

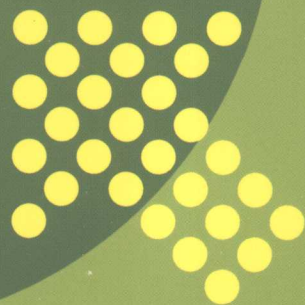
21世纪高等学校规划教材



DIANLU DIANZI JICHU SHIYAN

电路电子基础实验

邓泽霞 陈新岗 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

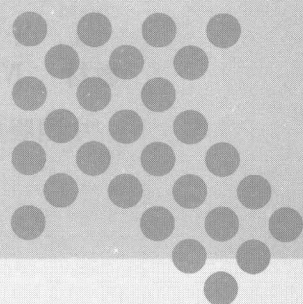
21世纪高等学校规划教材



DIANLU DIANZI JICHU SHIYAN

电路电子基础实验

主 编	邓泽霞	陈新岗	
编 写	余永辉	古良玲	陶炳清
	向险峰	施帮利	
主 审	曾孝平	徐淑华	



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

全书共分为四个部分，第一部分为电路电子测量基础知识及仿真软件的介绍，第二部分为电路电子基础实验，第三部分为模拟电子技术基础实验，第四部分为数字电子技术基础实验。全书共 37 个实验。附录汇编了常用数字集成电路的名称、型号、引脚排列等内容。

本书可作为普通高等院校电气信息类专业的实验教材，也可作为电子技术工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路电子基础实验/邓泽霞, 陈新岗主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-9062-8

I. 电… II. ①邓…②陈… III. 电子电路-实验-高等学校-教材 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 109983 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100011 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11 印张 262 千字

定价 17.60 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

《电路电子基础实验》是高等工科院校实践环节的一个重要组成部分。通过这门课程的学习,学生可将电路电子技术基础理论与实际操作有机结合起来,加深对理论知识的理解,逐步培养和提高自身的实验能力、实际操作能力、独立分析和解决问题的能力,以及创新思维能力和理论联系实际的能力。

本书总结了近年来重庆理工大学的实验教学经验,并按照当前教学改革的要求编写。第一部分主要介绍电路电子测量的一些基础知识和仿真软件的使用,让学生对电子仪器、元器件、电子参数的基本测试方法以及仿真软件有一定的了解;第二部分为电路基础实验项目,第三部分为模拟电路基础实验项目,第四部分为数字电路基础实验项目,使学生逐步掌握和熟练运用各种单元电路,并进行各种电参数的测量,掌握各种集成电路的功能以及基本应用;附录部分列出了部分集成电路的引脚排列,便于同学们查阅。本书的实验要求学生预习时先对实验内容进行仿真,仿真完成之后再到实验室进行实物实验,将实物实验与虚拟仿真实验有机地结合起来。还可以将许多实验室中无法进行的实验操作或操作难度大的实验内容通过上机进行仿真,极大地丰富了实验内容。

本书第一部分第一、二、三、四节由邓泽霞、陈新岗编写,第二部分实验 2-1 及第三部分实验 3-1~实验 3-12 由邓泽霞编写;第二部分实验 2-2~实验 2-12 由陶炳清、向险峰共同编写;第四部分实验 4-1~实验 4-11、附录由古良玲、邓泽霞、余永辉共同编写;第一部分第五节、第三部分实验 3-13、第四部分实验 4-12 由施帮利编写。全书由陈新岗和邓泽霞负责统稿。

本书由重庆大学曾孝平教授担任主审,对初稿进行了认真细致的审阅,并提出了许多宝贵意见和修改建议。青岛大学徐淑华教授对本书大纲进行了审阅。本书在编写过程中还得到重庆市示范中心重庆理工大学电工电子技术实验中心各位领导及老师的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中的疏漏与不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2009 年 6 月

目 录

前言

第一部分 电路电子测量基础	1
第一节 常用电子元件基础知识	1
第二节 常用电子仪器	5
第三节 电参数测量基础	11
第四节 电子电路调试与故障检测	13
第五节 Multisim 仿真软件介绍	18
第二部分 电路基础实验	43
实验 2-1 常用电子仪器的使用	43
实验 2-2 元件伏安特性的测试	45
实验 2-3 线性有源二端网络等效参数的测定	47
实验 2-4 一阶电路的响应	50
实验 2-5 二阶动态电路的研究	52
实验 2-6 交流电路基本测量	55
实验 2-7 正弦稳态交流电路相量的研究	58
实验 2-8 RC 选频网络特性测试	60
实验 2-9 RLC 串联谐振电路的研究	62
实验 2-10 三相交流电路的电压和电流	64
实验 2-11 互感电路的观测	67
实验 2-12 直流无源二端口网络	70
第三部分 模拟电子技术基础实验	74
实验 3-1 单管放大电路	74
实验 3-2 射极跟随器	77
实验 3-3 负反馈放大器	80
实验 3-4 差动放大器	82
实验 3-5 集成运算放大器的基本应用 (I)——模拟运算电路	85
实验 3-6 集成运算放大器的基本应用 (II)——电压比较器	88
实验 3-7 集成运算放大器的基本应用 (III)——波形发生器	91
实验 3-8 集成运算放大器的基本应用 (IV)——有源滤波器	94
实验 3-9 OTL 功率放大器	98
实验 3-10 低频功率放大器——集成功率放大器	101
实验 3-11 LC 正弦波振荡器	104
实验 3-12 直流稳压电源	106
实验 3-13 OTL 低频功率放大器特性仿真	108

