

信息传输技术 实验指导书

■ 陆荣春 陈惠民 赵东东 编

■ 上海交通大学出版社



信息传输技术 实验指导书

陆荣春 陈惠民 赵东东 编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本指导书共有十八个实验,包括模拟信号的调制和解调,模数转换,数字信号的基带传输,数字信号的调制、解调和同步锁相环路的特性测试以及通信系统的实验室模拟等。这些实验既可单独开设,也可经适当组合,构成一个简单的通信系统。

本书可供理工科院校无线电通信类、无线电技术和电子工程等专业实验使用,也可供有关专业的研究生和工程技术人员参考。

信息传输技术实验指导书

上海交通大学出版社出版
(淮海中路1984弄19号)

新华书店上海发行所发行
上海交通大学印刷厂印装

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 8.75 字数 210000

1987年1月 第1版 1987年1月 第1次印刷

印数 1—3000

统一书号: 17324·25

科技书目: 140—250

定价: 1.45 元

前 言

本书是通信类专业的实验教材。它是以上海科技大学无线电工程教研室多年来开设的专业实验为基础而编写的。本书可供理工科院校无线电通信、无线电技术和电子工程等专业作实验试用教材，也可供同类专业研究生和工程技术人员参考。

本书共计十八个实验。内容大致可分为以下几个部分：（1）模拟信号的调制和解调，（2）模数转换，（3）数字信号的基带传输，（4）数字信号的调制、解调和同步，（5）锁相环路的特性测试，（6）通信系统的实验室模拟等。这些实验既可以单独开设，也可经适当组合，构成一个简单的通信系统。这样，不但可使学生了解通信技术中的一些重要原理，而且能使他们建立一个完整的系统概念。根据教学内容的安排，上述实验可以有选择地开设，每次实验时间约为三小时。

根据目前我国元器件的实际情况，本书中的实验基本上采用晶体管分立元件电路，少数采用了集成电路。为了反映电子计算机在通信中的应用，本书实验十八给出了一个应用计算机研究通信系统问题的实例。由于通信系统的实验室模拟所需设备较多，所以实验十七和实验十八可作为演示实验开设。实验中有一些专用辅助设备，如伪随机序列发生器、噪声发生器等，它们的工作原理和线路均作为附录列于书末。附录中还给出了一些实用的数据表和实验所用部分集成电路引线排列图。

本书实验一至实验七由陆荣春同志编写，实验八至实验十三、实验十七、实验十八和附录由陈惠民同志编写，实验十四至实验十六由赵东东同志编写。胡华春同志对部分实验提出了宝贵的意见。

本书由上海交通大学电子工程系韩声栋同志审稿，责任编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动。在此一并表示衷心感谢。

由于水平有限，编写时间仓促，书中缺点错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者 1985.1

目 录

实验一	调幅信号的产生及检波	1
实验二	双边带(DSB)和单边带(SSB)信号的产生	6
实验三	频分复用(FDM)的实现	12
实验四	调频和鉴频	16
实验五	抽样和保持	20
实验六	脉冲编码调制(PCM)及其译码	23
实验七	增量调制(ΔM)编译码器	33
实验八	数字基带波形的时域形成	38
实验九	相对移相键控(DPSK)调制器	43
实验十	相对移相键控(DPSK)信号相干解调器	50
实验十一	相对移相键控(DPSK)信号的最佳接收	54
实验十二	移频键控(FSK)调制解调器	59
实验十三	数字锁相环提取位同步信号	69
实验十四	锁相环(PLL)部件特性测试	75
实验十五	锁相环(PLL)闭环特性测试	81
实验十六	移频键控(FSK)信号数字锁相环(DPLL)解调器	88
实验十七	实验室模拟简易数字通信系统(示教)	96
实验十八	计算机模拟简单数据传输系统(示教)	101
附录A	伪随机码发生器简介	113
附录B	随动同步式误码测试仪原理简介	115
附录C	噪声发生器电路简介	120
附录D	绝对电平与功率、电压(600Ω)对照表	122
附录E	误差函数表	125
附录F	本书实验所用部分集成电路引线排列图	130

