

21 世纪物理学规划课改教材
大学物理实验丛书

丛书主编：冯笙琴

二级物理实验

ERJI WULI SHIYAN

朱世坤 聂宜珍 主编

第二版



科学出版社

www.sciencep.com

04-33/126=2

2008

21 世纪物理学规划教材

大学物理实验丛书

二 级 物 理 实 验

(第二版)

朱世坤 聂宜珍 主编

科 学 出 版 社

北 京

版权所有，侵权必究

举报电话：010-64030229；010-64034315；13501151303

内 容 简 介

本书为二级物理实验，共分三章，含有三十二个实验。主要包括第一章物理实验素质提高、第二章工程技术素质提高、第三章物理与技术结合，书末附有附录供学生参考所用。

本书为各专业的普及课程，各学校可根据自己的实验条件选择实验项目，适用于理、工、医、农、商等各学科专业。

图书在版编目 (CIP) 数据

二级物理实验/朱世坤, 聂宜珍主编. - 2 版 - 北京: 科学出版社, 2008
(21 世纪物理学规划课改教材·大学物理实验丛书/冯笙琴主编)
ISBN 978-7-03-022110-0

I. 二… II. ①朱…②聂… III. 物理学 - 实验 - 高等学校 - 教材
IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 071124 号

责任编辑: 张颖兵 吉正霞/责任校对: 梅 莹

责任印制: 董艳辉/封面设计: 苏 波

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市新华印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 10 月第 一 版

2008 年 6 月第 二 版 开本: 787×1092 1/16

2008 年 6 月第二次印刷 印张: 10 3/4

印数: 9 001~19 000 字数: 235 000

定价: 18.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《21 世纪物理学规划课改教材·大学物理实验丛书》

编委名单

主 编 冯笙琴

副主编 王忠龙 匡 健

编 委 (按姓氏笔画排序)

王忠龙 冯笙琴 匡 健

朱世坤 辛旭平 陈 明

陈德彝

序

早在 20 世纪,物理学的基本概念、思维方式和应用技术就被广泛应用于所有的自然科学和技术科学领域,促进了科学技术的飞速发展。物理学已经成为现代高科技的基础。

物理学是一门实验科学。在 21 世纪,为了培养适应时代需要的有创新能力的人才,改革物理实验教学十分重要。

传统的物理实验课着重于配合理论课的学习,给学生传授知识和技能。在实验过程中,学生基本上只是完成老师规定的要求,很少有机会发挥自己的创新思维和创造能力。《21 世纪物理学规划课改教材·大学物理实验丛书》在克服这一弊端,建立面向新世纪的物理实验体系方面,做出了创新性的尝试。本套丛书按照实验的基础普遍性、难易程度、知识的内在联系和学生的认知水平,将物理实验分为四级。一级实验定位为基础性实验;二级实验定位为提高性实验;三级实验定位为综合、设计性实验;四级实验则是将所学得的物理知识和各学科之间,特别是和信息科学之间交叉融合的创新性实验。这样一种安排,既符合循序渐进的认知规律,又突出了创新能力的培养,将学生从具有必要的基础,通过综合设计、交叉融合,一步步引向运用所学知识,在广泛的领域开展创造性的工作。本套丛书的体系是培养新世纪创新人才的全新教学体系。

承担教材编写的三峡大学是由有几十年历史的理、工、医科大学组合而成,有长期物理实验的教学实践经验,特别是 2003 年成立了省级物理实验示范中心,把建设目标定位为建成一流的省级物理实验示范中心,实行了对全校学生和社会的全方位开放,加快了实验教学改革进程。三峡大学物理实验示范中心在本科人才培养和社会服务中的地位日益显著,受到了广泛关注。所有这些为深层次课程体系改革打下了扎实的基础。

由冯筌琴等人编写的这套丛书,是三峡大学几十年物理实验教学经验的总结,更是几年教学改革经验的总结。本套丛书是一套具有创新体系的全新实验教材,编者都是在教学第一线工作的、具有丰富经验的教师。新实验教学体系在三峡大学经过教学实践考验,不断完善,形成了符合培养新世纪人才科技素质需要的新特色。

