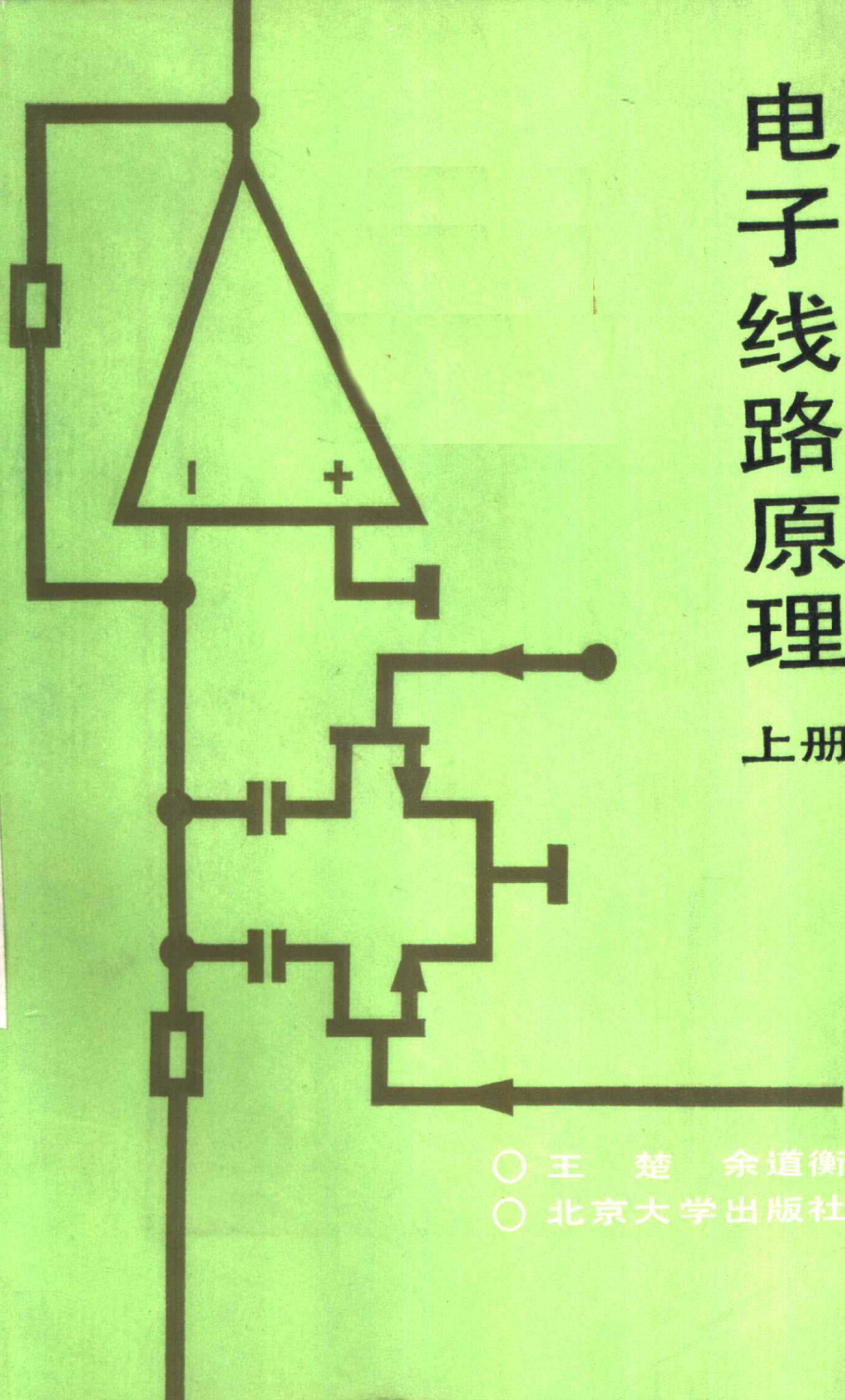


电子线路原理

上册



○ 王 楚 余道衡

○ 北京大学出版社

电子线路原理

下 册

王 楚 余道衡

北京大学出版社

电子线路原理(上)

王 楚 余道衡 编著

责任编辑: 李采华

*

北京大学出版社出版

(北京大学校内)

