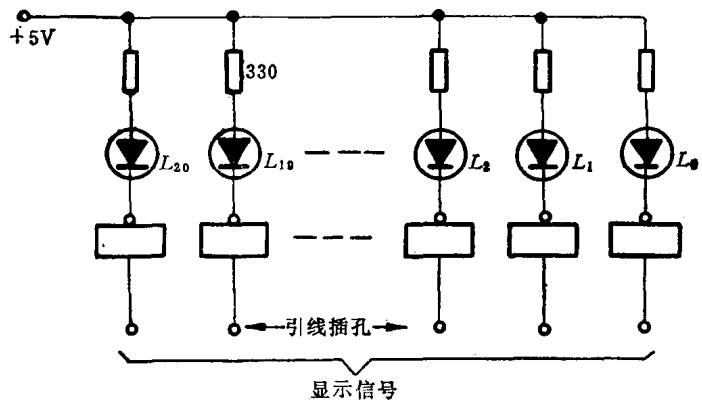


图1.4 带有驱动器的电平指示灯

一个带有译码驱动器的七段显示器用来显示一位十六进制数字，它将在微处理机接口实验中使用。

5. 电平开关和按钮开关

十六个电平开关 $K_1 \sim K_{16}$ 用作逻辑开关、数据开关或地址开关。如图1.5所示。用 $K_1 \sim K_{16}$ 导入逻辑电路中所需要的“1”或“0”，开关向上表示逻辑“1”，开关向下表示逻辑“0”，其信

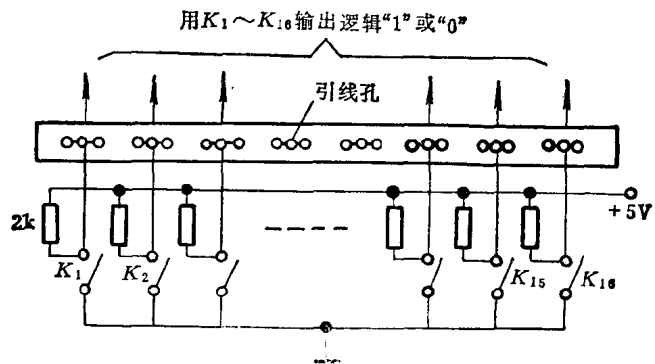


图1.5 逻辑电平开关

号由紧靠开关的引线孔对应引出。

四个按钮开关也是用来产生逻辑信号的，只是它们瞬时地产生逻辑“1”或逻辑“0”信号后，又恢复成原来的逻辑状态。

6. 单脉冲与清“0”按钮

如前所述，单脉冲发生电路是由RS触发器组成。当需要单次脉冲输出时，“单次-连续”开关必须拨到“单次”位置，每按一次单次按钮，就产生一个脉冲。

清“0”脉冲为一负脉冲，每按一次Z“0”按钮，则产生一个清“0”信号。

7. 专用插件

专用插件用来进行运算器、存储器、控制器等部件的原理实验、联机实验与故障分析实验，有关内容将在第二章中详细介绍。

数字逻辑实验仪的使用方法

JS-1 数字逻辑实验仪除用于第二章所述的部件实验外，还用来进行本书第五、七、八各章所述的课题实验和接口实验，当然它也适用于一般的数字逻辑实验。为了简单起见，本书后面称它为通用实验台。现将其使用方法简述如下。