本套丛书适用面广泛,有丰富的物理实验内容和使用空间,各级实验都包含大学物理实验的各个知识范畴。不仅适用于三峡大学这样的综合性大学,也适用于广大理工科大学。相信本套丛书的出版将对新世纪大学物理实验的改革和发展起到很好的推动作用。

刘连寿

2005 年 7 月 28 日

第二版前言

大学物理实验是高校理、工科学生必修的、重要的基础课程。在整个本科教学中,大学生的素质教育和能力培养是一个重大课题,大学物理实验教学在这方面占有十分重要的地位。我们欣喜地看到,许多人文、管理和社会科学学科及其院系也开始重视培养学生的理学素质,并开设大学物理实验课程。如何面对新的形势,在大学物理实验教学中创造更为有利的环境和条件,突出学生的动手能力、创新意识和创新能力的培养,是我们共同追求和奋斗的目标。

三峡大学物理实验教学示范中心秉承“求索”和改革精神,努力探索以培养创新人才为目的课程体系、教学内容和教学方法,确立了“精选基础,加强提高,理工渗透,探索创新”的教学理念,重组了实验课程结构体系,确立了四级实验课程和教学体系。通过几年的教学实践,四级课程和教学体系被越来越多的师生接受,我们配套出版的四级实验教材也成为广大理、工科学生最喜爱的教材之一,并成为科学出版社与三峡大学物理实验教学示范中心创新出版的一个成功范例。

这套丛书第二版的出版发行,使我感到欣慰。与第一版相比,第二版作了较大的改动,内容更加新颖和现代化,更具有本层次示范教学的性质和意义;做了适当增删,增加了一些知识点和图形,删去了少量次要和相对落后的内容;对个别编写不当的地方进行了修订;对少量编辑、排版、校对错误进行了修正。

三峡大学物理实验教学示范中心是三峡大学实验教学改革的生产物,本丛书更是这项教学改革成果的结晶。改革的最终目标在于培养具有创新意识、创新精神和创新能力的人才,让我们一道共同努力。

冯筌琴

2008年5月

第一版前言

为适应我国科技、经济和社会发展的需要,必须积极探索新世纪高素质人才培养的规律。如何培养具有创新意识、创新精神和创新能力的人才,已成为高等教育的紧迫任务。物理实验是高校理、工科学生必修的、重要的基础课程,它在整个本科教学中培养学生的素质和能力方面占有十分重要的地位。如何面对新的形势,在物理实验教学中创造有利的环境和条件,重视学生的创新意识和创新能力的培养,是进一步深化物理实验教学改革的重要课题。

近年来,我们以三峡大学省级物理实验示范中心的成立为契机,努力探索以培养创新人才为目的课程体系,并积极开展教学内容和教学方法的改革,确立了“精选基础,加强提高,理工渗透,探索创新”的课程体系改革原则,重组实验课程结构体系,确立了四级物理实验课程体系。

一级物理实验定位为基础性物理实验,主要是关于仪器的使用、基本量测量、基本实验技能的训练和基本测量方法等,涉及力学、热学、电磁学、光学、近代物理实验的一些基本实验技能和基本知识点。

二级物理实验定位为提高性实验,分别从物理实验素质提高、工程技术素质提高和物理与技术结合三个方面安排实验项目。

三级物理实验定位为综合设计性实验,涉及的内容广泛,包括物理实验与工程技术、信息科学技术、材料科学、物理前沿科学等相结合的综合设计性实验。

通过以上三级物理实验课程的学习,要求学生学会如何做好实验,掌握研究物理规律和分析实验现象的思想和方法,学会分析和评价实验结果,达到激发学生强烈的学习热情、变被动学习为主动学习的目的。同时,配套实行全天候开放的运行模式,由以前教师排好实验、准备好仪器、学生来做实验的状态,过渡到学生在教师指导下,自己设计实验,自己准备仪器完成实验,从而培养和提高学生的综合思维和创造能力。

