

通信电子线路综合实验

本章所讲述的通信电子线路综合实验,突破传统通信电子线路实验只有单元电路实验的局限性,将第 2 章的单元电路有机地串联起来,把独立功能的单元电路构建成为具有系统功能的通信电子系统。

由低电平调幅电路、高频调谐功率放大及发射电路组成调幅波发射系统,由小信号调谐放大器、晶体振荡器、晶体管混频电路、中放及检波电路、低频功放电路等组成调幅波接收系统;由变容二极管调频电路、高频功率放大及发射电路组成调频发射系统,由小信号调谐放大器、乘法器混频电路、相位鉴频器、低频功放电路等组成调频接收系统。这样就把单元电路的独立功能相互联系起来,构成一个大的通信系统功能,让实验者认识调幅通信系统和调频通信系统的构成及工作原理,形成通信电子系统的概念;通过对通信系统的调试和性能测试,培养实验者系统的思维方式和解决复杂工程问题的能力。

作为通信电子系统的一个应用实例,以拓展实验者的视野,本章编排了基于超再生检波的遥控发射与接收系统。该遥控系统被广泛地应用于汽车遥控钥匙,电路并不复杂,很容易在实验室实现,可以作为试验箱以外的补充实验。

本章的通信电子线路综合实验要比第 2 章的单元电路实验复杂得多,建议两人以上为一组分工协作,每个小组成员承担各自的责任,与小组成员相互配合,共同完成通信系统的综合性实验。

3.1 振幅调制通信综合实验

1. 实验目的

- ① 掌握振幅调制通信系统的电路组成及工作原理。
- ② 建立调幅通信发射与接收的系统概念。
- ③ 掌握振幅调制通信系统的联机调整方法。
- ④ 培养分析和解决通信系统复杂工程问题的能力。

2. 实验仪器设备

- 高频信号发生器
- 数字频率计
- 双踪示波器
- 万用表
- TPE-GP3 高频电路实验箱
- G1N、G2N、G3N、G5N、G6N 实验模块

3. 实验原理

1) 调幅发射系统

调幅发射系统框图如图 3.1 所示,由调制信号源(函数发生器)、载波信号源(晶体振荡电路)、乘法器调幅电路、高频功放及发射电路组成。

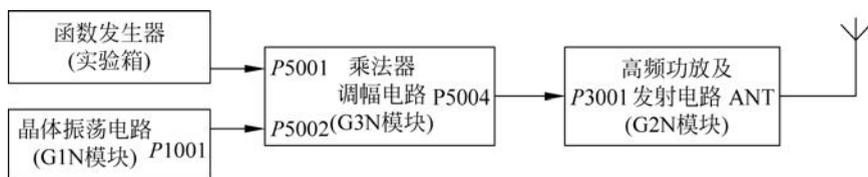


图 3.1 调幅发射系统框图

(1) 振幅调制电路。

幅度调制就是载波的振幅受调制信号的控制作周期性的变化,即载波振幅变化与调制信号的振幅成正比,振幅变化的周期与调制信号周期相同。通常称高频信号为载波信号,低频信号为调制信号,调幅器即为产生调幅信号的电路装置。

本实验的载波信号由晶体振荡电路产生,如图 2.9 所示。属于并联晶体振荡器(皮尔斯振荡器),晶体在电路中呈感性、等效为电感;振荡频率介于晶体串联谐振频率与并联谐振频率之间,近似为晶体的标称频率(10.7MHz)。

振幅调制电路如图 2.14 所示,由集成模拟乘法器 MC1496 来完成,图 2.13 为 MC1496 芯片内部电路图,电路采用了两组差动对(由 $V_1 - V_4$ 组成),以反极性方式相连接,而且两组差分对的恒流源又组成一对差分电路,即 V_5 与 V_6 ,因此恒流源的控制电压可正可负。 D 、 V_7 、 V_8 为差动放大器, V_5 、 V_6 的恒流源。

当电路进行调幅时,载波信号(频率为 10.7MHz)加在 $V_1 \sim V_4$ 的输入端,即⑧、⑩引脚之间;调制信号加在差动放大器 V_5 、 V_6 的输入端,即①、④引脚之间,②、③引脚外接 $1k\Omega$ 电阻,以扩大调制信号动态范围,已调制信号取自双差动放大器的两集电极(即⑥、⑫引脚之间)输出端。

