

# 电子学计算手册

## 内 容 简 介

本书是为工程师和技术员编写的综合性电子学计算手册，重点在求解实际工作中所遇到的各种问题。手册内容包括了电子学中的最重要的方面，如电子线路中基本元器件的选择、放大器和振荡器的设计、数字逻辑电路、计算机辅助设计、微处理机、模/数与数/模转换、厚膜技术、测量技术、微波、天线、通信系统等，共有二十四章。手册内容的约四分之三是例题解答，其余部分则是对解题所用到的理论加以简要阐述。书中包括大量有实用价值的图表。本手册可作为大专院校学生、在电子学领域工作的工程技术人员以及广大无线电爱好者的参考书。

HANDBOOK OF ELECTRONICS CALCULATION

M. KAUFMAN

A. H. SEIDMAN

McGRAW-HILL BOOK COMPANY 1979

\*

### 电子学计算手册

M. 考夫曼

【美】 A. H. 塞德曼 编

A. H. 塞德曼

王守仁 迟惠生 译

\*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 39<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 插页 2 919千字

1985年10月第一版 1985年10月第一次印刷 印数：00,001—15,100册

统一书号：15034·2883 定价：10.00元

## 序 言

本书是第一部重点在求解实际问题而不是理论本身的综合性电子学手册。因此，它可作为工程师和技术员的一本参考书来用，有助于他们解决日常工作中遇到的问题。

书中有几百道问题解答，内容包括了模拟和数字电路的各种问题。这些问题都经过精心选择以满足当代工程师和技术员的需要。它们大致为半导体器件的选择、反馈、微波、通信系统、微处理机、计算机辅助设计、厚膜技术以及模/数、数/模转换器等方面；共有二十四章，包括了电子学中的最重要方面。我们曾经花了很大精力来避免那些纯理论问题，而把注意力集中于有意义的实际问题。

本手册约四分之三的内容是问题解答，其余部分则是对每一问题所用到的理论作出简明，但却是重要的阐述。

为保证手册具有最大实用价值且易于理解，书中包括了大量示意图和方框图，此外还有许多曲线和数表等。

每章的基本格式都是相同的。这种格式是经过仔细设计的，以使读者能够最大限度地利用所列举的材料。每个问题解答所采用的一般格式为

1. 问题表述；
2. 说明与该问题有关的基本原理；
3. 详细问题解答。

这种相对简单，然而又是综合性的格式使本手册具有很大价值。所有数学运算都尽可能简单，在解答大多数问题时只用到算术和代数。

本手册不仅为几百道问题给出了详细解答，而且还帮助读者恰当挑选适于某种应用场合的元器件，特别是在第四章（选择R、L、C元件）和第五章（选择半导体器件）中是这样。

每章都包括参考文献。参考书目和出版物可以提供属于该章内容的实用资料。

在编辑本手册时虽尽量使之作到精确，但在这样规模和内容的手册的第一版中不可避免地还会有某些错误。编者将对注意到这些错误的人们表示感谢。

编者愿借此机会向各章的撰稿人所作的有价值的贡献和合作态度表示深切谢意，他们以全面而又实际的风格概述了各自的专门领域。

## 目 录

<b>第一章 技术数学复习</b> .....	1	2.4 等效电阻 .....	23
1.1 引言 .....	1	串联 .....	23
1.2 复数 .....	1	并联 .....	24
复数的图形表示 .....	2	焦格 (Joerg) 等效推论 .....	24
1.3 基本代数 .....	3	等效电导 .....	24
多项式的加法和减法 .....	3	串并联 .....	25
多项式的乘法和除法 .....	3	三角形-星形 ( $\Delta \rightarrow Y$ ) 和星形-三角形 ( $Y \rightarrow \Delta$ )	
代数方程及公式 .....	4	变换 .....	26
一阶方程的解 .....	4	2.5 基尔霍夫定律 .....	27
文字方程 .....	5	基尔霍夫电流定律 (KCL) .....	27
线性方程的图形表示 .....	6	基尔霍夫电压定律 (KVL) .....	27
二次方程 .....	7	2.6 分压器和分流器 .....	28
1.4 指数和科学记数法 .....	8	分压器原理 .....	28
标准科学记数法 .....	9	分流器原理 .....	28
1.5 对数 .....	9	2.7 网孔分析 .....	29
常用(玻里格兹)对数 .....	10	焦格网孔方程 .....	30
指数 .....	10	行列式 .....	30
自然对数 .....	11	拉普拉斯展开 .....	32
1.6 基本三角函数 .....	11	2.8 节点分析 .....	33
正弦、余弦和正切 .....	12	焦格节点方程 .....	34
其它圆三角函数 .....	12	2.9 戴维南定理和诺顿定理 .....	35
反三角函数 .....	12	源变换 .....	36
角和象限 .....	13	2.10 其它的网络定理 .....	37
原三角函数的图形 .....	14	叠加定理 .....	37
1.7 复代数 .....	16	最大功率传递定理 .....	38
复数的极坐标和指数形式 .....	17	密尔曼 (Millman) 定理 .....	38
相量变换 .....	18	补偿定理 .....	39
1.8 参考文献 .....	19	特勒根 (Tellegen) 定理 .....	39
<b>第二章 直流电路分析</b> .....	20	2.11 网络拓扑 .....	40
2.1 引言 .....	20	各种关系 .....	41
电流 .....	20	2.12 参考文献 .....	42
电压 .....	20	<b>第三章 交流电路分析</b> .....	43
功率 .....	20	3.1 引言 .....	43
2.2 电阻 .....	21	平均值 .....	43
电导 .....	21	有效值 (RMS) .....	44
温度的SI单位 .....	22	3.2 电容器和电感器 .....	45
2.3 欧姆定律 .....	22	电容器 .....	45
功耗 .....	22	电感器 .....	47
		3.3 电压-电流关系及相量图 .....	50
		纯电阻 .....	50
		纯电感 .....	51

