

普通高等教育



“十五”

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

规划教材

电工技术实验及课程设计

褚南峰 主编 田丽鸿 副主编



中国电力出版社

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

普通高等教育



“十五”

规划教材

TM-33
21

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

电工技术实验及课程设计

主 编 褚南峰
副主编 田丽鸿
编 写 王桂珍 朱 军
主 审 陈菊红



中国电力出版社

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

RB M85 / 1511

内 容 简 介

《电工技术实验及课程设计》是根据《电工基础》、《电工学》、《电路分析》等课程的教学实验要求,面向 21 世纪人才培养和教学改革而编写的一本实用的实验及课程设计指导书。

全书共分为五篇 15 章,系统地介绍了电工学的基本原理和基本知识、常用电工电子仪器仪表的使用、直流电路实验、交流电路实验、电器控制及可编程控制器控制实验、EDA 技术应用实验、电工基本操作技能训练等内容。重点阐述了各实验的目的、原理、方法、步骤、注意事项以及电工课程设计的基本要求、目的、任务。本书提供了许多课程设计的题目,以备读者选用。附录中还对实验仪器和装置的使用方法及 EWB 软件的操作进行了说明。

本书能很好地适用于大学本科、专科、中专、技校、职业学校等不同层次院校开设相应的实验课。同时,可以为各院校的学生进行电工课程设计以及教师从事科研提供帮助。本书也可作为自学教材,或各类电工技术的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术实验及课程设计/褚南峰主编. —北京: 中国电力出版社, 2005

普通高等教育“十五”规划教材

ISBN 7-5083-3361-6

I. 电... II. 褚... III. 电工技术-实验-高等学校-教材 IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 040268 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 7 月第一版 2005 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 24.75 印张 576 千字

印数 0001—3000 册 定价 36.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富的教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专门人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些，都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其他已出版的各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有本学科（专业）的特色，而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同，同一门课程可以有多本教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审，推

荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要不断完善。因此，在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416237）

中国电力教育协会

前 言

实验室是培养人才、进行实践教学的重要的教学基地,培养实验能力和实验操作技能是高等工科大学重要的教学内容之一。实验教学是帮助学生学习 and 运用理论知识处理实际问题,验证、消化和巩固基本理论,获得实验技能和科学研究方法的重要环节。

本教材在编写上注重理论和实践的结合,充分考虑了工科院校学生的学习特点和国家对人才培养的要求,结合我国当前电工实验教学体系、内容和方法上的改革思想和教学水平,根据多年基础实验教学、改革研究的成果,在加强传统的工程实验教学手段的前提下,引入 EDA、PLC 等先进的实验技术和方法,满足了实验教学系统地、科学地培养学生的实际动手能力、理论联系实际能力以及科技创新能力的要求。

本教材具有以下特点:

1. 层次性、实用性强

考虑到各层次学生的学习基础,在内容的安排上尽量由浅入深,循序渐进,在注重基础的同时,侧重实用性,以提高学生的学习兴趣和能力,满足不同专业、不同要求的需要。

2. 注重能力培养

实践教学是培养学生能力最好和最直接的环节,也是最重要的环节。本教材增加了设计性实验的分量,同时,通过设置思考题、提出实验报告的具体要求等,达到全面提高学生分析问题和解决问题的能力的目标。

3. 注重先进性

引入了 EDA、PLC 等先进实验技术和方法,符合高等教育现代化的教学理念,适应了科学技术发展的需求。

4. 内容详略得当

对一些理论课上学过的内容、原理叙述从略。通过思考题,让学生主动思考,提高能力。对一些延伸和扩展的内容,考虑各层次学生的基础,则做了较为详细的分析说明(如 EDA 技术和 PLC 控制),以便于学生学习。此外,还增加了电工基本操作技能训练的内容,扩展了学生的知识面。

本书编写的主要目的是为了适应高等教育的新形势、新要求,因此内容涵盖面广,有一定深度,在注重拓宽学生的知识面,提高学生对电工实验的兴趣的同时,充实了学生的实际知识和动手能力,提高了综合应用、设计电路的能力。在使用时可根据实验室的具体条件对本教材的实验内容进行各种删选和调整,同样的题目可以在计算机上进行仿真,也可以通过实物搭接来完成。