图中 R_{p5001} 用来调节⑧、⑩引脚之间的平衡,即当有调制信号输入而没有载波信号输入时,调节 R_{p5001} 使调幅波产生电路的输出信号最小。图中 R_{p5002} 用来调节①、④引脚之间的平衡,通过调节 R_{p5002} 就可以调节普通调幅波的调制指数,当 $U_{AB} = 0V$ 时可实现抑制载波双边带调幅。调幅波信号从 MC1496 的引脚输出,三极管 $V5001$ 构成射极跟随器,以提高调幅电路的带负载能力。

(2) 调幅波的放大与发射电路。

调幅波的放大与发射电路如图 2.6 所示,用短路环短接跳线端子 $J3002$ 的②、④引脚和接跳线端子 $J3003$ 的①、②引脚,实验模块连接成调幅波放大及发射电路,集电极调制功能(被短路)失效,放大电路的电源为 $+12V$ 。 $P3001$ 输入高频载波信号, $V3001$ 为调幅波放大电路的推动级,采用 LC 调谐放大的电路形式,为末级功放电路提供足够的激励电压, $C3004$ 、 $C3005$ 、 $L3001$ 构成 T 型滤波器, $CT3000$ 和 $CT3002$ 可以微调滤波频率。 $V3002$ 构成丙类谐振功率放大电路, $R3006$ 、 $C3007$ 以及 $L3003$ 等元件构成了自给负压偏置电路。ANT 为发射天线,在天线负载和功放电路集电极之间采用变压器耦合方式,以完成负载和集电极之间阻抗变换。

当谐振功率放大器集电极回路对于信号频率处于谐振状态时(此时集电极负载为纯电阻状态),集电极直流电流 I_{C0} 为最小,回路电压 U_L 最大。然而,由于晶体管在高频工作状态时,内部电容 C_{bc} 的反馈作用明显,上述 I_{C0} 最小、回路电压 U_L 最大的现象不会同时发生。因此,不单纯采用观察 I_{C0} 的方法,而采用同时观

察余弦脉冲电流 i_c 的方法,进行放大与发射电路的调试。当谐振放大器工作在欠压状态时, i_c 是尖顶脉冲;当谐振放大器工作在过压状态时, i_c 是凹顶脉冲;而当处于临界状态下工作时, i_c 是一平顶或微凹陷的脉冲。本电路的最佳负载为 75Ω 。因此在进行电路调试时,也应以此负载为调试基础。

2) 调幅接收系统

调幅接收系统框图如图 3.2 所示。

(1) 调幅波信号接收与高频放大电路

调幅波信号的接收与高频放大电路如图 3.1 所示,接收天线连接至 $P2001$, $L2001$ 与 $C2007$ 、 $CT2002$ 组成 LC 谐振回路,谐振频率为 10.7MHz ,放大电路的输出端 $P2002$ 连接至变频电路。

(2) 一次变频电路。

变频电路由本振电路和混频电路组成。本实验用如图 2.35 所示本振电路(也可以用高频信号发生器替代),产生 17.155MHz 正弦波信号。混频电路采用晶体管混频电路,如图 2.34 所示。由高频信号发生器产生的本振信号连接到图中混频电路的输入端 $P8002$,经过图 2.1 放大后的调幅波信号连接到混频电路的输入端 $P8001$,混频后生成的第 1 中频信号频率为 6.455MHz , $C8006$ 、 $C8007$ 和 $L8003$ 组成中频滤波器。

(3) 二次变频电路。

二次变频电路由集成芯片 $MC3361$ 及其外围电路组成, $MC3361$ 是单片窄带调频接收电路,主要应用于二次变频的通信设备中。 $MC3361$ 内部由振荡电路、混频电路、噪声开关电路等几部分组成。

参照实际实验电路, $MC3361$ 芯片①、②引脚分别连接了 6MHz 石英晶体($Y7001$)和反馈电容 $C7003$ 与 $C7004$,它们与内部三极管构成了典型的并联晶体振荡器,所产生的振荡信号在芯片内部被加到混频电路中。在芯片①引脚可观察到振荡信号。

(4) 第 2 中频放大与检波电路。

调幅波的中放、检波电路如图 3.3 所示。用短路环短接跳线端子 $J1101$ 的②、③引脚, $V1101$ 组成中频放大器, $T1101$ 和 $C1104$ 组成选频调谐回路,谐振频率为 455kHz ,放大后的中频信号以变压器耦合方式接到二极管检波电路。由 $D5101$ 和 $C5101$ 、 $R5102$ 、 $C5102$ 、 $R5103$ 、 R_p5101 等组成峰值检波电路。检波信号从 $P5102$ 输出,完成调幅信号的接收。