第四部分 数字电子技术基础实验	112
实验 4-1 组合逻辑电路的设计与测试	112
实验 4-2 译码器及其应用	114
实验 4-3 数据选择器及其应用	118
实验 4-4 触发器及其应用	122
实验 4-5 计数器及其应用	127
实验 4-6 移位寄存器及其应用	130
实验 4-7 脉冲分配器及其应用	133
实验 4-8 使用电路产生脉冲信号——自激多谐振荡器	135
实验 4-9 555 多谐振荡器	138
实验 4-10 D/A、A/D 转换器	142
实验 4-11 电子秒表	147
实验 4-12 数字电路仿真实验	151
附录一 TTL 集成电路和 CMOS 集成电路使用规则	156
附录二 集成逻辑门电路新、旧图形符号对照	157
附录三 部分集成电路引脚排列	159
参考文献	167

第一部分 电路电子测量基础

第一节 常用电子元件基础知识

一、电阻

电阻器的种类很多,从构成材料来分,有碳质电阻器、碳膜电阻器、金属膜电阻器和线绕电阻器等多种;从结构形式来分,有固定电阻器、可变电阻器和电位器三种,其中固定电阻器用途最广泛。

常用的电阻单位为 $\text{k}\Omega$ (千欧)、 $\text{M}\Omega$ (兆欧),电阻最基本的单位为 Ω (欧)。它们之间的换算式为

$$1\text{M}\Omega = 1000\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

$$1\Omega = 10^{-3}\text{k}\Omega = 10^{-6}\text{M}\Omega$$

电阻在电路中通常起分压限流的作用,对信号来说,交流与直流信号都可以通过电阻。

电阻的阻值和误差一般都标注在电阻体上,标注方法有直标法、文字符号法和色环标注法三种。色环标注法使用最多,如图 1-1 所示。电阻的色标位置和倍率关系见表 1-1。

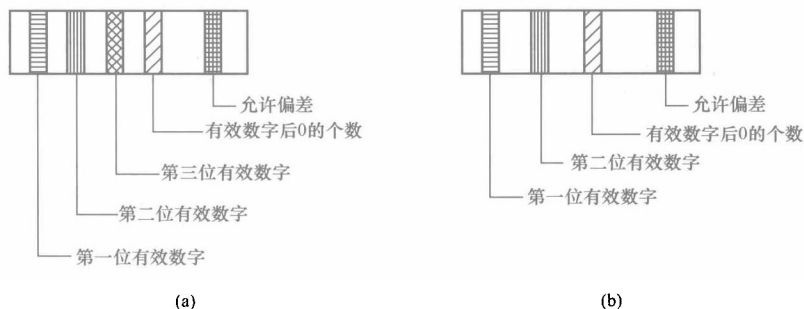


图 1-1 色环电阻

(a) 五色环电阻; (b) 四色环电阻

表 1-1

电阻的色标位置和倍率关系表

颜色	有效数字	倍率	允许偏差 (%)	颜色	有效数字	倍率	允许偏差 (%)
棕色	1	10^1	± 1	灰色	8	10^8	—
红色	2	10^2	± 2	白色	9	10^9	$+5 \sim -20$
橙色	3	10^3	—	黑色	0	10^0	—
黄色	4	10^4	—	金色	—	10^{-1}	± 5
绿色	5	10^5	± 0.5	银色	—	10^{-2}	± 10
蓝色	6	10^6	± 0.2	无色	—	—	± 20
紫色	7	10^7	± 0.1				

二、电容

常用电容器有固定电容器、可变电容器及微调电容器三种，固定电容器用途广泛。注意有极性电容器的正负极在电路中不能接错。电容在电路中一般用“C”加数字表示。电容是由两片金属膜紧靠，中间用绝缘材料隔开而组成的元件。电容的特性主要是隔直流通交流。电容容量的大小就是表示能储存电能的大小，电容对交流信号的阻碍作用称为容抗，它与交流信号的频率和电容量有关。容抗 $X_C = 1/(2\pi fC)$ (f 表示交流信号的频率， C 表示电容量)。

电容的基本单位为 F (法拉)，其他单位还有 mF (毫法)、 μF (微法)、nF (纳法)、pF (皮法)。它们之间的换算式为

$$1\text{F} = 10^3\text{mF} = 10^6\mu\text{F} = 10^9\text{nF} = 10^{12}\text{pF}$$

电容器的标注方法与电阻的识别方法基本相同，分直标法、数码表示法和色码法三种。

图 1-2 所示为直标法标注的电容。注意有些电容用字母表示小数点，如 R56 μF 表示 0.56 μF ，1p2 表示 1.2pF，1m5 表示 1500 μF 。

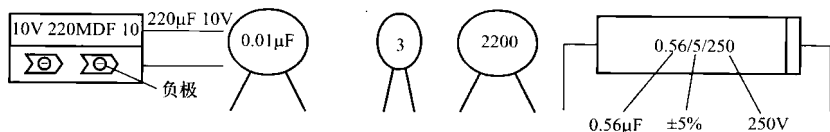


图 1-2 直标法标注的电容

图 1-3 所示为数码表示法标注的电容：一般用三位数字表示容量大小，前两位表示有效数字，第三位数字是倍率。数码表示的电容量单位默认为 pF。如图 1-3 (a)、(b)、(c) 所示，103 表示 $10 \times 10^3 \text{pF} = 10\,000 \text{pF}$ ，224 表示 $22 \times 10^4 \text{pF} = 0.22\mu\text{F}$ ，152 表示 $15 \times 10^2 \text{pF} = 1500 \text{pF}$ 。[有一种特例，第三位用 9 表示，此电容的容量有效数字乘上 10^{-1} 。如图 1-3 (d) 中 229 表示 $22 \times 10^{-1} \text{pF} = 2.2 \text{pF}$]。