四级物理实验主要安排融合各分支学科和交叉学科的综合创新性实验。特别突出了物理实验与信息科学、物理前沿科学发展的融合。部分实验项目采取项目式管理模式,题目由学生自由选择,实验时间不受限制,实验室对学生实行全方位开放。由学生自己查阅资料、设计实验方案、选择仪器、独立完成实验、撰写总结报告并口头交流,注重创新意识和创新能力的培养,为学生提供发展个性和施展才能的机会。

本套教材共4本,分别为一、二、三、四级物理实验。

在课程安排上,一级实验为各专业的普及课程,适用于理、工、医、农、商等各学科;二级实验主要服务于理工类专业的学生;三级实验主要面向理科类学生;四级实验突出了物理实验与信息科学的融合,可适用于理科物理类专业、信息类专业,也可作为一些理工科专业的选修课程。

本套实验教材在选择实验项目时,注意引入现代科技知识,用新技术和新方法改造传统实验,不断更新教学内容,保证实验项目的先进性和与时俱进的特点。我们将传感器技

术、真空技术、光纤技术、磁共振技术、X 射线技术、光谱技术、电子隧道显微技术等现代技术应用到学生实验中,让学生掌握最新的科学技术成果。

为既能保证丛书的科学性、系统性,又能体现各分册的特色性,本套丛书采取分层次编辑责任制,设丛书主编,成立了《21 世纪物理学规划课改教材·大学物理实验丛书》编委会,并由丛书主编担任编委会主任,制定编写原则和编写大纲,全面负责丛书体系的框架结构。丛书的每个分册都设有主编,在编写过程中,各分册采取主编责任制,负责各分册的编辑和统稿工作。各分册完成编辑后,由编委会审阅,最后由丛书主编统稿。

在本套丛书出版之际,要特别感谢三峡大学物理实验示范中心的所有老师,这套教材是大家共同智慧和共同辛勤劳动汗水的结晶,是三峡大学几十年物理实验教学经验的总结,更是这几年教学改革成果的体现。本套丛书是一套具有创新体系的全新实验教材,编者都是在教学第一线工作的、具有丰富经验的教师。在主编和编委会的参与指导下,大家集体讨论各级教材编写方案,以具体分工、个人执笔的方式完成书稿,各部分撰写人的名单附在各自撰写部分之后。尽管一些老师未能直接参与教材的编写,但教材中也有他们多年的劳动和奉献。新实验体系在三峡大学经过多年教学实践的考验,不断完善,形成了符合培养新世纪人才科技创新素质的新特色。

本套丛书在编写过程中,得到了国家级有突出贡献的专家、国家“第一届高等学校教学名师奖”获得者——华中师范大学物理学院刘连寿教授的关心和支持,他对本套丛书提出了许多指导性的建议和意见,使我们深受启迪;同时他还欣然为本套丛书作序,对本套丛书进行评荐,在此对他表示深深谢意!

在本套丛书的编写过程中,得到了学校和理学院有关领导石亚非、马克雄、孟庆义、杨斌、王忠龙、匡健、罗从文、于林、余瑞福等同志的大力支持,在此一并感谢!

三峡大学省级物理实验示范中心是国家、湖北省和三峡大学实验教学改革产物,本套丛书的出版更是这项改革成果的结晶。本套丛书的编写,得到了湖北省 2004 年高等学校教学研究项目“大学物理实验教学示范中心建设的研究与实践”(项目编号:20040193)和三峡大学“新世纪本科教育教学改革工程”第三批立项项目“开放型、创新型、全方位实验教学改革方法研究与实践”(项目编号:B2005005)的资助。

