

7
高等学校理工科
电子信息类课程

学习辅导丛书



高频电子线路 学习辅导及习题详解

高吉祥 主编

- ▶ 学习要点
- ▶ 习题分析
- ▶ 练习题及参考解答
- ▶ 考研试题详解

学习的帮手 考研的参谋



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校理工科电子信息类课程学习辅导丛书

高频电子线路

学习辅导及习题详解

高吉祥 主编

王彦 朱卫华 黄智伟 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是为高等学校电子信息类和其他相近专业而编著的教材。全书分为两篇。第一篇主要介绍了简单谐振回路及各类滤波器、高频小信号放大器、噪声与干扰、高频功率放大器和功率合成技术、各类正弦波振荡器、频谱变换电路、数字调制与解调电路、无线电技术中的反馈控制电路、频率合成技术、无线电接收与发射设备、单片射频收发芯片的原理及应用。第二篇主要介绍了模拟试题及近几年来部分高校研究生入学专业考题。

根据高等教育部教学大纲的要求和多年来教育实践的体会,以及研究生入学考试和各类大学生电子设计竞赛的需要,本书不仅包括《高频电子线路》教科书的基本知识和基本技能的训练,而且还编著了研究生入学考试模拟试题和近几年来全国大学生电子设计制作大赛在高频电子线路领域内的各种设计题。

本书可作为报考理工科硕士研究生的考生考前复习用书,亦可作为大学生、专科生学习课程的辅导教材,还可以作为大学生参加各类电子设计制作大赛和电子类工程工程师设计各类产品的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路学习辅导及习题详解/高吉祥主编. - 北京:电子工业出版社,2005.1

(高等学校理工科电子信息类课程学习辅导丛书)

ISBN 7-121-00536-0

I. 高... II. 高... III. 高频-电子电路-高等学校-教学参考资料. IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 112919 号

责任编辑:陈晓莉 特约编辑:李双庆

印 刷:北京大中印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:24.25 字数:540 千字

印 次:2005 年 1 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:32.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

本书是为国防科技大学和南华大学联合编著的《高频电子线路》相配套而编著的。但是,本书的出版,不仅可为考研人员备考《高频电子线路》、《模拟电子技术基础非线性部分》、《射频电子线路》及《模拟电子线路》一类课程提供一本实用的复习指导书,也为在校大学生、广大自考人员学习和掌握这类课程的基本知识、基本技能和精髓,提供一本不可多得的教学辅导书和自学指南。同时,还为参加全国大学生电子设计竞赛的师生和工程技术人员提供一本有益的参考书。

本书分为训练篇和模拟篇两大部分。

第一篇训练篇,有11章,它是与高吉祥主编的《高频电子线路》一书相配套,每章的内容均与之相呼应。各章内容包括教学基本要求、内容综述、典型题精解及习题四部分。教学基本要求中对各章涵盖的主要知识点分熟练掌握、正确理解和一般了解三个层次给出了基本要求,并指明了重点和难点;内容综述中对各章的主要教学内容,特别是要求熟练掌握/正确理解的重点内容进行了概括和论述,实际上是教材内容的浓缩;典型题精解则是在认真分析各大专院校多年来考研试卷以及相关教材习题的基础上,综合归纳提出了各章的训练题型并给予解答;习题部分是在教材习题和参考书习题的基础上编写的,考虑到本科生教学需要,第1~6章还给出了习题解答。

第二篇模拟篇,有两章,第12章是模拟试题;第13章是各院校近年来的考研试卷,虽未详细解答,但给出了参考答案。

《高频电子线路》课程已形成了配套,包括主教材学习辅导与习题详解书、实验课本及多媒体教学课件四个部分,在此一一列出。

1. 高吉祥主编,黄智伟、陈和、胡见堂编著《高频电子线路》由电子工业出版社于2004年2月出版;

2. 高吉祥主编,王彦、朱卫华、黄智伟、刘安芝编著《高频电子线路学习辅导及习题详解》由电子工业出版社于2005年1月出版;

3. 高吉祥主编,易凡副主编、丁文霞、陆珉、刘安芝编著《电子技术基础实验与课程设计》由电子工业出版社于2002年2月出版;

4. 高吉祥主编,张晋民、周丽兰、罗维、彭媛和刘安芝共同开发的《高频电子线路》多媒体教学课件由电子工业出版社于2004年9月面市。

本书由国防科技大学、南华大学联合编写。参加编写工作的有高吉祥、王彦、朱卫华、黄智伟、刘安芝等人。高吉祥主编。第1、2、4、5章由王彦、高吉祥执笔;第3、8、9、10章由高吉祥、刘安芝执笔;第6章由朱卫华、高吉祥执笔;第7、11章由黄智伟执笔。本书在编写过程中得到了南华大学凌球校长和国防科技大学电子科学与工程学院唐朝京副院长