1. 集成电路的装卸

只要集成电路块符合标准，就不难插入实验台的多孔插座。当元件引脚不符合多孔插座间距时，可用拇指和食指，或用镊子钳将引脚弯好，再行插入多孔插座中。

为了防止高价的集成电路块受损坏，实验室可以把集成电路预装在单个的插座里，使用时作为一个整体装在实验台多孔插座上即可。

拔取集成电路块应该使用拔取工具。一种很简单的方法是用镊子对撬，或用U形夹，决不能用手拔，因为用手不仅费力，而且很容易把引脚弄断以致损坏集成电路块。

为了便于布线和维修，所有的集成电路块应以同一方向插多孔插座板。集成电路块上的定位缺口或小圆点是用来标识管脚1的。一般来说，集成电路块的接地脚在定位标识的左下角，电源脚在右上角。但也有极少数的例外，必须认真辨别。由于线路实验板下边设置接地母线，上边设置电源母线，因此横放的集成电路块应使定位标识（缺口或小圆点）指向左方。对于那些尚未熟悉的集成电路块，在连接到电源与地线之前，必须仔细与元件手册核对，以免损坏器件。

2. 布线

布线可用镊子钳和剥线钳。镊子钳用于插座板孔中进行嵌线和拆线。剥线钳用来剥去导线两端约1厘米长的绝缘物，使导线尖头保持笔直，以便插入插座孔。

一般来说，最好是在集成电路块周围走线。为了便于维修和更换集成电路，应避免导线跨过集成电路，并尽量使导线不复盖不用的孔。此外应注意使导线贴近线路板的表面，且在满足上述要求的情况下尽量使导线短一些，规整一些。

为了查线方便，对不同类型的信号可采用不同色标的导线，对此作如下规定（见表1.1）：

表 1.1

颜 色	红 线	黄 线	黑 线	白 线	紫色线	彩色线	棕色线	橙色线
名 称	+5V	+15V	地 线	负电源	控制线	信号线	地址母线	数据母线

布线顺序是：先把电源母线接到线路板的每一个集成电路的电源脚上，然后把不用的输入端接到地线上，或通过一只阻值为 1 k 的限流电阻接到一个适当的 + 5 V 稳压电源上。下一步联接各类母线，最后再联接控制线。这种布线顺序在维修时会带来较大方便，因为检查线路时可最少地变更原来的布线。

这里特别要强调布线整洁的重要性。整洁的布线对维修有利而且线路可靠；否则移动或嵌入一条导线往往会发生难以预料的后果，以致使整个线路处于混乱状态，也无法排除线路的故障。

布线完成后，要顺序地检查每一个集成电路的管脚并查对它的连线，以免接线出现差错。最后，在把电源接到电路中去以前，要反复地检查所有的电源接线。

3. 电源的接法

图 1.6 示出了多孔插座板电源的连接方法。接线柱 A 与并排的五块多孔插座板的左面插孔相连（图上只画出三块），而接线柱 B 与并排的五块多孔插座板的右面插孔相连。

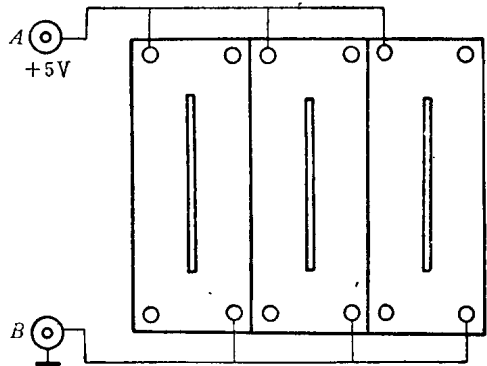


图1.6 多孔插座板电源连接方法

使用时必须先先将电源 + 5 伏与 A 接线柱连接，电源地线与 B 接线柱连接。五块多孔插座板中每一块均应有退耦装置。

§ 1.2 逻辑测试工具

寻找线性电路故障最主要的方法是激励-响应技术，即在电路的一个节点注入小信号，然后在信号流向的各点监视响应，这时信号消失或失真的各节点就给出了故障位置。

我们有意把数字电路设计成具有低的输出阻抗，以使电路对噪声（或小信号）的反应不灵敏。而在一个完整的数字系统中，每个电路的输入端总是和另一个电路的低阻抗的输出端相连，不是固定在逻辑高电平状态，就是固定在逻辑低电平状态。因此，以往线性电路中寻找故障的激励-响应技术就难以在数字电路中应用。当然，可以采用焊开或切断印制电路引线的方法将输入端同相连输出端断开，然而这是很不方便的。

