

超外差接收机中频放大器电路设计

摘 要

本课题研究超外差接收机中频放大器电路。超外差接收机是使用本地产生一个振荡波与输入的频率信号进行混频,再将这个输入信号的频率转换成某一个确定的频率的方式。这样的方式可以很大程度上提高远程通信接收高频频率信号和弱小信号的能力。在 1919 年,科学家们利用超外差原理制作出了超外差接收机。本文就对接收机的结构以及超外差接收机中频放大器电路做了详细的讨论,对其中一些主要模块的原理、性能参数以及设计仿真等操作都做了相关的解释。本文共分为五章:

第一章为绪论,着重介绍的是课题的背景意义以及课题目前的研究现状。第二章对现阶段使用较多的几种接收机进行详细的介绍,同时分析了它们的主要结构、工作原理以及对应的优缺点。之后介绍了本课题设计中所运用到的 Multisim 软件。最后综合分析其性能指标并结合本课题的需求,确定使用超外差式接收结构。之后对超外差式接收机的部分模块电路进行设计与仿真。第三章则是混频器的测试和研究。首先对混频器的工作原理和现有的混频器结构都做了详细描述,通过分析,采用平衡混频器(模拟乘法混频器),同时对其中的一些参数进行仿真。第四章为中频放大器电路的设计和仿真。根据课题中要求的参数,设计出符合课题的中频放大器电路。同时使用 Multisim 软件对其进行仿真操作。第五章为本课题的结论。

本文主要通过对中频放大器电路的设计和实现,来确保接收机系统良好的灵敏度、选择性以及频率响应特性。在实际的研究设计过程中,首先必须了解所设计的器件,并掌握其原理、性能指标等,然后才进行电路的设计,最后用 Multisim 软件进行仿真测试。

关键词: 接收机; 超外差接收机; 混频器; 中频放大器

THE SUPERHETERODYNE RECEIVER INTERMEDIATE FREQUENCY AMPLIFIER CIRCUIT DESIGN

Abstract

This topic research the superheterodyne receiver intermediate frequency amplifier circuit. Superheterodyne receiver is the use of local produce shock wave mixing with the input signal, then the frequency of the input signal is converted into a certain frequency method. This method can adapt to the remote communication for the needs of the high frequency signal and weak signal reception. In 1919, scientists using the superheterodyne principle into a superheterodyne receiver. In this paper, the structure of receiver and superheterodyne receiver made a detailed discussion of intermediate frequency amplifier circuit, principle, performance parameters of some of the main modules, and design the simulation operations such as do the relevant explanation. This paper is divided into five chapters:

The first chapter is an introduction part, it mainly introduces is the subject of meaning and the background of the current research status. Chapter ii of the present stage using more kinds of receiver is introduced in detail. Finally comprehensive analysis of the performance index and with the demand of this topic, determine the use of superheterodyne receiver structure. After used in the design of this subject are introduced to the Multisim software. At the same time the superheterodyne receiver part of the circuit design and simulation. The third chapter is the research and test of mixer. First mixer on the working principle of mixer and the existing structure have made detailed description, through the analysis, using balanced mixer (analog multiplication mixer), at the same time, some of these parameters are simulated. The fourth chapter of intermediate frequency amplifier circuit design and simulation. According to the required parameters in subject, intermediate frequency amplifier circuit design conforms to the subject. use Multisim software on its dc, bias circuit and the stability of circuit simulation. The finally chapter is the conclusion of the paper.

This article mainly through to the intermediate frequency amplifier circuit design and implementation, to ensure that the receiver sensitivity, selectivity and good frequency response characteristics. In actual design process, first must understand the design of devices, to understand the principle, performance index, etc., and then to the design of the circuit, then use Multisim software simulation test.

Key words : Receiver ; superheterodyne receiver; frequency mixer; intermediate frequency amplifier

第一章 绪论	1
1.1 课题背景及其意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 本课题的主要内容和结构	3
第 2 章 接收机	4
2.1 接收机结构	4
2.1.1 超外差接收机	7
2.1.2 零中频接收机	7
2.1.3 低中频（近零中频）接收机	8
2.1.4 宽带中频数字接收机	9
2.2 接收机的技术指标	9
2.2.1 增益	9
2.2.2 接收机的选择性和线性度	9
2.2.3 接收机的动态范围	10
2.2.4 接收机的灵敏度和噪声分析	10
2.3 电路仿真软件 Multisim 的应用	11
2.3.1 Multisim 10.0 的主要功能和特点	11
2.3.2 Multisim 10.0 在模拟电子技术中的应用	11
2.4 本课题所用的接收机结构	13
2.4.1 超外差接收机	13
2.4.2 超外差接收机的系统仿真	13
2.5 本章小结	17
第三章 混频器	19
3.1 混频器的构成和基本工作原理	19
3.2 平衡混频器	21
3.2.1 模拟乘法器混频器	21
3.2.2 创建混频器仿真电路	21

3.2.3 低通滤波器	24
3.3 本章小结	26
第四章 中频放大器	27
4.1 中频放大器在无线通信技术中的应用	27
4.2 中频放大器的分类	27
4.2.1 单调谐中频放大器	37
4.2.2 双调谐中频放大器	28
4.2.3 多级中频放大器	29
4.3 中频放大器主要技术要求	29
4.3.1 增益	29
4.3.2 选择性	29
4.3.3 通频带	30
4.3.4 稳定性	30
4.4 中频放大器电路的设计	30
4.4.1 参数要求	30
4.4.2 设计步骤	31
4.4.3 设计	31
4.5 本章小结	37
第五章 总结	38
致谢	39
参考文献	40

第一章 绪论

1.1 课题背景及其意义

超外差接收机是使用本地产生一个振荡波与输入的频率信号进行混频，然后将这个输入信号的频率转换成某一个确定的频率的方式。这样的方式可以很大程度上提高远程通信接收高频频率信号和弱小信号的能力。在 1919 年，科学家们利用这种超外差原理制作出超外差式接收机，超外差接收机的性能比一般放大式的接收机要好的多，所以直到现在仍然广泛应用在远程信号的接收中，并且广泛应用到技术测量、工业控制、仪器仪表、计算机通信等领域，同样也可以应用到复杂环境下要求较高的系统中去。

如今，通信技术正在飞速发展，21 世纪更是电子通信技术的世纪，因此对于通信技术方面的研究也变得更加重要。随着无线电子产品的增多，无线电通信技术的运用也越来越广泛。这就更需要我们对无线电通信技术进行研究，使它们得到更多的运用。在研究接收机过程中，我们对接收机的要求也越来越高，比如接收机的价格，电路集成度以及工作频率等等。现阶段常见接收机类型包括有超外差、低中频(近零中频)、零中频、宽带数字中频接收机等，其中超外差式接收机是使用最广泛的。在超外差式接收机系统结构中，从天线端口接收信号后，通过高频放大器进行放大，同时与本地振荡器发出的信号一块儿在混频器中进行混频，混频后则产生了所需的中频信号，最后通过检波器检波以及低频放大，提取所需要的信号。本课题研究的超外差式接收机可用于较多的无线设备中，比如有蓝牙技术和 GPS 导航技术，所以也就拥有了比较好的发展前景。

