

高等学校适用教材

电路与电子技术教程

李青 潘岚 刘伯恕 编

中国计量出版社

高等学校适用教材

电路与电子技术教程

李青 潘岚 刘伯恕 编

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电路与电子技术教程/李青, 潘岚, 刘伯恕编. —北京: 中国计量出版社, 2001
(高等学校适用教材)
ISBN 7-5026-1433-8

I. 电… II. ①李…②潘…③刘… III. ①模拟电路 电子技术 高等学校-教材
②数字电路 电子技术 高等学校-教材 IV. TN7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 12280 号

内 容 简 介

本书包括电路基础、模拟电子技术、数字电子技术三部分内容, 在编排上力求将这三部分内容有机地融合处理, 试图达到用较少的学时完成相对较多内容的教学。书中“电路基础”的内容不多, 仅为满足“电子技术”对“电路基础”的需要而设置。“电子技术”的内容中通过对由分立元件或小规模集成器件构成的电子电路的学习, 理解电子电路的工作原理; 以学习集成运放和中、大规模集成器件的应用, 掌握电子技术的应用并了解电子技术发展的趋势。

本书可作为普通高等学校测控技术与仪器、计算机科学与技术、自动化、机械设计制造及自动化 (机电一体化或机械电子工程方向) 等专业的“电工电子学”、“电子技术”课程的教学用书, 可作为各类成人高等学校相关专业的学生、自学者学习用书, 还可供相关领域的工程技术人员参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

北京市通鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm × 1092 mm 16 开本 印张 36.5 字数 891 千字

2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月第 1 次印刷

*

印数 1—45 000 定价: 49.00 元

前 言

本书的内容于 1997 年在中国计量学院的仪器仪表类各专业试讲,在此基础上,1998 年 3 月形成校内使用教材,又在 2000 年内完成重新编排和部分改写的修订工作,从而成为现教程。

本教材具有这样一些特点:①在电路基础与电子技术的内容量的安排上,是以前者满足后者所必须的基础知识为前提,尽量减少前者的篇幅,适当增加后者的篇幅以跟踪电子技术的发展、满足后续课程和专业发展的需要。②将电路、电子技术融为一体进行编写,如在介绍电路基础理论的同时引入电子元件的电路模型,在第 10 章中把学习暂态电路与波形发生电路结合在一起,使读者在学习电路理论的同时可掌握电路理论在电子技术中的直接应用。③将编者的教学体会和方法引入教材,如在第 4 章中编者提出了“电位增量变化原则”以帮助读者掌握反馈的判别。④通过对电子仪器设备与局部电路的关系描述,提高读者对局部电路作用的了解,从而增加对局部电路的兴趣和关注。⑤跟踪 EDA(电子设计自动化)的发展,引入 PLD(可编程逻辑器件)应用、编程的教学内容。⑥引入了电流模电路和 $\Sigma-\Delta$ 电路,让读者了解电子电路的不同思考角度和实现方式。⑦以精密放大电路的实现向读者介绍了电子电路的抗干扰和低漂移、低噪声放大电路的一些实用技术。

鉴于上述特点以及本教材的篇幅,本教材适用于测控技术与仪器、计算机科学与技术、生物医学工程、自动化、机械设计制造及其自动化(机电一体化或机械电子工程方向)、热能与动力工程、核工程与核技术、过程装备与控制工程、安全工程等诸专业的电类技术基础课(包括电路基础、模拟电子技术、数字电子技术)的教学需要。本教材的教学总学时数约为 190~230 学时(其中包括实验教学 50~65 学时)。

本教材是我校电工电子教学组同仁们的教学观念、教学思想的集中反映,有许多想法是大家在日常教学讨论中形成的。在此特别由衷地感谢我们的前辈、电工电子教研室的老主任吴项老师,他是本教材的编写顾问,在整个编写过程中他始终对编写的大方向和具体内容给予许多指点和关注。在确定编写本教材以及在编写和出版过程中,我们还得到我校电工电子教研室和实验室、高教研究室、教务处、教材科的诸多老师们和学校领导的帮助和关心,我们对于他们的帮助和关心深表感谢。