冯笙琴

2005 年 7 月 28 日

目 录

第一章 物理实验素质提高	1
实验一 RLC 电路暂态过程的研究	1
实验二 谐振电路研究	9
实验三 衍射光栅测波长	14
实验四 最小偏向角法测折射率	18
实验五 光的衍射现象的研究	22
实验六 金属逸出电势的测定	27
实验七 弗兰克-赫兹实验	31
实验八 电子比荷的测量	37
实验九 光偏振现象的研究	44
实验十 自组显微镜与望远镜	45
实验十一 制作全息光栅	46
第二章 工程技术素质提高	49
实验十二 动态法测杨氏模量	49
实验十三 用波尔共振仪研究受迫振动	53
实验十四 不良导体导热系数的测定	58
实验十五 交流电桥	62
实验十六 pn 结正向压降与温度关系的研究	73
实验十七 电子束偏转与聚焦	78
实验十八 相对介电常数的测定	84
实验十九 螺线管内磁场的研究	88
实验二十 用焦距仪测透镜焦距与分辨本领	96
实验二十一 透镜组基点的测定	100
实验二十二 非线性元件的伏安特性的测定	104
第三章 物理与技术结合	107
实验二十三 霍尔效应及其应用	107
实验二十四 直流非平衡电桥电压输出特性的研究	112
实验二十五 铁磁材料的磁滞回线与基本磁化曲线	117
实验二十六 观测光的旋光现象	126
实验二十七 光敏电阻特性研究	129

实验二十八 光纤音频信号传输技术·····	131
实验二十九 非线性电路研究混沌现象·····	136
实验三十 透明物质折射率的测定·····	140
实验三十一 用金属箔式电阻应变片做非平衡电桥的应用·····	147
实验三十二 光纤位移传感器的测速应用·····	153
参考文献·····	155
附录 A 物理学常量表·····	156
附录 B 中华人民共和国法定计量单位·····	157

第一章 物理实验素质提高

通过一级物理实验的学习,学生初步掌握了物理实验的基本知识、基本技能和基本方法,接受了科学实验的初步训练。本章的教学目的是力图使学生的物理实验素质得到进一步的提高,为以后更高层次的学习奠定基础。

学习本章内容,学生要以实验设计者的角度去钻研、领会、审视各实验原理;比较、选择科学合理的实验方法;根据测量要求,合理选配测量仪器和实验装置;筛选出最佳测量条件,确定最佳实验参数;提出实验方案。

要达到这一目的,教学计划应遵循学生认识事物的规律,循序渐进,由浅入深,从感性到理性。第一阶段,学生在教师的指导下,认真地剖析每一个实验,分析每个实验如何建立物理模型,如何处理间接量与直接量的关系,如何回避不易测量的量,怎样减小测量结果的不确定度等。第二阶段,在实验过程中引导学生认真地观察实验现象,仔细测量实验数据,不要轻易放过异常现象和异常数据,要查明原因并得出合理的解释,培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力。

在此基础上,适当安排知识深度恰当、难度适中的实验项目让学生进行初步的设计,提出符合实验要求的实验方案,并对方案付诸实施,让学生学习实验、研究实验、亲手做实验,系统地学习实验知识,锻炼实验能力,提高物理实验素质。

实验一 RLC 电路暂态过程的研究

RLC 电路的暂态特性在实际工作中十分重要,例如,在脉冲电路中经常遇到元件的开关特性和电容充放电的问题;在电子技术中常利用暂态特性来改善波形或是产生特定波形。在某些情况下,暂态特性也会造成危害,例如,在接通、切断电源的瞬间,暂态特性会引起电路中电流、电压过大,造成电器设备和元器件的损坏,这是需要防止的。

一、实验目的

- (1) 观察 RC, RL 电路的暂态过程,理解电容、电感特性及时间常数 τ 的物理意义。
- (2) 观察 RLC 串联电路的暂态过程,理解阻尼振动规律。

二、实验原理

电压由一个值跳变到另一个值时称为“阶跃电压”,如图 1-1 所示。在阶跃电压作用下,RLC 串联电路由一个平衡态跳变到另一个平衡态,这一转变过程称为暂态过程。在此期间电路中的电流、电容及电感上的电压呈现出规律性的变化,称为暂态特性。这一过

