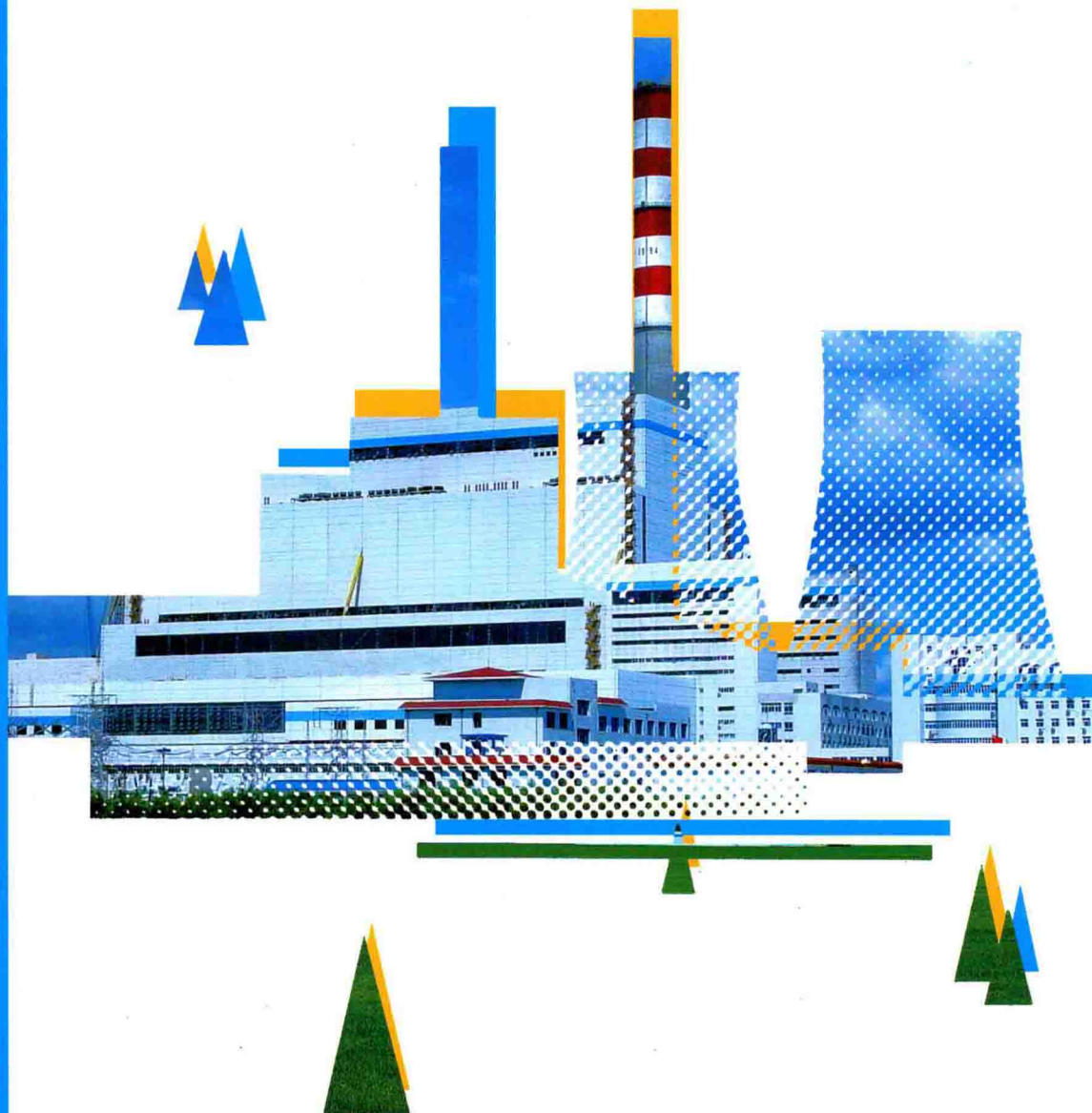


地方电厂岗位检修培训教材



张本贤 主编

热工控制检修



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

地方电厂岗位检修培训教材

热工控制检修

张本贤 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

近 20 多年来,全国有一大批地方电厂、企业自备电厂和热电厂的 50~350MW 火力发电机组相继投产,检修岗位新职工和生产人员迅速增加。为了做好检修生产人员岗位技术培训和技能鉴定工作,按照部颁《国家职业技能鉴定规范·电力行业》《电力工人技术等级标准》和《火力发电厂检修岗位规范》以及检修规程的要求,突出岗位重点、注重操作技能、便于考核培训等,组织专家技术人员编写了《地方电厂岗位检修培训教材》,分为锅炉设备检修、汽轮机设备检修、电气设备检修、热工控制检修、电厂化学检修、燃料设备检修和循环流化床锅炉检修,共 7 册。

