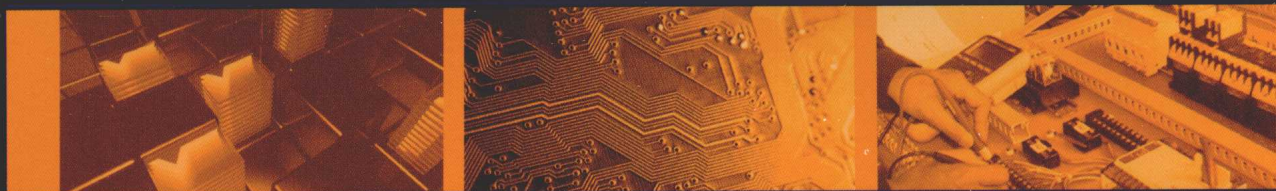




高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材
国家示范性高职高专院校应用电子技术专业建设成果

电子工艺技术 综合技能教程



许涌清 武昌俊 刘瑞 编著



赠送电子课件等



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是国家示范性高职高专院校应用电子技术专业建设成果之一,是在“电子技术实训系列讲义”基础上进行总结编写的,内容包括:调幅超外差式半导体收音机装配与维修、数字时钟设计与制作、电视机装配与维修、低频功率放大电路设计与制作和电子设备测绘与拆装等内容;附录中还附出了三级放大电路的制作与测量实训、无线电装接工职业技能鉴定考核模拟试卷和无线电装接工竞赛培训考核模拟试题。

本书本着“工学结合、项目引领、理实一体”的原则,克服了理论与实践脱节的问题。旨在提高高职高专学生电子设备电路原理图、印制电路板图及整机装配图的识图能力,使学生学会分析故障和排除故障的基本技能,以提高其对工程技术问题的分析水平和实际操作技能。

本书适合于高职高专电子类专业理实一体化教学,其他电类专业也可根据需要选用不同任务进行实施,本书还可作为国家职业技能鉴定(中、高级电子类工种)培训与考核及职业院校电子类技能竞赛辅导教材,也可供电子爱好者参考。

为方便教学,本书配有电子课件等,凡选用本书作为教材的学校,均可来电免费索取。咨询电话:010-88379375; Email: cmpgaozhi@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺技术综合技能教程/许涌清,武昌俊,刘瑞编著. —北京:机械工业出版社,2010.7
高职高专“十一五”电子信息类专业规划教材
ISBN 978-7-111-31202-4

I. ①电… II. ①许…②武…③刘 III. ①电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 128234 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:王宗锋

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:王伟光 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.25 印张·449 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-31202-4

定价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

前言

为了认真贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》和教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)的精神,根据教育部、财政部《关于实施国家示范性高等职业院校建设计划,加快高等职业教育改革与发展的意见》(教高[2006]14号),结合高职高专院校人才培养的特点,特撰写本教材。本教材努力贯彻高职高专的技能培养目标,本着“工学结合、项目引领、理实一体”的原则,强调实践与理论的结合,以经典的实训操作案例反映电子设备生产过程中的装配、调试、设计和制作的整个综合过程(每个案例既相互独立,又层层深入),保证了教材的内容贴近实战,缩小人才培养与市场需求的距离。

《电子工艺技术综合技能教程》是国家示范性高职高专院校应用电子技术专业建设成果之一,也是培养电子行业工程技术人员的一门实践性很强的综合技能实训的理实一体化教材,是学生从课堂学习走向电子工程领域的桥梁和纽带。

本书简明实用,图文并茂,主要包括:调幅超外差式半导体收音机装配与维修、数字时钟设计与制作、电视机装配与维修、低频功率放大电路设计与制作、电子设备测绘与拆装、三级放大电路的制作与测量实训、无线电装接工职业技能鉴定考核模拟试卷和无线电装接工竞赛培训考核模拟试卷等内容。培训的技能主要有:熟练使用电子产品装配中的常用工具;熟练掌握电子焊接技术;熟悉拆卸和安装电子元器件的基本操作方法;熟练使用万用表,能够正确地对电子元器件进行质量鉴别和检测;掌握一般电子设备的电路参数测试方法、调试方法和电路指标的测试方法;掌握一般电子设备的设计过程,如电路选用、电路工作原理分析、确定电路参数和整机技术指标等内容;学会测绘一般电子设备的整机接线图、整机结构图、印制电路板图和电路原理图,并能读通电路原理图;能综合运用计算机制图软件绘制电子产品工程图;了解整机的基本组成框图和各元器件的作用,掌握各部分电路的检测和调试方法,初步掌握根据原理图排除故障的基本技能,进而达到整体认识一般电子设备,逐步提高对工程技术问题的分析水平和实际操作能力。

《电子工艺技术综合技能教程》是电子技能实训教材,可供高职高专院校电子类专业使用。书中各个任务单元具有独立性,其他电类专业也可根据需要进行实施;本书还可作为国家职业技能鉴定(中、高级电子类工种)培训与考核及职业院校电子类技能竞赛辅导与实施教材,也可供电子爱好者参考。

本书由安徽机电职业技术学院许涌清高级工程师、武昌俊副教授和刘瑞老



师编著，具体分工如下：武昌俊撰写项目一和附录；许涌清撰写项目三、项目四和项目五，刘瑞撰写项目二和制作全书的电子课件，全书由许涌清和武昌俊共同统稿。本书由安徽机电职业技术学院储克森副教授担任主审，他以高度负责的态度审阅了全书，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢！在本书撰写过程中还得到了电气工程系刘苏英老师的大力帮助，同时也参考了许多专家、学者的著作，在此一并表示衷心的感谢！