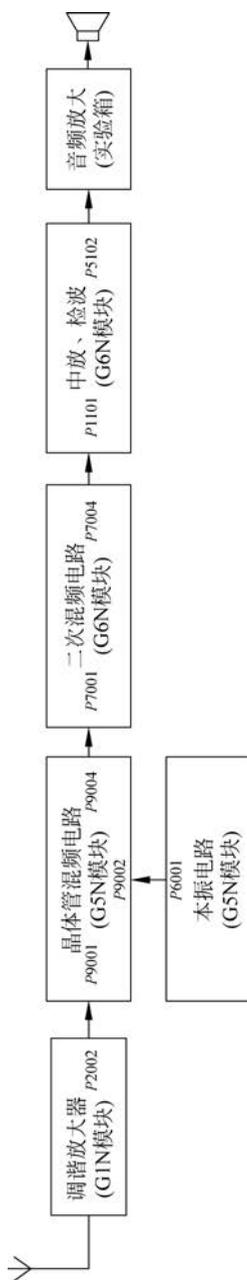


图 3.2 调幅接收系统框图

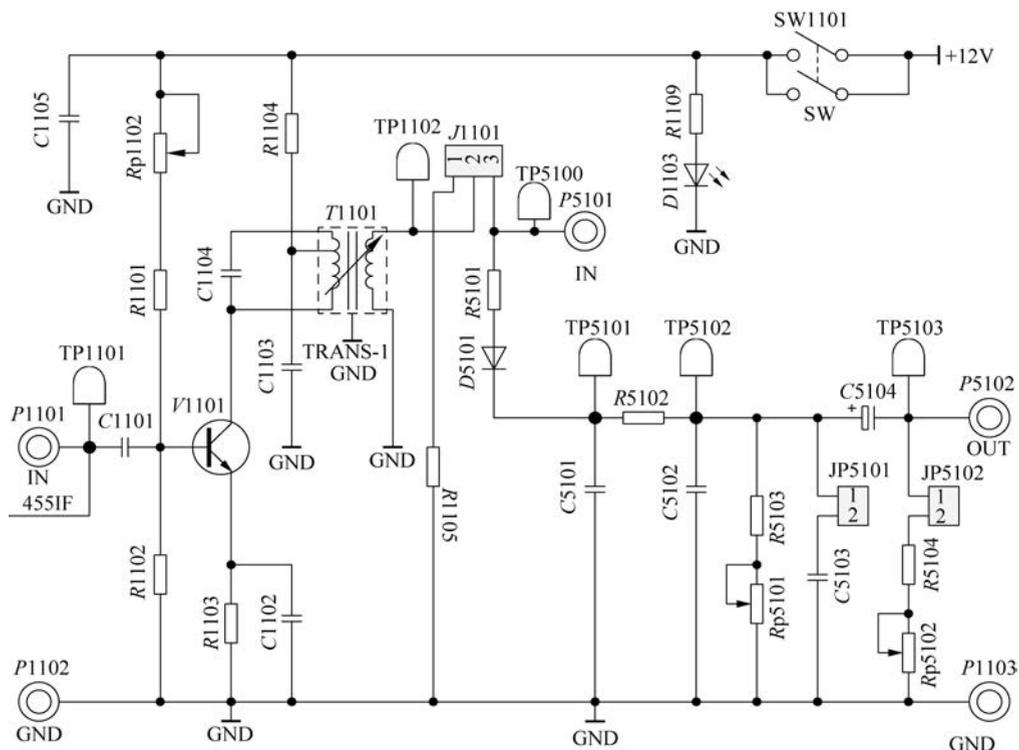


图 3.3 中放及检波电路原理图

4. 实验内容与步骤

1) 振幅调制的实现

(1) 普通调幅波的产生。

载波由晶体振荡器产生,电路如图 2.9 所示。用短路环短接跳线端子 $J1001$,并使 $S1001$ 、 $S1003$ 和 $S1004$ 开路, $S1002$ 作适当连接,使电路连接成晶体振荡器的形式。用示波器在 $M1001$ 处测试其输出波形,调整 R_{p1001} 和 R_{p1002} 使振荡器稳定输出,幅度大约为 0.4V 、频率为 10.7MHz 。用导线将该信号连接到低电平调幅模块的 $P5001$ 。