纯电容	51
在零频和高频的电抗值	52
3.4 阻抗和阻抗三角形	52
串联RL电路的阻抗三角形	53
串联RC电路的阻抗三角形	53
串联RLC电路的阻抗三角形	53
3.5 导纳和导纳三角形	54
并联RC电路的导纳三角形	55
并联RL电路的导纳三角形	55
并联RLC电路的导纳三角形	55
3.6 等效阻抗和等效导纳	56
串-并联和并-串联变换	57
3.7 交流电路的基尔霍夫定律	58
3.8 交流电路的分压器和分流器	58
3.9 交流电路的网孔和节点分析法	59
3.10 戴维南和诺顿定理用于交流电路	60
源变换	61
戴维南和诺顿定理用于非独立源	62
3.11 交流电路的其它网络定理	63
3.12 交流功率和功率三角形	64
纯电阻电路中的功率	65
纯电感电路中的功率	65
纯电容电路中的功率	66
视在功率、有功功率及无功功率	66
3.13 参考文献	68

#### 第四章 R、L、C元件的选择 69

4.1 引言	69
4.2 电阻器	69
固定电阻器的容差	69
合成电阻器	69
低容差电阻器	71
专用电阻器	72
温度效应	73
额定连续工作电压	74
临界电阻值	74
噪声	74
高频效应	75
功率额定值	75
可变电阻器——电位器	76
热敏电阻器	76
电阻器类型的归纳	77
4.3 电感器	77
电感器的选择	78
小空心线圈的设计	78
互感	81
并联的耦合电感	83
线圈的Q值或优值(损耗系数)	83

线圈的分布电容及其影响	85
射频扼流圈	86
铁心线圈	87
高频影响	87
4.4 电容器	87
电容器的选择	89
电容器的串联和并联	89
相对介电常数	90
由尺寸来计算电容	90
电容器的阻抗	91
Q值和损耗因数	92
温度系数	92
电容器的串联谐振	93
固定电容器	94
可变电容器	94
4.5 参考文献	95

#### 第五章 半导体器件的选择 96

5.1 引言	96
5.2 直流电源用整流二极管的选择	96
5.3 并联稳压器稳压管的选择	99
5.4 发光二极管(LED)指示灯的选择	102
5.5 液晶显示器(LCD)	104
5.6 射频调谐电路变容二极管的选择	104
5.7 微波二极管的选择	107
5.8 放大器双极结型晶体管(BJT)的选择	110
5.9 开关管的选择	113
5.10 射频晶体管	116
5.11 功率管的选择	117
5.12 放大器的结型场效应管的选择	121
5.13 可控硅整流元件(SCR)的选择	125
5.14 三端双向可控硅开关元件(TRIAC)的选择	129
5.15 可编程单结晶体管(PUT)的选择	132
5.16 参考文献	137

#### 第六章 音频放大器 138

6.1 引言	138
6.2 有终接的双极型晶体管级	138
6.3 有终接的场效应管级	139
6.4 偏置	139
正向偏置结与反向偏置结	139
基本晶体管偏置和导电情况	140
场效应管的偏置和导电情况	140
大信号幅度变化和工作点	141
$h_{FE}$ 、 $I_{CBO}$ 、 $V_{BE}$ 和温度有变化时对偏置的考虑	142

基本的晶体管偏置电路 .....	143	7.7 双调谐电路频率响应的分析 .....	172
6.4a 典型的npn晶体管偏置电路设计的计算 .....	144	临界耦合双调谐电路 .....	172
6.4b 有反馈的偏置电路设计的计算 .....	145	过耦合双调谐电路的分析 .....	174
6.4c 自举偏置网络级输入阻抗的计算 .....	145	7.8 多级调谐放大器 .....	174
温度补偿偏置网络 .....	146	同步调谐多级放大器的频率响应特性 .....	175
温漂 .....	146	参差调谐放大器的分析 .....	175
二次击穿 .....	147	7.9 可变频率调谐电路 .....	176
场效应管的偏置 .....	147	变容二极管调谐电路的分析 .....	176
6.5 耦合级 .....	148	7.10 调谐放大器的稳定 .....	178
RC耦合级的输入阻抗和增益的分析 .....	148	调谐放大器的中和 .....	178
直耦级 .....	150	7.11 集成电路调谐放大器 .....	179
场效应管与常规晶体管的耦合 .....	150	7.12 参考文献 .....	181
6.6 前置放大器 .....	151	<b>第八章 反馈</b> .....	182
使前置放大器工作在最低噪声时最佳信源阻抗的计算 .....	151	8.1 给定放大器的反馈系数时总增益的计算 .....	182
晶体管和场效应管的噪声特性 .....	152	8.2 串联反馈晶体管放大器电压增益的计算 .....	183
前置放大器设计中的频率考虑 .....	152	8.3 串联反馈晶体管放大器电流增益和输入阻抗的计算 .....	185
传感器的阻抗对前置放大器设计的影响 .....	153	8.4 并联反馈晶体管放大器电流增益和输入阻抗的计算 .....	185
音频电路中的均衡网络 .....	153	8.5 并联反馈晶体管放大器电压增益的计算 .....	187
音调控制 .....	155	8.6 串联反馈晶体管放大器输出阻抗的计算 .....	187
音量和响度控制 .....	155	8.7 并联反馈晶体管放大器输出阻抗的计算 .....	188
磁性唱头的前置放大器设计 .....	155	8.8 场效应管反馈放大器增益和输出阻抗的计算 .....	189
6.7 甲类功率放大器 .....	156	8.9 反馈与运算放大器 .....	190
工作特性和负载线 .....	156	8.10 反馈运算放大器增益和阻抗的计算 .....	192
甲类音频输出级的功率增益的计算 .....	158	8.11 应用反馈时带宽的计算 .....	193
6.8 乙类及甲乙类推挽放大器 .....	159	8.12 负反馈如何减小放大器增益参数不一致性的影响 .....	194
基本乙类和甲乙类的工作 .....	159	8.13 计算反馈对噪声或失真的影响 .....	194
乙类和甲乙类工作时的线性考虑 .....	160	8.14 多级和多环反馈放大器 .....	195
甲乙类输出级的阻抗和功率增益的计算 .....	160	8.15 多级反馈放大器增益的计算 .....	196
单端输出的推挽放大器 .....	161	8.16 多级反馈放大器阻抗的计算 .....	197
无变压器功率放大器 .....	162	8.17 确定增益和相位裕度 .....	197
6.9 单片集成音频放大器 .....	163	8.18 反馈放大器稳定性的判断 .....	198
基本单片元件 .....	163	8.19 校正网络的计算 .....	199
6.10 参考文献 .....	165	8.20 锁相环的中心频率和锁定范围的计算 .....	201
<b>第七章 调谐放大器</b> .....	166		
7.1 引言 .....	166		
7.2 电路的Q, 调谐电路, 带宽 .....	166		
7.3 计算为达到规定谐振频率所需的电容及确定带宽 .....	169		
7.4 有外接负载电阻的调谐电路带宽的计算 .....	169		
7.5 单调谐晶体管放大器频率响应的分析 .....	170		
7.6 单调谐晶体管放大器电压增益的计算 .....	171		

