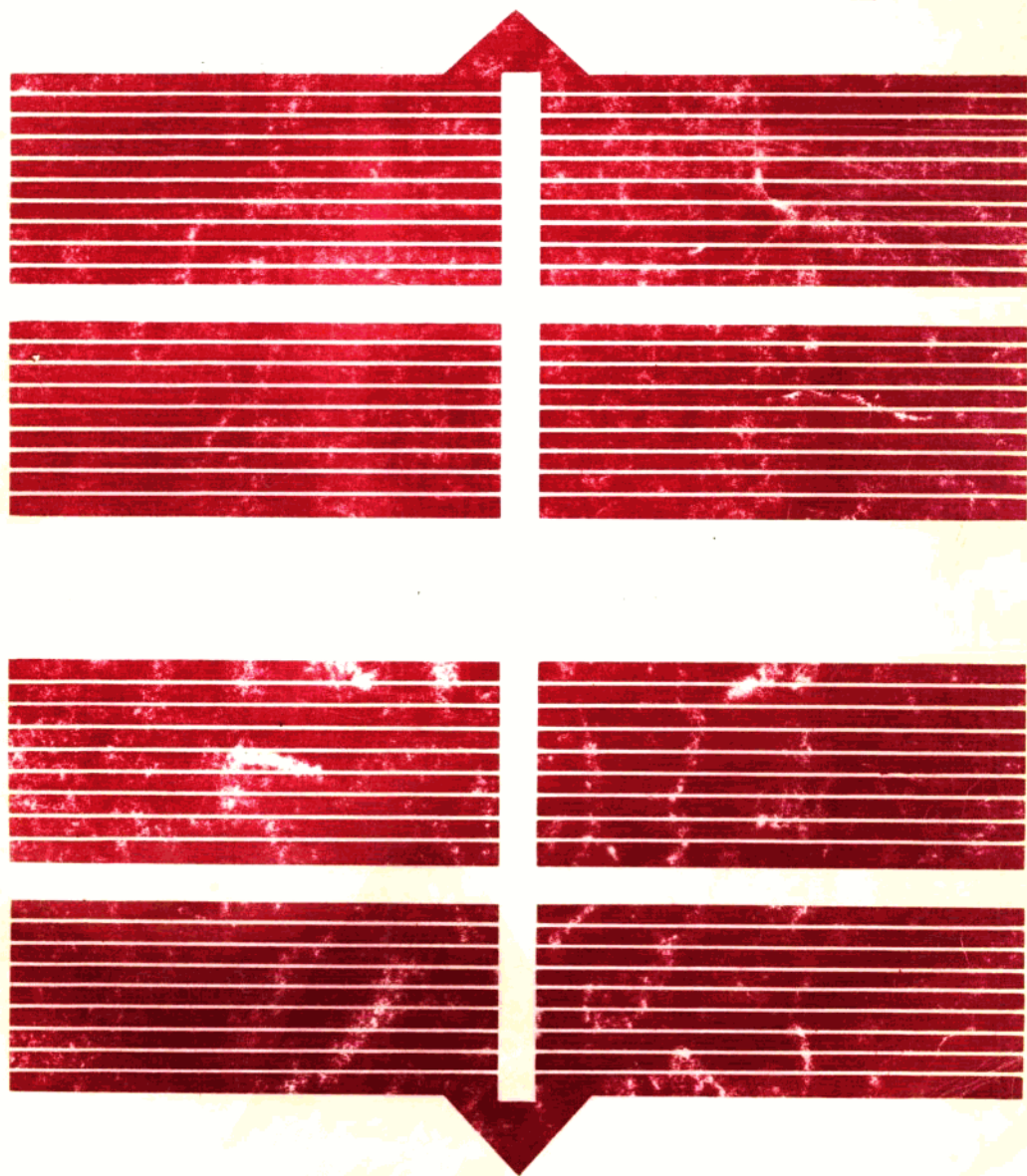


网络与滤波器

倪治中 编著



成都科技大学出版社

非常荣幸地向你提供这本电网络教材。只要粗略地翻阅之后你就会发现,这是一本取材广泛、内容新颖、论述简明,侧重实用的科技书籍。这些特点正是我们组稿和撰写的初衷。

随着科技进步,几乎所有的学科都开放式地参与彼此交融,相互促进和发展。知识总量已经极大地丰富了。这就很有必要组织一本新型教材,既讲线性网络也讲非线性网络和神经网络,既介绍时不变网络也介绍时变的带开关的网络,既讨论模拟信号系统又讨论离散的和数字的系统,以及把所有这些知识融合起来的新型网络和系统。这样广泛取材并组成统一的教本乃是时代的需要。

