

173

TN60
W33(2)

电子技术基础

(第二版)

王港元 方安安 张文泉 编著
陈 明 杨若波 薛 侠

四川大学出版社

责任编辑：周树琴

责任校对：贾朝辉

封面设计：罗 光

责任印制：李 平

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技能基础/王港元等编著. —2 版. —成都: 四川大学出版社, 2001.9

ISBN 7-5614-2213-X

I. 电... II. 王... III. 电子技术-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 065739 号

书 名 电子技能基础

作 者 王港元 等

出 版 四川大学出版社

地 址 成都一环路南一段 24 号 (610065)

印 刷 华西医科大学印刷厂

发 行 新华书店经销

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 24.25

字 数 650 千字

版 次 2001 年 9 月第 2 版

印 次 2002 年 6 月第 2 次印刷

印 数 5001—8000 册

定 价 37.50 元

版权所有◆侵权必究

◆读者邮购本书, 请与本社发行科联系。电话: 5412526/5414115/5412212 邮 编: 610064

◆本社图书如有印装质量问题, 请寄回印刷厂调换。

第二版前言

《电子技能基础》自 1999 年 4 月出版两年多来,受到广大读者的欢迎,尤其是不少高校引用其为本科生实践教学、为高等职业技术教育的电子技能培训教材,使我们感受到出版这本书的实用价值。随着电子科技的飞速发展,新技术的不断出现,为适应创新教育的形势,在本书第一版的基础上进行了修订。

本书第一版的突出特点是实用性强、通俗易懂,修订后的第二版仍然体现这些特点,且操作性好。除对原书的第 1 章至第 9 章有关内容进行了必要的修订与补充外,还将“微机自动布线设计软件的应用”一章的原文全部删去,改用新版本即“基于 WINDOWS 9X/WINDOWS NT 操作系统纯 32 位电路设计软件”;又根据读者要求,将“常用仪器仪表的正确使用”一章,重新编写,内容较第一版更为详细,让读者对常用电子测量仪器仪表,既知其能也知其所以能,并安排在第 1 章,便于读者为学习后续内容建立基本的测量基础。近年来,电子设计自动化技术(EDA)给电子技术带来了革命性变化,学会 EDA 的应用已成为电子技术工作者的必备条件,为此第二版增加了这一章内容。

本书由王港元教授担任主编,参加第二版编写工作的还有南昌大学方安安(第 12 章)、张文泉(第 14 章)、深圳职业技术师范学院陈明(协助王港元完成第 1 章的编写和第 2~11 章的修订工作)、南昌大学电子信息学院杨若波、薛侠等。

限于作者水平,书中错误难免,不当之处,请读者指正。

编者

2001 年 7 月 13 日

目 录

1 常用电子仪器仪表的使用方法	(1)
1.1 万用表	(1)
1.1.1 指针式万用表 (VOM) 的原理与使用方法	(1)
1.1.2 数字式万用表 (DMM) 的原理与使用方法	(8)
1.2 信号发生器	(12)
1.2.1 信号发生器的分类	(12)
1.2.2 信号发生器的基本构成	(14)
1.2.3 正弦波信号发生器	(14)
1.2.4 信号发生器的使用方法	(18)
1.3 示波器	(20)
1.3.1 示波器的分类	(20)
1.3.2 通用示波器的组成	(21)
1.3.3 示波器波形显示的基本原理	(25)
1.3.4 合理选用示波器	(27)
1.3.5 通用示波器的使用方法	(29)
1.4 电子计数器	(40)
1.4.1 计数器测量频率的原理	(40)
1.4.2 计数器测量周期的原理	(41)
1.4.3 计数器测量时间间隔的原理	(42)
1.4.4 测量中的注意事项	(43)
1.4.5 典型通用电子计数器的使用方法	(43)
2 电子元件及其识别	(48)
2.1 电阻器	(48)
2.1.1 电阻器的特性	(48)
2.1.2 电阻器与电位器的型号命名方法	(48)
2.1.3 电阻器的质量参数及选用知识	(49)
2.1.4 电阻器的串、并联及其作用	(52)
2.2 电位器	(53)
2.2.1 电位器的结构与特性	(53)
2.2.2 电位器的种类	(54)
2.3 特殊电阻器	(55)
2.3.1 水泥电阻器	(55)
2.3.2 熔断电阻器	(55)