8.21 参考文献 .....	203
-----------------	-----

## 第九章 振荡器 .....

9.1 振荡器原理介绍 .....	204
巴克豪森 (Barkhausen) 判据 .....	204
放大器的稳定性 .....	205
决定频率的元件 .....	207
正弦与非正弦输出 .....	209
9.2 RC振荡器 .....	209
相移振荡器 .....	209
文氏桥振荡器 .....	211
双T振荡器 .....	213
9.3 LC反馈振荡器 .....	215
考毕兹振荡器 .....	216
克赖普振荡器 .....	219
哈特莱振荡器 .....	220
皮尔斯和密勒振荡器 .....	222
9.4 非正弦振荡器 .....	225
单结管振荡器 .....	225
自激多谐振荡器 .....	227
单稳多谐振荡器 .....	229
压控振荡器 .....	230
锁相环 .....	232
9.5 参考文献 .....	234

## 第十章 电源 .....

10.1 引言 .....	235
10.2 未经稳压的电源 .....	235
半波整流电源 .....	236
全波整流电源 .....	237
全波桥式整流电源 .....	238
倍压电源 .....	239
10.3 稳压电源 .....	241
并联式稳压电源 .....	241
有稳压管参考的串联式稳压电源 .....	242
反馈串联式稳压电源 .....	243
对稳压电源的附注 .....	245
10.4 开关型稳压电源 .....	245
10.5 散热考虑 .....	247
10.6 参考文献 .....	248

## 第十一章 电池的使用及特种

### 元电池 .....

11.1 引言 .....	249
电池的类型 .....	249
电池术语 .....	250
电池的基本原理 .....	250

11.2 一次电池 .....	252
-----------------	-----

基本知识 .....	252
商品型号 .....	253
特性 .....	253
应用 .....	254
内阻 .....	258

11.3 二次电池 .....	261
-----------------	-----

基本知识 .....	261
电池类型 .....	263

11.4 参考文献 .....	268
-----------------	-----

## 第十二章 运算放大器的应用 .....

12.1 引言 .....	269
---------------	-----

12.2 运算放大器的特性 .....	269
---------------------	-----

12.3 反馈放大器 .....	271
------------------	-----

反相放大器 .....	271
同相放大器 .....	273
电压跟随器 .....	272

12.4 实际考虑 .....	273
-----------------	-----

频率补偿 .....	273
失调补偿 .....	274

12.5 数学应用中的运算放大器 .....	274
------------------------	-----

求和放大器 .....	274
差值放大器 .....	275
共模及差模信号 .....	275
积分器 .....	275
微分器 .....	277
对数放大器 .....	277
反对数放大器 .....	279
电压乘法器和除法器 .....	280
求根和求幂 .....	281

12.6 波形产生和成型 .....	281
--------------------	-----

方波发生器 .....	281
脉冲发生器 .....	282
正弦振荡器 .....	283
函数发生器 .....	284
电压比较器 .....	284

12.7 有源滤波器 .....	284
------------------	-----

12.8 仪表中的运算放大器 .....	285
----------------------	-----

仪表放大器 .....	285
桥路 .....	286

12.9 参考文献 .....	287
-----------------	-----

## 第十三章 数字逻辑 .....

13.1 引言 .....	288
---------------	-----

13.2 真值表和布尔变数 .....	288
---------------------	-----

13.3 使用布尔代数说明简单报警电路 .....	289
---------------------------	-----

13.4	补码	289
13.5	关于互补逻辑表达式的德·摩根定理	290
13.6	把逻辑表示式转换成真值表	290
13.7	真值表转换成逻辑表达式	290
13.8	用真值表检验逻辑公式	291
13.9	逻辑门	291
13.10	多输入端门	292
13.11	禁止/启动 (inhibit/enable) 和异门	293
13.12	数系	293
	十进制数系	293
	二进制数系	293
	八进制数系	294
	十六进制数系	294
	二进制-八进制变换	294
	二进制-十六进制变换	294
	变换成十进制	294
	从十进制变换成其它进制	295
13.13	记数法	297
13.14	对于两个输入逻辑的十六种可能性	297
13.15	反相器的节省	297
13.16	组合逻辑设计——方法概述	297
13.17	利用卡诺图简化逻辑表示式	298
13.18	使用卡诺图进行简化的例子	301
13.19	卡诺图法的局限性	303
13.20	二进制半加器和全加器	303
13.21	解码器/分接器	305
13.22	数据选择器/复接器	306
	逻辑函数发生器	306
	复接应用	307
13.23	触发器简介	307
13.24	无时钟 R-S 触发器 (或非门和与非门型)	308
13.25	有时钟的触发器: J-K 触发器	309
13.26	移位寄存器	310
13.27	移位寄存器的应用	310
	串-并行变换	310
	并-串行变换	310
	乘法和除法	310
	时间延迟和数据缓冲	311
	循环存储器	311
	自解码计数器	311
13.28	计数器	311
	引言	311
	纹波计数器的工作	312