本书的前六章,包括无源的单口、双口、匹配和有源 RC 网络。这部分内容属于经典的线性网络理论。这些章节是从大量极其丰富的知识宝库中精选出来的几个专题。本书虽然删略了许多无源的和有源的综合方法,以及一些专题研究成果,但这些资料读者容易在别处找到。

本书的后六章,包括状态综合法,集成网络、非线性网络和神经网络。这部分内容属于现代网络理论。所谓“现代”含有下述六个特点:1. 借助计算机可以直接在时间域里进行分析和设计。2. 结合 LSI 工艺要求,以实现全集成为目标。3. 要研究非线性问题的存在和处理方法,以及非线性网络的应用与设计知识。4. 包含 Z 域的分析 and 设计问题,以及 Z 域同 S 域的映射关系与变换方法。5. 解决问题的方式经常依靠一种算法,用以导出分析和设计的解答。在许多问题中程序过程替代了直接的解析表达式。6. 具有综合利用知识的特色。比如神经网络的讨论,介绍了用生理学、热力学、光学、概率统计等方面的知识来研究和解决各种实际问题的途径。这后六章的内容,大都取材于近期学术论文,并努力把它们组织成一种知识体系。

本教材中绝大部分内容都是以直接交待结论的方式介绍知识的,然后说明证明的思路或者资料的来源。章节的前言就是简明的内容提纲。这种论述方式能使结构的眉目清晰。此外,为了帮助读者理解一些简捷导出的公式,书中每一章都有许多例题,所选的题目也尽量紧密地联系工程实际问题。这些做法使本书内容便于工程技术人员学习和应用,也便于院校学生和研究生们掌握和理解。

本书强调实用性的观点是明显的。从一开始讲频率归一化和阻抗归一化问题,并一直沿用下去,直到最后讨论神经网络的振荡器、滤波器、均衡器和优化方法,这

些内容都清楚表明这种努力联系工程实际的特色。

本书用到一些专门的数学知识,比如特殊函数、矩阵变换、泛函分析、多重积分变换等。虽然机电类理工科大学生并未学过,但是书中交待的概念明确,又有示例,是容易理解的。

前面谈到了本书的一些特点,这是作者的一种愿望和努力方向。要完成这种多方面知识的提炼和组织,难免会有不全面和不完善的地方,诚恳地欢迎批评指正。

作者想借此机会表达对我的老师顾德仁、陈翔龙、张有正三位教授的感谢之情,感谢分们的教育、指导和关怀。还有许多专家学者都给我许多支持和帮助,他们是黄香馥、陈尚勤、虞厥邦、庄镇泉、王兆明、孙文辉、兰家隆、孔俊宝、陆明达、张世演、韩庆金、刘昌孝等专家教授,在此一并表示感谢。最后,我要最诚挚地感激编辑出版界的专家《电子天府》杂志社主编廖汇芳,在他们的帮助和支持下,本书得以问世。

编 者

1993年8月于四川大学

目次

1 网络函数的特性

1.1 网络的基本特性	1
1.1.1 线性与非线性	1
1.1.2 时变与时不变	2
1.1.3 有源与无源	2
1.2 网络分析与网络综合	3
1.2.1 网络函数	3
1.2.2 网络分析	3
1.2.3 网络综合	4
1.3 网络函数标称化	5
1.3.1 阻抗归一化	5
1.3.2 频率归一化	6
1.3.3 参量归一化	6
1.3.4 去归一化方法	7
1.4 因果规律	8
1.4.1 时域描述	8
1.4.2 门函数频谱	9
1.4.3 指数型响应	10
1.5 能量守恒原理	11
1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	11
1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	11
1.5.3 特勒根定理	12
1.5.4 策动点函数	12
1.5.5 正实函数	13
1.5.6 正实条件证明	13
1.6 胡尔维兹多项式的应用	14
1.6.1 正实条件与胡尔维兹多项式	14
1.6.2 胡尔维兹多项式判别法	15
1.6.3 长除判别法	16
1.6.4 茹斯(Routh)判别法	17
1.7 实部条件的判定	18
1.7.1 判定多项式的建立	18
1.7.2 多项式 $P(x)$ 的根	18
1.7.3 斯特姆序列	19
1.7.4 计算机辅助分析	20
习题	21

