

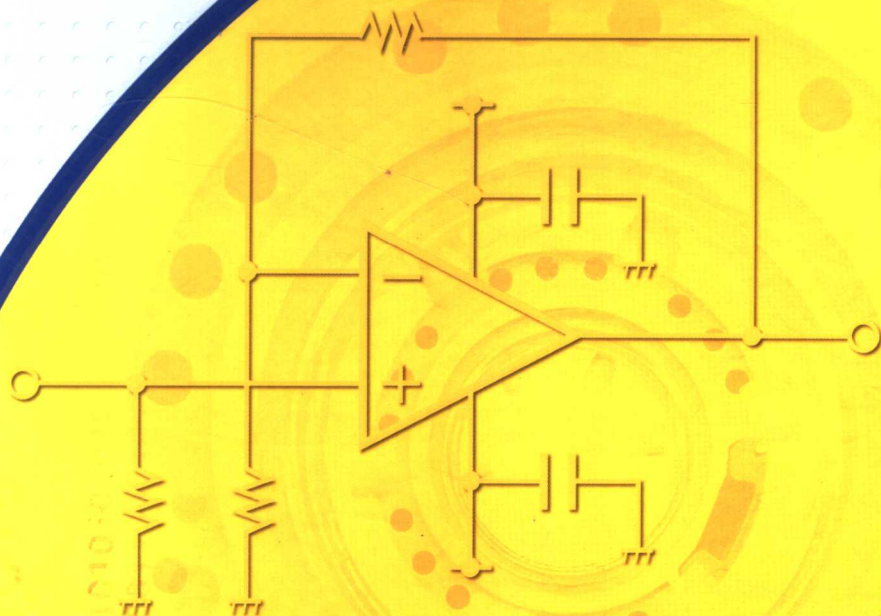
图解实用电子技术丛书

高低频电路 设计与制作

从放大电路的设计到安装技巧

〔日〕铃木雅臣 著

邓学 译



科学出版社

www.sciencep.com

图解实用电子技术丛书

高低频电路设计与制作

从放大电路的设计到安装技巧

〔日〕 铃木雅臣 著

邓 学 译

科学出版社

北京

图字: 01-2006-0589 号

内 容 简 介

本书是“图解实用电子技术丛书”之一。本书主要介绍高低频电路的工作原理及设计方法,针对实际设计时的元器件的选择方法和求解电路参数等方面进行了详细的说明,并且提供了替换元件、电路参数以及其他方面的应用。

本书共分九章,首先在绪论中简要地介绍 AM 收音机;其次——介绍晶体管的工作原理,FET 的工作原理,OP 放大器的放大电路,低频放大电路的制作,高频放大电路设计基础,以及高频放大电路的基本设计,接收机滤波器的制作;最后介绍调制、解调电路的制作和低频、高频电路设计技巧。

本书通俗易懂,实用性强,可供电子技术领域的工程技术人员、大学生以及广大的电子爱好者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

高低频电路设计与制作/(日)铃木雅臣著;邓学译. —北京:科学出版社, 2006

(图解实用电子技术丛书)

ISBN 7-03-011783-2

I. 高… II. ①铃… ②邓… III. ①高频-电子电路-电路设计-图解
②低频-电子电路-电路设计-图解 IV. TN710.2-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 076808 号

责任编辑:赵方青 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:李 力

北京东方科图图文有限公司 制作

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

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 8 月第一次印刷 印张: 16

印数: 1—4 000 字数: 239 000

定 价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

Shin Teisyuuha Kousyuuha Kairo Sekkei Manual

By Masaomi Suzuki

Copyright © 1988 Masaomi Suzuki

All rights reserved.

Originally published in Japan by CQ Publishing Co., Ltd., Tokyo.

Chinese(in simplified character only)translation rights arranged with

CQ Publishing Co., Ltd., Japan.

