

王树本 / 主编

高频电子线路原理

Gaopin Dianzi Xianlu
Yuanli

(第二版)



大连理工大学出版社

高频电子线路原理

(第二版)

王树本 主编

姜忠莲 卢冠华 参编

大连理工大学出版社

内容简介

本书注重对高频电子线路原理各单元电路的物理概念和基本原理的阐述,同时对集成电路在实际中的应用也作了适当的介绍;每章均有一定数量的典型例题和难度适当的习题并附有答案。

全书除绪论外共九章。主要内容有:小信号调谐放大器、高频功率放大器、振荡器、振幅调制、振幅解调、混频器、角度调制、鉴频与鉴相以及反馈控制电路等。

本书可作为高等学校电子工程、无线电通信专业“高频电子线路”课程的教材,对于成人高等教育学校相应专业开设的“高频电子线路”课程也完全适用。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路原理/王树本主编. —2版. —大连:大连理工大学出版社,1999.11

ISBN 7-5611-1503-2

I. 高… II. 王… III. 高频-电子线路 IV. TN7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 11620 号

大连理工大学出版社出版发行

(大连市凌水河 邮政编码 116024)

E-mail dulp @ mail. dlptt. ln. cn

大连理工大学印刷厂印刷

开本:850×1168 毫米 1/32 字数:343 千字 印张:13.75

印数:1501—4500 册

1998 年 7 月第 1 版

1999 年 12 月第 2 版

1999 年 12 月第 2 次印刷

责任编辑:王君仁

责任校对:杨 泳

封面设计:孙宝福

定价:15.50 元

前 言

高频电子线路原理是电子工程、通信等专业的一门工程性、实践性很强的主要技术基础课。本书注重讨论各种单元电路的基本工作原理,突出原理分析为实际应用服务。在分析方法上尽量减少理论推导,加强基本概念의阐述,同时也注重了对学生能力的培养,如在各章中都附有一定数量的典型例题和难度适当的习题,在部分章节中,还附有结合工程实际的设计举例。着重介绍解题思路和设计方法,有利于培养学生的解题能力和设计能力。

另外,考虑到集成电路的迅速发展和广泛应用,本教材采取对各种单元电路的功能分析以分立元件电路为主;对实际应用电路的介绍以集成电路为主。力求把分立元件电路和集成电路结合起来,把集成电路的内容渗透到全书各章之中。

高频电子线路原理是电子系学生的必修课程,其任务是研究高频电子线路的基本原理与基本分析方法,最终目的是全面培养学生分析问题和解决问题的能力。因此,这门课程能否掌握得好,对学好信息传输原理、通信原理、电视原理等后续专业课是至关重要的。

本书第一版由王树本主编,姜忠莲、卢冠华参加部分章节及部分习题的编写工作。姜忠莲还参与了有关章节的整理工作。

本书第一版获大连理工大学教材出版基金资助,在

此深表感谢。

《高频电子线路原理》自第一版作为正式教材讲授以来,通过教学实践,发现书中尚有些不完善的地方,为此,在《高频电子线路原理》第二版出版前,王树本主编在第一版的基础上进行了增删、修改,还增加了一定数量的插图和例题分析,同时补充了附录部分(单片 AM/FM 收音机),使学生们对整机系统的概念有了进一步的了解。

由于我们的水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

1999 年 10 月于大连

目 录

绪论	1
第一章 小信号调谐放大器	5
第一节 串联振荡电路	5
一、串联回路的基本电路	5
二、串联回路谐振时的特点	6
三、串联回路谐振曲线	9
四、串联回路通频带	10
五、串联回路选择性	11
第二节 并联振荡电路	12
一、串并联阻抗等效转换	12
二、并联振荡电路的基本电路	14
三、并联回路谐振时的特点	14
四、并联回路谐振曲线	16
五、并联回路通频带	17
六、并联回路选择性	17
七、回路抽头时阻抗变换关系	17
第三节 耦合振荡回路	23
一、耦合振荡回路等效电路	23
二、耦合回路的谐振	27
三、耦合回路带宽	32
第四节 晶体管 y 参数等效电路	33
第五节 单级单调谐放大器	34