如果读者要了解与本书有关的更多教学内容，敬请登录《电子技能综合实训》网，网址为 <http://dzjn.ahcme.cn>。

由于编者水平所限，书中错误与不足之处在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见，以便改进。

编著者

目 录

前言

项目一 调幅超外差式半导体收音机

装配与维修 1

1.1 项目教学目的 1

1.2 调幅超外差式半导体收音机 工作原理 2

模块1 无线电广播 2

模块2 调幅超外差式半导体收音机输入 和变频单元电路的识读 4

模块3 调幅超外差式半导体收音机中频 放大、检波和自动增益控制及低 频放大电路的识读 8

1.3 调幅超外差式半导体收音机 整机装配与维修实训 14

模块1 电子产品焊接基本技能实训 14

模块2 电子产品装配基本技能实训 20

模块3 调幅超外差式半导体收音机的 装配、调试及修理 22

1.4 项目评价 33

项目二 数字时钟设计与制作 34

2.1 项目教学目的 34

2.2 数字时钟电路原理 35

模块1 数字基本逻辑器件的应用 35

模块2 数字时钟电路设计 50

2.3 数字时钟的制作实训 55

2.4 项目评价 58

项目三 电视机装配与维修 59

3.1 项目教学目的 59

3.2 电视机工作原理 60

模块1 广播电视系统 60

模块2 电视机通道系统 69

模块3 电视机扫描系统 90

3.3 电视机装配、调试及修理实训 132

3.4 项目评价 153

项目四 低频功率放大电路设计与制作 ... 155

4.1 项目教学目的 155

4.2 低频功率放大电路工作原理 156

模块1 低频功率放大电路 156

模块2 TDA2030A 组成的功率 放大器 163

4.3 低频功率放大电路设计与 制作实训 165

模块1 印制电路板的设计和制作过程 ... 165

模块2 常用电子测量仪器的使用 169

模块3 低频功率放大器的制作 187

4.4 项目评价 190

项目五 电子设备测绘与拆装 191

5.1 项目教学目的 191

5.2 稳压电源的相关知识 192

模块1 常用电子元器件及其检测 192

模块2 电子产品中的基本材料 210

模块3 直流稳压电源 213

模块4 AutoCAD 与电子 CAD 软件 221

模块5 电子产品中的工艺技能 226

5.3 稳压电源的测绘与拆装实训 237

5.4 项目评价 242

附录 244

附录A 三级放大电路的制作与 测量实训 244

附录B 无线电装接工职业技能 鉴定考核模拟试卷 254

附录C 无线电装接工竞赛培训 考核模拟试题 282

参考文献 285

项目一 调幅超外差式半导体收音机装配与维修

1.1 项目教学目的

“调幅超外差式半导体收音机装配与维修”项目是通过学习收音机电路原理，掌握电子电路的基本原理和基本分析方法；经过收音机装配的训练，掌握电子元器件识别和检测、收音机整机焊接装配工艺和排除故障的方法。以此获得对实际电路的分析、熟练使用万用表检测电子元器件和电路参数及装配电子产品和排除电子产品故障的能力。

一、教学目标

序号	类 别	目 标
1	知识点	1) 无线电信号发射与接收的基本原理 2) 调幅超外差式半导体收音机的工作原理
2	技能	1) 熟悉收音机中电子元器件实物及其在印制电路板上的装配要求 2) 掌握一般电子设备安装中工具的使用方法和焊接技术 3) 学会阅读电子整机装配图，提高整机装配工艺水平 4) 读通电子整机原理图，加深对各单元电路的理解，进一步对电子产品有初步的整体认识 5) 熟练使用万用表检测元器件(电阻、电容、二极管、晶体管的识别与选取)和电路参数(如线路阻值、电流和电压) 6) 学会对收音机故障的分析与检修
3	职业素养	1) 培养良好的沟通能力及团队协作精神 2) 养成良好的职业道德 3) 具有质量、成本、安全和环保意识

二、项目任务及要求

任务1：调幅超外差式半导体收音机整机原理图的识读

要求：

- 1) 熟悉电路中各元器件的作用。
- 2) 熟悉各单元电路的作用和工作原理。
- 3) 了解调幅超外差式半导体收音机的工作过程。
- 4) 了解调幅超外差式半导体收音机的特点。

任务2：调幅超外差式半导体收音机的整机装配实训

要求：

- 1) 熟悉收音机中电子元器件实物。
- 2) 掌握一般电子设备安装中工具的使用方法及各电子元器件在印制电路板上的装配要求，掌握焊接技术。
- 3) 学会阅读电子整机装配图，提高整机装配工艺水平。



4) 读通电子整机原理图, 加深对各单元电路的理解, 掌握各部分电路的调试方法, 进一步对电子产品有初步的整体认识。

5) 熟练使用万用表检测元器件参数及电路参数(如线路阻值、电流和电压)。

6) 答辩与撰写实训报告。

1.2 调幅超外差式半导体收音机工作原理

模块1 无线电广播

要求:

1) 了解无线电波波长、频率与波段的划分。

2) 熟悉无线电波的发射原理。

一、无线电波波长、频率与波段划分

(1) 无线电波的波长 无线电波的波长从不到一毫米到几十千米(频率范围由几十千赫到几十万兆赫)不等, 通常根据波长(频率)把无线电波划分成几个波段, 见表 1-1。

表 1-1 无线电波的波段划分

波段名称	频段名称	频率范围	波长范围	用途
超长波	甚低频 VLF	10 ~ 30kHz	$3 \times 10^4 \sim 10^4 \text{ m}$	海上远距离通信
长波	低频 LF	30 ~ 300kHz	$10^4 \sim 10^3 \text{ m}$	超远程无线电通信和导航
中波	中频 MF	300 ~ 3000kHz	$10^3 \sim 10^2 \text{ m}$	无线电广播
短波	高频 HF	3 ~ 30MHz	100 ~ 10m	无线电广播、电报通信
米波	甚高频 VHF	30 ~ 300MHz	10 ~ 1m	无线电、电视广播、导航
分米波	特高频 UHF	300 ~ 3000MHz	$1 \sim 10^{-1} \text{ m}$	电视、雷达、无线电导航
厘米波	超高频 SHF	$3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4 \text{ MHz}$	$10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ m}$	雷达、卫星通信、短距离通信
亚毫米波	超极高频 EHF	$3 \times 10^5 \text{ MHz}$ 以上	10^{-3} m 以下	短距离通信、波导通信

(2) 无线电波的传播 无线电波是横波, 即电场和磁场的方向都跟波的传播方向垂直, 在无线电波中, 各处的电场强度和磁感应强度的方向也总是互相垂直的。根据波长的不同, 无线电波分别按地波、天波和空间波的方式传播, 如图 1-1 所示。地波沿地球表面传播, 具有衍射性; 天波利用大气层的反射传播, 具有不稳定性; 空间波是直线传播的, 具有反射性和相对的短距离性。中波调幅收音机可接收地波, 短波收音机可接收天波, 电视机可接收空间波。