	同步计数器的工作	312
	商品计数器的特点	312
	N分频计数器	313
13.29	模 3 二进制计数器的设计	313
13.30	计数顺序任意的计数器设计	314
13.31	实联线的或逻辑	316
13.32	三态逻辑	316
13.33	参考文献	316

## 第十四章 计算机辅助电路设计

### (CADC) 317

14.1	引言	317
14.2	高级统计分析程序	317
14.3	模型	318
14.4	ASTAP语言的一些规定	318
	MODEL DESCRIPTION标题	318
	ELEMENTS标题	319
	MODEL标题	319
	FUNCTIONS标题	320
	FEATURES标题	321
	EXECUTION CONTROLS标题	321
	ANALYZE标题	321
	RUN CONTROLS标题	322
	INITIAL CONDITIONS标题	323
	OPERATING POINT标题	323
	OUTPUT标题	323
	RERUNS标题	324
	UTILITY CONTROLS标题	324
14.5	语法	324
14.6	分析电容器放电	325
14.7	分析饱和反相器	327
14.8	分析小信号放大器	331
14.9	分析有源滤波器	337
14.10	分析与非门电路	339
14.11	结论	343
14.12	参考文献	344

## 第十五章 模拟-数字转换 345

15.1	引言	345
15.2	编码和基本转换关系	345
15.3	相乘DAC的转换关系	350
15.4	用二进制电阻值并联的基本DAC	352
15.5	使用R-2R梯形网络和CMOS电流开关的D/A转换器	353
15.6	DAC的误差	355



15.7 DAC的温度效应 .....	357	18.4 当单位长度电容和电感已知时确定 传输线的特性阻抗 .....	420
15.8 DAC的规格 .....	358	18.5 确定传输线最佳终接阻抗 .....	421
15.9 逐步近似型ADC .....	360	18.6 由电缆几何形状确定特性阻抗 .....	422
15.10 转换时间和抽样速率 .....	362	18.7 确定传播速度和速度系数 .....	423
15.11 积分型转换 .....	363	18.8 由 $Z_0$ 和负载电阻计算驻波比 .....	423
15.12 ADC的转换关系和误差 .....	365	18.9 计算传输线的反射系数 .....	424
15.13 非单调DAC和ADC中的漏码 .....	367	18.10 确定入射、反射及吸收功率 .....	425
15.14 A/D转换器规格 .....	368	18.11 确定驻波比为1:1的传输线 的衰耗 .....	426
15.15 参考文献 .....	369	18.12 确定驻波比不为1:1的线路衰耗 .....	427
<b>第十六章 视频放大器</b> .....	<b>370</b>	18.13 用四分之一波长匹配线来进行阻 抗匹配 .....	428
16.1 引言 .....	370	18.14 用短截线消除驻波 .....	428
16.2 视频放大器所用的晶体管 .....	370	18.15 确定能给出特定相移的两传输线 段的长度差 .....	430
等效电路 .....	370	18.16 确定某一波导形状是否可用来传 输某一频率的信号 .....	431
晶体管参数 .....	371	18.17 参考文献 .....	431
16.3 低增益低电平无补偿视频放大级 的上界频和输入阻抗的计算 .....	373	<b>第十八章附录 传输线数据的诺模图、 图表及数表</b> .....	<b>432</b>
16.4 用发射极电容进行频率补偿 .....	376	<b>第十九章 滤波器</b> .....	<b>438</b>
16.5 有发射极补偿的暂态响应 .....	377	19.1 引言 .....	438
16.6 有发射极补偿的电感并联补偿 .....	379	19.2 频率响应形状 .....	438
16.7 串联和串-并联电感补偿 .....	382	19.3 基本参数的定义 .....	439
16.8 用射极跟随器推动的输出级的 输入阻抗 .....	383	截止频率 ( $F_c$ ) .....	439
16.9 共发-共基推动输出级 (渥尔曼 放大器)的输入阻抗 .....	386	中心频率 ( $F_0$ ) .....	439
16.10 低频RC补偿 .....	388	阻带截止频率 ( $F_s$ ) .....	439
16.11 直流恢复耦合 .....	390	选择性因数 (Q) .....	439
16.12 参考文献 .....	393	形状因数 (SF) .....	439
<b>第十七章 微处理机</b> .....	<b>394</b>	插入损耗 (IL) .....	439
17.1 引言 .....	394	19.4 滤波器类型一览 .....	440
17.2 微处理机编程 .....	394	LC滤波器 .....	440
17.3 微处理机配套电路 .....	406	有源滤波器 .....	440
17.4 存储器接口 .....	411	晶体滤波器 .....	441
17.5 如何选择微处理机 .....	416	机械滤波器 .....	441
17.6 参考文献 .....	418	19.5 选择响应类型 .....	441
<b>第十八章 传输线</b> .....	<b>419</b>	把滤波器的要求归一化 .....	442
18.1 引言 .....	419	低通滤波器的归一化 .....	442
18.2 计算电信号在已知长度的电缆上传 输的时间 .....	419	高通滤波器的归一化 .....	442
18.3 确定是否需要将一段电缆看作 是传输线 .....	420	带通滤波器的归一化 .....	443
		带阻滤波器的归一化 .....	445
		19.6 响应函数 .....	446
		巴特沃思响应 .....	446