一、单级单调谐放大器 y 参数等效电路	35
二、放大器输入导纳、输出导纳	36
三、放大器电压增益	38
四、放大器谐振功率增益	40
五、放大器通频带	42
六、放大器的选择性	47
七、放大器稳定电压增益	47
八、提高放大器稳定性所采取的措施	48
第六节 多级单调谐放大器	56
一、多级单调谐放大器电压增益	56
二、多级单调谐放大器通频带	56
三、多级单调谐放大器选择性	60
四、集成电路谐振放大器简介	61
第七节 单级双调谐放大器	62
一、电容耦合振荡回路	62
二、单级双调谐放大器电压增益	64
三、单级双调谐放大器通频带及矩形系数	66
第八节 放大器的噪声	67
一、噪声的来源及其性质	68
二、放大器的噪声系数	74
三、减小、噪声系数的措施	76
习题	78
第二章 高频功率放大器	86
第一节 高频功率放大器工作原理	87
一、输入回路电流波形	88
二、输出回路电流波形	89
三、集电极余弦脉冲电流富氏级数表达式	90

四、高频功率放大器功率关系	94
五、集电极余弦脉冲电流的分解	95
第二节 高频功率放大器动态特性曲线	99
第三节 高频功率放大器工作状态分析	101
一、 $U_c(R_p)$ 变化对放大器工作状态的影响	102
二、 V_{cc} 变化对放大器工作状态的影响	105
三、 U_b 变化对放大器工作状态的影响	107
四、 V_{be} 变化对放大器工作状态的影响	108
第四节 高频功率放大器馈电电路	109
一、高频功率放大器电路的组成	109
二、馈电电路	111
三、高频功率放大器临界工作状态计算	114
第五节 高频功率放大器输出回路	117
一、简单输出回路	117
二、复合输出回路	118
第六节 高频功率放大器调谐与调整	122
一、中介回路的调谐特性	123
二、天线回路的调谐特性	126
三、调整方法	127
第七节 发射机末级功放及天线回路设计与计算	129
一、主要技术指标	129
二、设计步骤	129
第八节 倍频器	134
一、丙类倍频器	135
二、参量倍频器	137
习题	139

第三章 正弦波振荡器	148
第一节 振荡器的基本原理	148
第二节 振荡器平衡条件	150
第三节 振荡器稳定条件	155
一、振幅稳定条件	155
二、相位稳定条件	157
第四节 反馈型 LC 振荡器	160
一、电感反馈型 LC 振荡器	160
二、电容反馈型 LC 振荡器	162
三、晶体管三端式 LC 振荡器相位平衡条件判断法则	164
四、高稳定度 LC 振荡器	165
第五节 振荡器频率稳定度及稳频方法	169
一、频率稳定度	169
二、稳频方法	174
第六节 石英晶体振荡器	176
一、石英晶体谐振器及其电抗曲线	177
二、石英晶体振荡器	180
第七节 压控振荡器	186
习题	187
第四章 振幅调制	196
第一节 非线性电路幂级数分析方法	197
一、单一余弦信号作用在非线性器件时, 输出	
电流 i 的频率成分	198
二、两个余弦信号作用在非线性器件时, 输出	
电流 i 的频率成分	200
第二节 调幅波的性质	202

一、调幅波数学表达式	202
二、调幅波波形	204
三、调幅波频谱	206
四、调幅波带宽	208
五、调幅波的功率关系	208
第三节 振幅调制电路	210
一、小信号调幅	210
二、大信号调幅	213
三、二极管平衡调幅器	216
四、二极管环形调幅器	218
五、模拟乘法器调幅电路	219
六、高电平调幅电路	221
第四节 单边带调幅信号产生的方法	235
一、滤波器法	236
二、相移法	236
三、相移滤波器法	237
习题	238
第五章 振幅解调	243
第一节 检波器的技术指标	245
一、检波器电压传输系数	245
二、检波器失真	246
三、检波器等效输入电阻	247
四、检波器高频滤波系数	247
第二节 小信号检波	247
一、工作原理	247
二、小信号检波器技术指标	250
第三节 大信号检波	252

