

高等学校电子信息类专业
“十二五”规划教材

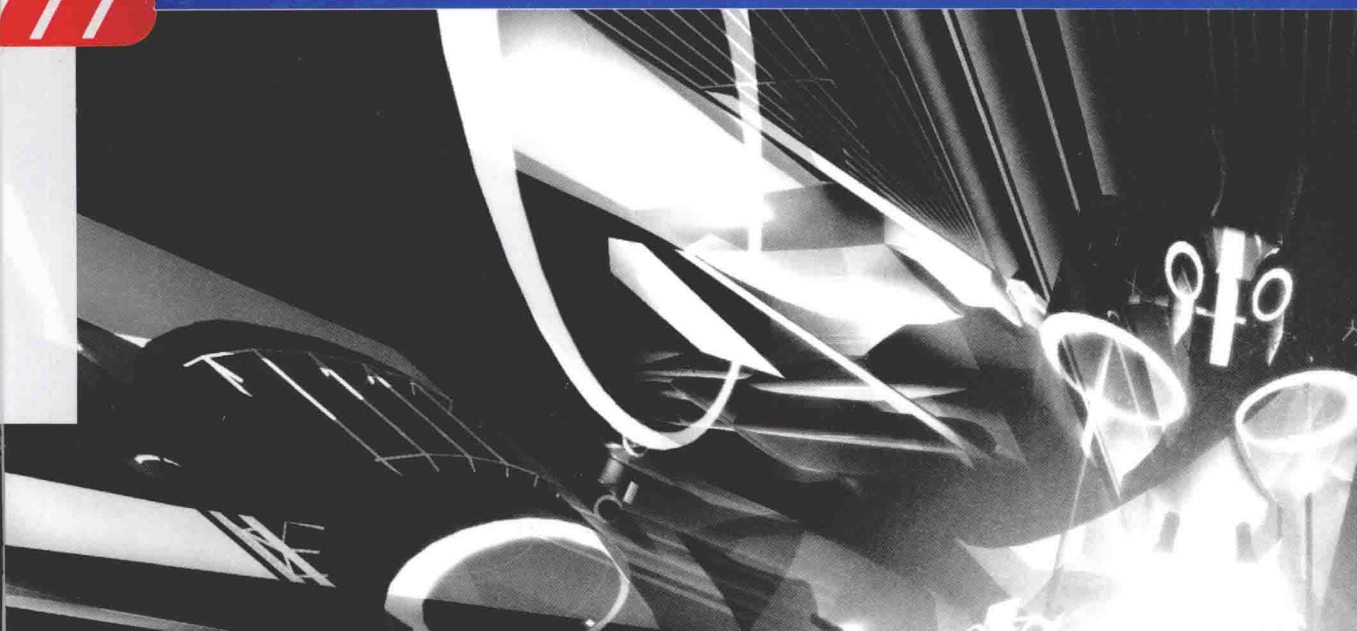
*ELECTRONIC
INFORMATION SPECIALTY*

高频电子线路 实验与制作

主编 葛海波



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



高等学校电子信息类专业“十三五”规划教材

高频电子线路实验与制作

主 编 葛海波

参 编 巩艳华 徐静萍 黄红梅

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了通信电子线路实验的设计与制作,在实验内容的安排上,尽量保留了一些最基本的验证性实验,并加入了设计性、综合性实验,充分体现了重视个性发展、因材施教的特点。

全书共分为四章。第一章为验证性实验,第二章为仿真验证性实验,第三章为设计性实验,第四章为高频实验中涉及的元器件介绍。这些实验具有实用、可操作性强和取材容易等特点。通过基本仿真技能训练、实验操作、综合设计等不同层次的实验,可使学生对“高频电子线路”课程中所涉及的专业知识、专业技能、专业素养等有一定的深化和提高。

本书可以作为高等院校电子、通信类专业本科生的实验参考书或课外读物,也可供广大电子爱好者阅读,还可供相关领域的工程技术人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路实验与制作/葛海波主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2015.8
高等学校电子信息类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3750-1

I. ① 高… II. ① 葛… III. ① 高频—电子电路—高等学校—教材
IV. ① TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 183074 号

策 划 云立实

责任编辑 云立实 董柏娴

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 11

字 数 257千字

印 数 1~3000册

定 价 22.00元

ISBN 978-7-5606-3750-1/TN

XDUP 4042001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

为了更好地推行素质教育,提高学生的实践创新能力,调动学生的学习主动性和创造性,编者根据工科电工课程教育指导委员会制定的无线电技术类专业教学基本要求,编写了本书。本书着重训练学生把所学到的理论知识用于实际电路的设计,再把设计电路转变为应用电路。整个过程可使学生在电路设计、制作和调试方面的能力得到提高,并培养学生的工程设计能力和动手能力。同时也对高频电子通信电路课程教学改革作了一些有益的尝试。

本书的指导思想是以单元电路的设计制作作为基础,逐步学习设计制作原理、电路的调试方法、仪器使用等基础知识。书中以集成电路应用为主干,培养学生使用集成电路的能力。

本书共分四章:第一章高频电子通信电路实验,着重讨论了电路的设计原理、设计方法、设计电路及注意问题;第二章高频电子通信电路仿真实验,介绍了用计算机辅助软件分析设计电路的方法;第三章高频电子通信电路设计制作方法,介绍了多种单元及综合电路的制作原理、制作方法和测试步骤;第四章电子元件及其在高频电路中的应用,介绍了高频电子通信电路中电子元件的选择与使用。