北京大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

850×1168毫米 32开本 18.75印张 470千字

1986年9月第一版 1991年4月第二次印刷

印数: 11,001—12,000册

ISBN7-301-00205-X/O·36

定价: 5.70元

内 容 简 介

电子线路原理是从事无线电物理和技术工作的基础，本书结合当前电子技术的发展情况，在原有讲义的基础上反复补充修改而成。

上册为线性电路基础，包括双端口网络、频谱分析、拉氏变换、传输线和无源滤波器等内容。下册为模拟电子线路，包括各种放大电路、振荡电路、电源、有源滤波器、脉冲电路以及模拟乘法器、门电路和触发器等。

本书力图从物理概念和数学规律来说明电子线路的原理。书中附有一定数量的习题。

本书适合综合大学无线电电子学系学生作教材使用，也可供工科、师范院校有关专业大学生、研究生及从事无线电方面工作的工程技术人员参考。

电子线路原理（下）

王 楚 余道衡

责任编辑：李采华

*

北京大学出版社出版

（北京大学校内）

北京大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

850×1168毫米 32开本 18印张 400千字

1987年11月第一版 1990年2月第二次印刷

印数：2501—4000册

ISBN 7-301-00206-8/O·37

定价：4.30元

内 容 简 介

电子线路原理是从事无线电物理和技术工作的基础，本书结合当前电子技术的发展情况，在原有讲义的基础上反复补充修改而成。

上册为线性电路基础，包括双端口网络、频谱分析、拉氏变换、传输线和无源滤波器等内容。下册为模拟电子线路，包括各种放大电路、振荡电路、电源、有源滤波器、脉冲电路以及模拟乘法器、门电路和触发器等。

本书力图从物理概念和数学规律来说明电子线路的原理。书中附有一定数量的习题。

本书适合综合大学无线电电子学系学生作教材使用，也可供工科、师范院校有关专业大学生、研究生及从事无线电方面工作的工程技术人员参考。

序 言

本书是北京大学无线电电子学系模拟电子线路课的一种教学用书，是按照综合性大学无线电电子学和无线电物理专业教学大纲的要求，把电路分析基础、线性电子线路和非线性电子线路三方面的内容作为一门统一的课程进行编写的。作者总结了二十多年来的教学经验，结合当前电子技术的发展情况和教学要求编著了这本教材，经过了几年试用和反复修改，现定名为《电子线路原理》，分上、下两册正式出版。

上册为线性电路基础，介绍了电路元件、广义阻抗、半导体三极管、场效应管、真空管、集成线性放大器和基本放大电路，笔者把它们作为非互易电路来处理，这样，使电路理论与电子线路的内容结合为统一的整体。上册还包括双端口网络、频谱分析、拉氏变换、传输线和无源滤波器等内容，并用它们来分析电子线路的一些基本问题，这样有利于学生从时域、频域、复频域以及波动观点来理解电路。在分析方法上，包括了作图法、双端口网络法和有源器件的基本组态等多种方法，这有利于学生开拓思路，灵活运用。下册为模拟电子线路，包括各种放大电路、振荡电路、电源、有源滤波器和脉冲电路，也介绍了非线性电路、时变参量电路的最基本的分析方法和主要特征，还介绍了模拟乘法器、门电路和触发器等。下册的内容是上册各种分析方法的具体应用和深入发展。下册的电路实例，以晶体管和线性集成放大器（运算放大器）为主。由于上、下册内容和分析方法统一，上册为下册的各种典型电路打下了较好的基础，下册内容尽管很多，但写得比较简捷和概括。

本书侧重于阐明关于电子线路的基本原理和基本方法。在多年的教学实践中，我们感到理科学生在学习本课程时，一般没有

物理和数学上的困难，但由于课程内容多，电路千变万化，常常难于掌握有关思路和分析方法。因此在写本书时，我们力图把重点放在引导学生建立准确的概念，培养学生运用所学原理和方法去认识各种类型电路的习惯和能力，而不是企图介绍尽可能多的具体电路。这样，有可能使学生注意掌握最重要的知识和本领，灵活地、主动地去分析和设计具体电路。

本书还力图从物理概念和数学规律来说明电子线路的原理，希望在阅读本书时，能与波动或其它物理现象进行对比，认识电路规律在物理现象中具有一定的普遍性，这样有助于充分利用已有的知识来理解和掌握电子线路的知识，同时又有助于进一步掌握其它知识。

