

高等工科院校系列教材

电路分析及磁路

(下册)

王生春 主编



重庆大学出版社

电路分析及磁路

(下 册)

王生春 主编

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书内容包括:正弦交流电路的分析,互感电路和理想变压器,三相电路,非正弦周期电流电路,拉普拉斯变换,二端口网络,磁路。每章均有内容提要、小结、思考题、习题,书末附习题参考答案。

本书供高校电类专科各专业使用,也可供成人教育本、专科电类各专业使用。

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆花溪印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/32 印张:9.75 字数:216 千

1995年2月第1版 1997年1月第2次印刷

印数:10001-14000

ISBN 7-5624-0979-X/TM·38 定价:8.50 元

(川)新登字 020 号

序

近年来我国高等专科教育发展很快,各校招收专科生的人数呈逐年上升趋势,但是专科教材颇为匮乏,专科教材建设工作进展迟缓,在一定程度上制约了专科教育的发展。在重庆大学出版社的倡议下,中国西部地区 14 所院校(云南工学院、贵州工学院、宁夏工学院、新疆工学院、陕西工学院、广西大学、广西工学院、兰州工业高等专科学校、昆明工学院、攀枝花大学、四川工业学院、四川轻化工学院、渝州大学、重庆大学)联合起来,编写、出版机类和电类专科教材,开创了一条出版系列教材的新路。这是一项有远见的战略决策,得到国家教委的肯定和支持。

质量是这套教材的生命。围绕提高系列教材质量,采取了一系列重要举措:

第一,组织数十名教学专家反复研究机类、电类三年制专科的培养目标和教学计划,根据高等工程专科教育的培养目标——培养技术应用型人才,确定了专科学子应该具备的知识和能力结构,据此制订了教学计划,提出了 50 门课程的编写书目。

第二,通过主编会议审定了 50 门课程的编写大纲,不过分强调每门课程自身的系统性和完整性,从系列教材的整体优化原则出发,理顺了各门课程之间的关系,既保证了各门课程的基本内容,又避免了重复和交叉。

第三,规定了编写系列专科教材应该遵循的原则:

1. 教材应与专科学生的知识、能力结构相适应,不要不切实际地拔高;

2. 基础理论课的教学应以“必须、够用”为度,所谓“必须”是指专科人才培养规格之所需,所谓“够用”是指满足后续课程之需要;

3. 根据专科的人才培养规格和人才的主要去向,确定专业课教材的内容,加强针对性和实用性;

4. 减少不必要的数理论证和数学推导;

5. 注意培养学生解决实际问题的能力,强化学生的工程意识;

6. 教材中应配备习题、复习思考题、实验指示书等,以方便组织教学;

7. 教材应做到概念准确,数据正确,文字叙述简明扼要,文、图配合适当。

第四,由出版社聘请学术水平高、教学经验丰富、责任心强的专家担任主审,严格把住每门教材的学术质量关。

出版系列专科教材堪称一项浩大的工程。经过一年多的艰苦努力,系列专科教材陆续面市了。它汇集了中国西部地区14所院校专科教育的办学经验,是西部地区广大教师长期教学经验的结晶。

纵观这套教材,具有如下的特色:它符合我国国情,符合专科教育的教学基本要求和教学规律;正确处理了与本科教材、中专教材的分工,具有很强的实用性;与出版单科教材不同,有计划地成套推出,实现了整体优化。

这套教材立足于我国西部地区,面向全国市场,它的出版必将对繁荣我国的专科教育发挥积极的作用。这套教材可以作为大学专科及成人高校的教材,也可作为大学本科非机类或非电类专业的教材,亦可供有关工程技术人员参考。因此我不揣冒昧向广大读者推荐这套系列教材,并希望通过教学实践后逐版修订,使之日臻完善。

吴云鹏

1993年
仲夏

前 言

本书是机类、电类系列专科教材之一,供高校电类专科各专业使用。全书约需 100 学时。

全书分上、下两册,共十三章。在内容的选择上,既包括了电路分析传统的基本内容,也适当地增加了非线性电阻电路分析及受控原、运算放大器电路的分析,并充实了磁路内容,以适应后续课程和工程实际的需要。在系统上,以分析方法为线,按电路元件及电路定律、电阻性电路分析、动态电路分析、正弦稳态电路分析和磁路的顺序安排。在二端口网络之前,简要介绍拉普拉斯变换在电路分析中的应用,并引出网络函数的概念。使用时,可以根据需要对先后顺序作灵活处理。书中各章末安排了小结、思考题和较多的习题。全书采用法定计量单位和国家统一的图形及文字符号标准。