本书是《地方电厂岗位检修培训教材 热工控制检修》,全书共分五篇二十七章,第一篇热工仪表检修相关知识,介绍电子元器件综合知识,基本模拟电路和数字电路,热控系统电源,热工测量与控制系统接地及防静电,热工仪表检修用仪表工具及设备,检修一般原则和热工测量概述,传感器变送器知识;第二篇测温仪表检修,介绍温度测量概述,热电偶、热电阻、温度开关、温度变送器、辐射式温度计、温度显示仪表检修及校准;第三篇压力仪表检修,介绍压力测量概述,弹性式压力表、数字压力表、电触点压力表、压力开关、压力变送器及检修检定;第四篇流量仪表检修,介绍流量测量概述,差压式流量计、其他类型流量计检修检定;第五篇其他测量仪表检修,介绍氧量计、称重仪表及检修检定以及执行器(执行机构)及其检修。

本书可作为全国地方电厂、企业自备电厂和热电厂 50~350MW 火力发电机组、具有高中及以上文化程度从事热工控制检修的生产人员、工人、技术人员、管理干部以及有关热工专业师生岗位技能和技能鉴定的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

热工控制检修/张本贤主编. —北京:中国电力出版社,
2015.4
地方电厂岗位检修培训教材
ISBN 978-7-5123-6614-5

I. ①热… II. ①张… III. ①火电厂-热力工程-自动控制
系统-维修-岗位培训-教材 IV. ①TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 233980 号

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京市同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2015 年 4 月第一版 2015 年 4 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 532 千字
印数 0001—3000 册 定价 58.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

火力发电企业的汽轮机、锅炉等热力设备及系统的安全运行在整个火力发电机组的安全经济运行中处于十分重要的地位。如何通过有效的控制和调节来保证这些设备的安全经济运行状态,是火力发电厂热工测量及控制仪表最主要的任务。现场的热控部门及人员采取有效的措施,对热工测量及控制仪表进行维护、检修和检定,是实现

对主要热力设备进行有效控制与调节最直接的手段。

火力发电生产过程涉及的设备很多,在发电生产过程中既要完成热能向机械能的转化,又要同时完成发电机的发电,这使得这些设备及关键部件长期工作在高温、高压、高转速和高磨损的恶劣条件下。要保证这些设备及部件更可靠和有效工作,需要有一种既准确合理又可靠有效的控制与调节,需要控制与调节设备始终保持良好的工作状态,这就需要检修工作人员掌握必要的检修技术和技能。

电力体制改革加快了火力发电企业技术改造的步伐,同时也使得火力发电企业生产过程有更加明确的分工,一大批专业检修机构应运而生。由于这些专业检修企业是新组建的企业,因此更具有现代企业的理念,对培训更加重视;也由于这些企业中老员工居多,老员工们更加习惯于凭老经验开展工作,因此更有必要通过培训和学习使其更进一步培养现代企业设备检修的理念。

编写本书,立足于适应现代专业检修企业对热工控制检修专业的培训需求,以50~350MW机组的热工测量与仪表为对象,试图全面介绍有关热工控制检修的基础、专业知识和技能,以及检修管理的有关内容,以期能对相关人员通过培训或自学,对提高相关知识和技能有所帮助。

本书是在多年培训授课的基础上,由张本贤老师联合多家火力发电厂的现场工程技术人员,针对火力发电厂热力设备的各种测量仪表,从技术实用性出发,力求全面介绍有关的技术内容,包括设备结构、工作原理、运行维护、故障排除和设备检修等,进行编写而成的。本书可作为各类火力发电企业(检修企业)热工控制检修的专业培训教材,也可作为各类职业学校相关专业的教学参考书及自学教材。

本书由张本贤主编和统稿。张晓编写第一章,苏博编写第四章,宋岩岩编写第五

章，李欣芳编写第六章，张本贤编写第二章、第三章、第七章～第二十七章。

在本书的编写过程中，笔者曾经多次到辽宁发电厂、辽河石油勘探局热电厂、抚顺发电厂、铁岭发电厂、大连热电集团公司香海热电厂、华能大连电厂等企业调研和考察学习，得到了这些企业领导和相关人员的大力支持和帮助，在此表示深深的谢意！

限于编者水平，书中疏漏之处在所难免，恳请读者在使用中提出宝贵意见和建议，以便修订时及时改进。

编 者

2014 年 10 月

前言

第一篇 热工仪表检修相关知识

第一章 电子元器件综合知识	1
第一节 电阻器	1
第二节 电容器	3
第三节 电感器	5
第四节 半导体二极管	8
第五节 半导体三极管	10
第六节 场效应管	12
第七节 集成电路	14
第八节 晶体振荡器	15
第二章 基本模拟电路和数字电路	18
第一节 基本逻辑门电路	18
第二节 TTL 逻辑门电路	20
第三节 直流稳定电源电路	23
第四节 振荡电路	26
第三章 热控系统的电源	29
第一节 稳压电源的分类及知识	29
第二节 不间断电源系统 UPS	31
第四章 热工测量与控制系统接地及防静电	36
第一节 热工测量及控制系统的接地	36
第二节 热工测量与控制系统的防静电	39
第五章 热工仪表检修用仪表及设备	44
第一节 钳形电流表	44
第二节 绝缘电阻表及其使用	47
第三节 万用表及其使用	51
第四节 示波器及其使用	57
第六章 热工仪表检修用工具及设备	64
第一节 电烙铁及其焊接技术	64
第二节 热风枪	69
第七章 传感器变送器知识	72