实验一

调幅信号的产生及检波

一、实验目的

1. 了解调幅信号的产生及包络检波的物理过程。
2. 研究调幅系数的变化对调制的影响。
3. 了解调幅系统带宽及通信的过程。

二、实验原理

1. 调制

幅度调制是无线电通信中最常用的调制之一，普通的调幅广播就是它的典型应用。

幅度调制的原理是用低频调制信号(如话音)控制高频正弦振荡的振幅，使其“携带”低频信号，从而进行信息传输。

设高频正弦振荡载波为

$$s(t) = A_0(\cos\omega_c t + \varphi_0), \quad (1-1)$$

式中， A_0 为载波幅度； ω_c 为载波角频率； φ_0 为载波初相位，并令 $\varphi_0 = 0$ 。

设低频调制信号为

$$m(t) = B_0 \cos\omega_m t, \quad (1-2)$$

式中， B_0 为低频调制信号幅度， ω_m 为它的角频率。

调幅时，高频载波振幅 A 随低频调制信号规律变化，即

$$A = A_0 + B_0 \cos\omega_m t = A_0(1 + \frac{B_0}{A_0} \cos\omega_m t) = A_0(1 + m \cos\omega_m t), \quad (1-3)$$

式中， $m = \frac{B_0}{A_0}$ 称为调幅系数(或称调幅度、幅度调制系数)，它表示高频载波振幅的最大变化量占未调幅时振幅的百分比。 m 越大，调制越深，高频载波所“携带”的低频信号功率也就越大。为使已调波包络形状与调制信号一致，必须满足 $m \leq 1$ 。当 $m > 1$ 时，称为过调幅，此时波形产生失真。见图 1-1。

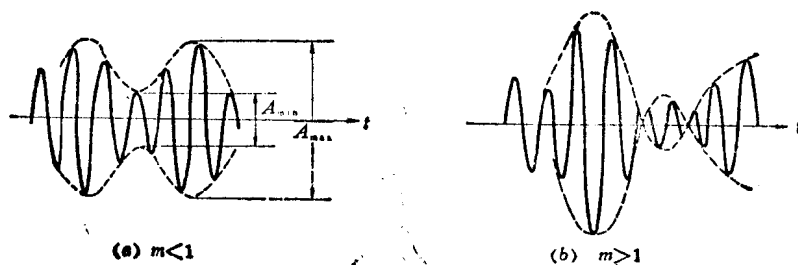


图1-1 不同 m 值时的已调波波形

如测出调幅波的最大幅值 $A_{\max}$ 和最小幅值 $A_{\min}$, 则调幅系数

$$m = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \times 100\% \quad (1-4)$$

将式(1-1)中的载波幅度用式(1-3)表示, 得已调波表示式, 展开后得

$$\begin{aligned} s(t) &= A_0(1 + m\cos\omega_m t)\cos\omega_c t \\ &= A_0\cos\omega_c t + mA_0\cos\omega_m t \cdot \cos\omega_c t \\ &= A_0\cos\omega_c t + \frac{m}{2}A_0\cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{m}{2}A_0\cos(\omega_c - \omega_m)t. \end{aligned} \quad (1-5)$$

上式表明, 已调波含有载频和边带两部分, 其中 $(f_c + f_m)$ 为上边带, $(f_c - f_m)$ 为下边带。

调幅波的频带宽度

$$B_{AM} = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m. \quad (1-6)$$

将高频等幅振荡和低频调制信号同时加入调幅电路, 它的输出就是调幅波。调幅器常采用晶体三极管电路, 一般有基极调幅电路、发射极调幅电路、集电极调幅电路以及综合以上任两种方法的组合电路。本实验采用集电极调幅电路实现小功率调幅, 具体线路如图 1-2 所示。

