

电子与信息科学

基础课程手册

—— 基本理论

概念和方法

上 册

北京师范大学出版社

电子与信息科学基础课程手册

——基本理论、概念和方法

上 册

本 社 编

北 京 师 范 大 学 出 版 社

电子与信息科学基础课程手册

——基本理论、概念和方法

下 册

本 社 编

北京师范大学出版社

电子与信息科学基础课程手册

——基本理论、概念和方法

本社编

•

北京师范大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

国营五二三厂印刷

•

开本：850×1168 1/32 印张：37.875 字数：948 千

1985 年 7 月第 1 版 1985 年 7 月第 1 次印刷

印数：1—16,500

统一书号：13243·62 定价：8.60 元

850

编 者 的 话

近二十年来,随着科学技术的发展,新材料的开发,新器件、大系统的出现,电子与信息科学的发展异常迅猛,传统的理论日趋成熟,不少新的概念、新的模型;新的观点、新的方法被广泛确认和采用,同时,电子与信息科学本身也在不断分化和重新组合,出现了不少新兴的学科。不久前一些还是少数专门人员研究的课题,现已成为培养本科大学生的必修课程;有的已成为一般工程技术人员必备的基础理论知识。

面对新的形势,学习电子与信息科学的不少同志以及各级各类电子类专业的学生要求有一本比较系统和全面反映电子与信息科学的基本理论、基本概念与基本方法的工具书。为此,我们约请了中国科学院研究生院、北方交通大学、北京邮电学院、北京师范大学等部分从事电子类专业基础课教学的教师,编写了这本电子与信息科学基础课程手册,本书力图体现以下四个特点:

一、全书共包括十篇电子与信息科学的基础课程及一篇电子学常用数学公式与物理常数。其中除了传统的专业基础课程外,还包括信号与线性系统、网络综合、网络图论,微波原理与技术、计算机原理、通讯原理、电子线路的计算机辅助设计等目前仅在部分院校开设的专业基础课,它基本上反映了电子与信息科学基础课程的全貌。

二、作为电子类专业的基础课程手册,它是一种直接为教学服务的工具书,因而要求它对概念的叙述简明、准确,本书作者为此进行了大量的工作。使全书结构紧凑,概念阐述准确严谨,方法介绍尽可能深入浅出,为初学者提供了方便。

三、本书的选材参照了教育部指定的理工科大学无线电电子类专业第二轮教材的教学大纲，以及目前国内各院校广泛采用的教材和国外流行的教材。因而它的内容具有先进性并有一定的针对性。在体例上，本书采取了教材的系统，这样便于读者系统学习，加深理解。

四、作为工具书，在有限的篇幅里不可能对高深问题进行专门研究，也不可能引入大量的公式推导过程，它只能引出思路，给出结果。

参加本书编写工作的同志有：

第一篇“电路分析基础”施玉珂；第二篇“信号与线性系统”裴留庆；第三篇“模拟电子线路”尹俊华、张鹤登；第四篇“数字电路与逻辑设计基础”谢咏珪、周思；第五篇“电子计算机原理”师书恩；第六篇“微波原理与技术”李大年；第七篇“通讯原理”杨自辰；第八篇“网络综合”颜绍书；第九篇“网络图论”左垠、许珠；第十篇“电子线路的计算机辅助设计”胡健栋；第十一篇“电子技术中常用数学公式及物理常数”柴境湘。参加本书审稿工作的同志有：朱钟霖、李英、钱彭年、倪维桢、陈叔远、林钧礼、姜汝珙、谢咏珪、裴留庆。