大连理工大学唐介教授(高等学校电工学课程教学指导小组组长)、浙江大学叶挺秀教授(高等学校电工学课程教学指导小组副组长)、上海交通大学朱承高教授(高等学校电工学课程教学指导小组委员)于1999年7月~10月间对本书的1998年3月版(校内用)进行了评审,并提出了许多宝贵意见,此稿的形成正是基于他们的宝贵意见,在此对他们的辛勤劳动和提出的宝贵意见表示深深的谢意。

本教材由李青主编,其中第1,2章和第10章的部分由刘伯恕编写,第6,7,8,9,11章由潘岚编写,第3,4,5,10,12,13章以及附录由李青编写。

由于我们的学识水平所限,教材中缺点、错误在所难免,恳请使用本教材的老师、同学们批评指正。

编 者

2001年元月于中国计量学院

目 录

第 1 章 电路元件与电路理论基础	(1)
§ 1.1 电路的基本物理量	(1)
1.1.1 电路的组成与电路模型	(1)
1.1.2 电路的基本物理量	(2)
§ 1.2 电路的基本定律	(5)
1.2.1 欧姆定律	(5)
1.2.2 基尔霍夫定律	(6)
§ 1.3 电路元件	(8)
1.3.1 无源元件	(8)
1.3.2 电源	(11)
1.3.3 半导体二极管	(17)
1.3.4 半导体三极管(双极型晶体管)	(24)
1.3.5 场效应管	(31)
§ 1.4 电路的基本分析方法	(36)
1.4.1 支路电流法	(36)
1.4.2 节点电位法	(38)
1.4.3 叠加原理	(41)
1.4.4 戴维南定理与诺顿定理	(44)
自我测试与复习题(1)	(47)
习题(1)	(50)
第 2 章 正弦交流电路与变压器	(59)
§ 2.1 正弦量的概念	(59)
2.1.1 频率与周期	(60)
2.1.2 幅值与有效值	(60)
2.1.3 初相位	(61)
§ 2.2 正弦量的相量表示法	(62)
§ 2.3 单一参数元件的交流电路	(65)
2.3.1 电阻元件的交流电路	(65)
2.3.2 电感元件的交流电路	(66)
2.3.3 电容元件的交流电路	(68)
§ 2.4 简单交流电路与阻抗的概念	(71)
2.4.1 RLC 串联电路中电压与电流的关系	(72)

2.4.2 复阻抗的概念与简单交流电路的计算	(76)
§ 2.5 交流电路的功率	(80)
§ 2.6 交流电路的频率特性	(82)
2.6.1 串联谐振	(82)
2.6.2 并联谐振	(85)
2.6.3 RC 串联电路的频率特性	(86)
§ 2.7 非正弦周期电路的基本分析方法	(88)
2.7.1 非正弦周期量的分解	(89)
2.7.2 非正弦周期电流的线性电路的计算	(91)
§ 2.8 三相交流电路	(92)
2.8.1 三相电源	(93)
2.8.2 三相负载的联接	(94)
2.8.3 三相功率	(98)
§ 2.9 变压器	(99)
2.9.1 铁心线圈电路	(99)
2.9.2 变压器的结构、工作原理与特性	(101)
2.9.3 变压器绕组的极性与正确联接	(103)
2.9.4 特殊变压器	(105)
自我测试与复习题(2)	(109)
习题(2)	(111)
第3章 基本放大电路	(118)
§ 3.1 电子技术与电子仪器、设备的关系	(118)
3.1.1 电子仪器、设备的概念	(118)
3.1.2 电子技术与电子仪器、设备的关系	(118)
3.1.3 电子仪器、设备的构成	(118)
§ 3.2 基本放大电路的组成	(119)
3.2.1 组成原则	(119)
3.2.2 共射极交流基本放大电路的组成	(120)
3.2.3 电路分析的几点说明	(120)
§ 3.3 单管共射放大电路	(121)
3.3.1 放大电路的工作原理	(121)
3.3.2 静态工作点的分析与计算	(121)
3.3.3 动态参数的分析与计算	(124)
3.3.4 稳定静态工作点	(130)
§ 3.4 单管放大电路三种接法及性能比较	(134)
3.4.1 共集电极放大电路(射极输出器)	(134)
3.4.2 共基极基本放大电路	(136)
3.4.3 三种接法的性能比较	(137)
§ 3.5 绝缘栅型场效应管放大电路	(137)