第一节	传感器概述	72
第二节	传感器的特性	74
第三节	传感器的选用	76
第四节	实际应用中的传感器的形式	77
第五节	变送器相关知识	78
第八章	热工仪表检修的一般原则	81
第一节	系统故障分析	81
第二节	仪表故障分析判断方法	83
第三节	仪表检修的方法及注意事项	86
第九章	热工测量概述	89
第一节	热工测量的概念及方法	89
第二节	测量误差	90
第三节	热工测量仪表主要品质指标	92
第四节	工业自动化仪表的组成和分类	93
第五节	热工计量	95

第二篇 测温仪表检修

第十章	温度测量概述	98
第一节	温度及温度测量	98
第二节	温度测量仪表的分类和比较	100
第十一章	热电偶的安装、检修及检定	103
第一节	热电偶的测温原理	103
第二节	热电偶的结构及其类型	107
第三节	热电偶的安装及检修	108
第四节	热电偶的校准及检定	112
第十二章	热电阻的检修及检定	116
第一节	热电阻温度计	116
第二节	热电阻的分类及结构	117
第三节	热电阻的检修	119
第四节	热电阻的检定	121
第十三章	温度开关（温度控制器）的校验	125
第一节	双金属温度开关的校验	125
第二节	压力式温度计（温度开关）的检修及校验	131
第十四章	温度变送器及检定	138
第一节	温度变送器概述	138
第二节	温度变送器的校验	141
第三节	一体化温度变送器及校验	143
第十五章	辐射式温度计及检定	150
第一节	辐射式温度计概述	150
第二节	全辐射式温度计及检定	151
第三节	光学高温计及检定	157

第十六章 温度显示仪表的检修及校准..... 166

第一节 动圈式温度指示仪表的检修及校准..... 166

第二节 电子自动平衡式仪表的检修与调校..... 171

第三节 力矩电机式温度指示仪表及校验..... 175

第四节 数字式温度显示仪表的检修与校准..... 177

第五节 测温系统的检查与校准..... 181

第三篇 压力仪表检修

第十七章 压力测量概述..... 185

第一节 压力概念..... 185

第二节 压力测量仪表..... 186

第十八章 弹性式压力表的检修检定..... 192

第一节 弹性压力测量装置..... 192

第二节 弹簧管式压力表的检修..... 194

第三节 弹簧管压力表的检定..... 199

第十九章 数字压力表及检定..... 202

第一节 数字压力表..... 202

第二节 数字压力表的检定..... 204

第二十章 电触点压力表及压力（差压）开关检修与校验..... 209

第一节 弹簧管式电触点压力表的检定与校验..... 209

第二节 压力开关（压力控制器）及其检修检定..... 211

第三节 差压开关的检修及校验..... 216

第二十一章 压力（差压）变送器及检修、检定..... 219

第一节 压力（差压）变送器概述..... 219

第二节 压力变送器的选型、检修及安装..... 222

第三节 压力变送器的调校..... 226

第四篇 流量仪表检修

第二十二章 流量测量概述..... 234

第一节 流量计量意义..... 234

第二节 流量计量基本概念..... 235

第三节 流量计种类及其特点..... 236

第二十三章 差压式流量计及检修检定..... 239

第一节 差压式流量计概述..... 239

第二节 差压式流量计的调校及检定..... 244

第二十四章 其他类型流量计的检修检定..... 250

第一节 容积式流量计..... 250

第二节 靶式流量计..... 257

第三节 电磁流量计..... 259

第四节 超声波流量计..... 265

第五节 浮子流量计..... 269

第五篇 其他测量仪表检修

第二十五章 氧量传感器及其检修检定	273
第一节 氧化锆氧量传感器原理及结构	273
第二节 氧化锆氧量传感器的检修和校准	275
第三节 氧量传感器的安装及使用维护	281
第二十六章 称重仪表及检修检定	283
第一节 概述	283
第二节 电子皮带秤的检定与校验	285
第三节 电子称重仪表的检修	289
第二十七章 执行器（执行机构）及其检修	293
第一节 执行器（执行机构）概述	293
第二节 电动执行机构及其检修	297
第三节 SMC 普通型阀门电动装置的检修	301
第四节 气动调节机构的检修	304
参考文献	307

热工仪表检修相关知识

第一章 电子元器件综合知识

第一节 电 阻 器

一、概述

1. 电阻器的概念

在电路中对电流有阻碍作用并且造成能量消耗的部分叫电阻器，简称电阻。电阻器的英文缩写为 R (Resistor) 及排阻 R_N 。电阻器的常见单位是 Ω (欧姆)、 $k\Omega$ (千欧姆) 和 $M\Omega$ (兆欧姆)。电阻器的单位换算： $1M\Omega$ (兆欧) = $10^3k\Omega$ (千欧) = $10^6\Omega$ (欧)。