现在出现了两种新型的数字电路的测试工具-逻辑脉冲产生器和逻辑探头，从而使得在数字电路中进行激励-响应测试不仅可行而且容易实现。装在探头壳体里的这种逻辑脉冲产生器，可以把脉冲注入到数字电路的节点上而无需断开集成电路的连线。而逻辑探头则用来检测脉冲，测试高、低电平及不正常电平。

逻辑脉冲产生器

逻辑脉冲产生器是一个封装在手持探头中的大电流单脉冲产生器。它能够提供足够的电流迫使电路由低输出退出饱和变成高电平状态,也能吸收足够的电流迫使电路由高输出变成低于逻辑“0”界限的低电平状态。

激励是通过安装在探头壳体上的按钮开关实现的,如图1.7所示。当按动开关时,一个宽约0.3微秒的正脉冲或负脉冲就加到被测的电路。输出脉冲极性的选择是自动进行的。每次按动按钮时,高电平的节点将会受到负脉冲的作用而变成低电平状态;低电平的节点将会受到正脉冲的作用而变成高电平状态。当不按动按钮时,脉冲产生器的输出探头尖将处于具有高输出阻抗的第三种状态,因而不会影响被触及的电路节点的原状态。

驱动TTL电路输出退出饱和并将迫使电路吸收大电流。但由于脉冲宽度较窄以及脉冲是由手动产生,所以重复频率低,这样平均功耗就限制在很小的范围内,从而可使被驱动的器件得到保护。

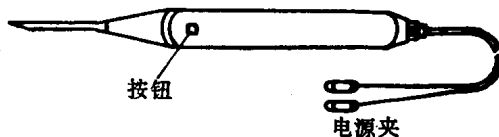


图1.7 逻辑脉冲产生器外形

下面介绍逻辑脉冲产生器的工作原理。逻辑脉冲产生器应具有辨别高、低电平的能力,且始终发送具有适当极性的脉冲。当按动开关时,输出被箝位于低电平0.3微秒,然后被驱动到高电平停留0.3微秒。如果被驱动的节点处在低逻辑,当脉冲产生器输出低电平时,不产生响应。但当脉冲产生器输出变成高电平时,就发送一个正脉冲。如果被驱动的节点原来处于逻辑高电平,按动开关后节点就被脉冲产生器输出到低电平,0.3微秒后被驱动节点恢复为原来的逻辑高电平,以后不再有响应。

图1.8是逻辑脉冲产生器的线路框图。用脉冲按钮产生的信号,首先经过一个RS触发器整形,整形产生的单

脉冲由第一单稳多谐振荡器压缩到0.3微秒的宽度,然后加到低电平放大器。低电平放大器输出经保护线路将探头尖输出箝位在低电平时,此低电平保持时间为0.3微秒。第一单稳输出脉

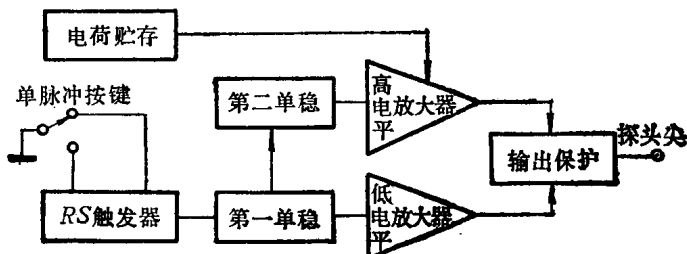


图1.8 逻辑脉冲产生器线路框图

冲的后沿触发第二单稳多谐振荡器,第二单稳也产生一宽度为0.3微秒的脉冲加到高电平放大器,高电平放大器经保护电路向探头尖输出高电平正脉冲,持续时间也为0.3微秒。

正脉冲后沿结束且开关闭合0.6微秒以后,两个放大器都截止。在这种情况下,从脉冲产生器探头尖(输出)反看进去的电路阻抗大于1兆欧,因此,对于被驱动点的逻辑电平信号将不产生影响。

