



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

杨君玲 主编
刘兴华 张锐 副主编

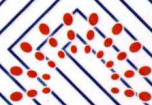
电工电子技术 实践教程

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Practice Tutorial of Electrical
and Electronic Technology



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



高校系列



工业和信息化普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

杨君玲 主编
刘兴华 张锐 副主编

电工电子技术 实践教程

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

人民邮电出版社
北京



图书在版编目 (C I P) 数据

电工电子技术实践教程 / 杨君玲主编. — 北京 :
人民邮电出版社, 2011.9
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-25610-2

I. ①电… II. ①杨… III. ①电工技术—高等学校—
教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第139088号

内 容 提 要

“电工电子技术实践教程”是高等院校电类专业电工电子技术实践专用教材。本书共3篇11章, 主要包括电工基础实习, 电子技术课程设计和现代电子技术设计指导等。该书本着模块化、网络化这一新的教学理论体系, 旨在提高学生的实践动手能力, 以技能训练为主线精心编写而成。本书适用于应用型本科教学, 也可作为从事电工电子工程设计技术人员的参考用书。

21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材

电工电子技术实践教程

-
- ◆ 主 编 杨君玲
副 主 编 刘兴华 张 锐
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
中国铁道出版社印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.5 2011 年 9 月第 1 版
字数: 351 千字 2011 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-25610-2

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

“电工电子技术实践”是高等工科院校实践性很强的专业技术基础课程。为了培养高素质的专业人才，在理论教学的同时，我们必须重视和加强实践教学环节。在实践教学过程中既能进一步提高学生的理论水平，又能锻炼学生的实际动手能力，以及独立分析和解决问题的能力，将理论与实践有机地结合起来，展现学生创新的一面既是高等工科院校着力探索与改革的重大课题，也是编写此实践教程的意义所在。

本书共 3 篇 11 章。第 1 篇共 3 章，是电工基础实习篇。第 1 章介绍电工实训目的，内容要求和电工基础知识。第 2 章为电工电子常用仪器仪表简介。第 3 章详细介绍 3 个实训项目。第 2 篇共 6 章，是电子技术课程设计篇。第 4 章是介绍电子技术课程设计的目的、任务和要求以及课程设计与习题基础实验和毕业设计的区别等。第 5 章和第 7 章详细介绍了模拟电子技术和数字电子技术课程设计的一般方法，并给出了具体的实例。第 6 章和第 8 章是模拟电子技术和数字电子课程设计参考选题，可供学生在课程设计的时候进行选择。第 9 章是电子技术综合设计的相关设计方法和实例。第 3 篇共 2 章，为现代电子线路设计技术指导篇，主要介绍电子设计中用到的相关设计软件。第 10 章主要介绍电子设计软件 Multisim，第 11 章是印制电路板的设计与制作内容。

为适应应用型人才培养目标的要求，我们在编写本书的过程中本着模块化、网络化这一新的教学理论体系，旨在提高学生的实践动手能力，以技能训练为主线。注重精选内容，力求做到选材适当、内容务实新颖，在理论方面以“必需、够用”为度，在原理和概念的阐述上，力求准确详尽，便于理解，适于自学。本教程适用于应用型本科教学，也可作为从事电工电子工程设计技术人员的参考用书。

本书由杨君玲任主编，刘兴华和张锐任副主编。杨君玲负责全书的统稿以及第 2 篇、第 3 篇和附录的修改和整理工作，并编写了第 4 章、第 7 章和第 9.1 节的编写；刘兴华负责本书的校对工作以及第 1 篇的修改、整理，并编写了 3.3 节；参加本书编写的其他人员分工如下：聂玲编写第 1 章；李翠英编写第 2 章；周红军编写 3.1 节；张锐编写 3.2 节和附录，吴明芳编写第 5 章和第 6 章；朱红军和刘玉成编写第 8 章；张焕国编写 9.2 节；许弟建编写第 10 章；吴云君编写第 11 章。

