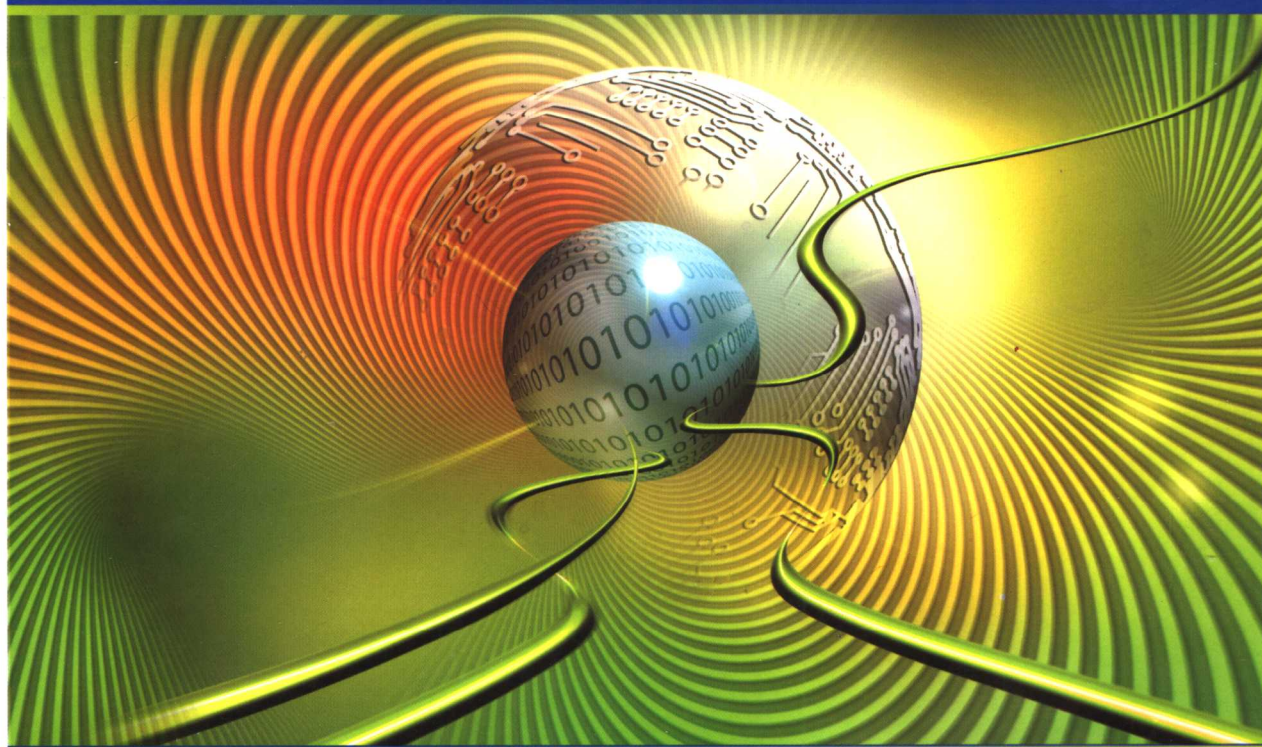


电路

主 编 单潮龙

副主编 王向军 嵇斗 张春仙



國防工業出版社

National Defense Industry Press

电 路

主编 单潮龙

副主编 王向军 嵇斗 张春仙

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是依据教育部颁布的《高等学校工科本科电路分析基础课程教学基本要求》,并结合军队院校和工程实际应用的特色而编写的。主要内容包括电路模型和基尔霍夫定律、电阻电路的等效化简、电路系统分析方法、电路定理、正弦交流电路分析基础、复杂正弦交流电路分析、双口网络和运算放大器、非正弦周期电流电路、一阶动态电路的过渡过程、动态电路的运算法分析和状态空间法分析、电路理论一些分支介绍、应用 Matlab 分析电路和利用 EWB 分析电路举例。