本书由南京工程学院的褚南峰老师负责统稿及第二篇、第三篇的第二章的编写;南京工程学院的田丽鸿老师负责第一篇的第一章、第三篇的第一章、第四篇及附录 B 的编写;王桂珍老师负责第一篇的第二、三章、第五篇的第四章及附录 D 的编写;朱军老师负责第五篇

的第一章、第二章、第三章及附录 A、附录 C 的编写。南京工程学院的陈菊红副教授担任本书的主审，并对教材的体系和内容提出了宝贵的意见和建议。

该书的出版得到了中国电力出版社的大力支持，对此深表感谢。本书在编写过程中，参考了参考文献中的有关内容，在此向有关的老师表示谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者，特别是使用本书的教师和同学们批评、指正，提出宝贵的改进意见，力求进一步提高全书质量。

编 者

2004 年 8 月

目 录

序 前言

第一篇 电工学基本原理及实验基本知识概述

第一章 电工学基本原理概述	1
1.1 直流电路基本定律与定理概述	1
1.2 交流电路基本性质概述	5
1.3 磁路与铁心线圈电路概述	13
1.4 电动机及其控制概述	18
1.5 可编程控制器及其应用概述	26
第二章 电工学实验基本知识	27
2.1 电工学实验须知	27
2.2 实验步骤	27
2.3 实验的基本规则	28
2.4 实验中要注意的几个问题	29
2.5 常见故障的分析与检查	33
2.6 实验报告的撰写及要求	35
第三章 常用电工电子仪器仪表的使用	37
3.1 电工测量基本知识	37
3.2 指示式仪表的正确使用	38
3.3 基本电量的测量	42
3.4 常用电工仪表	45
3.5 常用电子仪器	55

第二篇 电工学基本实验

第一章 直流电路实验	67
1.1 元件的伏安特性 (实验一)	67
1.2 直流电路中的电位 (实验二)	72
1.3 叠加原理与基尔霍夫电流定律 (实验三)	74
1.4 戴维南定理 (实验四)	75
1.5 一阶电路的过渡过程 (实验五)	79
1.6 二阶电路的过渡过程 (实验六)	84

第二章 交流电路实验	89
2.1 交流电路特性的测量 (实验一)	89
2.2 RLC 串联谐振电路的测量 (实验二)	93
2.3 日光灯电路及功率因素的提高 (实验三)	98
2.4 三相交流电路参数的测量 (实验四)	103
2.5 单相变压器参数的测量 (实验五)	107
2.6 互感线圈参数的测量 (实验六)	110
2.7 非正弦交流电路的测量 (实验七)	113
2.8 二端口网络参数的测量 (实验八)	115
2.9 回转器 (实验九)	119
2.10 负阻抗变换器 (实验十)	123
第三章 交流电动机控制实验	129
3.1 三相异步电动机单向启动接触器控制实验 (实验一)	129
3.2 三相异步电动机点动和正反转控制实验 (实验二)	133
3.3 三相异步电动机的顺序控制实验 (实验三)	135
3.4 三相异步电动机的时间、多地点控制实验 (实验四)	136
3.5 具有自动往返功能的正反转控制电路实验 (实验五)	137
3.6 具有延时功能的自动返回的控制电路实验 (实验六)	139
3.7 三相异步电动机的能耗制动实验 (实验七)	140
3.8 三相异步电动机的反接制动实验 (实验八)	142
3.9 三相异步电动机的变频调速控制实验 (实验九)	144
第四章 可编程序控制器基本实验	148
4.1 可编程序控制器基本操作实验 (实验一)	148
4.2 基本操作指令实验 (实验二)	153
4.3 置位、复位及脉冲指令实验 (实验三)	157
4.4 栈及主控指令实验 (实验四)	162
4.5 定时器、计数器指令实验 (实验五)	166
4.6 步进顺控指令实验 (实验六)	169
4.7 分支及汇合指令实验 (实验七)	172
4.8 移位寄存器指令实验 (实验八)	177

