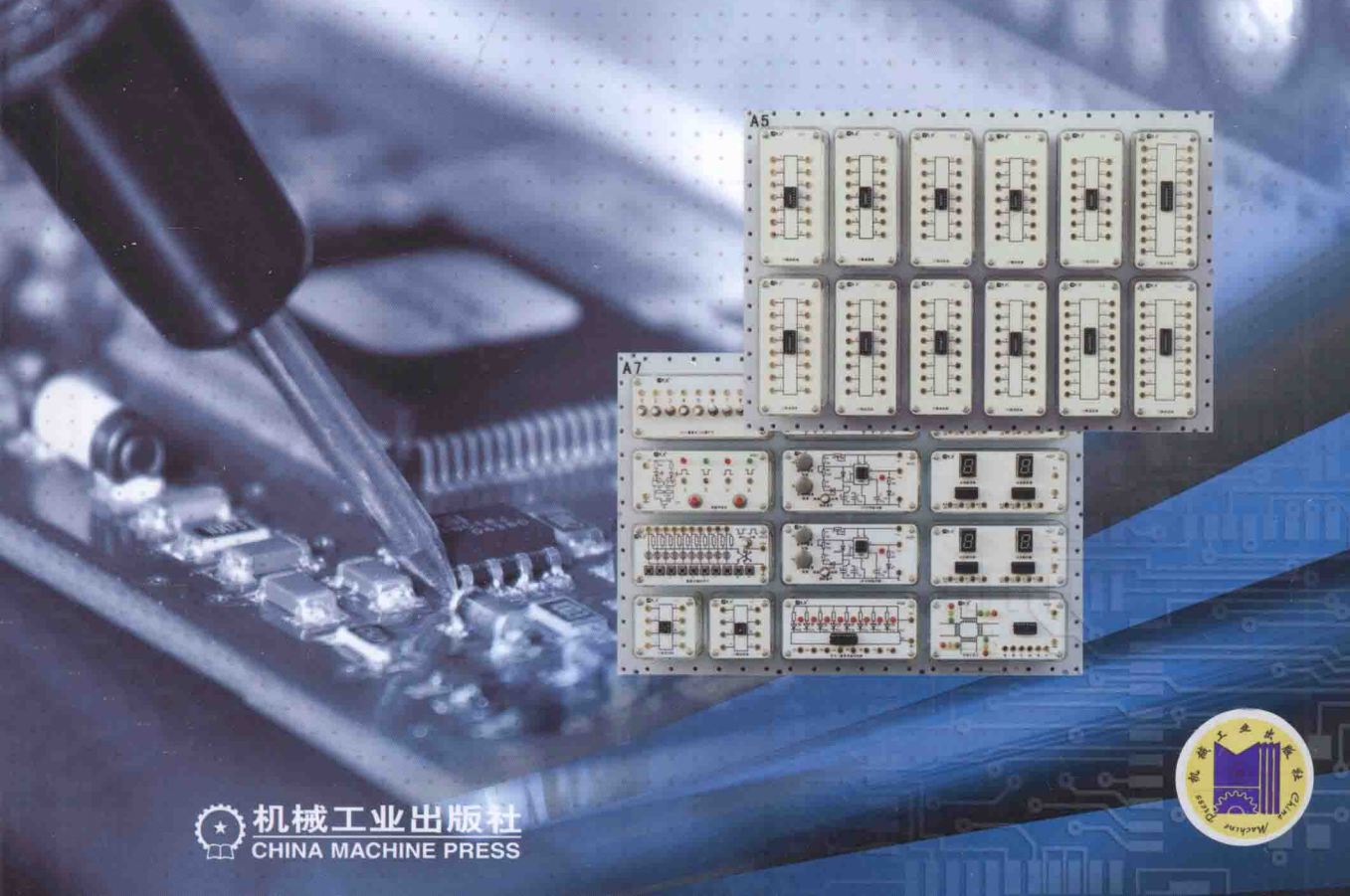


主编 郑发泰 翁正国

振荡电路 制作与调试

ZHENDANG DIANLU ZHIZUO YU TIAOSH



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



振荡电路制作与调试

主 编 郑发泰 翁正国

副主编 李方园 郑翔南



机 械 工 业 出 版 社

本书以培养电子行业的高技能应用型人才为宗旨,结合振荡电路的设计制作过程,采用项目化教学方法,将知识、技能、素质的训练融合于项目产品的设计制作过程,突出技能训练,满足职业岗位需求。整本书围绕振荡电路的设计制作与调试进行组织,通过项目化的教学,培养学生认知振荡电路常见元器件、正弦波振荡电路和非正弦波振荡电路。通过综合实验与实训,提高振荡电路制作与调试的基本技能。

本书适用于高职高专院校电子信息类专业的师生使用,也可供从事电子行业的工程技术人员参考。本教材配备有配套的电子课件、课程网站,可供教师在教学中使用,也可供学生复习或自学。

图书在版编目(CIP)数据

振荡电路制作与调试/郑发泰,翁正国主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-111-43037-7

I. ①振… II. ①郑…②翁… III. ①振荡电路—电路设计
IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 136299 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林春泉 责任编辑:任鑫

版式设计:常天培 责任校对:张媛

责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·8.75 印张·211 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-43037-7

定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

“振荡电路制作与调试”是高职高专和中等职业技术学校电子信息类专业的重要课程之一。通过本课程的学习与实践，可帮助学生掌握常用元器件的识读，认知振荡电路在制作与调试过程中常用仪器仪表的使用、注意事项和测量基础知识，掌握正弦振荡电路和非正弦振荡电路制作过程以及在调试过程中应注意的事项，为今后的学习和工作打下良好的基础。