2.3.3	保险丝及其代用	(56)
2.3.4	敏感型电阻器	(57)
2.4	电容器	(57)
2.4.1	电容器的特性	(58)
2.4.2	电容器的种类及其识别	(58)
2.4.3	电容器的规格与标志	(59)
2.4.4	电容器的质量参数	(63)
2.4.5	电容器的串、并联及其作用	(66)
2.4.6	用万用表检测电容器的方法	(67)
2.4.7	电容器的使用常识	(68)
2.5	电感器	(69)
2.5.1	电感线圈的种类、基本参数、绕制方法及其使用常识	(69)
2.5.2	变压器的种类、特性及其设计知识	(73)
2.5.3	电感器的型号命名方法	(81)
2.6	测量误差的概念及阻容件的测量	(82)
2.6.1	测量误差的概念	(82)
2.6.2	阻容件的识别与检测	(84)
习 题		(85)
3	晶体管及其检测	(86)
3.1	晶体二极管型号的命名方法	(86)
3.2	晶体二极管的一般结构及其基本特性	(87)
3.2.1	晶体二极管的结构	(87)
3.2.2	二极管的特性和主要参数	(87)
3.3	几种普通的二极管	(89)
3.3.1	整流二极管	(89)
3.3.2	检波二极管	(89)
3.3.3	开关二极管	(90)
3.3.4	IN 系列塑封(玻封)硅二极管	(91)
3.3.5	用万用表测试二极管	(92)
3.4	特殊用途的二极管	(94)
3.4.1	稳压二极管	(94)
3.4.2	变容二极管	(97)
3.4.3	发光二极管(LED)	(97)
3.4.4	红外发光二极管	(101)
3.4.5	高压硅堆	(103)
3.4.6	阻尼二极管	(104)
3.5	晶体三极管	(104)
3.5.1	晶体三极管的结构与种类	(104)
3.5.2	三极管的伏安特性	(104)
3.5.3	三极管的常用偏置电路	(106)

3.5.4	三极管的三种工作状态	(107)
3.5.5	放大电路的三种基本组态	(107)
3.5.6	三极管的主要技术参数	(109)
3.5.7	三极管的检测	(109)
3.6	达林顿管	(111)
3.6.1	达林顿管的结构特点	(111)
3.6.2	达林顿管的主要技术参数	(112)
3.7	常见进口三极管的识别	(112)
3.8	场效应管	(114)
3.8.1	场效应管的结构	(114)
3.8.2	场效应管的特点	(115)
3.8.3	场效应管的伏安特性及用途	(115)
3.8.4	用万用表测试场效应管	(115)
3.9	单向晶闸管	(117)
3.9.1	单向晶闸管的结构及等效电路	(117)
3.9.2	单向晶闸管的伏安特性	(117)
3.9.3	用万用表检测单向晶闸管	(118)
3.10	双向晶闸管	(119)
3.10.1	双向晶闸管的结构和伏安特性	(119)
3.10.2	用万用表检测双向晶闸管	(120)
3.11	双向触发二极管	(121)
3.11.1	双向触发二极管的结构及伏安特性	(121)
3.11.2	双向触发二极管的检测	(122)
3.12	单结晶体管	(122)
3.12.1	单结晶体管的结构	(122)
3.12.2	单结晶体管的伏安特性	(122)
3.12.3	单结晶体管的检测	(123)
3.13	晶体二极管、三极管的测试	(124)
习 题		(135)
4	印制板及其设计与制作	(137)
4.1	印制电路板的结构	(137)
4.2	印制电路板的排版设计	(137)
4.2.1	印制电路板上的干扰与抑制	(137)
4.2.2	印制电路板的排版格式	(142)
4.3	印制板图的绘制	(145)
4.3.1	整体布局与印制板结构的确定	(145)
4.3.2	单线不交叉图的绘制	(147)
4.3.3	排版草图的绘制	(151)
4.3.4	印制板的手工制作	(152)
4.4	印制电路与元件的焊接	(155)

4.5	制作自激多谐振荡器	(156)
4.6	自行设计印制板制作万能调节器	(157)
习 题		(158)
5	集成电路应用常识	(159)
5.1	集成电路的结构特点与分类	(159)
5.1.1	集成电路的结构特点	(159)
5.1.2	集成电路的分类	(160)
5.2	数字集成电路的特点与分类	(160)
5.2.1	数字集成电路的特点	(160)
5.2.2	数字集成电路的分类	(161)
5.3	模拟集成电路的特点与分类	(161)
5.3.1	模拟集成电路的特点	(161)
5.3.2	模拟集成电路的分类	(161)
5.4	集成电路引脚排列的识别	(165)
5.4.1	多引脚的金属圆壳封装 IC	(165)
5.4.2	金属圆壳封装 IC	(165)
5.4.3	塑封和环氧黑膏软封装 IC	(165)
5.4.4	扁平单列直插 IC	(166)
5.4.5	扁平双列型 IC	(166)
5.4.6	非普通排列引脚 IC	(166)
5.5	集成电路应用须知	(167)
5.5.1	CMOS IC 应用须知	(167)
5.5.2	TTL IC 电路应用须知	(167)
5.6	实际电路举例——555 时基集成电路	(168)
5.6.1	555 电路的结构特点	(168)
5.6.2	555 电路的逻辑关系	(169)
5.6.3	555 电路的主要参数	(169)
5.6.4	555 电路的应用	(170)
5.7	集成电路的检测	(172)
5.8	制作集成功率放大器	(172)
习 题		(173)
6	开关、继电器、接插件及其选用	(174)
6.1	常用开关	(174)
6.1.1	常用开关的种类	(174)
6.1.2	开关的主要参数	(176)
6.2	薄膜开关	(176)
6.2.1	薄膜开关的结构与性能	(176)
6.2.2	薄膜开关的特点	(177)
6.3	水银导电开关	(177)
6.4	电磁继电器	(178)