2. 检 波

将调制在载波上的低频信号取出的过程称为解调。调幅波的解调通常采用检波器, 图 1-3 就是一个典型的包络检波器。

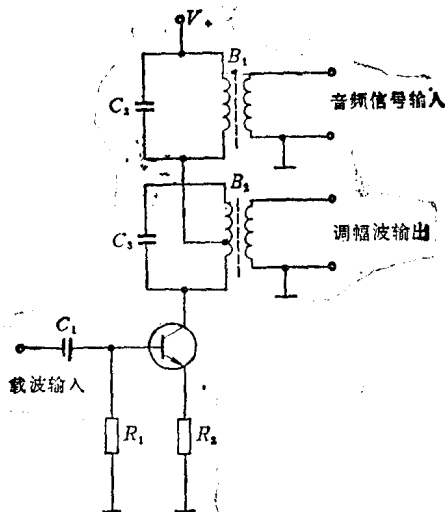


图1-2 集电极调幅电路

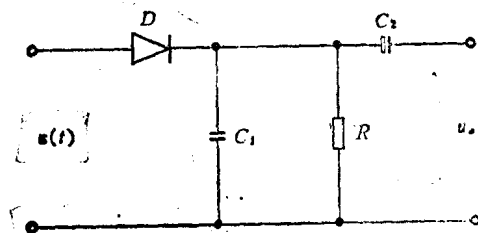


图1-3 包络检波器

当调幅波加于检波器时, 在载波的正半周, 二极管导通, 一部分电流使电容 C 充电, 充电时间常数为 rC (r 为二极管导通电阻, 一般 r 远小于负载电阻 R)。随着电容 C 被充电, 输出电压 u_0 随之增加。在输出电压 u_0 大于输入电压 $s(t)$ 时间内, 二极管截止, 电容 C 经电阻 R 放电, 时间常数为 RC 。由于放电时间常数 RC 远大于充电时间常数 rC , 所以电容

C 上的电荷还未放完时, 下一个电压正半周又开始了, 电容器再次充电。只要适当选择 $RC \gg rC$ (一般取时间常数 RC 为低频信号中最高频率周期的 $1/5 \sim 1/3$), 就可使电容 C 两端充电电压 u_0 的幅度与 $s(t)$ 相接近。因输入信号 $s(t)$ 为一调幅波, 输出 u_0 就随着调幅波的包络线而变化, 从而得到低频调制信号。

本实验原理框图如图 1-4 所示, 电原理图如图 1-5 所示。

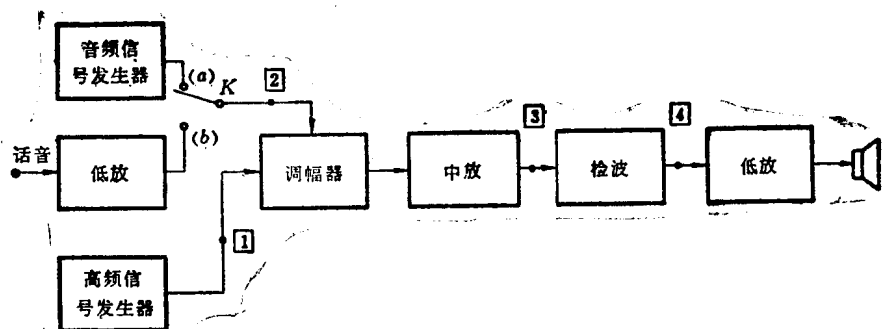


图1-4 调幅及检波原理框图

图中，当开关 K 接点 (a) 时，调幅器输入音频信号 $m(t)$ ，进行实验参数测量；当 K 转接点 (b) 时，调幅器输入经放大的话音信号，中放级将调幅波放大供检波，低放级将话音信号放大以推动喇叭。

三、实验步骤

1. 接好各仪器、电源与实验电路板间的连线，预热音频信号发生器、高频信号发生器、示波器和选频电平表。

2. 调幅器输入端①(见图1-5，下同)加高频信号作为载波，频率 $f_c = 465\text{kHz}$ ，幅度 A_0 为某一定值(设 $A_0 = 1\text{V}$)。调幅器集电极变压器耦合输入端②接音频信号，取信号频率 $f_m = 4\text{kHz}$ ，开关 K 接点 (a)。