本教材的内容是根据应用电子技术专业服务性专业建设工作任务与职业能力而设置的，振荡电路制作与调试是本专业课程体系中的工程技术型课程。本课程将以工作任务为逻辑主线来组织，将完成工作任务必需的相关理论知识构建于项目之中，学生在完成具体项目的过程中完成相应的工作任务，训练职业能力，掌握相应的理论知识。

本教材的参考教学时间为 48 学时。全书共分为五个项目，内容覆盖了元器件的认知与检验，常用仪器仪表的使用与测量基础知识，多种正弦振荡电路的结构、原理、电路分析和电路特点，多种非正弦振荡电路的结构、参数计算、分析方法、波形变换电路的结构和变换原理以及波形产生电路测试和调试的基本方法。

本书在编写过程中认真研究了现阶段学生的知识体系和能力内涵，正确认识应用型人才培养的知识与能力结构，注重培养学生掌握必备的基本理论、专业知识和实际工程的基本技能，把握理论以够用为度，知识、技能和方法以理解、掌握、初步运用为度的编写原则。

参加本书编写的老师有浙江工商职业技术学院的郑发泰、翁正国、李方园、张培忠、李翠凤，浙江康盛股份有限公司技术部的张夏仙，宁波永望电子有限公司技术部的俞坚，禾光科技有限公司的金彪。郑发泰负责本书的统稿工作。在编写过程中还得到了奥克兰理工大学（Auckland University of Technology）郑翔南的大力支持，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

作者

2013 年 3 月

目 录

前言

项目一 电路元器件的基础	1
项目导读	1
相关知识	2
知识一 电阻（位）器	2
一、电阻（位）器的类型及其主要参数	2
二、电阻（位）器的检测	6
知识二 电容器	7
一、电容的类型及其主要参数	7
二、电容器的主要特性	9
三、电容器的检测	11
知识三 电感器	13
一、电感的类型及其主要参数	13
二、电感器的主要特性	15
三、变压器的类型及其主要参数	16
四、变压器的主要特性	17
五、电感器和变压器的检测	19
知识四 半导体分立元器件	19
一、半导体分立器件的型号命名	19
二、半导体二极管的类型与参数	20
三、二极管的主要特性	21
四、二极管引脚的判别及检测	23
五、半导体晶体管的类型	23
六、半导体晶体管的特性	25
七、半导体晶体管的检测	27
八、场效应晶体管	27
知识五 半导体集成电路	29
一、集成电路的分类及引脚识别	29
二、模拟集成电路	31
三、数字集成电路	31
四、集成电路的检测	33
知识六 压电器件	33
知识七 表面安装元器件	35
一、表面安装元器件的分类与特性	35
二、片式无源器件与有源器件	36
任务与实施	37
思考题	38

项目二 常用仪器仪表与数据处理	39
项目导读	39
相关知识	40
知识一 电子仪器仪表的使用与维护	40
一、电子仪器仪表的选择与使用	40
二、电子仪器的日常维护	41
知识二 常用电源与信号源	41
一、直流稳压电源	41
二、低频信号发生器	42
三、高频信号发生器	43
四、函数信号发生器	45
知识三 万用表	47
一、磁电式万用表	47
二、数字万用表	48
三、毫伏表	48
知识四 示波器	49
知识五 晶体管特性图示仪	54
知识六 频率特性测试仪（扫频仪）	56
知识七 数据处理基础知识	58
一、测量误差	58
二、测量误差处理	59
三、数据处理与图形处理	60
任务与实施	61
思考题	62
项目三 正弦波振荡电路	63
项目导读	63
相关知识	64
知识一 正弦波振荡器电路基础	64
一、正弦波振荡器电路组成及各单元电	
路的作用	64
二、振荡器电路工作条件和种类	65
三、正弦波振荡器电路分析方法	65
知识二 自动电平控制电路	66
一、ALC 电路基础	66
二、集成 ALC 电路	67
知识三 RC 正弦波振荡器电路	68
一、RC 移相电路	68

二、RC 移相正弦波振荡器电路	70	振荡器	112
三、RC 选频正弦波振荡器电路	71	一、目标	112
知识四 变压器耦合正弦波振荡器电路	73	二、原理与说明	112
知识五 电感三点式正弦波振荡器电路	75	三、实验仪器与设备	113
知识六 电容三点式正弦波振荡器电路	76	四、实验内容和步骤	113
知识七 差动式正弦波振荡器电路	77	五、注意事项	113
知识八 双管推挽式振荡器电路	78	六、实验报告	113
任务与实施	79	七、思考题	113
思考题	81	任务三 石英晶体振荡器	113
项目四 非正弦波振荡电路	82	一、目标	113
项目导读	82	二、原理与说明	114
相关知识	83	三、实验仪器与设备	114
知识一 方波振荡电路	83	四、实验内容和步骤	115
一、自激多谐振荡电路	83	五、注意事项	115
二、由门电路构成的方波振荡电路	87	六、实验报告	115
三、由施密特反相器构成的方波振荡 电路	90	七、思考题	115
四、由运算放大器构成的方波振荡电 路	92	任务四 金属探测器的制作与调试	116
五、由 555 定时器构成的方波振荡电 路	93	一、目标	116
知识二 锯齿波振荡电路	96	二、原理与说明	116
一、锯齿波发生电路原理	96	三、实验仪器与设备	118
二、采用恒流充电的锯齿波振荡电路	97	四、实验内容和步骤	118
三、由运算放大器构成的锯齿波振荡 电路	99	五、注意事项	120
知识三 三角波振荡电路	100	六、实验报告	120
知识四 波形变换电路	102	七、思考题	120
一、三角波变锯齿波电路	102	任务五 信号发生器的制作与调试	120
二、三角波变正弦波电路	103	一、目标	120
任务与实施	104	二、原理与说明	121
思考题	106	三、实验仪器与设备	123
项目五 综合训练与提高	107	四、实验内容和步骤	123
项目导读	107	五、注意事项	125
任务一 555 定时器的应用	108	六、实验报告要求	125
一、目标	108	七、思考题	126
二、原理与说明	108	附录	127
三、实验仪器与设备	108	附录 A 电阻和电位器的型号命名法	127
四、实验内容和步骤	109	附录 B 电阻（位）器的标称值系列和 允许偏差等级	128
五、注意事项	111	附录 C 四色环和五色环电阻器的色标 含义	128
六、实验报告	111	附录 D 常用电位器阻值特性说明	129
七、思考题	111	附录 E 电容的型号命名方法	130
任务二 由集成运放器构成的 RC 正弦波		附录 F 半导体分立器件型号命名方法	131
		附录 G 国产半导体集成电路型号命名法	132
		参考文献	133