2 单口网络

2.1 电抗策动点函数	22
-------------------	----

2.1.1 网络函数形式	22
2.1.2 电抗定理	23
2.1.3 电抗函数特性	23
2.2 福斯特网络	24
2.2.1 福斯特 I 型网络	24
2.2.2 福斯特 II 型网络	25
2.3 极点求取法	26
2.3.1 迭代算法的应用	27
2.3.2 迭代法的说明	27
2.3.3 迭代程序的应用	29
2.4 邵尔网络	30
2.4.1 邵尔 I 型网络	30
2.4.2 邵尔 II 型网络	31
2.4.3 福斯特-邵尔综合法	32
2.5 阻容网络	33
2.5.1 福斯特 I 型网络	33
2.5.2 福斯特 II 型网络	34
2.5.3 邵尔网络	35
2.5.4 组合元件的梯型网络	36
2.6 布隆综合法	37
2.6.1 基本单元	37
2.6.2 电感关系式	38
2.6.3 变压器参量	38
2.6.4 全网络结构	39
习题	40

3 逼近理论

3.1 频率变换	42
3.1.1 概述	42
3.1.2 低通-高通变换	43
3.1.3 低通-带通变换	43
3.1.4 低通-带阻变换	45
3.2 最平幅滤波器	45
3.2.1 MFM 条件	45
3.2.2 巴特沃斯滤波函数	47
3.2.3 滤波器的工作参数	48
3.3 切比雪夫滤波器	50
3.3.1 双曲三角函数	50
3.3.2 切比雪夫多项式	51
3.3.3 幅度响应函数	52
3.3.4 极点位置	54
3.3.5 传递函数	55
3.4 线性相移滤波器	57
3.4.1 无失真系统	57

3.4.2 最平时延(MFD)条件	57
3.4.3 汤姆逊滤波器	58
3.4.4 贝塞尔多项式	59
3.4.5 时间域逼近	60
3.5 最佳滤波器	60
3.5.1 基本条件	60
3.5.2 帕波利斯方法	61
3.5.3 付卡达方法	62
3.5.4 网络函数	62
3.6 椭圆滤波器	63
3.6.1 椭圆滤波特性	64
3.6.2 偶阶的切比雪夫有理函数	64
3.6.3 奇阶的切比雪夫有理函数	65
3.6.4 参量的确定	66
3.6.5 椭圆滤波网络	66
习题	69

4 双口网络

4.1 双口网络参量	70
4.1.1 网络参量的定义	70
4.1.2 网络参量的求取	71
4.1.3 参量间的关系	72
4.2 双口网络的传输函数	72
4.2.1 电压源驱动的双口网络	72
4.2.2 电流源驱动的双口网络	73
4.2.3 传输函数特性	74
4.2.4 最小相移函数	75
4.3 电抗双口网络的可实现性	76
4.4 无载双口网络	78
4.4.1 传输函数特性	79
4.4.2 由传输阻抗(导纳)求网络参量组	79
4.4.3 由网络函数 Z_T 实现无载电抗双口网络	80
4.4.4 由传输函数 $K_u(K_i)$ 求网络参量组	81
4.4.5 由网络函数 $K_u(s)$ 实现电抗双口网络	81
4.5 传输导纳函数的实现	82
4.5.1 电压源驱动的单端有载双口网络	82
4.5.2 传输函数特性	83
4.5.3 网络参量的确定	83
4.5.4 达林顿梯型网络实现	84
4.6 传输阻抗函数的实现	85
4.6.1 电流源驱动的单载双口电抗网络	85
4.6.2 电抗双口网络的实现	86
4.6.3 有限值传输零点的实现方法	87
4.6.4 综合实例	89

4.7 传输电压比函数的实现	90
4.7.1 定阻网络	90
4.7.2 格型网络	91
4.7.3 桥 T 型网络	92
4.7.4 倒 L 型网络	93
4.7.5 格型-桥 T 型变换	94
习题	95