当驱动一个低电平节点退出饱和时,脉冲产生器至少能提供650毫安的电流。

逻辑探头

1. 工作原理

逻辑探头用来检测和指示数字系统中的逻辑信号，它可以检测正常的逻辑高电平或低电平，也可以检测逻辑界限之间的不正常电平，还可以检测单脉冲以及宽度窄到数十毫秒的脉冲和重复频率大于 50 兆赫的脉冲序列。所有被检测的信息可以通过安装在探头上的指示灯来显示。

图 1.9 是某种型号的逻辑探头的线路原理图。它有二个逻辑电平阈值鉴别器，能将输入电平转换成低、高、中（或悬空）三个可能值的某种数字编码。探头分两个通道。检测逻辑高电平通道和检测逻辑低电平通道，其结构相同。为了检测脉冲，每个通道又增加单稳电路及展宽窄脉冲，同时用 RS 触发器记忆脉冲信息。检测电平或检测脉冲用双刀双掷开关加以控制，而红绿指示灯用来显示被检测的逻辑电平或脉冲。

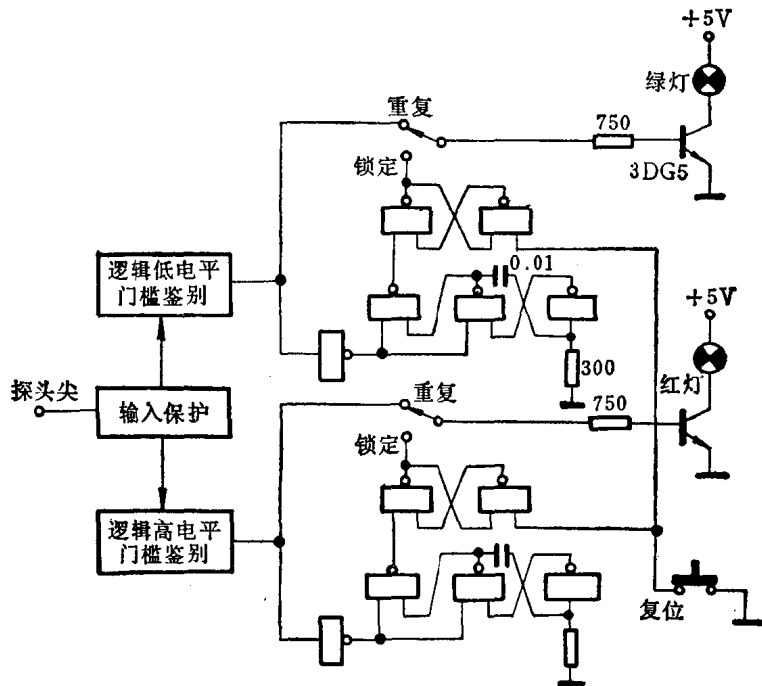


图1.9 逻辑探头线路原理图

图1.10是逻辑电平阈值鉴别器的电路，两只二极管的作用是：当输入电平超过+5伏或低于零时导通，以保护电路。上面一个晶体管 BG_1 当输入电压低时导通，使输出 B 为“1”。下面一个晶体管 BG_2 当输入电压高时导通，使输出 A 为“1”。当输入电平是中间值时，两个晶体管都截止，输出 A 和 B 都为“0”。电阻网络是这样选择的：当输入悬空时它将被模拟为一个中间电压值。由于所给晶体管速度比标准 TTL 更快些，所以该电路具有跟随任何能被 TTL 所检测的输入脉冲的能力。