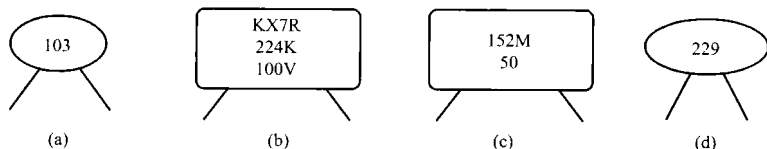


图 1-3 数码表示法标注的电容

(a) 0.01 μF ; (b) 0.22 $\mu\text{F} \pm 10\%$; (c) 1500pF; (d) 2.2pF

电容量的色码表示法：顺引线方向，第一、二色码表示电容量值的有效数字，黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白分别代表 0~9 十个数字，第三色环码表示后面零的个数。色码表示的电容量单位也是 pF。图 1-4 (a) 中表示 $47 \times 10^3 \text{pF} = 0.047\mu\text{F}$ ；图 1-4 (b) 中表示 $15 \times 10^4 \text{pF} = 0.15\mu\text{F}$ ；图 1-4 (c) 中表示 $22 \times 10^3 \text{pF} = 0.022\mu\text{F}$ 。

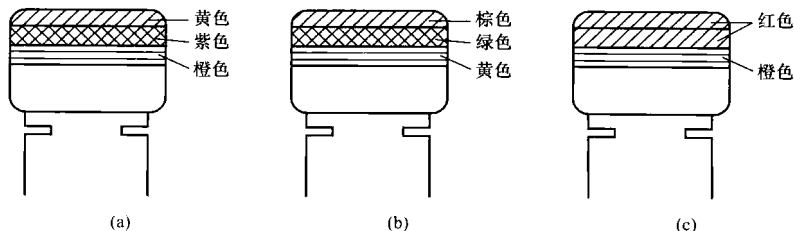


图 1-4 色码表示法标注的电容

电容量的误差表示方法也有多种：

(1) 直接表示法。如 $(10 \pm 0.5)\text{pF}$ ，误差就是 $\pm 0.5\text{pF}$ 。图 1-2 所示电容器上 0.56 右边的“5”表示误差为 $\pm 5\%$ 。

(2) 字母码表示：

符号	F	G	J	K	L	M
允许误差	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$	$\pm 20\%$

例如图 1-3 (b) 所示电容中 224K 表示 $0.22\mu\text{F} \pm 10\%$ ，152M 表示 $1500\text{pF} \pm 20\%$ ；又如，104J 表示容量为 $0.1\mu\text{F} \pm 5\%$ 。

在实际维修中，电容器的故障主要表现为：

- (1) 引脚腐蚀致断的开路故障。
- (2) 脱焊和虚焊的开路故障。
- (3) 漏液后造成容量小或开路故障。
- (4) 漏电、严重漏电和击穿故障。

三、晶体二极管

二极管的主要特性是单向导电性，也就是在正向电压的作用下，导通电阻很小；而在反向电压作用下导通电阻极大或无穷大。正因为二极管具有上述特性，无绳电话机中常把它用在整流、隔离、稳压、极性保护、编码控制、调频调制和静噪等电路中。

识别方法：二极管的识别很简单，小功率二极管的 N 极（负极），在二极管外表大多采用一种色圈标出来；有些二极管也用二极管专用符号来表示 P 极（正极）或 N 极（负极）；也有采用符号标志为“P”、“N”来确定二极管极性的。发光二极管的正负极可从引脚长短来识别，长脚为正，短脚为负。

测试注意事项：用数字式万用表去测二极管时，红表笔接二极管的正极，黑表笔接二极管的负极，此时测得值是二极管的正向导通压降，这与指针式万用表测试时的判断方法是不一样的。

四、稳压二极管

稳压二极管的稳压原理：稳压二极管的特点就是反向击穿后，其两端的电压基本保持不变。这样，当把稳压管接入电路以后，若由于电源电压发生波动，或其他原因造成电路中各点电压变动时，负载两端的电压将基本保持不变。

故障特点：稳压二极管的故障主要表现在开路、短路和稳压值不稳定。在这三种故障中，前一种故障表现出电源电压升高；后两种故障表现为电源电压变低到 0V 或输出不稳定。

五、电感

电感线圈是将绝缘的导线在绝缘的骨架上绕一定的圈数制成的。直流信号可通过线圈，直流电阻就是导线本身的电阻，压降很小；当交流信号通过线圈时，线圈两端将会产生自感电动势，自感电动势的方向与外加电压的方向相反，阻碍交流的通过，所以电感的特性是通直流阻交流，频率越高，线圈阻抗越大。电感在电路中可与电容、电阻等组成振荡电路。

电感的标注方法一般有直标法和色标法两种，色标法与电阻类似，如棕、黑、金等，金表示 $1\mu\text{H}$ （误差 5%）的电感。

电感的基本单位为 H (亨利), 换算单位有: $1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\mu\text{H}$ 。