高频电子通信电路是一门工程性、实践性很强的课程,为了更好地培养学生的工程设计和动手实践能力,这两年我们尝试了让学生自己选择一些想学和想作的内容,在教师指导下,由学生自己设计、仿真、制作并完成该内容,取得了一定效果,本书也可为这些学生作一指导。

为了达到每一次实验的目的,应要求学生做好实验前的预习;实验中应独立思考,认真完成实验规定的内容;实验结束后,能独立写出完整的实验报告,分析实验数据,提出实验处理意见,以加强对实验结果的分析 and 理解。

本书由葛海波主编,巩艳华、徐静萍、黄红梅参编。其中,葛海波、黄红梅编写了第一章,徐静萍编写了第三章,巩艳华编写了第二章和第四章。全书最终由葛海波统稿、定稿。本书在编写的过程中得到了西安邮电大学电子工程学院的领导、老师的大力支持,在此表示感谢。

本书提供了大量有价值的电路图与实验参数，但由于实验条件不同，实验参数恐有偏差，请读者给予理解。

本书所涉及的知识面非常广，我们在这方面的研究和学习还非常有限，因此书中难免存在不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

编者
2015 年 1 月

目 录

第一章 高频电子通信电路实验	1
实验一 高频小信号调谐放大器实验	1
实验二 集成选频放大器	5
实验二(选做) 波形变换实验	8
实验三 二极管的双平衡混频器	13
实验三(选做) 常用低通带通滤波器特性实验	16
实验四 模拟乘法混频	18
实验四(选做) LC 串并联谐振回路特性实验	21
实验五 三极管变频	26
实验六 三点式正弦波振荡器	28
实验七 晶体振荡器与压控振荡器	30
实验八 非线性丙类功率放大器实验	32
实验九 线性宽带功率放大器	39
实验十 集电极调幅实验	42
实验十一 模拟乘法器调幅(AM、DSB、SSB)	45
实验十二 包络检波及同步检波实验	50
实验十三 变容二极管调频实验	55
实验十四 正交鉴频及锁相鉴频实验	59
实验十五 模拟锁相环实验	63
实验十六 自动增益控制(AGC)	69
实验十七 中波调幅发射机组装及调试	72
实验十八 超外差中波调幅接收机	72
实验十九 锁相频率合成器组装及调试	73
实验二十 半双工调频无线对讲机	75
第二章 高频电子通信电路仿真实验	77
仿真实验一 模拟乘法器的应用	77
仿真实验二 LC 振荡器	82
仿真实验三 晶体振荡器	85
仿真实验四 集电极调幅	88
仿真实验五 大信号包络检波	91
仿真实验六 小信号谐振放大电路	95
仿真实验七 丙类功率放大器	99
第三章 高频电子通信电路设计制作方法	105
设计一 小信号调谐放大器	105
设计二 高频丙类功率放大器	113

设计三 LC 调频振荡器	121
设计四 二极管包络检波器	130
设计五 集成调频发射系统设计	135
设计六 AM 调幅发射系统	138
第四章 电子元件及其在高频电路中的应用	142
一、导线与电缆	142
二、电阻器	144
三、电容器	146
四、电感	149
五、中频变压器	153
六、高频扼流圈	154
七、磁珠	155
八、二极管	155
九、三极管	160
十、场效应管	165
参考文献	

第一章 高频电子通信电路实验

实验一 高频小信号调谐放大器实验

一、实验目的

- (1) 掌握小信号调谐放大器的基本工作原理。
- (2) 掌握谐振放大器电压增益、通频带、选择性的定义、测试及计算。
- (3) 了解高频小信号放大器动态范围的测试方法。

二、实验原理

1. 单调谐放大器

小信号谐振放大器是通信机接收端的前端电路，主要用于高频小信号或微弱信号的线性放大。其实验单元电路如图 1-1(a) 所示。该电路由晶体管 V_1 、选频回路 T_1 两部分组成，不仅对高频小信号进行放大，而且还有一定的选频作用。本实验中输入信号的频率 $f_s = 12\text{ MHz}$ 。基极偏置电阻 R_{w3} 、 R_{22} 、 R_4 和射极电阻 R_5 决定晶体管的静态工作点。可变电阻 R_{w3} 用于改变基极偏置电阻，即改变晶体管的静态工作点，从而改变放大器的增益。