的大力支持和具体指导。本书由唐朝京教授主审,叶光华罗君萍、陈和、高广珠、王新林、唐东、陈忠泽、闫伟、陆珉、陈智勇、方艾、张清明、余丽等人为本教材的编撰做了大量的工作,在此表示感谢。

编 者

2004年9月于长沙

常用文字符号说明

一、基本符号

1. 电流和电压

I_B, U_{BE}

大写字母、大写下标表示直流量

I_b, U_{be}

大写字母、小写下标表示交流有效值

I_b, U_{be}

大写字母上面加点、小写下标表示正弦相量

i_B, u_B

小写字母、大写下标表示总瞬时值

i_{be}, u_{be}

小写字母、小写下标表示交流分量瞬时值

V_{CC}, V_{BB}, V_{EE}

双极型三极管集电极、基极、发射极直流电源电压

V_{DD}, V_{GG}, V_{SS}

场效应管漏极、栅极、源极直流电源电压

I_i, U_i

输入电流、输入电压

I_i', U_i'

净输入电流、净输入电压

I_o, U_o

输出电流、输出电压

$U_o(AV)$

输出电压平均值

U_{om}

最大输出电压

I_f, U_f

反馈电流、反馈电压

I_Q, U_Q

静态电流、静态电压

U_{REF}

参考电压

U_S

信号源电压

U_T

温度的电压当量

I_+, U_+

集成运放同相输入端的电流、电压

I_-, U_-

集成运放反相输入端的电流、电压

2. 功率

P

功率的通用符号

P_o

输出交变功率

P_{om}

输出交变功率最大值

P_V

电源提供的直流功率

3. 频率

B

通频带

f_H	放大电路的上限(− 3dB) 频率
f_L	放大电路的下限(− 3dB) 频率
f_0	振荡频率、谐振频率
ω	角频率的通用符号

4. 电阻、电容、电感、阻抗

R	大写字母表示电路中外接的电阻或电路的等效电阻
r	小写字母表示器件的等效电阻
R_i, R_o	电路的输入电阻、输出电阻
R_{if}, R_{of}	有反馈时电路的输入电阻、输出电阻
R_L	负载电阻
R_S	信号源内阻
G	电导的通用符号
C	电容的通用符号
L	电感的通用符号
X	电抗的通用符号
Z	阻抗的通用符号

5. 增益或放大倍数、反馈系数

A	增益或放大倍数的通用符号
A_c	共模电压放大倍数
A_d	差模电压放大倍数
A_i	电流放大倍数
A_u	电压放大倍数
A_p	功率放大倍数
A_{uf}	有反馈时的电压放大倍数
A_{us}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数
F	反馈系数的通用符号

二、器件符号

1. 器件及引脚名称

B	晶体谐振器(晶体换能管)
b, c, e,	双极型三极管的基极、集电极、发射极
D, G, S	场效应晶体管的漏极、栅极、源极
T	变压器

V_D	二极管
V_{D_Z}	稳压管
V_T	双极型三极管(晶体管)、场效应管

2. 器件参数

A_{od}	集成运放的开环差模电压增益
$C_{b'e}, C_{b'c}$	发射结、集电结等效电容
I_{CBO}	集电极 - 基极之间的反向饱和电流
I_{CEO}	集电极 - 发射极之间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
$I_{D(AV)}$	整流二极管平均电流
I_S	二极管反向饱和电流
I_Z	稳压管稳定电流
I_{IB}	集成运放输入偏置电流
I_{IO}	集成运放输入失调电流
P_{CM}	集成极最大允许耗散功率
P_{DM}	漏极最大允许耗散功率
S_R	集成运放转换速率
U_Z	稳压管稳定电压
$U_{(BR)(CBO)}$	发射极开路时集电极 - 基极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)(CEO)}$	基极开路时集电极 - 发射极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)(EBO)}$	集电极开路时发射极 - 基极之间的反向击穿电压
U_{CES}	集电极 - 发射极之间的饱和管压降
U_{Icm}	集成运放最大共模输入电压
U_{Idm}	集成运放最大差模输入电压
U_{IQ}	集成运放输入失调电压
U_P	场效应管的夹断电压
U_T	场效应管的开启电压
B_G	集成运放的单位增益带宽
f_T	双极型三极管的特征频率
f_α, f_β	共基极截止频率、共射极截止频率
g_m	跨导
$r_{bb'}$	基区体电阻
$r_{b'e}$	发射结微变等效电阻

r_{be}	共射接法下基极 - 发射极之间的微变等效电阻
r_{ce}	共射接法下集电极 - 发射极之间的微变等效电阻
r_{DS}	场效应管漏极 - 源极之间的微变等效电阻
r_{GS}	场效应管栅极 - 源极之间的微变等效电阻
r_{id}	集成运放差模输入电阻
α, β	共基极, 共射极电流放大系数
$\bar{\alpha}, \bar{\beta}$	共基极, 共射极直流电流放大系数