在课题设计初期，通过查阅书籍文献，在研究无线通信技术领域中，由于频谱资源有限，各类接收机设备的频谱接收都有其固定的频段。在实际通信技术的应用中，无形中帮助我们更好的研究。

1.2 国内外研究现状

目前，单片射频收发机正在迅速的发展中，为了解决无线通信技术应用的问题提供了比较有效的帮助。接收机的发展应用是为了在各种外界因素的影响下仍然可以调制解调出有用的信号。然而这样也提高了对接收机性能较高的要求，同样也加大了设计难度。在无线通信技术飞速发展的时代，在这一阶段，主要研究低成本、低功耗的接收机。

接收机的设计要求是以最低的成本以及低功率来接收和处理信号，同时确保接收机正常稳定的工作。其中射频接收电路能够很大程度的降低接收机系统的成本和接收机结构的尺寸。近年来，各种不同类型的拓扑结构的射频接收电路相继被研究出来，其中包括超外差式接收机电路拓扑结构、低中频接收机的

电路拓扑结构、数字中频接收机电路拓扑结构等等。这些不同类型的拓扑结构都有着自身的优点和缺点。

如今，超外差接收机原理被运用到很多电子产品中，比如蓝牙技术、GPS 导航技术等，如图 1-1 和图 1-2 就是蓝牙接收机和 GPS 接收机的基本原理框图。

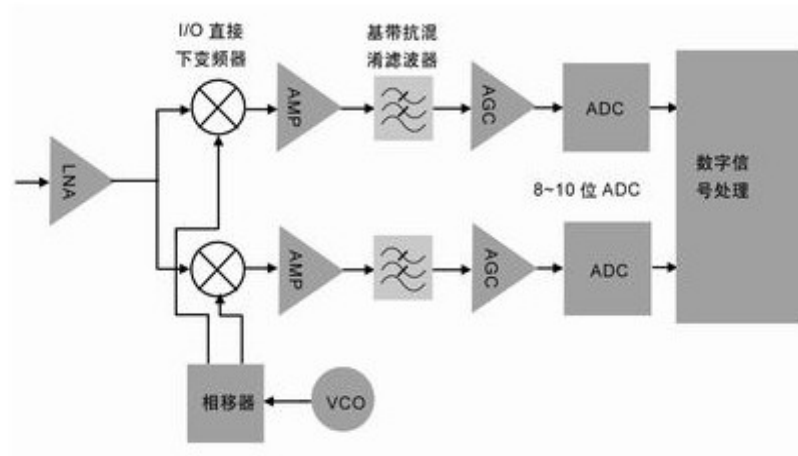


图 1-1 蓝牙接收机直接转换的基本结构图

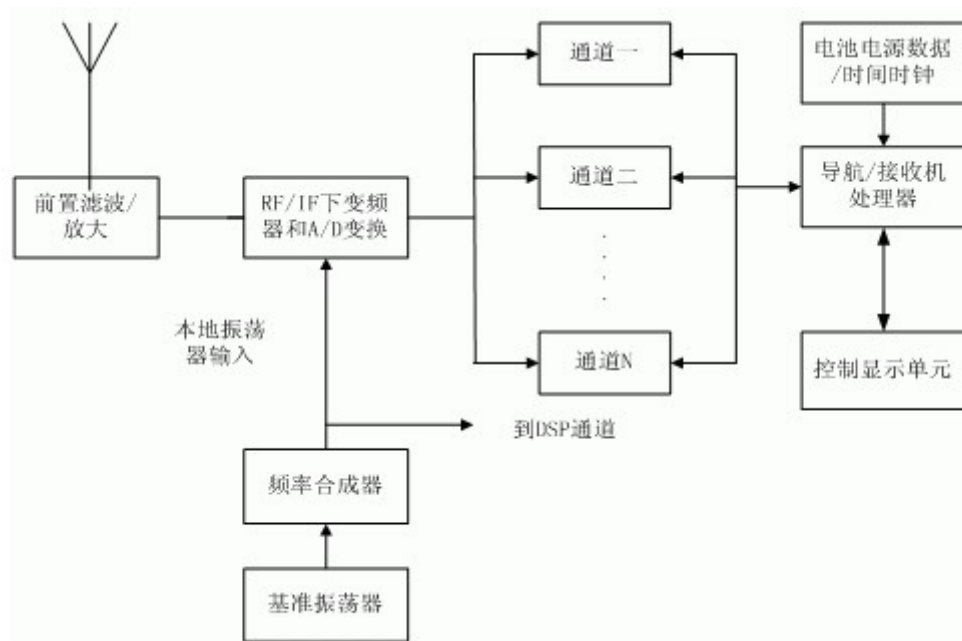


图 1-2 一般的 GPS 接收机结构框图

1.3 本课题的主要内容和结构

本课题比较详细的介绍了现阶段的各类接收机，主要研究超外差接收机中频放大器的电路设计，同时比较全面的介绍了其中的混频器模块，并进行了设计和仿真操作，分析各部分电路功能实现的主要步骤和仿真结果。

论文结构为：

第一章为绪论部分，着重介绍的是课题的背景意义以及课题目前的研究现状。

第二章就现阶段各类具有代表性的接收机都做了比较详细的介绍，并对他们的系统结构、工作原理以及优缺点进行全面分析。同时介绍了本课题设计中所运用到的 Multisim 仿真软件. 综合分析后，确定本课题所采用的超外差式接收机系统，符合课题要求，同时对超外差接收机部分电路进行设计并仿真。

第三章为混频器的研究与测试，对混频器的工作原理和现有的混频器结构都做了详细描述，同时对其中的一些参数进行仿真。

第四章为中频放大电路的仿真设计，根据课题的参数要求，设计出符合课题的中频放大器电路。同时利用 Multisim 软件对其进行仿真操作。

第五章为本课题的结论。

第二章 接收机

2.1 接收机结构

接收机的主要任务就是从已调制 AM 波中解调出之前有用的信号，主要由输入电路、高频电路、混频器电路、中频放大器电路、检波器电路、低频放大器电路、低频功率放大器电路和扬声器或者耳机构成。原理框图如图 2-1 所示。