项目一 电路元器件的基础

项目导读

以电路为核心的电子产品为载体，通过教师讲授，训练学生拆卸、检测、筛选产品中的元器件，完成识别电路板上的各种电子元器件等项目；通过讲授元器件的参数标识方法和检测方法；让学生了解各种元器件的指标和特性；训练学生正确选择仪器仪表，完成检测各种电子元器件参数的项目，以达到认识常见振荡电路设计的元器件，判别元器件质量好坏的目的。

【知识要求】

- 熟悉常用电子元器件的外形和特征
- 熟悉常用电子元器件的参数和功能
- 熟悉常用电子元器件的命名与标注
- 熟悉 SMT 元器件的特点、种类和规格

【能力要求】

- 能够选择仪器仪表检测电子元器件的参数
- 能够检验电子元器件的外观质量
- 能够筛选电子元器件
- 能够熟练地应用常见元器件

相关知识

常用的振荡电路元器件有电阻器、电容器、电感器、半导体器件、表面安装元器件等。

知识一 电阻（位）器

电阻（位）器是在电子电路中用得最多的元器件之一，电阻器简称电阻。在电路中主要起分压、分流、负载（能量转换）等作用，也用于稳定、调节、控制电压或电流的大小。

电阻（位）器的文字符号用大写字母“R”表示。电阻的单位是欧姆（ Ω ），常用的单位还有千欧姆（ $k\Omega$ ）、兆欧姆（ $M\Omega$ ）。它们之间的换算关系是：

$$1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$$

一、电阻（位）器的类型及其主要参数

电阻（位）器从结构上可分为固定电阻器和可变电阻（位）器两大类，常见电阻（位）器的外形和电路图形符号如图 1-1 所示。

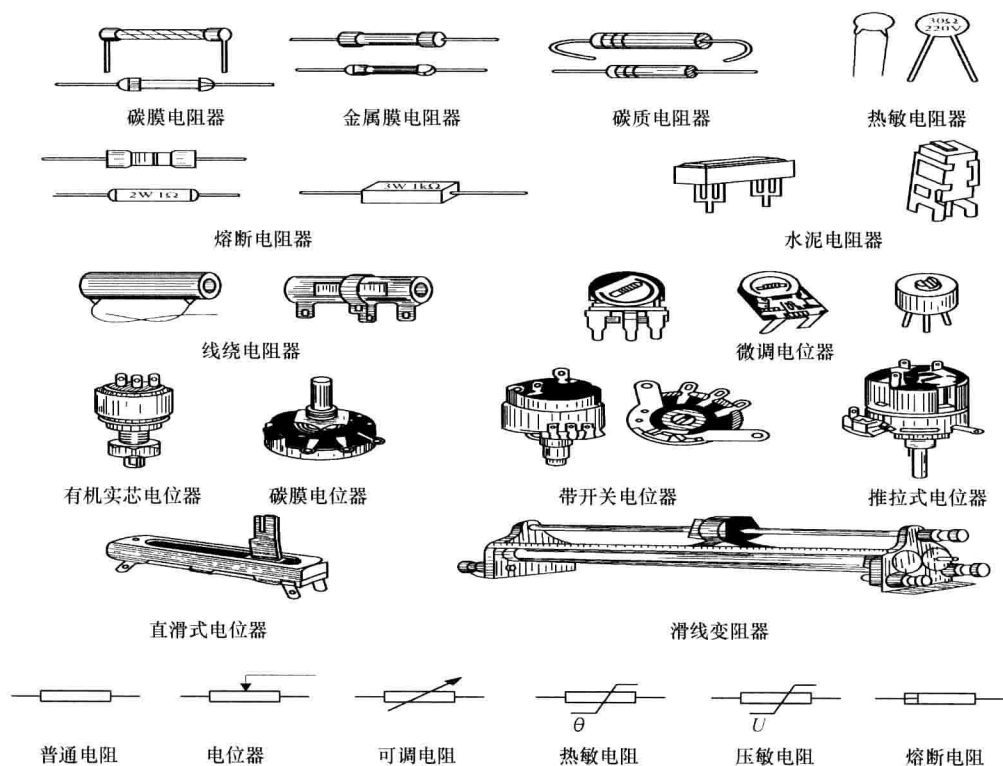


图 1-1 常见电阻（位）器的外形和电路图形符号

在振荡电路设计中，常用的有普通电阻器、可调电阻器和电位器。可调电阻器又称微调电阻器、可变电阻器，其阻值可以在一定的范围内任意改变，常用在电阻阻值要求可变动而

又不常变动的场合。电位器就是在可调电阻上再加一个开关，做成同轴联动形式，如收音机中的音量旋钮和电源开关等。

根据国家标准 GB/T 2470—1995 中的规定，电阻及电位器的型号由四部分组成，具体见附录 A。

1. 额定功率

在规定的温度和环境下，电阻器在电路中长时间连续正常工作时所允许消耗的最大功率，叫电阻器的额定功率。如果电阻器在超过额定功率工作时，温度会明显升高，电性能也会不稳定，严重的会烧毁。