新・低周波／高周波回路設計マニュアル

鈴木雅臣 CQ 出版株式会社 2003

著 者 簡 介

鈴木雅臣

1956 年 生于东京都丰岛区

1979 年 毕业于职业培训大学电气系电气专业

现 在 就职于 Accuphase 公司,从事数字音频设备的设计工作

前言

如今,在各领域都在应用数字技术,可以说,我们已经进入了数字技术的全盛时期。在积极地探讨数字技术优劣的同时,让我们先对模拟技术重新做一下评价。

目前还没有能够实现数字化的领域有传感器电路、放大电路、高频电路、微小信号电路、动力电路和电源电路,等等,而它们也都是非常重要的。最近有一种说法,即模拟电路技术人才匮乏。考虑其原因,无非是在设计时,模拟电路比数字电路考虑的因素要多,经验和技巧所占的比重大。本书基于这一点,以低频放大电路和高频放大电路为中心,对其在实用设计和实装方法等技巧方面加以介绍,力求让想从现在开始了解模拟电路的人也能充分地理解。

本书对实际设计时元器件的选择方法和求解电路参数等方面进行了详细介绍,而且还考虑到替换元器件、电路参数以及其他的应用方面。

作者认为电路基础理论在电路设计中是非常重要的。在电路设计中的故障(如不按照设计执行以及误动作等等)是经常发生的。对于故障的排除,首先从基础理论上考虑是最快捷的解决方法。经常用技术理论来分析故障的起因,也就提高了自己的技术水平。由此,将必要的理论知识写入了本书。

最后,本书得以出版,要感谢 Accuphase 株式会社技术部次长高松重治先生在技术方面所给予的诸多指导。感谢 CQ 出版株式会社蒲生良治先生、山形孝雄先生在策划、构成以及编辑等方面的大力支持。

目 录

绪论 低频、高频信号波形的发现	1
0.1 AM 收音机概述	1
0.2 AM 收音机的信号波形	2
 第 1 章 晶体管的工作原理	7
1.1 晶体管放大器	7
1.1.1 晶体管的构造	7
1.1.2 放大基极电流	8
1.1.3 晶体管放大的基本连接方法	11
【专栏】关于晶体管的 V_{BE}	12
【专栏】放大电路中的接地方式	13
1.2 用于开关的晶体管	14
1.2.1 驱动 LED	14
1.2.2 驱动继电器线圈	15
1.2.3 增大 h_{FE} 的达林顿连接法	16
1.3 线性放大信号	17
1.3.1 偏置电路的设计方法	17
1.3.2 交流电压增益的求解方法	18
1.3.3 获取交流增益	19
1.3.4 高频放大特性的界限	20
【专栏】作为缓冲器使用的射极跟随器	21
附录 正确求解电路特性	23
 第 2 章 FET 的工作原理	29
2.1 FET 的结构和工作原理	29
2.1.1 JFET 和 MOS FET	29
2.1.2 JFET 工作结构	30
2.1.3 MOS FET 工作结构	32
2.1.4 FET 特性	33

2.2 作为开关电路的使用方法	33
2.3 在信号放大电路中的应用	35
2.3.1 源极接地的放大电路	35
2.3.2 评价实际电路	36
2.4 作为缓冲器应用	38
【专栏】 关于 JFET 的传输特性	39
第 3 章 OP 放大器的放大电路	41
3.1 OP 放大器的结构	42
3.1.1 两个输入端	42
3.1.2 加入输入信号	43
3.1.3 理想 OP 放大器的工作原理	45
3.2 放大电路的两种形式	46
3.2.1 极性相反的放大——反相放大器	46
3.2.2 实际产生误差的原因	46
3.2.3 对实际反相放大器的评价	47
3.2.4 保持同极性放大——同相放大器	49
3.2.5 实际的同相放大器	50
第 4 章 低频放大电路的制作	51
4.1 小噪声放大电路	51
4.1.1 降低噪声的基本技巧	52
4.1.2 OP 放大器的噪声特性	52
4.1.3 阻抗与热噪声的影响	57
4.1.4 带宽与噪声的关系	58
4.1.5 实际电路的设计	60
4.1.6 设计电路的特性	61
4.2 大电流输出的放大电路	62
4.2.1 获得大电流的方法	63
4.2.2 OP 放大器及周围电路的设计	65
4.2.3 用于大输出的晶体管选择	65
4.2.4 短路保护电路的设计	70
4.2.5 设计电路的特性	71
4.3 高输出电压的放大电路	72
4.3.1 获得高输出电压的方法	73