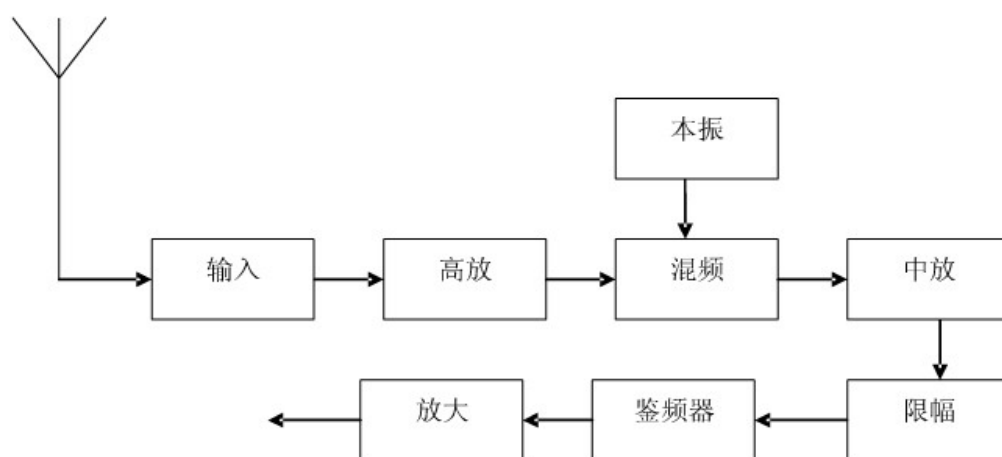


图 2-1 一般接收机系统结构框图

输入电路将很多无线电台发出的信号进行选取，然后送到混频器电路。混频器电路把输入信号的频率转换成中频频率，此时频率幅值的变化是恒定的。高频信号的输入频率，不管它如何变化，只要经过混频之后得到的频率都是固定不变的。中频放大器则放大频率信号的幅度，直到满足检波器中所要求的频率大小为止。接着检波器将中频调幅信号中的音频信号提取出来，再传送到低频放大器里面。低频放大器通过电压放大并检测之前提取出来的音频信号。最后就是由功率放大器把音频信号放大，通过扬声器或者耳机将音频电信号转变为声音的过程。

因为天线接收的高频信号全部都是通过混频电路转变成恒定不变的中频频率，然后再进行放大，所以接收机系统的灵敏度以及选择性都比较好，性能也更加稳定。

2.1.1 超外差接收机

超外差接收机是使用本地产生的振荡波与输入的频率信号进行混频，再将输入信号的频率转换成某一个特定的频率的方式。该方式可以很大程度上提高远程通信的接

收高频信号和弱信号的能力

。1919 年，科学家们利用超外差原理制作成超外差接收机。超外差接收机的性能优于一般放大式的接收机，所以直到现在仍然广泛应用在远程信号的接收中，并且广泛应用到技术测量、工业控制、仪器仪表、计算机通信等领域，同样也可以应用到复杂环境下要求较高的系统中去。

图 2-2 为超外差原理图，

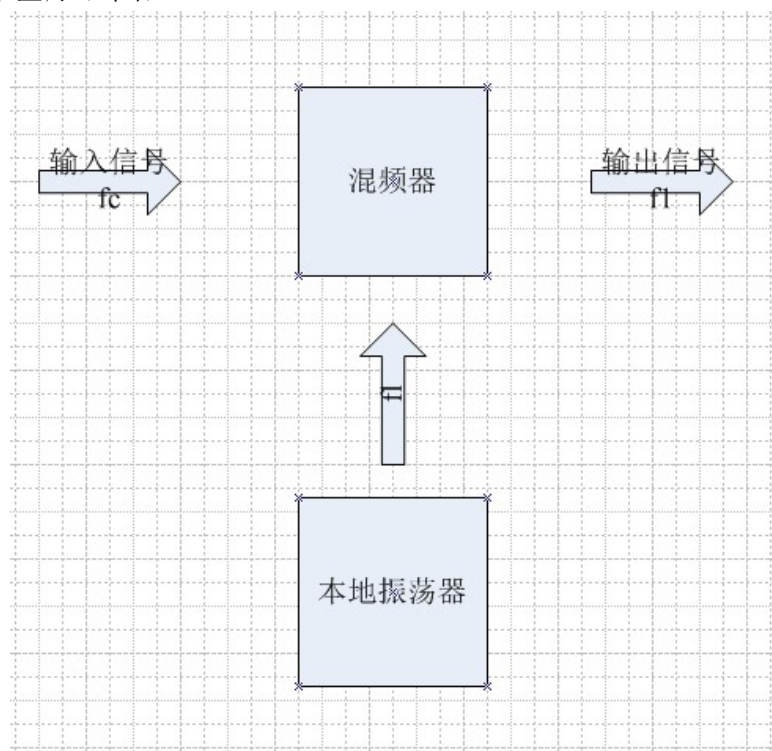


图 2-2 超外差原理图

图中 f_L 为本地振荡器的频率信号，输入信号是一中心频率为 f_c 的射频信号。这两个信号是由一个混频器混合，输出不同的频率的成分被称为中频信号，即 $f_i = f_L - f_c$ 为中频频率。图 2-3 给出了混频过程中的前后波形图。中频信号除中心频率由 FC 网络变换，频谱结构和输入信号基本上是相同的，中频信号实现了线性搬移过程。从而在很大程度上保留了输入信号的有用的信息，有利于检波器的检测。而超外差原理主要是运用在超外差接收机中（如图 2-4）