6.4.1	电磁继电器的结构	(178)
6.4.2	电磁继电器的测试	(178)
6.4.3	继电器的附加电路	(179)
6.5	固态继电器	(180)
6.5.1	固态继电器的结构	(180)
6.5.2	固态继电器的工作原理	(180)
6.5.3	固态继电器的参数	(181)
6.5.4	固态继电器的应用	(182)
6.6	接插件	(183)
6.6.1	两芯插头插座	(183)
6.6.2	印制电路板插座	(185)
6.7	制作电铃声响延时器	(185)
习 题		(187)
7	常用电声器件的种类及其结构特点	(188)
7.1	扬声器	(188)
7.1.1	扬声器的种类与结构	(188)
7.1.2	扬声器的主要参数	(189)
7.1.3	扬声器的简易检测	(190)
7.2	传声器	(190)
7.2.1	动圈式传声器	(190)
7.2.2	驻极体传声器	(191)
7.3	耳机和耳塞机	(193)
习 题		(193)
8	片状元器件简介	(194)
8.1	片状元器件的特点	(194)
8.2	片状元器件的种类	(194)
8.3	片状元器件的包装	(198)
8.4	片状元器件的印制板焊盘要求	(198)
8.5	片状元器件的贴焊	(199)
9	传感器及其应用	(200)
9.1	传感器的组成与分类	(200)
9.1.1	传感器的组成方框图	(200)
9.1.2	传感器的分类	(200)
9.2	负温度系数热敏电阻器 (NTC)	(201)
9.2.1	NTC 的特性及外形	(201)
9.2.2	NTC 的主要参数	(201)
9.2.3	用万用表检测 NTC	(202)
9.3	正温度系数热敏电阻器 (PTC)	(202)
9.3.1	PTC 的特性	(202)
9.3.2	PTC 的主要参数	(203)

9.3.3	用万用表检测 PTC	(203)
9.4	压敏电阻器 (VSR)	(203)
9.4.1	压敏电阻器的特点及主要参数	(204)
9.4.2	用万用表检测压敏电阻器	(204)
9.5	光敏电阻器	(205)
9.5.1	光敏电阻器的特性及外形	(205)
9.5.2	光敏电阻器的主要参数	(205)
9.6	光敏二极管	(205)
9.6.1	光敏二极管的特性及外形	(206)
9.6.2	光敏二极管的主要参数	(206)
9.6.3	用万用表检测光敏二极管	(206)
9.7	光敏三极管	(206)
9.7.1	光敏三极管的特性及外形	(206)
9.7.2	光敏三极管的主要参数	(207)
9.8	光耦合器	(207)
9.8.1	光耦合器的原理与结构	(208)
9.8.2	光耦合器的种类	(208)
9.8.3	光耦合器的主要参数	(209)
9.8.4	光耦合器的应用	(209)
9.9	热释电人体红外传感器	(212)
9.9.1	热释电人体红外传感器的结构与工作原理	(212)
9.9.2	热释电人体红外传感器的应用	(213)
9.9.3	集成电路 KC778B 及其应用	(214)
9.10	主动式红外线遥控器	(216)
9.10.1	发射电路	(216)
9.10.2	接收电路	(217)
9.10.3	一体化红外遥控接收头	(218)
9.11	气敏传感器	(218)
9.11.1	气敏传感器的结构与特性	(218)
9.11.2	气敏传感器的应用	(219)
9.12	石英晶体元件	(219)
9.12.1	石英晶体元件的结构	(219)
9.12.2	石英晶体元件的工作原理	(220)
9.12.3	石英晶体元件的主要特性	(220)
9.12.4	石英晶体元件的种类	(221)
9.12.5	石英晶体元件的型号	(221)
9.12.6	石英晶体元件的主要参数	(221)
9.13	陶瓷谐振元件	(222)
9.13.1	陶瓷谐振元件的结构和特性	(222)
9.13.2	陶瓷谐振元件的种类	(222)