本书可作为军队院校电气工程、电子工程、兵器工程、通信工程和计算机应用等专业本科教材,亦可作为其他高等院校电气、电子、计算机专业本科教材,或者供有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路/单潮龙主编. —北京:国防工业出版社,2008.1

ISBN 978-7-118-05324-1

I. 电... II. 单... III. 电路-高等学校-教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 123925 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 27 字数 622 千字

2008 年 1 月第 2 次印刷 印数 3001—5000 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

本书是为适应 21 世纪军队高等教育教学内容和课程体系改革的需要而编写的,本教材力求继承传统性、增强应用性和反映先进性。教材内容的编写特点是:在论述传统基本电路理论的基础上,注重理论与实际应用的结合,加强 EWB 和 Matlab 应用于电路分析的内容。每章均含有与之内容相适应的 EWB 和 Matlab 电路分析应用的实例,为理论和方法的学习运用于实际电路分析打下基础。这不仅有利于提高学生的学习兴趣,扩大学习视野,而且有利于提高学生分析问题和解决问题的能力;将解题思路融于例题中,以取代过多的文字描述。在使用 EWB 和 Matlab 进行电路分析的内容中,除了用 EWB 直接分析电路外,还通过例题介绍 Matlab 编程的电路分析,使学生能对于计算机如何进行电路分析有具体的了解,而不是简单地用现有软件解题,这对培养学生的创新能力是有益的。

本书结构和体系设计的特点是:第 1 章的电路模型和基尔霍夫定律为全书奠定基础;电阻电路分为 3 章,第 2 章为电阻电路的等效化简,第 3 章为电路系统分析方法,第 4 章为电路定理;交流电路分为两章,即第 5 章的正弦交流电路分析基础和第 6 章的复杂正弦交流电路分析,第 6 章包含了耦合电感电路、谐振电路和三相电路三大内容,这样组合可以使交流电路的内容显得完整紧凑;双口网络和运算放大器、非正弦周期电流电路各为一章,分别为第 7 章和第 8 章;第 9 章为一阶动态电路的过渡过程,作为动态电路时域分析的内容,本书只讨论了一阶动态电路的过渡过程,这是考虑到现在二阶及高阶动态电路的分析一般采用的是运算法或状态空间法;考虑到独立性和完整性,将动态电路的运算法分析和状态空间法分析编为第 10 章,这是目前两种较为常用的动态电路分析方法;第 11 章是电路理论一些分支介绍,包括非线性电路分析、滤波器设计和分布参数电路,以拓宽读者视野。附录中介绍了当前国际流行的电路分析软件 EWB 和 Matlab 的使用方法,进一步拓宽学生电路分析的思路 and 手段。

本书覆盖了电路分析的主要内容,书中标注“*”号部分作为扩展内容供选修。各章课内教学参考学时为:第 1 章 8 学时,第 2 章 8 学时,第 3 章 8 学

时,第4章10学时,第5章10学时,第6章18学时,第7章10学时,第8章8学时,第9章10学时,第10章14学时,第11章6学时,全书在110学时以内。弱电各专业为避免与后续课程的内容重复,可选择第1章~第7章和第9章作为基本教学内容,约82学时。

为帮助读者学习,每章的开始概述了该章的内容和要点,每章后均附有习题,书后配有习题参考答案。为便于教师教学和采用新的教学手段,本教材配有电子课件,军队院校读者可登录军网 <http://www.haigongda.mil> 索取。

本书由单潮龙编写第2章~第4章、第10章和第11章,王向军编写第7章~第9章,嵇斗编写第5章、第6章,张春仙编写第1章、附录和全部习题,全书由单潮龙统稿。华中科技大学汪建教授审阅了全书的初稿,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中吸取了参考文献中各位专家、学者的许多经验,受益匪浅,海军工程大学吴正国教授对本书的编写提供了许多宝贵意见;国防工业出版社及秦远编辑对本书的出版给予了大力支持,在此一并表示谢意。