普通调幅波的产生电路如图 2.14 所示,在调制信号输入端 $P5002$ 加入峰值为 100mV 、频率为 1kHz 的正弦信号。在载波输入端设置平衡调节:在仅有调制信号输入时,调节 R_{p5001} 电位器使输出端信号最小,然后去掉输入信号。

在载波输入端 P5001 加峰值为 15mV, 频率为 11.155MHz 的正弦信号, 用万用表测量 A、B 之间的电压 V_{AB} , 调节 Rp5002 使 $V_{AB}=0.1V$, 载波信号仍为 $V_C(t)=15\sin 2\pi \times 11.155 \times 10^6 t$ (mV), 将低频信号 $V_S(t)=V_S \sin 2\pi \times 10^3 t$ (mV) 加至调制器输入端 P5002, 画出 $V_S=30mV$ 和 100mV 时的调幅波形 (标明峰-峰值与谷-谷值) 并测出其调幅度 m_a , 微调调节 Rp5002 可以获得不同的调幅度。

(2) 抑制载波双边带调幅波的产生。

先进行载波输入端平衡调节: 在调制信号输入端 P5002 加入峰值为 100mV, 频率为 1kHz 的正弦信号, 调节 Rp5001 电位器使输出端信号最小, 然后去掉调制输入信号。

调 Rp5002 使调制信号输入端平衡, 即 $V_{AB}=0V$, 并在载波信号输入端 IN1 加 $V_C(t)=30\sin 2\pi \times 10.7 \times 10^6 t$ (mV) 信号, 调制信号端 IN₂ 不加信号, 观察输出端波形。

载波输入端不变, 在调制信号输入端 IN₂ 加 $V_S(t)=100\sin 2\pi \times 10^3 t$ (mV) 信号, 观察记录波形是否为抑制载波双边带波形, 如果不能得到抑制载波双边带波形, 可能是没有调整到位, 可以细微调节 Rp5002。

2) 调幅波的功率放大与发射

(1) 调幅波功放电路的调整。

调幅波功放电路如图 2.6 所示, 按下高频功放电路的电源按键 SW3001, 此时该电路的电源指示灯发光, 表示电源已接通。用短路环分别短接跳线端子 J3003 的①、②引脚和跳线端子 J3002 的②、④引脚, 使 +12V 电源直接接入 V3002 的集电极。在 ANT 端子接上调幅波发射天线。

调幅波推动级的调整, 将示波器 1 通道测试探头连接至 M3001, 灵敏度置于 0.2V/DIV 挡 (由于探头有 10 倍衰减, 故实际相当于 2V/DIV), 用以监测推动级的输出电压波形。仔细调整 CT3001, 使推动级的输出电压最大 $[(3.5 \sim 4)V_{P-P}]$ 。

调幅波丙类功率放大器的调整, 将示波器 2 通道测试探头 (衰减 10 倍, 下同) 连接至测试点 M3003 处, 灵敏度置于 0.2V/DIV 挡 (由于探头有 10 倍衰减, 故实际相当于 2V/DIV), 用以监测功放级的输出波形。将示波器 1 通道测试探头 (衰减 10 倍, 下同) 改接至 M3004, 灵敏度置于 10mV/DIV 或 20mV/DIV 挡, 用以检测

脉冲电流。

仔细调整 CT3003,使输出回路谐振,且实现负载到集电极间的阻抗转换。观察 M3003 处的波形,应能得到失真最小的调幅波输出波形。同时观察 M3004 处的波形,在调幅波的波腹处是否得到了一个临界状态的脉冲电流波形(略有轻微凹陷的波形)。若未能观察到临界状态的脉冲电流,则需要仔细调整 CT3001、CT3002 和 CT3000,使功放级的输入达到较好的匹配状态,必要时还需适当地调整载波信号源的输出幅度,使得在调幅波的波腹期间丙类放大器工作在临界状态。

(2) 集电极振幅调制(高电平调制)与调幅波发射。

本实验也可以采用集电极高电平振幅调制发射电路。这种电路结构不需要前述的载波振荡器和乘法器振幅调制电路。

在图 2.6 电路在 12V 电源条件下,将 J3003 的短路环跳接在②、③引脚,接通 6~9V 可调电源,调整 Rp3002,使电源电压为 6V。

用短路环将 J3002 的①、②引脚和③、④引脚分别短接,使低频调制信号($f_{\Omega}=1\text{kHz}$)加至 V_{Ω} 输入端,在输出端 M3 处观察输出波形,逐渐加大 V_{Ω} 的幅度可得到调幅度近似等于 1 的调幅波形。