3. 调音频信号发生器幅度 B_0 为一定值，(设 $B_0 = 0.2\text{V}$)。把示波器探头接在中放输出测试点③，观察调幅器输出波形，并画下该波形。

4. 测量调幅系数。改变音频信号振幅值 B_0 ，用示波器观察调幅波的相应变化，同时记下调幅波的最大值 $A_{\max}$ 和最小值 $A_{\min}$ ，计算相应的调幅系数 m ，填入下表：

$B_0(\text{V})$	0.1	0.2	0.4	0.8	1.0	1.5
$A_{\max}(\text{V})$						
$A_{\min}(\text{V})$						
$m(\%)$						

5. 测量调幅系统频带。适当选取音频信号幅值 B_0 ，使调幅系数 $m = 30\%$ 左右。用选频电平表(阻抗 600Ω)跨接测量调幅器输出信号波形(测试点③)的频谱，记下它的频率和幅值。

6. 观察检波波形。参考步骤4，用示波器测量检波器输出端(测试点④)。当音频信号幅度 B_0 取不同数值时，观察并画下检波波形，注意当 $B_0 > A_0$ 时的检波波形。

7. 话音信号试听。开关 K 转接点 (b)，用话音信号代替音频信号发生器(可对话筒讲话或放录音)，末级功放用耳塞或喇叭收听，进行调幅系统话音通信实验。

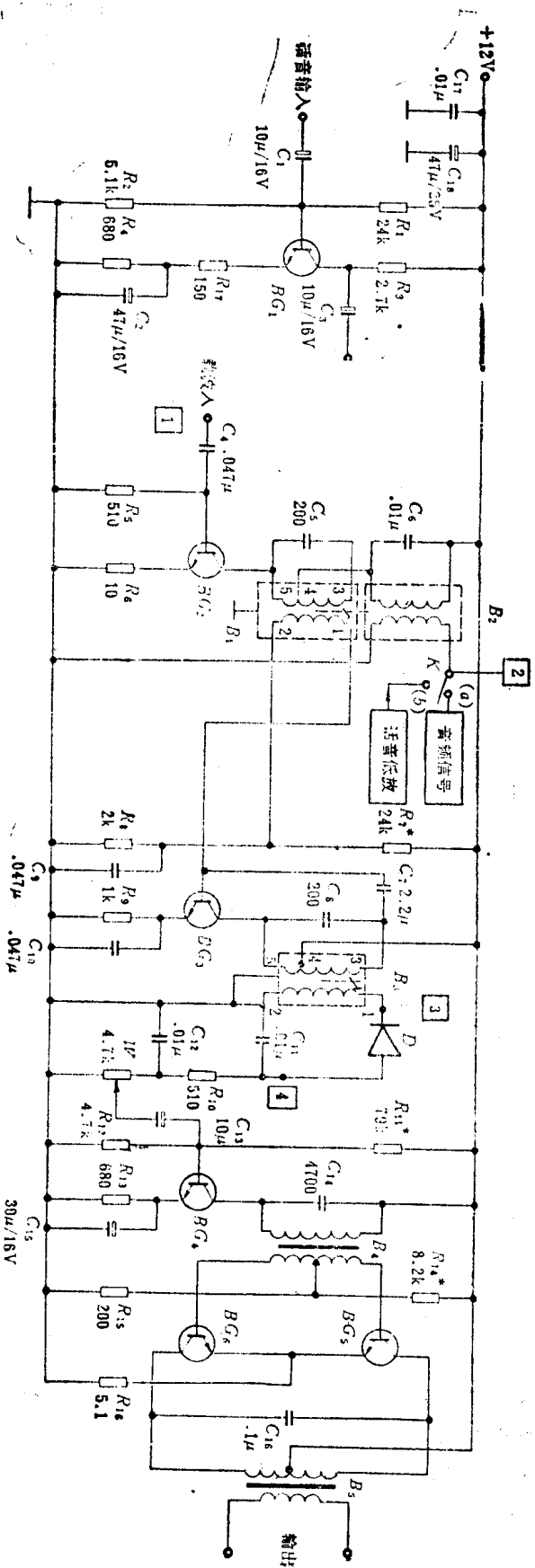


图1-5 调谐及检波电路原理图

图中: $BG_1, BG_2 \sim BG_6$ 晶体三极管 3DG6

BG_3 晶体三极管 3DG4

D 晶体二极管 2CP10

实验仪器和设备

- | | |
|--------------------|----|
| 1. 音频信号发生器 | 一台 |
| 2. 高频信号发生器 (XFG-7) | 一台 |
| 3. 选频电平表 (UD5) | 一只 |
| 4. 直流稳压电源 +12V | 一台 |
| 5. 话筒、耳塞(或喇叭) | 一套 |