第三篇 综合实验

第一章 EDA 技术应用 (EWB) 实验	182
1.1 线性直流电路的分析 (实验一)	182
1.2 交流电路的分析 (实验二)	184
1.3 电路的频域特性分析 (实验三)	187
1.4 一阶电路的过渡过程 (实验四)	188
1.5 二阶电路的过渡过程 (实验五)	192

1.6 RLC 串联电路及串联谐振 (实验六)	193
1.7 直流线性二端口网络的研究 (实验七)	195
1.8 负阻抗变换器 (实验八)	197
1.9 回转器 (实验九)	199
1.10 设计型实验 (一)——三相电路的研究	202
1.11 设计型实验 (二)——滤波器	203
第二章 可编程序控制器综合实验	206
2.1 交通信号灯的 PLC 控制实验 (实验一)	206
2.2 机械手的 PLC 控制实验 (实验二)	209
2.3 驱动步进电动机的 PLC 控制实验 (实验三)	213
2.4 舞台艺术灯饰的 PLC 控制实验 (实验四)	217
2.5 四层电梯的 PLC 控制实验 (实验五)	220
2.6 LED 数码显示的控制实验 (实验六)	228
2.7 PLC 功能指令应用实验 (实验七)	233
2.8 PLC 与变频器相连控制电动机实验 (实验八)	236
2.9 PLC 控制多台电动机顺序运行的实验 (实验九)	240
2.10 三相异步电动机 Y/ Δ 启动的 PLC 控制实验 (实验十)	244
2.11 PLC 对气动元件控制实验 (实验十一)	247

第四篇 课程设计

第一章 电工基础课程设计 (EWB 软件仿真)	250
1.1 万用表的设计和仿真	250
1.2 直流稳压电源的设计与仿真	264
第二章 电路与电器控制课程设计	269
2.1 电路与电器控制课程设计的目的、任务 and 基本要求	269
2.2 电器控制课程设计的安排和设计要求	270
2.3 电器控制课程设计题目	282
2.4 电器控制课程设计相关资料	288

第五篇 电工基本操作技能的训练

第一章 电工工具及使用方法	295
1.1 常用电工工具	295
1.2 线路装修工具	299
1.3 设备装修工具	302
1.4 焊接工具	303
第二章 安全用电基础	306
2.1 人体触电的有关知识	306

2.2 安全用电知识	308
2.3 触电的急救方法	310
第三章 线路的安装与维护	313
3.1 动力线路基础知识	313
3.2 低压配电箱的安装	313
3.3 电动机的安装	315
3.4 启动设备的安装	318
3.5 动力线路的维护保养	319
第四章 低压电器的使用	321
4.1 低压电器的分类与应用	321
4.2 低压电器选用综合实例	324
附录 A ETL 系列电工技术实验系统 (台)	330
A.1 概述	330
A.2 装置的构造及功能	330
A.3 装置的特点	332
A.4 使用中的注意事项	334
A.5 使用说明	335
附录 B 电路仿真软件 (EWB) 介绍	337
B.1 概述	337
B.2 电子工作台 EWB 的基本界面	338
B.3 EWB 的基本操作方法	345
附录 C 常用低压电器简介	364
C.1 低压电器的基本原理	364
C.2 常用低压电器	366
附录 D 可编程序控制器 (PLC) 简介	379
D.1 可编程序控制器的基本原理	379
D.2 三菱 FX 系列可编程序控制器的指令一览表	380
参考文献	385