3.5.1 共源放大电路	(137)
3.5.2 共漏放大电路	(139)
3.5.3 MOS管放大电路的特点	(140)
§ 3.6 放大电路的频率特性	(141)
3.6.1 频率特性与波特图	(141)
3.6.2 影响频率特性的主要因素	(142)
3.6.3 放大电路的线性失真(频率失真)现象	(144)
§ 3.7 多级放大电路	(144)
3.7.1 多级放大电路的组成与耦合方式	(145)
3.7.2 直接耦合放大电路的特点	(146)
自我测试与复习题(3)	(149)
习题(3)	(150)
第4章 集成运算放大器及其应用	(156)
§ 4.1 集成运算放大器的组成电路简介	(156)
4.1.1 差动放大电路	(156)
4.1.2 恒流源与复合管电路	(162)
4.1.3 典型集成运放介绍	(165)
§ 4.2 集成运算放大器的参数与使用注意事项	(169)
4.2.1 集成运算放大器的参数	(169)
4.2.2 使用集成运放的注意事项	(170)
§ 4.3 集成运算放大器的等效电路	(174)
§ 4.4 放大电路中的反馈	(175)
4.4.1 反馈的类别与判断	(175)
4.4.2 负反馈对放大电路性能的影响	(182)
§ 4.5 集成运算放大器的线性应用	(184)
4.5.1 运放线性应用的条件和分析特点	(185)
4.5.2 比例运算电路	(187)
4.5.3 加、减运算电路	(189)
4.5.4 积分与微分运算电路	(191)
4.5.5 对数与指数运算电路	(194)
4.5.6 电压、电流变换	(195)
4.5.7 线性整流电路	(196)
4.5.8 限幅电路	(198)
§ 4.6 模拟信号比较电路	(200)
4.6.1 运放非线性应用的条件和分析特点	(200)
4.6.2 单限电压比较器	(201)
4.6.3 滞回电压比较器	(202)
自我测试与复习题(4)	(206)
习题(4)	(208)

第5章 功率电子电路	(220)
§ 5.1 功率放大电路	(220)
5.1.1 对功率放大电路的要求	(220)
5.1.2 乙类互补对称功放电路	(220)
5.1.3 甲乙类互补对称电路	(222)
5.1.4 准互补对称电路	(223)
§ 5.2 直流稳压电源	(223)
5.2.1 单相桥或整流电路	(224)
5.2.2 滤波电路	(226)
5.2.3 稳压二极管稳压电路	(228)
5.2.4 线性串联型稳压电路与集成三端稳压器	(230)
§ 5.3 电力电子电路简介	(236)
5.3.1 大功率开关器件	(237)
5.3.2 可控整流与逆变电路	(240)
5.3.3 开关稳压电路简介	(247)
自我测试与复习题(5)	(250)
习题(5)	(251)
第6章 逻辑代数基础	(255)
§ 6.1 数字系统的概念	(255)
§ 6.2 逻辑运算与逻辑函数	(257)
6.2.1 逻辑代数的基本概念	(257)
6.2.2 三种基本逻辑运算关系	(257)
6.2.3 逻辑函数的表示方法	(258)
6.2.4 常用复合逻辑运算	(259)
§ 6.3 逻辑代数的运算规则	(261)
6.3.1 逻辑代数的基本运算公式与定理	(261)
6.3.2 若干常用逻辑公式	(262)
§ 6.4 逻辑函数的化简方法	(262)
6.4.1 逻辑函数的标准形式与化简的意义	(262)
6.4.2 逻辑函数的公式化简法	(264)
6.4.3 逻辑函数的卡诺图化简法	(265)
§ 6.5 具有约束项的逻辑函数	(270)
6.5.1 约束项的概念	(270)
6.5.2 具有约束项逻辑函数的化简	(271)
§ 6.6 逻辑函数不同表达形式之间的相互转换	(272)
自我测试与复习题(6)	(274)
习题(6)	(275)
第7章 集成逻辑单元	(282)
§ 7.1 TTL集成逻辑门电路	(282)