由于作者水平所限,本书结构和体系的安排、内容的取舍和叙述等方面难免有疏漏和不当之处,恳请读者指正。

目 录

第1章 电路模型和基尔霍夫定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.1.1 电路的功能和电路的构成	1
1.1.2 电路模型	1
1.1.3 线性非时变集总参数电路	2
1.2 电流、电压及其参考方向	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压	4
1.2.3 功率和能量	5
1.3 基尔霍夫定律	6
1.3.1 基尔霍夫电流定律	6
1.3.2 基尔霍夫电压定律	7
1.4 无源电路元件	8
1.4.1 电阻元件	8
1.4.2 电容元件	9
1.4.3 电感元件	13
1.5 有源电路元件	14
1.5.1 独立电源	14
1.5.2 受控源	17
1.6 计算机辅助电路分析举例	19
习题	20
第2章 电阻电路的等效化简	25
2.1 单口网络等效化简的概念	25
2.1.1 端口	25
2.1.2 单口网络	25
2.1.3 单口网络的伏安特性	26
2.1.4 单口网络的等效电路	28
2.2 无源单口网络的等效化简	29
2.2.1 电阻串联的等效化简	29
2.2.2 电阻并联的等效化简	31
2.2.3 电阻混联的等效化简	33
2.3 电阻的Y形连接和 Δ 形连接的等效变换	36

2.3.1	Y形和 Δ 形连接	36
2.3.2	Y形和 Δ 形连接的等效互换	37
2.3.3	电桥电路以及电桥平衡	39
2.4	有源单口网络的等效化简	42
2.4.1	独立电源串、并联的等效化简	42
2.4.2	多余元件的概念	43
2.4.3	实际电源的两种模型及其等效变换	44
2.4.4	电源转移法等效化简	46
2.5	含受控源电路的等效化简	48
2.5.1	含受控源单口网络的等效化简	48
2.5.2	受控源单口网络两种电源形式的等效变换	50
2.6	计算机辅助电路分析举例	50
2.6.1	用 EWB 软件分析简单直流电路	50
2.6.2	用 Matlab 软件分析简单直流电路	51
	习题	51
第3章	电路的系统分析方法	54
3.1	网络图论的基本概念	54
3.1.1	电路的拓扑图	55
3.1.2	树、树枝与连支	57
3.1.3	回路、网孔和基本回路	58
3.1.4	割集和基本割集	59
3.2	2b法和支路法	60
3.2.1	两类约束和电路方程	61
3.2.2	2b法	61
3.2.3	支路电流法	63
3.2.4	支路电压法	64
3.2.5	独立方程的选取	65
3.2.6	支路电流法的基本步骤	66
3.3	网孔法和回路法	68
3.3.1	网孔电流	68
3.3.2	网孔电流方程	68
3.3.3	回路法	71
3.3.4	含有受控源的电阻电路回路方程	72
3.4	节点法和改进的节点法	73
3.4.1	节点电压	73
3.4.2	节点法	74
3.4.3	改进的节点法	77
3.4.4	含有受控源的电阻电路节点方程	78
3.4.5	节点法与其他方法比较	80

3.5 计算机辅助电路分析举例	80
3.5.1 利用 Matlab 分析直流电阻电路举例	80
3.5.2 利用 EWB 分析电路举例	83
习题	84
第4章 电路定理	88
4.1 叠加定理	88
4.1.1 叠加定理的内容	88
4.1.2 叠加定理的应用	90
4.1.3 齐次性定理	93
4.1.4 叠加原理应用于具有对称性质的网络	94
4.2 替代定理	97
4.2.1 替代定理的内容	97
4.2.2 替代定理的证明	98
4.2.3 替代定理的要求	98
4.3 戴维南定理和诺顿定理	101
4.3.1 戴维南定理	101
4.3.2 诺顿定理	104
4.3.3 有源线性电阻单口网络的等效电路	106
4.3.4 最大功率传输定理	108
4.4 特勒根定理和互易定理	111
4.4.1 特勒根定理	111
4.4.2 互易定理	114
*4.5 补偿定理	118
*4.6 对偶原理	120
4.7 计算机辅助电路分析举例	123
习题	124
第5章 正弦稳态交流电路分析基础	129
5.1 正弦量的基本概念	129
5.1.1 正弦量的三要素	129
5.1.2 正弦量的相位差	130
5.1.3 正弦量的有效值	131
5.2 正弦量的相量表示	132
5.2.1 复数的表示形式及运算	132
5.2.2 正弦量和相量	134
5.2.3 同频率正弦量的运算	135
5.3 基尔霍夫定律和元件特性的相量形式	136
5.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	136
5.3.2 元件特性方程的相量形式	137
5.4 阻抗与导纳	140