全书由苑尚尊主审并提出了宝贵的意见和建议，同时还得到任国燕和电气与信息工程实验教学中心其他老师的大力支持和帮助，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 5 月

目 录

第1篇 电工基础实习

第1章 电工实习基础知识.....3

1.1 概述.....3

1.1.1 实习目的.....3

1.1.2 实习内容和要求.....3

1.1.3 实习总结报告.....3

1.2 电工电子测量的基本知识.....4

1.2.1 测量误差的计算.....4

1.2.2 测量结果的数据处理.....6

1.2.3 电子线路调整测试的一般 方法及故障排除.....6

1.3 用电安全.....7

1.3.1 电流对人体的作用和伤害.....7

1.3.2 触电方式.....8

1.3.3 接地和接零.....9

1.3.4 安全用电小结.....9

1.3.5 实验室安全用电规则.....9

第2章 常用测量仪器的使用10

2.1 万用表.....10

2.1.1 指针式万用表.....10

2.1.2 数字式万用表.....12

2.2 交流毫伏表.....13

2.2.1 数字交流毫伏表.....13

2.2.2 指针式交流毫伏表.....14

2.3 功率表.....15

2.4 兆欧表.....16

2.4.1 指针式兆欧表.....16

2.4.2 数字式兆欧表.....18

2.5 钳型表.....21

2.5.1 指针式钳型表.....21

2.5.2 电子式钳型电流表.....22

2.6 直流稳压电源.....27

2.6.1 TKDG 实验装置中的低压 直流稳压、恒流电源.....27

2.6.2 TKDZ 实验装置中“数电” “模电”实验组件中的电源.....28

2.7 示波器.....28

2.7.1 DS5000 数字存储示波器 前面板和显示界面.....29

2.7.2 DS5000 数字存储示波器 前面板的常用操作及功能.....30

2.7.3 系统提示信息说明.....34

2.7.4 故障处理.....34

2.8 函数信号发生器.....35

2.8.1 前面板的示意图及其功能.....35

2.8.2 常用功能键的功能及其 操作方法.....36

2.8.3 技术指标.....37

第3章 电工实训项目39

3.1 照明电路的设计与安装.....39

3.1.1 照明电路的设计.....39

3.1.2 照明电路及单相 电度表的安装.....55

3.2 电动机原理与拆装.....61

3.2.1 电动机原理.....61

3.2.2 电动机拆装、接线、使用.....66

3.3 万用表原理与安装.....71

3.3.1 指针式万用表的工作原理.....73

3.3.2 MF47 型万用表的安装.....77

3.3.3 常见故障的排除.....95

3.3.4 万用表的使用.....96

3.3.5 万用表安装实习的总体 要求.....96

3.3.6 考核要求.....96

第2篇 电子技术课程设计

第4章 电子技术课程设计概述99

- 4.1 电子技术课程设计与习题、基础实验、毕业设计的区别99
- 4.2 电子技术课程设计目的、任务及要求99
 - 4.2.1 电子技术课程设计的目的和任务99
 - 4.2.2 电子技术课程设计的特点及学习方法100
 - 4.2.3 电子技术课程设计的一般要求101
 - 4.2.4 课程设计总结报告101

第5章 模拟电子电路的一般设计过程 ...102

电子技术课程设计——模拟部分102

- 5.1 模拟电子电路的设计方法102
 - 5.1.1 总体方案的确定102
 - 5.1.2 单元电路的设计103
 - 5.1.3 电路参数计算103
 - 5.1.4 元器件的选择103
 - 5.1.5 电路图的画法106
- 5.2 模拟电子电路的安装106
 - 5.2.1 整体结构布局和元器件的安置106
 - 5.2.2 正确布线107
 - 5.2.3 电路板的焊接107
- 5.3 模拟电子电路的调试108
 - 5.3.1 通电前的检查108
 - 5.3.2 通电检查108
 - 5.3.3 静态调试109
 - 5.3.4 动态调试109
- 5.4 模拟电子电路的故障分析与处理109
 - 5.4.1 故障产生的原因110
 - 5.4.2 故障的诊断方法110
- 5.5 模拟电子电路课程设计