程主要由电容、电感的特性所决定。在实验中观察分析 RLC 串联电路暂态过程中电压及电流的变化规律。

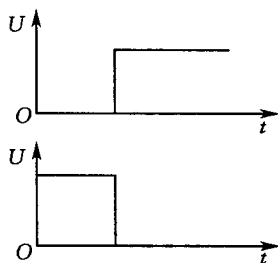


图 1-1 阶跃电压

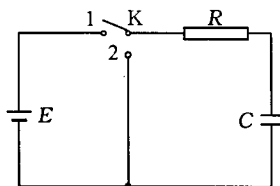


图 1-2 RC 电路的暂态过程电路图

1. RC 电路的暂态过程

电路如图 1-2 所示,当电键 K 合向“1”时,直流电源 E 通过 R 对电容 C 充电;在电容 C 充电后,把电键 K 从“1”合向“2”,电容 C 将通过 R 放电。根据基尔霍夫电压定律,分别得出充电和放电过程的方程为

$$\begin{cases} \text{充电过程} & U_C + iR = E \\ \text{放电过程} & U_C + iR = 0 \end{cases} \quad (1-1)$$

将 $i = C \frac{dU_C}{dt}$ 代入式(1-1),得

$$\begin{cases} \text{充电过程} & \frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{RC} U_C = \frac{E}{RC} \quad (t=0 \text{ 时}, U_C=0) \\ \text{放电过程} & \frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{RC} U_C = 0 \quad (t=0 \text{ 时}, U_C=E) \end{cases} \quad (1-2)$$

$$(1-3)$$

方程的解分别为

充电过程

$$\begin{cases} U_C = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \\ i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{或} \quad U_R = E e^{-\frac{t}{RC}} \end{cases} \quad (1-4)$$

放电过程

$$\begin{cases} U_C = E e^{-\frac{t}{RC}} \\ i = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{或} \quad U_R = -E e^{-\frac{t}{RC}} \end{cases} \quad (1-5)$$

由上述公式可知,在充电过程中, U_C 和 i 均按指数规律变化,充电时 U_C 逐渐加大,放电时则逐渐减小。式(1-5)中电流的负号表示放电过程的电流方向与充电过程相反。

实验中,可通过 U_R 来观察 i 的变化。 U_C 和 U_R 随时间变化的曲线如图 1-3 所示。在阶跃电压作用下, U_C 不是跃变,而是渐变接近新的平衡数值,其原因在于电容 C 是储能元件,在暂态过程中能量不能跃变。

在充电瞬间,充电电流 i 非常大,这是因为 $i = \frac{CdU_C}{dt}$,但同时 i 的变化也要受到电阻 R

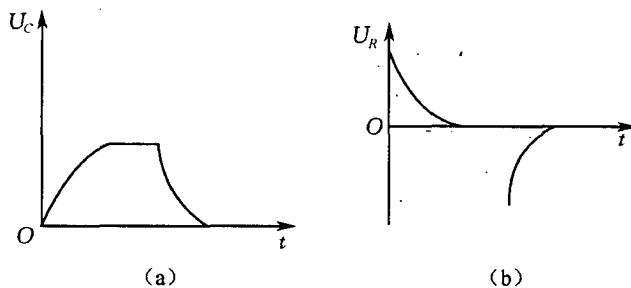


图 1-3 U_C 和 U_R 随时间变化的曲线图

的制约,不可能无限大,它由下式决定:

$$i = \frac{U_R}{R} = \frac{E - U_C}{R} \quad (1-6)$$

令 $\tau = RC$, τ 称为 RC 电路的时间常数。在式(1-5)中,当 $t = \tau = RC$ 时,有

$$U_C = Ee^{-1} = 0.368E \quad (1-7)$$

可见, τ 表示放电过程中, U_C 由 E 衰减到 E 的 36.8% 所需的时间。 τ 值越大, U_C 变化越慢,即电容(充)放电进行得越慢。图 1-4 给出了不同 τ 值的 U_C 衰减曲线。一般认为 $t = 5\tau$ 时,基本达到新的稳定态,这时 $U_C = Ee^{-5} = 0.007E$ 。