5.4.1 阻抗	140
5.4.2 导纳	142
5.4.3 阻抗和导纳的关系	143
5.5 正弦交流电路的分析	145
5.6 正弦交流电路的功率	151
5.6.1 正弦交流电路的功率	151
5.6.2 功率因数的提高	154
5.6.3 最大功率传输	155
5.7 计算机辅助电路分析举例	157
习题	159
第6章 复杂正弦交流电路分析	165
6.1 互感现象和耦合电感的伏安特性	165
6.1.1 互感现象和耦合系数	165
6.1.2 同名端与耦合电感的伏安特性	167
6.1.3 正弦稳态条件下耦合电感元件的 VAR	168
6.2 含耦合电感电路的分析	169
6.2.1 耦合电感的串联	169
6.2.2 耦合电感的并联	171
6.2.3 耦合电感的 T 型等效	172
6.2.4 含耦合电感元件一般电路的分析	173
6.2.5 互感式电工仪表	174
6.3 空心变压器和理想变压器	175
6.3.1 变压器的概念	175
6.3.2 空心变压器	175
6.3.3 理想变压器	177
6.4 串联谐振电路	180
6.4.1 RLC 串联谐振电路	180
6.4.2 频率响应	182
6.4.3 通频带	183
6.5 并联谐振电路	184
6.5.1 GCL 并联谐振电路	184
6.5.2 实用的并联谐振电路	186
6.6 对称三相电路	188
6.6.1 对称三相电源	188
6.6.2 对称三相负载	190
6.6.3 对称三相电路的计算	191
6.7 不对称三相电路	193
6.7.1 不对称三相电路	193
6.7.2 不对称三相电路的一般计算方法	195

6.8	三相电路的功率及测量方法	196
6.8.1	三相电路的功率	196
6.8.2	三相电路功率的测量方法	197
6.9	计算机辅助电路分析举例	199
6.9.1	互感电路的 Matlab 仿真分析	199
6.9.2	谐振电路的 Ewb 辅助分析	200
	习题	202
第7章	二端口网络和运算放大器	209
7.1	二端口网络的方程与参数	209
7.1.1	二端口网络参数与方程	209
7.1.2	各组参数间的互换	214
7.2	二端口网络的等效与组合	216
7.2.1	二端口网络的等效电路	216
7.2.2	双口网络的连接方式	216
7.3	接负载的二端口网络	218
7.3.1	策动点阻抗	219
7.3.2	转移函数	220
7.4	回转器和负阻抗变换器	221
7.4.1	回转器	221
7.4.2	负阻抗变换器	222
7.5	运算放大器	223
7.5.1	多端元件	223
7.5.2	运算放大器电路模型	223
7.5.3	含理想运算放大器电路的分析	225
*7.5.4	RC 有源滤波器	227
7.6	计算机辅助电路分析举例	228
7.6.1	利用 Matlab 分析电路举例	228
7.6.2	利用 EWB 分析电路举例	229
	习题	230
第8章	非正弦周期电流电路	235
8.1	非正弦周期信号的傅里叶分解	235
8.1.1	傅里叶级数的三角形式	235
8.1.2	对称性的应用	237
8.1.3	频谱图	239
8.2	非正弦周期信号的有效值、平均值和功率	239
8.2.1	有效值	239
8.2.2	平均功率	240
8.3	非正弦周期电流电路的分析	242
*8.4	对称三相电路的高次谐波	244