三、其他符号

D	非线性失真系数
K_{CMR}	共模抑制比
M	互感系数
Q	品质因数
S	整流电路的脉动系数
S_r	稳压系数
T	周期, 温度
η	效率
τ	时间常数
φ	相位角

目 录

第一篇 训练篇

第 1 章 谐振回路	1
1.1 教学基本要求	1
1.2 内容综述	1
1.2.1 高频电路中的元器件	1
1.2.2 简单谐振回路	3
1.2.3 滤波器	7
1.3 典型例题分析与解答	11
1.4 习题及解答	14
1.4.1 习题	14
1.4.2 习题解答	16
第 2 章 高频小信号放大器	22
2.1 教学基本要求	22
2.2 内容综述	22
2.2.1 高频小信号放大器的主要技术指标	22
2.2.2 晶体管高频小信号等效电路与参数	23
2.2.3 谐振放大器	28
2.2.4 宽频带放大器	33
2.3 典型例题分析与解答	34
2.4 习题及解答	46
2.4.1 习题	46
2.4.2 习题解答	49
第 3 章 噪声与干扰	55
3.1 教学基本要求	55
3.2 内容综述	55
3.2.1 干扰与噪声分类	55
3.2.2 噪声的来源和特点	56
3.2.3 噪声系数的计算方法	58
3.2.4 降低噪声系数的措施	61
3.2.5 工业干扰与天电干扰	62
3.3 典型例题分析与解答	62
3.4 习题及解答	66

3.4.1 习题	66
3.4.2 习题解答	67
第4章 高频功率放大器与功率合成技术	70
4.1 教学基本要求	70
4.2 内容综述	70
4.2.1 概述	70
4.2.2 谐振功率放大器的分析	71
4.2.3 谐振功率放大器电路组成	78
4.2.4 丁类(D类)功率放大器	80
4.2.5 宽带高频功率放大电路	82
4.2.6 功率合成器	83
4.3 典型例题分析与解答	86
4.4 习题及解答	95
4.4.1 习题	95
4.4.2 习题解答	98
附录 4-1 余弦脉冲分解系数表	103
第5章 正弦波振荡器	106
5.1 教学基本要求	106
5.2 内容综述	106
5.2.1 概述	106
5.2.2 反馈放大器	107
5.2.3 几种常用正弦波振荡电路	108
5.2.4 振荡器的频率稳定度	108
5.3 典型例题分析与解答	113
5.4 习题及解答	120
5.4.1 习题	120
5.4.2 习题解答	124
第6章 频谱变换电路	128
6.1 教学基本要求	128
6.2 内容综述	129
6.2.1 频谱变换电路分类	129
6.2.2 模拟乘法器	129
6.2.3 普通调幅波的产生与解调电路	130
6.2.4 抑制载波调幅波的产生和解调电路	136
6.2.5 混频电路	139
6.2.6 倍频器	140
6.2.7 调角波的基本性质	140
6.2.8 直接调频电路	142
6.2.9 间接调频电路	149

6.2.10 调频波的解调	151
6.2.11 限幅器	158
6.3 典型例题分析与解答	160
6.4 习题与解答	189
6.4.1 习题	189
6.4.2 习题解答	201
第7章 数字调制与解调电路	202
7.1 教学基本要求	202
7.2 内容综述	202
7.2.1 二进制振幅键控(ASK)调制与解调	202
7.2.2 二进制频移键控(FSK)调制与解调	205
7.2.3 二进制相移键控(PSK)调制与解调	207
7.2.4 多进制数字振幅调制(MASK)系统	211
7.2.5 多进制数字频率调制(MFSK)系统	212
7.2.6 多进制数字相位调制(MPSK)系统	213
7.2.7 正交振幅调制(QAM)	214
7.3 典型例题分析与解答	215
7.4 习题	226
第8章 无线电技术中的反馈控制电路	228
8.1 教学基本要求	228
8.2 内容综述	228
8.2.1 AGC、AFC 和 APC 的结构、工作原理、特点及性能分析	228
8.2.2 AGC、AFC 和 APC 的应用	232
8.3 典型例题分析与解答	234
第9章 频率合成技术	250
9.1 教学基本要求	250
9.2 内容综述	250
9.2.1 直接频率合成法	251
9.2.2 间接频率合成法(锁相环路法)	252
9.3 典型例题分析与解答	254
9.4 习题	266
第10章 无线电接收与发射设备	268
10.1 教学基本要求	268
10.2 内容综述	268
10.2.1 概述	268
10.2.2 无线电接收机	269
10.2.3 调频发射机	276
10.3 典型例题分析与解答	280
10.4 习题与设计竞赛真题	306