参加本书编写的有:四川轻化工学院吴治隆(第一、二章)、渝州大学张礼和(第三、四章)、贵州工学院毛正明(第五、六章)、陕西工学院王生春(第七、八、九、十三章)和云南工学院李彬华(第十、十一、十二章)。上册由吴治隆和毛正明主编,下册由王生春主编。

西安交通大学邱关源教授担任本书的主审,他自始至终给予了热忱的关怀和指导,提出许多宝贵意见,在此表示最衷心地感谢。

重庆大学出版社对本书的编写和出版给予了通力合作;西部地区 14 所兄弟院校的同行提供了许多建设性意见和建

议;编者所在 5 所院校的领导和有关同志给予了强有力的支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平和经验所限,书中的不足和错误在所难免,恳请读者批评指正。意见请寄四川轻化工学院电工教研室吴治隆或陕西工学院电气及电子工程系王生春。

编者

1993 年 7 月

目 录

第七章 正弦交流电路的分析	1
内容提要.....	1
引言.....	1
§ 7-1 正弦量	2
§ 7-2 正弦量的相量表示	8
§ 7-3 电路定律的相量形式	15
§ 7-4 复阻抗与复导纳及其等效变换	19
§ 7-5 复阻抗的串联和并联	31
§ 7-6 正弦交流电路的功率	35
§ 7-7 应用相量法分析正弦交流电路	50
§ 7-8 正弦交流电路中的谐振	61
小 结	71
思考题	73
习题七	74
第八章 互感电路和理想变压器	85
内容提要	85
引言	85
§ 8-1 互感、互感电压和同名端	86
§ 8-2 互感电路分析	92
§ 8-3 空心变压器	101
§ 8-4 理想变压器	107
小 结.....	110

思考题.....	111
习题八.....	112
第九章 三相电路	117
内容提要.....	117
引言.....	117
§ 9-1 三相电路的联接方式	118
§ 9-2 对称三相电路的计算	124
§ 9-3 不对称三相电路的计算	130
§ 9-4 三相电路的功率及其测量	135
小 结.....	143
思考题.....	144
习题九.....	145
第十章 非正弦周期电流电路	150
内容提要.....	150
引言.....	150
§ 10-1 周期信号分解为傅里叶级数	151
§ 10-2 周期信号的有效值、平均值及平均功率 ...	161
§ 10-3 非正弦周期电流电路的计算	163
§ 10-4 对称三相电路中的高次谐波	171
小 结.....	176
思考题.....	177
习题十.....	178
第十一章 拉普拉斯变换	182
内容提要.....	182
引言.....	182
§ 11-1 拉氏变换的定义与性质	183
§ 11-2 拉氏反变换	189

§ 11-3 应用拉氏变换分析线性电路	193
§ 11-4 网络函数	208
小 结	211
思考题	213
习题十一	213
第十二章 二端口网络	219
内容提要	219
引言	219
§ 12-1 二端口网络的方程及参数	221
§ 12-2 具有端接的二端口网络	237
§ 12-3 二端口网络的等效电路	241
§ 12-4 二端口网络的联接	244
小 结	246
思考题	248
习题十二	248
第十三章 磁路	254
内容提要	254
引言	254
§ 13-1 磁场的基本概念	254
§ 13-2 铁磁材料的磁化	258
§ 13-3 磁路及其定律	261
§ 13-4 恒定磁通磁路的计算	264
§ 13-5 交流铁心线圈	274
小 结	283
思考题	284
习题十三	286

附录..... 289

 附录 I 用计算器进行复数运算..... 289

 附录 II 习题参考答案..... 290

参考文献..... 299

第七章 正弦交流电路的分析

内 容 提 要

本章将系统地介绍正弦交流电路的基本概念和相量法。主要内容有:正弦量的三要素及其相量表示;基本电路元件 R 、 L 、 C 电压电流关系式和电路基本定律的相量形式;复阻抗、复导纳;正弦交流电路中的功率;通过实例介绍应用相量法分析正弦交流电路的步骤。最后讨论正弦交流电路中的谐振现象。