六、晶体三极管

晶体三极管 (简称三极管) 是内部含有两个 PN 结, 并且具有电流放大能力的特殊器件。它分 NPN 型和 PNP 型两种类型, 这两种类型的三极管从工作特性上可互相弥补, 所谓 OTL 电路中的对管就是指由 PNP 型和 NPN 型配对使用。晶体三极管主要用于放大电路中起放大作用。

七、场效应晶体管

场效应晶体管具有输入阻抗较高和噪声低等优点, 因而被广泛应用于各种电子设备中, 尤其用场效应管作整个电子设备的输入级, 可以获得一般晶体管很难达到的性能。

场效应管分结型和绝缘栅型两大类, 属于电压控制型半导体器件。

场效应管与晶体管的比较如下:

(1) 场效应管是电压控制元件, 而晶体管是电流控制元件。在只允许从信号源取较少电流的情况下, 应选用场效应管; 而在信号电压较低, 又允许从信号源取较多电流的条件下, 应选用晶体管。

(2) 场效应管利用多数载流子导电, 所以称为单极型器件, 而晶体管是既利用多数载流子, 也利用少数载流子导电, 被称为双极型器件。

(3) 有些场效应管的源极和漏极可以互换使用, 栅压也可正可负, 灵活性比晶体管好。

(4) 场效应管能在很小电流和很低电压的条件下工作, 而且它的制造工艺可以很方便地把很多场效应管集成在一块硅片上, 因此场效应管在大规模集成电路中得到了广泛的应用。

八、集成块 (IC)

集成块也叫集成电路 (通常简称 IC), 是指将很多微电子器件集成在芯片上的一种高级微电子器件。通常使用硅为基础材料, 通过扩散或渗透技术在其上形成 N 型和 P 型半导体及 P-N 结。

半导体集成电路是以半导体材料为基片, 将至少有一个是有源元件的两个以上元件和部分或者全部互连线路集成在基片之中或者基片之上, 以执行某种电子功能的中间产品或者最终产品。

集成块的代号为 U 或 IC。

数字集成电路器件有多种封装形式, 实验中多用双列直插式。从正面看, 器件一端有一个半圆缺口, 这是正方向的标志。IC 芯片的引脚序号是依此半圆缺口为参考点定位的, 缺口左下边的第一个引脚编号为 1, 引脚编号按逆时针方向增加。

(1) DIP 封装的器件有两列引脚, 两列引脚之间的距离能够作微小改变, 但引脚间距不能改变。将器件插入实验平台上的插座 (面板) 或从其上拔出时要小心, 不要将器件引脚搞弯或折断。

(2) 74 系列器件一般右下角的最后一个引脚是 GND, 右上角的引脚是 U_{CC} 。

因此, 使用集成电路器件时要先看清楚它的引脚分配图, 找对电源和地的引脚, 避免因接线错误造成器件损坏。

九、LED 七段数码显示器件

该器件由 7 个发光二极管构成七段字形, 是将电信号转换为光信号的固体显示器件, 通常由磷砷化镓 (GaAsP) 半导体材料制成, 故又称为 GaAsP 七段数码管, 其最大工作电流

为 10mA 或 15mA, 分共阴和共阳两类品种, 常用共阴型号有 BS201、BS202、BS207 和 LCS011-11 等, 共阳型号有 BS204、BS206 和 LA5011-11 等。

1. LED 数码管的主要特点

- (1) 能在低电压、小电流条件下驱动发光, 能与 CMOS、ITL 电路兼容。
- (2) 发光响应时间极短 (小于 $0.1\mu\text{s}$), 高频特性好, 单色性好, 亮度高。
- (3) 体积小, 质量轻, 抗冲击性能好。
- (4) 寿命长, 使用寿命在 10 万 h 以上, 甚至可达 100 万 h; 成本低。

因此它被广泛用作数字仪器仪表、数控装置和计算机的数显器件。

2. LED 七段数码管的判别方法

(1) 共阳、共阴及好坏判别: 先确定显示器的两个公共端, 两者是相通的。这两端可能是两个地端 (共阴极), 也可能是两个 U_{CC} 端 (共阳极), 然后用万用表像判别普通二极管正、负极那样判断, 即可确定出是共阳还是共阴, 好坏也随之确定了。

(2) 字段引脚判别: 将共阴显示器接地端接电源的负极, 电源正极通过 400Ω 左右的电阻接七段引脚之一, 则根据发光情况可以判别出 a、b、c、d、e、f、g 七段; 对于共阳显示器, 先将它的 U_{CC} 端接电源的正极, 再将几百欧一端接地, 另一端分别接显示器各字段引脚, 则七段之一分别发光, 从而判断之。

3. 使用注意事项

(1) 对于型号不明, 且无管脚排列图的 LED 数码管, 用数字万用表的二极管挡可完成下述测试工作: ①判定数码管的结构形式 (共阴或共阳); ②识别管脚; ③检查全亮笔段。预先可假定某个电极 of 公共极, 然后根据笔段发光或不发光加以验证。当笔段电极接反或公共极判断错误时, 该笔段就不能发光。