4.3.2	电路设计的思考方法	75
4.3.3	OP 放大器及周围电路的设计	76
4.3.4	电压放大(升压器)部分的设计	77
4.3.5	阻抗匹配部分的设计	79
4.3.6	设计电路的特性	80
第 5 章	高频放大电路设计基础	83
5.1	高频放大电路的主要特性	83
5.1.1	调谐放大器与图像放大器的差异	83
5.1.2	增益用功率表示	85
5.1.3	噪声指数 NF	85
5.1.4	缩小初级的 NF	86
5.1.5	调制特性的影响	87
5.1.6	调制失真的表示方法	88
5.1.7	交叉点的求解方法	89
5.1.8	电压驻波比 VSWR	90
5.1.9	处理图像信号的电路特性	91
5.1.10	图像信号的前后沿特性	92
【专栏】	匹配(matching)	93
5.2	用 IC 制作高频放大电路	94
5.2.1	宽带高速 OP 放大器	94
5.2.2	在高频放大中使用 IC 的效果	97
5.2.3	通用高频放大器 μ PC1658C	97
5.2.4	FM 中频放大器 TA7302P	99
【专栏】	输入输出电平的功率表示	101
【专栏】	关于元件的调制失真	101
第 6 章	高频放大电路的基本设计	103
6.1	对高频晶体管工作原理的理解	103
6.1.1	电路参数与器件参数	103
6.1.2	双极性晶体管的等效电路	104
6.1.3	上限频率功率增益的获得方法	105
6.1.4	FET 的等效电路	106
6.1.5	减小反馈电容的方法——串联连接	107
6.2	电路设计方法(1)——使用 y 参数	109

6.2.1	根据 y 参数的电路表示方法	109
6.2.2	y 参数的含义	110
6.2.3	根据 y 参数获得最大可用增益的计算方法	110
6.2.4	实际稳定的增益 G_{PS}	111
6.3	电路设计的考虑方法(2)——使用 S 参数	112
6.3.1	S 参数的电路表示方法	112
6.3.2	S 参数的含义	113
6.3.3	S 参数的功率表示	113
6.3.4	史密斯图与 S 参数	115
6.3.5	S 参数与极坐标表示	117
6.3.6	使用 S 参数宽带放大器的设计例子	117
【专栏】	消除内部反馈因数——中和	118
6.4	高频晶体管的噪声特性	119
6.4.1	双极性晶体管的噪声指数	119
6.4.2	FET 的噪声指数	121
6.4.3	实际的噪声指数	122
【专栏】	话说 dB(杜比)	123
6.5	使用 AGC 电路	124
6.5.1	所谓 AGC 电路	124
6.5.2	正相 AGC 电路	124
6.5.3	反相 AGC 电路	125
6.5.4	适合于 AGC 放大器件的选定	126
6.6	高频放大电路的设计	126
6.6.1	150MHz 频带的调谐放大电路的设计	126
6.6.2	400MHz 宽带放大电路的设计	133
6.6.3	用 IC 设计的宽频带放大电路	141
6.6.4	电路设计二例	146

第 7 章 接收机滤波器的制作 149

7.1	在高频电路中使用的各种滤波器	149
7.1.1	LC 滤波器	150
7.1.2	陶瓷滤波器	152
7.1.3	SAW 滤波器	154
【专栏】	电感的制作方法	157
7.2	实际滤波器的设计	158

7.2.1	制作 FM 中频的混频电路——LC 滤波器 ...	158
7.2.2	在 AM 收音机中的陶瓷滤波器电路	160
7.2.3	FM 高级调谐器的 IF 电路——陶瓷滤波器 ...	164
第 8 章	调制、解调电路的制作	169
8.1	AM 方式的调制、解调	169
8.1.1	何谓 AM 调制	170
8.1.2	使用 DBM 的 AM 调制电路	172
8.1.3	使用模拟乘法器的 AM 调制电路	175
8.1.4	使用二极管的 AM 解调电路	175
8.1.5	使用 DBM 的 AM 解调电路	176
8.2	FM 方式的调制、解调	178
8.2.1	何谓 FM 调制	178
8.2.2	使用 LC 的 FM 调制电路	181
8.2.3	使用晶体振荡器的 FM 调制电路	183
8.2.4	积分解调电路	184
8.2.5	使用数字延时的解调电路	186
8.2.6	PLL 解调电路	189
【专栏】	各种调制方式	190
【专栏】	关于 PM 方式的调制、解调	191
第 9 章	低频、高频电路设计技巧	193
9.1	电阻的使用方法	193
9.1.1	碳膜电阻和金属膜电阻	194
9.1.2	阻抗网络	196
9.1.3	在高频电路中使用的固定电阻	196
9.1.4	可调电位器的使用方法	197
9.2	在低频电路中使用的电容	201
9.2.1	铝电解电容的使用	202
9.2.2	有机薄膜电容器	204
9.3	在高频电路中使用的电容	206
9.3.1	圆盘型、轴向引线型陶瓷电容	207
9.3.2	直接焊接的电容	209
9.3.3	穿心电容	211
9.4	开关的使用方法	213