9.13.3	陶瓷谐振元件的主要参数	(222)
9.14	声表面波滤波器	(223)
9.14.1	声表面波滤波器的工作原理	(223)
9.14.2	声表面波滤波器的等效电路	(223)
9.15	肖特基二极管 (SBD)	(224)
9.15.1	肖特基二极管的结构	(224)
9.15.2	肖特基二极管的伏安特性	(224)
9.16	制作声光控制照明灯开关	(225)
习 题		(226)
10	数码显示器及显示电路	(227)
10.1	LED 数码管与 LED 显示器	(227)
10.1.1	LED 数码管的结构	(227)
10.1.2	LED 数码显示器的分类	(228)
10.1.3	LED 数码管的性能特点	(229)
10.1.4	LED 数码管的管脚排列与测试	(229)
10.2	液晶显示器 (LCD)	(230)
10.2.1	液晶显示器的结构	(230)
10.2.2	液晶显示器的工作原理	(230)
10.3	LED 数码显示电路	(231)
10.3.1	LED 数码管的驱动方法	(231)
10.3.2	几种常用的 LED 数码显示电路	(232)
10.4	LCD 数码显示电路	(237)
10.4.1	LCD 数码管的驱动方法	(237)
10.4.2	LCD 数码显示电路	(237)
10.5	制作红外线遥控器	(239)
习 题		(241)
11	直流电源	(242)
11.1	AC/DC 电路	(242)
11.1.1	交流电源滤波器	(242)
11.1.2	交流电压变换电路和整流电路	(242)
11.1.3	稳压电路	(243)
11.2	三端集成稳压器	(244)
11.2.1	三端固定输出正稳压器	(244)
11.2.2	三端固定输出负稳压器	(245)
11.2.3	三端可调输出正稳压器	(245)
11.2.4	三端可调输出负稳压器	(245)
11.2.5	三端集成稳压器的应用	(245)
11.3	DC/DC 电路及开关稳压电源	(246)
11.3.1	降压式电路	(246)
11.3.2	升压式电路	(248)

11.3.3	电压反转式电路	(250)
11.3.4	高频变压器式开关电源	(252)
11.4	小型密封蓄电池	(253)
11.4.1	小型密封蓄电池的结构	(254)
11.4.2	小型密封蓄电池的性能特点	(254)
11.4.3	额定容量与额定电压	(255)
11.4.4	补充电	(255)
11.5	制作 PWR202A 型开关电源	(255)
习 题		(256)
12	微机自动布线设计软件的应用	(258)
12.1	PROTEL99 印刷电路板 CAD 概述	(258)
12.2	PROTEL99 软件的主要特性及安装	(258)
12.2.1	PROTEL99 软件的主要特性	(258)
12.2.2	PROTEL 软件包的安装	(259)
12.2.3	PROTEL99 软件的启动	(259)
12.2.4	PROTEL99 DESIGN EXPLORER 设计管理器部分功能	(259)
12.2.5	PROTEL99 文件管理	(262)
12.2.6	DESIGN TEAM 设计组管理	(264)
12.3	PROTEL99 原理图设计准备工作	(264)
12.3.1	电路原理图的一般设计步骤	(264)
12.3.2	PROTEL99 电路原理图常用的工具设置方法	(264)
12.3.3	PROTEL99 原理图的图纸大小设置	(264)
12.4	设计一个简单的电路原理图	(267)
12.4.1	设计的任务及要点	(267)
12.4.2	进入原理图设计界面应做的准备工作	(267)
12.4.3	开始设计原理图及放置电路元器件到图纸上	(271)
12.4.4	编辑及调整元器件和手工布线	(272)
12.5	PROTEL99 印制电路板 (PCB) 设计准备工作	(273)
12.5.1	印制电路板的一般设计步骤	(273)
12.5.2	PROTEL99 PCB 图常用的工具及放置方法	(274)
12.6	设计一个简单的 PCB 印制电路板图 (手工布线)	(279)
12.6.1	设计的任务及要点	(279)
12.6.2	进入 PCB 设计界面	(279)
12.6.3	装载元器件库到 PROTEL99 设计工作面上及完成手工布线工作	(282)
12.7	设计一个较复杂的 PCB 制电路板图 (自动布线)	(288)
12.7.1	进入 PCB 设计工作面完成较复杂的原理图设计及网络图的生成	(288)
12.7.2	定义普通电路板和选择 PROTEL99 自带的 PC 机插槽电路板	(294)
12.7.3	装载网络表文件完成自动布线功能	(294)
习 题		(302)
13	电子制作的设计、组装与调试	(303)