实例——音响系统放大器设计 ...111

- 5.5.1 音响系统放大器设计概述111
- 5.5.2 设计任务112
- 5.5.3 方案确定112
- 5.5.4 方案实现117

第6章 模拟电子技术课程设计

参考选题122

- 6.1 集成直流稳压电源的设计122
 - 6.1.1 设计任务122
 - 6.1.2 设计要求122
- 6.2 差分放大器设计122
- 6.3 语音放大电路122
- 6.4 OCL 功率放大器123
 - 6.4.1 设计任务123
 - 6.4.2 性能指标123
- 6.5 脉冲调宽型伺服放大器123
 - 6.5.1 设计任务123
 - 6.5.2 主要技术指标123
- 6.6 电压/频率变换器124
 - 6.6.1 设计任务124
 - 6.6.2 性能指标124
- 6.7 宽带放大器124
- 6.8 数字逻辑信号测试器的设计124
 - 6.8.1 设计目的124
 - 6.8.2 设计任务124
- 6.9 测量放大器的设计124
 - 6.9.1 设计目的124
 - 6.9.2 设计任务125

第7章 数字电子技术课程

设计的一般方法126

- 7.1 总体方案选择126
- 7.2 单元电路的设计127
- 7.3 元器件的选择127
 - 7.3.1 数字电路设计时元器件的选择原则127
 - 7.3.2 标准数字 IC 的分类及特点 ...128
- 7.4 系统总体电路组成129

7.5 数字电子系统的安装与调试.....130	8.6.1 设计任务与要求.....150
7.5.1 数字逻辑电路调试	8.6.2 总体方案设计参考.....150
基本方法.....130	8.7 步进电机控制器的设计.....151
7.5.2 数字电路的故障	8.7.1 设计任务与要求.....151
检测和诊断.....133	8.7.2 总体方案设计参考.....152
7.6 数字电子技术设计	8.8 电子打铃器的设计.....153
过程中的一些问题.....134	8.9 模拟汽车尾灯电路的设计.....154
7.6.1 数字集成电路的驱动能力与	8.9.1 设计任务与要求.....154
不同型号集成电路之间的	8.9.2 工作原理及框图参考.....154
匹配问题.....134	8.10 倒计时器电路的设计.....155
7.6.2 组合电路竞争冒险的消除.....136	8.10.1 设计任务与要求.....155
7.6.3 时序电路的自启动问题.....138	8.10.2 工作原理及框图参考.....155
7.7 数字电子电路课程设计实例——	8.11 拔河游戏机电路的设计.....156
数字电子钟逻辑电路设计.....139	8.11.1 设计任务与要求.....156
7.7.1 数字电子钟基本原理.....139	8.11.2 工作原理及框图参考.....156
7.7.2 设计任务和要求.....139	
7.7.3 可选用器材.....140	第9章 电子技术综合设计方法及实例.....157
7.7.4 方案确定和电路设计.....140	9.1 电子技术综合设计方法.....157
7.7.5 总体电路简要说明.....145	9.1.1 电子系统设计概述.....157
第8章 数字电子技术课程设计	9.1.2 电子系统的设计步骤.....158
参考选题.....146	9.1.3 电子系统设计方法.....158
8.1 交通灯控制逻辑电路设计.....146	9.1.4 板卡设计与板卡仿真技术.....160
8.1.1 设计任务及要求.....146	9.1.5 设计工具.....161
8.1.2 参考设计简述.....146	9.2 受控正弦信号发生器.....161
8.2 彩灯闪烁电路的设计.....147	9.2.1 任务和要求.....162
8.2.1 设计任务及要求.....147	9.2.2 设计内容.....163
8.2.2 设计指导简述.....147	
8.3 机床自动进给数控装置的设计.....147	第3篇 现代电子线路设计技术指导
8.3.1 设计任务及要求.....147	
8.3.2 工作原理及框图概述.....148	第10章 电子电路仿真软件
8.4 $4\frac{1}{2}$ 数字电压表的设计.....148	Multisim 10.0.....183
8.4.1 设计任务及要求.....148	10.1 Multisim 软件功能简介.....183
8.4.2 工作原理及框图参考.....149	10.2 电路仿真实例介绍.....194
8.5 数字频率计的设计.....149	10.2.1 模拟电路仿真实例介绍.....194
8.5.1 设计任务与要求.....149	10.2.2 数字电路仿真实例介绍.....200
8.5.2 总体方案设计参考.....149	
8.6 电子密码锁的设计.....150	第11章 印制电路板的设计与制作.....203
	11.1 印制电路板基础知识.....203
	11.1.1 印制电路板的种类.....203