图1.11示出了逻辑探头的外形与外置元件的位置。其外置元件的作用如下：

- (1) 探头尖：把探头尖置于被测点上，就可检验信号。
- (2) 红色指示灯：在作电平、脉冲极性检验时，红灯分别作为高电平和正脉冲指示的鉴定灯。

(3) 绿色指示灯: 在作电平、脉冲极性检验时, 绿灯分别作为低电平和负脉冲指示的鉴定灯。

(4) “复位”按钮开关: 此按钮开关按下后, 不论拨动开关置于“重复”或“锁定”位置, 红、绿指示灯均熄灭, 在拨动开关置于“锁定”位置时, 记忆电路也同时复位。

(5) “重复”或“锁定”拨动开关: 拨动开关置于“重复”位置时被测点电平直接控制指示灯, 而不经记忆电路, 只要信号存在, 红灯或绿灯之一就一直发亮; 拨动开关置于“锁定”位置时被测点电平是通过记忆电路控制指示灯的, 只要有一个脉冲作用, 红灯或绿灯之一就一直发亮, 除非记忆电路被“复位”按钮清除。

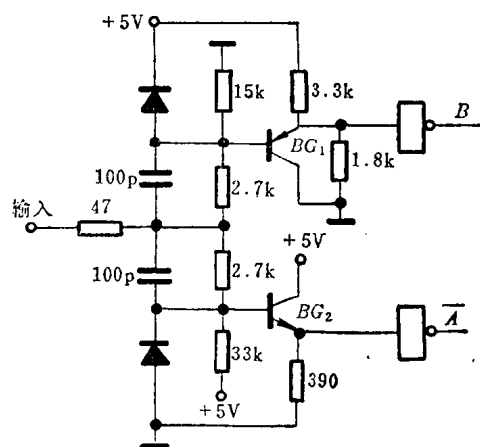


图1.10 门槛电平检测电路

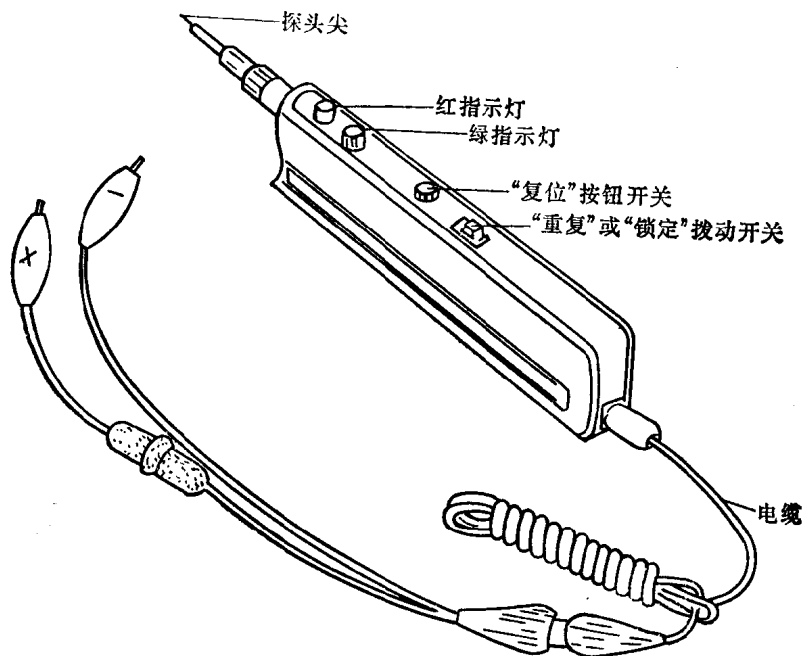


图1.11 逻辑探头外形

2. 使用方法

拨动开关置于“重复”位置时, 可进行电平检验或脉冲空度系数检验。图1.12示出了电平检验的显示, 而图1.13示出了脉冲空度系数检验的显示。

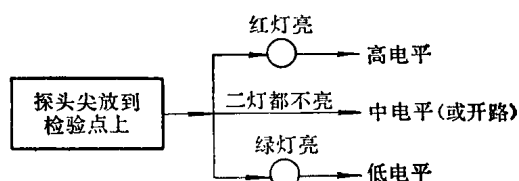


图1.12 电平检验

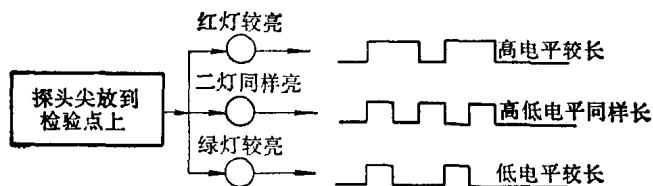


图1.13 脉冲宽度系数检验

当拨动开关置于“锁定”位置时，可进行脉冲极性检验。图1.14示出了脉冲极性检验的显示，根据此显示可知检测到的是正脉冲还是负脉冲。

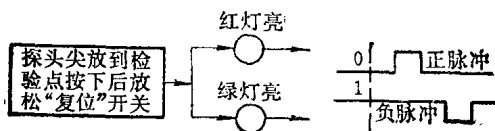


图1.14 脉冲极性检验

§ 1.3 电子示波器

示波器的结构组成