2. 电阻器的结构、符号及标示

电阻器符号、结构及标示见图 1-1。

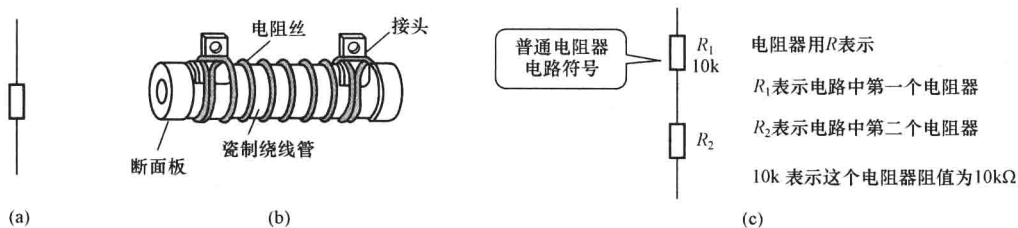


图 1-1 电阻器符号、结构及标示

(a) 电阻器符号；(b) 线绕电阻器的结构；(c) 电阻器在电路图中的标示

3. 电阻器的特性

电阻为线性元件，即电阻两端电压与流过电阻的电流成正比，通过这段导体的电流强度与这段导体的电阻成反比，即欧姆定律： $I=U/R$ 。

电阻的作用为分流、限流、分压、偏置、滤波（与电容器组合使用）和阻抗匹配等。

电阻器在电路图中用“R”加编号（数字）表示，如：R15 表示编号为 15 的电阻器。

4. 电阻器的在电路中的参数标注方法

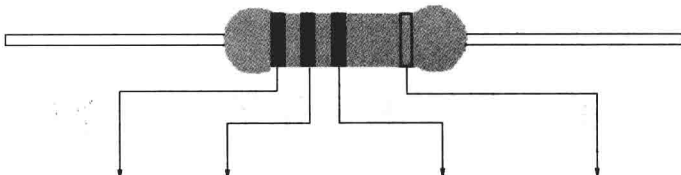
电阻器的在电路中的参数标注方法有 3 种，即直标法、色标法和数标法。

(1) 直标法是将电阻器的标称值用数字和文字符号直接标在电阻体上，其允许偏差则用百分数表示，未标偏差值的即为 $\pm 20\%$ 。

(2) 数码标示法主要用于贴片等小体积的电路，在三位数码中，从左至右第一、二位数表示有效数字，第三位表示 10 的倍幂或者用 R 表示（R 表示 0）。如：472 表示 $47 \times 10^2\Omega$ （即 $4.7k\Omega$ ）；104 则表示 $100k\Omega$ ；R22 表示 0.22Ω 、122 表示 $1200\Omega=1.2k\Omega$ 、1402 表示 $14\ 000\Omega=14k\Omega$ 。

(3) 色环标注法使用最多，普通的色环电阻器用 4 环表示，精密电阻器用 5 环表示，紧靠电阻体一端头的色环为第一环，露电阻体本色较多的另一端头为末环。现举例如下：

如果色环电阻器用四环表示，前两个色环代表有效数字，第 3 个色环代表 10 的倍幂，第四个色环代表色环电阻器的误差范围，见图 1-2。



颜色	第一段	第二段		乘数	误差
黑色	0	0		1	
棕色	1	1		10	±1% F
红色	2	2		100	±2% G
橙色	3	3		1k	
黄色	4	4		10k	
绿色	5	5		100k	±0.5% D
蓝色	6	6		1M	±0.25% C
紫色	7	7		10M	±0.10% B
灰色	8	8			±0.05% A
白色	9	9			
金色				0.1	±5% J
银色				0.01	±10% K
无					±20% M

图 1-2 两位有效数字阻值的色环表示法

如果色环电阻器用五环表示，前面三个色环代表有效数字，第四个色环代表 10 的倍幂。第五个色环代表色环电阻器的误差范围，见图 1-3。



图 1-3 三位有效数字阻值的色环表示法

五色环电阻器（精密电阻）

二、电阻器的检测

1. 用指针万用表检测

(1) 首先选择测量挡位，再将倍率挡旋钮置于适当的挡位，一般 100Ω 以下电阻器可选 $R \times 1$ 挡，100Ω~1kΩ 的可选 $R \times 10$ 挡，1~10kΩ 的可选 $R \times 100$ 挡，10~100kΩ 的可选 $R \times 1k$ 挡，100kΩ 以上的可选 $R \times 10k$ 挡。

(2) 测量挡位选择确定后，对万用表电阻挡进行校零。

(3) 接着将万用表的两表笔分别和电阻器的两端相接，表针应指在相应的阻值刻度上，可读出被测电阻的阻值。如果表针不动或指示不稳定或指示值与电阻器上的标示值相差很大，则说明该电阻器已损坏。