在学习本课程之前，读者应掌握一些必要的基础知识，如微积分、微分方程、线性代数、傅氏变换、拉氏变换和电磁学等。

在阅读本书时，如有条件做一些实验。希望读者在分析电路和有关实验现象时，注意到分析计算的有关参量的误差的数量级，并以此为依据进行设计或解释现象，切忌无根据地确定电路参数或盲目地调试电路。

习题是十分重要的环节之一，本书各章配有两类习题，第一类是为巩固所学知识的基本练习，第二类则是为了引导学生综合运用所学知识解决深一步的问题的。对第二类习题，不要求当时完全弄清楚，但要求学生明确自己能解决哪些问题，并记住暂时不能解决的部分，在阅读后面章节时再联系这些问题进行学习。这类习题对启迪思路、培养分析问题的能力是有益的。

由于作者水平有限，书中难免有不少错误，欢迎批评指正。

王 楚 余道衡

一九八五年春

常用符号说明

(一) 基本电量

E	直流电动势(定给电压)
e	交流电动势(定给电压)
$\dot{E}$	复电动势
I	直流电流
i	交流电流
ΔI	电流改变量
$\dot{I}$	复电流
I_+	传输线上的入射电流
I_-	传输线上的反射电流
J_p	空穴流
J_e	电子流
P	功率
$\bar{P}$	平均功率
Q	电荷
V	直流电压
v	交流电压
ΔV	电压改变量
$\dot{V}$	复电压
W	能量
ϕ	磁通

(二) 元件及电路参量

B	电纳
C	电容
dC	分布电容
D	反馈深度
F	反馈系数
G, g	电导
dG	分布电导
K	增益; 负阻抗变换器的电压传输系数
k	变压器的耦合系数
K_v	电压增益
K_i	电流增益

K_P	功率增益
L	自感
M	互感
n	变压器的匝数比
R, r	电阻
d_r	分布电阻
X	电抗
Y	导纳
$\dot{Y}$	复导纳
Y_m	跨导纳增益
Z	阻抗
$\dot{Z}$	复阻抗
Z_m	跨阻抗增益
Z_c	特性阻抗
Z_i	输入阻抗
Z_o	输出阻抗
α	相移常数
β	衰减常数
Γ, γ	传输常数
ρ	传输线上的反射系数
ζ	回转器的跨阻抗

(三) 下标及用例

(以上基本符号配合下标组成一系列符号)

b	三极管的基极
c	三极管的集电极; 共模
D, d	场效应管的漏极; 差模
e	三极管的发射极
f, F	引入反馈后的量
G	场效应管及真空管的栅极
h	高端
i	输入端口; 电流
K	真空管的阴极
L, l	负载端; 低端
$\max$	最大

min 最小
 o 输出端口
 P 真空管板极
 Q 静态工作点
 S 场效应管的源极
 T T型网络
 v, V 电压
 z 信号源
 Π Π 型网络
 1 网络的1-1'端口
 2 网络的2-2'端口
 0 终端短路
 ∞ 终端开路

例如

I_c 集电极电流
 I_{cQ} 静态工作点对应的集电极电流
 I_{cmax} 最大集电极电流
 K_v 电压增益
 $K_{v,f}$ 反馈放大器的电压增益
 $K_{v,\infty}$ 终端开路时的电压增益
 $K_{v,f,\infty}$ 终端开路时反馈放大器的电压增益
 Z_i 输入阻抗
 Z_{ic} 共模输入阻抗
 Z_{eT} T型网络的特性阻抗

(四) 信号参量

f, F 频率
 $h(t), H(s)$ 阶跃响应及其拉氏变换像函数
 $K(\omega), K(s)$ 简谐信号通过系统的传输函数及其拉氏变换像函数
 $m(t), M(s)$ 脉冲响应及其拉氏变换像函数
 $s(= \sigma + j\omega)$ 复频率
 t 时间
 T 周期
 Δt 脉冲宽度
 V, v 信号在传输线上的传播速度
 $\delta(t)$ 单位脉冲信号
 θ, ϕ 相角
 λ 波长