8.5	傅里叶级数的复数形式	247
8.6	计算机辅助电路分析举例	249
8.6.1	利用 Matlab 分析电路举例	249
8.6.2	利用 EWB 分析电路举例	250
	习题	251
第9章	一阶动态电路的过渡过程	254
9.1	一阶电路的基本概念和换路定则	254
9.1.1	一阶电路的基本概念	254
9.1.2	换路定则与初始值的确定	255
9.2	一阶电路的零输入响应和零状态响应	256
9.2.1	RC 和 RL 电路的零输入响应	256
9.2.2	RC 和 RL 电路的零状态响应	261
9.3	一阶电路全响应分析的三要素法	264
9.3.1	全响应	264
9.3.2	三要素法	265
9.4	一阶电路的阶跃响应和冲激响应	266
9.4.1	阶跃函数与冲激函数	266
9.4.2	阶跃响应	269
9.4.3	冲激响应	269
*9.5	一阶电路在正弦激励作用下的响应	271
9.6	计算机辅助电路分析举例	273
9.6.1	利用 Matlab 分析电路举例	273
9.6.2	利用 EWB 分析电路举例	274
	习题	276
第10章	动态电路的复频域分析法和状态变量分析法	279
10.1	拉普拉斯变换	279
10.1.1	傅里叶变换在应用上的局限性	279
10.1.2	从傅里叶变换到拉普拉斯变换	280
10.1.3	拉普拉斯变换存在的条件与收敛域	282
10.2	拉普拉斯变换的基本性质	283
10.2.1	线性性质	283
10.2.2	延时性质	284
10.2.3	时域微分性质	284
10.2.4	时域积分性质	285
10.2.5	时域卷积定理	285
10.2.6	尺度变换(时频展缩)性质	286
10.2.7	复频移性质	286
10.3	拉普拉斯反变换	287
10.3.1	象函数的两种形式	288

10.3.2	部分分式展开法求拉普拉斯反变换	289
10.4	应用拉普拉斯变换分析线性时不变电路	295
10.4.1	基尔霍夫定律的复频域形式	295
10.4.2	电路元件伏安关系的复频域形式	295
10.4.3	复频域阻抗与复频域导纳	298
10.4.4	线性时不变电路的复频域分析法	300
10.4.5	网络定理在复频域分析中的应用	308
10.5	网络函数	310
10.5.1	网络函数的定义	310
10.5.2	网络函数的分类	311
10.5.3	网络函数的性质	314
10.5.4	网络的频率响应	315
* 10.6	网络函数的零极点	315
10.6.1	零极点的定义	315
10.6.2	零极点图	316
10.6.3	极点与冲激响应	316
10.6.4	零点在冲激响应中的作用	317
10.6.5	极点与频率响应	318
* 10.7	用状态变量法分析线性时不变动态电路	320
10.7.1	概述	320
10.7.2	状态和状态变量	322
10.7.3	状态方程的列写方法	324
10.7.4	状态方程的解法	331
10.7.5	冲激响应矩阵与网络函数矩阵的关系	335
10.7.6	矩阵 A 的特征值与网络固有频率的关系	336
10.8	计算机辅助电路分析举例	337
10.8.1	利用 Matlab 分析电路举例	337
10.8.2	利用 EWB 分析电路举例	341
	习题	342
第 11 章	电路理论的一些分支介绍	344
11.1	非线性电路分析简介	344
11.1.1	非线性电阻元件	344
11.1.2	非线性电阻的串联与并联	347
11.1.3	非线性电阻电路的图解法分析	350
11.1.4	非线性电阻电路的小信号分析	352
11.2	滤波器简介	357
11.2.1	滤波器的发展历程	357
11.2.2	滤波器分类	358
11.2.3	理想滤波器和实际滤波器	360