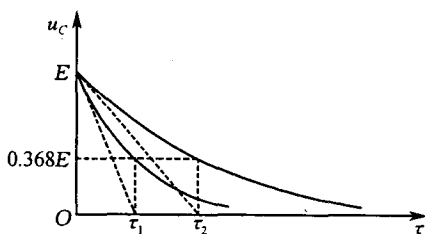


图 1-4 不同 τ 值的 u_C 衰减曲线

通过时间常数 τ , 电压 u_C 和时间 t 以及 R , C 数值之间建立了对应关系。根据这一特性可制成延时电路。该电路在实际中有广泛应用,例如用于自动熄灭的节能灯。

2. RL 电路的暂态过程

电路如图 1-5 所示,当电键 K 合向“1”时,电路中有电流 i 流过,但由于通过电感的电流不能突变,电流 i 的增长有一个相应的变化过程。同理,当电键 K 从“1”合向“2”时, i 也不会骤然降至零,而只会逐渐消失。

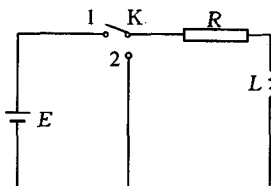


图 1-5 RL 电路的暂态过程电路图

方程为

$$\begin{cases} \text{电流增长过程} & L \frac{di}{dt} + iR = E \quad (t=0 \text{ 时}, i=0) \\ \text{电流消失过程} & L \frac{di}{dt} + iR = 0 \quad (t=0 \text{ 时}, i=\frac{E}{R}) \end{cases} \quad (1-8)$$

方程的解分别为

电流增长过程

$$\begin{cases} U_L = Ee^{-\frac{t}{\tau}} \\ i = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad \text{或} \quad u_R = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \end{cases} \quad (1-10)$$

电流消失过程

$$\begin{cases} u_L = -Ee^{-\frac{t}{\tau}} \\ i = \frac{E}{R}e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{或} \quad u_R = Ee^{-\frac{t}{\tau}} \end{cases} \quad (1-11)$$

可见,不论是电流增长过程还是电流消失过程, U_R 和 U_L 都是按指数规律变化,电路的时间常数 $\tau = L/R$ 。图 1-6(a)、图 1-6(b)分别画出了电流增长和电流消失两个过程的 U_L-t 和 U_R-t 曲线图形。

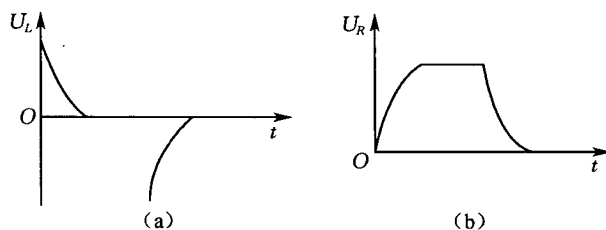


图 1-6 U_L-t 和 U_R-t 曲线图

3. RLC 串联电路的暂态过程

电路如图 1-7 所示。电键 K 合向“1”使电容充电至 E ,然后把 K 合向“2”,电容在闭合的 RLC 电路中放电。此时,电路方程为

$$L \frac{di}{dt} + Ri + U_C = 0$$

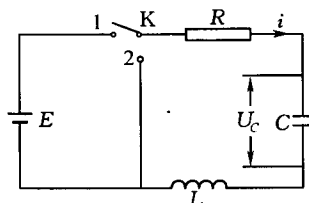


图 1-7 RLC 串联电路的暂态过程电路图

将 $i = \frac{CdU_C}{dt}$ 代入上式,得

$$LC \frac{d^2 U_c}{dt^2} + RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = 0 \quad (1-12)$$

根据初始条件 $t=0$ 时, $U_c=E$, $\frac{dU_c}{dt}=0$, 解方程。方程的解分为三种情况。

(1) $R^2 < \frac{4L}{C}$ 属于阻尼较小的情况, 其解为

$$U_c = \sqrt{\frac{4L}{4L-R^2C}} E e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega t + \varphi) \quad (1-13)$$

式中, 时间常数为

$$\tau = \frac{2L}{R} \quad (1-14)$$

衰减振动的角频率为

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2C}{4L}} \quad (1-15)$$

U_c 随时间变化的规律如图 1-8 中曲线 I 所示, 即阻尼振动状态。此时振动的振幅呈指数衰减。 τ 的大小决定了振幅衰减的快慢, τ 越小, 振幅衰减越迅速。