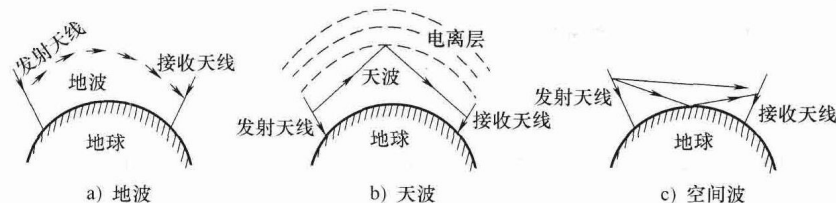


图 1-1 无线电波的传播方式



二、无线电波的发射

1. 载波的调制与解调

(1) 载波 无线电通信是借助空中传播的电磁波来传递语言和音乐的, 语言和音乐信号属于低频信号。由于低频电磁波的发射需要足够长的天线, 而且能量损失大, 所以低频信号不能直接由天线发射, 只有波长足够短, 即频率足够高的电磁波, 才能有足够的能量由天线发射出去, 因此, 无线电广播要用高频电磁波载上低频信号传播到空间中去。在无线电传播中, 通过高频振荡电路产生的高频等幅电磁波, 叫载波。载波可比喻成运输工具, 起运载低频信号的作用。

(2) 调制 用低频信号控制高频载波的过程叫调制, 低频信号叫调制信号(或调制波)。如果载波的幅度被低频调制信号所控制, 这种调制叫调幅, 如图 1-2 所示; 如果载波的频率被低频调制信号所控制, 这种调制叫调频; 如果载波的初相位被低频调制信号所控制, 这种调制叫调相, 如图 1-3 所示。经过调制后的电磁波叫已调波, 它可以通过天线向空间辐射出去。不同的广播电台采用不同频率的载波, 彼此互不干扰。

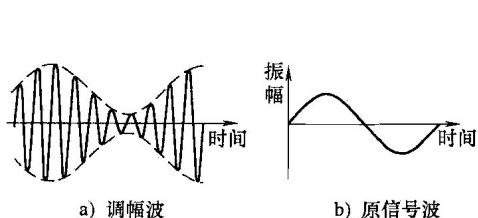


图 1-2 正弦调幅波

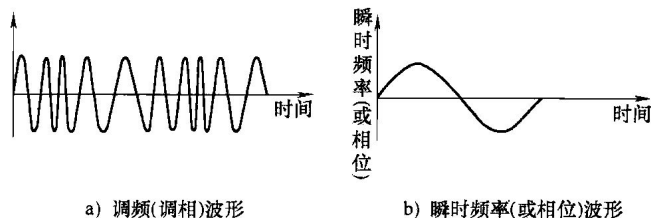


图 1-3 正弦调频(调相)波

(3) 解调 从已调波中, 将低频调制信号还原出来的过程叫解调。解调又有检波和鉴频之分, 分别用于调幅接收机和调频接收机中。

2. 无线电广播的基本原理

无线电广播主要由送话器、高频振荡器、调制器、放大器和发射天线等组成。语言或音乐的声波使送话器内的弹簧片产生机械振动, 通过电磁感应的作用将机械振动转换为相应的音频电流或电压, 经音频放大器放大以后, 去调制由高频振荡器产生的高频载波, 再经功率放大后, 由天线发射出去。电台发射的信息, 由天线接收设备——收音机接收下来, 并进行放大、解调等处理, 再还原成声音信号, 完成了从发射到接收的全过程, 达到远距离无线通信的目的。

无线电通信从诞生至今已经有 120 多年了, 无线电广播技术走过了从矿石机、单管机、多管直放式来复式, 到超外差式收音机漫长的路程。而今晶体管超外差式收音机已广泛为集成电路所取代, 其单片式收音机也已发展到相当成熟的地步。读者可以从分立式晶体管七管超外差式收音机来充分了解单片式收音机的工作原理, 进而了解电子系统的装配调试过程。

3. 超外差式收音机

超外差式收音机最突出的特点是: 它把接收到的电台信号与本机振荡信号同时送入混频管进行混频, 并始终保持本机振荡频率比外来信号频率高 465kHz, 通过选频电路取两个信号的“差额”进行中频放大, 这种电路叫超外差式电路, 采用超外差式电路的收音机叫超外差式收音机。



(1) 超外差式收音机的基本组成 超外差式收音机由输入回路、变频级、中频放大级、检波级、AGC 电路、低频放大级、功率放大级和扬声器组成。其框图和各部分波形图如图 1-4 所示。

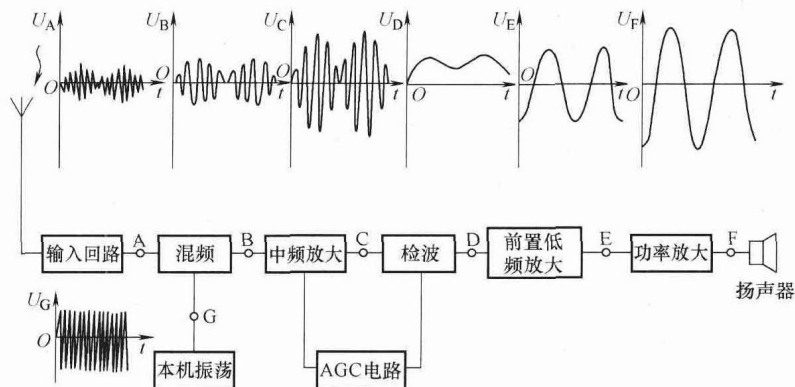


图 1-4 超外差式收音机的框图和各部分波形图

(2) 超外差式收音机的工作过程 输入回路从天线接收到的许多广播电台发射出的高频调幅波信号，选择出所需要接收的电台信号，将它送到混频管。收音机本机振荡电路产生的高频等幅振荡信号(其频率始终保持比外来信号高 465kHz)也被送到混频管。利用晶体管的非线性作用，混频后会产生这两种信号的“基频”、“和频”、“差频”等，其中差频为 465kHz，由选频回路选出这个 465kHz 的中频信号，将其送到中频放大器放大，经放大后的中频信号送到检波器检波，还原成音频信号，音频信号再经前置低频放大和功率放大送到扬声器，由扬声器还原成声音。

(3) 超外差式收音机的特点

1) 在接收波段范围内，信号放大量均匀一致。由于变频级将外来的高频已调波信号变为 465kHz 的固定中频，然后对固定中频信号进行放大，因此，在整个接收波段范围内，放大量均匀一致。

2) 灵敏度高。输入回路选择出的高频已调波信号，经变频级变频后，信号频率变为固定中频，能够使晶体管工作在放大量较大的最佳工作状态，因此收音机的灵敏度可以做得很高。

