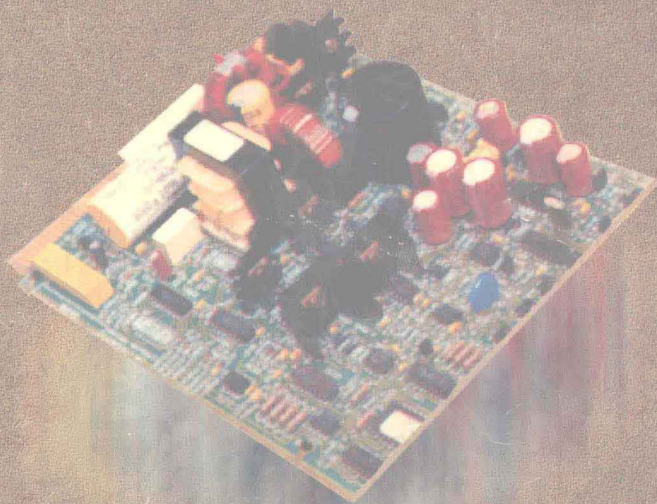


国家教委中等专业学校规划教材

电子通信类专业通用

高频电子线路

熊耀辉 编



高等教育出版社

国家教委中等专业学校规划教材

高频电子线路

熊耀辉 编

高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书为国家教育委员会全国中等专业学校电子线路课程组审定通过的、按照新编教学大纲编写的配套教材之一,由东南大学无线电工程系谢嘉奎教授主审。

全书共七章,分别是:小信号谐振放大器、谐振功率放大器、正弦波振荡器、调幅与检波、混频与倍频、调频与鉴频、反馈控制电路。该书根据中专学生的特点,重点放在讲清基本电路的物理本质和分析方法上,注意培养学生对电路基本工作原理的理解及分析能力。

本书适用于中专电子、通信类专业,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/熊耀辉编.—北京:高等教育出版社,1991.10
(1996重印)

ISBN 7-04-003438-7

I.高… II.熊… III.高频—电子线路 IV.TN722.1

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第23263号

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

商务印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 11 字数 262 000

1991年10月第1版 1997年7月第7次印刷

印数 35 360—45 368

定价 10.00元

前 言

本书是受国家教育委员会全国中等专业学校电子线路课程组委托,按照新的教学大纲(1988年4月在南京召开的电子线路课程教学大纲审定会通过)编写的。

本书适用于中专无线电技术、无线通信、广播、电视等各电子类专业。学生在学习这门课程之前,一般已学过电工基础、低频电子线路及无线电基础等课程。因此,本书尽量注意与上述各课程之间的有机联系,经常有意识地引用已学过的内容和所得的结论。

全书共分七章,其中第一章小信号谐振放大器采用线性分析法,而第二章谐振功率放大器、第三章正弦波振荡器、第四章调幅与检波、第五章混频与倍频、第六章调频与鉴频及第七章反馈控制电路均采用非线性分析法。本书根据教学大纲的要求及中专学生的特点,重点放在讲清基本电路的物理本质和分析方法,注意培养学生对电路基本工作原理的理解及分析能力。

本书由东南大学(原南京工学院)无线电工程系谢嘉奎教授主审。谢教授在百忙中详细审阅了全部原稿,提出了许多宝贵意见,改正了原稿中某些错误和不够严谨之处。在此表示最大的谢意。

谢嘉奎教授、南京船舶工业学校陆根源副教授、邹厚义高级讲师、南京无线电工业学校陈传虞副教授、湖南邮电学校王家继高级讲师、大庸航空工业学校戴辅仁高级讲师、北京无线电工业学校姜邈副教授以及高等教育出版社姚玉洁副编审、张晔北编辑等有关同志参加了1990年3月在长沙召开的审稿会议。到会同志提出了许多宝贵意见。南京无线电工业学校俞家琦副教授在百忙中审阅了本书原稿,提出了许多宝贵意见。广东省电子技术学校党委