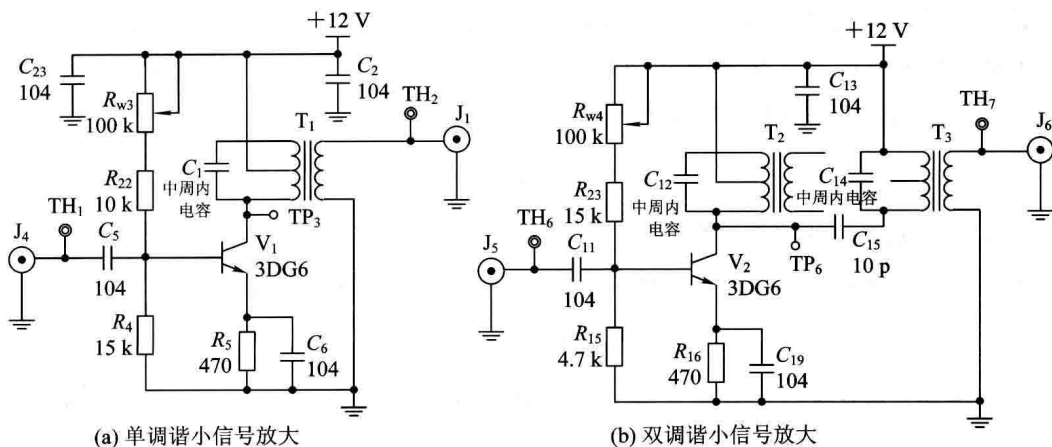


图 1-1 小信号调谐放大器的工作原理电路图

表征高频小信号调谐放大器的主要性能指标有谐振频率 f_0 、谐振电压放大倍数 A_{u0} 、放大器的通频带 BW 及选择性(通常用矩形系数 $K_{r0.1}$ 来表示)等。

放大器各项性能指标及测量方法如下所述。

1) 谐振频率

放大器的调谐回路谐振时所对应的频率 f_0 称为放大器的谐振频率。对于图 1-1(a) 所

示电路(也是以下各项指标所对应电路), f_0 的表达式为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_\Sigma}}$$

式中, L 为调谐回路电感线圈的电感量; C_Σ 为调谐回路的总电容, C_Σ 的表达式为

$$C_\Sigma = C + p_1^2 C_{oe} + p_2^2 C_{ie}$$

式中, C_{oe} 为晶体管的输出电容; C_{ie} 为晶体管的输入电容; p_1 为初级线圈抽头系数; p_2 为次级线圈抽头系数。

谐振频率 f_0 的测量方法是: 用扫频仪作为测量仪器, 测出电路的幅频特性曲线, 调变压器 T_1 的磁芯, 使电压谐振曲线的峰值出现在规定的谐振频率点 f_0 。

2) 电压放大倍数

放大器的谐振回路谐振时, 所对应的电压放大倍数 A_{u0} 称为调谐放大器的电压放大倍数。 A_{u0} 的表达式为

$$A_{u0} = -\frac{u_o}{u_i} = \frac{-p_1 p_2 y_{fe}}{g_\Sigma} = \frac{-p_1 p_2 y_{fe}}{p_1^2 g_{oe} + p_2^2 g_{ie} + G}$$

式中, g_Σ 为谐振回路谐振时的总电导。要注意的是, y_{fe} 本身也是一个复数, 所以谐振时输出电压 u_o 与输入电压 u_i 相位差不是 180° 而是 $180^\circ + \Phi_{fe}$ 。

A_{u0} 的测量方法是: 在谐振回路已处于谐振状态时, 用高频电压表测量图 1-1(a) 中输出信号 u_o 及输入信号 u_i 的大小, 则电压放大倍数 A_{u0} 由下式计算:

$$A_{u0} = \frac{u_o}{u_i} \quad \text{或} \quad A_{u0} = 20 \lg \left(\frac{u_o}{u_i} \right) \text{ dB}$$

3) 通频带

由于谐振回路的选频作用, 当工作频率偏离谐振频率时, 放大器的电压放大倍数下降, 习惯上将电压放大倍数 A_u 下降到谐振电压放大倍数 A_{u0} 的 0.707 倍时所对应的频率偏移称为放大器的通频带 BW, 其表达式为

$$BW = 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_L}$$

式中, Q_L 为谐振回路的有载品质因数。

分析表明, 放大器的谐振电压放大倍数 A_{u0} 与通频带 BW 的关系为

$$A_{u0} \cdot BW = \frac{|y_{fe}|}{2\pi C_\Sigma}$$

上式说明, 当晶体管选定即 y_{fe} 确定, 且回路总电容 C_Σ 为定值时, 谐振电压放大倍数 A_{u0} 与通频带 BW 的乘积为一常数。这与低频放大器中的增益带宽积为常数的概念是相同的。

通频带 BW 的测量方法是: 通过测量放大器的谐振曲线来求通频带。测量方法可以是扫频法, 也可以是逐点法。逐点法的测量步骤是: 先调谐放大器的谐振回路使其谐振, 记下此时的谐振频率 f_0 及电压放大倍数 A_{u0} , 然后改变高频信号发生器的频率(保持其输出电压 U_s 不变), 并测出对应的电压放大倍数 A_{u0} 。由于回路失谐后电压放大倍数下降, 所以放大器的谐振曲线如图 1-2 所示。可得:

$$BW = f_H - f_L = 2\Delta f_{0.7}$$

通频带越宽,放大器的电压放大倍数越小。要想得到一定宽度的通频带,同时又能提高放大器的电压增益,除了选用 y_{fe} 较大的晶体管外,还应尽量减小调谐回路的总电容量 C_Σ 。如果放大器只用来放大来自接收天线的某一固定频率的微弱信号,则可减小通频带,尽量提高放大器的增益。