由于时间较紧，加上编者的水平有限，书中遗漏、错误之处恳请广大读者批评指正。

编者

1983年10月

目 录

第一篇 电路分析基础	(1)
第一章 线性电路分析导论	(1)
1-1 电路模型和集中参数电路	(1)
1-2 基本变量以及参考方向	(2)
1-3 二端电路元件	(3)
1-3-1 电阻元件 (3) 1-3-2 电容元件 (3) 1-3-3 电感元件 (4) 1-3-4 电压源 (6)	
1-4 基尔霍夫定律	(7)
1-4-1 基尔霍夫电流定律 (KCL) (8) 1-4-2 基尔霍夫电压定律 (KVL) (8)	
1-5 对偶性	(8)
1-6 单口网络及其等效电路	(9)
1-6-1 单口与电路的等效变换概念(9) 1-6-2 单口的等效变换电路(9)	
第二章 线性电路的基本分析方法	(15)
2-1 引言	(15)
2-2 支路电流法	(16)
2-3 未知变量的选择和网络线图	(17)
2-3-1 网络线图的基础知识 (17) 2-3-2 未知变量的选择 (19)	
2-4 独立方程的建立	(20)
2-5 节点电压法	(20)
2-6 网孔电流法	(22)
2-7 电源转移	(23)
2-8 对偶电路	(24)
第三章 网络定理	(25)
3-1 迭加定理	(25)

3-2	替代定理 (置换定理)	(26)
3-3	戴维南定理和诺顿定理	(27)
3-4	特勒根定理	(29)
3-5	互易定理	(30)
第四章 一阶电路的时域分析		(33)
4-1	基本信号	(34)
4-2	线性定常一阶电路的分析	(36)
4-2-1	RC 电路的零输入响应 (37)	
4-2-2	起始状态、初始状态和初始值 (38)	
4-2-3	RC 电路的零状态响应 (39)	
4-2-4	完全响应及其两种分解方式 (41)	
4-3	三要素法	(42)
4-4	电压、电流初始值的计算	(43)
4-5	典型 RC 电路举例	(45)
第五章 二阶电路的时域分析		(47)
5-1	RLC 串联电路的零输入响应	(47)
5-2	RLC 并联电路的零状态响应	(51)
5-2-1	单位阶跃响应 (51)	
5-2-2	冲激响应 (52)	
5-3	二阶电路的完全响应	(53)
5-4	高阶电路	(55)
5-5	卷积积分	(56)
5-5-1	卷积积分的导出 (56)	
5-5-2	卷积的几何意义 (57)	
5-5-3	卷积积分的计算 (57)	
第六章 正弦稳态分析		(59)
6-1	正弦稳态响应的基本概念	(59)
6-2	正弦量的相量表示	(59)
6-2-1	相量 (59)	
6-2-2	相量的主要性质 (60)	
6-3	电路基本规律的相量形式	(60)
6-3-1	电路元件上伏安关系的相量形式 (60)	
6-3-2	阻抗与导纳 (62)	
6-3-3	电路的相量模型 (63)	
6-3-4	基尔霍夫定律的相量形式 (64)	
6-4	正弦稳态电路的相量分析法	(64)

6-5	正弦传递函数	(65)
6-6	简单线性电路的频率特性	(67)
6-6-1	一阶低通、高通电路	(67)
6-6-2	二阶带通电路—谐振	
6-7	正弦稳态电路的功率	(70)
6-7-1	无源单口网络的功率	(70)
6-7-2	有功功率可加性	
6-7-3	最大功率传输	(73)
第七章	耦合元件和耦合电路	(73)
7-1	耦合电感器	(74)
7-1-1	线性定常耦合电感器的VCR	(74)
7-1-2	同名端	(75)
7-1-3	耦合电感器的去耦等效电路	(75)
7-1-4	耦合系数	
7-1-5	含耦合电感器电路的分析	(77)
7-2	理想变压(量)器	(80)
7-2-1	两绕组理想变压器	(80)
7-2-2	含理想变压器电路的分析	(81)
7-3	受控源	(83)
7-3-1	受控源的特性	(83)
7-3-2	含受控源电路的分析	
7-3-3	有源网络的线性分析	(91)
第八章	傅里叶分析——线性电路的频域分析	
		(91)
8-1	周期信号的傅里叶级数和频谱	(92)
8-1-1	傅里叶级数	(92)
8-1-2	傅里叶系数和波形对称性的关系	(93)
8-1-3	傅里叶级数的指数形式	(93)
8-1-4	周期信号的频谱	(94)
8-2	傅里叶积分和非周期信号的频谱	(98)
8-2-1	傅里叶变换	(98)
8-2-2	傅里叶变换的性质	(99)
8-2-3	常用信号的频谱函数	(100)
8-3	线性电路的傅里叶分析	(100)
8-3-1	线性电路对周期信号的稳态响应——谐波分析法	(100)
8-3-2	线性电路对非周期信号的零状态响应——频谱函数法	(100)
8-4	信号通过线性电路无失真传输	(102)
8-4-1	线性电路无失真传输条件	(102)
8-4-2	理想滤波器和佩	