IV | 电工电子技术实践教程

11.1.2 印制电路板的基本组件	204
11.2 印制电路板的设计	205
11.2.1 印制电路板的全手工 设计步骤	205
11.2.2 印制电路板的半自动化 设计步骤	205
11.2.3 印制电路板设计的	

注意事项	206
11.2.4 电路板设计存在的 问题及解决办法	207
11.3 印制电路板的制作	208
附录 实验常用元器件及其参数	214
参考文献	224

第 1 篇

电工基础实习

电工基础实习是为电类专业学生在学习完《电路原理》理论课程以后而开设的专用实践课程，是培养学生动手能力的一个重要实践教学环节。本教学环节是电类专业学生大学期间进行的第一个与专业相关的实践。通过这个实践环节，学生应更好地将理论和实际联系起来，提高实践动手能力，为培养正确的科学态度和良好的工作作风奠定扎实的基础。

1.1 概述

1.1.1 实习目的

通过电工实习,学生应了解常用电工仪器、仪表的基本结构和工作原理,掌握常用电工仪器、仪表的正确使用方法和安全注意事项,初步掌握对常用电工仪器、仪表等常见故障的检修方法,了解有关照明、动力配线,电工内外线的安装、常用低压电缆的作业规范,学会电动机的拆装、维护和故障排除方法。

1.1.2 实习内容和要求

- (1) 学习万用表的基本结构及工作原理,掌握其电路的设计计算方法。
- (2) 看懂线路图、安装图以及实物元器件的对照关系。
- (3) 学习焊接技术,掌握要领,杜绝虚焊。
- (4) 学习自己动手校验准确度,并能检查、排除在安装、调试中出现的一般故障。
- (5) 熟悉电压表、电流表、万用表、兆欧表、功率表、示波器、稳压电源、函数信号发生器等常用电工仪器、仪表的正确使用方法和安全使用注意事项;初步具备对电压表、电流表、功率表、万用表等常用电工仪表常见故障的检查、维护和简单修理的能力。
- (6) 了解安全用电常识;熟悉电工安全作业有关规程;掌握触电急救知识等。
- (7) 了解照明动力配线、常用低压电缆、电工内外线的作业规范;掌握室内照明电路安装;熟悉安全作业规范;能安全、正确进行进户线的连接和固定作业。
- (8) 通过拆装、维护、检查、试验中小型交、直流电动机,了解电动机的基本结构和用途;掌握对电动机和变压器同名端的判别以及对电动机绕组的内阻测量方法;初步掌握判断和处理电动机常见故障的相关知识;具备安全使用电动机的能力;了解电动机铭牌的意义。

1.1.3 实习总结报告

- (1) 纸张要求:16开信笺纸,封面填写题目、班级、学号、姓名、日期。

(2) 内容：包含实习目的、任务和内 容，使用仪器仪表和工具，实习电路各功能部分组成框图及原理，安装调试方法和步骤，实习中出现的问题及常见故障排除方法，实习收获和心得体会。

(3) 书写工整，格式规范。

1.2 电工电子测量的基本知识

电工测量的任务是测定电流、电压、电功率、电阻等电工量。电工测量大多采用直接测量法，就是将被测量直接与同一类的已知量进行比较的测量方法。用这种方法，测量结果可以由一次测量的实验数据得到，例如用电流表测量电流。