4) 选择性——矩形系数

调谐放大器的选择性可用谐振曲线的矩形系数 $K_{r0.1}$ 来表示。如图 1-2 所示的谐振曲线,矩形系数 $K_{r0.1}$ 为电压放大倍数下降到 $0.1A_{u0}$ 时对应的频率偏移与电压放大倍数下降到 $0.707A_{u0}$ 时对应的频率偏移之比,即

$$K_{r0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{BW}$$

上式表明,矩形系数 $K_{r0.1}$ 越小,谐振曲线的形状越接近矩形,选择性越好,反之亦然。一般单级调谐放大器的选择性较差(矩形系数 $K_{r0.1} \gg 1$),为提高放大器的选择性,通常采用多级单调谐回路的谐振放大器。可以通过测量调谐放大器的谐振曲线来求矩形系数 $K_{r0.1}$ 。

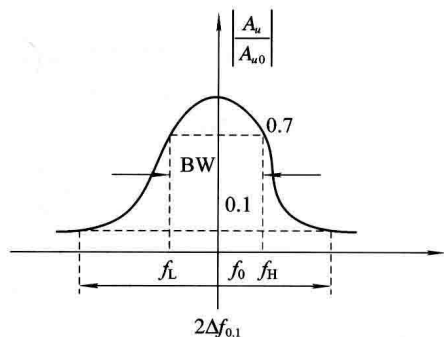


图 1-2 谐振曲线

2. 双调谐放大器

双调谐放大器具有频带较宽、选择性较好的优点。双调谐回路谐振放大器是将单调谐回路放大器的单调谐回路改用双调谐回路,如图 1-1(b)所示,其原理基本相同。

(1) 电压增益为

$$A_{u0} = -\frac{u_o}{u_i} = -\frac{p_1 p_2 y_{fe}}{2g}$$

(2) 通频带为

$$BW = 2\Delta f_{0.7} = \frac{\sqrt{2}f_0}{Q_L}$$

(3) 选择性——矩形系数为

$$K_{r0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}} = \sqrt[4]{99}$$

三、实验步骤

1. 单调谐小信号放大器单元电路实验

(1) 根据电路原理图制作实验板电路,并在电路板上找出与原理图相对应的各测试点及可调器件(具体指出)。

(2) 按图 1-3 所示框图搭建好测试电路。

注意: 图中符号 $\bigcirc$ 表示高频连接线。

(3) 打开小信号调谐放大器的电源开关,并观察工作指示灯是否点亮,红灯为 +12 V 电源指示灯,绿灯为 -12 V 电源指示灯。(以后实验步骤中不再强调打开实验模块电源开

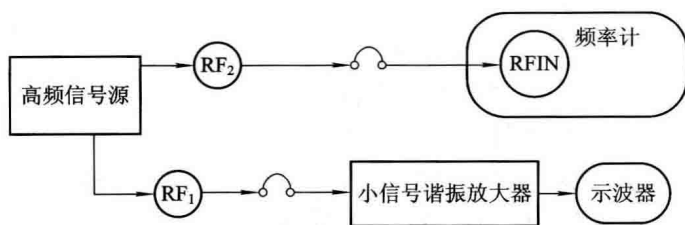


图 1-3 高频小信号调谐放大器测试连接框图

关的步骤。)

(4) 调整晶体管的静态工作点:

在不加输入信号时用万用表(直流电压测量挡)测量电阻 R_4 两端的电压(即 U_{BQ})和 R_5 两端的电压(即 U_{EQ}),调整可调电阻 R_{w3} ,使 $U_{EQ}=4.8\text{ V}$,记下此时的 U_{BQ} 、 U_{EQ} ,并计算出此时的 $I_{EQ}=U_{EQ}/R_5$ 。

(5) 按下信号源和频率计电源开关,此时开关下方的工作指示灯点亮。

(6) 调节信号源“RF 幅度”和“频率调节”旋钮,使输出端口“ RF_1 ”和“ RF_2 ”输出频率为 12 MHz 的高频信号。将信号输入到 2 号板的 J_4 口。在 TH_1 处观察信号峰-峰值约为 50 mV 。

(7) 调谐放大器的谐振回路使其谐振在输入信号的频率点上:

将示波器探头连接在调谐放大器的输出端(即 TH_2)上,调节示波器直到能观察到输出信号的波形,再调节中周磁芯使示波器上的信号幅度最大,此时放大器即被调谐到输入信号的频率点上。

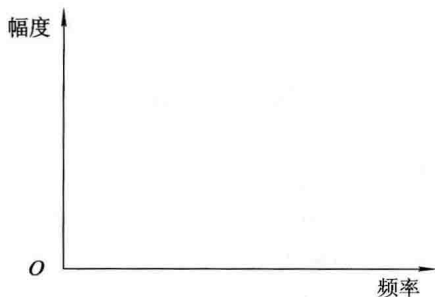
(8) 测量电压增益 A_{u0} :

在调谐放大器对输入信号已经谐振的情况下,用示波器探头在 TH_1 和 TH_2 端口分别观测输入和输出信号的幅度大小,则 A_{u0} 即为输出信号与输入信号幅度之比。

(9) 测量放大器通频带:

对放大器通频带的测量有两种方式,一是用频率特性测试仪(即扫频仪)直接测量;二是用点频法来测量,即用高频信号源作扫频源,然后用示波器来测量各个频率信号的输出幅度,最终描绘出通频带特性。具体方法如下:

通过调节放大器输入信号的频率,使信号频率在谐振频率附近变化(以 20 kHz 或 500 kHz 为步进间隔来变化),并用示波器观测各频率点的输出信号的幅度,然后就可以在如下的“幅度-频率”坐标轴上标示出放大器的通频带特性。



(10) 测量放大器的选择性:

描述放大器选择性的最主要的一个指标就是矩形系数, 这里用 $K_{r0.1}$ 和 $K_{r0.01}$ 来表示:

$$K_{r0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}} \quad K_{r0.01} = \frac{2\Delta f_{0.01}}{2\Delta f_{0.7}}$$

式中, $2\Delta f_{0.7}$ 为放大器的通频带; $2\Delta f_{0.1}$ 和 $2\Delta f_{0.01}$ 分别为相对放大倍数下降至 0.1 和 0.01 处的带宽。用第(9)步中的方法, 可以测出 $2\Delta f_{0.7}$ 、 $2\Delta f_{0.1}$ 和 $2\Delta f_{0.01}$ 的大小, 从而得到 $K_{r0.1}$ 和 $K_{r0.01}$ 的值。

注意: 对高频电路而言, 随着频率升高, 电路分布参数的影响将越来越大, 而我们在理论计算中是没有考虑到这些分布参数的, 所以实际测试结果与理论分析可能存在一定的偏差。另外, 为了使测试结果准确, 应使仪器的接地尽可能良好。

2. 双调谐小信号放大器单元电路实验

双调谐小信号放大器的测试方法和测试步骤与单调谐放大电路基本相同, 只是在以下两个方面稍作改动:

其一是输入信号的频率应改为 465 kHz(峰-峰值 200 mV)。

其二是在调试谐振回路时, 对双调谐回路的两个中周要反复调试才能最终使谐振回路谐振在输入信号的频点上。具体方法是: 按图 1-3 连接好测试电路并打开信号源及放大器电源之后, 首先调试放大电路的第一级中周, 让示波器上被测信号的幅度尽可能大, 然后调试第二级中周, 也是让示波器上被测信号的幅度尽可能大, 这之后再重复调第一级和第二级中周, 直到输出信号的幅度达到最大, 这样, 放大器就已经谐振到输入信号的频点上了。

同单调谐实验, 做双调谐实验, 并将两种调谐电路进行比较。

四、实验报告要求

- (1) 写明实验目的。
- (2) 画出实验电路的直流和交流等效电路。
- (3) 计算直流工作点, 与实验实测结果比较。
- (4) 整理实验数据, 并画出幅频特性。