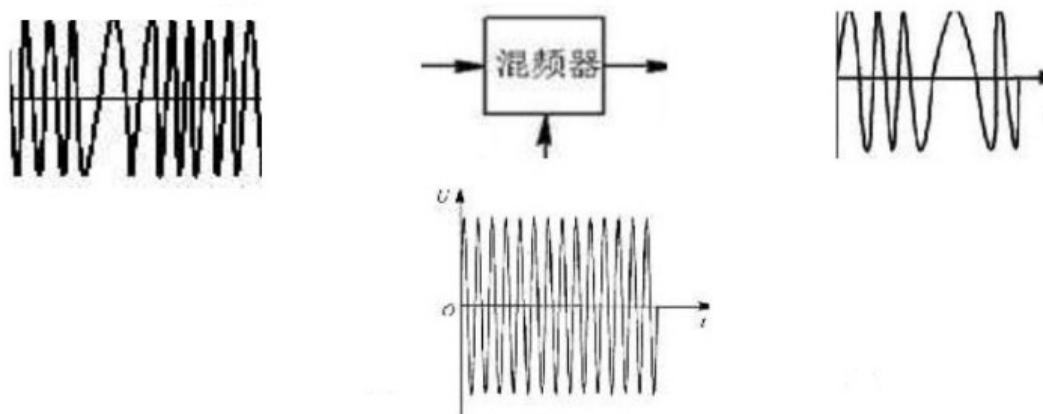


图 2-3(a) 混频前后波形

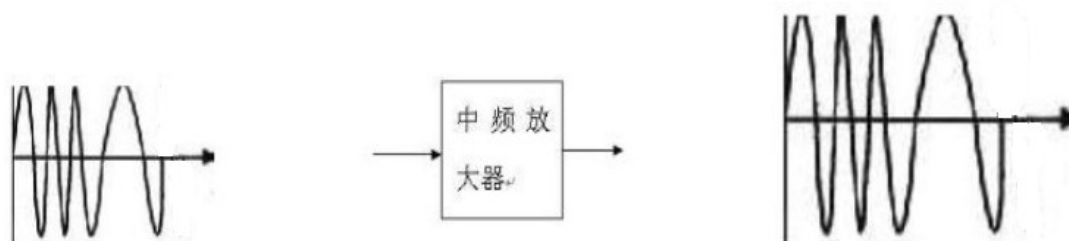


图 2-3(b) 中频放大前后波形

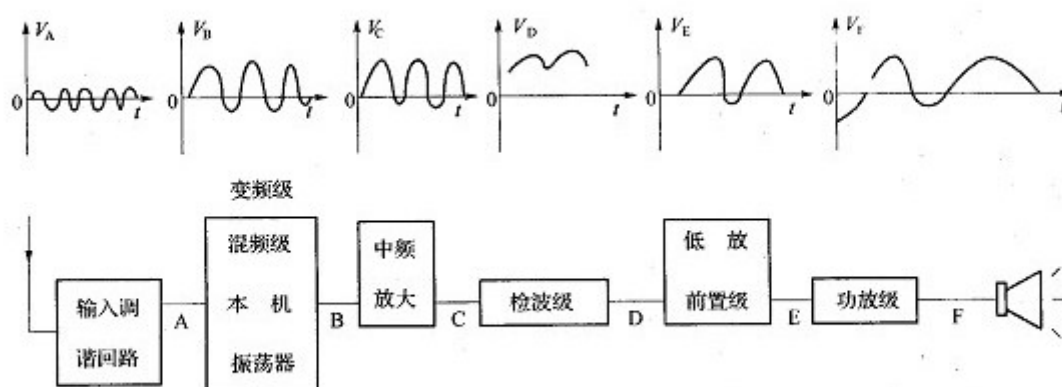


图 2-4 超外差接收机原理结构框图

在整个接收机工作过程中，经过远距离传输后的信号，进入到接收机中的信号就变得非常虚弱，为了满足检波器的正常工作，必须要有足够大的信号。因此就

要将信号放大，从而确保整个接收机的正常工作。在以前的接收机中，大多都采用高频放大级，而性能优良的超外差接收机系统得到了越来越广泛的应用。

2.1.2 零中频接收机

目前，随着半导体技术的飞速发展，各种接收机的集成度也相应提高。在这种技术下，我们研究了零中频接收机，它通过使用直接变频技术，较大程度上抑制了镜像频率的产生，因此被称为近零中频接收机。其原理图如图 2-5 所示。

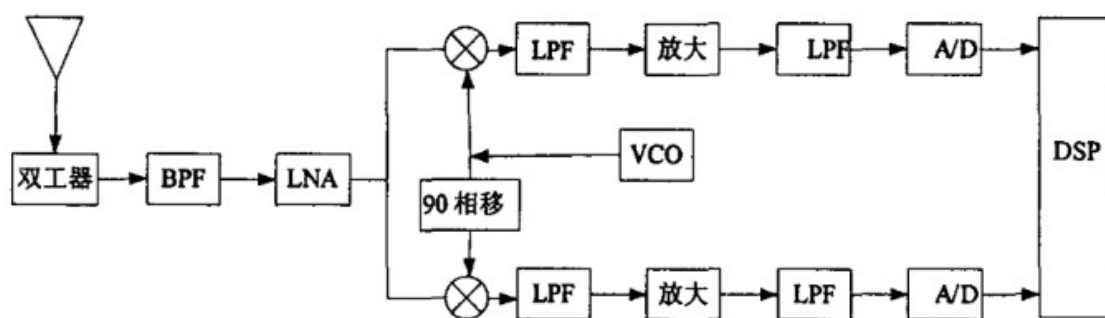


图 2-5 零中频接收机结构框图

如图所示，接收机在接收到信号后，首先经过放大器进行放大处理，之后分别进入两条支路和本振信号进行混合，以便产生所需要的基带信号，相互交叉的本振信号便于信号的有效传输。在混频处理过程中，本振信号的频率与输入射频信号的频率相等，由此可见，混频器输出端输出的则是基带信号。

通过对零中频接收机的结构分析，可见其有很多优点，但同时也存在一定的缺点，比如直流偏差、本振泄露和噪声等问题。在零中频接收机的生产与应用中，我们应该努力找到解决这些问题的方法。

2.1.3 低中频（近零中频）接收机

中频滤波器在低中频接收机系统结构中要求较低。其结构原理如图 2-6 所示，同超外差接收机相比较，其显著优点就是低功耗以及高集成度，而与之前分析的零中频接收机相比，低中频接收机可以解决信号失调等问题。由此低中频接收机得到越来越多的生产和应用。

同样的，低中频接收机也存在着一些缺点。在低中频接收机中，因为

镜频信号比较大，因此必须像超外差接收机那样，考虑其镜像频率的抑制的问题。

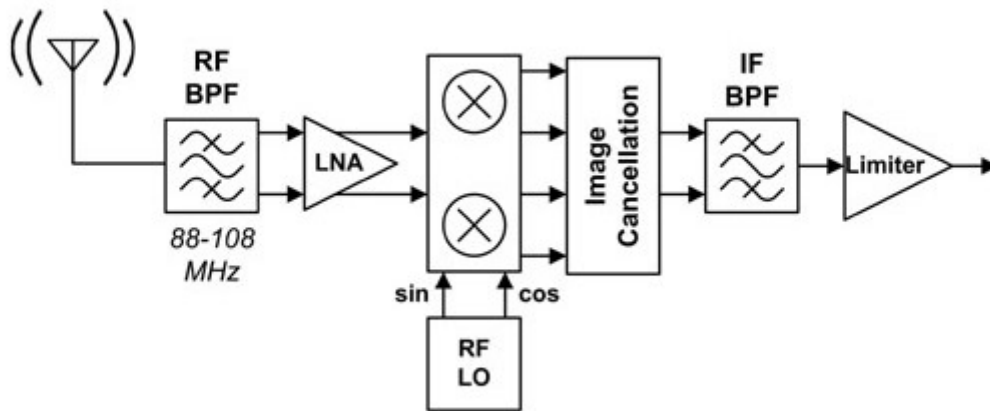


图 2-6 低中频接收机结构框图

2.1.4 宽带中频数字接收机

在现阶段的无线通信系统中，人们提出了多种全数字的调制解调方式，其中的宽带中频数字接收机更是成为了研究关键。以其特有的正交解调技术而得到更多更广的用途。其结构原理框图如图 2-7 所示。