9.4.1 使用机械开关	213
9.4.2 使用继电器	214
9.4.3 半导体开关——模拟开关	216
9.5 高频电路的开关	219
9.5.1 切换视频信号的模拟开关	219
9.5.2 使用视频开关 IH5341 来切换视频信号的 电路	220
9.5.3 通过差动型模拟开关来切换视频信号	221
9.5.4 切换高频信号的开关二极管	222
9.5.5 使用开关二极管的 FM 调谐频带的 切换电路	223
9.5.6 使用 PIN 二极管的频带开关电路	225
9.5.7 大功率高频信号使用的同轴继电器	225
9.5.8 同轴继电器的内部结构	226
9.6 低频电路的安装技巧	227
9.6.1 关于接地线的引出	227
9.6.2 静电感应的处理方法	229
9.6.3 静电感应的处理方法	231
9.7 高频电路的安装技巧	233
9.7.1 接地的阻抗	233
9.7.2 减小布线电感	235
9.7.3 防止高频耦合	235
9.7.4 同轴电缆和同轴接头的正确使用	238
参考文献	243

绪论

低频、高频 信号波形的发现

在学习低频、高频信号的处理以及各种实用电路的设计方法之前,通过实际的波形来介绍一下低频、高频信号到底是怎样的波形,或许与本书的旨意稍稍有些偏离,但却是很有意义的。

下面以收音机为例。

0.1 AM 收音机概述

关于收音机的工作原理,我们在中学时已经学习过了,现在再复习一下。

AM 收音机是接收 AM 调制波的装置。AM 调制(振幅调制)是指高频信号的振幅随着需要传送的声音(低频)信号的大小而改变的调制方式。承载声音信号的高频波称为载波,需要传送的声音信号称为调制波。载波与调制波的大小之比称为调制度。在频率轴上 AM 调制的载波和调制波的关系,如图 0.1 所示。

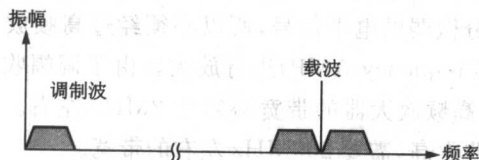


图 0.1 载波与调制波的关系

为了理解低频、高频信号的波形,观察设 AM 收音机接收信号的载波频率为 1008kHz (称为高频),调制波频率为 1kHz (称为低频),调制度为 30% 时的 AM 收音机各个点的波形。因为它是电波,AM 收音机的输入信号电平用电场强度来表示。本次试验将

接收天线放置于电场强度为 60dB/m (接收天线周围的电场强度) 信号中, 这与一般的收音机相同。

该实验使用的被称为合成器方式的调幅收音机的方框图, 如图 0.2 所示。作为合成器方式, 有点类似于流行的数字选台, 它主要采用了 PLL (Phase Locked Loop, 锁相环电路) 技术。