(2) LED 数码管每笔画工作电流 I_{LED} 在 $5\sim 10\text{mA}$ 之间, 若电流过大会损坏数码管, 因此必须加限流电阻, 限流电阻阻值的计算式为

$$R = (U_0 - U_{\text{LED}}) / I_{\text{LED}}$$

式中, U_0 为加在 LED 两端电压; U_{LED} 为 LED 数码管每笔画压降 (约 2V)。

(3) 检查时若发光暗淡, 说明器件已老化, 发光效率太低。如果显示的笔段残缺不全, 说明数码管已局部损坏。

第二节 常用电子仪器

电路电子实验中常用的电子仪器有万用表、直流稳压电源、信号发生器、示波器、交流毫伏表等。在实验中正确选用和使用各种仪器是保证实验顺利进行并获得准确结果的必要条件。

一、万用表

万用表分指针式万用表和数字式万用表。数字万用表具有测量精确、取值方便、功能齐全等优点, 最普通的数字万用表一般具有电阻测量、通断声响检测、二极管正向导通电压测量、交流直流电压电流测量、三极管放大倍数及性能测量等。有些数字万用表则增加了电容量测量、频率测量、温度测量、数据记忆及语音报数等功能, 给实际检测工作带来很大的方便。下面简单介绍其使用方法和注意事项。

1. 使用方法

(1) 使用前, 应认真阅读有关的使用说明书, 熟悉电源开关、量程开关、插孔、特殊插口的作用。

(2) 将电源开关置于 ON 位置。

(3) 交直流电压的测量: 根据需要将量程开关拨至 DCV (直流) 或 ACV (交流) 的合适量程, 红表笔插入 V/ Ω 孔, 黑表笔插入 COM 孔, 并将表笔与被测线路并联, 读数即显示。

(4) 交直流电流的测量: 将量程开关拨至 DCA (直流) 或 ACA (交流) 的合适量程, 红表笔插入 mA 孔 ($<200\text{mA}$ 时) 或 10A 孔 ($\geq 200\text{mA}$ 时), 黑表笔插入 COM 孔, 并将万用表串联在被测电路中。测量直流量时, 数字万用表能自动显示极性。

(5) 电阻的测量: 将量程开关拨至 Ω 的合适量程, 红表笔插入 V/ Ω 孔, 黑表笔插入 COM 孔。如果被测电阻值超出所选择量程的最大值, 万用表将显示 “1”, 这时应选择更高的量程。测量电阻时, 红表笔为正极, 黑表笔为负极, 这与指针式万用表正好相反。因此, 用万用表测量晶体管、电解电容器等有极性的元器件电阻时, 必须注意表笔的极性。

2. 使用注意事项

(1) 如果无法预先估计被测电压或电流的大小, 则应先拨至最高量程挡测量一次, 再视情况逐渐把量程减小到合适位置。测量完毕, 应将量程开关拨到最高电压挡, 并关闭电源。

(2) 满量程时, 仪表仅在最高位显示数字 “1”, 其他位均消失, 这时应选择更高的量程。

(3) 测量电压时, 应将数字万用表与被测电路并联。测电流时应与被测电路串联, 测直流量时不必考虑正、负极性。

(4) 当误用交流电压挡去测量直流电压, 或者误用直流电压挡去测量交流电压时, 显示屏将显示 “000”, 或低位上的数字出现跳动。

(5) 禁止在测量高电压 (220V 以上) 或大电流 (0.5A 以上) 时换量程, 以防止产生电弧, 烧毁开关触点。

(6) 测量电阻时, 一定不要带电测量。

(7) 使用完毕, 将测量选择置于交流 750V 或者直流 1000V 处, 这样在下次测量时无论误测什么参数, 都不会引起数字万用表损坏。

(8) 当显示电池符号时, 表示电池电压低于工作电压, 应及时更换电池。

二、直流稳压电源

直流稳压电源是将交流电变成稳定的、输出功率符合要求的直流电的设备。各种电子电路都需要直流电源供电, 因此直流稳压电源在电子电路中不可缺少。

HY1711-3S 型直流稳压、稳流电源: 具有体积小、质量轻、效率高、可串联或并联使用、跟踪使用、不怕短路、电压电流连续可调、可靠性高、稳定性好、纹波小等优点, 外形美观, 工艺先进。

HY1711-3S 型具有双路独立可调电压输出, 并且两路可调电源可以独立使用, 也可以进行串联、并联使用。在串联或并联使用时, 只需对主路电源的输出进行调节, 从路电源的输出就会跟踪主路。

HY1711-3S 型直流稳压、稳流电源的主要技术指标:

输入电压: AC 220V $\pm 10\%$ 或 AC 380V $\pm 10\%$ 。

输出电压：0~30V/50V/110V/150V/200V/300V/1000V。

输出功率：30W~200kW。

源效应：CV 为 $\leq 1 \times 10^{-1} + 0.5\text{mV}$ ；CC 为 $\leq 1 \times 10^{-2} + 3\text{mA}$ 。

负载效应：CV 为 $\leq 1 \times 10^{-1} + 1\text{mV}$ ；CC 为 $\leq 1 \times 10^{-2} + 5\text{mA}$ 。

周期与随机偏移：CV 为 $\leq 0.5\text{mV}$ ；CC 为 $\leq 10\text{mA}$ 。

三、信号发生器

信号发生器是可以提供方波、三角波、正弦波、斜波和脉冲波等波形的仪器，在使用时，它的输出端不允许短路。实验时一般用来给实验电路提供输入信号。对 SG1645 型函数信号发生器的技术指标和使用方法介绍如下。

1. 概述

该仪器是一种多功能、6 位数字显示的功率函数信号发生器。它能直接产生正弦波、三角波、方波、对称可调脉冲波和 TTL 脉冲波。其中正弦波具有最大为 10W 的功率输出，并具有短路报警保护功能。该仪器还具有 VCF 输入控制、直流电平连续调节和频率计外接测频等功能。