第一篇 电工学基本原理及 实验基本知识概述

第一章 电工学基本原理概述

1.1 直流电路基本定律与定理概述

1.1.1 欧姆定律

一、定律内容

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。

二、表示公式

$$U = \pm RI \quad (1-1-1)$$

注意,式(1-1-1)中电压与电流参考方向一致时取“+”,反之取“-”。

三、适用范围

欧姆定律适用于线性电阻。

1.1.2 基尔霍夫定律

一、基尔霍夫电流定律

(一) 内容

在集中参数电路中,任一时刻,流入任一结点的电流之和应该等于由该结点流出的电流之和,简称 KCL。

(二) 表示公式

$$\sum i = 0 \quad (1-1-2)$$

(三) 注意事项

(1) 应用于结点或任一假设的闭合面。

(2) 列写 KCL 方程时,应根据各支路电流的参考方向是流入还是流出,来判断其在代数和中是取正号还是取负号。

(3) 由于各电流本身的值也有正、负,所以在使用 KCL 时必须注意两套正、负号。

(4) 基尔霍夫电流定律体现了电流的连续性,即流入某结点的电流总和等于流出该结点的电流总和。

(四) 适用范围

基尔霍夫电流定律只与电路的结构和连接方式有关,而与电路元件的性质无关,适用于一切集中参数电路。

二、基尔霍夫电压定律

(一) 内容

在集中参数电路中,任一时刻、任一回路的各段(或各元件)电压的代数和恒等于零,简称 KVL。

(二) 表示公式

$$\sum u = 0$$

(1-1-3)

(三) 注意事项

- (1) 应用于集中参数电路中的任一回路(必须先选定回路的绕行方向)。
- (2) 列写 KVL 方程时, 应根据各段电压参考方向与回路的绕行方向是否一致来判断其在代数和中是取正号还是取负号。

(3) 由于各电压本身的值也有正、负, 所以在使用 KVL 时必须注意两套正、负号。

(4) 基尔霍夫电压定律体现了电路中两点间的电压与路径选择无关这一性质。

(四) 适用范围

基尔霍夫电压定律只与电路的结构和连接方式有关, 而与电路元件的性质无关。适用于一切集中参数电路。

1.1.3 叠加定理

一、内容

在线性电路中, 所有独立电源共同作用所产生的响应都等于各个独立电源单独作用时所产生响应的叠加。

二、应用注意

(1) 独立电源分别作用时, 对暂不起作用的独立电源都应视为零值, 即电压源用短路代替, 电流源用开路代替, 而其他元件的连接方式都不应有变动。

(2) 各个电源单独作用下的响应, 应选择与原电路中对响应相同的参考方向, 在叠加时应把各部分响应的代数值代入。

(3) 叠加定理只能用来计算线性电路中的电压和电流, 而不能用来计算功率。

(4) 当电路中含有受控源时, 不能将受控源当作独立源让其单独作用, 而必须全部保留在各自的支路中。

三、适用范围

叠加定理只适用于线性电路。

1.1.4 替代定理

一、内容

在线性或非线性任意网络中, 若已知第 k 条支路的电压为 u_k , 电流为 i_k , 则不论该支路由什么元件组成, 只要各支路电压、电流均有唯一确定值, 那么这条支路就可以用以下三种元件中的任意一种来代替: ①电压为 u_k 的电压源; ②电流为 i_k 的电流源; ③阻值为 u_k/i_k 的电阻, 替代后, 不影响电路中其他部分的电压和电流。替代定理也称为置换定理。

二、应用注意

替代定理与等效变换不同。当被替代支路以外的电路发生变化时, 将会引起各处电压、电流的变化, 这时被替代支路需要以新的电压、电流或电阻值来替代而不能不变。但当电路等效变换时, 无论外部情况如何变化, 等效电路中的各参数总是不变的。

三、适用范围

- (1) 替代定理适用于线性或非线性的任意网络。
- (2) 替代定理常用来证明网络定理或用于网络的分析计算。

1.1.5 戴维南定理与诺顿定理

一、定理内容

戴维南定理：任何一个线性有源二端网络，对外总可以用一个电压源和电阻串联组合的电路模型来等效。该电压源的电压等于有源二端网络的开路电压，电阻等于将有源二端网络变成无源二端网络后的等效电阻。该电路模型称为戴维南等效电路。

诺顿定理：任何一个线性有源二端网络，对外总可以用一个电流源和电阻并联组合的电路模型来等效。该电流源的电流等于有源二端网络的短路电流，电阻等于将有源二端网络变成无源二端网络后的等效电阻。该电路模型称为诺顿等效电路。

二、应用注意

(1) 含有受控源的有源二端网络，受控源和控制量必须同处在被变换部分，才能对其应用戴维南定理与诺顿定理。

(2) 含有受控源的有源二端网络在求解等效电阻时，所有的受控源都必须保留，计算时常采用外加电源法。

(3) 对于一些内部结构和元件参数未知的有源二端网络，求它们的戴维南等效电路和诺顿等效电路时，可采用开路-短路法。

三、适用范围

由于在证明戴维南定理与诺顿定理的过程中用了叠加定理，因此要求有源二端网络必须是线性的。而负载部分用的是替代定理，对负载的性质并无特殊要求，它既可以是线性的，也可以是非线性的；可以是无源的，也可以是有源的；可以是一个元件，也可以是一个网络。