第 11 章 单片射频收发芯片的原理及应用	312
11.1 教学基本要求	312
11.2 内容综述	312
11.2.1 单片射频发射器芯片	312
11.2.2 单片射频接收器芯片	313
11.2.3 单片射频收发器芯片	313
11.2.4 蓝牙无线电收发芯片	313
11.2.5 WCDMA 与 GSM900 双频双模手机射频单元	314
11.2.6 数字卫星接收机(DBS)前端调谐器	314
11.2.7 GPS 接收机射频芯片	315
11.2.8 无绳电话射频变换芯片	315
11.3 习题	316

第二篇 模 拟 篇

第 12 章 模拟试题	321
12.1 模拟试题(一)	321
12.2 模拟试题(二)	323
12.3 模拟试题(三)	324
12.4 模拟试题(四)	327
12.5 模拟试题(五)	329
12.6 模拟试题(六)	332
12.7 模拟试题(七)	335
12.8 模拟试题(八)	337
12.9 模拟试题(九)	340
12.10 模拟试题(十)	343
第 13 章 近几年来各校考研试卷精选	347
13.1 2001 年 国防科技大学试卷	347
13.2 2002 年 国防科技大学试卷	350
13.3 1997 年 清华大学试卷	354
13.4 2001 年 清华大学试卷	357
13.5 1999 年 西安电子科技大学试卷	360
13.6 2000 年 西安电子科技大学试卷	363
13.7 1998 年 东北大学试卷	366
13.8 1999 年 东北大学试卷	368
13.9 2001 年 东北大学试卷	370
13.10 2002 年 东北大学试卷	371
参考文献	373

第 1 章 谐振回路

1.1 教学基本要求

谐振回路在高频电路中即为选频网络。各种形式的选频网络在高频电子线路中得到广泛应用,它能选出我们需要的频率分量和滤除不需要的频率分量,因而掌握各种选频网络的特性及分析方法是很重要的。

通常,在高频电子线路中应用的选频网络分为两大类:第一类是由电感和电容组成的振荡回路(也称谐振回路),它又分为单谐振回路和耦合谐振回路;第二类是各种滤波器,如 LC 集中参数滤波器、石英晶体滤波器、陶瓷滤波器和声表面波滤波器等。

本章首先介绍组成谐振回路的无源元件、有源器件和组件的基本高频特性,然后介绍简单谐振回路,最后介绍各种滤波器。本章的教学基本要求如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 第 1 章教学基本要求

内 容		基本要求			重点与难点
		熟练掌握	正确理解	一般了解	
高频电路中的元器件	元件		✓		重点: (1)串联谐振与并联谐振回路的原理; (2)石英晶体滤波器的等效特性及阻抗特性。
	有源器件		✓		
简单谐振回路	串联	✓			
	并联	✓			
滤波器	石英晶体	✓			
	集中参数		✓		
	衰减器			✓	

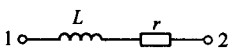
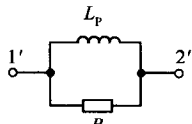
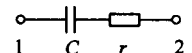
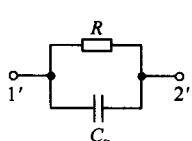
1.2 内容综述

1.2.1 高频电路中的元器件

各种高频电路基本上是由有源器件(二极管、晶体管、场效应管、集成电路)和无源器件(电阻器、电容器、电感器、高频电缆、高频接插件、高频开关等)组成的。现将主要元

件的高频特性如表 1.2.1 所示,表 1.2.2 中列出了高频电路中的有源器件。

表 1.2.1 电感器和电容器高频特性对照表

名称	串联等效电路	并联等效电路	Q 值	变换关系
电感器			$Q = \frac{\text{无功功率}}{\text{有功功率}}$ $= \frac{\omega L}{r}$ $= \frac{R}{\omega L}$ $\approx \frac{R}{\omega L_p}$	$R = r(1 + Q^2)$ $L_p = L(1 + 1/Q^2)$ 当 $Q \gg 1$ 时,有 $R \approx Q^2 r = \frac{\omega^2 L^2}{r}$ $L_p \approx L$
电容器			$Q = \frac{1}{\omega C r}$ $= \frac{1}{\omega C r}$ $= \omega C_p R$	$R = r(1 + Q_c^2)$ $C_p = C \frac{1}{1 + \frac{1}{Q_c^2}}$ 当 $Q \gg 1$ 时,有 $R \approx r Q_c^2 = \frac{1}{\omega^2 C^2 r}$ $C_p \approx C$