对于不同类型的电阻器有不同的额定功率等级，表 1-1 列出了电阻（位）器的额定功率等级。不同额定功率的电阻器，在电路图中的标注有多种，有的是直接在电路图中标出该电阻器的功率数值（如 $\times W$ 或 $\times \times W$ ），有的则在图中用电路图符号来表示，如图 1-2 所示。

表 1-1 电阻（位）器的额定功率等级

种类	额定功率/W
线绕电阻	0.05、0.125、0.25、0.5、1、2、4、8、10、16、25、40、50、75、100、150、250、500
非线性绕电阻	0.05、0.125、0.25、0.5、1、2、5、10、25、50、100
线绕电位器	0.25、0.5、1、1.6、2、3、5、10、16、25、40、63、100
非线性绕电位器	0.025、0.05、0.1、0.25、0.5、1、2、3

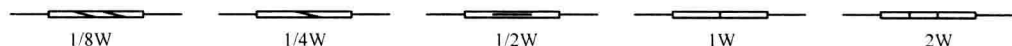


图 1-2 电阻器额定功率的符号表示

2. 标称阻值和允许偏差

电阻器上所标注的阻值称为标称值。电阻器的实际阻值 R 和标称值 R_R 之差除以标称值得到的百分数，为电阻器的允许误差 δ ，即

$$\delta = \frac{R - R_R}{R_R} \times 100\%$$

误差越小的电阻（位）器，其标称值规格越多。常用固定电阻器标称值的系列和允许误差等级如附录 B 所示。

电阻器上的标称值是按国家规定的阻值系列标注的，因此在选用时必须按阻值系列去选用，使用时将表中的数值乘以 $10^n \Omega$ （ n 为整数），就成为这一阻值系列。如附录 B 中的 E24 系列的 1.8 就代表有 1.8Ω 、 18Ω 、 180Ω 、 $1.8k\Omega$ 、 $180k\Omega$ 等电阻值。

3. 电阻器的标识

阻值和允许误差在电阻上常用的标识方法有 4 种。

(1) 直接标识法

将电阻器的阻值和误差等级直接用数字和文字符号标识在电阻器上。对小于 1000Ω 的阻值只标出数值，不标单位。准确度等级只标 I 级或 II 级，III 级不标注。直接标识法电阻器如图 1-3 所示。它的标称阻值是



图 1-3 电阻器直标法

1.5M Ω ，允许误差为 $\pm 10\%$ ，RT-5 表示是碳膜电阻，额定功率为5W。

(2) 文字符号法

将需要标识的主要参数与技术指标用文字和数字符号有规律的标识在电阻器上。欧姆用 Ω 表示、千欧用k表示、兆欧($10^6\Omega$)用M表示、吉欧($10^9\Omega$)用G表示、太欧($10^{12}\Omega$)用T表示。电阻值的整数部分写在阻值单位的前面，电阻值的小数部分写在阻值单位的后面，特定的字母表示电阻的允许误差，可参照附录B所示。

[例 1.1] 解释下列用文字符号法标注的电阻的含义：7R5J、3k3、R12。

解：7R5J 表示该电阻标称值为7.5 Ω ，允许偏差为 $\pm 5\%$ ；

3k3 表示该电阻标称值为3.3k Ω ，允许偏差为 $\pm 10\%$ ；

R12 表示该电阻标称值为0.12 Ω ，允许偏差为 $\pm 20\%$ 。

(3) 数码标注法

用三位阿拉伯数字标注在电阻器上，来表示电阻器的标称值的方法称为数码标注法。前2位代表电阻值的有效数；第3位数 n 表示倍乘 10^n （即有效值后0的个数），这里 n 取0~8，9是个特例，意思是 10^{-1} ，单位默认为 Ω ，电阻器的允许误差表示与文字符号法相同。

[例 1.2] 解释下列用数码标注法标注的电阻的含义：102J、756k、220、229。

解：102J 表示该电阻标称值为 $10 \times 10^2\Omega = 1k\Omega$ ，J 表示该电阻的允许偏差为 $\pm 5\%$ ；

756k 表示该电阻标称值为 $75 \times 10^6\Omega = 75M\Omega$ ，K 表示该电阻的允许偏差为 $\pm 10\%$ ；

220 表示该电阻标称值为 $22 \times 10^0\Omega = 22\Omega$ ，表示该电阻的允许偏差为 $\pm 20\%$ ；

229 表示该电阻标称值为 $22 \times 10^{-1}\Omega = 2.2\Omega$ ，表示该电阻的允许偏差为 $\pm 20\%$ 。

(4) 色环标识法

对体积很小的电阻和一些合成电阻（位）器，其阻值和误差常用色环来标识，如图1-4所示。色环标注法有4环和5环两种。4环电阻器的4道色环，第1道环和第2道环分别表示电阻器的第1位和第2位有效数字，第3道环表示10的乘方数（即 10^n ， n 为颜色所表示的数字），第4道环表示允许误差（若无第4道色环，则误差为 $\pm 20\%$ ）。色环电阻的单位一律为 Ω 。