1.1.6 最大功率传输定理

一、定理内容

一个有源二端网络向负载 R_L 输送功率，该网络的戴维南等效电路是确定的，则当负载 R_L 等于该网络的戴维南等效电路的等效电阻 R_{eq} 时，负载从有源二端网络中获得最大功率。

二、应用注意

- (1) 负载获得的最大功率为

$$P_{\max} = \frac{U_{OC}^2}{4R_{eq}} \quad (1-1-4)$$

- (2) 在负载获得最大功率时，传输效率却很低，有一半的功率在电源内部消耗掉了。

三、适用范围

在无线电技术和通信系统中，传输的功率较小，效率属次要问题，应用较为普遍。

1.1.7 换路定律及电路的暂态过程

一、换路定律

(一) 定律内容

在动态电路的换路瞬间, 若电容电流和电感电压为有限值, 则电容电压不能跃变, 电感电流不能跃变。

(二) 公式表示

$$\left. \begin{aligned} u_C(0_+) &= u_C(0_-) \\ i_L(0_+) &= i_L(0_-) \end{aligned} \right\} \quad (1-1-5)$$

(三) 应用注意

- (1) 确定电路的初始值是进行暂态分析的一个重要环节。
- (2) 注意独立初始值和相关初始值的概念和计算方法的不同。

二、一阶电路的暂态过程

(一) 相关概念

- (1) 一阶电路: 只含有一种且只有一个(或等效为一个)储能元件的电路。
- (2) 暂态过程: 由于换路引起的稳定状态的改变, 必然伴随着能量的改变。而储能不可能跃变, 需要有一个过渡过程。实际电路中的过渡过程往往是短暂的, 故又称为暂态过程, 简称暂态。

(二) 分析方法

- (1) 全响应 = 零状态响应 + 零输入响应
- (2) 全响应 = 稳态响应 + 暂态响应
- (3) 三要素法:

$$\text{全响应} \quad f(t) = f(\infty) + [f(0_+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t \geq 0) \quad (1-1-6)$$

注意, 三要素法仅适用于一阶线性电路, 对二阶或高阶电路是不适用的。

(三) 一阶电路的阶跃响应

(1) 积分电路: 当时间常数 τ 足够大时, 输出与输入电压之间就近似为积分关系, 构成积分电路。

(2) 微分电路: 当时间常数 τ 足够小时, 输出与输入电压之间就近似为微分关系, 构成微分电路。

三、二阶电路的暂态过程

(一) 相关概念

- (1) 二阶电路: 电路响应的数学模型为二阶微分方程的电路。
- (2) 暂态过程: 由于短路引起的稳定状态的改变, 必然伴随着能量的改变, 而储能不可能跃变, 需要有一个过渡过程。实际电路中的过渡过程往往是短暂的, 故又称为暂态过程, 简称暂态。

(二) 分析方法

(1) 时域分析法: 直接采用求解微分方程的方法来分析电路的动态过程, 分析求解过程中所涉及到的都是时间变量, 这种方法称为时域分析法。

(2) 复频域分析法: 应用拉普拉斯变换把时域中的微分和积分运算变换为复频域中的代数运算, 从而把时域中的微分方程变换为复频域中的代数方程。这就是复频域分析法。

(三) RLC 串联电路的零输入响应

RLC 串联电路, 因为其电路方程是二阶微分方程, 因此无论是零输入响应, 或者是零状态响应, 电路过渡过程的性质都由其特征方程的特征根 P_1 、 P_2 来决定。

$$\text{其特征方程为} \quad LCP^2 + RCP + 1 = 0 \quad (1-1-7)$$

$$\text{特征根为} \quad P_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \left(\frac{1}{LC}\right)^2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega^2} \quad (1-1-8)$$