7.1.1 由分立元件构成的逻辑门电路	(282)
7.1.2 TTL 集成逻辑门电路的特点	(283)
7.1.3 TTL 集成门电路的主要参数	(285)
7.1.4 集电极开路门与三态门	(289)
§ 7.2 CMOS 集成逻辑门电路	(292)
7.2.1 CMOS 逻辑门电路的特点	(292)
7.2.2 几种特殊 CMOS 集成逻辑门电路	(294)
§ 7.3 RS 触发器	(295)
7.3.1 触发器的特性	(295)
7.3.2 基本 RS 触发器	(296)
7.3.3 钟控 RS 触发器	(297)
§ 7.4 D 型触发器	(299)
7.4.1 D 锁存器	(299)
7.4.2 维持-阻塞 D 触发器	(299)
7.4.3 主从型 CMOS D 触发器	(300)
§ 7.5 JK 触发器	(301)
7.5.1 主从型 JK 触发器	(301)
7.5.2 边沿型 JK 触发器	(304)
7.5.3 CMOS JK 触发器	(305)
§ 7.6 集成触发器的主要参数	(305)
§ 7.7 不同功能触发器的转换	(308)
7.7.1 触发器的功能小结与转换意义	(308)
7.7.2 公式法	(309)
7.7.3 图形法	(310)
自我测试与复习题(7)	(311)
习题(7)	(312)
第 8 章 组合逻辑电路	(324)
§ 8.1 组合逻辑电路的特点	(324)
§ 8.2 组合逻辑电路分析、设计的方法	(324)
8.2.1 组合逻辑电路的分析方法	(324)
8.2.2 组合逻辑电路的设计方法	(325)
§ 8.3 常用集成组合逻辑电路	(327)
8.3.1 编码器	(327)
8.3.2 译码器	(332)
8.3.3 数据选择器	(336)
8.3.4 加法器	(339)
8.3.5 数值比较器	(341)
§ 8.4 利用中规模组合逻辑电路设计电路	(345)
8.4.1 利用译码器设计组合逻辑电路	(345)

8.4.2 利用数据选择器设计组合逻辑电路	(346)
§ 8.5 组合逻辑电路中的竞争与冒险	(348)
8.5.1 竞争与冒险现象	(348)
8.5.2 冒险现象的消除	(350)
自我测试与复习题(8)	(351)
习题(8)	(352)
第 9 章 时序逻辑电路	(358)
§ 9.1 时序逻辑电路的特点	(358)
9.1.1 时序逻辑电路的结构与分类	(358)
9.1.2 时序逻辑电路的表示方法	(358)
§ 9.2 计数器	(360)
9.2.1 计数器的特点及分类	(360)
9.2.2 计数器的分析方法	(360)
9.2.3 中规模集成计数器	(364)
9.2.4 利用中规模集成计数器实现任意进制计数器	(369)
§ 9.3 寄存器	(371)
9.3.1 数码寄存器	(371)
9.3.2 移位寄存器	(373)
§ 9.4 顺序脉冲发生器	(377)
§ 9.5 同步时序逻辑电路的设计	(379)
9.5.1 同步时序逻辑电路设计的一般方法	(379)
9.5.2 同步时序逻辑电路设计举例	(384)
自我测试与复习题(9)	(392)
习题(9)	(393)
第 10 章 电路的暂态过程与波形发生电路	(401)
§ 10.1 换路定则	(401)
10.1.1 电路中的暂态现象	(401)
10.1.2 换路定则与电路初始值的确定	(401)
§ 10.2 RC 电路的暂态过程	(403)
10.2.1 RC 电路的充电过程	(404)
10.2.2 RC 电路的放电过程	(406)
§ 10.3 一阶电路暂态分析的三要素法	(408)
§ 10.4 RL 电路的暂态过程	(410)
§ 10.5 二阶电路暂态过程	(415)
10.5.1 二阶 RLC 电路的零输入响应	(415)
10.5.2 二阶 RLC 电路的零状态响应	(418)
§ 10.6 脉冲整形与单稳电路	(420)
10.6.1 门电路构成的单稳电路	(420)
10.6.2 施密特触发器	(422)