利——维纳准则 (103)

第九章 拉普拉斯变换法——线性电路的复频域分析

.....	(104)
9-1 拉普拉斯变换	(105)
9-1-1 定义 (105) 9-1-2 拉氏变换存在的条件 (106)	
9-2 拉普拉斯变换的基本性质	(107)
9-3 拉普拉斯反变换	(107)
9-3-1 拉氏反变换的直接计算 (107) 9-3-2 部分分式法 (亥维赛展开定理) (107)	
9-4 $F(s)$ 的极点和相应原函数的时域特性	(111)
9-5 线性电路的复频域 (s 域) 分析	(114)
9-5-1 电路元件的 s 域模型 (114) 9-5-2 基尔霍夫定律的 s 域形式 (114) 9-5-3 线性电路的 s 域分析 (115)	
9-6 网络函数	(116)
9-6-1 定义 (116) 9-6-2 网络函数的性质 (116) 9-6-3 网络函数极零图和频率响应 (117)	
9-7 周期性稳态响应	(120)

第十章 双口网络

10-1 双口网络的方程和参数	(120)
10-2 双口网络参数的确定	(121)
10-3 双口的等效电路	(125)
10-4 双口网络的联接及其参数	(126)
10-5 双口网络的网络函数	(126)

参考书目

第二篇 信号与线性系统

第一章 信号与系统的基本概念

1-1 信号的基本概念	(133)
1-1-1 什么叫信号 (133) 1-1-2 信号传输与信号处理 (133)	
1-1-3 信号的分类 (134) 1-1-4 几种常用的基本信号 (135) 1-1-5 信号的分解 (135)	
1-2 系统的基本概念	(137)

1-2-1 什么叫系统 (137)	1-2-2 系统理论中的两类问题 (138)
1-2-3 系统的分类 (138)	1-2-4 系统的分析方法 (140)
1-2-5 信号与系统的关系 (141)	
第二章 连续时间系统的时域分析	(141)
2-1 时域分析中的若干概念	(141)
2-1-1 输入、输出与因果系统 (141)	2-1-2 零输入响应与初始状
态 (142)	2-1-3 零状态响应 (143)
2-1-4 完全响应及其分	解方法 (143)
2-1-5 冲激响应与阶跃响应 (143)	
2-2 微分方程的算子形式与系统的传递算子	(144)
2-3 卷积积分	(145)
2-3-1 卷积积分的定义 (145)	2-3-2 卷积积分的运算规则
(146)	2-3-3 迭加积分 (148)
2-3-4 常用函数的卷积积分	表 (148)
第三章 连续时间信号与系统的傅里叶分析	(149)
3-1 周期信号的傅里叶级数	(150)
3-1-1 定义 (150)	3-1-2 狄里克雷条件 (150)
3-1-3 信号的	的对称性与傅里叶系数的关系 (150)
3-1-4 傅里叶级数的其他形	式 (150)
3-1-5 周期信号的频谱 (151)	3-1-6 常用周期信
号的傅里叶级数 (151)	
3-2 信号的傅里叶变换	(151)
3-2-1 定义 (151)	3-2-2 常用函数的傅里叶变换对 (151)
3-2-3 一些常用信号的频谱图 (157)	3-2-4 傅里叶变换的主要
性质 (157)	3-2-5 信号的功率谱和能量谱 (157)
3-2-6 信	号通过线性系统的不失真条件 (168)
3-3 连续时间系统的傅里叶分析	(168)
3-3-1 线性系统对非正弦周期信号的响应 (169)	3-3-2 线性系
统对非周期信号的响应 (170)	
第四章 连续时间系统的 s 域分析	(171)
4-1 拉普拉斯变换	(171)
4-1-1 定义及存在条件 (171)	4-1-2 拉普拉斯变换与傅里叶变
换之间的关系 (172)	4-1-3 拉普拉斯变换的主要性质 (174)
4-1-4 拉普拉斯反变换 (174)	