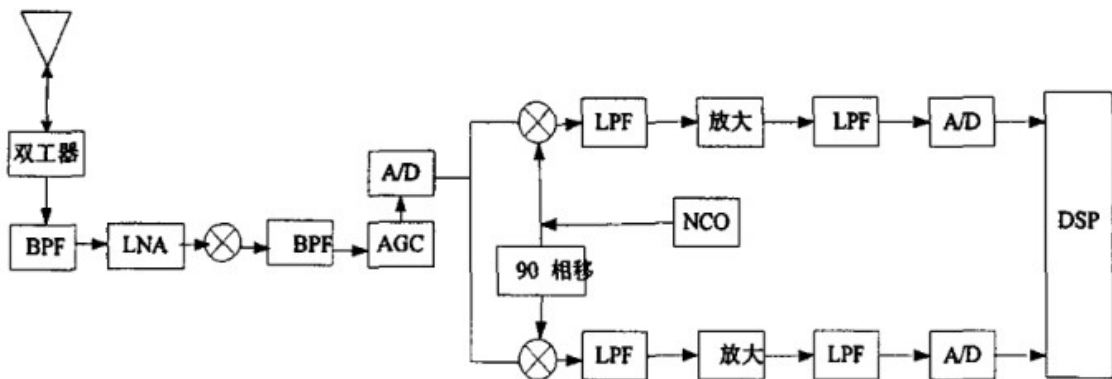


图 2-7 中频宽带数字接收机结构框图

这类接收机采用宽带中频数字化的工作方式，很大程度上简化了电路模块的设计，

降低了成本。与一般的接收机相比，宽带中频数字接收机的高精确度、高稳定性和抗干扰能力强等更是突出了其优越性。与此同时，在接收机工作过程中，也存在一些不可避免的问题。比如接收机的选择性和灵敏度，很大程度上影响了接收机接收弱信号的能力，容易丢失部分弱信号。

2.2 接收机的技术指标

2.2.1 增益

一般情况下，射频系统中的增益指的是功率增益，很容易和电压增益混淆。这就需要我们根据实际电路进行分析。在射频通信系统中，定义了多种功率，主要有以下几种：

P_L ：通过负载获得的功率；

P_{in} ：电路输入功率；

P_{avs} ：信号源的最大功率；

P_{avn} ：电路所能提供的最大功率。

与之对应的，增益也能够定义为三种类型：一般功率增益 G_P 、变化功率的增益 G_T 以及资用增益 G_A ，其公式分别如下：

$$G_P = \frac{P^L}{P^{in}} \quad (2-1)$$

$$G_T = \frac{P^L}{P^{avs}} \quad (2-2)$$

$$G_A = \frac{P^{avn}}{P^{avs}} \quad (2-3)$$

而增益平坦度(Gain Flatness)是表示在恒定带宽范围内增益快速变化的数值，以分贝（dB）来衡量。

2.2.2 接收机的选择性和线性度

通常情况下，在接收机工作中都存在一定的外界干扰，在这种情况下，接收机仍能够选择所需要的信号，我们称之为接收机的选择性。而选择性往往都是用矩形系数来表示，比如 $K_{r0.1}$ 或 $K_{r0.01}$ 。在接收机系统中，中频信道的调谐滤波器影响着接收

机的选择性。

为了确保接收机尽可能的接收失真信号，这就必须保证足够的线性度。良好的选择性和接收机的线性度可以提高接收信号的质量，保证接收机持续稳定的工作。

2.2.3 接收机的动态范围

在一般的接收机系统结构中，动态范围是衡量接收机性能好坏的一个非常重要的指标，它表示的是接收机处理最大信号以及检测弱信号的能力，也被定义成最大和最小的输入信号的比值，即：

$$\text{接收机的动态范围} = \frac{\text{输入端的最大信号}}{\text{输入端的最小信号}} \quad (2.4)$$

在接收机正常工作过程当中，动态范围 D 指的是接收机容许射频输入信号强度的一个范围，一般定义为：

$$D(\text{dB}) = P_{\text{RF-max}} - P_{\text{RF-min}} \quad (2.5)$$

式中， $P_{\text{RF-max}}$ 表示最大输入信号的功率， $P_{\text{RF-min}}$ 则表示最小可辨别的信号的功率，单位为 dBm 。在实际的接收机应用中，我们常把接收机的灵敏度表示为 $P_{\text{RF-min}}$ ，即最小可辨别信号功率。

2.2.4 接收机的灵敏度和噪声分析

在接收机系统结构中，一般都采用系统的信噪比来衡量接收机对信号接收能力的好坏，信噪比即为信号功率和噪声功率的比。而在端口网络系统中，则使用噪声系数作为这一特性的参数。计算公式为：

$$F = \frac{\text{输入端信噪比}}{\text{输出端信噪比}} = \frac{S_i / N_i}{S_o / N_o} \quad (2.7)$$

将上式转变成分贝数，即 $NF = 10 \lg F$

在同一时间的最小信号强度，接收机能够接收到并且维持接收机正常的工作被称为接收器的灵敏度。作为衡量接收机接收弱信号能力的参数，灵敏度高

低决定了接收机接收到信号的强弱。

2.3 电路仿真软件 Multisim 的应用

2.3.1 Multisim 10.0 的主要功能和特点

Multisim 软件是由美国国家仪器公司 (NI) 的 Electronics Workbench 在 2007 年 3 月份发布的。主要包括了 PCB 设计和自动布线功能, 用于电路板设计和仿真测试。Multisim 10.0 是一个非常方便电子电路的设计和调试的软件。通过改变电路结构中的元器件的参数, 从而使整个电路性能达到最佳的状态, 方便我们更准确的研究与测试。它用软件的方法模拟了电子线路中各个元器件以及仪器仪表等, 大大增强了软件的仿真和分析能力。从 Multisim 7 到现在的 Multisim 10, 软件基本上都保留了最初版本的操作界面, 相比以前的老版本, Multisim 10 新增了 1200 多个元器件、500 多个 SPICE 模块以及 100 多个开关电源模块, 因此增加了仿真电路的规模以及仿真速度。当然, Multisim 10.0 配置了多种虚拟测试仪器, 比如像计算机实验室中常用的万用表、信号发生器、示波器和直流、交流电源等。仿真后的结果也和使用实际仪器时差不多。此外, Multisim 10.0 有一个非常完整的电路分析功能, 方便我们能够更加深入的理解电路的特性。