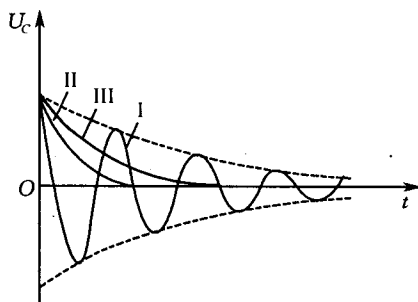


图 1-8 U_c 随时间变化的曲线图

如果 $R^2 \ll \frac{4L}{C}$, 通常是 R 很小的情况, 振幅的衰减很缓慢, 从式(1-15)可知

$$\omega \approx \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \quad (1-16)$$

此时近似为 LC 电路的自由振动, ω_0 为 $R=0$ 时 LC 回路的固有频率。衰减振动的周期为

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \approx 2\pi \sqrt{LC} \quad (1-17)$$

(2) $R^2 > \frac{4L}{C}$ 对应于过阻尼状态, 其解为

$$U_c = \sqrt{\frac{4L}{4L-R^2C}} E e^{-\alpha t} \text{sh}(\beta t + \varphi) \quad (1-18)$$

式中, $\alpha = \frac{R}{2L}$; $\beta = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{R^2C}{4L} - 1}$ 。

式(1-18)所表示的 U_c-t 的关系曲线如图 1-8 中曲线 II 所示, 它是以缓慢的方式回零。可以证明, 若 L 和 C 固定, 随电阻 R 的增长, U_c 衰减到零的过程更加缓慢。

(3) $R^2 = \frac{4L}{C}$ 对应于临界阻尼状态,其解为

$$U_c = E \left(1 + \frac{t}{\tau} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1-19)$$

式中, $\tau = \frac{2L}{R}$ 。它是从过阻尼到阻尼振动的过渡分界, U_c-t 的关系如图 1-8 中的曲线 III。

对于充电过程,即电键 K 先在“2”,待电容放电完毕,再将 K 合向“1”,电源 E 将对电容充电,于是电路方程变为

$$LC \frac{d^2 U_c}{dt^2} + RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = E \quad (1-20)$$

初始条件为 $t=0$ 时, $U_c=0$, $\frac{dU_c}{dt}=0$, 方程解为

$$\begin{cases} R^2 < \frac{4L}{C}, U_c = \sqrt{\frac{4L}{4L-R^2C}} E e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega t + \varphi) \end{cases} \quad (1-21)$$

$$\begin{cases} R^2 > \frac{4L}{C}, U_c = \sqrt{\frac{4L}{4L-R^2C}} E e^{-\alpha t} \text{sh}(\beta t + \varphi) \end{cases} \quad (1-22)$$

$$\begin{cases} R^2 = \frac{4L}{C}, U_c = E \left(1 + \frac{t}{\tau} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \end{cases} \quad (1-23)$$

可见,充电过程和放电过程十分类似,只是最后趋向的平衡位置不同。

4. 观察暂态过程的方法(以 RC 电路为例)

本实验所研究的电路,其参数的暂态过程非常短暂,用扳电键 K 记停表时间和读电压表数值这样的普通操作方法是无法观测的,因此这里采用的是“电子电路”法,其电路、仪器如图 1-9 所示。图中, R 和 C 串联构成待测电路。功率函数信号发生器输出方波信号,其电压 U_1 相当于图 1-2 中的 E 和周期性的转换开关 K; U_c 的暂态过程波形由示波器显示出来。