由表 1.2.1 可见,一个高 Q 电感线圈(电容器),其等效电路可以表示为串联形式,也可以表示成并联形式。在后两种并联形式中,电感(电容)值近似不变,串联电阻与并联电阻的乘积等于感抗(容抗)的平方。

表 1.2.2 高频电路中的有源器件

器件名称		结构性能特点	典型代表	主要用途
二极管	检波二极管	点接触式或表面势垒	2AP 系列肖特基二极管	检波、调制、解调及混频等
	变容二极管	利用 PN 结的势垒电容,其电容量是反偏电压的函数		主要用在振荡回路中,可以做成电调谐器,也可以构成自动调谐电路等
	PIN 二极管	具有较强的正向电荷储存能力。它的高频等效电阻受正向直流电流的控制,是一种可调电阻		主要用做电可控开关,限幅器、电调衰减器及电调移相器

(续表)

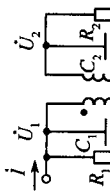
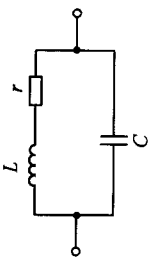
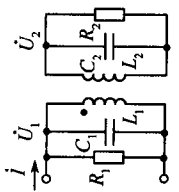
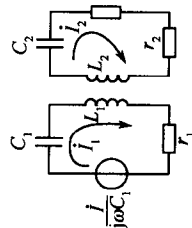
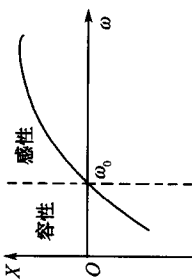
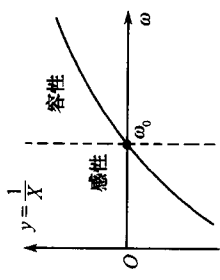
器件名称		结构性能特点	典型代表	主要用途
晶体三极管(或场效应管)	信号放大管	$r_{bb'}$ 、 $C_{b'e}$ 与 $C_{b'c}$ 小 (C_{gs} 、 C_{gd} 小) NF 小	3DG 系列 3CG 系列	主要用在高频小信号放大,高频振荡器等
	功率放大管	$r_{bb'}$ 、 $C_{b'e}$ 与 $C_{b'c}$ 小 (C_{gs} 、 C_{gd} 小) 功耗小	3AD 系列 3CD 系列	高频功率放大
	高速开关管	反应速度快	3AK 系列 3CK 系列	高速电子开关
集成电路	通用型	宽带集成放大器	直接耦合,采用高频元件集成,其频带很宽,增益高	用于宽频带放大电路,接收机中放电路等
		模拟乘法器	采用差分输入,直接耦合方式	用于混频、信频、AM 信号的产生与解调,鉴频/鉴相等
	专用型	集成锁相环	TC9300F-004 MC145152	应用于调频发射机等
		FM 信号的解调	MC4044	应用于 FM 信号的解调
		单片集成接收机	C×A1019P(M) C×A1619 C×A1238S	应用于 AM/FM 收音机

1.2.2 简单谐振回路

谐振回路就是由电感和电容串联或并联形成的回路。只有一个回路的振荡电路称为简单振荡回路或单振荡回路。简单振荡回路的阻抗在某一个特定频率上具有最小或最大值的特性称为谐振特性,这个特定频率称为谐振频率。简单振荡回路具有谐振特性和频率选择作用,这是它在高频电子线路得到广泛应用的重要原因。现将串联与并联谐振回路特性对照列于表 1.2.3 中。

在实际应用中,常常用到激励源或负载与回路电感或电容部分连接的并联振荡回路,即抽头并联振荡回路。现将常用几种抽头并联振荡回路的形式、折合系数、阻抗折合等情况列表进行比较。详见表 1.2.4 所示。

表 1.2.3 简单谐振回路特性对照表

特性及参数 项目	串联谐振回路	并联谐振回路	耦合谐振回路
电路图			 (a) 互感耦合回路  (b) 等效电路
电抗频率特性			
阻抗频率特性	