Multisim 10.0 还可以允许在仿真电路图中添加文本框, 这样就方便了对电路各个部分的详细研究。哪里有疑问, 都可以标注在文本框中,

随着电子技术的飞速发展, 和其他很多仿真软件一样, Multisim 也必定会帮助我们更好的去研究和分析各种复杂的电路结构。

2.3.2 Multisim 10.0 在模拟电子技术中的应用

振荡电路在模拟电子技术的研究中变得日益重要起来。当在电路结构中加入负反馈后能够很大程度上的稳定放大倍数, 并且放大性能也得到了提高, 而加入正反馈时, 电路中的放大功能会变得不够稳定, 同时可能会产生自激。所以这就要求我们根据实际的电路结构, 使电路产生稳定的正弦波输出信号, 方便分析。

图 2-8 是电容反馈式正弦波振荡电路。

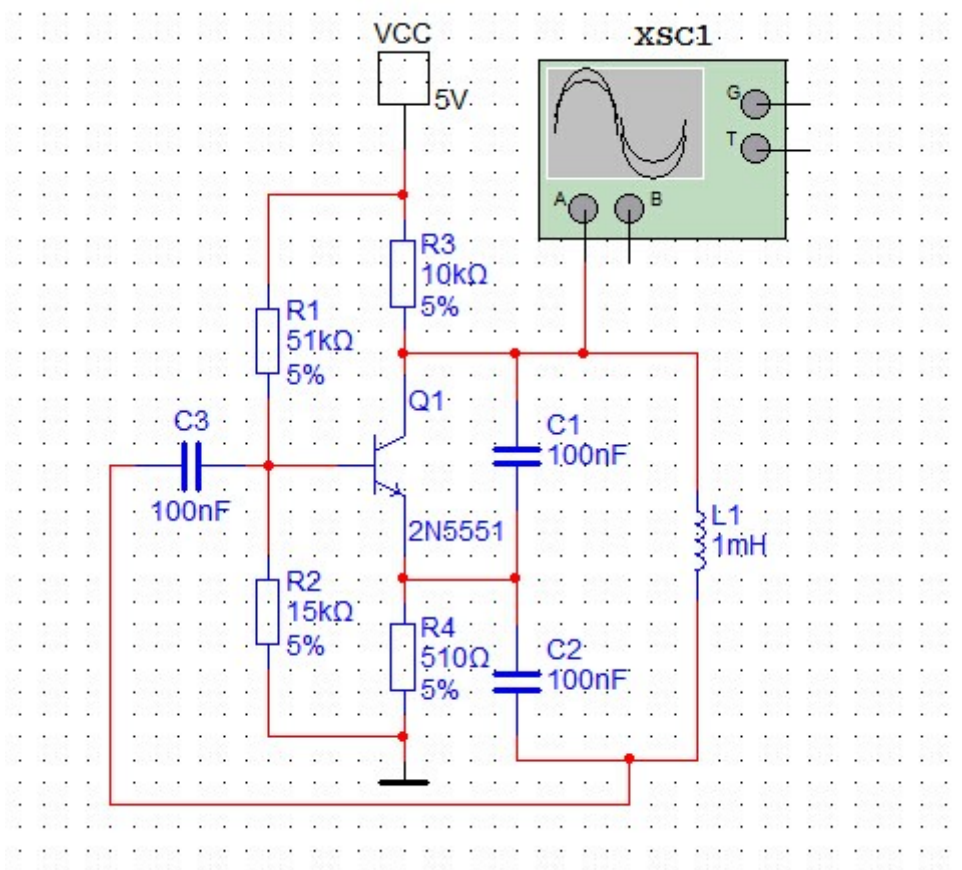


图 2-8 电容反馈式正弦波振荡仿真电路

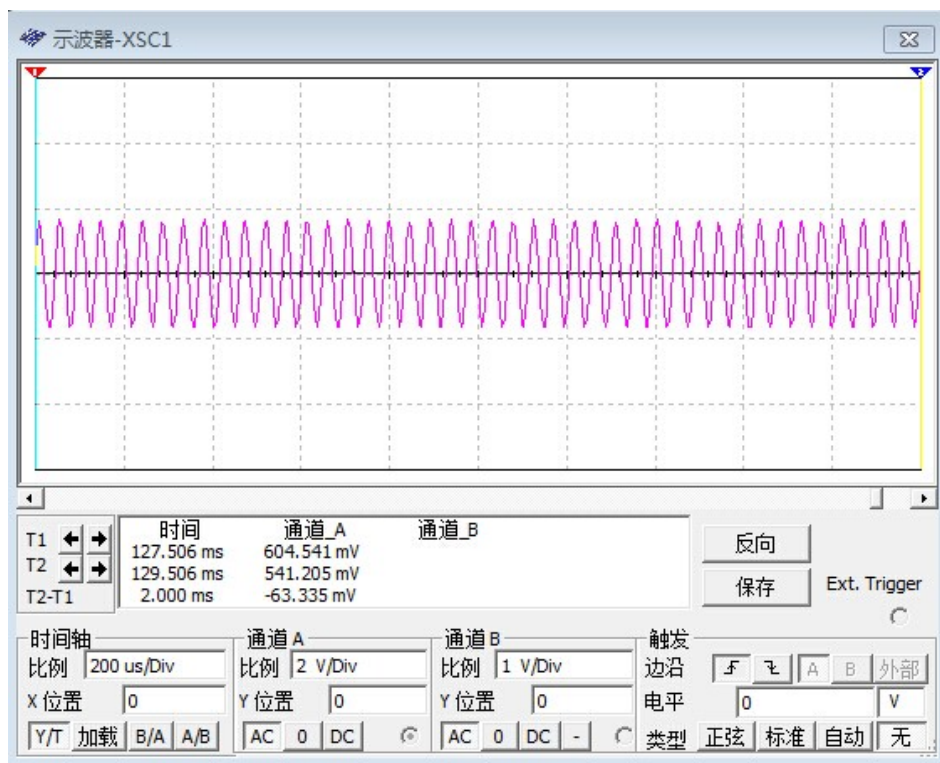


图 2-9 输出波形

假设需要提高电路结构中的振荡频率，则必须减小 L_1 值，其中 C_1 和 C_2 具有分压作用。

2.4 本课题所用的接收机结构

2.4.1 超外差接收机

本次课题研究的是超外差接收机中频放大器电路，采用超外差式结构，如图 2-8 所示。射频信号经过远距离的传输之后，接收设备所接收到的信号已经非常微弱，接收机前端的接收天线可以感生出毫伏或者微伏的高频信号，通过高频放大器之后进入混频器。而混频器的另一端输入时接收机本身产生的一个正弦电压，我们称之为本地振荡信号 f_L 。混频器的作用是将接收机接收的高频信号转变成稳定的中频信号，同时进行中频放大。由于中频频率是固定的，所以中频放大器电路也是稳定的，从而确保了接收机的灵敏度以及稳定的工作性。