2. 面板说明

SG1645 型函数信号发生器面板示意图如图 1-5 所示，其面板标志说明及功能见表 1-2。

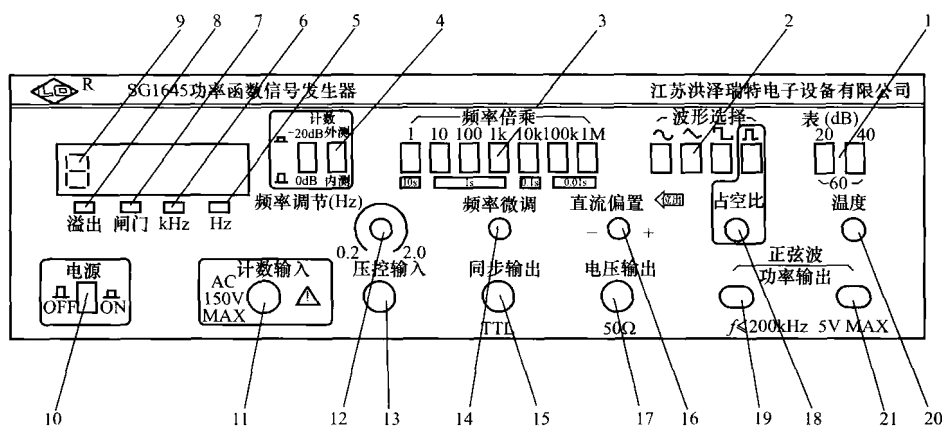


图 1-5 SG1645 型函数信号发生器面板示意图

表 1-2 SG1645 型函数信号发生器面板标志说明及功能表

序号	面板状态	作 用
1	衰减 dB	(1) 按下按钮可产生 -20dB 或 -40dB 衰减 (2) 两只按钮同时按下可产生 -60dB 衰减
2	波形选择	(1) 输出波形选择 (2) 波形选择脉冲波时，可与“10”配合使用以改变脉冲占空比
3	频率倍乘	(1) 频率倍乘开关与“12”、“14”配合选择工作频率 (2) 外测频率时选择闸门时间
4	计数	(1) 频率计内测和外测频率信号时（按下）选择 (2) 外测频率信号衰减选择，按下时信号衰减 -20dB
5	Hz	指示频率单位，灯亮有效

续表

序号	面板状态	作 用
6	kHz	指示频率单位，灯亮有效
7	闸门	此灯闪烁，说明频率计正在工作
8	溢出	当频率超过 6 个 LED 所显示范围时灯亮
9	LED 显示	数字 LED，所有内部产生频率或外测时的频率均由此 6 个 LED 显示
10	电源	按下开关，电源接通，频率计显示
11	计数输入	外测频率时，信号从此输入
12	频率调节	与“3”配合选择工作频率
13	压控输入	外接电压控制频率输入端
14	频率微调	与“12”配合微调工作频率
15	同步输出	输出波形为 TTL 脉冲，可作同步信号
16	直流偏置	拉出此按钮可设定波形电压输出的直流工作点，顺时针方向为正，逆时针方向为负；将此按钮推进则直流电位为零
17	电压输出	输出波形由此输出，阻抗为 50Ω
18	占空比	当“2”选择脉冲波时，改变此电位器可以改变脉冲的占空比
20	幅度	调节幅度电位器可以同时改变电压输出和正弦波功率输出幅度
19/21	正弦波功率输出	(1) 当波形选择为正弦波时，有正弦波输出 (2) 当选择其他波形时输出为零 (3) 当 $f \geq 200\text{kHz}$ 时，电路会保护而无输出

四、示波器

示波器是一种用途非常广泛的电子图示测量仪器，可以把电信号的变化作为一个时间函数描绘出来，主要用来观察各种周期性信号的波形，并可定量测试信号的幅度、频率（周期）、相位等参数。

示波器种类、型号很多，功能也不同。电路电子实验中使用较多的是 20MHz 或者 40MHz 的双踪示波器。这些示波器用法大同小异。本节只是从概念上介绍示波器在电路电子实验中的常用功能。

1. 荧光屏

荧光屏是示波管的显示部分。屏上水平方向和垂直方向各有多条刻度线，指示出信号波形的电压和时间之间的关系。水平方向指示时间，垂直方向指示电压。水平方向分为 10 格，垂直方向分为 8 格，每格又分为 5 份。垂直方向标有 0%、10%、90%、100% 等标志，水平方向标有 10%、90% 标志，供测直流电平、交流信号幅度、延迟时间等参数使用。根据被测信号在屏幕上占的格数乘以适当的比例常数（V/DIV，TIME/DIV）能得出电压值与时间值。

2. 示波管和电源系统

- (1) 电源（Power）：示波器主电源开关。当此开关按下时，电源指示灯亮，表示电源接通。
- (2) 辉度（Intensity）：旋转此旋钮能改变光点和扫描线的亮度。观察低频信号时可小些，高频信号时大些。一般不应太亮，以保护荧光屏。
- (3) 聚焦（Focus）：聚焦旋钮调节电子束截面大小，将扫描线聚焦成最清晰状态。