五、实验报告内容

1. 根据实验测试记录, 画出调幅波波形及检波波形。
2. 根据表格记录数值, 计算调幅系数 m 。
3. 根据实验测试记录, 画出调幅波频谱并计算它的带宽 B_{AM} 。

六、思考题

1. 在实验步骤 5 中, 若低频调制信号占有一定频带, 最高频率为 f_H , 试画出其调幅波的频谱, 并计算带宽。
2. 调幅波的边带功率与总功率之比称为调制器的效率, 用 η 表示。若要使调制达到最大效率 η_{max} , 则调幅系数 m 应为多少?
3. 除集电极调幅器外, 调幅器还有哪些类型? 简要说明它们各有什么特点。
4. 检波有大信号检波与小信号检波之分, 它们有什么区别? 本实验属于何种类型?

七、参考书目

- [1] 南京大学物理系应用电子学教研室编:《电子电路实验》, 人民教育出版社, 1980 年
- [2] 清华大学通信教研组编:《高频电路》下册, 人民邮电出版社, 1980 年

实验二

双边带 (DSB) 和单边带 (SSB) 信号的产生

一、实验目的

1. 了解抑制载波双边带调幅(AM—DSB/SC)信号的产生方法。
2. 了解用滤波法产生抑制载波单边带调幅AM—SSB/SC)信号的方法。

二、实验原理

在一般常规调幅波中,是包含载波分量的。载波的存在,浪费了很大一部分发送功率,这是因为载波不传送任何有用信息,信息仅存在于上、下两个边带中。为了节省发射功率,提高发射效率,将载波抑制,可只发送两个边带,这就成为抑制载波双边带调幅信号,简称为双边带信号。同时,因两个边带携带相同的信息,为提高频带利用率,在工程上又往往只发送一个边带,成为抑制载波单边带调幅信号,简称为单边带信号。

1. DSB 信号的产生方法

将音频调制信号 $m(t)$ 与高频正弦载波信号 $s(t)$ 相乘, 其输出就是 DSB 信号, 记为 $s_D(t)$, 见图2-1。

相乘器是一个环形平衡调制器。图2-2是它的电路图。在载波的正半周, D_1 和 D_2 导通,

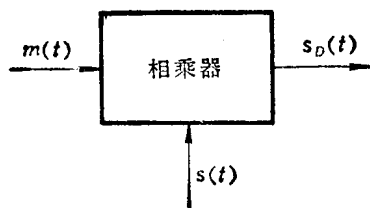


图2-1 DSB信号产生框图

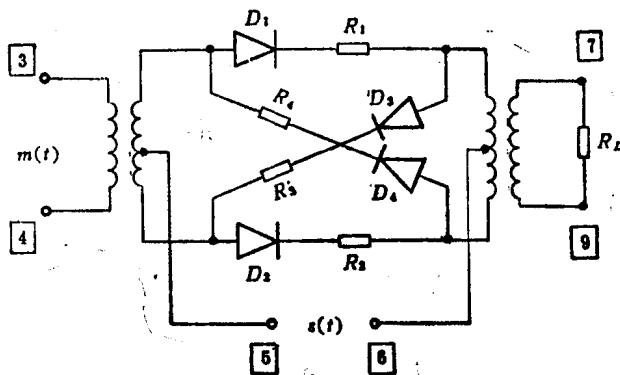


图 2-2 平衡调制器

输入信号 $m(t)$ 在负载 R_L 上产生一定方向的电压; 在载波的负半周, D_3 和 D_4 导通, $m(t)$ 在负载 R_L 上产生反方向电压。所以四个二极管在载波电压控制下, 如同一个双向开关, 开关每秒倒换次数与载频相同。在调制过程中, 为避免产生寄生频率, 要求四只二极管具有相同的开关特性, 且工作在折线特性状态。载频信号振幅电平应比调制信号电平高很多, 因而调制信号电平不宜过高。