τ 时延
 τ_ϕ 相时延
 τ_g 群时延
 Δt 上升时间
 $\omega(= 2\pi f)$ 圆频率或角频率

(五) 器件参量

BV_{cbo} 集电极开路时 $c-b$ 间的击穿电压
 BV_{ceo} 基极开路时 $c-e$ 间的击穿电压
 BV_{DS} 栅极开路时 $D-S$ 间的击穿电压
 f_β 共基极交流电流放大系数的截止频率
 f_β 共发射极交流电流放大系数的截止频率
 f_T 特征频率
 g_m 跨导
 $h_{ie}, h_{re}, h_{fe}, h_{oe}$ 共发射极接法的 H 参数
 I_{cbo} 发射极开路时 $c-b$ 间反向饱和电流
 I_{ceo} 基极开路时的穿透电流
 I_{cM} 集电极最大允许电流
 NF 噪声系数
 P_{cM} 集电极最大允许耗散功率
 P_{DM} 漏极最大允许耗散功率
 $r_{bb'}$ 基区体电阻
 R_d 二极管直流等效电阻
 r_d 二极管交流等效电阻
 R_T 热阻
 T_{jM} 最高结温
 V_B 击穿电压
 V_{b0} 三极管 $b-e$ 结导通电压
 V_D 二极管导通电压
 V_P 场效应管夹断电压
 V_T 场效应管开启电压
 V_Z 稳压二极管的稳定电压
 α 共基极交流电流放大系数
 β 共发射极交流电流放大系数
 β_x T型等效电路的受控源系数

μ 场效应管及真空管的放大系数

$\overline{i_n^2}$ 噪声电流方均值

$\overline{v_n^2}$ 噪声电压方均值

$\overline{v_{bb}^2}$ r_{bb}' 上噪声电压的方均值

(六) 其它符号

b 支路

CMRR 共模抑制比

D 微分算符

D_C 电容衰减系数

D_L 电感衰减系数

j 虚数符号

$k_{0.1}, k_{0.01}$ 矩形系数

m_a 调幅系数

m_f 调频系数

m_p 调相系数

n 节点; 电子

p 空穴

Q 品质因素

SNR 信噪比

SVR 电源电压抑制比

T 绝对温度

δ 电容的损失角

η 效率

θ 通角

上册目录

第一章 常参量线性电路的基本解法..... (1)

§ 1.1 理想二端元件..... (1)

1.1.1 电阻器..... (1)

1.1.2 电容器..... (4)

1.1.3 自感线圈(简称自感)..... (7)

§ 1.2 电源..... (8)

1.2.1 理想电源..... (9)

1.2.2 理想电源与电阻器的组合..... (11)

1.2.3 实际电源的等效电路..... (14)

§ 1.3 常参量线性电路的算符解法..... (16)

1.3.1 常系数线性微分方程的算符解法..... (16)

1.3.2 常参量线性电路的解法..... (20)

§ 1.4 稳定电路的复数解法..... (24)

1.4.1 电路的稳定性..... (24)

1.4.2 复阻抗..... (26)

1.4.3 常用的阻容电路..... (28)

§ 1.5 用拉普拉斯变换解常参量线性电路..... (32)

1.5.1 拉氏变换的特点..... (32)

1.5.2 拉氏变换..... (34)

1.5.3 阻抗算符与初值电源..... (37)

§ 1.6 常参量线性互感..... (42)

1.6.1 常参量线性互感的方程和参量..... (42)

1.6.2 互感的性质..... (44)

习题..... (45)

第二章 单谐振回路与分布参量初步..... (50)

§ 2.1 串联谐振回路..... (50)

2.1.1 串联谐振回路的阻抗..... (50)