电子测量除了要测定电压、电流、功率外，还要测量增益、频率特性等其他电子线路性能指标。电子测量往往采用间接测量，即被测量不是直接测量，而是根据其他量的测量结果以及这些量与未知量的关系，用计算的方法来决定。

1.2.1 测量误差的计算

1. 测量误差

在测量过程中，由于测量仪表不准确、测量方法不当或测量条件发生变化以及实验者疏忽等因素，测量结果都会偏离被测量的真实值，这种差异称为测量误差。

测量误差分为系统误差、随机误差和疏忽误差 3 类。

(1) 系统误差

系统误差是指在测量条件不变或多次测量同一个量时，误差的绝对值和符号保持恒定；或在条件发生变化时，误差按一定规律变化。系统误差表明了一个测量结果偏离真实值或实际值的程度。测量仪表本身的缺陷、使用不当、测量方法不完善、所依据的理论不充分或操作技能等因素均可引起系统误差。系统误差有一定的规律性，一般可通过实验和分析找出原因，并设法减小和消除。

(2) 随机误差

随机误差是指在相同的条件下，多次重复测量同一个量时，在尽量消除一切明显的系统误差后，每次测量结果仍会出现大小、符号都不确定的误差，也叫偶然误差。

测量中的随机误差通常是由对测量值影响较微小的、相互独立的多种因素（如温度、湿度、磁场等因素）的综合影响造成的。其大小就是这些微小误差的总和。尽管在每次测量某一量时其偶然误差是不规则的，但是实践证明，如果测量次数足够多，随机误差的平均值的极限值就会趋近于零。所以，通过多次测量某一量并求出其算术平均值就可消除随机误差。

(3) 疏忽误差

疏忽误差是指在一定的测量条件下，测量结果明显地偏离真值，这种测量值中所含的误差就是疏忽误差。对含有疏忽误差的测量数据应剔除。

产生疏忽误差的原因主要是由于操作者的疏忽、测量条件突然发生变化、测量方法不当等。

2. 误差的表示方法

(1) 绝对误差

绝对误差是指测量值 x 与被测量的真值 x_0 之间的差值, 用 Δx 表示, 即

$$\Delta x = x - x_0$$

由于被测量的真值一般是无法得到的, 所以在实际测量中, 一般用高一级标准仪器所测量的值(实际值)来代替真值。

绝对误差反映了测量值与实际值的偏离程度和偏离方向, 但不能说明测量的准确程度。

(2) 相对误差

为了克服绝对误差的缺点, 引入相对误差。相对误差又分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

实际相对误差 μ_A 是指绝对误差 Δx 与被测量值 x_0 的比值, 一般用百分比表示, 即

$$\mu_A = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% = \frac{x - x_0}{x_0} \times 100\%$$

示值相对误差 μ_x 是指绝对误差 Δx 与仪器的示值 x 的比值, 一般用百分比表示, 即

$$\mu_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

满度相对误差 μ_m 也称为引用相对误差, 它是绝对误差 Δx 与被测量值 x_m (满刻度值) 的比值, 一般用百分比表示, 即

$$\mu_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\%$$

(3) 仪表的精确度

测量仪表的精确度等级是用最大引用误差(又称允许误差) $|\gamma_m|_{\max}$ 来划分的。它等于仪表的最大绝对误差与仪表量程范围之比的百分数, 即

$$|\gamma_m|_{\max} = \frac{|\Delta x|_{\max}}{x_m} \times 100\%$$

仪表的精度等级是由国家统一规定的, 把最大引用误差中的百分号去掉, 剩下的数字就是仪表的精度等级。目前我国直读式电工仪表共分 7 级: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。前 3 个等级常用于精密测量或作其他仪表的校正, 后 4 个等级作一般的工程测量。