4-2 线性系统的 s 域分析	(175)
4-2-1 系统传递函数的定义 (175) 4-2-2 线性系统的零状态响应 (175) 4-2-3 线性系统的完全响应 (175) 4-2-4 系统的固有频率及其计算方法 (175) 4-2-5 多输入、多输出系统的分析 (177) 4-2-6 最小相移系统 (179)	
第五章 离散时间信号与系统	(179)
5-1 离散时间信号与采样定理	(179)
5-1-1 定义 (179) 5-1-2 几种基本序列信号 (180) 5-1-3 序列的运算规则 (181) 5-1-4 采样定理 (182)	
5-2 离散傅里叶变换	(183)
5-3 离散时间系统的时域分析	(185)
5-3-1 差分方程 (185) 5-3-2 差分方程的求解方法 (185)	
5-3-3 离散系统的传递算子 (185) 5-3-4 零输入响应 (186)	
5-3-5 零状态响应 (187) 5-3-6 卷积和常用公式 (187)	
5-3-7 离散系统的单位响应 (188) 5-3-8 传递算子 $H(E)$ 与单位响应 $h(k)$ (189)	
5-4 Z 变换	(190)
5-4-1 定义 (190) 5-4-2 常用序列的 Z 变换 (191) 5-4-3 Z 变换的主要性质 (191) 5-4-4 Z 反变换 (193)	
5-5 离散系统的 Z 域分析	(194)
5-5-1 系统传递函数的定义 (194) 5-5-2 离散系统的 Z 域分析 (194)	
第六章 系统的模拟与稳定性	(195)
6-1 线性系统的信号流图表示和模拟	(195)
6-1-1 信号流图概念及其基本变换 (195) 6-1-2 梅森公式 (197) 6-1-3 连续时间系统的模拟 (200) 6-1-4 连续时间系统的三种模拟方式 (200) 6-1-5 离散系统的基本模拟元件 (202)	
6-2 线性系统的稳定性	(203)
6-2-1 定义与定理 (203) 6-2-2 系统的可控性与可观性 (204) 6-2-3 罗斯——霍尔维茨判据 (204) 6-2-4 奈奎斯特判据 (206) 6-2-5 离散时间系统的稳定性 (209)	

第七章 系统的状态变量分析法	(213)
7-1 动态系统的状态方程	(213)
7-1-1 系统的状态与状态变量 (213) 7-1-2 状态方程的基本形式 (214) 7-1-3 状态空间与轨迹 (214) 7-1-4 状态方程的建立 (215) 7-1-5 状态方程的线性变换 (217)	
7-2 连续时间系统状态方程的解	(218)
7-2-1 时域解法 (218) 7-2-2 状态方程的S域解法 (219)	
7-2-3 状态转移矩阵 $\phi(t)$ 的计算 (219) 7-2-4 输出方程的求解 (221) 7-2-5 由状态方程判断系统的稳定性 (222)	
7-3 系统的可控制性与可观测性	(223)
7-3-1 可控性 (223) 7-3-2 可观测性 (225)	
7-4 离散系统的状态变量描述	(226)
7-4-1 离散系统状态方程的基本形式 (226) 7-4-2 由差分方程建立相应的状态方程 (227) 7-4-3 离散系统状态方程的时域解法 (228)	
7-4-4 A^k 的计算方法 (228) 7-4-5 离散系统的稳定性 (230)	
7-5 状态方程的模拟	(230)
参考书目	(230)
第三篇 模拟电子线路	(231)
第一章 半导体器件的特性	(231)
1-1 半导体导电特性	(231)
1-1-1 本征半导体的导电特性 (231) 1-1-2 P型半导体和N型半导体 (234)	
1-2 PN结	(235)
1-2-1 PN结的形成 (235) 1-2-2 PN结的伏安特性 (236)	
1-2-3 PN结击穿 (237) 1-2-4 晶体二极管的电容 (237)	
1-2-5 二极管的主要参数 (238)	
1-3 特殊二极管	(239)
1-3-1 稳压二极管 (239) 1-3-2 变容二极管 (239) 1-3-3 隧道二极管 (江崎二极管) (239)	
1-4 晶体三极管	(240)
1-4-1 晶体管的构造和工作原理 (240) 1-4-2 晶体管的符号和电压 (241) 1-4-3 晶体管的三种连接方式 (241) 1-4-4	