实验二 集成选频放大器

一、实验目的

- (1) 熟悉集成放大器的内部工作原理。
- (2) 熟悉陶瓷滤波器的选频特性。
- (3) 掌握自动增益控制电路(AGC)的基本工作原理。

二、实验内容

- (1) 测量集成选频放大器的增益。

- (2) 测量集成选频放大器的通频带。
- (3) 测量集成选频放大器的选择性。

三、集成选频放大器基本原理

(1) 集成选频放大器的原理图如图 1-4 所示。

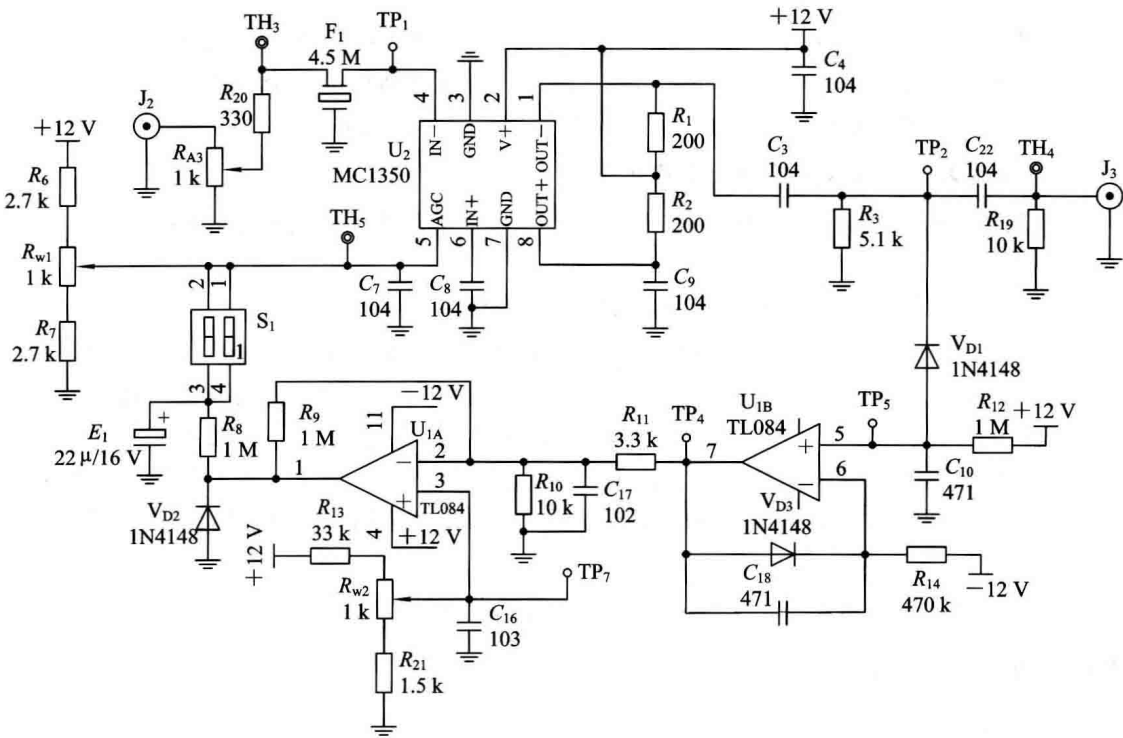


图 1-4 集成选频放大器电路原理图

由图 1-4 可知，本实验中涉及的集成选频放大器是带 AGC(自动增益控制)功能的选频放大器，放大电路用的是 Motorola 公司的 MC1350。

(2) MC1350 放大器的工作原理。

图 1-5 为 MC1350 单片集成放大器的内部电路原理图。这个电路是双端输入、双端输出的全差动式电路，其主要用于中频和视频放大。

输入级为共射-共基差分对， V_1 和 V_2 组成共射差分对， V_3 和 V_6 组成共基差分对。除了 V_3 和 V_6 的射极等效输入阻抗为 V_1 、 V_2 的集电极负载外，还有 V_4 、 V_5 的射极输入阻抗分别与 V_3 、 V_6 的射极输入阻抗并联，起着分流的作用。各个等效微变输入阻抗分别与该器件的偏流成反比。增益控制电压(直流电压)控制 V_4 、 V_5 的基极，以改变 V_4 、 V_5 分别和 V_3 、 V_6 的工作点电流的相对大小。当增益控制电压增大时， V_4 、 V_5 的工作点电流增大，射极等效输入阻抗下降，分流作用增大，放大器的增益减小。