3) 选择性好。由于“差频”的作用，只有当外来信号与本机振荡信号的频率相差 465kHz 时，才能进入中频放大电路，又由于中频放大器的负载为谐振回路，因此选频特性好。这样，就大大提高了整机的选择性。

超外差式收音机存在着电路比较复杂，组装和调试比较困难的问题。另外，由于超外差式收音机灵敏度较高，各种杂波的干扰也随之增大；超外差式收音机还存在着特有的“镜频干扰”问题。尽管如此，超外差式电路仍然是性能良好的电路，目前被单片式调幅收音机、调频收音机广泛采用。

模块 2 调幅超外差式半导体收音机输入和变频单元电路的识读

要求：

1) 熟悉调幅超外差式半导体收音机的输入回路和变频电路中各元器件的作用。



- 2) 熟悉调幅超外差式半导体收音机的输入回路和变频电路的作用。
- 3) 熟悉调幅超外差式半导体收音机的输入回路和变频电路的工作原理。

一、输入回路

1. 输入回路的作用和要求

(1) 输入回路的作用 收音机的天线会接收到多个广播电台发射出的高频信号波，输入回路就从这些信号波中选择出所要收听的电台的高频信号，并将它输送到收音机的第一级，把那些不需要收听的信号有效地加以抑制。

(2) 对输入回路的要求

1) 良好的选择性：从天线接收到的各种信号中选择有用信号的能力要强，同时还能有效地抑制无用信号的干扰，因此通常采用串联谐振的方法来选择电台。

2) 电压传输系数要大：对所接收的高频信号的衰减要小，在整个波段范围内，各个电台的电压传输系数不仅要大，而且要均匀一致。

3) 频率覆盖要正确：要求输入回路能够选择出指定频率范围内的所有电台。

4) 工作稳定性好：抗外界各种干扰的能力要强，例如人手触机壳时或收音机位置发生变化时，对收音机的收听效果产生的影响要尽可能小。

2. 输入回路的工作原理

超外差式收音机的输入回路是利用串联谐振特性来选择所需要的信号的，它是由一次调谐线圈 L_1 和可调电容 C 串联构成的，如图 1-5a 所示。调谐线圈 L_1 一般绕在铁氧体磁棒上（即磁性天线）。

当空间各个不同频率的无线电波通过调谐线圈时，都会在线圈中产生感应电动势，并产生一定的电流。调节可调电容 C 使电路与某一频率为 f_1 的信号 e_1 发生谐振。根据串联谐振特性，电路对信号 e_1 所呈现的阻抗最小，则回路电流也就最大，因而能在调谐线圈两端得到一个频率为 f_1 的较高的信号电压。此电压通过绕在同一磁棒上的二次线圈 L_2 耦合，传送到下一级输入端。而对于其他频率信号，因未发生谐振，电路对它们呈现的阻抗就大，相应的电路电流也小。故只有频率为 f_1 的信号被选出来，其他频率的信号都被有效地抑制，如图 1-5b 所示。调节 $L_1 C$ 组成的输入回路，使它对欲接收的信号发生谐振的过程叫调谐，即选台。这种输入回路一般称为调谐输入回路或调谐回路， L_1 为收音机的天线。

3. 磁性天线

常用的磁性天线输入回路如图 1-6 所示。磁性天线由一根长圆或扁长形磁棒和线圈 L_1 、 L_2 组成。中波磁棒用锰锌铁氧体材料制成，长度应大于 50mm。一般来说，磁棒越长，接收的灵敏度也就越高。

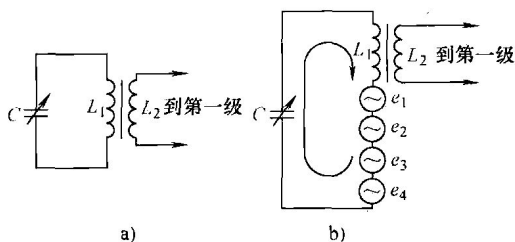


图 1-5 输入回路

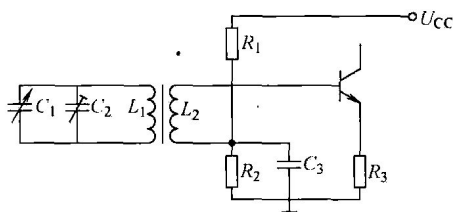


图 1-6 磁性天线输入回路

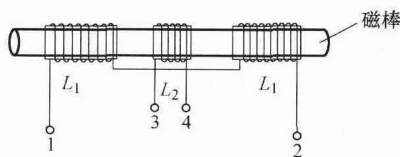


线圈用多股纱包线绕制而成,一般多把线圈放在磁棒的两端,这样可以提高输入调谐回路的 Q 值。

空间各种频率的电磁波穿过磁棒时,使谐振线圈 L_1 上感应出强弱和频率各不相同的信号电动势。然后利用串联谐振回路的选频作用,把选出来的信号电压,通过 L_2 的耦合作用传送到收音机变频级的基级。

为了把调谐回路所选出的信号电压尽量无损耗地传送到变频级的基级,输入回路是通过耦合线圈 L_2 来完成的。 L_1 、 L_2 构成高频变压器,高频变压器除了能将信号电压耦合到基级外,还有阻抗变换的作用,调谐回路的阻抗约 $100\text{k}\Omega$,变频级的输入阻抗为 $1\sim 3\text{k}\Omega$ 。如果两者直接耦合,损耗必然很大,甚至使变频级无法工作。利用变压器变换阻抗原理,可达到一、二次阻抗匹配的要求,设一次线圈 L_1 的阻抗为 Z_1 ,匝数为 N_1 ,二次线圈 L_2 的负载阻抗为 Z_2 ,匝数为 N_2 ,则 $Z_1:Z_2=N_1^2:N_2^2$ 。在超外差式收音机中,一、二次线圈匝数比一般取 $10:1$ 左右。磁性天线的磁导率很高,当广播电台发射的高频已调波通过磁棒时,就有非常密集的磁力线穿过磁棒,使磁棒上的线圈感应出足够的电动势并送入回路。

线圈的 Q 值与它在磁棒上的位置有关,一般放在 $l/4$ 左右的地方, l 为磁棒的长度。当线圈在磁棒中心时,电感量最大,但磁棒上引起的损耗也相应增大,使 Q 值降低。当线圈远离磁棒中心靠近两端时,电感量虽然减小,但损耗却减小得更多, Q 值相应增大。若线圈继续外移到端点以外,则 Q 值便显著下降。为了尽量使线圈中心移向磁棒边缘,以提高线圈的 Q 值,常把调谐线圈分成两段,分别放在磁棒两端,如图1-7所示。