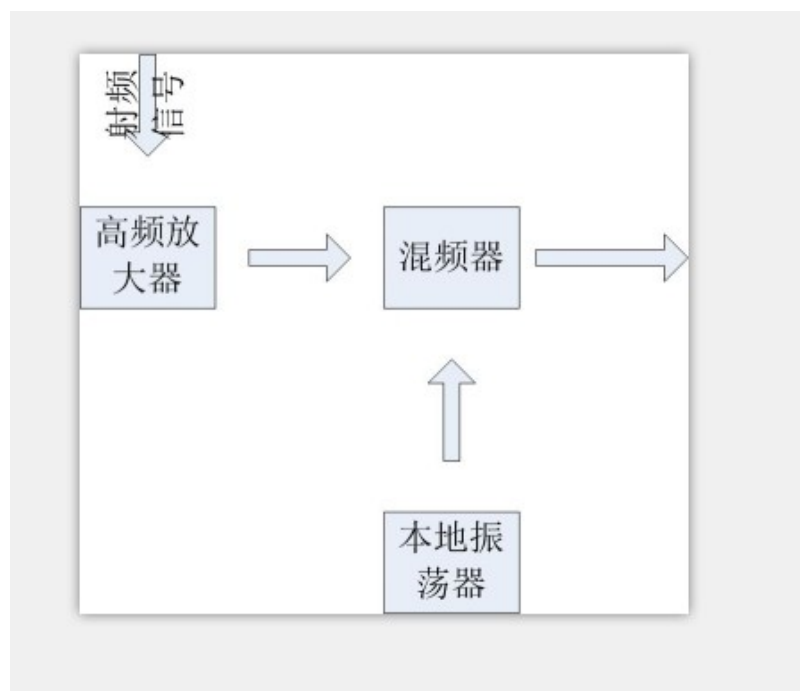


图 2-8 超外差接收机原理框图

2.4.2 超外差接收机的系统仿真

在一般超外差式调频接收机系统中，它可以接收短波或者中波调幅广播。具有高灵敏度、低噪声等优点。

调谐器由三部分构成，其中包括高频放大电路、振荡器电路和混频器电路。其作用是将接收机接收的高频信号放大转变成中频信号。图 2-9 为调谐器中混频电路的设计以及其仿真图。

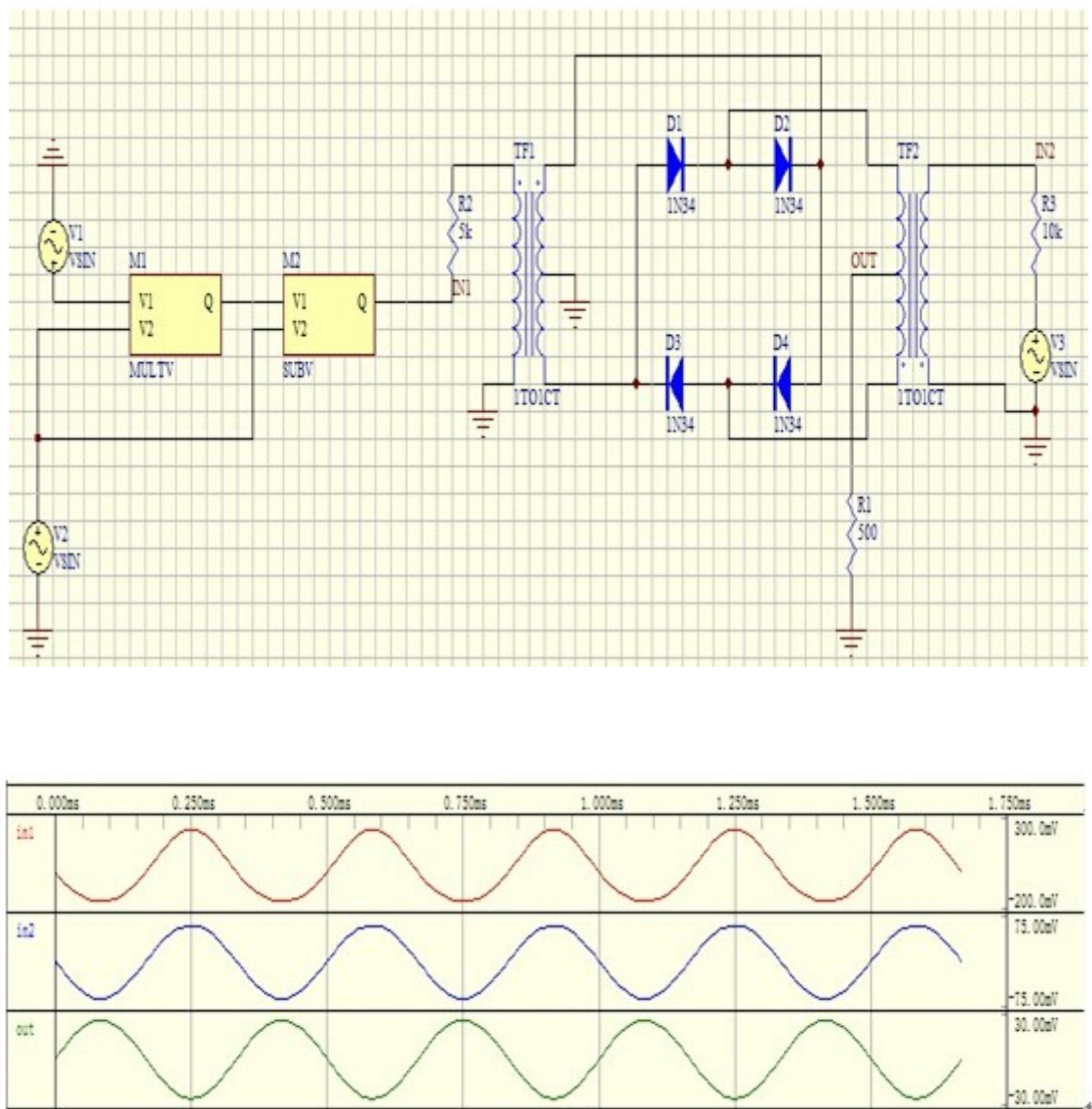


图 2-9 混频电路及其仿真

与一般放大式接收机相比较，超外差接收机不仅可以对高频率信号进行放大，同时还可以完成载波频率的转换以及中频放大。所以超外差式接收机的增益和选择能力较高。图 2-10 为中频放大电路设计及其仿真。