切比雪夫滤波器 .....	448	20.8 选择天线波束宽度 .....	489
最大平坦时延 .....	450	20.9 根据前-后比选择天线 .....	490
椭圆函数滤波器 .....	450	20.10 选择适合于天线的传输线 .....	491
19.7 利用表格设计LC滤波器 .....	451	20.11 确定辐射电阻和假负载要求 .....	491
频率和阻抗换算 .....	451	20.12 计算天线增益 .....	492
低通滤波器设计 .....	452	20.13 求天线的有效辐射功率 .....	492
全极点型滤波器 .....	456	20.14 求长线天线的辐射电阻 .....	493
椭圆函数滤波器 .....	457	20.15 对数周期天线 .....	493
高通滤波器设计 .....	458	20.16 抛物面天线 .....	495
带通滤波器设计 .....	460	20.17 参考文献 .....	497
宽带带通滤波器 .....	460		
窄带带通滤波器 .....	461		
带阻滤波器设计 .....	462		
调谐方法 .....	464		
频率响应法 .....	464		
李萨如图形法 .....	464		
元件选择的影响 .....	465		
电容器选择 .....	465		
电感器选择 .....	465		
19.8 有源滤波器设计 .....	466		
频率和阻抗换算 .....	466		
低通滤波器设计 .....	467		
全极点滤波器 .....	471		
椭圆函数滤波器 .....	472		
高通滤波器设计 .....	473		
带通滤波器设计 .....	475		
宽带带通滤波器 .....	475		
窄带带通滤波器 .....	476		
带阻滤波器 .....	477		
宽带带阻滤波器 .....	477		
陷波网络 .....	478		
19.8 参考文献 .....	479		
		<b>第二十一章 微波 .....</b>	<b>498</b>
		引言 .....	498
		21.1 计算行波的波长和速度 .....	498
		21.2 计算同轴传输线的性质和尺寸 .....	499
		21.3 计算微带传输线的特性 .....	500
		21.4 计算矩形波导中的带宽界限、波长 和传播速度 .....	501
		21.5 计算圆波导中带宽、波长和 传播速度 .....	502
		21.6 计算过截止波导的衰减 .....	503
		21.7 计算在特定负载时传输线上各种波 的相对值 .....	504
		21.8 计算沿传输线的阻抗 .....	506
		21.9 计算一段可把实阻抗变换为另一实 阻抗的传输线的长度和特性阻抗 .....	506
		21.10 计算一条可把复阻抗变为实阻抗 的传输线长度及特性阻抗 .....	507
		21.11 由阻抗计算反射系数以及由反射 系数计算阻抗 .....	507
		21.12 利用阻抗(Smith)圆图进行阻抗和 反射系数的变换 .....	508
		21.13 利用阻抗圆图计算沿传输物的反 射系数和阻抗 .....	510
		21.14 利用阻抗圆图进行阻抗和导纳的 变换 .....	511
		21.15 利用开槽线求驻波比和反射系数 的大小 .....	512
		21.16 由开槽线测量来确定复反射系数 和阻抗 .....	513
		21.17 计算功率流 .....	516
		21.18 计算dB、回损、失配损耗、衰耗 和dBm .....	517
<b>第二十章 天线 .....</b>	<b>480</b>		
20.1 引言 .....	480		
20.2 设计一个全向天线 .....	480		
20.3 设计一个天线,使它能在两个方向 辐射良好,但在垂直于最佳方向上 无辐射 .....	480		
20.4 设计一个具有高定向传输特性的 天线 .....	481		
20.5 确定接收视距波的天线 最低高度 .....	484		
20.6 利用天线阀(Trap)来改变天线的 有效长度 .....	486		
20.7 确定天线Q值 .....	487		

21.19	用扫频反射计测回损的办法来测量反射系数	518
21.20	计算由信号源到负载入射功率的极限——失配误差	520
21.21	功率经过衰减器的传输	521
21.22	确定可调信号源的反射系数	522
21.23	脉冲功率和平均功率的关系	523
21.24	计算微波检波器的脉冲响应	524
21.25	计算热噪声功率	525
21.26	由测量的Y系数数据计算噪声系数和有效输入噪声温度	525
21.27	计算级联器件的总噪声系数	526
21.28	考虑镜频响应时的接收机噪声系数计算	527
21.29	参考文献	528

## 第二十二章 通信系统 .....529

22.1	引言	529
22.2	计算微音器的灵敏度额定值	529
22.3	H形匹配衰减器的设计	531
22.4	设计一个600Ω线路的桥式衰减器	532
22.5	求声级表跨接在150Ω输入端时的正确读数	534
22.6	计算前置放大器的输入电平和信噪比	534
22.7	求最大输入电平和新的信噪比	535
22.8	调幅的频率响应、噪声和失真的测量	535
	频率响应的测量步骤	537
	测量噪声	538
	测量失真	538
	载波漂移	538
22.9	调频的频率响应、噪声和失真的测量	538
22.10	检查调幅系统调制监视器的准确度	539
22.11	检查调频系统调制监视器的准确度	541
22.12	正弦波和语言信号音量单位读数之间的关系	542
22.13	计算无线中继系统技术要求	543
22.14	射频末级放大器板极电流	

	的计算	545
22.15	计算单边带抑制载波(SSSC)发射机的末级输入功率	546
22.16	有效的辐射射频功率的计算	547
22.17	用FCC曲线图计算有效辐射功率	548
22.18	使用替换天线时场强的计算	549
22.19	计算用比特/秒表示的信道容量	550
22.20	数字系统信噪比的计算	551
22.21	参考文献	551