式中: $\delta = R/2L$, $\omega = 1/\sqrt{LC}$ 。

(1) 当 $\delta > \omega_0$, 即 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 则 $P_{1,2}$ 为两个不相等的负实根, 电路过渡过程的性质为过阻尼的非振荡过程。

(2) 当 $\delta = \omega_0$, 即 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 则 $P_{1,2}$ 为两个相等的负实根, 电路过渡过程的性质为临界阻尼的非振荡过程。

(3) 当 $\delta < \omega_0$, 即 $0 < R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 则 $P_{1,2}$ 为两个共轭复根, 电路过渡过程的性质为欠阻尼的减幅振荡过程。

(4) 若 $R = 0$, 则 $P_{1,2}$ 为两个不相等的纯虚根, 电路过渡过程的性质为欠阻尼的等幅振荡过程。

1.2 交流电路基本性质概述

1.2.1 交流电路的相量法

一、正弦量的相量表示法

(一) 正弦量的三要素

正弦量的三要素分别为角频率、振幅、初相位。要想完整地表示一个正弦量, 这三个要素缺一不可。如正弦电流 $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$ 。 (1-1-9)

(二) 正弦交流电路的相量法

如果直接利用正弦量的解析式来分析计算正弦交流电路, 将是非常繁琐和困难的。通常是采用复数表示正弦量, 把对正弦量的各种计算化为复数的代数运算, 从而大大简化正弦交流电路的分析计算过程, 这种方法称为相量法。

(三) 正弦量的相量表示

因为所有的激励和响应都是同频率的正弦量, 所以有效值和初相位就成为表征各个正弦量的主要内容。相量就通过对正弦量的有效值和初相位的表示, 来描述一个正弦量。

具体方法为：用上面带小圆点的大写字母来表示。如 $\dot{I}$ 表示电流相量， $\dot{U}$ 表示电压相量。以式 (1-1-9) 为例，该电流的相量为 $\dot{I} = I \angle \varphi_i$ 。

1.2.2 交流电路的频率特性

频率特性：响应与频率的关系称为电路的频率特性或频率响应。

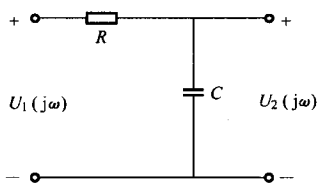


图 1-1-1 RC 低通滤波电路

一、RC 串联电路的频率特性

(一) 低通滤波电路

(1) 功能：具有使低频信号较易通过，而抑制较高频率信号的作用。

(2) RC 低通滤波电路，如图 1-1-1 所示。

(3) RC 低通滤波电路传递函数为

$$T(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (1-1-10)$$

式中， $|T(j\omega)|$ (幅频特性) 为 $|T(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad (1-1-11)$

$\varphi(\omega)$ (相频特性) 为 $\varphi(\omega) = -\arctan(\omega RC) \quad (1-1-12)$

(二) 高通滤波电路

(1) 功能：具有使高频信号较易通过而抑制较低频率信号的作用。

(2) RC 高通滤波电路，如图 1-1-2 所示。

(3) RC 高通滤波电路传递函数为

$$T(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \quad (1-1-13)$$

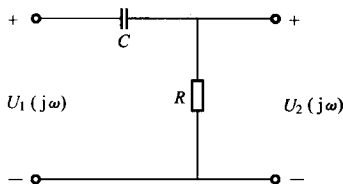


图 1-1-2 RC 高通滤波电路

式中， $|T(j\omega)|$ (幅频特性) 为

$$|T(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}} \quad (1-1-14)$$

$\varphi(\omega)$ (相频特性) 为

$$\varphi(\omega) = -\arctan\left(\frac{1}{\omega RC}\right) \quad (1-1-15)$$

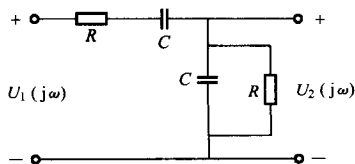


图 1-1-3 RC 带通滤波电路

(三) 带通滤波电路

(1) 功能：具有使某一频率范围的谐波分量通过而抑制其他谐波分量通过的功能。

(2) RC 带通滤波电路，如图 1-1-3 所示。

(3) RC 带通滤波电路传递函数为