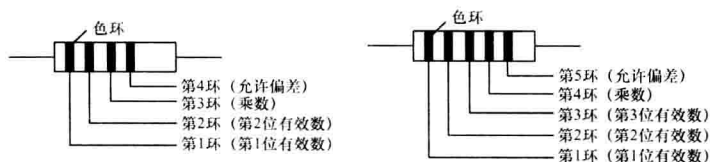


图 1-4 电阻器的色环标注法

现在普遍使用的是精密电阻，精密电阻一般用5道色环标识，它的前三道色环表示3位有效数字，第4道色环表示 10^n （ n 为颜色所代表的数字），第5道色环表示阻值的允许误差。4色环和5色环电阻器的色标含义如附录C所示。

采用色环标识的电阻（位）器，颜色醒目，标识清晰，不易褪色，从不同的角度都能看清阻值和允许偏差。目前，在国际上都广泛采用色标法。

4. 电位器的主要参数

电位器的主要参数除与电阻器相同之外还有如下参数。

(1) 额定功率

电位器的两个固定端上允许耗散的最大功率为电位器的额定功率。使用中应注意, 额定功率不等于中心抽头与固定端的功率。电位器的额定功率有 0.1W、0.25W、0.5W、1W、1.6W、2W、3W、5W、10W、16W、25W 等。

(2) 标称阻值

标在电位器上的阻值, 其系列与电阻器系列类似, 它等于电位器两个固定端之间的电阻值。

(3) 允许误差等级

根据不同准确度等级, 实际阻值与标称阻值可允许 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 的误差。精密电位器的准确度可达 $\pm 0.1\%$ 。

注意: 由于电阻体阻值分布的不均匀性和滑动触头接触电阻的存在, 电位器的滑动臂在电阻上移动时会产生噪声, 这种噪声对电子设备的工作将产生不良影响。

5. 电阻 (位) 器的主要特性

1) 电阻器对直流和交流电路的电阻特性相同。在直流或交流电路中电阻位器对电流起阻碍作用, 这大大方便了电阻电路的分析, 如图 1-5 所示。

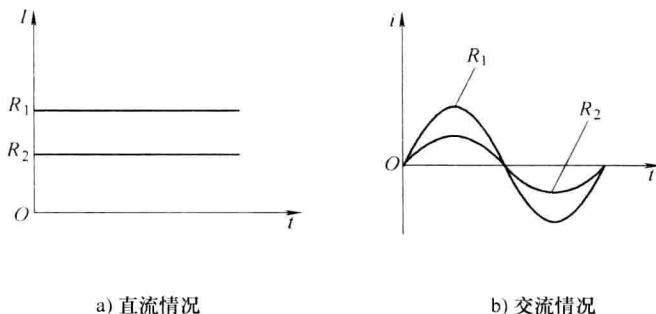


图 1-5 电位器对直流和交流作用示意图

当电阻器的阻值不同时, 流过电阻器的直流电流、交流电流也不同, 当阻值增大 ($R_2 > R_1$) 时, 流过电阻器的直流、交流电流都要减小。

2) 电阻器在不同频率下的电阻特性相同。在交流电路中, 同一只电阻器对不同频率信号所呈现的阻值相同, 不会因为交流电的频率不同而出现阻值的变化, 这是电阻器的一个重要特性。分析交流电路中电阻器的工作原理时, 可不必考虑交流电频率对电路工作的影响。

3) 电阻器对不同类型信号的电阻特性相同。不仅在正弦波的电路中阻值不变, 而且在脉冲信号、三角波信号处理和放大电路中阻值也不变。几种常用电位器阻值特性说明如附录 D 所示。

6. 电阻器基本工作原理

(1) 提供电压

如图 1-6 所示, 电阻 R_1 为 B 点提供直流电压。

电阻 R_1 在 A 点与 B 点之间构成了一个支路, 将 A 点的直流电压 $+V$ 加到了 B 点, 使 B 点也有直流电压。显然, 电阻 R_1 用来为电路中某点建立与直流电压 $+V$ 之间的联系。

如果电路中的某一点需要直流电压时,就可以在该点和直流电压 $+V$ 端之间接一只电阻。

(2) 提供电流回路

如图 1-7 所示,电阻 R_2 为电路提供一个电流回路。

电阻 R_2 连接在 VT_1 发射极与地线之间,电路中的 A 点与 B 点通过 R_2 接通,这样 VT_1 发射极输出的电流可以通过 R_2 流到地线,从而构成了一个电流回路。因此,如果电路中需要一个电流回路时,就可以接入一只电阻。

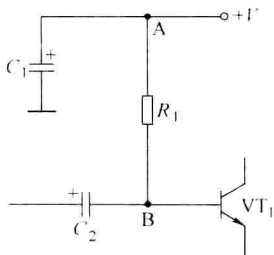


图 1-6 电压回路示意图

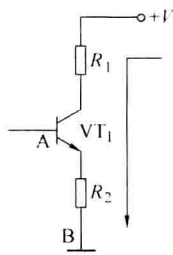


图 1-7 电流回路示意图

7. 阻值大小对电路的影响

在电路分析中,有时只是需要进行定性分析,即分析电路中有没有电压(或有没有电流),但是有时则需要进行定量分析,即有电压时这一电压有多大(或有电流时这一电流有多大)。

图 1-8 所示为电压、电流和电阻三者之间关系示意图。从图中可以看出,直流电压 $+V$ 等于 R_1 两端电压加上 VT_1 基极电压。直流电压 $+V$ 是不变的,当 R_1 的阻值大小发生变化时 R_1 两端的电压随之变化,从而 VT_1 基极电压大小也变化。基极电压为 $V_A = +V - I \times R_1$ 。