和行政领导对本书编写工作非常支持。作者谨致衷心的感谢。

由于作者水平有限,难免有错误或不确切之处,恳求专家及读者批评指正。意见请直接寄给作者或由高等教育出版社转交。

作者于 1990 年 9 月 广州
广东电子技术学校

常用符号表

一、基本符号

I, i	电流
V, v	电压
P, p	功率
R, r	电阻
G, g	电导
X, x	电抗
B, b	电纳
$Z = R + jX = r + jx$	阻抗
$Y = G + jB = g + jb$	导纳
L	电感
C	电容
M	互感
A	增益
F, f	频率
$\omega = 2\pi f, \Omega = 2\pi F$	角频率

二、电压、电流

小写字母、小写字母下标表示交流瞬时值：

v_i	输入电压瞬时值
v_o	输出电压瞬时值
v_{be}	晶体三极管 B - E 间电压瞬时值
v_c	载波电压瞬时值
i_b	基极电流瞬时值
i_c	集电极电流瞬时值

大写字母、大写字母下标表示直流值：

V_{CC}	集电极直流电源电压
----------	-----------

V_{BB}	基极偏置电源电压
V_{DD}	场效应管漏极电源电压
V_{BE}	晶体管 B - E 间直流电压
V_{AGC}	自动增益控制电压
I_C	集电极直流(静态)工作电流
I_B	基极直流(静态)工作电流

小写字母、大写字母下标表示包含有直流成分的瞬时值:

v_{Ω}	调制电压瞬时值
v_{BE}	晶体管 B - E 间瞬时电压(含直流)
v_{CE}	晶体管 C - E 间瞬时电压(含直流)
i_B	晶体管基极电流瞬时值(含直流)
i_C	晶体管集电极电流瞬时值(含直流)

大写字母、小写字母下标表示正弦电压振幅(最大值)、有效值等:

V	正弦电压有效值
V_m	正弦电压振幅
$V_{\Omega m}$	正弦调制电压振幅
V_{cm}	载波电压振幅
I	正弦电流有效值
I_m	正弦电流振幅

三、阻抗、导纳

R_g, r_g	信号源内阻
R_L, r_L	负载电阻
R_{e0}	回路空载谐振电阻
R_e	回路有载谐振电阻
$Z(j\omega)$	阻抗复数值
$Y(j\omega)$	导纳复数值
g_m	晶体管跨导
$g(t)$	时变跨导

四、增益

A_v	电压增益
-------	------

A_{v0}	谐振电压增益
G_p	功率增益

五、功率

P_o	输出信号功率、载波功率
P_c	集电极耗散功率
P_{do}	直流电源供给功率

六、频率

f_0	回路固有谐振频率
ω_0	回路固有谐振角频率
f_c	载波频率
ω_c	载波角频率
f_L	本振频率
ω_L	本振角频率
f_I	中频信号频率
ω_I	中频信号角频率
B	频带宽度、信号频谱宽度

七、其他符号

K	耦合系数
K_f	反馈系数
n	接入系数
N	线圈匝数
Q	放大器静态工作点
Q_0	谐振回路空载品质因数
Q_e	谐振回路有载品质因数
t	时间
τ	时间常数、延时
T	热力学温度、周期
ξ	回路一般失调
ρ	特性阻抗