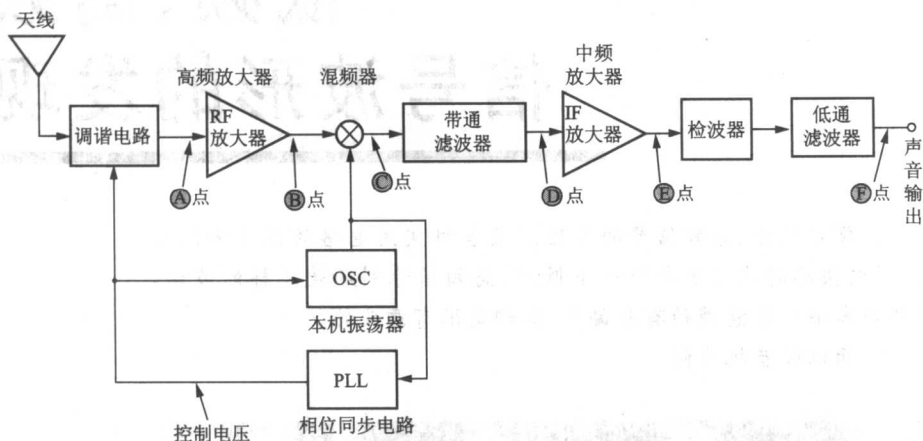


图 0.2 AM 收音机的框图

0.2 AM 收音机的信号波形

图 0.3 是在实验中使用的调幅收音机电路, 使用的是单片频率合成方式调幅接收用的集成电路。最近的调幅收音机, 除了滤波器和线圈等外围电路, 都是由单片集成电路构成的。

首先, 照片 0.1 为调谐 (即选择电台) 电路的输出 (A 点) 波形。因为从这里的天线信号中选出的预选台 (即频率的选择) 低于 10mV , 是十分微弱的电平信号, 所以必须经过高频放大器 (RF 放大器, Radio Frequency AMP) 进行放大。由于调幅收音机的载波约 1MHz , 故高频放大器的带宽必须在 2MHz 左右。而调频接收机载波频率非常高, 需要 200MHz 左右的带宽。

高频放大器的输出 (B 点) 波形, 如照片 0.2 所示。将照片 0.1 所示的信号波形放大, 就可以观察到调制波的信号。

调幅波因载波的振幅被调制波调制, 可以看到照片 0.2 中上下包络的调幅波 (在照片上是 1kHz)。把照片 0.3 的时间轴放大, 可以看到 1008kHz ($\approx 1\text{MHz}$) 的载波。

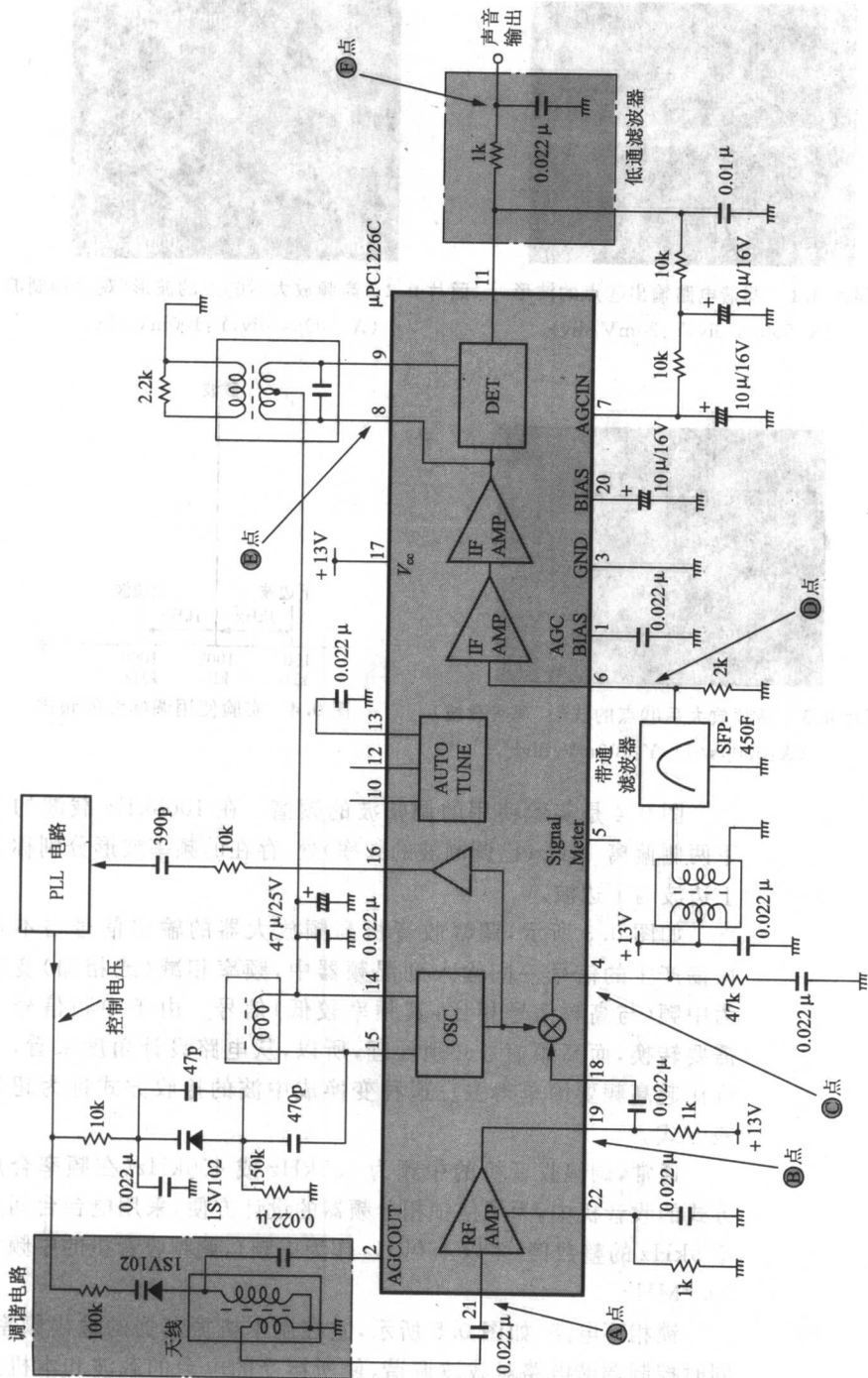
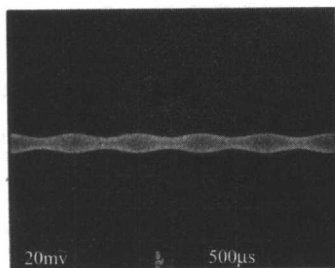
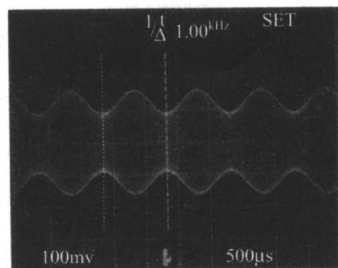