1) 如果电阻 R_1 阻值增大时, R_1 两端的电压会增大,导致 VT_1 基极电压下降。

2) 如果电阻 R_1 阻值减小时, R_1 两端的电压下降,导致 VT_1 基极电压增大。

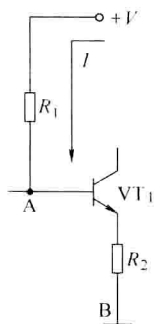


图 1-8 回路示意图

二、电阻(位)器的检测

1. 普通电阻的检测

当电阻的参数标识因某种原因脱落或欲知道其精确阻值时,就需要用仪器对电阻的阻值进行测量。对于常用的碳膜、金属膜电阻以及线绕电阻的阻值,可用普通数字万用表或指针式万用表的电阻挡直接测量。在具体测量时应注意以下两点:

(1) 合理选择量程

如果使用指针式万用表,应先将万用表功能选择置于“ Ω ”挡。由于指针式万用表的电阻挡刻度线是一条非均匀的刻度线,因此必须选择合适的量程,使被测电阻的指示值尽可能位于刻度线的 0 刻度到全程 $2/3$ 的这一段位置上,这样可提高测量的准确度。对于上百千欧的电阻(位)器,则应选用 $R \times 10k\Omega$ 挡来进行测量。

(2) 注意调零

所谓“调零”就是将万用表的两只表笔短接，调节“调零”旋钮使表针指向表盘上的“0Ω”位置上。

2. 电位器的检测

(1) 检测要求

电位器的总阻值要符合标识数值，电位器的中心滑动端与电阻体之间要接触良好，其动态噪声和静态噪声应尽量小，其开关应动作准确可靠。

(2) 检测方法

先测量电位器的总阻值，即两端片之间的阻值为标称值，然后再测量它的中心端与电阻体的接触情况。将一只表笔接电位器的中心焊接片，另一只表笔接其余两端片中的任意一个，慢慢将其转柄从一个极端位置旋转至另一个极端位置，其阻值应从零（或标称值）连续变化到标称值（或零）。

知识二 电 容 器

电容器简称电容。电容是一种能存储电能的元器件，由于充电需要时间，所以电容器上的电压不能突变。电容在电路中有通交流隔直流、通高频阻低频的作用。在电路中也常用作交流信号的耦合、交流旁路、电源滤波、谐振选频等。

电容的文字符号用大写字母“C”表示。电容的单位是法拉（F），常用的单位还有毫法（mF）、微法（μF）、纳法（nF）、皮法（pF）。它们之间的换算关系是：

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

一、电容的类型及其主要参数

电容按结构可分为固定电容和可变电容，可变电容中又有半可变（微调）电容和全可变电容之分。电容按材料介质可分为气体介质电容、纸介电容、有机薄膜电容、瓷介电容、云母电容、玻璃釉电容、电解电容、钽电容等。电容还可分为有极性电容和无极性电容。常见电容器外形和电路图形符号如图 1-9 所示。

根据国标 GB2470—1995 中的规定，电容的产品型号一般由 4 部分组成，分别代表名称、材料、分类和序号。电容器的型号命名方法如附录 E 所示。

1. 电容的主要参数

(1) 额定工作电压

额定工作电压是指电容器在规定的工作温度范围内，长期、可靠地工作所能承受的最大直流电压，也称为耐压。如果工作电压超过电容器的耐压，电容器将击穿，造成不可修复的永久损坏。耐压大小与电容器介质的种类和厚度有关。

(2) 标称电容量

电容两端加上一定的电压后而能储存电荷的能力称为电容器的电容量，它是电容器的一个主要指标。标称电容量也就是标注在电容器上的电容量，国产电容器的标称值系列规定与电阻器相同。