10.6.3 555 定时器	(425)
10.6.4 集成单稳触发器及其应用	(427)
§ 10.7 非正弦波发生电路	(429)
10.7.1 门电路构成的多谐振荡器	(429)
10.7.2 由施密特触发器或 555 定时器构成的多谐振荡器	(431)
10.7.3 运放构成的矩形波发生电路	(432)
10.7.4 运放构成的三角波、锯齿波发生电路	(433)
§ 10.8 正弦波形发生电路	(435)
10.8.1 产生正弦波振荡的条件	(435)
10.8.2 RC 正弦波振荡电路	(436)
10.8.3 LC 正弦波振荡电路	(439)
10.8.4 石英晶体正弦波振荡电路	(443)
自我测试与复习题(10)	(446)
习题(10)	(447)
第 11 章 可编程逻辑器件(PLD)及其应用	(456)
§ 11.1 PLD 的结构与特点	(456)
11.1.1 PLD 的结构与分类	(456)
11.1.2 PLD 器件的电路表示方法	(457)
§ 11.2 ROM 与 RAM	(458)
11.2.1 只读存储器 ROM 的结构与应用	(458)
11.2.2 随机存储器 RAM 及应用	(463)
§ 11.3 低密度可编程逻辑器件	(464)
11.3.1 可编程逻辑阵列 PLA	(464)
11.3.2 可编程阵列逻辑 PAL	(465)
11.3.3 通用阵列逻辑 GAL	(467)
§ 11.4 高密度可编程逻辑器件	(470)
11.4.1 ISP 器件	(470)
11.4.2 FPGA 器件	(473)
§ 11.5 GAL 的应用与开发	(475)
11.5.1 GAL 的开发工具	(475)
11.5.2 GAL 开发应用举例	(477)
自我测试与复习题(11)	(486)
习题(11)	(487)
第 12 章 精密放大电路与信号处理电路	(491)
§ 12.1 基本运算放大电路的误差分析	(491)
12.1.1 集成运放的开环差模电压放大倍数 A_{od} 和输入电阻 r_{id} 产生的误差	(491)
12.1.2 共模抑制比 K_{CMR} 对误差的影响	(493)
12.1.3 失调参数引起的误差	(494)
12.1.4 电阻器所引起的误差	(496)
12.1.5 信号频率对放大倍数的影响	(497)

12.1.6 电源电压变化产生的误差	(497)
12.1.7 综合误差估算	(498)
§ 12.2 精密放大器的设计	(499)
12.2.1 低漂移精密放大电路	(499)
12.2.2 低噪声精密放大电路	(504)
§ 12.3 精密放大电路的抗干扰	(511)
12.3.1 干扰源及干扰的传输方式	(511)
12.3.2 干扰抑制技术简述	(515)
§ 12.4 有源滤波电路	(520)
12.4.1 低通滤波电路	(521)
12.4.2 高通滤波电路	(523)
12.4.3 带通滤波电路	(525)
12.4.4 带阻滤波电路	(526)
§ 12.5 D/A 转换器	(529)
12.5.1 D/A 转换的原理	(529)
12.5.2 D/A 转换器的主要参数	(530)
12.5.3 典型 D/A 集成芯片介绍与应用	(531)
§ 12.6 A/D 转换器	(531)
12.6.1 A/D 转换的过程	(532)
12.6.2 LPCM 型 A/D 转换器的转换方法	(533)
12.6.3 A/D 转换器的主要参数	(535)
12.6.4 典型集成 A/D 芯片	(535)
自我测试与复习题(12)	(540)
习题(12)	(541)
第 13 章 电流模电路与 $\Sigma - \Delta$ 电路简介	(546)
§ 13.1 电流模电路简介	(546)
13.1.1 电流模电路的概述	(546)
13.1.2 跨导线性回路原理	(547)
13.1.3 TL 回路构成的基本电流模电路	(550)
13.1.4 电流模电路的特点	(554)
§ 13.2 $\Sigma - \Delta$ 电路简介	(555)
13.2.1 $\Sigma - \Delta$ 调制器	(555)
13.2.2 $\Sigma - \Delta$ A/D 转换器	(556)
13.2.3 $\Sigma - \Delta$ D/A 转换器	(559)
附录 A 电阻器和电容器的标称值	(560)
附录 B 半导体分立器件型号命名法	(562)
附录 C 部分半导体分立器件型号和参数	(563)
附录 D 半导体集成电路型号命名法	(565)
附录 E 若干常用的编码	(566)
参考文献	(570)