一、工作原理	252
二、大信号检波器的定量分析	254
三、大信号检波器技术指标	257
四、二极管并联检波器	266
第四节 差拍检波器	272
第五节 乘积型同步检波器	276
第六节 自动增益控制	279
习题	283
第六章 混频器	287
第一节 混频器的工作原理	287
第二节 晶体管混频器	290
一、电路组态	290
二、晶体管混频器分析	291
三、晶体管混频器等效电路	295
四、混频器主要技术质量指标	297
五、设计混频器时应考虑的几个问题	298
第三节 二极管混频器	299
一、二极管混频器分析	299
二、二极管平衡混频器	301
三、二极管环形混频器	303
第四节 混频器的干扰	306
一、组合频率干扰	306
二、副波道干扰	307
三、交叉调制干扰	308
四、抑制干扰的措施	309
第五节 统一调谐	310
第六节 几种混频电路的介绍	317

习题	324
第七章 角度调制	329
第一节 调角波的性质	329
一、调频波、调相波数学表达式	329
二、间接调频与间接调相	331
三、调频波、调相波另一种数学表达式	332
第二节 调频波的频谱及带宽	335
一、调频波的频谱	335
二、调频波的带宽	337
第三节 调频方法	341
一、直接调频法	341
二、间接调频法	367
习题	369
第八章 鉴频与鉴相	375
第一节 鉴频器的主要技术指标	375
第二节 鉴频电路	376
一、斜率式鉴频器	376
二、平衡式鉴频器	379
三、相位鉴频器	381
四、比例鉴频器	390
五、晶体鉴频器	392
第三节 限幅器	396
一、概述	396
二、二极管限幅电路	398
第四节 鉴相器	400
习题	403

第九章 反馈控制电路简介.....	404
一、反馈控制电路的分类	404
二、自动频率控制电路	405
三、锁相环路	407
四、频率合成	410
习题.....	416
附录.....	419
参考文献.....	427

绪 论

无线电通信系统是由无线电发送设备、无线电接收设备以及传送信息信道所组成。如图 0-1 所示,这是一个无线电调幅发射机的方框图。它是由主振级、缓冲级、倍频级、末前级、末级功放五部分组成的。

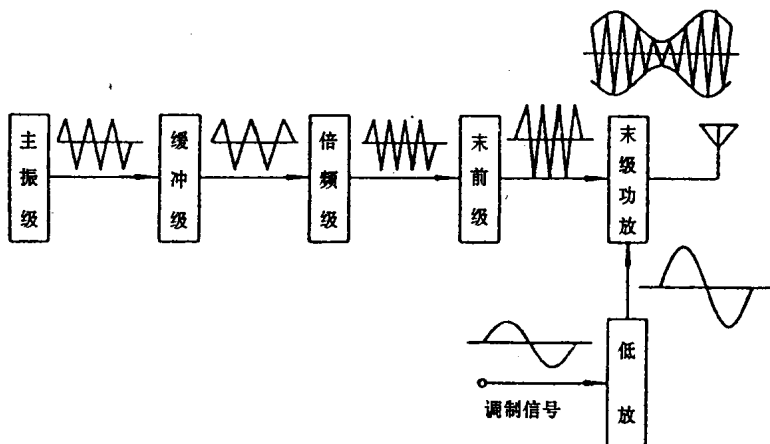


图 0-1

主振级:由它产生高频载波,给后级提供一个稳定、等幅的高频振荡。作为振荡器来讲,频率稳定度是一个最重要的技术指标,根据发射机对频率稳定度的不同要求,主振级可采取不同形式的高频振荡器。如:电感三端式、电容三端式、改进型电容三端式以及石英晶体振荡器等。