2.1.2 通频带	(52)
2.1.3 谐振时元件上的电压和电路中的能量	(54)
§ 2.2 并联谐振回路	(57)
2.2.1 并联谐振回路的导纳	(57)
2.2.2 通频带	(59)
2.2.3 谐振时各支路的电流和电路中的能量	(60)
§ 2.3 储能元件的品质因数(Q 值)	(62)
2.3.1 集总参量与分布参量	(62)
2.3.2 电容器的品质因数	(66)
2.3.3 电感器的品质因数	(71)
§ 2.4 实际的谐振电路	(74)
2.4.1 高 Q 谐振电路	(74)
2.4.2 机械谐振系统	(76)
2.4.3 低 Q 电路	(79)
习题	(82)
第三章 二极管与二端非线性元件	(87)
§ 3.1 半导体基础知识	(87)
3.1.1 本征半导体	(87)
3.1.2 掺杂质的半导体	(89)
3.1.3 PN 结的形成	(90)
3.1.4 PN 结的伏安特性曲线	(91)
3.1.5 PN 结的电容效应	(92)
§ 3.2 普通半导体二极管	(93)
3.2.1 半导体二极管的结构	(93)
3.2.2 二极管的特性曲线与主要参数	(94)
3.2.3 二极管的整流作用	(97)
§ 3.3 二极管(非线性电阻)的分析方法	(99)
3.3.1 图解法	(99)
3.3.2 折线法及线性等效电路	(100)
3.3.3 幂级数法	(105)
§ 3.4 整流电源	(105)
3.4.1 单相整流电路	(105)

3.4.2 电容滤波器的作用	(109)
3.4.3 从整流电路认识非线性电阻	(113)
§ 3.5 稳压管及恒流管	(114)
3.5.1 半导体稳压管及其稳压电路	(114)
3.5.2 半导体恒流管及其恒流电路	(120)
3.5.3 再谈非线性电阻的特点	(121)
§ 3.6 非线性电容和非线性电感	(122)
3.6.1 非线性电容	(122)
3.6.2 非线性电感	(124)
§ 3.7 真空二极管简介	(125)
3.7.1 真空二极管的构造	(125)
3.7.2 真空二极管的基本特性	(126)
3.7.3 真空二极管的特性曲线与参量	(127)
习题	(129)
第四章 半导体三极管	(134)
§ 4.1 半导体三极管的工作原理	(134)
4.1.1 半导体三极管的结构	(134)
4.1.2 三极管中载流子的传输过程	(137)
4.1.3 三极管的特性曲线	(139)
§ 4.2 放大电路的组成与三极管的线性等效电路	(145)
4.2.1 放大电路的组成	(145)
4.2.2 三极管的等效电路	(151)
§ 4.3 三极管的参量	(156)
4.3.1 极限参量	(156)
4.3.2 小信号参量(微变参量)	(158)
4.3.3 反向电流	(160)
4.3.4 噪声特性	(162)
§ 4.4 三极管电路的分析方法	(164)
4.4.1 静态分析	(164)
4.4.2 动态分析	(169)
4.4.3 三极管的动态负载线	(172)
习题	(178)

第五章 场效应管与受控源 (181)

§ 5.1 结型场效应管 (JFET) (181)

5.1.1 结型场效应管的工作原理 (181)

5.1.2 结型场效应管的特性曲线 (185)

5.1.3 结型场效应管的微变等效电路 (187)

§ 5.2 绝缘栅场效应管(MOSFET) (190)

5.2.1 耗尽型 MOSFET 的工作原理 (191)

5.2.2 增强型 MOSFET 的工作原理 (192)

§ 5.3 场效应管的主要参量与特点 (196)

5.3.1 场效应管的主要参量 (196)

5.3.2 场效应管的特点 (197)

§ 5.4 场效应管放大电路 (199)

§ 5.5 受控源 (205)

5.5.1 受控源的概念 (205)

5.5.2 具有多对端点的受控源 (207)

§ 5.6 电子管(真空管)简介 (208)

5.6.1 真空三极管 (208)

5.6.2 真空四极管 (213)

5.6.3 真空五极管 (214)

习题 (218)

第六章 常参量线性网络的直接分析方法与

网络的互易性 (222)

§ 6.1 基尔霍夫定律 (223)

6.1.1 网络的拓扑图形 (223)

6.1.2 基尔霍夫电流定律(KCL) (225)

6.1.3 基尔霍夫电压定律(KVL) (227)

6.1.4 网络基本解法中的若干问题 (229)

§ 6.2 回路分析法 (230)

6.2.1 平面网络的网孔 (230)

6.2.2 回路分析法简介 (231)