## 第二十三章 测量 .....552

23.1	引言	552
23.2	确定测量仪表的灵敏度	552
23.3	把基本表头改装成一只电压表	552
23.4	计算直流电压表的欧姆/伏特额定值	553
23.5	用一只现成的低电压表精确测量较高的电压	554
23.6	改装基本直流表头使其具有较大的电流范围	555
23.7	用一只齐纳(稳压)二极管与分流表头相联来测量特殊的电压	556
23.8	当测量方波时计算两只不同表头	558
23.9	计算模拟仪表的两个不同刻度的百分误差	558
23.10	计算数字电压表的百分误差	559
23.11	计算数字频率计的精度	559
23.12	为测量一个差分放大器的输入和输出应采用什么型式的电表	559
23.13	计算三只不同电压表的“加载”误差	566
23.14	用平均值和标准离差计算一个量的真实值	568
23.15	示波器及其探头的校准	568
23.16	从示波器图形来计算相角	569
23.17	用示波器测量一个脉冲的上升时间时示波器引入的误差计算	569
23.18	用惠斯登电桥精确地测量精度在0.1%以内的电阻	570
23.19	参考文献	571

## 第二十四章 厚膜工艺 .....572

24.1 引言 .....	572
24.2 宽长比计算 .....	577
24.3 片电阻率计算 .....	579
24.4 电阻器设计计算, 几何效应以及修整 余量 .....	581
24.5 计算电阻温度系数, 它的线性及跟 踪性 .....	584
24.6 电阻的电压系数计算 .....	586
24.7 为电阻率和TCR而混合电阻 膜剂 .....	588
24.8 热设计计算 .....	589
24.9 厚膜混合电路的设计布局 .....	592
24.10 参考文献 .....	598
附录 .....	599
A. 希腊字母 .....	599

B. 一般物理常数值 .....	600
C. 变换系数和词头 .....	600
D. 分贝表 .....	601
E. 自然正弦和余弦表 .....	602
F. 自然正切和余切表 .....	604
G. 常用对数表 .....	606
H. 自然对数表 .....	608
I. 度、分表示为弧度 .....	610
J. 弧度表示为度 .....	611
K. 指数 .....	612
L. 三角关系式 .....	613
M. 双曲函数性质 .....	615
N. 铜线表, 标准软铜美国线规 .....	616
O. SI单位词头 .....	617
P. 国际单位制基本单位 .....	617
Q. 电学量的国际单位制 .....	617
R. ASTAP语句及各种常用方法举例 .....	619

# 第一章 技术数学复习

## 1.1 引言

在这一章里复习一下基本数学，它对工程师和技术员来说是必不可少的。所涉及到的方面有复数、基本代数、指数、对数、三角和复代数。通过38个例题来说明这些数学方法在解题中的应用。

## 1.2 复数

任何数都可看作是一个复数。复数定义为由两部分组成的数：实部和虚部，一般写为  $a + bi$  (在工程上常表示为  $a + jb$ )，其中  $i = j = \sqrt{-1}$ 。 $j$  (或  $i$ ) 称为虚单位。在图1.1中， $a$  是复数的实部，而  $jb$  是其虚部。 $j$  作为变量来处理，且  $j^2 = -1$ 。

$a$  和  $b$  不为零的复数可以象实数一样进行加减，但只能是实量与实量、虚量与虚量结合。

**问题1.1** 把  $2 + j6$  与  $5 - j8$  相加，令和为  $Y$ 。

**解**  $Y = 2 + j6 + (5 - j8) = (2 + 5) + j(6 - 8) = 7 - j2$

**问题1.2** 从  $-1 + j8$  中减去  $3 - j6$ ，令结果为  $Z$ 。

**解**  $Z = -1 + j8 - (3 - j6) = -1 + j8 - 3 + j6$   
 $= (-1 - 3) + j(8 + 6) = -4 + j14$

**问题1.3**  $7 - j2$  乘以  $-4 - j14$ ，令积为  $L$ 。

**解**  $L = (Y)(Z) = (7 - j2)(-4 + j14)$

$$\begin{aligned} &= (7)(-4) + (7)(j14) + (-j2)(-4) + (-j2)(j14) \\ &= -28 + j98 + j8 - j^2 \times 28 = -28 + j98 + j8 + 28 \\ &= (-28 + 28) + j(98 + 8) = 0 + j106 = j106 (\text{纯虚数}) \end{aligned}$$

**问题1.4** 求  $Y$  的倒数，令其为  $Q$ 。

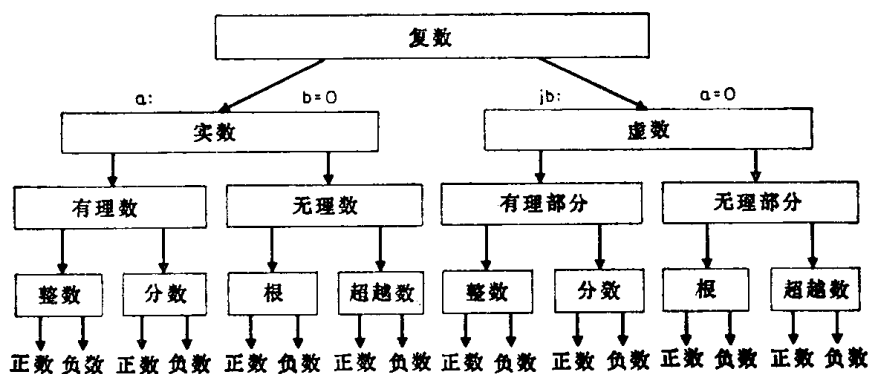


图1-1 复数分支

解  $Q=1/Y=1/(7-j2)$ 。把分子和分母同乘以分母的复共轭。只要把一个复数的虚部改变符号就会得到它的复共轭。对本题来说分母的复共轭是  $7+j2$ ，故

$$Q = \frac{1}{7-j2} = \frac{1}{7-j2} \left( \frac{7+j2}{7+j2} \right) = \frac{7+j2}{(7)(7)+(-j2)(j2)+j14-j14}$$

$$= \frac{7+j2}{49+4} = \frac{7+j2}{53} = \left( \frac{7}{53} \right) + j \left( \frac{2}{53} \right) \approx 0.132 + j 0.038$$