图 1-7 高 Q 值磁性天线

磁性天线线圈的接法,在超外差式收音机中多采用图1-8b所示的接线法。 L_1 和 L_2 是同向绕制的, L_1 和 L_2 相邻的2端和3端交流接地,有隔离作用,1端和4端之间的分布电容较小。这种接法与图1-8c所示电路相比,整个波段灵敏度的均匀性较好,且工作稳定, Q 值也高,尤其对抑制相频干扰和防止中频放大自激有好处。

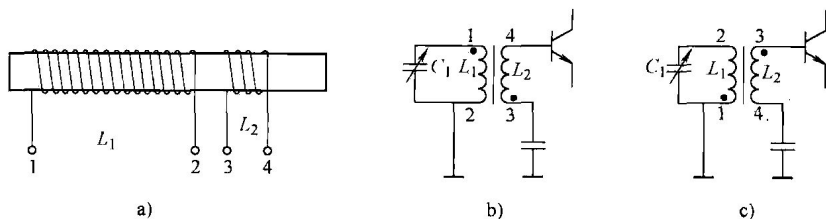


图 1-8 磁性天线调谐线圈接法

二、变频电路

1. 变频电路的作用和要求

(1) 变频电路的作用 变频电路是调幅超外差式半导体收音机的关键部分,变频电路的质量对收音机的灵敏度和信噪比都有很大的影响,它把输入回路送来的广播电台的高频载波信号变成 465kHz 的中频载波信号。并且,集电极负载是中频变压器(调谐回路),由它选出中频信号再送到中频放大级去。

(2) 对变频电路的基本要求



1) 在变频过程中,原有的低频信号成分(信号的包络)不能有任何畸变,并且要有一定的变频增益。

2) 噪声系数要非常小。否则由于变频电路处在整机的最前级,微弱的噪声经逐级放大后,会变得很大。还要求电路之间的相互干扰和影响要小。

3) 工作要稳定,不能产生啸叫、停振、频率偏移等不稳定现象。

4) 本机振荡频率要始终保持比输入回路选择出的广播电台的高频信号频率高 465kHz (一个中频)。

2. 变频电路的基本组成及变频原理

(1) 变频电路的基本组成 变频电路由本机振荡电路、混频器和选频回路(中频变压器)三部分组成,其框图与各部分波形图如图 1-9 所示。用一只晶体管完成本机振荡和混频的电路叫变频器。变频器也可以用两只晶体管分别完成本机振荡和混频,两者的工作原理是相同的。

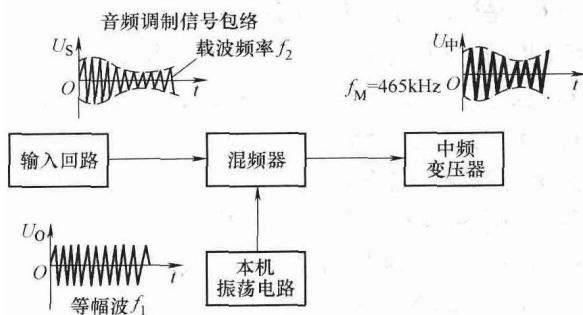


图 1-9 变频电路框图及工作波形图

(2) 变频原理 本机振荡器产生的高频等幅振荡信号(信号频率为 f_1)与输入回路选择出来的广播电台的高频已调波信号(信号频率为 f_2)同时加到非线性器件的输入端。由于器件的非线性作用(晶体管的非线性作用),在输出端除了输出原来输入的频率为 f_1 、 f_2 的信号外,还将按照一定的规律,输出频率为 $f_1 + f_2$ 、 $f_1 - f_2$ 等的多种信号。在设计电路时,应使本机振荡的频率比外来高频信号频率始终高出 465kHz。

在输出端(集电极所接负载)采用调谐回路,并使回路的谐振频率为 465kHz,就可选出频率为 $f_M = 465\text{kHz}$ 的信号送到下一级。

3. 本机振荡电路

本机振荡电路一般可分为共基调射式振荡电路、共射调集式振荡电路和共射调基式振荡电路。共基调射式振荡电路如图 1-10 所示,它属于变压器耦合式振荡器, R_1 、 R_2 组成分压式电流负反馈偏置电路。 C_1 和 C_2 提供高频通路,并起隔直作用。 R_3 为发射极电阻。 L 、 C_3 和 C 组成谐振回路, L_1 是晶体管集电极交流负载,它从线圈 L 上取得反馈电压,并满足振荡条件。

4. 混频

根据本机振荡注入的方式不同,将混频器分为发射极注入式、基极注入式和集电极注入式。图 1-11 所示为发射极注入式混频电路。利用晶体管的非线性,可以达到混频的目的。若本机振荡信号由发射极注入,则振荡电路与所要接收信号电路牵连少,互不干扰,工作稳定,因此调幅超外差式半导体收音机广泛采用发射极注入式混频电路。

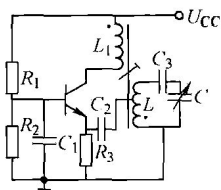


图 1-10 共基调射式振荡电路

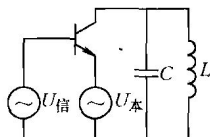


图 1-11 发射极注入式混频电路



由于非线性器件能产生新的频率,所以依靠非线性器件可实现频率变换。在收音机变频电路中常采用晶体管作为非线性器件,完成频率变换。

5. 收音机输入和变频电路实例

如图 1-12 所示, L_1 和 L_2 及磁棒组成磁性天线,它与 C_{1A} 、 C_{1a} 构成输入电路。 L_1 、 C_{1A} 和 C_{1a} 是输入谐振电路。用 C_{1A} 来调节谐振频率,使它对准要收的电台信号频率。 C_{1A} 是双联可调电容,与本机振荡电路中的 C_{1B} 是同轴的,便于高频同步。 C_{1a} 是预调电容,供统调时调整补偿用。 L_2 是耦合线圈,将磁性天线中 L_1 感应的信号电压送到变频级的基极回路。以晶体管 VT_1 为中心所组成的变频电路,可同时完成本机振荡与混频。若假设信号电源电压(U_s)为零(设 L_2 短路),则该变频电路是一个典型的共基调射式正弦波振荡器。 R_1 是基极直流偏置电阻, C_2 为基极旁路电容。 C_3 为耦合电容,使本机振荡信号由 L_4 中间抽头经 C_3 耦合到 VT_1 的发射极,形成正反馈,再经 VT_1 放大后从集电极输出到振荡谐振回路,从而产生本机振荡信号。 R_2 为发射极电阻, L_3 是集电极交流负载, L_4 、 C_{1B} 和 C_{1b} 组成谐振回路。 T_2 是振荡线圈,电源经 R_{13} 向 T_2 供电, R_3 为信号提供通路。电台信号和本机振荡信号在 VT_1 中混合,由于晶体管 VT_1 的非线性作用,将产生多种频率的信号,其中有一种是本机振荡频率和电台频率相差 465kHz 的中频信号,因中频变压器 T_3 的谐振频率为 465kHz,所以只有 465kHz 的中频信号才能在这个并联谐振回路中产生较大的电压降,而其他频率信号几乎被短路。 C_{1b} 为预调电容,供调整高端频率刻度时调整补偿用。