2. 用数字万用表检测

(1) 首先根据被测电阻的阻值范围选择挡位，一般 200Ω 以下可选 200 挡，200Ω~2kΩ 可选 2k 挡，2~20kΩ 可选 20k 挡，20~200kΩ 的可选 200k 挡，200kΩ~2MΩ 的选择 2M 挡。2~20MΩ 的选择 20M 挡，20MΩ 以上的选择 200M 挡。

(2) 接着将万用表的两表笔分别与电阻器的两端相接,应显示相应的阻值。如果显示值与电阻器上的标示值相差很大,则说明该电阻器已损坏。

第二节 电 容 器

电容器简称电容,也是组成电子电路的主要元件。它可以储存电能,具有充电、放电及通交流、隔直流的特性。从某种意义上说,电容器有点像电池。尽管两者的工作方式截然不同,但它们都能存储电能。电池有两个电极,在电池内部,化学反应使一个电极产生电子,另一个电极吸收电子。而电容器则要简单得多,它不能产生电子,它只是存储电子。它是各类电子设备大量使用的不可缺少的基本元件之一。各种电容器在电路中能起不同的作用,如耦合和隔直流、旁路、整流滤波、高频滤波、调谐、储能和分频等。电容器应根据电路中电压、频率、信号波形、交直流成分和温湿度条件来加以选用。电容器的英文缩写是C(capacitor)。

电容器常用的单位为法(F)、毫法(mF)、微法(μF)、纳法(nF)、皮法(pF),单位之间的换算关系为 $1\text{F}(\text{法})=10^3\text{mF}(\text{毫法})=10^6\mu\text{F}(\text{微法})=10^9\text{nF}(\text{纳法})=10^{12}\text{pF}(\text{皮法})$; $1\text{pF}=10^{-3}\text{nF}=10^{-6}\mu\text{F}=10^{-9}\text{mF}=10^{-12}\text{F}$ 。

一、电容器概述

1. 电容器的符号

电容器的符号如图 1-4 所示。

2. 电容器的分类

电容器主要分为以下 10 类:

(1) 按照结构分三大类:固定电容器、可变电容器和微调电容器。

(2) 按电解质分类:有机介质电容器、无机介质电容器、电解电容器和空气介质电容器等。

(3) 按用途分有:高频旁路、低频旁路、滤波、调谐、高频耦合、低频耦合、小型电容器。

(4) 按制造材料的不同可以分为:瓷介电容、涤纶电容、电解电容、钽电容,还有先进的聚丙烯电容等。

(5) 高频旁路:陶瓷电容器、云母电容器、玻璃膜电容器、涤纶电容器、玻璃釉电容器。

(6) 低频旁路:纸介电容器、陶瓷电容器、铝电解电容器、涤纶电容器。

(7) 滤波:铝电解电容器、纸介电容器、复合纸介电容器、液体钽电容器。

(8) 调谐:陶瓷电容器、云母电容器、玻璃膜电容器、聚苯乙烯电容器。

(9) 低耦合:纸介电容器、陶瓷电容器、铝电解电容器、涤纶电容器、固体钽电容器。

(10) 小型电容:金属化纸介电容器、陶瓷电容器、铝电解电容器、聚苯乙烯电容器、固体钽电容器、玻璃釉电容器、金属化涤纶电容器、聚丙烯电容器、云母电容器。

3. 电容器的特性

电容器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。电容的特性主要是隔直流通交流,通高频阻低频。

4. 电容器的识别方法

电容器的主要性能指标是包括电容器的容量(即储存电荷的容量)、耐压值(指在额定温度范围内电容器能长时间可靠工作的最大直流电压或最大交流电压的有效值)和耐温值(表示电容

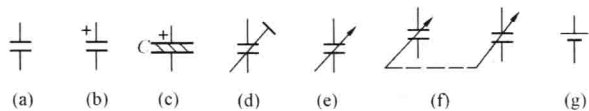


图 1-4 电容器的
图形符号

(a) 一般符号; (b) 电解电容器; (c) 国外电解电容器的符号; (d) 微调电容器; (e) 单连可变电容器; (f) 双连可变电容器; (g) 穿心电容器

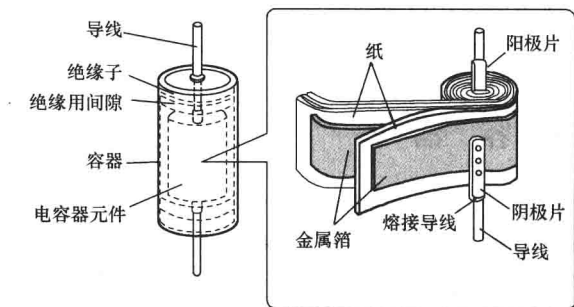


图 1-5 纸介电容器构造

器所能承受的最高工作温度)。

电容器的识别方法与电阻的识别方法基本相同,分直标法、色标法和数标法 3 种。

5. 电容器的结构

如图 1-5 所示为纸介电容器的结构。

二、电容器的好坏测量

1. 脱离线路时检测

采用万用表 $R \times 1k$ 挡,在检测前,先将电解电容的两根引脚相碰,以便放掉电容内残余的电荷。当表笔刚接通时,表针向右偏

转一个角度,然后表针缓慢地向左回转,最后表针停下。表针停下来所指示的阻值为该电容的漏电阻,此阻值越大越好,最好接近无穷大处。如果漏电阻只有几十千欧,说明这一电解电容器漏电严重。表针向右摆动的角度越大(表针还应向左回摆),说明这一电解电容器的电容量也越大,反之说明容量越小。