13.1	电子制作的设计	(303)
13.1.1	整机电路的设计	(303)
13.1.2	整机结构的设计	(305)
13.2	电子制作的组装	(306)
13.2.1	电子元器件的检验与筛选	(306)
13.2.2	电子产品的组装	(307)
13.3	电子制作的调试	(307)
13.3.1	调试准备	(308)
13.3.2	调试步骤	(308)
13.3.3	调试方法	(310)
13.4	调试举例	(313)
13.4.1	整机的工作原理	(313)
13.4.2	安装方法与静态调整	(314)
13.4.3	整机交流信号的调整	(317)
13.5	设计举例	(320)
13.5.1	明确产品设计的要求	(320)
13.5.2	方案的选择	(320)
13.5.3	单元电路的设计、参数计算和器件选择	(321)
13.5.4	整机电路图的绘制	(324)
习 题		(324)
14	可编程逻辑器件的运用	(325)
14.1	电子设计自动化 (EDA) 的概述	(325)
14.2	EDA 软件简介与安装	(326)
14.2.1	ispDesignEXPERT 的简介	(326)
14.2.2	ispDesignEXPERT 8.1 的安装方法	(327)
14.2.3	关于授权文件	(327)
14.3	高密度在系统可编程逻辑器件的结构	(327)
14.3.1	基本结构	(327)
14.3.2	通用逻辑块 (GLB) 结构	(328)
14.3.3	宏块结构	(330)
14.3.4	时钟分配网络	(331)
14.3.5	ispLSI016 的封装、使用及技术参数	(332)
14.4	ABEL-HDL 硬件描述语言	(333)
14.4.1	ABEL-HDL 语言元素	(334)
14.4.2	ABEL-HDL 语句和文件结构	(339)
14.5	ispDesignEXPERT System 的实例设计与操作	(347)
14.5.1	启动软件	(347)
14.5.2	原理图输入法	(349)
14.5.3	设计的仿真	(353)
14.5.4	ABEL 语言和原理图混合输入	(357)

14.5.5	在系统编程的操作方法	(362)
14.6	EDA 课题: 自动量程转换数字频率计	(364)
14.6.1	自动量程转换数字频率计所具有的功能	(364)
14.6.2	频率计测量原理	(364)
14.6.3	设计方案	(365)
14.6.4	层次化操作方法	(369)
14.6.5	软件的文件后缀及含义	(370)
习 题		(371)

1 常用电子仪器仪表的使用方法

测量是采用测量器具或仪器确定被测对象量值的实验过程，是人们认识自然界的主要工具。电子测量是利用电子技术为基本手段的一种测量技术，可以对各种物理量（包括非电量）进行精确测量，广泛地用于电子、物理、化学、光学、机械学、生物学、医学等科学领域与国防、生产及日常生活的各个方面。电子测量的主要工具是测量用仪器仪表，如万用表、信号发生器、示波器等，都是常用的测量仪器。

1.1 万用表

万用表是一种可以用于测量直流电流（DCA）、直流电压（DCV）、交流电压（ACV）、交流电流（ACA）、直流电阻（ Ω ）以及音频电平（dB）、晶体管共射级电流放大系数（ h_{FE} ）等多功能、多量程的仪表。万用表依据其对测量结果显示方式的不同，大体可分为“指针式万用表”和“数字式万用表”二类。前者或称为“模拟式万用表”、“伏欧表”（Volt-Ohm Meter 缩写 VOM）。

1.1.1 指针式万用表（VOM）的原理与使用方法

指针式万用表是一种磁电式仪表，是目前电子测量工作者最常用的手头工具，操作人员应掌握其工作原理，熟练运用技巧。

1. 基本结构与测量原理

下面以常用的 MF30 型袖珍式万用表为例，说明其测量原理。

(1) 表头部分

图 1.1 为 MF30 型万用表的电原理图，其中表头部分由 D_1 、 D_2 、 C 及可变电阻 R_{10} 组成。其中硅二极管 D_1 、 D_2 ，电容 C 及 0.5 A、0.8 Ω 的熔丝管 FU 组成表头双重过载保护电路。

微安表头满量程值（即满度电流） $I_g = 37.5 \mu A$ ，表头内阻 $R_g = 1750 \Omega$ ，加上调整用可变电阻 R_{10} 后，其表头部分等效内阻 $R'_g = 2 k\Omega$ ，所以其满度压降

$$U'_g = I_g \cdot R'_g = 37.5 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^3 = 0.075 V$$

(2) 直流电流测量电路

如图 1.2 所示，表头部分和分流电阻 $R_{1 \sim 9}$ 并联组成直流电流测量电路。

并联电路中各并联支路两端电压不变。根据欧姆定律，电阻大的并联支路中流过的电流小，而电阻小的并联支路中流过的电流则大，这就是人们常说的“反比分流”。

当转换开关 S_{1-1} 掷于“50 μA ”档位时，等效内阻与 $R'_g = 20 k\Omega$ 与 $R_{1 \sim 9} = 6 k\Omega$ 并联。按“反比分流”的道理，被测直流电流中的大部分将会流过表头，指针将会随被测直流的微小变化而灵敏偏转。若在内部稍加调整，即可使万用表在被测直流电流为 50 μA 时，表头达到满度偏