(3) 允许偏差

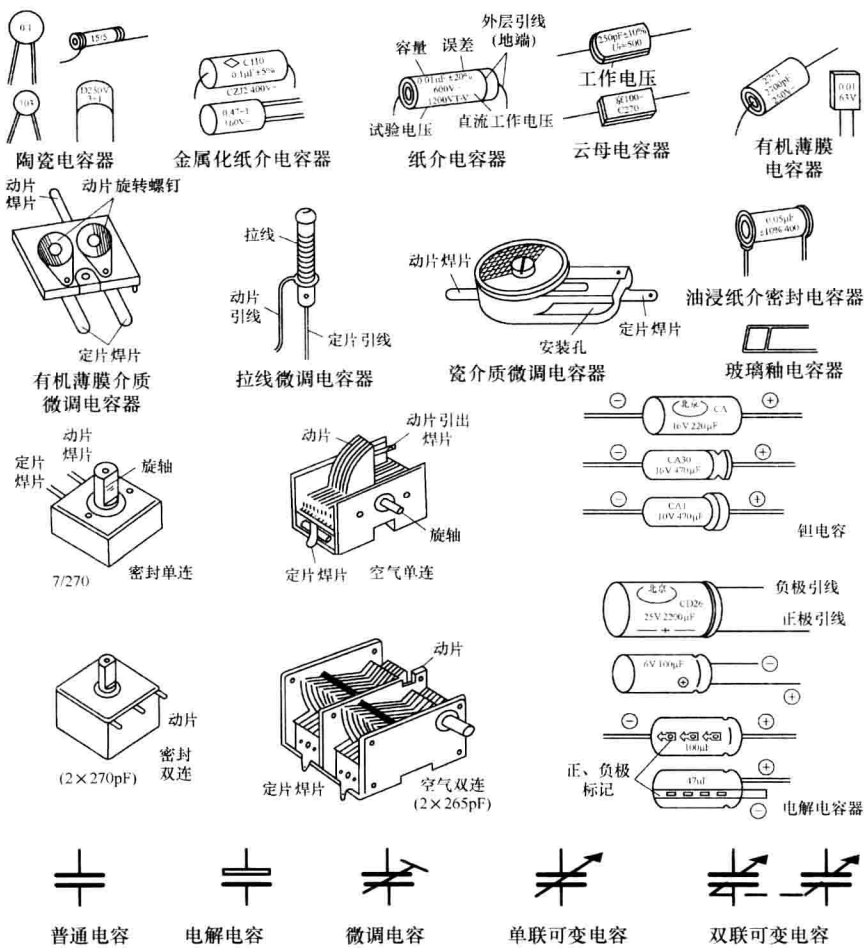


图 1-9 常用电容器图形符号

在允许的偏差范围内，电容器实际电容量 C 与标称电容量 C_R 的偏差称为允许偏差 δ ，允许偏差是实际电容器对于标称电容量的最大允许偏差范围，可由下式求得：

$$\delta = \frac{C - C_R}{C_R} \times 100\%$$

电容器的准确度等级见表 1-2。

表 1-2 电容器的准确度等级表

准确度等级	01	02	I	II	III	IV	V	VI
允许偏差	±1%	±2%	±5%	±10%	±20%	+20% ~ -10%	+50% ~ -20%	+50% ~ -30%

注：允许偏差的标识方法一般有如下几种：

- ① 将容量的允许偏差直接标识在电容器上。
- ② 用罗马数字 I、II、III 分别表示 ±5%、±10%、±20%。
- ③ 用英文字母表示偏差等级。用 J、K、M、N 分别表示 ±5%、±10%、±20%、±30%；用 D、F、G 分别表示 ±0.5%、±1%、±2%；用 P、S、Z 分别表示 ±(100~0)%、±(50~20)%、±(80~20)%。

2. 电容容量和偏差的标识方法

电容的容量和偏差的标识方法有如下几种。

(1) 直标法

在电容器的表面上直接标识出产品的主要参数和技术指标的方法。例如在电容上标识： $33\mu\text{F} \pm 5\%$ ， 32V 。

(2) 文字符号法

将需要标识的主要参数与技术性能用文字、数字符号有规律的组合标识在电容器的表面上。采用文字符号法时，将容量的整数部分写在容量单位标识符号前面，小数部分放在单位符号后面。

例如， 3.3pF 标识为 $3\text{p}3$ ， 1000pF 标识为 1n ， 6800pF 标识为 $6\text{n}8$ ， $2.2\mu\text{F}$ 标识为 $2\mu 2$ 。

(3) 数字表示法

体积较小的电容常用数字标识法。一般用 3 位整数，第 1 位、第 2 位为有效数字，第 3 位表示有效数字后面零的个数，单位为皮法（ pF ），但是当第 3 位数是 9 时表示 10^{-1} 。

例如，“243”表示容量为 24000pF ，而“339”表示容量为 $33 \times 10^{-1}\text{pF}$ (3.3pF)。

(4) 色标法

电容容量的色标法原则上与电阻（位）器类似，其单位为皮法（ pF ）。

二、电容器的主要特性

掌握电容器的主要特性对分析有电容器参与的电路工作原理十分重要。在电子元器件中，电容器的特性比较多，且比较复杂。

1. 隔直流通交流

电容器在直流电路中，由于直流电压方向不变，对电容器的充电方向始终不变，待电容器充满电荷之后，电路中便无电流的流动，所以电容器具有隔直流的作用。

图 1-10 所示为电容器隔直流通交流特性示意图。

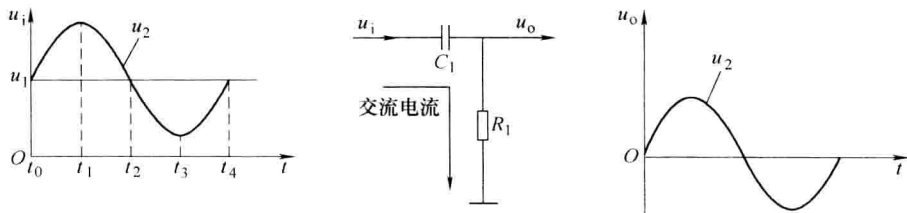


图 1-10 电容器隔直流通交流特性示意图

输入信号 u_i 是一个由直流电压 u_1 和交流电压 u_2 复合而成的信号， u_1 和 u_2 相加得到输入信号 u_i 波形。

直流电压 u_1 和交流电压 u_2 相加的理解过程可以分下列几个时刻（见图中输入信号 u_i 波形）。

t_0 时刻， u_i 等于 u_1 ， u_2 为 0， $u_1 + u_2 = u_1$ ， u_i 波形为 u_1 。

t_1 时刻， u_1 仍为 u_1 ， u_2 为正峰值， u_i 波形为 u_1 加上 u_2 （正峰值），此时 u_i 为最大值。

t_2 时刻，因为 u_2 为 0，所以 u_i 大小为 u_1 。

t_3 时刻, u_2 为负峰值, 所以此时 u_i 为 u_1 减去负峰值, u_i 为最小。

t_4 时刻, 两信号电压相加情况与 t_0 时刻相同。

输入信号 u_i 加到电路中, 有直流和交流两种情况。

1) 直流电压 u_1 加到电路中的分析。由于电容 C_1 的隔直作用, 直流电压不能通过 C_1 , 所以在输出端没有直流电压, 这是电容器的隔直特性在电路中的具体体现。