设高频正弦载波为

$$s(t) = A \cos(\omega_c t + \varphi_0), \quad (1-1)$$

式中, 令振幅 $A=1$, 初相 $\varphi_0=0$, 则 DSB 信号的时间表达式为

$$s_D(t) = m(t) \cos \omega_c t. \quad (1-2)$$

DSB信号的时间波形见图2-3。

设 $m(t)$ 的频谱为 $M(\omega)$, $s_D(t)$ 的频谱为 $S_D(\omega)$, 则有

$$S_D(\omega) = M(\omega - \omega_c) + M(\omega + \omega_c). \quad (1-3)$$

显然, $M(\omega - \omega_c)$ 和 $M(\omega + \omega_c)$ 分别是 $M(\omega)$ 的线性搬移。 $S_D(\omega)$ 的示意图见图2-4。其中(a)是 $m(t)$ 为单频正弦波的频谱, 即 $m(t) = m_0 \cos \omega_m t$; (b)是 $m(t)$ 为占有一定带宽的低频信号的频谱, 如语音信号等。

2. SSB信号的产生方法

产生SSB信号的主要方法有两种: 移相法和滤波法。本实验采用滤波法产生SSB信号。将已产生的双边带信号通过一个带通滤波器(见图2-5), 根据该滤波器传递函数 $H(\omega)$ 的不同, 可分别得上边带信号或下边带信号。SSB信号的时间表达式为

$$s_s(t) = m(t) \cos \omega_c t \mp \hat{m}(t) \sin \omega_c t, \quad (1-4)$$

式中, $\hat{m}(t)$ 是低频调制信号 $m(t)$ 的所有频率

成分都移相 $-\frac{\pi}{2}$ 后的信号, 称为 $m(t)$ 的希尔伯特(Hilbert)信号。符号取“-”为上边带, 取“+”为下边带。

SSB信号的频谱表达式为

$$\text{上边带 } S_s(\omega) = M(\omega - \omega_c)U(\omega - \omega_c) + M(\omega + \omega_c)U(-\omega - \omega_c), \quad (1-5)$$

$$\text{下边带 } S_s(\omega) = M(\omega - \omega_c)U(-\omega + \omega_c) + M(\omega + \omega_c)U(\omega + \omega_c), \quad (1-6)$$

式中, $M(\omega - \omega_c)$ 和 $M(\omega + \omega_c)$ 意义同DSB中的表示, $U(\omega)$ 为频域单位阶跃函数。SSB信号的频谱见图2-6, 其中(a)为上边带, (b)为下边带。

在本实验中, 载波为正弦波, 载频 $f_c = 100\text{kHz}$ 。低频调制信号 $m(t)$ 为单频正弦波。为方便制作, SSB形成滤波器取 $f_m = 20\text{kHz}$ 。经调幅后, 产生的上、下两个边带也为单一频率的信号, 上边带频率 $f_{\text{上}} = 120\text{kHz}$, 下边带频率 $f_{\text{下}} = 80\text{kHz}$ 。SSB形成滤波器取中心频率为 $(f_c + f_m)$ 或 $(f_c - f_m)$, 并占有一定带宽。因实验中取的是下边带, 且是单一频率, 所以滤波器为由LC组成的单调谐回路, 中心频率取 80kHz , 带宽取 $\pm 2.5\text{kHz}$ 。

本实验的电原理图见图2-7。低频调制信号 $m(t)$ 经跟随器 BG_1 加于变压器[3][4]端, 载频信号 $s(t)$ 经跟随器 BG_2 输入到环形平衡调制器[5][6]端。从测试点[7]和[8]可分别测得DSB信号和SSB信号。调制器中电容 C_0 作高频旁路用, 将不必要的高频干扰信号短路; 电阻 R_{11} 起改善调制器输出阻抗的作用; 四只二极管各串接的电阻及变压器 B_2 中心抽头接入的低阻电位器,