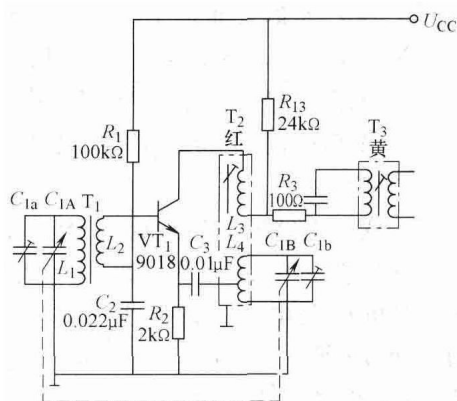


图 1-12 收音机输入和变频电路图

在调谐(调台)时, C_{1A} 和 C_{1B} 采用同轴的双联可调电容,以便本机振荡频率和输入回路的谐振频率同时改变,并始终比输入回路谐振频率高 465kHz,这需要仔细地进行统调(或称跟踪)。

模块 3 调幅超外差式半导体收音机中频放大、检波和自动增益控制及低频放大电路的识读

要求:

- 1) 熟悉调幅超外差式半导体收音机中频放大、检波和自动增益控制及低频放大各单元电路中各元器件的作用。
- 2) 熟悉调幅超外差式半导体收音机中频放大、检波和自动增益控制及低频放大各单元电路的作用。
- 3) 熟悉调幅超外差式半导体收音机中频放大、检波和自动增益控制及低频放大各单元电路的工作原理。

一、中频放大电路

载波经过变频以后,由原来的频率变换成一个较低的频率,称为中频,这个中频电压是比较弱的,所以必须先进行放大,然后再进行解调(检波)。中频放大级就是起放大中频电压的作用。



目前我国使用的中频为 465kHz，中频放大电路的耦合一般用中频变压器，也有的使用陶瓷滤波器和阻容耦合。

1. 单调谐中频放大电路

典型的中频放大电路中采用一个调谐回路的中频变压器，称单调谐中频放大电路。单调谐中频放大电路的特点是电路简单，调整方便，因此广泛应用于普及型收音机中。

(1) 工作过程与原理 图 1-13 所示是调幅超外差式半导体收音机第二级中频放大电路， T_1 、 T_2 为中频变压器，采用了单调谐回路，该电路是一般收音机的常用电路。图中， R_1 、 R_2 和 R_3 组成直流偏置电路； C_2 、 C_3 为旁路电容； C_5 的作用是旁路交流，并与 R_4 组成电源去耦电路； C_1 、 C_4 为 T_1 、 T_2 的谐振电容，两个并联谐振回路都调谐在中频 465kHz 上，两个谐振回路构成前级与本级晶体管集电极负载； C_6 为中和电容，它的作用主要是防止中频自激。

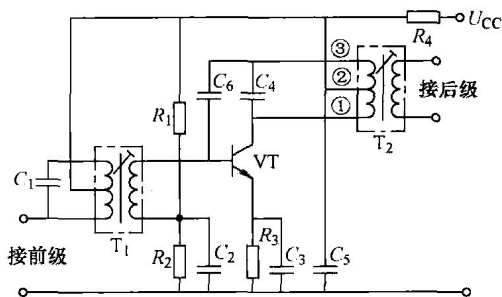


图 1-13 中频放大电路

前级输出的中频信号经过 T_1 调谐回路的选择，将中频信号通过中频变压器耦合到中频放大晶体管 VT 的 b、e 极之间。由于 C_5 的旁路作用，使 T_2 的②端为交流接地端。经中频放大晶体管 VT 放大的中频信号电压在 c、e 极间输出，所以输出信号加到 T_2 的一次电路①、②两端。于是，在 T_1 回路选择中频信号电压的基础上，进一步选择出 465kHz 的信号。然后中频信号被耦合到检波电路，从而完成中频放大和选频。

(2) 增益 中频放大电路的增益在很大程度上决定整机灵敏度。一般情况下，应考虑 T_2 变压器的损耗，从基极到 T_2 二次侧，总的电压放大倍数约为 40dB。

2. 多级中频放大电路

通常调幅超外差式半导体收音机的一级中频放大电路能得到 30 ~ 40dB 的增益，而普及型收音机要求中频放大电路至少要有 60dB 的稳定增益，这样才能满足整机灵敏度的要求，故收音机常常采用多级中频放大电路。一般收音机第一级中频放大电路常常是自动增益控制的受控级，同时为防止第二级中频放大电路输入信号过强而引起失真，所以第一级中频放大电路增益取得小一些，为 25dB 左右。第二级中频放大电路一般不加自动增益控制，为了满足检波电路对输入信号电平的要求，第二级中频放大电路的增益尽可能大些，为 35dB 左右。

3. 中频变压器

中频变压器通常称为中周，它是调幅超外差式半导体收音机的重要元件，在电路中起选频和阻抗变换作用。

(1) 中频变压器选频作用原理 图 1-14 所示为中频变压器电路图，中频变压器的一次侧与电容组成 LC 并联谐振回路，利用并联谐振的特点完成选频。谐振回路对谐振频率信号，即中频呈现为阻抗很大，对非谐振频率的信号呈现为阻抗较小，所以中频信号通过变压器时，产生很大的中频电压降，并由中频变压器耦合到下一级，而其他非谐振频率信号则被短路入地，无法耦合到下一级去，这样就完成了选频。变频电路中的集电极负载就是中频