11.2.4	RC 滤波器	363
11.2.5	常用集总滤波网络拓扑形式	369
11.2.6	模拟滤波器的应用	371
11.2.7	几种近年来发展较快的滤波器介绍	373
11.3	传输线理论简介	376
11.3.1	典型的分布参数系统——传输线	376
11.3.2	传输线的物理模型和电报方程	378
11.3.3	有限长无损耗传输线方程解的物理意义	382
11.3.4	信号在传输线上多次反射过程	387
附录 A	法定单位	390
附录 B	EWB 软件的使用	391
附录 C	Matlab 软件的使用	399
附录 D	常用函数的拉普拉斯变换	412
附录 E	部分习题参考答案	413
	参考文献	420

第1章 电路模型和基尔霍夫定律

本章主要介绍电路模型的概念、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律(包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律)和基本电路元件(包括电阻、电感、电容、电压源、电流源以及受控源)。电路模型是电路研究的对象,要了解实际电路与电路模型的内在联系和区别;电压和电流的参考方向是电路分析中重要的概念;基尔霍夫定律和电路的元件特性是电路分析的基本依据,要熟练掌握和运用。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的功能和电路的构成

电路也称电网络,它是电流的通路,是由一些电器元件相互连接而成的。每个电路都有其特定的功能。

电路的结构形式和所能完成的任务多种多样,但其功能可以归结为两类:一类是实现电能的传输和转换,典型的例子是电力系统;另一类是传递和处理信号,常见的例子如测量炉温的热电偶温度计、收音机、电视机等。不论电路的结构多么复杂,它们都由三大部分组成:电源或信号源、中间环节和负载。在传输和转换电能的电路里,电源是发电机或电池等,它们把其他形式的能量转换成电能;负载是电动机、电灯或电炉等,它们把电能转换成其他形式的能量;变压器和输电线是中间环节,是连接电源和负载的部分,它起传输和分配电能的作用。在传递和处理信号的电路中,信号源是电偶、接收天线等,它们把温度、电磁波等信息转变成电压信号,而后通过中间环节(放大、调谐、检波、变频等各种电路)对信号进行传递和处理,最后送到负载(如毫伏计、扬声器、显像管等)还原为原始信息。

不论是用于电能的传输和转换,还是传递和处理信号,通常把电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。根据激励与响应之间的因果关系,有时又把激励称为输入,响应称为输出。

1.1.2 电路模型

实际电路都是由一些起不同作用的实际电路元件或器件组成的,如电阻器、电容器、线圈、开关、发电机、变压器、电动机、晶体管等,它们的电磁性质较为复杂。为了便于对实际电路进行分析和用数学描述,将实际元件理想化(或称模型化),即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略次要因素,把它近似地看作理想电路元件(简称电路元件或元件)。如一个器件的主要效应表现为电能损耗,就可以用电阻元件来表示;对于主要效应表现为磁场能量储存的器件,可以用电感元件来表示;而对于主要效应表现为电场能量储

存的器件,就可以用电容元件来表示。这样,电阻元件、电感元件和电容元件就是抽象化了的理想电路元件。

由一些理想电路元件所组成的电路,就是实际电路的电路模型。例如,图 1.1.1(a) 是一个蓄电池通过连接导线向一白炽灯供电的装置,它是一个实际的电路,可以用图 1.1.1(b) 的电路作为它的电路模型。在这个模型中,蓄电池用一个电压为 U_s 的电源和一个与它串联的内阻 R_i 表示,白炽灯由一个电阻 R 表示。