φ	相角
D	二极管
T	三极管
Tr	变压器
S	开关
A	放大器
η	效率
ϕ_n	回路对 n 次谐波的滤波度
γ	失真系数

目 录

绪论	1
§ 0-1 无线通信系统的基本工作原理	1
§ 0-2 无线电发射设备的基本工作原理	5
§ 0-3 电磁波的空间传播特点	11
§ 0-4 无线电接收设备的基本工作原理	14
§ 0-5 干扰与噪声	18
§ 0-6 本课程的特点	20
习 题	20
第一章 小信号谐振放大器	22
§ 1-1 概述	22
§ 1-2 单调谐放大器	28
1-2-1 单级单调谐放大器	28
1-2-2 单调谐放大器级联	46
§ 1-3 参差调谐放大器	50
1-3-1 双参差调谐放大器	50
1-3-2 三参差调谐放大器	52
§ 1-4 双调谐放大器	53
§ 1-5 晶体管内部反馈的有害影响及解决办法	65
1-5-1 中和法	66
1-5-2 失配法	67
§ 1-6 集成中频放大器	68
1-6-1 陶瓷滤波器	68
1-6-2 声表面波滤波器(SAWF)	71
1-6-3 集成差分放大器	73
1-6-4 集成中频放大器	75
习 题	78
第二章 谐振功率放大器	81
§ 2-1 概述	81

§ 2-2 谐振功率放大器的基本工作原理	82
§ 2-3 丙类谐振功率放大器的工作状态分析	86
2-3-1 谐振功率放大器的动态线	87
2-3-2 集电极电流脉冲的分解	91
2-3-3 V_{CC} 、 V_{BB} 、 V_{bm} 、 V_{cm} 对放大器性能的影响	93
§ 2-4 谐振功率放大器电路	104
2-4-1 直流馈电电路	106
2-4-2 匹配滤波网络	111
2-4-3 实际电路举例	124
§ 2-5 谐振功率放大器的调谐与调整	125
习 题	128
第三章 正弦波振荡器	131
§ 3-1 概述	131
§ 3-2 反馈式正弦波振荡器的工作原理	131
3-2-1 基本工作原理	132
3-2-2 起振与平衡过程	133
3-2-3 起振条件与平衡条件	137
§ 3-3 三点式 LC 振荡器	139
3-3-1 电容三点式振荡器	139
3-3-2 电感三点式振荡器	143
3-3-3 三点式振荡器相位条件的判断法则	145
§ 3-4 改进型电容三点式振荡器	149
§ 3-5 振荡器的频率稳定度	155
§ 3-6 晶体振荡器	157
3-6-1 石英晶体的基本特性	157
3-6-2 并联型晶体振荡器	159
3-6-3 串联型晶体振荡器	161
3-6-4 泛音晶体振荡器	162
3-6-5 高稳定度石英晶体振荡器	163
§ 3-7 RC 正弦波振荡器	165
3-7-1 RC 移相振荡器	166
3-7-2 文氏桥式振荡器	170
习 题	174
第四章 调幅与检波	182

§ 4-1 概述	182
4-1-1 调幅波	182
4-1-2 双边带调制	186
4-1-3 单边带调制	187
§ 4-2 高电平调幅电路	188
4-2-1 基极调幅电路	188
4-2-2 集电极调幅电路	192
4-2-3 双重调制电路	195
§ 4-3 低电平调幅电路	199
4-3-1 场效应管平方律调幅电路	199
4-3-2 平衡调制器与环形调制器	201
§ 4-4 检波器	206
4-4-1 概述	206
4-4-2 小信号平方律检波	209
4-4-3 大信号峰值包络检波	213
4-4-4 并联二极管检波器	220
4-4-5 检波器的非线性失真	221
4-4-6 三极管检波器	225
§ 4-5 同步检波器	226
4-5-1 概述	226
4-5-2 乘积同步检波器	227
4-5-3 相加同步检波器	228
习 题	230
第五章 混频与倍频	233
§ 5-1 概述	233
§ 5-2 三极管混频器	238
§ 5-3 混频干扰与非线性失真	244
§ 5-4 晶体二极管混频器	250
5-4-1 单管混频器	251
5-4-2 平衡混频器与环形混频器	252
§ 5-5 场效应管混频器	254
§ 5-6 倍频器	255
5-6-1 丙类倍频器	256
5-6-2 参量倍频器	259
习 题	262