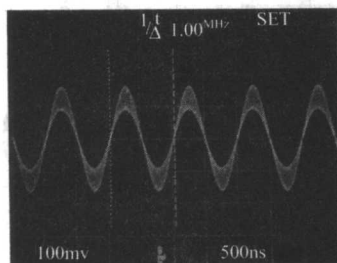
图0.3 使用 μ PC1226C的AM收音机



照片 0.1 调谐电路输出④点的波形
(X:500μs/div, Y:20mV/div)



照片 0.2 高频放大后⑥点的波形(观察调制波)
(X:500μs/div, Y:100mV/div)



照片 0.3 高频放大后⑥点的波形(观察载波)
(X:500μs/div, Y:100mV/div)

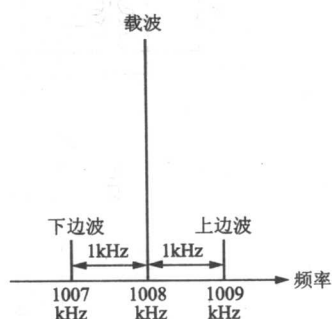


图 0.4 实验使用调幅波的频谱

图 0.4 是实验使用的调幅波的频谱。在 1008kHz 载波的上下两侧偏离 1kHz(已调制波的频率)处,存在的频率波形分别称为上边波与下边波。

如图 0.3 所示,调幅收音机高频放大器的输出信号与本机振荡产生的信号一同输入到混频器中,频率相减(或相加)变换为中频(与高频信号相比,其频率较低)信号。由于中频信号不需要转换,而高频信号必须处理,所以,从电路设计角度来看,中频比起高频要简单得多。这种变换成中波的接收方式称为超外差方式。

通常,调幅收音机的中频为 455kHz 或 450kHz(在频率合成方式的收音机中,为了使锁相分频器的设计方便,采用电台台间频率 9kHz 的整数倍,多以 450kHz 作为中频),调频收音机的中频为 10.7MHz。