电子示波器是目前应用最广的测量仪器之一。它的显著特点是可以把人们无法用眼睛看见的各种电过程转换为能直接观察的光现象，从而可以观测电压、电流、功率、频率、相位等各种电气参数。几乎所有的物理量，只要用“传感器”转变成相应的电压或电流，都可以利用示波器进行观测和研究。

示波器的主要部分有：示波管、带衰减器的Y轴放大器、带衰减器的X轴放大器、时基扫描电路、电源等。图1.15示出了通用示波器的简化框图。

1. 示波管

示波管为漏斗状真空玻璃壳，颈部装有电子枪，底部的内表面为平玻璃板，上面涂有一层磷光物质，即为荧光屏。屏面上电子束轰击的部位由于受激而发光，光点通常显绿色，光点的亮度取决于轰击屏面的电子数量与速度。

电子枪中的灯丝 f 用来给阴极加热，而阴极 k 用来发射电子。紧靠阴极的金属圆筒 G 为控制栅极，顶端有一小孔供电子通过，其电位比阴极更负。调节电位器 R_1 可改变这一电位，从而可以控制通过控制栅极 G 的电子数量，负压越大，通过 G 的电子数量越少。用这种方法可调节屏面上光点的亮度，因而 R_1 常称为“辉度调节器”。此外，通过Z输入端

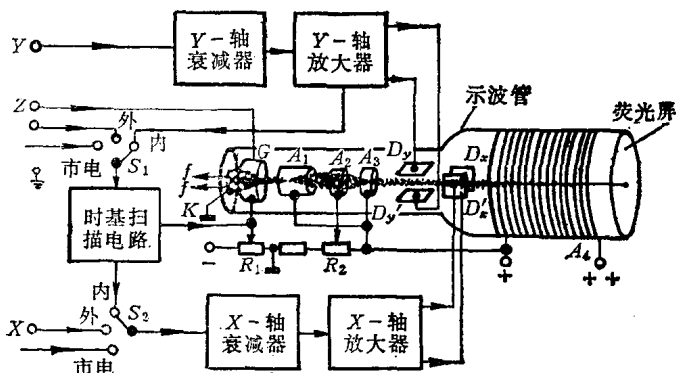


图1.15 通用示波器简化框图

也可从外部改变亮度,这称为“射束调制”,即当 Z 输入电压为交变电压时,光点亮度将随该电压的节律而改变;当 Z 输入电压近几十伏时,电子束截止,屏面上光点消失。在控制栅极后面,有三个圆筒形阳极(A_1 、 A_2 、 A_3),它们的电位均高于阴极的电位,因此通过控制栅极小孔的电子因“被吸引”而加速。由于阳极呈圆筒形,不会受到高速飞行电子的撞击。各阳极所加的正电压大小不等, A_2 比 A_1 、 A_3 低几百伏,这一电压差控制电子的轨道,使之全部相当准确地飞向屏面上的一点,此作用称为电子束的“聚焦”。阳极 A_1 、 A_2 与 A_3 组合成为“电子透镜”,调节电位器 R_2 改变 A_2 与 A_1 、 A_3 间的电位差,就可调整“透镜”的焦点,使屏面上出现清晰的光点,因而 R_2 常称为“聚焦调节器”。