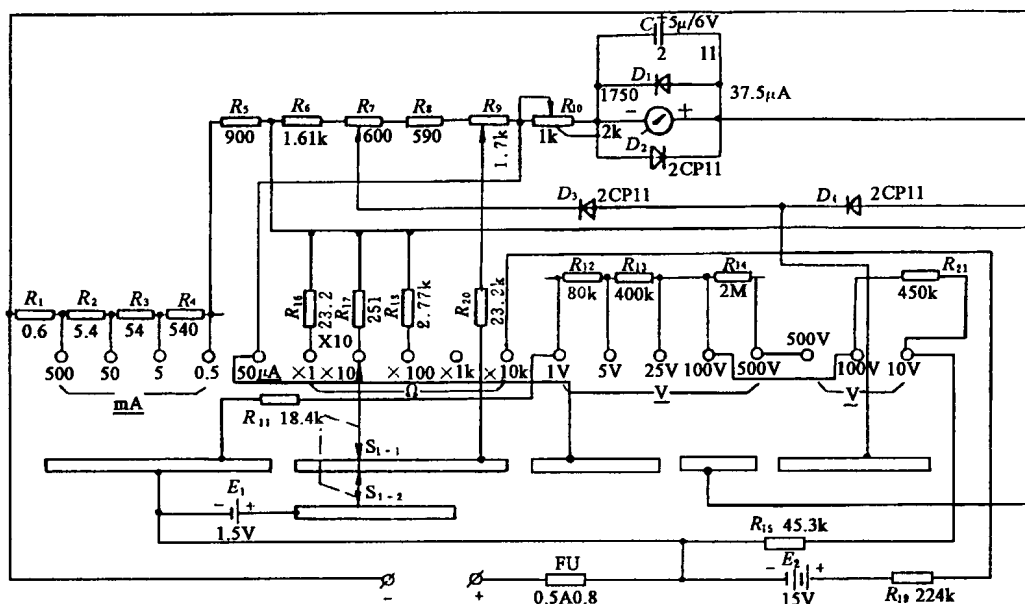


图 1.1 MF30 型万用表的电路图

转。

当转换开关 S_{1-1} 掷于“500 mA”档位时，分流电阻 $R_1 = 0.6 \Omega$ 与 $R'_g + R_{2-9} = 2 + 5.9994 \approx 8 \text{ k}\Omega$ 并联，尽管此时万用表所测直流电流已达几百毫安之大，但是实际上绝大部分的电流会从 R_1 上流过而进入表头的电流微乎其微，所以表头是安全的。内部稍加调整就可使万用表所测直流电流为 500 mA 时，表头达到满度偏转。同此道理，适当设计 R_{1-9} 的阻值大小，该万用表就可能有 500 mA，50 mA，5 mA，0.5 mA 及 $50 \mu\text{A}$ 5 个测量直流电流的档位。

值得指出的是，分流电阻与表头部分电路并联，其等效电阻将会变小。并小于其中任一并联支路电阻。由于，测直流电流时必须将万用表串接于被测电路中，表的内阻愈小测量误差就愈小。对于同一块万用表而言，电流量程愈大，表的内阻就愈小（例如，500 mA 档时，内阻必小于 0.6Ω ），测量误差愈小。电流量程不一时，表的内阻亦不同，测量误差也不同。

(3) 直流电压测量电路

测量直流电压时，万用表必须与被测电路并联。所以，其等效内阻愈大，对被测电路分流愈少，测量精度就愈高。因此，表头电路与分压电阻串联则构成基本的直流电压测量电路。

如图 1.3 所示，表头电路是上述表头部分与分流电阻 R_{1-9} 并联组成的 $50 \mu\text{A}$ 电流表 (M) 或者是上述表头部分、 R_{6-9} 分流电阻与 R_{1-5} 并联组成的 $200 \mu\text{A}$ 电流表 (N)。它们分别与分压电阻 $R_{11} \sim R_{14}$ 适当串联，即可组成 5 个直流电压的档位 1 V，5 V，25 V，100 V 和 500 V。

1 V，5 V，25 V 档都是在 $50 \mu\text{A}$ 电流表基础上设计的。所以量程愈大，表内所串分压电阻阻值愈大（例如，25 V 档表内所串分压电阻为 $R_{11} + R_{12} + R_{13} = 18.4 + 80 + 400 = 498.4 \text{ k}\Omega$ ）。