6.2.3 网络的参量	(235)
6.2.4 基本回路的回路方程	(236)
§ 6.3 节点电压方程与割集分析法	(238)
6.3.1 节点电压方程	(238)
6.3.2 再谈网络的参量	(241)
6.3.3 割集分析法	(243)
§ 6.4 互易定理	(249)
6.4.1 互易性的概念	(249)
6.4.2 互易定理	(250)
6.4.3 互易定理的意义	(252)
习题	(253)
第七章 几个重要的网络定理	(257)
§ 7.1 置换定理	(257)
7.1.1 置换定理的表述	(257)
7.1.2 置换定理的论证	(260)
§ 7.2 二端网络的等效电路	(262)
7.2.1 不含非受控源的二端网络	(262)
7.2.2 有源二端网络	(267)
7.2.3 放大电路的一种分析方法	(272)
7.2.4 有源二端网络的输出功率	(273)
§ 7.3 迭加定理	(277)
7.3.1 迭加定理	(277)
7.3.2 例——三极管的偏置电路	(281)
§ 7.4 传递函数与因果律	(287)
7.4.1 传递函数	(287)
7.4.2 因果律	(289)
习题	(291)
第八章 信号通过常参量线性电路	(296)
§ 8.1 拉氏变换的几个定理	(296)
8.1.1 迭加定理和延迟定理	(296)

8.1.2	位移定理	(300)
8.1.3	卷积定理(折积定理)	(301)
§ 8.2	常参量线性电路的脉冲响应和阶跃响应	(302)
8.2.1	脉冲响应	(302)
8.2.2	阶跃响应(过渡函数)	(304)
8.2.3	网络稳定性的概念	(306)
§ 8.3	频谱的概念	(310)
8.3.1	傅氏级数与频谱	(310)
8.3.2	傅氏变换与频谱密度	(316)
8.3.3	频谱分布的特点	(319)
8.3.4	信号的频谱带宽	(323)
§ 8.4	基本信号的频谱密度	(325)
8.4.1	常参量线性网络的频率响应	(325)
8.4.2	$\delta(t)$ 函数的频谱密度	(327)
8.4.3	$1(t)$ 函数的频谱密度	(327)
8.4.4	$e^{j\omega_0 t}$ 函数的频谱密度	(329)
§ 8.5	几个频谱分析的定理	(330)
8.5.1	迭加定理	(330)
8.5.2	延迟定理	(331)
8.5.3	频移定理	(335)
§ 8.6	信号通过常参量线性系统	(340)
8.6.1	视频信号的波形失真	(340)
8.6.2	射频信号的波形失真	(344)
8.6.3	群时延	(346)
附表		(347)
习题		(347)
第九章	双端口网络和 $(P+1)$ 端网络	(352)
§ 9.1	双端口网络的参量	(352)
9.1.1	双端口网络	(352)
9.1.2	双端口网络的方程和参量	(355)
9.1.3	互易双端口网络的参量	(357)
9.1.4	双端口网络的复合联接	(359)

§ 9.2 双端口网络参量的意义与计算方法	(360)
9.2.1 双端口网络参量的意义	(360)
9.2.2 简单双端口网络参量的计算	(363)
9.2.3 非线性元件的微变参量	(366)
§ 9.3 复合双端口网络	(370)
9.3.1 双端口网络的链联(级联)	(370)
9.3.2 双端口网络的串联和并联	(373)
9.3.3 双端口网络的串-并联和并-串联	(378)
9.3.4 双端口网络联接的正规性	(379)
§ 9.4 双端口网络的等效网络	(380)
9.4.1 互易网络的等效网络	(380)
9.4.2 有源网络的等效网络	(382)
9.4.3 非互易网络的等效网络	(383)
§ 9.5 互感器与变压器	(390)
9.5.1 互感器的参量与T形等效网络	(390)
9.5.2 理想变压器	(391)
9.5.3 互感器的A参量等效网络	(396)
9.5.4 实际变压器的响应	(397)
9.5.5 自耦变压器	(400)
§ 9.6 负阻抗变换器与回转器	(401)
9.6.1 负阻抗变换器(NIC)	(402)
9.6.2 回转器	(404)
§ 9.7 $(P+1)$ 端网络	(405)
9.7.1 $(P+1)$ 端网络的方程	(405)
9.7.2 复合网络	(408)
附录	(411)
习题	(418)
第十章 基本的放大电路	(426)
§ 10.1 放大电路的基本分析方法	(427)
10.1.1 双端口放大器的基本参量	(427)
10.1.2 理想信号源作用下的放大器	(429)
10.1.3 放大器的基本参量与Z参量的关系	(431)