一个复数  $(a+jb)$  与其复共轭  $(a-jb)$  相乘总是得到一个实数  $a^2+b^2$ 。

### 复数的图形表示

当用图形来表示复数时可使用复平面（阿尔干特[Argand]平面）<sup>●</sup>，其纵轴称为虚轴，横轴称为实轴，它们的正负方向与一般坐标轴取法一样。

问题1.5 请对以下复数作图：(a)  $A=2+j2$ ；(b)  $B=3+j4$ ；(c)  $C=5-j2$ ；(d)  $D=A+B$ ；(e)  $E=-2+j4$ ；(f)  $F=-3-j5$ 。

解 (a) 见图1-2a；(b) 见图1-2b；(c) 见图1-2c；(d) 见图1-2d；(e) 见图1-2e；(f) 见图1-2f。

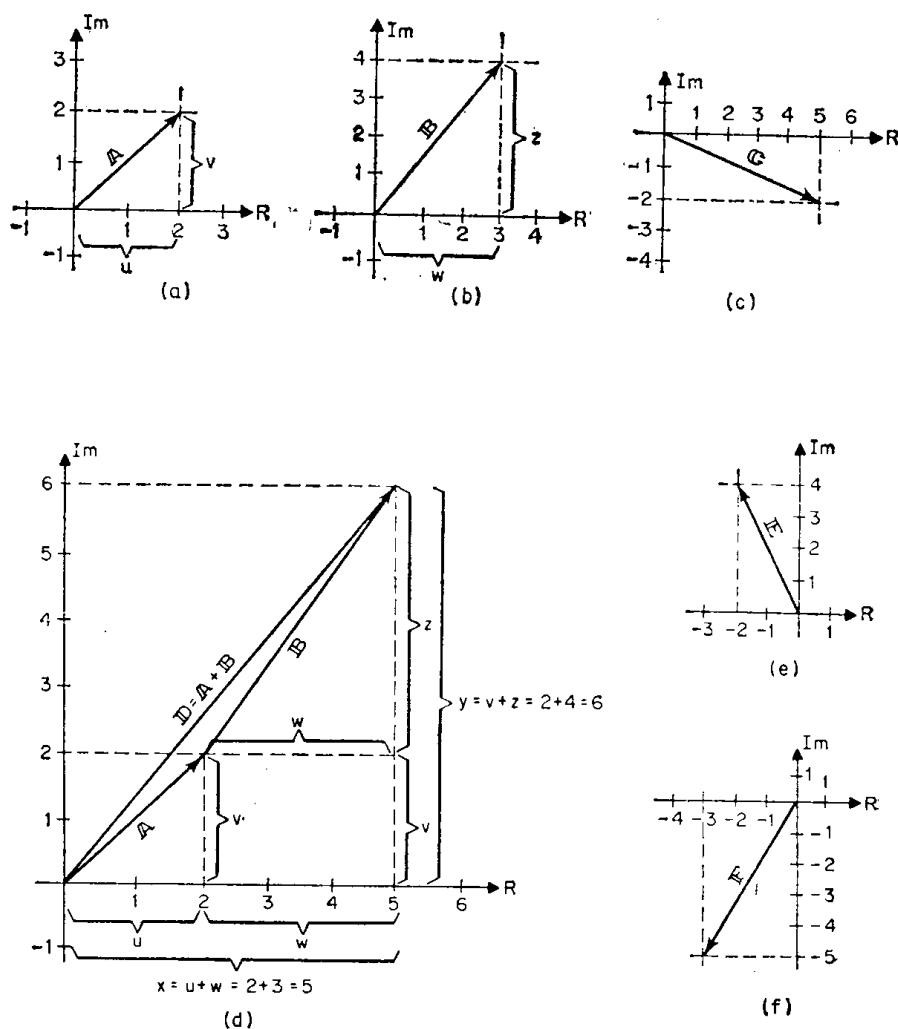


图1-2 问题1.5的解

● 由瑞士数学家Jean-Robert Argand(1768-1822)最先提出而得名。——译者

### 1.3 基本代数

在代数中，一个字母表示所研究对象的一个特定量。例如， $V = RI$ （欧姆定律）说明用伏表示的电压（ $V$ ）等于用欧表示的电阻（ $R$ ）和用安表示的电流（ $I$ ）的乘积。

一个代数表达式是表示运算的符号、变量和系数的组合，一般形式为

$$a_0x^n + a_1x^{n-1} + \cdots + a_{n-2}x^2 + a_{n-1}x^1 + a_nx^0 = 0 \quad (1-1)$$

式中  $a$  是变量  $x$  的系数。式 (1-1) 称为  $x$  的  $n$  阶多项式。一个多项式可以由一项或多项组成；这些项以 + 或 - 运算隔开，只有一项的多项式称为单项式，三项的则称为三项式，等等。 $x^0$  项的系数  $a_n$  一般称为常数项。

#### 多项式的加法和减法

**问题1.6** 请把  $5x^2 - 8x - 3$ ， $2x^2 + 9x - 2$  和  $4x^2 + 6x - 7$  相加。

解

$$\begin{array}{r} 5x^2 - 8x - 3 \\ 2x^2 + 9x - 2 \\ 4x^2 + 6x - 7 \\ \hline 11x^2 + 7x - 12 \end{array}$$

**问题1.7** 由  $-2x + 8x^2 + 9$ （被减式）减去  $5x^2 - 8x + 2$ （减式）。

解

$$\begin{array}{r} 8x^2 - 2x + 9 \\ -(5x^2 - 8x + 2) = -5x^2 + 8x - 2 \\ \hline 3x^2 + 6x + 7 \end{array}$$

注意在减式中的每一项都变号然后与被减式相加；同时，在对问题求解之前先将被减式改写成  $x$  的降幂形式，在相加和相减时只有同类项才合并，即  $x^2$  项与  $x^2$  项， $x$  项与  $x$  项合并，常数项与常数项合并等。