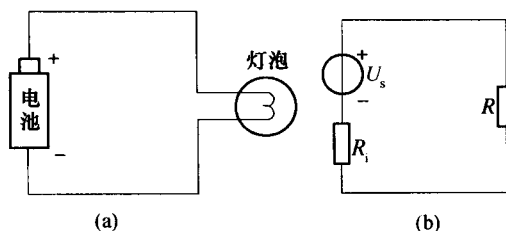


图 1.1.1 电路和电路模型

(a) 实际电路; (b) 电路模型。

1.1.3 线性非时变集总参数电路

1) 线性电路

仅由线性元件组成的电路称为线性电路。线性电路最基本的特性是它具有叠加性(可加性)和均匀性(齐次性)。叠加性和均匀性的含义可以用图 1.1.2 来说明。

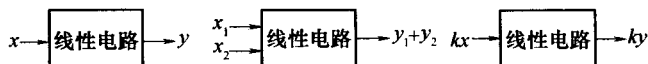


图 1.1.2 叠加性和均匀性

图 1.1.2 中:方框表示电路; x 表示加在电路上的输入信号,或称激励; y 表示电路对该输入信号产生的输出,或称响应。叠加性的含义是:若激励 x_1 产生的激励为 y_1 , 激励 x_2 产生的激励为 y_2 , 则当 x_1 与 x_2 共同作用于电路时产生的响应为 $y_1 + y_2$ 。均匀性的含义是:若激励 x 作用于电路产生的响应为 y , 则激励 kx 作用于电路产生的响应必为 ky , k 为一常数。换句话说,线性电路在各个激励共同作用下的响应是各个激励所产生响应的加权之和。

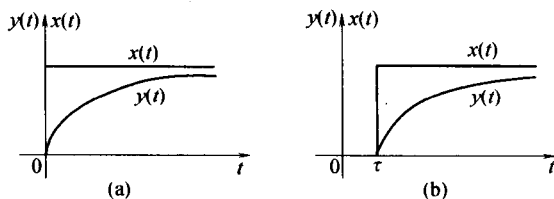
严格地说,真正的线性电路在实际中是不存在的。但是大量的实际电路在一定条件下都可以近似视为线性电路。在电路理论中,对线性电路的研究已经有了相当长的历史,有了成熟的理论和方法。本课程作为电路理论的入门课程,主要研究线性电路。

2) 非时变电路

组成电路的元件之参数不随时间变化的电路称为非时变电路,或者称为具有非时变特性的电路。所谓元件的非时变特性,是指函数 $y = f(x)$ 在 $y-x$ 平面上的特性曲线的位置不随时间而改变。对于非时变线性电路,若激励 $x(t)$ 的波形延迟一段时间 τ , 则响应 $y(t)$ 的波形也只是延迟了一段时间 τ , 如图 1.1.3 所示。

3) 集总参数电路

电路理论主要研究电路中发生的电磁现象,用电流、电压(有时还用电荷、磁通)等电



1.1.3 非时变特性

量来描述其中的过程。我们通常只关心各器件上流过的电流和端子间的电压,而不涉及器件内部的物理过程。这只有在满足集总化假设的条件下才是合理的。

实际器件、连接导线以及由它们连接成的实际电路都有一定的尺寸,占有一定的空间,而电磁能量的传播速度($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)是有限的,如果电路尺寸 l 远小于电路最高工作频率 f 所对应的波长 λ ($\lambda = c/f$),可以认为传送到实际电路各处的电磁能量是同时到达的。这时,与电磁波的波长相比,电路尺寸可以忽略不计。在这种假定条件下,可以证明在任意时刻流入各器件任一端子的电流和任意两个端子之间的电压都将是单值的量。在这种近似条件下,我们用足以反映其电磁性质,但几何尺寸又可忽略不计的理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。这种理想化的电路元件称为集总参数元件。

由集总参数元件连接组成的电路称为集总参数电路。通常所说的电路图是用“理想导线”将一些电路元件符号按一定规律连接组成的图形。电路图中元件符号的大小、连线的长短和形状都是无关紧要的,只要能正确地表明各电路元件之间的连接关系即可。