第1章 电路元件与电路理论基础

电路元件是构成电路的基本要素,电路基本理论是电路分析与电子技术的基础。因而,本章是本课程的最基础部分,包含的主要内容有:电路模型;电路基本物理量(电流、电位与电压、电动势、功率);电路元件(无源元件、电源、有源元件);电路基本定律(欧姆定律、基尔霍夫定律);电路分析方法。

本章所讨论的基本定律和电路分析方法是结合直流电路提出的,然而,可以证明,这些基本定律和电路分析方法同样适用于交流电路和暂态电路。

§ 1.1 电路的基本物理量

1.1.1 电路的组成与电路模型

电路是电流通过的路径,它由器件及连接导线组成。

作为电路组成部分的器件或设备,例如供电设备(电源)、用电设备(负载)、电阻器、线圈、电容器、晶体管、运算放大器等,统称为电路的部件。

然而电路理论中的电路和电路元件,不是上述实际电路和实际部件,而是一些理想化了的电路和电路元件,即在一定条件下能足够精确地反映实际电路及部件的主要电磁性能的抽象模型。有些实际部件由一种元件构成,有些由几种元件构成。例如实际电阻器,它除具有消耗电能的性质(电阻性)外,还具有电感性,当通有电流时会产生磁场,但电感微小,可忽略不计,于是电阻器可被认为是电阻元件。把实际电路及部件模型化,使我们能用数学方法精确地分析和设计电路。今后所分析的电路都是指电路模型,在电路图中,各种电路元件应用规定的图形符号表示。

根据不同情况,一个实际电路的部件可以抽象成不同的元件模型。例如一个电感线圈,在低频条件下工作时,可以不考虑线圈匝间分布电容和层间分布电容,把它抽象成一段电阻和电感串联的电路,如图 1.1.1(a)所示;随着工作频率的升高,就必须考虑分布电容的效应,如图 1.1.1(b)所示。图中 R 代表线圈电阻, L 代表线圈电感, C 代表分布电容的等效集中电容。

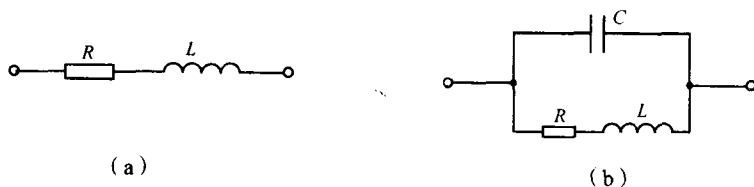


图 1.1.1 电感线圈的元件模型

又如在一个电容器中,当发热损耗很低时,可以等效成一个理想的电容元件,如图 1.1.2(a)所示;而要考虑发热损耗时,则将电容器抽象成电阻电容并联电路,如图 1.1.2(b)所示。

电路的一个重要作用是能量转换。在电路中,随着电流的通过,进行着从其他形式的能量转换成电能、电能的传输和分配、以及把电能转换成其他形式能量的过程。典型的例子是电力

系统,发电厂的发电机把热能、原子能或水能等转换成电能,通过变压器、输电线等输送给用户,在用户那里又把电能转换成机械能、光能等。这样构成了一个极为复杂的电路。供给电能的设备称为电源,而把用电设备称为负载。