偏转板 D_x 、 D'_x 和 D_y 、 D'_y 上的平均电压约等于 A_3 上的电压,因而电子束通过偏转板时速度保持不变。每一对偏转板之间的电位差决定了电子束在 x 方向或 y 方向上的偏转。当 D_x 与 D'_x 间以及 D_y 与 D'_y 间都不存在电位差时,光点出现在荧光屏中央。 D_y 对 D'_y 为正时,电子束向上偏转; D_y 对 D'_y 为负时,光点向下偏转。光点的偏转距离与电位差成正比,电位差越大,光点偏转的距离越大。同理, D_x 对 D'_x 为正时,光点向左偏转; D_x 对 D'_x 为负时,光点向右偏转。当 D_y 与 D'_y 间加交变电压时,光点沿垂直方向上下运动,如电压迅速变化,光点运动速度随之增加,由于眼睛的视觉暂留和磷光材料的余辉效应,人们看见的是一条稳定的垂线。同样,如果把相应频率的交变电压加到 D_x 与 D'_x 间时,即可观察到一条水平线。于是,在两个电压的同时作用下,光点几乎无惰性地在整个屏面上移动。用这种方法,在 x 方向加一电压(x 电压),在 y 方向加另一电压(y 电压),即可对两电压进行比较。

通常把光点偏转1厘米所需的一对极板上的电位差叫偏转灵敏度,其数值越小,表示灵敏度越高。在一定程度上它取决于电子通过偏转板的速度。示波管中装有后加速阳极 A_4 ,其上加有几千伏的电压,使电子以更高的速度轰击荧光屏。由于后加速是在通过偏转系统后进行的,所以不会影响偏转灵敏度。 A_4 通常是不良导电材料在玻璃壳内壁涂覆而成的螺旋线,螺旋线接近荧光屏一端的电压很高,另一端的电压与 A_3 大致相当。由于电压越来越高,电子在后加速过程中持续加速但方向不变,电子轰击荧光屏时所释放的能量不仅转换成光能,而且形成二次发射。这些由荧光屏二次发射的电子被 A_4 俘获,于是形成一闭合的电流回路:

阴极→电子束→荧光屏→二次发射→后加速阳极

A_4 →馈电部分→阴极。

2. 带衰减器的 Y 轴放大器

为了使光点在荧光屏上偏转1厘米,需在—对偏转板上加数量级为20~30伏的电压。目前,要将100毫伏的被测电压放大到足以产生1厘米的偏转是不难做到的。另一方面,若被测电压过大,则需先行衰减,以免放大器过载。衰减器是一种由电阻和电容组成的分压器,通过步进开关或电位器的控制,可获得所要求的分压,使接到 Y 轴输入端的信号只有一部分到达放大器输入端。用上述方法就可以选定 y 方向的增益量。基于上述关系,偏转灵敏度可定义为:在规定的使用条件下,偏转电压(交流时为峰峰值)与光点偏转距离之商,用 V/cm 表示。一般示波器在可调衰减器之前,还常通过测量电缆串接一衰减比固定(如1:10)的探头,测量时,探头与被测对象相连接,因而衰减后的电压通过测量电