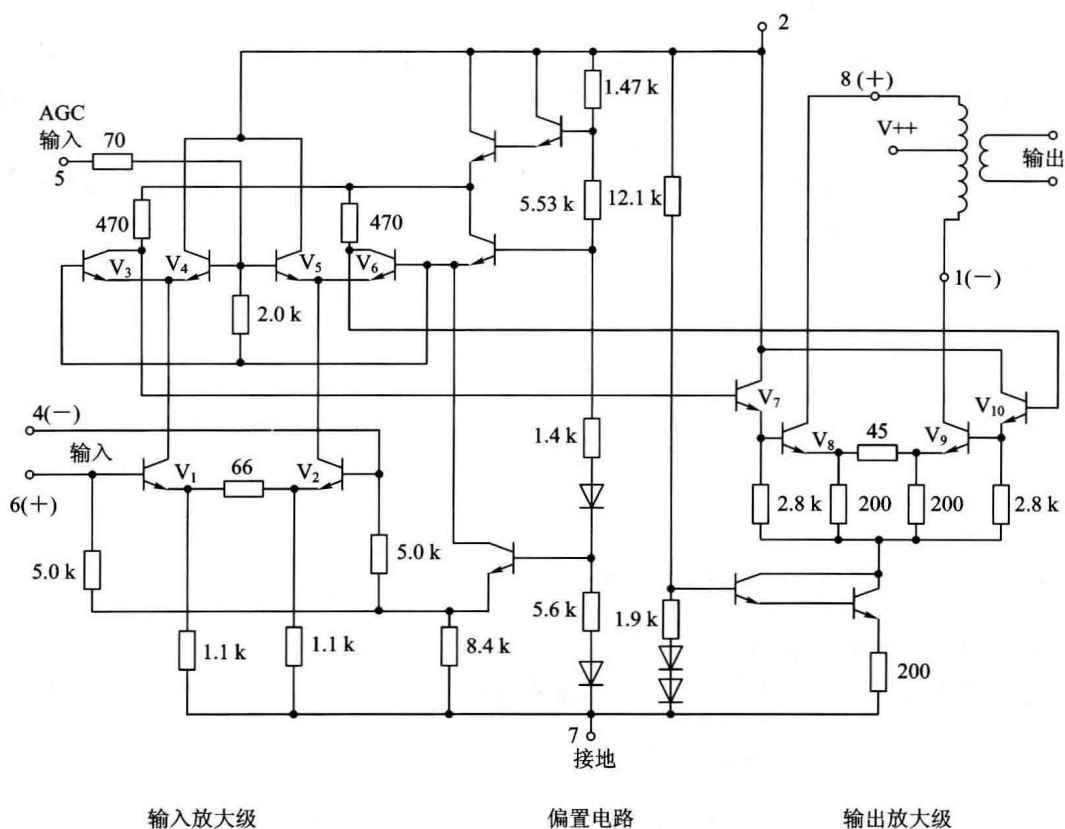


图 1-5 MC1350 内部电路原理图

四、实验步骤

- (1) 根据电路原理图制作实验板电路，并在电路板上找出与原理图相对应的各测试点及可调器件(具体指出)。
- (2) 按图 1-6 所示框图搭建好测试电路。

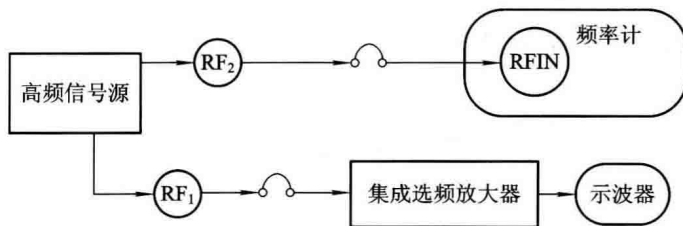


图 1-6 集成选频放大器测试连接框图

注意：图中符号 $\circ$ 表示高频连接线。

- (3) 打开集成选频放大器的电源开关。

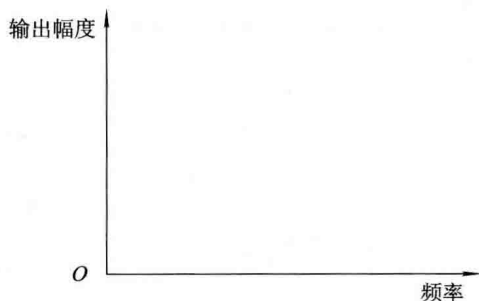
- (4) 测量电压增益 A_{u0} ：

将 4.5 MHz 的高频小信号从 J₂ 输入 ($U_{P-P} \approx 200$ mV)，调节 R_{w1} 使 J₃ 输出幅度最大，用示波器分别观测输入和输出信号的幅度大小，则 A_{u0} 即为输出信号与输入信号幅度之比。

(5) 测量放大器通频带:

对放大器通频带的测量有两种方式,一是用频率特性测试仪(即扫频仪)直接测量;二是用点频法来测量,即用高频信号源作扫频源,然后用示波器来测量各个频率信号的输出幅度,最终描绘出通频带特性,具体方法如下:

通过调节放大器输入信号的频率,使信号频率在 4.5 MHz 左右变化,并用示波器观测各频率点的输出信号的幅度,然后就可以在如下的“幅度-频率”坐标轴上标示出放大器的通频带特性。



(6) 测量放大器的选择性:

描述放大器选择性的最主要的一个指标就是矩形系数,这里用 $K_{r0.1}$ 和 $K_{r0.01}$ 来表示:

$$K_{r0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}} \quad K_{r0.01} = \frac{2\Delta f_{0.01}}{2\Delta f_{0.7}}$$

式中, $2\Delta f_{0.7}$ 为放大器的通频带; $2\Delta f_{0.1}$ 和 $2\Delta f_{0.01}$ 分别为相对放大倍数下降至 0.1 和 0.01 处的带宽。用第(5)步中的方法,可以测出 $2\Delta f_{0.7}$ 、 $2\Delta f_{0.1}$ 和 $2\Delta f_{0.01}$ 的大小,从而得到 $K_{r0.1}$ 和 $K_{r0.01}$ 的值。

五、实验报告要求

- (1) 写明实验目的。
- (2) 计算集成选频放大器的增益。
- (3) 计算集成选频放大器的通频带。
- (4) 整理实验数据,并画出幅频特性。

实验二(选做) 波形变换实验

一、实验目的

- (1) 了解二极管限幅器的组成与工作原理。
- (2) 掌握用二极管限幅器实现非线性波形变换的原理与方法。
- (3) 熟悉将任意波变换为方波的方法。
- (4) 熟悉将方波变换为脉冲波、方波变换为三角波的方法。
- (5) 熟悉将三角波变换成正弦波的方法。

二、实验内容

- (1) 观察限幅器的输出波形。
- (2) 观察各波形变换的结果。

三、实验原理

1. 限幅器原理

限幅器原理如图 1-7 所示, 设输入信号电压为 U_i 、二极管导通电压为 $U_{D(ON)}$, 二极管导通电阻为 r_d 。

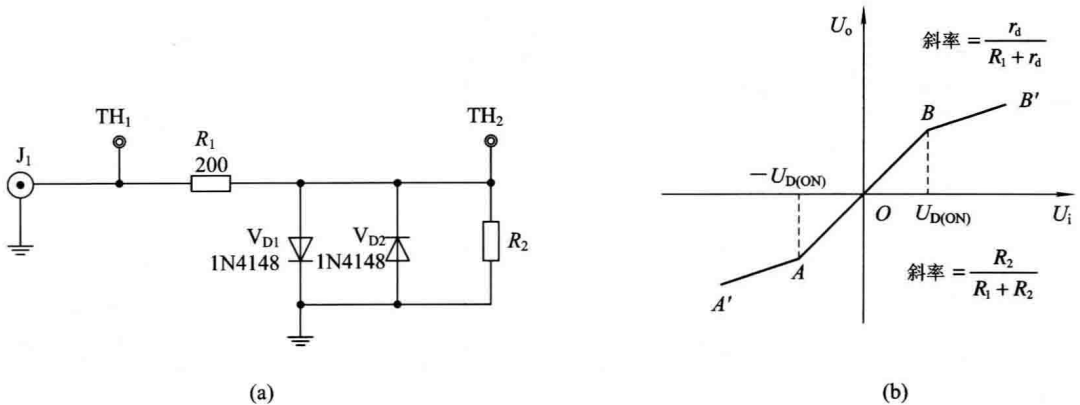


图 1-7 限幅电路

如图 1-7(b)所示:

当 $|U_i| < U_{D(ON)}$ 时, 二极管截止, 折线斜率为 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 。

当 $|U_i| > U_{D(ON)}$ 时, 二极管导通, 斜率为 $(R_2 // r_d) / (R_1 + R_2 // r_d)$, 由于 $r_d \ll R_2$, 所以斜率可近似为 $\frac{r_d}{R_1 + r_d}$, 远小于当信号 $|U_i| < U_{D(ON)}$ 时的斜率。所以当 $|U_i| > U_{D(ON)}$ 时输出电压波形就近似变为上、下部被削平的梯形波。