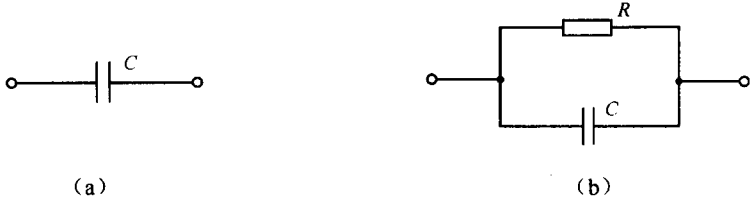


图 1.1.2 电容器两种元件模型

电路的另一个重要作用是信号处理,通过电路把施加的信号变成其他信号输出。以常见的收音机为例,一台简单的收音机由输入电路(包括天线及调谐电路)、检波电路、放大电路以及扬声器组成。输入电路的功能是接收由各个发射台发出的不同信号,从中选择所需信号;检波电路的功能是将调谐电路选择出来的高频信号作适当处理,从中取出发射台所送的音频信号;放大电路将微弱的音频信号放大再送入扬声器。由此可见,此电路的作用就是将激励信号处理成为所需要的响应。

1.1.2 电路的基本物理量

在分析电路时,经常用电流、电压、功率等物理量来描述其中的过程,下面介绍电路的基本物理量。

1.1.2.1 电流

带电粒子定向运动形成电流。单位时间内通过导体横截面的电荷量,称为电流强度,简称电流。

设在很短时间 Δt 内流过某面积的电荷量为 Δq ,则穿过该面积的电流 i 为

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

我国法定计量单位和国际单位制(SI)单位都把电流的单位定为安培,简称安,符号为 A。表示较小的电流用毫安(mA)、微安(μA)。它们与安培的关系为

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}, \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

电流的实际方向是正电荷移动的方向,但在分析电路时,电流的真实方向往往难以预先确定,因而实际进行电路分析时往往引用参考方向(或称正方向、假定方向)这一概念。参考方向可以任意选定,在电路图中用箭头表示,若参考方向与实际方向一致,则值为正;若参考方向与实际方向相反,则值为负。

图 1.1.3 说明了参考方向的含义,图中虚箭头表明电流实际方向。



图 1.1.3 电流的参考方向

显然,在未标参考方向的情况下,计算得出的电流正负值毫无意义。

如果电流大小、方向不随时间变化,这种电流称为恒定电流,简称直流,用大写字母“ I ”表示;如果电流大小、方向随时间变化,则称为交变电流,简称交流,用小写字母“ i ”表示。

例 1.1.1 图1.1.4中有一电流流过此元件,参考方向从 a 向 b, $i = 1\text{A}$,问电流的真实方向如何?

解:因为 $i = 1\text{A} > 0\text{A}$,所以电流真实方向为从 a 向 b。

若参考方向改为从 b 向 a,则 $i' = -1\text{A}$ 。因为电路联接形式确定后,电流真实方向确定,若参考方向与真实方向相反,必为负值。

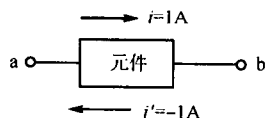


图 1.1.4

1.1.2.2 电压与电位

电路中两点间的电压为电场力把单位正电荷从一点移到另一点所作的功,即

$$u = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta q} = \frac{dw}{dq} \quad (1.1.2)$$

式中, u 表示电路两点间的电压, Δw 表示移动电荷为 Δq 时电场力所作的功。

电压的国际单位和法定计量单位都是伏特,简称伏,符号为 V。 $1\text{V} = \frac{1\text{J(焦耳)}}{1\text{C(库仑)}}$ 。计算较小的电压时,用毫伏(mV)、微伏(μV);计算高压时,有千伏(kV)。它们与伏特的关系为 $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$, $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$, $1\text{kV} = 10^3\text{V}$ 。

电压也可以用两点间电位差来计算。有必要先介绍电位的概念。

电位概念的形成是由于电场力对电荷做功的结果,电位用来衡量该功的大小。电场力将单位正电荷从某一确定点 a 移至参考点所作功的大小,即为该点的电位大小,用“ V_a ”表示。可见电位与电压有相同的物理量纲,即电位的单位也为伏特。

电位大小与参考点有关。在计算电位时,必须选定某一点作为参考点,参考点的电位为零。参考点在电路中标有“接地”符号,但事实上并非真正与大地相接。

当电场力将单位正电荷从某一确定点 a 至参考点顺着电场力方向作功时,电场力作正功,该点 a 的电位 V_a 为正,或者说 a 点的电位高于参考点的电位;若从 a 点至参考点是逆着电场力方向时,电场力作负功,则该点 a 的电位 V_a 为负,或者说 a 点的电位低于参考点的电位。