引 言

从本章开始直至第九章,将专门讨论线性电路在正弦电源激励下的稳态响应问题,即正弦稳态(交流)分析。可以证明,在线性电路中,如果激励电源都是同一频率的正弦电压和电流,那么,电路中的稳态响应也就都是同一频率的正弦电压和电流,这种线性电路就称之为正弦交流电路。

描述这种电路特性的时域方程是线性常系数微(积)分方程。而正弦交流电路的稳态响应则是这种微分方程的特解。从本章开始,我们将系统地讨论求解正弦交流电路稳态响应的重要方法——相量法。又因为电力工程中的电压、电流在一定的工程精度条件下,几乎都可认为是正弦函数,并且其中的绝大部分电路问题又都可按正弦交流问题加以分析和处理。另一方面,任何一个非正弦周期函数都可分解为一系列不同频

率正弦函数的无穷级数,根据叠加定理,这类问题同样可以按正弦交流电路进行分析和处理。所以,讨论正弦交流电路的问题就具有非常重要的理论价值和实际意义。

§ 7-1 正 弦 量

图 7-1 示出了几种随时间变化的电压和电流的波形,它们被称作时变电压和电流,其任意时刻 t 的值称作瞬时值,用小写字母 $u(t)$ 和 $i(t)$ 表示,有时也用 u 和 i 表示。

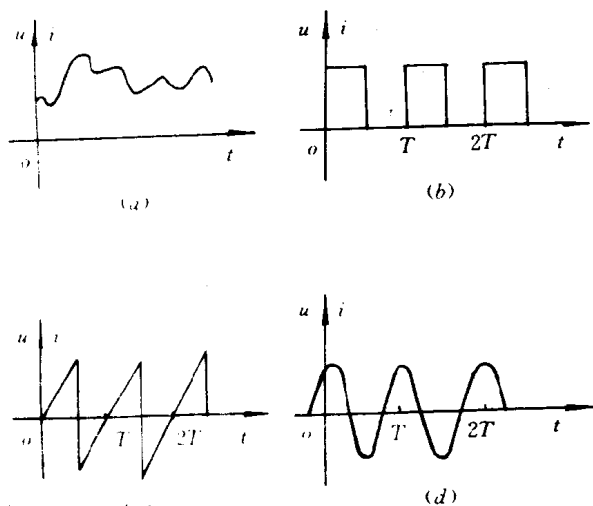


图 7-1

如果时变电压和电流的波形周期性的重现,则被称作是周期电压和电流,统称为周期量。图 7-1(b)、(c)、(d)均为周期量。其波形重现的最小时间间隔称作周期 T ,它在国际单位制中的主单位是秒(s)。今后均简称 SI 主单位。