第六章 调频与鉴频	263
§ 6-1 概述	263
§ 6-2 直接调频原理与电路	269
6-2-1 调频正弦波产生电路	269
6-2-2 调频方波产生电路	275
§ 6-3 间接调频原理与电路	277
§ 6-4 鉴频器	280
6-4-1 斜率鉴频器	281
6-4-2 相位鉴频器	286
6-4-3 比例鉴频器	293
6-4-4 集成鉴频器	296
6-4-5 脉冲式鉴频器	300
习 题	302
第七章 反馈控制电路	305
§ 7-1 概述	305
§ 7-2 自动增益控制电路(AGC)	306
7-2-1 放大器的增益控制	308
7-2-2 V_{AGC} 产生电路	313
§ 7-3 自动频率控制电路(AFC)	319
§ 7-4 自动相位控制电路(APC)	327
习 题	335
参考文献	337

绪 论

高频电子线路是中等专业学校通信、电子类专业的一门主要专业基础课,通常由以下内容组成:小信号谐振放大器、谐振功率放大器、正弦波振荡器、调制器(包括调幅电路、调频电路或调相电路)、混频与倍频、解调器(检波器、鉴频器或鉴相器)及反馈控制电路(包括自动增益控制电路、自动频率控制电路及自动相位控制电路)等。上述各类电路是无线通信系统及其它电子系统的基本组成部分。为了具体了解各电路的功能,下面扼要地介绍无线通信系统的基本组成及工作原理。

§ 0-1 无线通信系统的基本工作原理

无线电的发明起源于电磁学的发展。远在 19 世纪 60 年代,麦克斯韦在总结了库仑、安培、法拉第等人的研究工作之后,提出了电磁波的概念,并确立了电磁波某些最基本的性质:电场与磁场的相互作用而产生电磁波,并且它以光速(3×10^8 m/s)在自由空间进行传播。从而为电磁波的客观存在提供了理论依据。

20 多年之后,即 1887 年,麦克斯韦电磁场理论才由赫兹通过实验得以证明。在这一系列的实验中,赫兹成功地在导线中激起了高频振荡,并在导线的周围测出了电磁场,而且证实了这个场具有波的特性。显然,这与麦克斯韦理论所预见的完全相符。

赫兹的实验证实了由振荡回路可以辐射出电磁波,从而为无线电波发射奠定了基础。1896 年 3 月,苏联物理学家波波夫在莫斯科首次表演了无线电报的发射与接收试验。虽然当时的通信距离只有 250m,但这毕竟是世界上第一次无线电通信的实验。同

年9月,意大利科学家马可尼提出了类似的内容并申请了“专利权”。1901年马可尼首次完成了横渡大西洋的无线电通信,从此,无线电通信便进入了实用阶段。

无线电通信系统是无线电技术的最早应用。所谓通信系统,可以简单称之为传输信息的系统。当然,目前的所谓通信系统,其含义与40多年前已大不相同。过去指的只是无线电报和电话,而今天,除电报、电话之外,还包括传真、电视和各式各样的数据信息传输系统。这些信息,有的来自雷达定位系统,有的来自电子计算机和数据处理设备,而有的则来自自动控制系统或传感器,有的甚至来自宇宙空间。即使是将来,随着人类生活各方面需要的日益增长,更有效、更大量和更可靠地传输信息仍然是无线电技术应用的一个重要方面。

随着电子科学的不断发展与进步,到目前为止,实现信息传输的通信系统已有:利用电缆线传输信息的有线通信系统,利用电磁波在空间传输信息的无线通信系统以及利用光导纤维传输信息的光纤通信系统。下面仅以无线通信系统为例,来分析通信系统的基本工作原理。无线通信系统的简略方框图如图0-1所示。