#### 多项式的乘法和除法

**问题1.8** 请进行下列运算：(a)  $x + 3$  乘以  $x - 4$ 。(b)  $4x^3$  乘以  $-6x^2 + 5$ 。

解

$$\begin{aligned} (a) \quad (x + 3)(x - 4) &= xx - 4x + 3x + (3)(-4) \\ &= x^2 + x(-4 + 3) - 12 \\ &= x^2 - x - 12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (b) \quad (4x^3)(-6x^2 + 5) &= (4)(-6)(x^3)(x^2) + (4)(5)(x^3) \\ &= -24x^5 + 20x^3 \end{aligned}$$

如果底为  $x$  幂为  $m$  的式与底同样为  $x$  而幂为  $n$  的式相乘，则底保持不变而幂相加。

**问题1.9** 求下列除法：(a)  $-15x^4$  除以  $3x^3$ ；(b)  $x^2 + 6x + 8$  除以  $x + 2$ ；

(c)  $x^2 - 30 + 5x$  除以  $8 + x$ 。

解

$$(a) \quad \frac{-15x^4}{3x^3} = -5x^1 = -5x$$

若底为  $x$  幂为  $p$  的式 (分子) 被底相同幂为  $q$  的另一式 (分母) 除, 则底保持不变而幂为分子的幂减去分母的幂, 即  $x^p/x^q = x^{p-q}$ 。

$$(b) \quad \frac{x^2 + 6x + 8}{x + 2} = x + 2 \begin{array}{r} \sqrt{x^2 + 6x + 8} \\ \oplus x^2 \oplus 2x \\ \hline 4x + 8 \\ \oplus 4x \oplus 8 \\ \hline 0 \end{array}$$

在相除时, 把被除式和除式均按某一给定变量的降幂排列写出, 然后顺序进行以下步骤:

1. 被除式的第一项除以除式第一项得到商的第一项;
2. 该项与整个除式相乘;
3. 从被除式中减去该式;
4. 从被除式中移下剩下的下一项;
5. 重复上述过程一直到所有的项都被算到了。如果最后一次减法后还有一个量存在, 则称它为余式。

$$(c) \quad \frac{x^2 - 30 + 5x}{8 + x} = x + 8 \begin{array}{r} \sqrt{x^2 + 5x - 30} \\ \oplus x^2 \oplus 8x \\ \hline -3x - 30 \\ \oplus 3x \oplus 24 \\ \hline -6 \quad \text{余式} \end{array}$$

注意商  $Q(x) = x - 3$ , 余式为  $R = -6$ 。完整答案为  $x - 3 + \frac{-6}{x + 8} = Q(x) + \frac{R}{\text{除式}}$ 。

## 代数方程及公式

一个代数方程乃是一种数学表述, 它指明两个代数表达式的等价性。例如,  $3x - 7 = x + 1$  说明方程左边的二项式等于方程右边的二项式。

### 一阶方程的解

这时  $x$  或任何其它所选变量的幂次为 1。方程两边可加减同一量。方程两边各项可乘以或除以同一量 (零除外)。

**问题 1.10** 请解下列方程的  $x$  或  $y$ : (a)  $x + 2 = 9$ ; (b)  $2x - 1 = 15$ ; (c)  $(y - 9)/2 = (y + 12)/9$ ; (d)  $(2x + 5)/6 = (2x)/3 - 1/2$ 。



解

(a)  $x + 2 = 9$  方程两边减去 2:

$$x + 2 - 2 = 9 - 2$$

$$x = 7$$

(b)  $2x - 1 = 15$  两边加 1:

$$2x - 1 + 1 = 15 + 1$$

$$2x = 16 \quad \text{两边除以 2:}$$

$$x = 8$$

可以把求得的  $x$  值代入原方程来验证解的正确性。(c)  $\frac{y-9}{2} = \frac{y+12}{9}$  两边乘以 18:

$$\left(\frac{y-9}{2}\right)(18) = \left(\frac{y+12}{9}\right)(18)$$

$$(y-9)(9) = (y+12)(2) \quad \text{消去括号:}$$

$$9y - 81 = 2y + 24 \quad \text{两边加 81:}$$

$$9y - 81 + 81 = 2y + 24 + 81 \quad \text{合并同类项:}$$

$$9y = 2y + 105 \quad \text{两边减 } 2y:$$

$$7y = 105 \quad \text{两边除以 7:}$$

$$y = 15$$

本题的方程也可称为分式方程。首先，方程两边乘以最小公分母或叫做分母的最小公倍数。

(d)  $\frac{2x+5}{6} = \frac{2x}{3} - \frac{1}{2}$  乘以最小公分母 = 6:

$$2x + 5 = 4x - 3 \quad \text{两边减去 5:}$$

$$2x = 4x - 8 \quad \text{两边减去 } 4x:$$

$$-2x = -8 \quad \text{两边除以 } -2:$$

$$x = +4$$

### 文字方程

文字方程中的常数是由字母表中的一些字母（称为文字）来表示的。有时人们希望重新安排方程来对特定字母求解。

**问题 1.11** 给定  $V = ZI$ ，求  $I$ 。

**解** 将两边除以  $Z$  得

$$\frac{V}{Z} = \frac{ZI}{Z} = I$$

量  $1/Z$  是导纳，用字母  $Y$  表示，故最后的解答可以写为  $I = YV$ 。它有时称为欧姆定律的对偶形式。

**问题 1.12** 给定  $^{\circ}\text{F} = (9/5)^{\circ}\text{C} + 32$ ，求  $^{\circ}\text{C}$ 。

**解** 两边减去 32:  $^{\circ}\text{F} - 32 = (9/5)^{\circ}\text{C} + 32 - 32 = (9/5)^{\circ}\text{C}$  两边乘以  $5/9$ :

$$5(^{\circ}\text{F} - 32)/9 = ^{\circ}\text{C}$$