(4) 标尺亮度 (Illuminance): 此旋钮调节荧光屏后面的照明灯亮度。正常室内光线下, 照明灯暗一些好。室内光线不足的环境中, 可适当调亮照明灯。

3. 垂直偏转因数和水平偏转因数

(1) 垂直偏转因数选择 (VOLTS/DIV) 和微调。在单位输入信号作用下, 光点在屏幕上偏移的距离称为偏移灵敏度, 这一定义对 X 轴和 Y 轴都适用。灵敏度的倒数称为偏转因数。垂直灵敏度的单位是 cm/V 、 cm/mV 或者 DIV/mV 、 DIV/V , 垂直偏转因数的单位是 V/cm 、 mV/cm 或者 V/DIV 、 mV/DIV 。实际上因习惯用法和测量电压读数的方便, 有时也把偏转因数当灵敏度。

双踪示波器中每个通道各有一个垂直偏转因数选择波段开关。一般按 1、2、5 方式从 5mV/DIV 到 5V/DIV 分为 10 挡, 波段开关指示的值代表荧光屏上垂直方向一格的电压值。例如波段开关置于 1V/DIV 挡时, 如果屏幕上信号光点移动一格, 则代表输入信号电压变化 1V 。

每个波段开关上往往还有一个小旋钮, 用来微调每挡垂直偏转因数。将它沿顺时针方向旋转到底, 处于“校准”位置, 此时垂直偏转因数与波段开关所指示的值一致。逆时针旋转此旋钮, 能够微调垂直偏转因数。垂直偏转因数微调后, 会造成与波段开关的指示值不一致, 这点应引起注意。许多示波器具有垂直扩展功能, 当微调旋钮被拉出时, 垂直灵敏度扩大若干倍 (偏转因数缩小若干倍)。例如, 如果波段开关指示的偏转因数是 1V/DIV , 采用 $\times 5$ 扩展状态时, 垂直偏转因数是 0.2V/DIV 。

在做数字电路实验时, 在屏幕上被测信号的垂直移动距离与 $+5\text{V}$ 信号的垂直移动距离之比常被用于判断被测信号的电压值。

(2) 时基选择 (TIME/DIV) 和微调。时基选择和微调的使用方法与垂直偏转因数选择和微调类似。时基选择也通过一个波段开关实现, 按 1、2、5 方式把时基分为若干挡。波段开关的指示值代表光点在水平方向移动一个格的时间值。例如在 $1\mu\text{s/DIV}$ 挡, 光点在屏上移动一格代表时间值 $1\mu\text{s}$ 。

“微调”旋钮用于时基校准和微调。沿顺时针方向旋转到底处于校准位置时, 屏幕上显示的时基值与波段开关所示的标称值一致。逆时针旋转旋钮, 则对时基微调。旋钮拔出后处于扫描扩展状态。通常为 $\times 10$ 扩展, 即水平灵敏度扩大 10 倍, 时基缩小到 $1/10$ 。例如在 $2\mu\text{s/DIV}$ 挡, 扫描扩展状态下荧光屏上水平一格代表的时间值等于 $2\mu\text{s} \times (1/10) = 0.2\mu\text{s}$ 。

TDS 实验台上有 10MHz 、 1MHz 、 500kHz 、 100kHz 的时钟信号, 由石英晶体振荡器和分频器产生, 准确度很高, 可用来校准示波器的时基。

示波器的标准信号源 CAL, 专门用于校准示波器的时基和垂直偏转因数。例如 COS5041 型示波器标准信号源就提供一个 $V_{\text{p-p}} = 2\text{V}$, $f = 1\text{kHz}$ 的方波信号。

示波器前面板上的位移 (Position) 旋钮调节信号波形在荧光屏上的位置。旋转水平位移旋钮 (标有水平双向箭头) 左右移动信号波形, 旋转垂直位移旋钮 (标有垂直双向箭头) 上下移动信号波形。

4. 输入通道和输入耦合选择

(1) 输入通道选择。输入通道至少有通道 1 (CH1)、通道 2 (CH2)、双通道 (DUAL) 三种选择方式。选择通道 1 时, 示波器仅显示通道 1 的信号。选择通道 2 时, 示波器仅显示通道 2 的信号。选择双通道时, 示波器同时显示通道 1 信号和通道 2 信号。测试信号时, 首

先要将示波器的地与被测电路的地连接在一起。根据输入通道的选择，将示波器探头插到相应通道插座上，示波器探头上的地与被测电路的地连接在一起，示波器探头接触被测点。示波器探头上有一双位开关，此开关拨到“ $\times 1$ ”位置时，被测信号无衰减送到示波器，从荧光屏上读出的电压值是信号的实际电压值；此开关拨到“ $\times 10$ ”位置时，被测信号衰减为 $1/10$ ，然后送往示波器，从荧光屏上读出的电压值乘以 10 才是信号的实际电压值。

(2) 输入耦合方式。输入耦合方式有交流 (AC)、地 (GND)、直流 (DC) 三种选择。当选择“地”时，扫描线显示出“示波器地”在荧光屏上的位置。直流耦合用于测定信号直流绝对值和观测极低频信号。交流耦合用于观测交流和含有直流成分的交流信号。在电路电子实验中，一般选择“直流”方式，以便观测信号的绝对电压值。

五、SX2222 型视频毫伏表

SX2222 型视频毫伏表是一种适用于测量电压为 $100\mu\text{V}\sim 300\text{V}$ 、频率为 $10\text{Hz}\sim 12\text{MHz}$ 的正弦波有效值电压的精确测量仪器。

仪器共有 12 个量程，电平范围为 $-80\sim +52\text{dB}$ 。

仪器指示稳定，能迅速进入使用，并具有 1kHz 、 100mV 的精确校正源，能确保仪器的测量精度。仪器频带宽、灵敏度高、适用范围广。如该仪器对低频放大器、高频放大器、邮电通信设备、滤波器、载波电话、电声器具、传输系统等电压参数都能精确地测量。其主要技术参数见表 1-3。