2. 线路上直接检测

主要是检测电容器是否已开路或已击穿这两种明显故障,而对漏电故障由于受外电路的影响一般是测不准的。用万用表 $R \times 1$ 挡,电路断开后,先放掉残存在电容器内的电荷。测量时若表针向右偏转,说明电解电容器内部断路。如果表针向右偏转后所指示的阻值很小(接近短路),说明电容器严重漏电或已击穿。如果表针向右偏后无回转,但所指示的阻值不是很小,说明电容器开路的可能性很大,应脱离电路后进一步检测。

3. 线路通电状态时检测

若怀疑电解电容器只在通电状态下才存在击穿故障,可以给电路通电,然后用万用表直流挡测量该电容器两端的直流电压。如果电压很低或为 $0V$,则是该电容器已击穿。对于电解电容器的正、负极标志不清楚的,必须先判别出它的正、负极。对换万用表笔测两次,以漏电大(电阻值小)的一次为准,黑表笔所接一脚为负极,另一脚为正极。

4. 可变电容器的检测

(1) 用手轻轻旋动转轴,应感觉十分平滑,不应感觉时松时紧甚至有卡滞现象。将转轴向前、后、上、下、左、右等各个方向推动时,转轴不应有松动的现象。

(2) 用一只手旋动转轴,另一只手轻摸动片组的外缘,不应感觉有任何松脱现象。转轴与动片之间接触不良的可变电容器,是不能再继续使用的。

(3) 将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,一只手将两个表笔分别接可变电容器的动片和定片的引出端,另一只手将转轴缓缓旋动几个来回,万用表指针都应在无穷大位置不动。在旋动转轴的过程中,如果指针有时指向零,说明动片和定片之间存在短路点;如果碰到某一角度,万用表读数不为无穷大而是出现一定阻值,说明可变电容器动片与定片之间存在漏电现象。

5. 固定电容器的检测

(1) 检测 $10pF$ 以下的小电容,因 $10pF$ 以下的固定电容器容量太小,用万用表进行测量,只能定性地检查其是否有漏电、内部短路或击穿现象。测量时,可选用万用表 $R \times 10k$ 挡,用两表笔分别任意接电容的两个引脚,阻值应为无穷大。若测出阻值(指针向右摆动)为零,则说明电容漏电损坏或内部击穿。

(2) 检测 $10pF \sim 0.01\mu F$ 固定电容器是否有充电现象,进而判断其好坏。万用表选用 $R \times 1k$ 挡。两只三极管的 β 值均为 100 以上,且穿透电流要小。可选用 3DG6 等型号硅三极管组成复合

管。万用表的红和黑表笔分别与复合管的发射极 e 和集电极 c 相接。由于复合三极管的放大作用，把被测电容器的充放电过程予以放大，使万用表指针摆动幅度加大，从而便于观察。应注意的是：在测试操作时，特别是在测较小容量的电容时，要反复调换被测电容引脚接触 A、B 两点，才能明显地看到万用表指针的摆动。

(3) 对于 $0.01\mu\text{F}$ 以上的固定电容器，可用万用表的 $R\times 10\text{k}$ 挡直接测试电容器有无充电过程以及有无内部短路或漏电，并可根据指针向右摆动的幅度大小估计出电容器的容量。

第三节 电 感 器

电感器的英文缩写为 L，电感在电路中常用“L”加数字表示，如：L6 表示编号为 6 的电感。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。直流可通过线圈，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。电感器在电路中可与电容器组成振荡电路。

电感线圈是由导线一圈靠一圈地绕在绝缘管上，导线彼此互相绝缘，而绝缘管可以是空心的，也可以包含铁芯或磁粉芯，简称电感。单位有 (H) 亨、mH (毫亨)、 μH (微亨)， $1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\mu\text{H}$ 。