缆送入示波器。采用这种方法,被测对象受Y轴放大器输入阻抗的影响较小。通常,示波器的输入电阻约为1兆欧,输入电容约为20~50微微法。

为了将任何电压(具有任意频率、幅度和曲线形状)尽可能“真实地”加以放大,对Y轴放大器的传输特性要求很高,即需要一种相应的快速响应电路。这种电路采用寄生电容和电感尽可能小的元件,以及降低电路电容和电感的装配技术制成。Y轴放大器的响应速度用频带宽度来表示。带宽的定义为:在此范围内,相对于频率特性曲线的水平部分,偏转灵敏度的变化不超过 ± 3 分贝(约 $\pm 3\%$)。放大器的品质因数用增益和带宽的乘积表示。高增益和宽频带是互相矛盾的两种特性,因此设计一台频带宽而且增益高的放大器是困难的。目前,中档示波器的偏转灵敏度一般为5毫伏/厘米,带宽为50~100兆赫。

Y轴放大器不仅要能真实地放大高频电压,而且也要能无失真地再现变化缓慢的电压。因此近代示波器都备有直流电压放大器,其各级间是直接耦合的。而在交流放大器中,各级之间是以电容耦合的。许多示波器的Y轴放大备有直流(开关位置“DC”)和交流(开关位置“AC”)两档。在测量直流电压、低频交流电压时,应将Y轴放大器置于直流档;在测量其他电压时,则置交流档为宜。

Y轴放大器的输出与偏转板间实际上总是直接耦合的。因此,除被测信号外,通过这一通道还可将一内部直流电压加到偏转板上。当

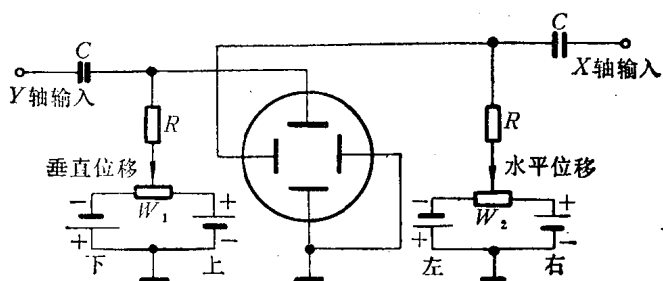


图1.16 位移调节

改变这一直流电压时,可使显示图形垂直位移,通常称为Y位移,如图1.16所示。

3. 带衰减器的X轴放大器

和Y轴放大器一样,“真实”的传输原则同样适用于带衰减器的X轴放大器。借助于X轴衰减器,可调整X方向的偏转灵敏度。同样,X位移可使显示图形沿水平方向移动。有些示波器的X轴与Y轴放大器特性相同,但大部分Y轴放大器的品质因数优于X轴放大器。这是因为在绝大部分的应用测量中,总是使用较高的“内”部电压即采用“内”扫描,所以对X轴放大器的偏转灵敏度要求不高。由图1.15看出,借助于开关 S_2 ,可转换X轴放大器和衰减器的输入。 S_2 处于位置“内”时,时基扫描电路的输出——随时间呈线性变化的电压接入X轴衰减器,此时X轴偏转与时间成正比,而Y轴输入端的电压变化是时间的函数。当 S_2 处于位置“外”时,X衰减器与X轴外接输入端相连,若此时无电压输入,则X轴无偏转。在比较两任意量时,可将与一任意量相应的电压加到Y轴输入端,把与另一量相应的电压加到X轴外接输入端,于是荧光屏上就出现一幅描述此两量间关系的图形。但须指出,在此情况下,X轴输入端与Y轴输入端必须有一端是公用的(接地点)。当 S_2 处于位置“市电”时,X轴衰减器接入市电网导入的频率一般为50赫的正弦电压,从而可将Y轴电压与市电电压进行比较。

4. 时基扫描电路

在显示某一变化量与时间的关系时,将与此量成正比的电压通过Y轴衰减器和放大器接入Y偏转板。同时在X偏转板上加电压,使电子束以恒定速度从左向右运动,并使光点