将电源电压调整为 9V,将低频调制信号调整为 $4.2V_{\text{P-P}}$ 左右,由于音频变压器的变压比大约为 1.41,所以实际加至集电极回路的音频电压为 $6V_{\text{P-P}}$ ($U_{\Omega\text{m}}=3\text{V}$),用包络法测量调幅度,并与计算值进行比较。载波频率为 10.7MHz,调制信号频率为 1kHz,调幅度大约为 30%,输出幅值大约为 $200\text{mV}_{\text{P-P}}$ 。

3) 调幅波的接收放大

将调幅波接收天线连接至图 2.1 所示 P2001 端子,在该调谐放大电路进行放大,可以微调 CT2002,使得放大后输出信号最大。

4) 调幅波的变频

(1) 本振信号。

本实验用高频信号发生器或实验模块(图 2.35 所示)产生本振信号,频率为 17.155MHz,输出电压大约为 $80\text{mV}_{\text{P-P}}$ 。然后将本振信号连接至图 2.34 所示的混频器的 P9002 端子(即 MC1496 的⑩引脚)。

(2) 调幅波信号。

将图 2.1 放大后的调幅波信号,接到如图 2.35 所示混频器的 P9001 端子(即 MC1496 的①引脚)。调幅波输出信号频率为 $f=10.7\text{MHz}$, $U_0=200\text{mV}$ 。

(3) 调幅波信号变频为第 1 中频信号。

在如图 2.34 所示变频电路中,将本振信号连接至混频器的 P9002 端子,将接收放大后的调幅波信号接到混频器的 P9001 引脚。输出端则得到第 1 调频中频信号,中频频率为 455kHz ,用示波器在混频电路的输出端(M9003)观察输出中频信号波形,可适当调节 T9002 使输出波形最大,失真最小。

(4) 调幅波二次变频电路。

调幅波二次变频由集成芯片 MC3361 及其外围电路组成,MC3361 是单片窄带调频接收电路,主要应用于二次变频的通信设备中。MC3361 内部由振荡电路、混频电路等几部分组成。MC3361 芯片①、②引脚分别连接了 6MHz 石英晶体(Y7001)和反馈电容 C7003 与 C7004,它们与内部三极管构成了典型的并联晶体振荡器,所产生的振荡信号在芯片内部被加到混频电路中。在芯片①引脚可观察到振荡信号,振荡频率为 6MHz 。将 J7004 的②、③引脚跨接,在 P7004 端子得到 455kHz 的调幅第 2 中频信号输出。

5) 调幅波的检波

① 在图 3.3 所示检波电路中,用短路环将跳线端子 J1101 的①、②引脚短接,使直流负载 R1105 接入电路中。

② 检波器直流工作点的调整:调整电位器 R_p1102,使晶体管 V1101 发射极电压大约为 1.2V 。

③ 将信号源的输出连接至中放电路的输入端(P1101),调整信号源,使输出信号频率为 455kHz ,幅值大约为 200mV 。

④ 将示波器探头接至 TP1102,观测波形,调整中周变压器,使输出幅度最大,且波形不失真。

⑤ 将输入信号改为调幅波(调制度 30%,调制频率 1kHz),用短路环将跳线端子 J1101 的②、③引脚短接,将示波器探头接至 TP5102 处,观测检波输出波形,并与调制信号相对照。

6) 音频信号放大

用连接线将检波后的输出信号(音频)接至实验箱的音频放大器输入端,调整音量电位器,扬声器中就可还原出 1kHz 的音响。

5. 实验报告要求

- ① 阐述调幅通信系统的电路组成及工作原理。
- ② 整理实验数据、分析实验结果。
- ③ 画出实验测试波形,比较检波输出波形与调制输入信号波形;如有差异,分析其原因。
- ④ 总结系统调试过程中出现的问题及其解决办法。

6. 问题与思考

- ① 分析调幅通信系统中调幅波的检波灵敏度与哪些因素有关?
- ② 如果检波输出信号的信噪比较差应该如何调整?
- ③ 如果调制信号的幅值太大会出现什么现象?

3.2 频率调制通信综合实验

1. 实验目的

- ① 掌握频率调制通信系统的电路组成及工作原理。
- ② 建立调频通信发射与接收的系统概念。
- ③ 掌握频率调制通信系统的联机调试方法。
- ④ 培养分析和解决调频通信系统复杂工程问题的能力。

2. 实验仪器设备

- 高频信号发生器
- 频率计
- 双踪示波器
- 万用表
- 高频毫伏表