晶体管的电流分配关系 (241)	1-4-5 共发射极特性曲线 (242)
1-4-6 共基极输出特性曲线 (242)	1-4-7 晶体管的主要参数 (242)
1-4-8 晶体管的放大作用 (244)	
1-5 场效应晶体管	(244)
1-5-1 结型场效应管 (244)	1-5-2 场效应管的输出特性曲线 (245)
1-5-3 绝缘栅场效应管 (245)	1-5-4 N 沟道增强型绝缘栅场效应管的输出特性 (246)
1-5-5 各种类型场效应管的符号、电压极性和转移特性 (246)	1-5-6 场效应管的主要术语 (246)
1-6 集成电路	(249)
1-6-1 单片集成电路 (249)	1-6-2 薄膜集成电路 (250)
1-6-3 厚膜集成电路 (250)	1-6-4 混和集成电路或多片集成电路 (250)
1-7 电荷耦合器件	(250)
1-7-1 深耗尽状态和表面势阱 (250)	1-7-2 信息电荷的传输 (251)
第二章 小信号放大器的分析	(252)
2-1 放大器的工作原理与主要指标	(252)
2-1-1 简单放大器 (252)	2-1-2 放大器的增益 (253)
2-1-3 增益的(分贝)表示法 (255)	2-1-4 放大器的频率响应 (255)
2-1-5 非线性失真 (256)	
2-2 放大器的基本分析方法	(256)
2-2-1 图解分析法 (256)	2-2-2 晶体管放大器的 h 等效电路分析法 (259)
2-2-3 h_e 、 h_b 和 h_o 的换算 (260)	2-2-4 三种组态中频放大特性曲线的比较 (260)
2-3 晶体管放大器的偏置和温度稳定性	(261)
2-3-1 偏置电路 (262)	2-3-2 工作点稳定问题 (262)
2-3-3 不稳定系数 (263)	
2-4 RC 晶体管单级放大器的低频响应	(265)
2-4-1 小信号放大器的复频域分析法 (265)	2-4-2 单级共发射放大器的低频响应 (272)
2-4-3 低频截止频率和电路元件的确定 (274)	
2-5 RC 晶体管单级放大器的高频响应	(274)
2-5-1 单级共发射放大器的高频响应 (274)	2-5-2 单向近似模型及其应用 (277)
2-5-3 单级共发射放大器的增益带宽积 GBP (280)	

2-6 晶体管放大器的时域响应	(280)
2-6-1 单位阶跃电压和阶跃响应 (280)	
2-6-2 放大器的阶跃响应 (281)	
2-7 场效应管放大器	(282)
2-7-1 场效应管放大器的偏置 (282)	
2-7-2 单级共源放大器的频率特性 (284)	
2-8 多级放大器	(286)
2-8-1 级间耦合方式 (286)	
2-8-2 RC 耦合场效应管多级放大器的增益和带宽的计算 (286)	
2-8-3 多级 RC 耦合共发射极放大器的计算 (288)	
2-8-4 多级放大器的增益带宽积 GBP (289)	
第三章 负反馈放大器	(290)
3-1 负反馈放大器的基本概念	(290)
3-1-1 反馈的定义 (290)	
3-1-2 反馈环 (291)	
3-1-3 基本反馈方程式 (291)	
3-1-4 反馈深度和环路增益 (292)	
3-2 反馈的分类和判别	(292)
3-2-1 反馈的分类 (292)	
3-2-2 反馈的判别 (293)	
3-3 负反馈的效果	(297)
3-3-1 提高增益的稳定性 (297)	
3-3-2 改善频响 (293)	
3-3-3 减小非线性失真 (298)	
3-3-4 抑制内部的干扰和噪声 (300)	
3-4 负反馈放大器的输入、输出电阻	(301)
3-5 反馈放大器的分析方法	(302)
3-5-1 方框图分析法 (302)	
3-6 反馈放大器的稳定性分析	(303)
3-6-1 反馈放大器的稳定性问题 (303)	
3-6-2 根轨迹和闭环主导极点 (305)	
3-6-3 波特图判别法 (305)	
3-6-4 奈奎斯特准则 (306)	
3-6-5 反馈放大器的稳定工作 (307)	
3-7 跟随器	(307)
第四章 低频功率放大器	(308)
4-1 单管甲类变压器耦合功率放大器	(308)
4-2 乙类推挽变压器耦合功率放大器	(309)
4-2-1 基本电路 (309)	
4-2-2 工作原理 (310)	
4-2-3 定量分析 (310)	
4-2-4 非线性失真 (310)	