一、电感器的作用与电路图形符号

1. 电感器的电路图形符号

电感器是用漆包线、纱包线或塑皮线等在绝缘骨架或磁芯、铁芯上绕制成的一组串联的同轴线圈，图 1-6 是不同电感器在电路中的图形符号。

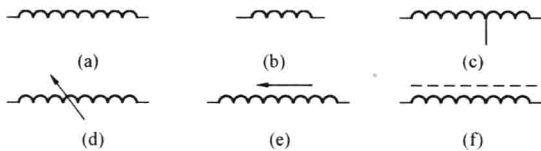


图 1-6 六种电感器图形符号

(a) 固定值 (开环形式)；(b) 固定值 (闭环形式)；(c) 带抽头；
(d) 可变值；(e) 固定值；(f) 铁粉或铁酸盐铁芯调节电感

2. 电感器的作用

电感器的主要作用是对交流信号进行隔离、滤波或与电容器、电阻器等组成谐振电路。

二、电感器的结构与特点

电感器一般由骨架、绕组、屏蔽罩、封装材料、磁芯或铁芯等组成。

1. 骨架

骨架泛指绕制线圈的支架。一些体积较大的固定式电感器或可调式电感器 (如振荡线圈、阻流圈等)，大多数是将漆包线 (或纱包线) 环绕在骨架上，再将磁芯或铜芯等装入骨架的内腔，以提高其电感量。

骨架通常是采用塑料、胶木、陶瓷制成，根据实际需要可以制成不同的形状。

小型电感器 (例如色码电感器) 一般不使用骨架，而是直接将漆包线绕在磁芯上。

空心电感器 (也称脱胎线圈或空心线圈，多用于高频电路中) 不用磁芯、骨架和屏蔽罩等，而是先在模具上绕好后再脱去模具，并将线圈各圈之间拉开一定距离。

2. 绕组

绕组是指具有规定功能的一组线圈，它是电感器的基本组成部分。

绕组有单层和多层之分。单层绕组又有密绕（绕制时导线一圈挨一圈）和间绕（绕制时每圈导线之间均隔一定的距离）两种形式；多层绕组有分层平绕、乱绕、蜂房式绕法等多种。

3. 磁芯与磁棒

磁芯与磁棒一般采用镍锌铁氧体（NX 系列）或锰锌铁氧体（MX 系列）等材料，它有“工”字形、柱形、帽形、E 形、罐形等多种形状。

4. 铁芯

铁芯材料主要有硅钢片、坡莫合金等，其外形多为 E 形。

5. 屏蔽罩

为避免有些电感器在工作时产生的磁场影响其他电路及元器件正常工作，就为其增加了金属屏蔽罩（例如半导体收音机的振荡线圈等）。采用屏蔽罩的电感器，会增加线圈的损耗，使品质因数 Q 值降低。

6. 封装材料

有些电感器（如色码电感器、色环电感器等）绕制好后，用封装材料将线圈和磁芯等密封起来。封装材料采用塑料或环氧树脂等。

三、电感器的种类

1. 按结构分类

电感器按其结构的不同可分为线绕式电感器和非线绕式电感器（多层片状、印刷电感等），还可分为固定式电感器和可调式电感器。

按贴装方式分，有贴片式电感器、插件式电感器。同时对电感器有外部屏蔽的称为屏蔽电感器，线圈裸露的一般称为非屏蔽电感器。固定式电感器又分为空心电感器、磁芯电感器、铁芯电感器等，根据其结构外形和引脚方式还可分为立式同向引脚电感器、卧式轴向引脚电感器、大中型电感器、小巧玲珑型电感器和片状电感器等。

可调式电感器又分为磁芯可调电感器、铜芯可调电感器、滑动触点可调电感器、串联互感可调电感器和多抽头可调电感器。

2. 按工作频率分类

电感按工作频率可分为高频电感器、中频电感器和低频电感器。

空心电感器、磁芯电感器和铜芯电感器一般为中频或高频电感器，而铁芯电感器多数为低频电感器。

3. 按用途分类

电感器按用途可分为振荡电感器、校正电感器、显像管偏转电感器、阻流电感器、滤波电感器、隔离电感器、补偿电感器等。

阻流电感器（也称阻流圈）分为高频阻流圈、低频阻流圈、电子镇流器用阻流圈等。

滤波电感器分为电源（工频）滤波电感器和高频滤波电感器等。

四、电感线圈的主要特性参数

电感器的主要参数有电感量、允许偏差、品质因数、分布电容及额定电流等。

1. 电感量 L

电感量也称自感系数，是表示电感器产生自感应能力的一个物理量。

环形电感的电感量 L 表示线圈本身的固有特性，与电流大小无关。除专门的电感线圈（色

码电感)外,电感量一般不专门标注在线圈上,而以特定的名称标注。

2. 感抗 X_L

电感线圈对交流电流阻碍作用的大小称感抗 X_L , 单位是欧姆。它与电感量 L 和交流电频率 f 的关系为 $X_L = 2\pi fL$ 。

3. 允许偏差

允许偏差是指电感器上标称的电感量与实际电感的允许误差值。

4. 品质因数 Q

品质因数 Q 是表示线圈质量的一个物理量, Q 为感抗 X_L 与其等效的电阻的比值, 即 $Q = X_L/R$ 。线圈的 Q 值愈高, 回路的损耗愈小。线圈的 Q 值与导线的直流电阻、骨架的介质损耗、屏蔽罩或铁芯引起的损耗、高频趋肤效应的影响等因素有关。线圈的 Q 值通常为几十到几百。