5 匹配网络

5.1 影象参数	97
5.1.1 影象电阻	97
5.1.2 传输常数	98
5.2 电阻匹配网络	100
5.2.1 T 型网络	100
5.2.2 Π 型网络	101
5.2.3 设计程序	102
5.2.4 例 L 网络	103
5.3 功率传输函数	104
5.3.1 基本定义	104
5.3.2 反射系数的意义	105
5.3.3 功率函数间的关系	106
5.4 阻抗(导纳)参量组	107
5.4.1 功率函数描述	107
5.4.2 导出 Z 参量组	108
5.4.3 导出 Y 参量组	109
5.4.4 导出 p_z 函数	111
5.5 双端有载电抗网络的综合	112
5.5.1 电抗网络综合原理	112
5.5.2 阻抗参量综合法	113
5.5.3 导纳参量综合法	114
5.6 散射参量	114
5.6.1 双口网络的散射参量	115
5.6.2 无损耗条件	116
5.6.3 别列维奇公式	116
5.6.4 导出 S 参量	117
5.7 宽带匹配网络	117
5.7.1 巴特沃斯频率特性	118
5.7.2 散射参量的选定	119
5.7.3 切比雪夫频率特性	119
习题	121

6 阻容滤波器

6.1 二阶滤波器	122
6.1.1 滤波器参量	122

6.1.2 滤波网络函数	123
6.1.3 阻容低通滤波器	123
6.1.4 阻容带通滤波器	124
6.1.5 阻容带阻滤波器	125
6.2 有源器件	125
6.2.1 运算放大器	125
6.2.2 负阻变换器	126
6.2.3 回旋器	127
6.3 滤波网络的模拟实现	128
6.3.1 阻抗变换法	128
6.3.2 K_s 阻抗变换器	129
6.3.3 滤波器的模拟实现	130
6.4 S-K 滤波器	131
6.4.1 基本电路结构	131
6.4.2 低通和高通滤波器的设计	132
6.4.3 带通滤波器的设计	134
6.5 开尔文滤波器	135
6.5.1 高通型陷波器	135
6.5.2 低通型陷波器	137
6.5.3 灵敏度	138
6.6 低灵敏度二次节	139
6.6.1 高通型陷波器	139
6.6.2 低通型陷波器	140
6.6.3 带通滤波器	141
6.6.4 灵敏度分析	141
6.7 组合运放技术	142
6.7.1 概述	142
6.7.2 C2OA 的结构	142
6.7.3 C3OA 的应用	143
6.8 有源 R 滤波器	144
习题	145

7 状态实现

7.1 网络函数与状态方程	147
7.1.1 状态实现概念	147
7.1.2 等价的状态实现	148
7.1.3 状态的初始值	149
7.2 状态实现电路	150
7.2.1 加权器	150
7.2.2 积分器	150
7.2.3 实现的电子电路	151
7.2.4 改进的加权器	152
7.3 可控型状态实现	153
7.3.1 系统可控性的概念	153

7.3.2	可控性的条件	154
7.3.3	可控型状态方程的导出	154
7.3.4	网络状态图	155
7.3.5	简化的可控型实现	156
7.3.6	可控型的说明	157
7.4	可测型状态实现	158
7.4.1	系统的可观测性	158
7.4.2	可测型状态方程的导出	159
7.4.3	网络状态图	160
7.4.4	可测型实现的说明	161
7.5	正则型状态实现	161
7.5.1	正则分解法	161
7.5.2	退耦状态方程	162
7.5.3	状态变换技术	162
7.5.4	正则型-可控型变换	165
7.6	含重极点网络函数的分解	166
7.6.1	含单个重极点的网络函数的展开	166
7.6.2	状态方程与输出方程	167
7.6.3	状态流程图	169
7.6.4	多个重极点函数的分解	169
7.7	许瓦兹型状态实现	170
7.7.1	电抗梯型网络的状态方程	170
7.7.2	状态变换方法	171
7.8	最小状态实现	174
	习题	175

8 多口网络

8.1	传输函数矩阵	176
8.1.1	多口网络的描述	176
8.1.2	单输入多输出(SIMO)网络	177
8.1.3	多输入单输出(MISO)网络	178
8.2	多口网络的状态实现	180
8.3	LS结构形式	181
8.3.1	RC梯形网络的状态方程	182
8.3.2	状态反馈与变换	183
8.3.3	传输函数矩阵的导出	185
8.4	第一类LS结构设计	186
8.4.1	容阻梯形网络的描述	186
8.4.2	反馈权和结构	187
8.4.3	高通网络的实现	188
8.4.4	前馈权和结构	190
8.4.5	SIMO网络的实现	191
8.5	第二类LS结构设计	192
8.5.1	阻容梯形网络的描述	192