锁相环电路,如图 0.5 所示,它控制本机振荡器的输出频率,同时控制调谐电路对载波调谐,使所接受的电台的载波和本机振荡器输出波的差频为 450kHz 的中频。

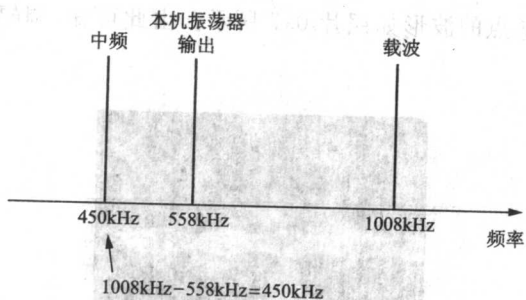
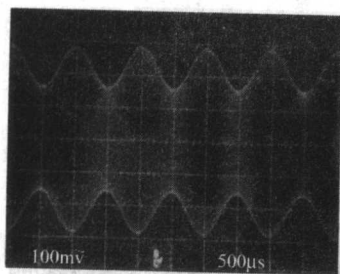
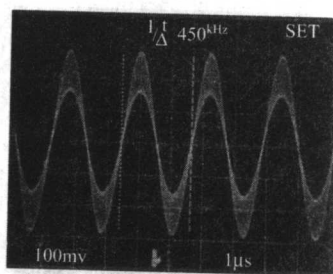


图 0.5 调制波、本机振荡器输出及载波的关系

照片 0.4 是混频器输出点③的波形。照片 0.5 是把时间轴放大的波形。AM 调制波的包络是完全一样的,只是载波的频率变成了 450kHz。因此,混频器输出只有被选中的信号,而滤掉了邻近电台的信号。如图 0.6 所示,使用 450kHz 为中心频率的带通滤波器。



照片 0.4 混频后③点的波形(观察调制波)
(X:500μs/div, Y:100mV/div)



照片 0.5 混频后③点的波形(观察载波)
(X:1μs/div, Y:100mV/div)

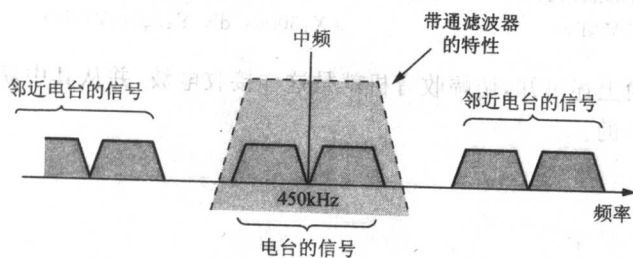
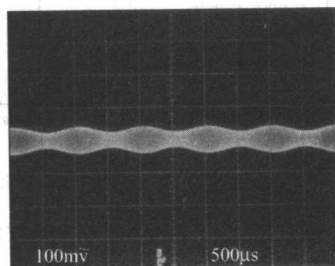


图 0.6 带通滤波器的特性

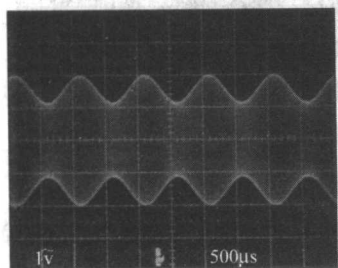
照片 0.6 为带通滤波器输出①点的输出波形。由于加入了带通滤波器,所以,信号电平有所衰减。通过带通滤波器信号,经过中频放大器(IF AMP: Intermediate Frequency AMP)的放大后,

其输出端⑤点的波形如照片 0.7 所示。由此可知,调幅波的振幅被放大。

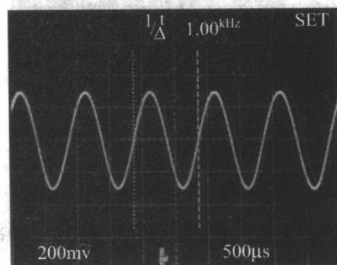


照片 0.6 带通滤波器输出⑤点的波形
(X:500μs/div, Y:100mV/div)

检波器(detector)从中频放大器输出的 AM 中取出调制波,用低通滤波器除去不必要的高频成分,使其成为声音信号。声音信号输出⑥点的波形,如照片 0.8 所示。这就是将 1kHz 正弦波检出的全过程。



照片 0.7 中频放大后⑤点的波形
(X:500μs/div, Y:1V/div)



照片 0.8 检波、滤波后⑥点的波形(声音的输出)
(X:500μs/div, Y:200mV/div)

由上述可知,调幅收音机就是这样接收电波,并从其中获取声音信号的。