2. 任意波变方波原理

任意波变方波电路(见图 1-8 左上)将任意波形信号从 J_3 输入, 经 R_{11} 限流, 再经双向限幅器限幅后从比较器的 5 脚输入, 从 2 脚输出方波。此比较器为迟滞比较器, 它在过零比较器的基础上引入正反馈 R_{12} , 其目的是抑制过零点附近的干扰。 R_{13} 和稳压管构成钳位电路, R_{13} 起分压限流作用。

3. 方波变脉冲波原理

如图 1-8 左下所示, 方波经电阻 R_{23} 送入 U_{3B} 比较器, 在无输入信号期间, 比较器的同相输入端由 12 V 电源通过电阻 R_{24} 而获得一个高于反向输入端的电压, 其值等于二极管 V_{15} 的导通电压。输出电压为一个正的直流电压。当输入电压发生正向变化时, 由于二极管的正向导通电阻很小, 电路的变化大部分降落在 R_{23} 上, 比较器的同相输入端发生的变化不大, 致使输出电压保持不变; 当输入电压发生负向变化时, 由于电容两端电压不能发生突变, 二极管反向截止, 使比较器同相输入端出现负的变化, 比较器输出发生负的跳变,

在电源电压充电的作用下，电容器右端电位逐渐升高，当同相输入端的电位过零后，输出电压迅速变为正值，直到第二个负跳变到来。输出负脉冲宽度由电容 C_3 和电阻 R_{23} 、 R_{24} 构成的时间常数决定。

4. 方波变三角波、脉冲波变锯齿波原理

方波变三角波、脉冲波变锯齿波是用积分电路实现的，如图 1-8 右下所示。由 U_{2A} 组成的积分电路在普通的积分电路的基础上加了一个直流负反馈 R_{27} ，其作用是克服运放失调和初始输出直流分量的不确定。

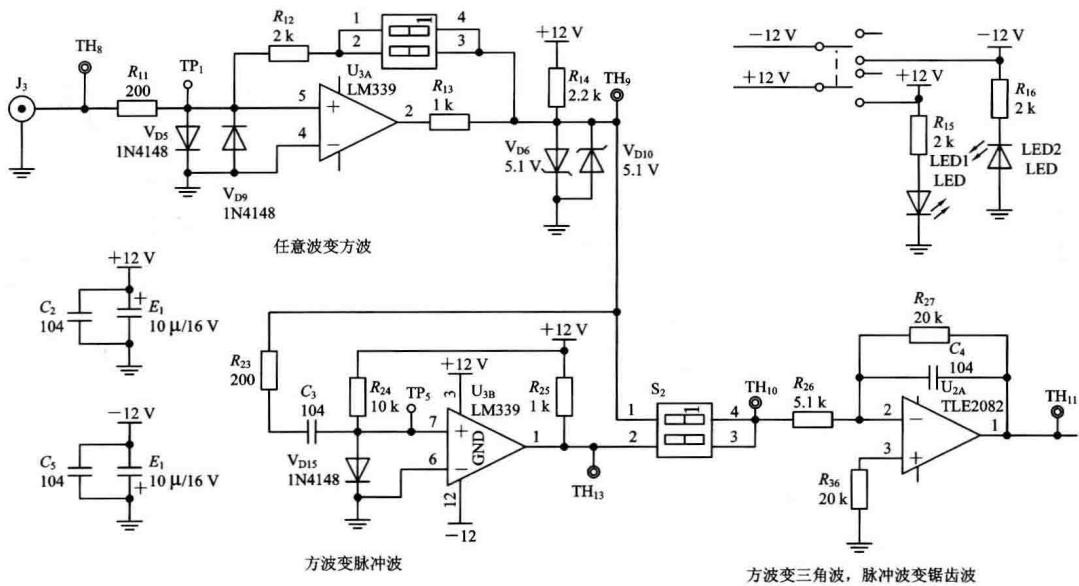


图 1-8 波形变换原理图

5. 三角波变正弦波

一个理想的二极管与一个线性电阻串联后的伏安特性可视为一条折线，如图 1-9 所示。若再将其与一个电源串联，组成二极管限幅器，则生成另一条新的折线，如图 1-10 所示。同理，用具有不同电导的二极管支路分别与不同的电源相串联，可生成各种不同的折线，如图 1-11 所示。如将多条这种电路并联组合在一起，则可生成一条由多个折点组成的具有特定函数功能的电路，并可以此来逼近某一特定的曲线，此即为二极管函数电路，如图 1-12 所示。

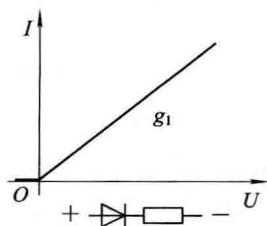


图 1-9 二极管与电阻串联

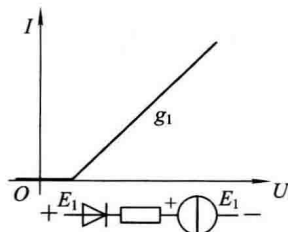


图 1-10 二极管限幅器