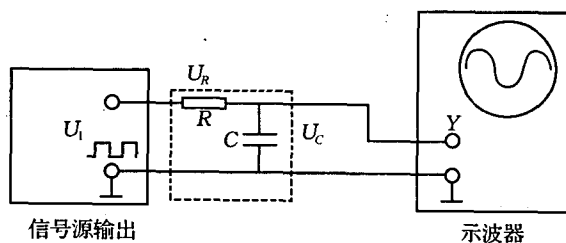


图 1-9 采用“电子电路”法观察暂态过程的电路图

图 1-10 是 U_1, U_c 的波形图。以 U_1 的第一个方波 $abcd$ 为例来说明实现的过程。 U_1 包含着两个阶跃:上升阶跃 ab ,它对应的时刻为 t_1, t_2 为下降阶跃时刻(cd)。在 U_1 上升阶跃的“作用”下,产生了 U_c 的上升暂态过程,此过程经历了 t_1 至 t'_1 时间,这是电路的充电暂态过程。 t'_1 至 t_2 是电路的稳态期间。同样分析可得: t_2 至 t'_2 是电路的放电暂态过程, t'_2 至 t_3 是电路的稳态期间。

示波器不但能显示 U_1 和 U_c 的波形,而且能测出有关的时间间隔。

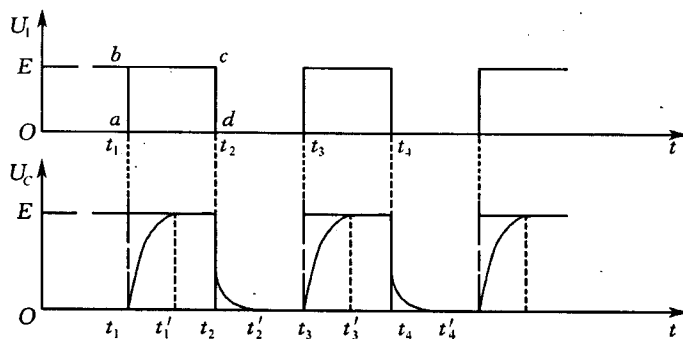


图 1-10 U_1 和 U_c 的波形图

5. 信号源为矩形脉冲时的暂态过程

如果将矩形脉冲(如方波)接到 RC 电路中,这时电容及电阻上的电压变化与前述直流电源作用下的结果有所不同。由于方波输出周期的变化($0 \rightarrow E \rightarrow 0 \rightarrow E \rightarrow \dots$)使得电容不断充、放电,经过几个周期后,充放电过程趋于稳定,在荧光屏上看到的是达到稳定后的波形,如图 1-11 所示。充、放电过程中电容及电阻上的电压波形为

电容器充电过程

$$\begin{cases} U_c(t) = E \left(1 - \frac{e^{-\frac{t}{\tau}}}{1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}} \right) \\ U_R(t) = \frac{E e^{-\frac{t}{\tau}}}{1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}} \end{cases} \quad (1-24)$$

电容器放电过程

$$\begin{cases} U_c(t) = \left(\frac{E}{1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \\ U_R(t) = - \left(\frac{E}{1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \end{cases} \quad (1-25)$$

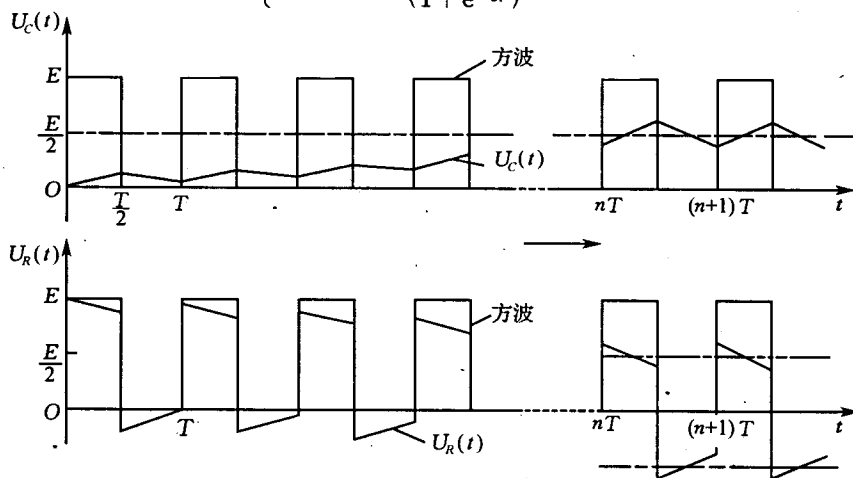


图 1-11 信号源为矩形脉冲时的波形