设某仪表的精度等级为 S , 满刻度值(量程)为 x_m , 测量值为 x , 则测量的绝对误差为

$$\Delta x = x_m \times S\%$$

其最大的示值相对误差为

$$\mu_x = \frac{x_m}{x_0} \times S\%$$

由于 $x \leq x_m$, 所以当测量值越接近于满刻度值时, 测量的准确度就越高。因此, 在使用这一类仪表进行测量时, 一般选择被测量的测量值尽可能在仪表满刻度值的 $2/3$ 以上区域为佳。

1.2.2 测量结果的数据处理

测量结果的数据处理通常包括测量数据有效数字的处理和图形处理。

1. 测量结果有效数字的处理

(1) 有效数字

所谓有效数字,是指左边第一个非零的数字开始直到右边最后一位数字为止包含的数字。例如,所测得的电流为 0.0236A,它是由 2、3、6 这 3 个有效数字表示的电流值。在其左边的两个“0”不是有效数字,因为它可以通过单位换算写成 23.6mA,其中末位数字“6”通常是在测量读数时估计出来的,因此称其为欠准数字,其左边的各位有效数字是准确数字。对于读数末位的“0”不能任意增减,它反映了测量的准确程度。如:不能将 23.60mA 写成 23.6mA 或 23.600mA。因为 23.60mA 表明其误差大小不超过 0.005mA,而后两个数则表明误差大小不超过 0.05mA 或 0.0005mA。如果用 10 的幂来表示一个数据,则 10 的幂前面的数字都是有效数字。例如: $12.10 \times 10^3 \text{k}\Omega$ 表明该电阻的有效数字为 4 位。

(2) 有效数字的处理

对于测定的或通过计算获得的数据,在所规定的精度范围以外的那些数字应根据四舍五入的原则进行处理。

- ① 当欲舍去的最高位上的数字大于 5 时,所取有效数字的末位数上应进 1。
- ② 当欲舍去的最高位上的数字小于 5 时,所取有效数字的末位数不变。
- ③ 当欲舍去的最高位上的数字等于 5 时,如果 5 后面的数不全为 0,则所取有效数字的末位数上应进 1;如果 5 后面的数均为 0,应按使所取有效数字的末位上的数字凑成偶数的原则来进行取舍。

(3) 有效数字的运算法则

① 加减运算:几个不同精度的测量结果相加减时,其结果的精度与它们中精度最低的测量结果相同。即计算结果的小数位数要与它们中小数点后位数最少的相同。值得注意的是两个差数接近时,有效数字的位数对结果的影响可能很大,这时可通过多取几位有效数字来避免。

② 乘除运算:几个不同精度的测量结果相乘除时,可先对有效数字多的数进行取舍,使其比有效数字位数最少的数多一位。计算结果的有效数字位数决定于它们中有效数字位数最少的数。需注意的是当指数的底远大于 1 时,指数的误差对运算结果影响较大,将指数多保留几位有效数字即可减小这种影响。

2. 测量结果的图形处理

这种方法适用于测量数据较多时,在这里就不做介绍了。

1.2.3 电子线路调整测试的一般方法及故障排除

在电工电子实验中,由于各种各样的原因,常常会出现一些故障,致使实验电路工作不正常。这些故障轻者造成实验数据的误差,重者有可能损坏元器件和仪器设备,甚至危及实验人员的人身安全。

1. 常见故障的原因

- (1) 电路连接错误。
- (2) 元器件接错或参数选择不当。
- (3) 仪器仪表损坏或使用不当。
- (4) 电源接错。
- (5) 电源、实验电路和仪器仪表之间公共参考点连接错误或参考点位置选择不当。
- (6) 连接导线内部断裂、电路连接点接触不良或电路裸露部分因意外相碰而短路。

2. 故障的检测

(1) 不通电直观法

用直观的办法和使用万用表电阻挡检查有无断线、脱焊、短路、接触不良、元器件好坏等情况。

(2) 通电检测法

通电观察是否有冒烟、烧焦、跳火、发热的现象。如有，则立即切断电源分析原因，再确定检修部位。

电压检测法是所有检测手段中最基本、最常用的方法。即通过测量电子线路或元器件的工作电压并与正常值进行比较来判断故障。经常测试的电压是各极电源电压、晶体管的各极电压以及集成块各管脚电压等。一般而言，测得电压的结果是反映电器工作状态是否正常的重要依据。电压偏离正常值较大的地方，往往是故障所在的地方。