如果周期量在一个周期 T 内的波形与坐标包围的面积平均值为零,则称之为交流量。图 7-1(c)、(d)即为交流量。

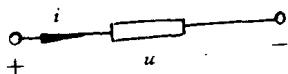


图 7-2

凡按照正弦规律变化的交流量统称为正弦交流量,简称正弦量。其波形如图 7-1(d)所示。下面仅以正弦电流为例来说明正弦量的各个要素及不同的表示方式。

图 7-2 是一段正弦交流电路, i 在图示的参考方向下,其数学表达式为

$$i = I_m \cos(\omega t + \psi_i) \quad (7-1)$$

式中 I_m, ω, ψ_i 称作正弦量的三要素。

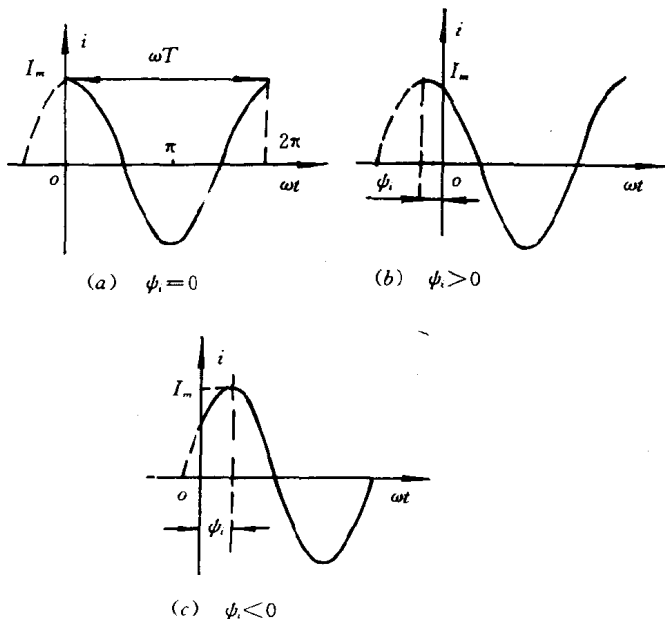


图 7-3

I_m 是振幅,它就等于正弦电流 i 的最大瞬时值,即当 $\cos(\omega t + \psi_i) = 1$ 时, $i_{\max} = I_m$ 。通常用带下标 m 的大写字母表示相应的振幅,如用 I_m 表示正弦电流的振幅,如图 7-3 中所

标示的。同理,用 U_m 表示正弦电压的振幅。

在电力工程及电气测量中计量正弦电压和正弦电流一般不用它们的振幅,而是用它们的有效值。

有效值是一个等效的直流电压或电流值。设有两个相同的电阻 R , 分别通以周期电流 i 和直流电流 I 。在一个周期 T 的时间内, 这两个电阻消耗的电能为 $\int_0^T Ri^2 dt$ 和 RI^2T 。如果在一个周期 T 内, 这两个电阻 R 消耗的电能相等, 则

$$\int_0^T Ri^2 dt = RI^2T$$

这两个电流是等效的, 我们就把这一特定的直流电流值 I 定义为此周期电流 i 的有效值

$$I \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (7-2)$$

上式也适用于周期电压 u , 即

$$U \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad (7-3)$$

从以上两式中可以看出, 周期量的有效值是瞬时值的平方在一个周期内的平均值再开平方, 故有效值又称做方均根值。

正弦量也是周期量, 所以, 有效值的概念也适用于正弦量。将式(7-1)代入式(7-2), 可得正弦电流的有效值为

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \cos^2(\omega t + \phi_i) dt} \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} I_m^2 \int_0^T \frac{1}{2} [1 + \cos 2(\omega t + \phi_i)] dt} \\ &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \end{aligned} \quad (7-4a)$$

$$\text{或} \quad I_m = \sqrt{2} I = 1.414 I \quad (7-4b)$$

对正弦电压也适用,即

$$U_m = \sqrt{2} U = 1.414 U \quad (7-4c)$$

按照规定,有效值都用大写字母表示。显然,有效值和振幅对正弦量具有同等的作用,它们都是绝对值。通常所讲的正弦电压或电流的量值,如无特殊说明,均指有效值。交流测量仪表的测量指示值是有效值,各种电气设备名牌上电压、电流的额定值也是有效值。如采用有效值表示式(7-1)中的振幅,则有

$$i = \sqrt{2} I \cos(\omega t + \psi_i) \quad (7-5)$$

正弦量每秒钟内波形出现的次数称为频率,用 f 表示,在国际单位制(SI)中, f 的主单位为 1/秒(1/s)工程上常称为赫芝(Hz),也常用 kHz, MHz, GHz。根据频率 f 与周期 T 的定义可知

$$f = \frac{1}{T} \quad (7-6)$$

我国和大多数国家都采用 50Hz 作为工业标准频率,称为工频。而有些国家,如美国,则采用 60Hz 作为工频。

ω 是正弦量的相位角随时间变化的速率,称为角频率。因为在一个周期内正弦量的相位角变化了 2π 弧度(rad),所以

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (7-7)$$

可见 ω 与 f 成正比。其 SI 的主单位为弧度/秒(rad/s)。

作波形图时,横坐标既可以是时间 t (如图 7-1(d)所示),又可以是角度 ωt (如图 7-3 所示,单位 rad),其差别是后者乘以常量 ω 。如当 $t = T/2$ 时, $\omega t = \pi$; 当 $t = T$ 时, $\omega t = 2\pi$, 其余类推。可见, f, T, ω 三者对正弦量都具有同等作用。