8.5.2 反馈权和结构	193
8.5.3 前馈权和结构	194
8.5.4 多口网络的实现	195
习题	197
9 开关电容网络	
9.1 SCN 的时域分析	199
9.1.1 概述	199
9.1.2 时间域分析法	200
9.1.3 差分方程及其解	201
9.1.4 SCN 的差分方程	203
9.2 Z 域分析基础	204
9.2.1 S/H 信号	204
9.2.2 Z 域导纳函数	205
9.2.3 S/Z 变换	206
9.2.4 频响预畸校正	208
9.2.5 Z 域传输函数	210
9.3 积木分析法	211
9.3.1 基本积木块	211
9.3.2 同步与相序	212
9.3.3 交联方式与运算	213
9.3.4 串并分析法	214
9.3.5 信号流图法	215
9.3.6 三口积木块	215
9.4 SC 双二次节	217
9.4.1 电路结构与参量设计	217
9.4.2 最小总电容设计	218
9.4.3 低灵敏度二次节	219
9.4.4 开关数少的二次节	221
9.4.5 高 Q 值二次节	222
9.5 高阶滤波器	223
9.5.1 二次节组合结构	224
9.5.2 一次节组合结构	224
9.5.3 多环反馈结构	225
9.5.4 跳耦型 SC 滤波器	228
9.5.5 SCF 商品器件简介	230
9.6 SC 振荡器	231
9.6.1 同相积分器型电路	231
9.6.2 双积分器电路	232
9.6.3 桥 T 选频型电路	232
9.6.4 三相振荡器	233
9.7 信号处理电路	235
9.7.1 模拟乘法器	235
9.7.2 沃尔什谱分析电路	236

习题	237
----------	-----

10 连续时间全集成网络

10.1 运算跨导放大器(OTA)及其电路	238
10.1.1 OTA 器件的特性	238
10.1.2 OTA 宏模型	239
10.1.3 OTA 放大器	239
10.1.4 OTA 积分器	240
10.2 模拟元件	241
10.2.1 一般接地元件	241
10.2.2 浮地元件	244
10.3 积木分析法	245
10.3.1 基本积木块	245
10.3.2 低通滤波器分析	246
10.3.3 高通滤波器分析	247
10.4 FLF 结构	247
10.4.1 传输函数	247
10.4.2 二阶网络分析	248
10.4.3 三阶网络分析	249
10.5 IFLF 结构	251
10.5.1 网络结构与传输函数	251
10.5.2 三阶网络分析	251
10.5.3 零点设置	252
10.5.4 电压摆度	253
10.6 链式结构	254
10.6.1 电路结构	254
10.6.2 二阶网络	254
10.6.3 三阶网络	255
10.6.4 设计实例	255
10.7 跳耦结构	256
10.8 MOSFET—C 滤波器	258
10.8.1 MOSFET 电阻	258
10.8.2 抵消非线性电流成分	258
10.8.3 平衡输出的运算放大器	259
10.8.4 平衡积分电路	260
10.8.5 平衡的集成滤波器	260
习题	261

11 非线性网络

11.1 非线性元件	262
11.1.1 基本二元元件	262
11.1.2 高阶二元元件	263
11.1.3 多口元件	264
11.1.4 多元元件	265

• 10 •

11.2 非线性动态系统	266
11.2.1 系统的描述	267
11.2.2 动态系统的分解	267
11.3 伏特拉级数分析法	270
11.3.1 动态系统的核	270
11.3.2 伏特拉核的意义	271
11.3.3 伏特拉级数的特性	271
11.4 多重拉氏变换法	274
11.4.1 多元传输函数	274
11.4.2 广义的卷积性质	275
11.4.3 高阶阻抗与高阶导纳	275
11.5 串并联网络	277
11.5.1 串联与并联的算法	277
11.5.2 高阶阻抗(导纳)函数求逆	278
11.5.3 简单串并联网络	280
11.6 非线性网络分析	281
11.6.1 二阶核系统分析	281
11.6.2 自治系统分析	282
11.6.3 图解分析法	284
11.7 晶体管电路机辅分析	286
11.7.1 晶体管模型	286
11.7.2 改进的迭代法	286
11.7.3 电阻网络分析原理	287
11.7.4 晶体管电路直流分析	289
习题	290