实际电路的几何尺寸相差甚大。对于电力输电线,其工作频率为 50Hz ,相应的波长为 6000km ,因而 30km 长的输电线只有波长的 $1/200$,可以看作是集总参数电路;而远距离输电线可长达数百乃至数千千米,就不能看作是集总参数电路。对于电视天线及其传输线来说,其工作频率为 10^8Hz 的数量级,譬如电视的 10 频道,其工作频率约为 200MHz ,其相应的工作波长为 1.5m ,这时 0.2m 长的输电线也不能看作是集总参数电路。对于非集总参数电路,需要用分布参数电路理论或电磁场理论来研究。

综合起来,具有线性非时变集总参数元件并用理想导线连接的电路模型称为线性非时变集总参数电路。

本书只讨论集总参数电路。

1.2 电流、电压及其参考方向

电路的电性能通常用一组可表示为时间函数的变量来描述,这些变量中最常用的是电流、电压和功率。在学习本节内容时要注意弄清楚电流、电压的参考方向,这是一个重要概念。

1.2.1 电流

单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度,简称电流,用符号 i 表示。即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

式中: q 为通过导体横截面的电荷量。当电流的大小和方向不随时间变化时,称为直流(恒定)电流,习惯上用大写字母 I 表示。

在国际单位制(SI)中,电荷量的单位是库(C),时间的单位是秒(s),电流的单位是安(A)。

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。但在具体电路中,电流的实际方向常常随时间不断变化;即使不随时间变化,某段电路中电流的实际方向也很难预先断定,因此,往往很难在电路中标明电流的实际方向。这就有必要引入电流“参考方向”的概念。

参考方向是任意假设的方向,也称为正方向。在电路图中以带箭头的实线表示电流的参考方向,如图 1.2.1 所示。参考方向选定后,电流就成为代数量。当参考方向与电流的实际方向(图 1.2.1 中带箭头的虚线)一致时,电流取正值($i > 0$),如图 1.2.1(a)所示;反之,则电流取负值($i < 0$),如图 1.2.1(b)所示。这样,在指定电流参考方向下,通过电流值的正或负,就可判断出电流的实际方向。显然,在未指定参考方向的情况下,电流值的正或负是没有意义的。表示电流参考方向的箭头通常标示于导线上,如图 1.2.1(c)所示。

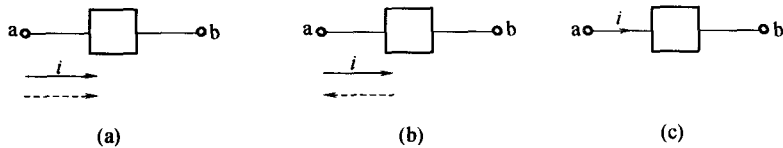


图 1.2.1 电流的参考方向

——→参考方向; - - - - -→实际方向。

电流的参考方向也可用双下标表示,如 i_{ab} ,表示其参考方向为:由 a 指向 b 。今后在电路图中只标明参考方向。

1.2.2 电压

电路中,电场力将单位正电荷从某点移动到另一点所做的功定义为该两点之间的电压,也称电位差,用 u 表示。即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1.2.2)$$

当电压的大小和方向不随时间变化时,称为直流(恒定)电压,通常用大写字母 U 表示。

如同电流一样,在分析电路时,也要预先假定电压的参考方向。在电路图中常用参考极性符号“+”、“-”表示,电压的参考方向由“+”极端指向“-”极端(图 1.2.2(a)),电压的参考方向也可用带箭头的实线表示,如图 1.2.2(b)所示。参考方向一旦选定,电压也就成为代数量,有正负之分。当参考方向与电压的实际方向一致时,电压取正值($u > 0$);反之,则电压取负值($u < 0$)。电压的参考方向也可用双下标表示,如 u_{ab} ,表示 a 点为“+”极, b 点为“-”极。

在国际单位制中,电压的单位是伏(V)。

电流、电压的参考方向在电路分析中起着十分重要的作用。电流、电压是代数量,既有数值又有与之相应的参考方向才有明确的物理意义;只有数值而无参考方向的电流、电