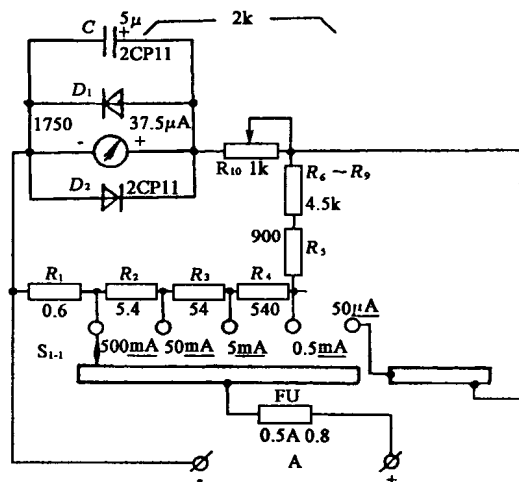


图 1.2 表头部分及直流电流测量电路

上述三档的电压灵敏度为

$$S_v = \frac{1}{I_g} = \frac{1}{50 \times 10^{-6}} = 20 \text{ k}\Omega\text{N}$$

而 100 V, 500 V 档都是在 200 μ A 电流表基础上设计的。由于被测直流电压更高, 当然所串分压电阻阻值更大 (例如 500 V 档所串电阻 $R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14} = 2.4984 \text{ M}\Omega$)。值得注意的是上述二档的电压灵敏度却降至: $S_v = \frac{1}{I_g''} = \frac{1}{200 \times 10^{-6}} = 5 \text{ k}\Omega/\text{V}$

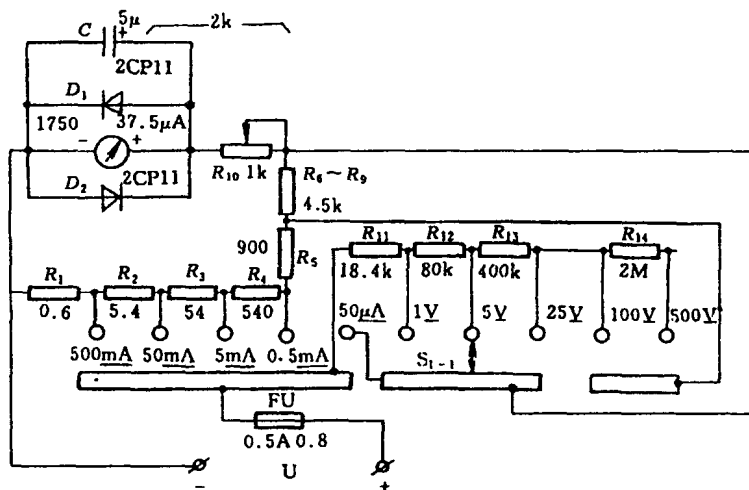


图 1.3 直流电压测量电路

(4) 交流电压测量电路

交流电压测量电路如图 1.4 所示,分有三个量程 100 V, 500 V, 10 V。可从以下三点去简要分析其测量原理。

一是可将 C, D_1, D_2 , 表头, 可变电阻 R_{10} 和 $R_{1\sim 6}, R_7, R_{8\sim 9}$ 视为一个 $200\ \mu A$ (有效值) 的电流表。

二是图中转换开关掷于 100 V 档时, $R_{11\sim 13}$ 与 R_{21} 、 R_{15} 并联。并联电阻阻值很大并与表头部分电路串联, 使得交流电压表对被测电路表现出较大的内阻, 以减少测量误差。

三是被测对象交流电压的极性是交变的。假定上半周时, 极性是左 $\ominus$ 右 $\oplus$, 经硅整流二极管 D_3 整流后流经表头使之偏转。下半周时, 电压极性反向为左 $+$ 右 $-$, 电流会流过 D_4 而回到输入端。由此可见, 使表头发生偏转的是半波整流的结果。实际上, 起整流作用的元件是 D_3 , 而 D_4 仅起保护 D_3 和为反向电压提供通路的作用。

(5) 直流电阻测量电路

图 1.5 所示直流电阻测量电路中, 量程共分 5 档; $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1k$ 及 $R \times 10k$ 。其中 $R \times 1k$ 档为基准档, 其他各电阻档均可以此档为基础并联分流电阻得到所需欧姆中心值。当转换开关掷于 $R \times 1k$ 档时, 工作电源 E_1 是内阻 $r_1 = 0.6 \Omega$ 、电压为 $1.5 V$ 的干电池 ($R \times 10k$ 档, 工作电源 E_2 是内阻 $r_2 = 1 k\Omega$ 、电压为 $15 V$ 的层叠电池)。