分别用 V_a 、 V_b 表示 a 点、b 点的电位时,则电压 U_{ab} 可用 V_a 、 V_b 计算,即 $U_{ab} = V_a - V_b$ 。

电路中规定电压的实际方向是电位降低的方向,即电场力方向,与电流一样,有必要指定电压的参考方向,电压的参考方向也是任意假定的。当电压的实际方向与参考方向一致时,电压为正值;当电压的实际方向与参考方向相反时,电压为负值。在未标明电压参考方向时,计算出的电压的正负值毫无意义。

例 1.1.2 如图1.1.5,设 $V_c = 0\text{V}$, $U_{ac} = 10\text{V}$, $U_{bc} = 5\text{V}$,求 V_a 、 V_b 。

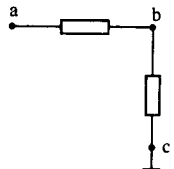


图 1.1.5

解:因为 $U_{ac} = V_a - V_c$,

所以 $V_a = U_{ac} + V_c = U_{ac} = 10(\text{V})$;

因为 $U_{bc} = V_b - V_c$,

所以 $V_b = U_{bc} + V_c = U_{bc} = 5(\text{V})$ 。

若改设 $V_a = 0\text{V}$, a 为参考点,则

$$V_c = V_a - U_{ac} = -U_{ac} = -10(\text{V});$$

$$V_b = V_a - U_{ab} = -U_{ab} = -(U_{ac} - U_{bc}) = -5(\text{V})。$$

由例 1.1.2 可以看出电压与电位的关系为:

- 电压等于两点间的电位差;
- 电位大小随参考点不同而不同,某点的电位也就是该点到参考点的电压;
- 两点间的电压不随参考点不同而改变。

另外,在分析某一电路时,不可以同时设定两个或两个以上参考点。

电动势用来衡量非电场力对电荷做功的能力,即非电场力将单位正电荷从一点移到另一点所作的功。与电压相比,电动势的实际方向规定为电源内的非电场力的方向,即由低电位指向高电位,或者说是电位升高的方向。电动势的单位也是伏特,电动势用符号“ E ”表示。

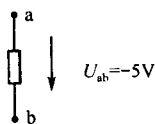


图 1.1.6

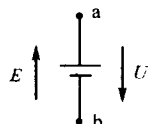


图 1.1.7

例 1.1.3 如图 1.1.6,若 $U_{ab} = -5V$,问 a 点与 b 点哪点电位高? 电压的实际方向如何?

解: $U_{ab} = V_a - V_b = -5V < 0V$,

所以 $V_a < V_b$, b 点电位高。

电压实际方向从 $b \rightarrow a$ 。

例 1.1.4 如图 1.1.7, $E = 5V$, a 点与 b 点哪点电位高?

解: 因为 $E = 5V > 0V$, 所以图中 E 的方向是电动势的实际方向, 则 b 点电位低, a 点电位高。由图可得: $U = V_a - V_b > 0$, 所以 $U = 5V$, $U = E$ 。

上述分析表明, 图 1.1.7 中电压 U 、电动势 E 都为实际方向, 即参考方向与实际方向一致。

1.1.2.3 功率

在电学中, 功率是指单位时间内电场力所作的功。即

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{dw}{dt} \quad (1.1.3)$$

根据式(1.1.1)、(1.1.2)可得:

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dt} &= \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u \cdot i \\ P &= u \cdot i \end{aligned} \quad (1.1.4)$$

功率的 SI 单位和法定计量单位都是瓦特, 简称瓦, 符号为 W 。在直流情况下, 有

$$P = UI \quad (1.1.5)$$

在电压和电流的关联参考方向下(指电压、电流的参考方向一致), 当 $P > 0W$ 时, 元件吸

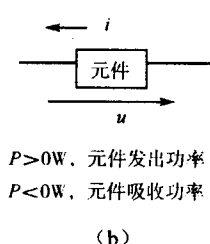
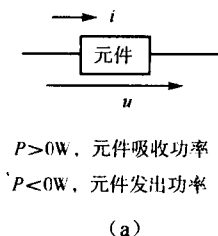


图 1.1.8 功率