12 神经网络

12.1 神经网络的模型	291
12.1.1 生物神经细胞的特性	291
12.1.2 分层感知机模型	292
12.1.3 Hopfield 模型	293
12.1.4 认知器模型	294
12.2 神经记忆网络	295
12.2.1 数字模型	296
12.2.2 网络综合	297
12.2.3 应用实例	299
12.3 神经型振荡器	300
12.3.1 神经元的电行为	300
12.3.2 仿生学的设想	301
12.3.3 迟滞振荡原理	302
12.3.4 振荡条件	303
12.3.5 激励-频率特性	304
12.3.6 迟滞比较器	305
12.3.7 神经型 OTA 振荡器	306

12.4 神经型滤波器	307
12.4.1 非线性滤波	307
12.4.2 中值滤波原理	308
12.4.3 神经型中值滤波器	309
12.4.4 连零检出器	310
12.5 神经型均衡器	311
12.5.1 n 维 Hopfield 网络	311
12.5.2 信道均衡问题	312
12.5.3 均衡器结构	312
12.5.4 神经网络的学习过程	313
12.6 神经网络与优化理论	315
12.6.1 神经优化模型	315
12.6.2 确定性神经优化方法	316
12.6.3 随机神经优化方法	316
12.7 神经计算机	318
12.7.1 神经计算机硬件	318
12.7.2 神经计算机软件	319
12.7.3 光神经计算机	322
习题	323
参考文献	324

1 网络函数的特性

网络理论着重研究网络的总体性能与网络内部的元件结构之间的关系,网络的外部性能以网络函数的形式表征。本章主要介绍实现网络函数所必需满足的基本约束,因果规律和能量守恒原理。在此之前,先介绍网络的基本性质和网络函数的表示方法。

1.1 网络的基本特性

电网络是由电子元件和器件相互交联所组成的电路单元,也可以是力学、热学、声学、光学、微波乃至化学、生物、社会经济系统等的模拟电结构。每个电网络有它特定的信号处理功能或能量的分配与传输功能。根据网络所包含的元器件不同,可以分为线性与非线性、时变与时不变、有源与无源等门类。

1.1.1 线性与非线性

一个线性网络对输入信号 $u(t)$ 完成线性算子 L 的作用,使相应的输出信号 $y(t)$ 满足

$$y(t) = L[u(t)] \quad (1.1)$$

其中线性算子 L 对于任意实数 a_1 和 a_2 使 (1.2) 式成立。

$$L(a_1 u_1 + a_2 u_2) = a_1 L(u_1) + a_2 L(u_2) \quad (1.2)$$

(1.2) 式的输入信号 u_1 和 u_2 通常是实数或实函数。凡是不能保证 (1.2) 式成立的算子,均属于非线性算子。

实现线性算子作用的线性网络是经常探讨的一大门类,例如理想放大器或衰减器,它将输入信号变化 K 倍,给出输出信号

$$y(t) = K \cdot u(t) \quad (1.3)$$

由于 $y_1 = Ku_1$ 和 $y_2 = Ku_2$, 显然有

$$K(a_1 u_1 + a_2 u_2) = a_1 y_1 + a_2 y_2$$

(1.3) 式描述了线性网络特性,关于非线性网络,将在第十一章介绍。一种简单的情况是工作于小信号的二极管,其特性近似为

$$i(t) = a[u(t)]^2$$

根据 $i_1 = au_1^2$ 和 $i_2 = au_2^2$ 可知

$$a(u_1 + u_2)^2 \neq i_1 + i_2$$

因此这个器件是非线性的。含有非线性器件的网络,是非线性网络。

由 (1.1) 式所描述的网络,如果既满足齐性

$$a \cdot y(t) = L[a \cdot u(t)]$$

同时又满足叠加性

$$y_1(t) + y_2(t) = L[u_1(t) + u_2(t)]$$

这个网络才是线性网络,否则为非线性网络。若将输入和输出用矢量表示,则可将上述讨论推广到多口网络的情况。

1.1.2 时变与时不变

如果网络结构与所有元件的参量不随时间而改变,则全网络的特性也不随时间而改变。对于给定的激励信号,无论任何时候作用于网络,都会给出相同的响应。用数学公式表述,若由(1.1)式给定的网络满足

$$y(t) = L[u(t + t_0)]$$

则为时不变网络。通常由普通电阻、电容和电感构成的网络都是时不变网络。含有开关的网络,随着开关的动作,不同瞬间的响应与激励的关系不同,这是时变网络,研究方法见第九章。对于多输入网络,当只考虑一个端口的作用信号与输出之间的关系时,其他端口信号对输出的影响便表现为网络的时变性,例如载波通过混频器,其输出电流可以看作是时变跨导对输入电压的作用结果。