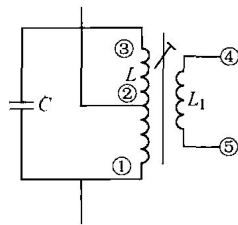


图 1-14 中频变压器电路



变压器，用它可选出有用的频率为 465kHz 的中频信号。

(2) 中频变压器的阻抗变换 变频电路与第一级中频放大电路之间、第一级中频放大电路与第二级中频放大电路之间是靠中频变压器来耦合的，它利用变压器阻抗变换的原理，实现前、后级之间的阻抗匹配，从而使中频放大电路获得较大的功率增益。由于下一级晶体管的输入阻抗比前级的输出阻抗低很多，所以变压器二次线圈圈数比一次线圈少得多，以实现级间的阻抗变换，得到最大的输出功率。同时，中频变压器的谐振阻抗较高，而晶体管输出阻抗较低，若将中频变压器谐振回路①、③两端接入电路，将会过多地降低谐振回路的 Q 值，使选择性变差。因此一般都采用部分接入法，即将谐振回路①、②两端接入电路，以使晶体管输出阻抗与回路阻抗相匹配。

二、检波与自动增益控制电路

1. 检波器及其工作原理

(1) 检波器 在调幅广播中，幅度调制是使载波信号电压的振幅随音频调制信号变化而变化。从振幅受到调制的载波信号中取出原来的音频调制信号的过程，叫检波，也叫解调。完成检波作用的电路叫检波电路，通常称为检波器，是收音机不可缺少的一部分。

二极管具有单向导电性，是一种典型的非线性器件，二极管检波器具有检波失真小，便于加入自动增益控制电路等优点。其缺点是效率低，一般要衰减 15 ~ 25dB。超外差式收音机因整机增益很高，为了降低检波失真，改善音质，通常都采用串联式二极管大信号检波器，实际电路中常将晶体管接成二极管的形式，即当作二极管使用。

(2) 检波器的工作原理 当输入检波器的中频调幅信号电压大于 0.3V 时，称为大信号检波。二极管大信号检波器的工作原理：二极管大信号检波，又叫直线性检波，它是利用二极管的单向导电特性及二极管负载 R 、 C_{L} 的充放电进行检波，其工作过程和整流相似，区别在于整流是把交流电压变为直流电压，而检波则是从中频调幅信号中取出音频信号。二极管大信号检波的特点是检波器输入信号的幅度较大，其输入信号的峰值工作在二极管正伏安特性曲线的直线部分，使输出电流音频成分的幅度变化与输入电压的幅度变化保持线性关系。

图 1-15a 所示是二极管大信号检波电路，中频调幅信号经中频变压器 T 耦合至检波的输入端。当输入电压 u_{sr} 为正半周且其幅度大于电容 C_{L} 两端电压时，二极管 VD 处于正向偏置而导通。这时流过二极管 VD 的电流 i_{d} 主要取决于二极管的正向电阻 R_{d} ， i_{d} 分为两路，一路 i_{r} 流向电阻 R_{L} ，另一路 i_{c} 对电容 C_{L} 充电，由于二极管 VD 处于正向偏置，内阻 $R_{\text{d}} \ll R_{\text{L}}$ ，时间常数 $R_{\text{d}}C$ 很小，则电容 C_{L} 上的电压很快上升，接近输入电压 u_{sr} 的峰值。从图中可见，

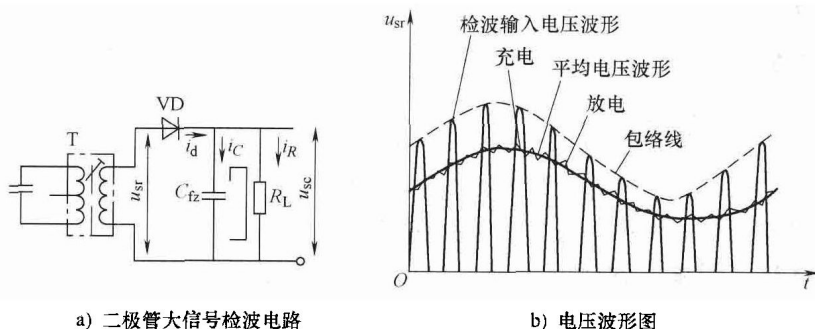


图 1-15 二极管大信号检波电路和电压波形图



C_{fz} 上的电压也就是检波器的输出电压 u_{sc} 。当输入电压 u_{sr} 下降时, 只要它小于输出电压 u_{sc} , 二极管 VD 就处于反向偏置而截止。于是电容 C_{fz} 向 R_L 放电, 放电电流为 i_R , 放电的速度由时间常数 $R_L C_{fz}$ 决定。如 $R_L C_{fz}$ 足够大, 则在二极管截止期间, 电容 C_{fz} 上的电压下降很少, 输入信号的第二个周期正半周来到时, 当 u_{sr} 超过 C_{fz} 上的电压 u_{sc} 时, 二极管又导通, 对 C_{fz} 再次充电, u_{sc} 上升, 如此周而复始, 形成锯齿波输出电压, 滤掉其中的中频及高次谐波成分, 就可得到检波输出电压, 如图 1-15b 所示。只要适当地选择检波器时间常数 $R_L C_{fz}$, 使负载两端电压随着 u_{sr} 的幅度变化而变化, 即 u_{sr} 增大, u_{sc} 也增大, u_{sr} 减小, u_{sc} 也相应减小。这样检波器的输出电压波形就和调幅波的包络线相似, 从而达到检波的目的。

在图 1-15b 中, R_d 越小, 充电时间越短; R_L 越大, 放电时间越长。这将使二极管的导通时间缩短, 平均电压波形更接近于检波输入电压包络线。在大信号检波时, 二极管不是工作在零偏压状态。由于检波输出电流在负载电阻 R_L 上产生电压降, 使二极管处于反向偏压。检波器自给反向偏压的大小与输入信号的强弱及负载电阻 R_L 的大小有关, 利用这个电压来实现电路的自动增益控制作用, 其检波器的检波效率较高。

图 1-16 所示为一般调幅超外差式半导体收音机的实际检波电路。收音机变频电路产生的中频调幅信号, 经过中频放大后, 耦合至检波器的输入信号可达 0.5V 左右, 所以这是二极管大信号检波器。中频调幅信号通过中频变压器 T 耦合至检波器的输入端。VD 是检波二极管, C_1 、 R_1 、 C_2 、RP 和低放输入电阻 R_L 组成检波负载。这里, RP 是音量控制电