(3) 部件替代法

用规格相同、性能良好的元器件或电路，代替故障电器上某个被怀疑而又不便测量的元器件或电路。

(4) 波形观察法

利用示波器跟踪观察信号通路各测试点，根据波形的有无、大小和是否失真来判断故障。

(5) 分割测试法

逐级断开各级电路元器件或逐块拔掉各块印制电路板，使整机分割成多个相对独立的单元电路，测试其对故障现象的影响。

1.3 用电安全

1.3.1 电流对人体的作用和伤害

当人站在非绝缘体上接触到电气设备的带电部分时，人体将承受一定的电压，从而使电流流过人体，产生触电。触电的危险程度与流过人体电流的大小、频率、持续时间以及电流通过人体的途径等因素有关，电流越大，作用时间越长，危害性就越大。

1. 伤害程度与电流大小的关系

电流流过人体，人体会有麻、痛等感觉，更严重者会引起颤抖、痉挛、心脏停止跳动乃

至死亡。对于工频交流电,按照通过人体电流大小不同以及人体所呈现的不同状态,可以将电流划分为以下三级。(1)感知电流:是指人能感觉到的最小电流。实验资料表明,对不同的人,感知电流也不相同。成年男性平均感知电流约为 1.1mA ,成年女性约为 0.7mA 。(2)摆脱电流:是指人触电以后能自主摆脱电源的最大电流。实验资料表明,对不同的人,摆脱电流也不相同。成年男性平均摆脱电流约为 16mA ,成年女性约为 10.5mA 。(3)致命电流:是指在较短时间内危及生命的最小电流。在电流不超过数百毫安的情况下,电击致死的主要原因是电流引起心室颤动或窒息造成的。所以致命电流和电击的时间以及电流大小都有关系。

2. 伤害程度与通电时间的关系

通电时间越长,越容易引起心室颤动,电击危险性也越大。其原因如下。

(1) 通电时间越长,能量的积累增加,引起心室颤动的电流减小。

(2) 通电时间短促时,只在心脏拨动的特定时刻才可能引起心室颤动。

(3) 通电时间越长,人体电阻因出汗等原因而降低,导致通过人体的电流进一步增加,电击危险性也随之增加。

3. 伤害程度与电流途径的关系

(1) 电流通过心脏会引起心室颤动,促进心脏停止跳动,中断血液循环,导致死亡。

(2) 电流通电中枢神经或有关部位,会引起中枢神经严重失调而导致死亡。

(3) 电流通过脊髓,可导致半截肢体瘫痪。

(4) 从左手到胸部,电流途经心脏而且途径也最短,是最危险的电流途径;从手到手,电流也途经心脏,因此也是很危险的电流途径;从脚到脚的电流是危险性较小的电流途径,但可能因痉挛而摔倒,导致电流通过全身或摔伤、坠落等二次事故。

1.3.2 触电方式

1. 接触正常带电体

(1) 单相触电

人体的某一部分与一相带电体及大地(或中性线)构成回路,当电流通过人体流过该回路时,即造成人体触电,这种触电称为单相触电。

(2) 两相触电

人体某一部分介于同一电源两相带电体之间并构成回路所引起的触电,称为两相触电。

(3) 跨步电压触电

当带电体接地时,有电流向大地扩散,其电位分布以接地点为圆心向圆周扩散,在不同位置形成电位差。若人站在这个区域内,则两脚之间的电压,称为跨步电压,由此所引起的触电称为跨步电压触电。

2. 接触正常不带电的金属体

比如电气设备——电动机,本身是可以通电工作的,但是作为保护其外壳应该是不通电的,也就是说即使设备在运行,人是可以触摸设备外壳的,这是正常情况,但是,如果外壳