1.1.3 有源与无源

假设一个网络有许多端口,端口的电压和电流分别为 $u_k(t)$ 和 $i_k(t)$ 。设初始状态是静止的,即当 $t = -\infty$ 时 $u_k(t) = 0, i_k(t) = 0$ 。若某时刻 t 所有端口的总能量不为负:

$$E(t) = \int_{-\infty}^t \sum_{k=1}^n u_k(\tau) \cdot i_k(\tau) d\tau \geq 0$$

则此网络是无源的;反之,若 $E(t) < 0$,则为有源网络。对于简谐信号,可以用电流电压的有效值来代替时间函数,给出无源条件:

$$\sum_{k=1}^n U_k \cdot I_k \geq 0 \quad (1.4)$$

对有源网络,(1.4)式左边之和小于零。

实际的有源网络可能包含晶体管、场效应管、运算放大器、负阻变换器、跨导运算放大器等器件,使网络输出信号能量大于输入能量。

例 1.1 试分析图 1.1 电路的有源性。

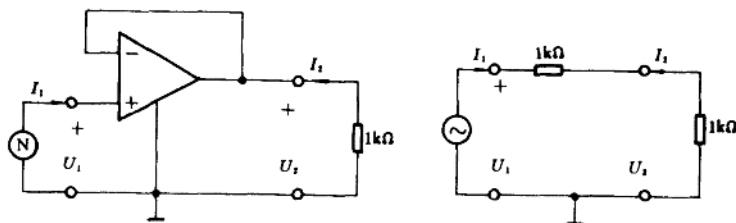


图 1.1 有源与无源网络

解:对于图 1.1(a)电路

$$\left. \begin{array}{l} U_1 = 1 \text{ V} \\ I_1 = 0 \end{array} \right\} \quad \text{及} \quad \left. \begin{array}{l} U_2 = 1 \text{ V} \\ I_2 = -1 \text{ mA} \end{array} \right\}$$

端口总功率

$$P_s = U_1 I_1 + U_2 I_2 = -1 \text{ mW} < 0$$

符合有源网络条件。对于图 1.1(b)电路

$$\left. \begin{array}{l} U_1 = 1 \text{ V} \\ I_1 = 0.5 \text{ mA} \end{array} \right\} \text{ 及 } \left. \begin{array}{l} U_2 = 0.5 \text{ V} \\ I_2 = -0.5 \text{ mA} \end{array} \right\}$$

输入网络的总功率

$$P_s = U_1 I_1 + U_2 I_2 = 0.25 \text{ mW} > 0$$

满足无源条件。

1.2 网络分析与综合

本节首先介绍网络函数,然后介绍网络分析与网络综合的情况。

1.2.1 网络函数

研究一个复杂的电气网络,可以用基尔霍夫定律及欧姆定律,加上元器件的模型进行分析求解,针对某些激励信号导出相应的响应信号。另外,也可以用节点分析法、回路分析法或便于计算机辅助计算的网路拓扑的方法进行研究。与此相反,有时候根据信号处理的需要,希望找到一些网络,它们能针对某些输入信号给出符合要求的响应信号。由此可见,研究电气网络总是同输入的激励信号及相应的响应信号密切相关。运用输入输出的谱函数可以简单示意如图 1.2。

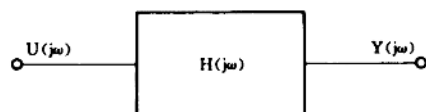


图 1.2 网络的激励与响应

在此不必同时用两个信号来描述一个网络,而直接将响应对激励的比值定义为网络函数,表示为

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{U(j\omega)} \quad (1.5)$$

由于(1.5)式激励与响应可以分别为电压量或电流量,因而网络函数可以是阻抗、导纳、电压比或电流比。当响应与激励为同一个端口的电压与电流时,这个网络函数称为策动点函数。如果它们表示不同端口的电压与(或)电流关系,则称为转移函数或传输函数。