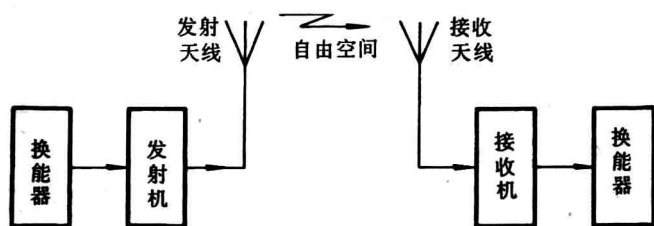


图0-1 无线通信系统组成方框图

由方框图可见,无线通信系统通常是由三部分组成,即:发射装置(或称之为发射设备)、接收装置(或称之为接收设备)及自由空间。而自由空间是电磁波在发射装置与接收装置之间进行信息

传输的媒介(对于有线通信系统来说,发射装置与接收装置之间传输信息的媒介是电缆线;而对于光纤通信系统而言,发射装置与接收装置之间传输信息的媒介是光导纤维)。下面分别对发射装置、接收装置及电磁波在空间传播的基本特性做简略介绍。

一、发射装置

无线通信系统中的发射装置一般由换能器、发射机及发射天线等三部分组成。

1. 换能器

换能器的基本功能是:将欲传输的信息转换成电信号。常用的换能器有微音器(又称麦克风)、摄像管及各种传感器等。微音器可将话音、歌声或乐器的发声等转换成电信号,这类电信号在无线电技术中通常称之为音频信号;摄像管可将自然界中的各种景物图像转换成电信号,而这类电信号通常称为视频信号;至于传感器,则可将某些非电量,如:温度、湿度、重力及压力等转换成一定形式的电信号。上述各类信号统称原始信号。

2. 发射机

无线通信系统中的发射机,其基本功能是将来自换能器的电信号进行放大和变换,为天线提供足够大功率的高频电振荡。

3. 发射天线

发射天线的基本功能是:将发射机输出的高频电振荡转换成电磁波的形式并向空间辐射出去。

发射天线的种类繁多,常用的有:鼠笼天线、振子天线、抛物面天线、喇叭天线、螺旋天线及相控阵天线等。发射天线的选用与高频电振荡的频率高低及发射机的体制等因素有关,详细分析请读者参阅有关专业书籍。

二、电磁波的传播媒介

在无线通信系统中,电磁波的传播媒介是自由空间。电磁波

在自由空间的传播速度与光速相同,即 3×10^8 m/s(即每秒 30 万公里)。

根据电磁波的波长和频率的不同,在空间传播的方式也各不相同,但最基本的三种传播方式为:① 沿地球表面的传播方式;② 在自由空间直线传播的方式;③ 依靠电离层反射或折射的传播方式。图 0-2 所示为三种基本传播方式的示意图。此外,还有其它一些传播方式,如散射等,这里就不一一介绍了。

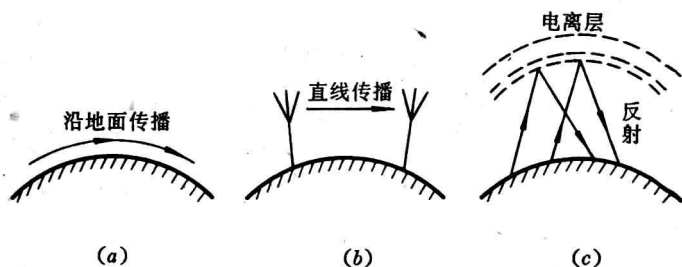


图 0-2 电磁波基本传播方式示意图

三、接收装置

无线通信系统的接收装置通常由接收天线、接收机及换能器等三部分组成。

1. 接收天线

接收天线的基本功能是:将接收到的电磁波变换成高频电振荡(高频电信号),并提供给接收机作为输入高频信号。

常用的接收天线有:拉杆天线、振子天线、抛物面天线、喇叭天线、螺旋天线及相控阵天线等。

2. 接收机

接收机的基本功能是:将输入的高频电振荡(来自接收天线)进行放大和变换,使之还原为电信号(与输入发射机的原始信号基本相同)。