表 1-3

SX2222 型视频毫伏表主要技术参数

测量电压范围	$100\mu\text{V}\sim 300\text{V}$ (12 挡量程)	输入阻抗	
	1、3、10、30、100、300mV	$1\sim 300\text{mV}$	输入电阻大于或等于 $8\text{M}\Omega$
	1、3、10、30、100、300V		输入电容小于或等于 40pF
测量电平范围	$-80\sim +52\text{dB}$	$1\text{V}\sim 300\text{V}$	输入电阻大于或等于 $8\text{M}\Omega$
测量电压的频率范围	$10\text{Hz}\sim 12\text{MHz}$		输入电容小于或等于 20pF
固有误差	基准条件下测量的误差	仪器的过载电压	$1\sim 300\text{mV}$ 各量程交流过载峰值电压为 100V ， $1\sim 300\text{V}$ 各量程交流过载峰值电压为 600V ；最大直流电压为 600V
电压误差	$\pm 2\%$ (1kHz)		
频响误差 (以 1kHz 为基准)	$(10\text{Hz}\sim 500\text{kHz})\pm 3\%$		
	$(500\text{kHz}\sim 4\text{MHz})\pm 5\%$	功率	4W
	$(4\sim 12\text{MHz})\pm 7\%$	电源	$220\text{V}\pm 10\%$ ， $50\text{Hz}\pm 4\%$
工作误差	$(10\text{Hz}\sim 500\text{kHz})\pm 5\%$	尺寸	240mm (宽) $\times 144\text{mm}$ (高) $\times 280\text{mm}$ (深)
	$(500\text{kHz}\sim 4\text{MHz})\pm 7\%$		
	$(4\sim 12\text{MHz})\pm 10\%$		

使用方法及注意事项如下：

(1) 机械调零。仪表接通电源前，先检查指针是否在零点，如果不在零点，应调节机械零调节螺钉，使指针位于零点。

(2) 正确选择量程。应按被测电压的大小合适地选择量程，使仪表指针偏转至满刻度的 $1/3$ 以上区域。如果事先不知道被测电压的大致数值，应先将量程开关置于最大量程，然后再逐步减小量程。

(3) 正确读数。读数要根据量程开关的位置，按对应的刻度线读数。

(4) 当仪表输入端开路时, 由于外界信号可能使指针偏转超量程而损坏表头, 测量完毕时, 应将量程开关置于最大量程。

六、数字电路实验箱

电平开关: 实验箱内有 15 个乒乓开关, 可以提供 0、1 电平。向上拨输出高电平, 向下拨输出低电平。

0、1 显示器: L0~L15 十五个 0、1 显示器可用来测试电路输出状态, 当输出为高电平时红灯亮, 当输出为低电平时绿灯亮。

数码管: 实验箱内共有数码管四个, 其对应的输入为 8421 码的数据线, 分别为 D、C、B、A, 数码管为共阴极, 对应的公共端接地, 用 D、C、B、A 进行编码, 得到从“0~9”的显示。

脉冲源: 实验箱内有单次脉冲源和连续脉冲源, 单次脉冲源输出端有正脉冲和负脉冲。当按下正脉冲相应按键时, 正脉冲输出由低变高; 当按下负脉冲相应按键时, 负脉冲输出由高变低。连续脉冲可通过波段开关大范围选择频率, 用电位器可以微调频率。

电源: 分别有 ± 5 、 ± 15 V 两组直流电源输出。

其他: 实验箱内还有蜂鸣器、逻辑笔等。

第三节 电参数测量基础

一、模拟电路测量基础

模拟电路参数的测试是电子技术实验的主要内容, 学习和掌握电子参数的测量方法是本课程的主要任务。

电子电路参数很多, 不同功能的电路有不同的特性参数, 其中有些参数是许多电路共有或是基本的参数, 如电路的放大倍数、输入阻抗、输出阻抗、幅频特性、功率、效率等。

1. 放大倍数的测试

放大倍数是模拟电路的最基本的参数, 它是电路输出量与输入量之比, 即

$$A_u = \frac{u_o}{u_i}$$

电路特性参数测试常用正弦信号。信号频率应选择在被测电路的通频带中, 信号的幅度应在输出信号波形不失真的条件下尽量选择大一些, 以便减小干扰信号的影响。在实验时, 可以比较灵活地选择测试信号, 而不必照搬指导书中的数据。

2. 幅度—频率特性测试

电路的幅度—频率特性和通频带是一项重要参数, 它反映电路对不同频率的响应特性。测试电路幅度—频率特性有点测法和扫频法两种常用的方法。这里给大家介绍点测法。

测试时, 保持输入信号幅度不变, 先选择一个中间频率 f_0 , 测量电路的输出信号幅度 u_o 。然后改变信号的频率, 测出每一频率时对应的输出信号幅度, 这样一点一点测下去, 直到输出信号幅度下降较明显为止。在 f_0 的上下两个方向都测量完毕, 最后在坐标纸上将这些测试点用曲线连接起来, 就可以描绘出电路的幅度—频率特性曲线, 如图 1-6 所示。这种方法能比较真实地描绘出电路的幅度—频率特性曲线, 但很麻烦。如果电路的特性较好, 幅度—频率特性曲线比较简单, 我们只需找出其中的三个特殊点, 就可以描绘出整个幅度—频率特性曲线, 这就是所谓的三点法。