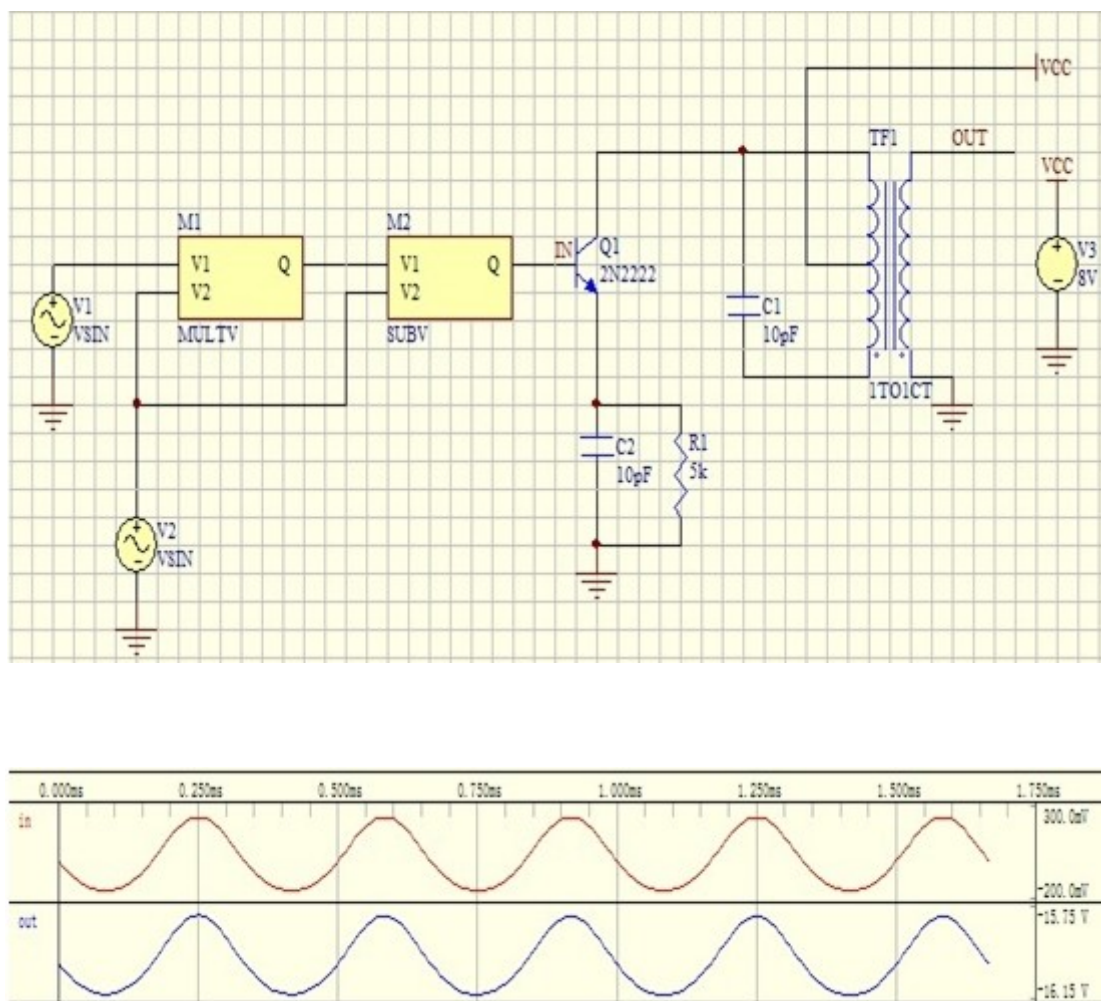


图 2-10 中频放大电路及其仿真

根据之前的超外差式接收机系统结构原理图，信号通过中频放大器之后，进入检波器。而检波器是用于识别信号的装置，检波器通常用于提取有用的信号。图 2-11 为检波电路的设计及其仿真。

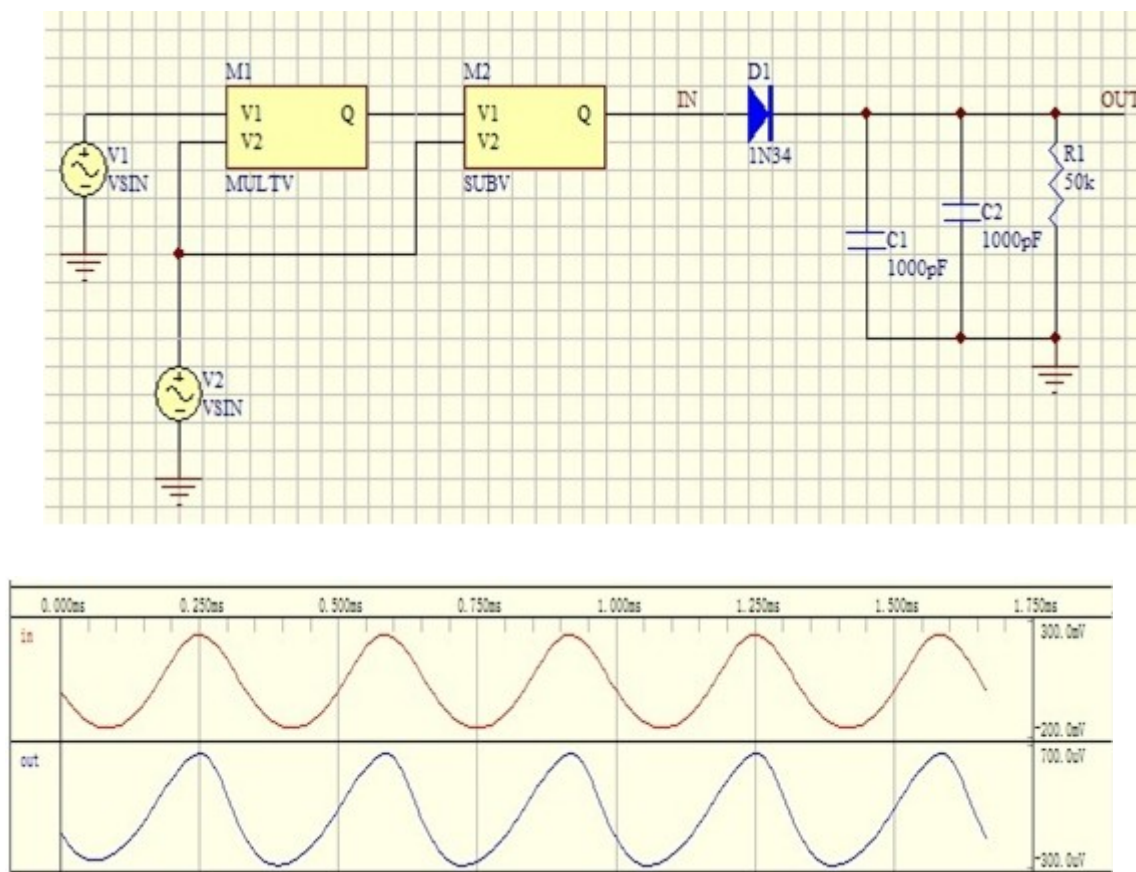


图 2-11 检波电路及其仿真

检波器把中频调幅信号中所包含的其他信号过滤出来，然后发送到低频放大器。
图 2-12 为低频功率放大电路的设计与仿真。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问: <https://d.book118.com/128101105101007005>