2) 交流电压 u_2 加到电路中的分析。由于电容 C_1 具有通交流作用, u_i 信号中的交流电压能够通过电容 C_1 和电阻 R_1 构成回路, 在回路中产生交流电流, 流过电阻 R_1 的交流信号电流在 R_1 两端的交流电压即为输出电压 u_o 。

所以, 输出信号 u_o 中只有输入信号 u_i 中的交流信号成分 u_2 , 没有直流成分 u_1 , 这样实现隔直通交电路功能。

2. 容抗计算

电容器让交流电通过时对交流电流存在着阻碍作用, 就同电阻阻碍电流一样, 所以在大多数的电路分析中, 可以将电容器在电路中的作用当成一个“特殊”电阻器来等效理解, 称为容抗。

在交流电的频率和电容器容量大小不同的情况下, 电容器对交流电的阻碍作用容抗也不同。

电容器的容抗用 X_C 表示, 容抗 X_C 的大小由下列公式计算而得:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

式中, 2π 为常数; f 为交流信号的频率, 单位为 Hz; C 为电容器的容量, 单位为 F。

3. 电容器储能特性

理论上讲电容器不消耗电能, 电容器中所充的电荷会储存在电容器中, 只要外部电路中不存在让电容器放电的条件 (放电电路), 电荷就一直储存在电容器中, 电容器的这种特性称为储能特性。

实际上电容器存在着各种能量损耗, 当然比起电阻器来它对电能的损耗要小得多。在电容电路的分析中, 通常不考虑电容器的耗能, 因为考虑耗能后电路分析变得很复杂。

4. 电容器两端电压计算

许多电容电路分析中需要用到电容器两端电压不能突变的特性, 这是分析电容电路工作原理时的一个重要特性, 也是一个难点。

电容器两端的电压 U 由下式决定:

$$U = \frac{Q}{C}$$

式中, Q 为电容器内部的电荷量; C 为电容器的容量。电容器内部没有电荷时, 电容器两端的电压为 0V, 电容器中电荷越多, 电容器两端的电压越大。电容器两端的电压与电容量成反比关系, 在同样的电荷量时, 容量越大, 电容器两端的电压越小, 大电容器两端的电压低于小电容器两端的电压。

5. 充放电过程中电容器两端电压不能突变的特性

图 1-11 所示是电容器两端电压不能突变特性示意图。 E_1 是直流电源, S_1 是开关, R_1 是电阻, C_1 是电容, 这是一个直流电源对电容 C_1 充电的电路。

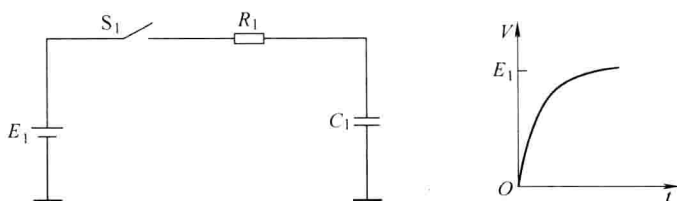


图 1-11 电容器两端电压不能突变特性示意图

1) S_1 未合上时, 电容器 C_1 中无电荷, 由上述公式可知, 因为 $Q=0$, 所以 $U=0V$, C_1 两端的电压为 $0V$ 。

2) S_1 接通瞬间, 开始对 C_1 充电, 对 C_1 的充电要有一个过程, 所以 S_1 合上瞬间 C_1 上仍然无电荷, C_1 两端的电压仍为 $0V$ 。由于在开关 S_1 合上后瞬间 C_1 中的电荷只能逐渐积累而不能突然增多, 所以 C_1 两端的电压也不能发生突变, C_1 电压仍然为 $0V$ 。

3) 假如原来 C_1 内部有电荷, 这时 C_1 原来就有电压, 在接通电源瞬间 C_1 两端的电压仍等于原先的电压, 即 C_1 两端的电压大小没有改变, 这也是由 C_1 两端的电压不能突变特性决定的。

当电容器开始放电的瞬间, 电容器两端的电压也不能发生突变, 其原理与充电情况一样, 因为电容器上的电荷在充电、放电时只能逐渐积累或释放, 它是一个渐变的过程, 所以电容器两端电压也只能是渐变而非突变。

6. 大容量电解电容器高频特性差

电解电容器是电容器中的一种, 它具有一般电容器的特性, 但由于电解电容器的结构, 这种电容器还有其他的一些特性。

电解电容器是一种低频电容器, 它主要工作在频率较低的电路中, 不宜工作在频率较高的电路中, 因为电解电容器的高频特性不好, 容量很大的电解电容器的高频特性更差。图 1-12 所示为大容量电解电容器的等效电路。

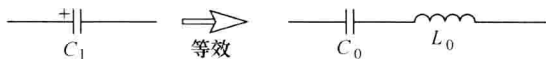


图 1-12 大容量电解电容器的等效电路

从理论上讲, 对电容器而言, 当容量一定后, 频率越高容抗越小, 电解电容器的容量大, 它的容抗应该很小, 但是从它的等效电路中可以看出, 一个容量比较大的电解电容器由一个容量等于 C_1 的纯电容 C_0 和一个电感 L_0 (等效电感) 串联而成。

在等效电路中, 大容量的电解电容器还有一个等效电感 L_0 的存在。当频率较高时, 电容 C_0 的容抗很小, 但是 L_0 的感抗较大 (频率越高、感抗越大), 结果大容量电容器高频时总的阻抗不是减小, 反而增大, 这说明大容量的电解电容器的高频特性差。

三、电容器的检测

电容器常出现的故障有极间短路、极间开路、漏电、容量变小及介质损耗增大等, 这里对电容器的检测主要是通过用指针式万用表对电容器进行简单测量, 判断电容器是否有开