1.2.2 网络分析

凡是已知电网络的结构以及各元件的参量,要求导出网络函数,或者对给定信号求取相应的响应,这样的问题称为网络分析问题。

网络分析问题还包括根据已知网络建立网络方程的问题,该网络方程既可以是代数方程,也可以是微积分方程或差分方程。在研究这些方程的解法,以及用计算机辅助分析的算法方面,都有很丰富的内容。此外,网络方程与网络函数之间的相互转换问题也是很有趣的网络分析问题。

对于线性时不变网络,在有限的模拟或离散信号作用下,一般能够求出网络分析问题的唯一解。对于非线性网络的分析问题,可能有解,也可能无解,甚至可能解答随初态而不同,与线性网络比较起来要复杂得多。

例 1.2 试求图 1.3 网络的策动点导纳 Y_1 , 策动点阻抗 Z_1 , 以及传输电压比函数 T 。

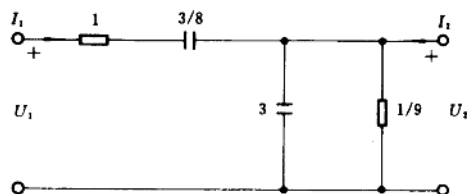


图 1.3 导出网络函数

解：先求图 1.3 左端的策动点导纳函数

$$Y_1(s) = \frac{1}{1 + \frac{8}{3s} + \frac{1}{3s+9}} = \frac{s^2 + 3s}{s^2 + 6s + 8}$$

当求导纳时，若遇到若干元件相串联，就应该用倒数，在分母进行阻抗相加。当图 1.3 中第三个子网络为若干元件相并联时，用倒数在分母进行导纳相加。因为 $C=3$ 的导纳为 $3s$ ，电阻 $1/9$ 的电导为 9，于是在次端的策动点阻抗为

$$Z_2(s) = \frac{1}{3s + 9}$$

电压比函数可由阻抗分压的方式写出

$$T(s) = \frac{\frac{1}{3s+9}}{1 + \frac{8}{3s} + \frac{1}{3s+9}} = \frac{s/3}{s^2 + 6s + 8}$$

1.2.3 网络综合

根据给定的网络函数，要求找出网络的结构及元件参量的问题是网络综合问题。

按照传统的概念，网络综合与网络设计两者略有不同。网络综合是指一种固定的程序，依次可以确定出各元件的参量值。每种综合法是针对一种结构而提出的，在综合过程中一般人为的自由度不大，然而通常所说的设计过程是指一种权衡和折衷，设计者可以选择多种途径以达到较为

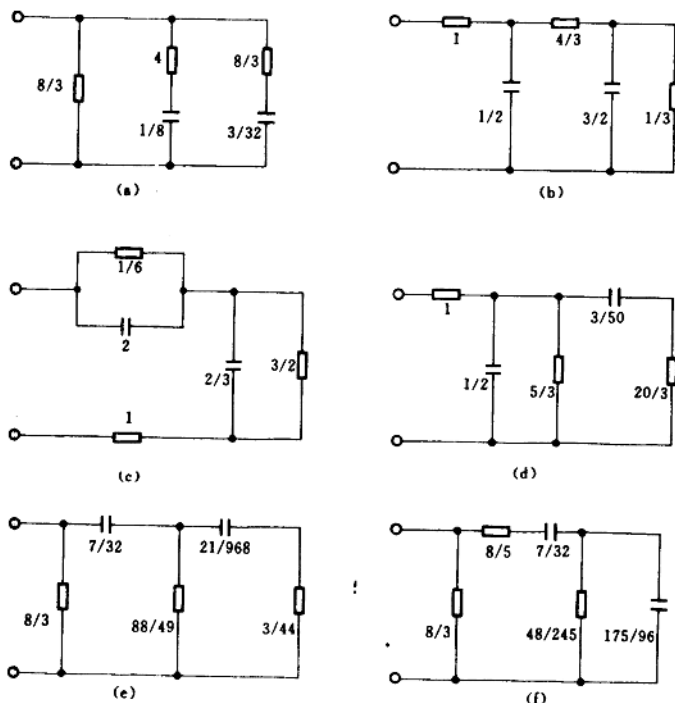


图 1.4 网络综合问题的解