缓冲级:它的作用是隔离后级对主振级的影响。通常缓冲级采

用射极跟随器,这是由于射极跟随器输入阻抗高,当它与主振级振荡回路并联时,对回路 Q 值影响非常小,从而保证了主振级频率稳定度不受影响。

倍频级:它的作用是倍增由主振级产生的高频载波频率。如果倍频器输入信号频率为 f_0 ,那么倍频器输出信号频率为 nf_0 , n 为倍频次数。根据发射机工作频率的要求,倍频器可采用一级或多级倍频器,以满足发射机工作频率的要求。显而易见,采用倍频器可大大降低主振级的振荡频率,这对稳定频率十分有利,所以说倍频器在无线电发射机中,尤其是在工作频率比较高的无线电发射机中,是不可缺少的组成部分。

末前级:它的任务是放大由倍频级输出的高频激励信号,给末级高频功率放大器提供一个稳定的激励信号,以推动末级高频功率放大器工作。

末级功放:对末前级提供的高频激励信号作进一步放大,以获得足够大的输出功率。另外,调制信号通过低放放大后在末级功放中进行调制,使高频基波电压振幅随调制信号变化而变化,所以,由发射天线向空间发射的已调波是一个高频载波电压振幅受调制信号控制的调幅波,其包络反映了调制信号的变化规律。

无线电调幅接收机方框图如图 0-2 所示。

它是由输入回路、高放、混频、本振、中放、检波以及低放所组成。

输入回路:它是利用 LC 调谐回路的选频特性,从接收天线接收到的所有高频信号中选择出所需要的频率信号。

高放:它是高频小信号调谐放大器的简称,其作用是放大来自输入回路的高频信号。

本振:它是本机振荡器的简称,它同发射机中的主振级一样也是一个高频振荡器,其作用是产生稳定、等幅的正弦高频振荡。根据对本振频率稳定度的不同要求,可采取不同类型的振荡电路。

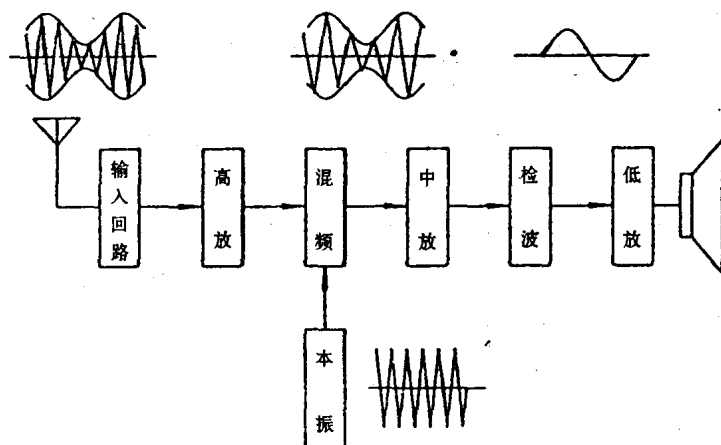


图 0-2

混频:它置于高放和中放之间,其作用是把输入的高频信号变成某一固定的中频信号(例如,调幅广播接收机的中频为465kHz)。即把来自高放的高频信号 u_s (其频率为 f_s)、本振信号 u_o (其频率为 f_o)一起作用到混频器中的非线性器件上,利用非线性器件的频率变换作用,在其输出负载回路(一般采用LC调谐回路,中心频率谐振在中频)中取出二者的差频,即 $f_i = f_o - f_s$,从而获得中频信号电压 u_i 。

作为混频器来讲,混频前后的载波调制规律不变,若混频前输入信号 u_s 为调幅波或等幅波,混频后输出信号 u_i 仍为调幅波或等幅波;改变只是载频,混频前输入信号频率为高频载频,混频后输出信号频率为中频载频。

中放:它是中频信号放大器的简称,其作用是放大来自混频器输出的中频信号。

中放级增益的高低直接影响整机的灵敏度,为了满足整机增益的要求,中放级可采用级联放大器。

检波:它的作用是将调制信号从已调波中解调出来,其输出波形反映出原调制信号的变化规律。

低放:对检波器输出的低频信号进行放大,以便获得足够大的功率推动扬声器。

对调幅、混频、检波而言,它们都是一种非线性频率变换过程,也是频谱搬移过程。

调幅是将低频信号由低频频谱搬移到高频频谱。

混频是将两个高频信号由高频频谱搬移到中频频谱。

检波是将低频信号由高频频谱搬移到低频频谱。