表头部分电路是基本误差 γ_m 为 $\pm 2.5\%$ 的 $I'_g = 50 \mu\text{A}$ 电流表 (各电阻档均同此)。为保证电池电压降至 $E_{1(\min)} = 1.25 \text{ V}$ 时, 电流表仍能满度偏转, 故中值电阻应为

$$R_0 = \frac{E_{1(\min)}}{I'_g} = \frac{1.25}{50 \times 10^{-6}} = 25 \text{ k}\Omega$$

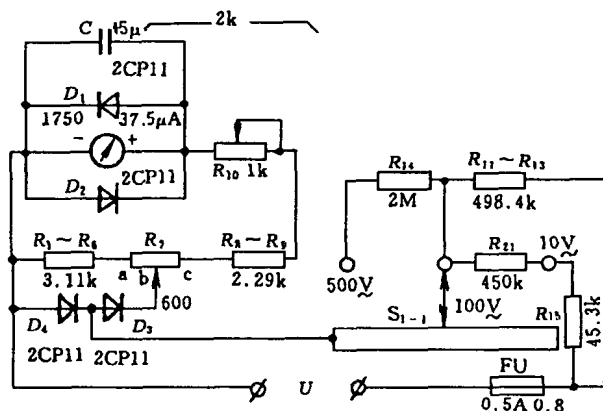


图 1.4 交流电压测量电路

图中, $R_9 = 1.7 \text{ k}\Omega$ 是欧姆调零电位器。当电池变化时, 调节 R_9 可使电流表满度偏转, 使得产生的基本误差亦在容许范围之内。注意, 每次测量直流电阻之前应短接两只表笔, 调节 R_9 使电流表满度偏转 (欧姆调零)。即便是同一块表, 只要转换其他电阻档就要“先调零, 后测量。”

在使用指针式万用表时, 应牢记如图 1.5 所示电路。对被测电路而言, 测量直流电阻时的万用表可以被看成具有一定内阻的直流电源——“红表笔⊕是电源负极, 黑表笔⊖是电源正极”。

2. 合理选用万用表的几点原则

(1) 测量准确度要高

我国制定的国家标准“电测量指示仪表通用技术条件”(GB776-76) 中规定, 仪表的准确度共分七个等级: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。准确度等级表明了仪表基本误差的大小, 愈小愈好。例如, 2.5 级准确度即表示基本误差为 $\pm 2.5\%$, 比 5.0 级好。

值得指出的是, 基本误差 γ_m 对于直流和交流的电压、电流档而言, 是以其线性分度刻度尺的满量程 (U_m 或 I_m) 的百分数表示的。故将基本误差折合为绝对误差 Δ 时只需 $\Delta = \gamma_m \cdot U_m$ 即可。基本误差 γ_m 对于电阻档而言, 因其刻度呈非线性是以刻度尺总弧长的百分数表示的。而且只对于欧姆刻度尺的中心位置 (即欧姆中心) 适用, 其余部分的误差均高出此值。

(2) 电压灵敏度要高

表头灵敏度与电压灵敏度是需要注意区分的两个概念。表头灵敏度是指万用表所用直流表头的满量程值 (即满度电流) I_g , 愈小则表示灵敏度愈高。 I_g 一般为 $9.2 \sim 200 \mu\text{A}$ 。例如, 500 型万用表选用的是 $30 \sim 100 \mu\text{A}$ 中灵敏度的表头。

电压灵敏度分直流电压灵敏度与交流电压灵敏度。是指测电压时每伏电压所对应的电表输入阻抗, 万用表刻度盘上所标符号 “ $\text{k}\Omega/\text{V}$ ” 是表明直流电压灵敏度 (即万用表直流电压档内阻 R_V 与满量程 V_m 之比值) 的单位。比值愈大则表示电压灵敏度愈高, 测量电压时的测量误差就

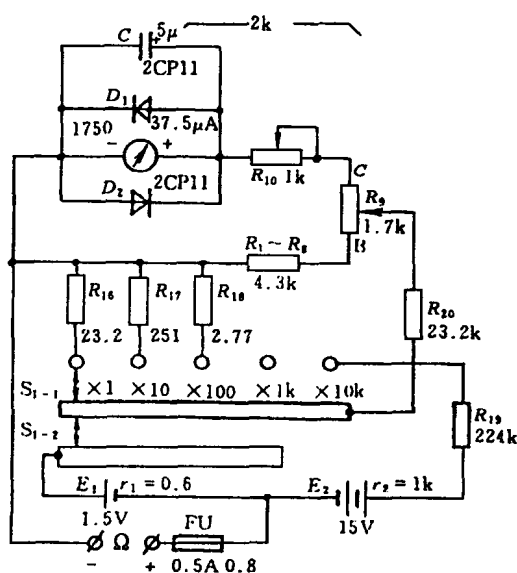


图 1.5 直流电阻测量电路