4-3 无变压器功率放大器	(311)
4-3-1 复合管与互补复合管 (311) 4-3-2 等效互补对称电路 (312) 4-3-3 晶体管的热阻 R_T (313) 4-3-4 功率管的损坏和保护 (313)	
第五章 小信号放大器的设计	(314)
5-1 噪声的定义	(314)
5-1-1 噪声的定义 (315)	
5-2 放大器的噪声	(316)
5-2-1 放大器的噪声模型 (316) 5-2-2 噪声系数 (317) 5-2-3 多级放大器的噪声 (318) 5-2-4 晶体管的噪声模型 (319) 5-2-5 晶体管的中带噪声系数 (320) 5-2-6 晶体管 $E_n - I_n$ 模型 (321)	
5-2-7 晶体管的低频和高频噪声 (321)	
5-3 无噪声偏置电路	(323)
5-3-1 电阻产生的噪声的计算 (323) 5-3-2 无噪声偏置电路 (323)	
5-3-3 低噪声输入级的设计原则 (325)	
5-4 宽频带放大器的分析方法	(326)
5-4-1 一阶系统 (327) 5-4-2 二阶系统 (329) 5-4-3 三阶系统 (336)	
5-5 三种基本组态宽带放大器	(337)
5-5-1 共发宽频带放大器 (337) 5-5-2 共基宽频带放大器 (339)	
5-5-3 共集宽频带放大器 (341)	
5-6 扩展频带的常用方法	(344)
5-6-1 电抗补偿的宽频带放大器 (344) 5-6-2 负反馈宽频带放大器 (347) 5-6-3 组合电路宽频带放大器 (349)	
第六章 直流放大器	(351)
6-1 直流放大器的主要问题	(351)
6-2 差动放大器	(351)
6-2-1 工作原理 (351) 6-2-2 典型的差动放大电路 (352)	
6-2-3 共模抑制比 $CMRR$ (353)	
6-3 差动放大器四种不同接法的比较	(354)
6-4 采用晶体管恒流源的差动放大器	(354)
第七章 运算放大器	(354)

7-1 理想运算放大器	(354)
7-1-1 运算放大器的特点 (354) 7-1-2 理想运算放大器 (355)	
7-2 运算放大器组成的运算电路	(355)
7-2-1 加法运算电路 (355) 7-2-2 反号器 (355) 7-2-3 比例器 (355) 7-2-4 微分器 (355) 7-2-5 积分器 (355)	
7-2-6 对数放大器 (356) 7-2-7 反对数放大器 (356)	
7-3 运算放大器的基本技术指标	(356)
7-4 运算放大器的相位补偿	(358)
7-4-1 负反馈放大器的稳定条件 (358) 7-4-2 相位补偿网络 (358)	
7-5 一个典型的集成运放	(359)
7-6 运算放大器的等效电路	(361)
7-6-1 理想集成运放的等效模型 (361) 7-6-2 理想集成运放模型应用举例 (364)	
第八章 直流电源	(365)
8-1 整流电路	(365)
8-1-1 半波整流 (365) 8-1-2 全波整流 (366) 8-1-3 桥式整流 (368) 8-1-4 倍压整流 (368)	
8-2 平滑滤波器	(369)
8-2-1 电容滤波器 (369) 8-2-2 电感滤波器 (370) 8-2-3 Γ 型(倒L型)滤波器 (372) 8-2-4 π 型滤波器 (372) 8-2-5 RC滤波器 (373) 8-2-6 有源滤波器 (373)	
8-3 稳压器	(374)
8-3-1 线性稳压器 (374) 8-3-2 非线性稳压器 (374) 8-3-3 参数稳压器 (375) 8-3-4 稳压管稳压器 (375) 8-3-5 串联稳压器 (375)	
8-4 稳压电源的质量指标	(376)
8-4-1 稳压系数 S_V (377) 8-4-2 温度系数 S_T (377) 8-4-3 波纹电压 (377) 8-4-4 稳定度 (378)	
8-5 稳压器保护电路	(378)
8-5-1 限流保护电路 (378) 8-5-2 电流截止保护电路 (378)	
8-6 稳流器	(379)
第九章 非线性电路的分析方法	(380)