5. 分布电容

线圈的匝与匝间、线圈与屏蔽罩间、线圈与底板间存在的电容被称为分布电容。分布电容的存在使线圈的 Q 值减小, 稳定性变差, 因而线圈的分布电容越小越好。

6. 额定电流

额定电流是指电感器在正常工作时允许通过的最大电流值。若工作电流超过额定电流, 则电感器就会因发热而使性能参数发生改变, 甚至还会因过流而烧毁。

五、常用线圈

1. 单层线圈

单层线圈是用绝缘导线一圈挨一圈地绕在纸筒或胶木骨架上, 如晶体管收音机中波天线线圈。

2. 蜂房式线圈

如果所绕制的线圈, 其平面不与旋转面平行, 而是相交成一定的角度, 这种线圈称为蜂房式线圈。

3. 铁氧体磁芯和铁粉芯线圈

线圈的电感量大小与有无磁芯有关。在空心线圈中插入铁氧体磁芯, 可增加电感量和提高线圈的品质因数。

4. 铜芯线圈

铜芯线圈在超短波范围应用较多, 利用旋动铜芯在线圈中的位置来改变电感量, 这种调整比较方便、耐用。

5. 色码电感器

色码电感器是具有固定电感量的电感器, 其电感量标志方法同电阻一样以色环来标记。

6. 小型固定电感器

小型固定电感器通常是用漆包线在磁芯上直接绕制而成, 主要用在滤波、振荡、陷波、延迟等电路中, 它有密封式和非密封式两种封装形式, 两种形式又都有立式和卧式两种外形结构。

六、自感与互感

1. 自感

当线圈中有电流通过时, 线圈的周围就会产生磁场。当线圈中电流发生变化时, 其周围的磁场也产生相应的变化, 此变化的磁场可使线圈自身产生感应电动势 (感生电动势, 电动势用以表示有源元件理想电源的端电压), 这就是自感。

2. 互感

两个电感线圈相互靠近时, 一个电感线圈的磁场变化将影响另一个电感线圈, 这种影响就是互感。互感的大小取决于电感线圈的自感与两个电感线圈耦合的程度, 利用此原理制成的元件叫做互感器。

七、电感的测量

电感的质量检测包括外观和阻值测量。首先检测电感的外表是否完好, 磁性有无缺损, 有无裂缝, 金属部分有无腐蚀氧化, 标志是否完整清晰, 接线有无断裂或拆伤等。用万用表对电感作初步检测, 测线圈的直流电阻, 并与原已知的正常电阻值进行比较。如果检测值比正常值显著增大, 或指针不动, 可能是电感器本体断路。若比正常值小许多, 可判断电感器本体严重短路, 线圈的局部短路需用专用仪器进行检测。

第四节 半导体二极管

二极管又称晶体二极管, 简称二极管 (diode), 如图 1-7 所示。它是一种能够单向传导电流的电子器件。在半导体二极管内部有一个 PN 结、两个引线端子, 这种电子器件按照外加电压的方向, 具备单向电流的传导性。一般来讲, 晶体二极管是一个由 P 型半导体和 N 型半导体烧结形成的 P—N 结界面。在其界面的两侧形成空间电荷层, 构成自建电场。当外加电压等于零时, 由于 P—N 结两边载流子的浓度差引起扩散电流和由自建电场引起的漂移电流相等, 而处于电平衡状态, 这也是常态下的二极管特性。



图 1-7 二极管

(a) 符号; (b) 塑封外形

一、二极管特性

1. 正向性

外加正向电压时, 在正向特性的起始部分, 正向电压很小, 不足以克服 PN 结内电场的阻挡作用, 正向电流几乎为零, 这一段称为死区。这个不能使二极管导通的正向电压称为死区电压。当正向电压大于死区电压以后, PN 结内电场被克服, 二极管正向导通, 电流随电压增大而迅速上升。在正常使用的电流范围内, 导通时二极管的端电压几乎维持不变, 这个电压称为二极管的正向电压。当二极管两端的正向电压超过一定数值 U_{th} 时, 内电场很快被削弱, 电流迅速增长, 二极管正向导通。

U_{th} 叫做门坎电压或阈值电压, 硅管约为 0.5V, 锗管约为 0.1V。硅二极管的正向导通压降约为 0.6~0.8V, 锗二极管的正向导通压降约为 0.2~0.3V。

2. 反向性

外加反向电压不超过一定范围时, 通过二极管的电流是少数载流子漂移运动所形成反向电流。由于反向电流很小, 二极管处于截止状态。这个反向电流又称为反向饱和电流或漏电流, 二极管的反向饱和电流受温度影响很大。

3. 击穿

外加反向电压超过某一数值时, 反向电流会突然增大, 这种现象称为电击穿。引起电击穿的临界电压称为二极管反向击穿电压。电击穿时二极管失去单向导电性。

二、二极管的类型

二极管种类有很多, 按照所用的半导体材料, 可分为锗二极管 (Ge 管) 和硅二极管 (Si 管)。根据其不同用途, 可分为检波二极管、整流二极管、稳压二极管、开关二极管、隔离二极