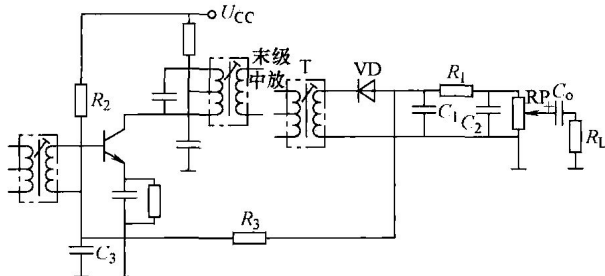


图 1-16 实际检波电路

位器, 它与 R_L 串联作为检波器的负载电阻, C_1 和 C_2 相当于负载电容, 其作用是滤去中频分量, 取出音频信号, 并通过音量控制电位器 RP 传送给低频放大电路。 C_1 、 R_1 和 C_2 构成 π 形低通滤波网络, 这种网络不仅可以有效地滤掉中频分量, 而且可以提高检波器的交流负载阻抗, 因而该网络在收音机检波电路中被普遍采用。 C_3 和 R_3 组成自动增益控制滤波电路, R_3 和 R_2 除用来确定受控电路的直流工作点外, 也是供给二极管固定偏压的分压电阻, 给二极管一个起始电压, 可避免检波器因工作在二极管死区而引起波形失真。

2. 自动增益控制电路

自动增益控制电路简称 AGC 电路。它的作用是: 当输入信号电压变化很大时, 保持收音机输出功率几乎不变。收音机的各级增益都是为接收一定的微弱信号而设计的。但实际接收的各种信号电压差异很大, 范围在几微伏至数百毫伏之间。在接收弱信号时, 希望收音机有较大的增益; 而接收强信号时, 希望收音机增益小一些。为了使两种情况下收音机输出功率变化范围尽量小一些, 为此在电路中设计了自动增益控制电路。

对自动增益控制的要求是: 在输入信号很弱时, 自动增益控制不起作用, 收音机的增益最大; 而当输入信号很强时, 自动增益进行控制, 使收音机的增益减小。这样, 当信号场强变化, 而引起输入信号强弱变化时, 收音机的输出功率基本不变。为了实现自动增益控制, 必须有一个随输入信号强弱而变化的电压(或电流), 利用这个电压(或电流)去控制收音机的增益, 通常是从检波器得到这个控制电压。检波器的输出电压除含有音频信号外, 还含有



直流分量。其直流分量的幅值与检波器的输入信号载波振幅成正比，也就是与所接收的外来信号场强成正比。在检波器的输出端接 RC 低通滤波器，就可获得其直流分量，即所需的 AGC 控制电压。

3. 收音机中频放大、检波及自动增益控制电路实例

图 1-17 为收音机中频放大级、检波级和自动增益控制级电路图。VT₂ 和 VT₃ 组成两级中频放大电路。中频变压器 T₃、T₄ 和 T₅ 谐振在 465kHz。由于有两级中频放大，所以有较好的灵敏度与选择性。R₄ 和 R₆ 为基极偏置电阻，C₆ 为基极旁路电容，R₅ 和 R₇ 为发射极电阻，C₅ 为发射极旁路电容。检波器由 VT₄、C₈、C₉ 和 R₉ 及电位器 RP 组成，其作用是从调幅波中检出音频信号，晶体管 VT₄ 作二极管用。R₈ 和 C₄ 为 AGC 电路的低通滤波器，从检波器输出的音频电压中取出 AGC 电压送到第一级中频放大级的输入端，以控制中频放大电路的增益。R₄ 和 R₈ 除用来确定受控电路 VT₁ 的直流工作点外，也是供给 VT₄ 固定偏压的分压电阻，给 VT₄ 一个起始电压，避免检波器因工作在死区而引起波形失真。C₁₃ 和 C₁₄ 为去耦电容。

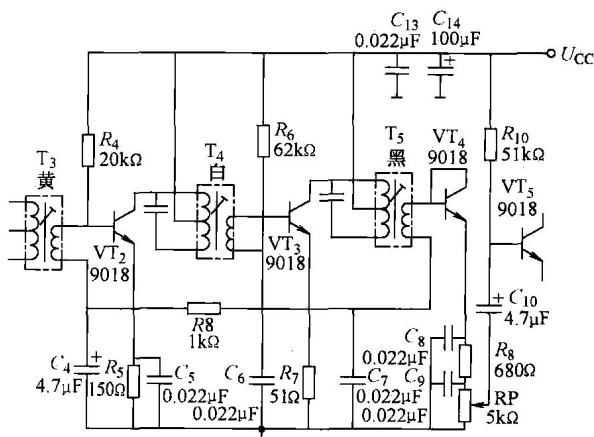


图 1-17 收音机中频放大级、检波级和自动增益控制级电路

路 VT₁ 的直流工作点外，也是供给 VT₄ 固定偏压的分压电阻，给 VT₄ 一个起始电压，避免检波器因工作在死区而引起波形失真。C₁₃ 和 C₁₄ 为去耦电容。

三、低频放大电路

调幅超外差式半导体收音机低频放大电路是指从检波以后到扬声器输出这一部分电路，它通常包括低频小信号放大电路和低频功率放大电路两部分。低频放大电路的作用是把检波器输出的音频信号放大，并输出足够的音频功率去推动扬声器。故低频在这里专指音频之意。收音机中，低频放大电路的质量直接关系到放声的音质，因此要求低频放大电路失真小，尽量达到高保真；要有足够的输出功率，以推动扬声器放声。

1. 低频小信号放大电路

低频小信号放大电路将检波器输出的微弱信号进行放大，用来推动低频功率放大电路工作。其输入信号和输出信号的幅度较小，属于小信号放大，所以常称为前置放大器或电压放大电路。小信号放大电路的工作点可选择在特性曲线的线性部分，因此它的非线性失真小。为了获得较高的放大倍数和稳定的工作点，低频电压放大电路常采用多级放大电路，各级间的耦合有多种形式，如阻容耦合、直接耦合等。

2. 音频功率放大器

调幅超外差式半导体收音机中的功率放大器，是用来推动扬声器放声的，是一种大信号放大电路，与低频电压放大电路相比较，在功率输出、失真和耗电等方面都具有自己的特点。功率放大电路按电路结构形式不同，可分为单管功率放大电路和推挽功率放大电路；按功放管的工作状态不同，可分为甲类功率放大电路和甲乙类功率放大电路。收音机对功率放大器的具体要求如下：

1) 输出功率尽可能大。为了获得大的功率输出，就要求功放管的电压和电流都有足够