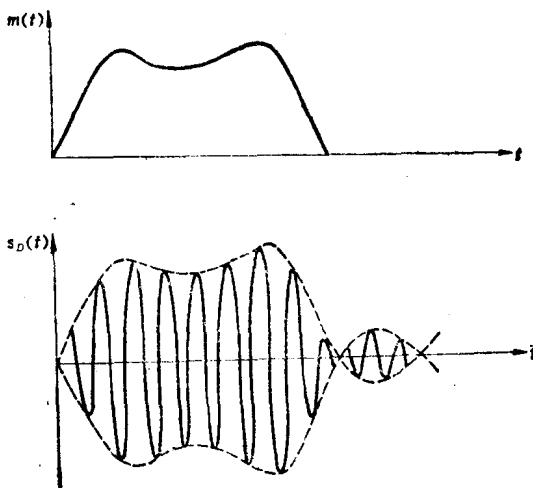


图 2-3 DSB信号的时间波形

其作用为减少载漏, BG_3 、变压器 B_3 以及电容 C_8 组成产生SSB信号的带通滤波器。

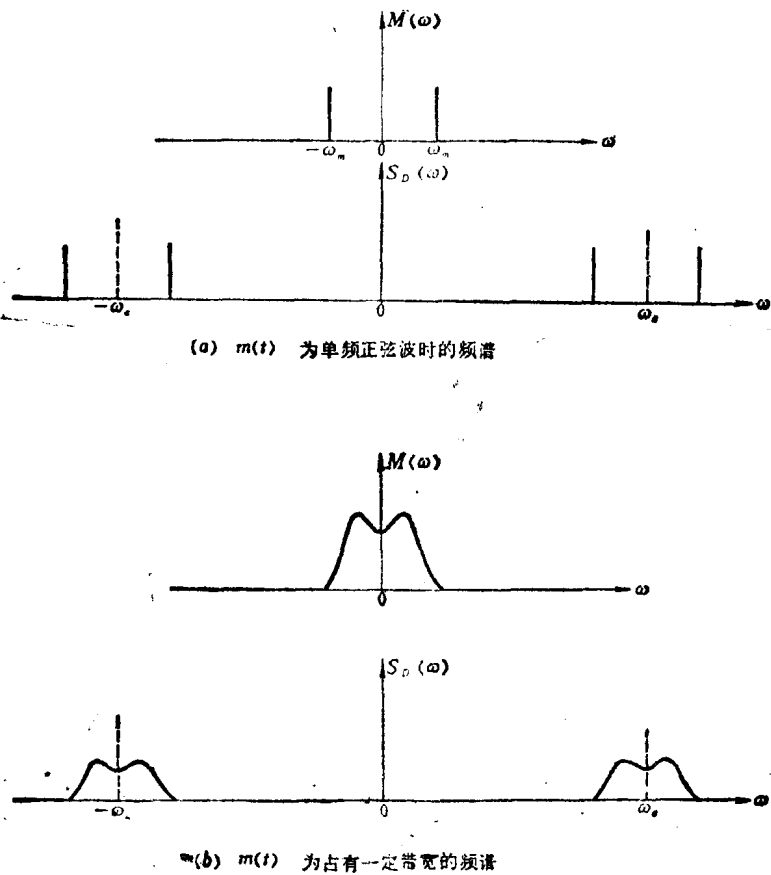


图 2-4 DSB信号的频谱

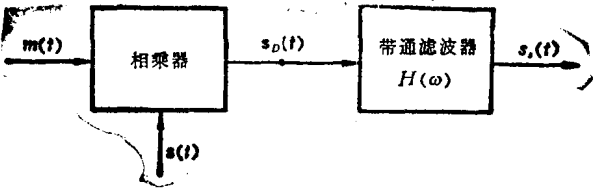


图2-5 SSB信号产生框图

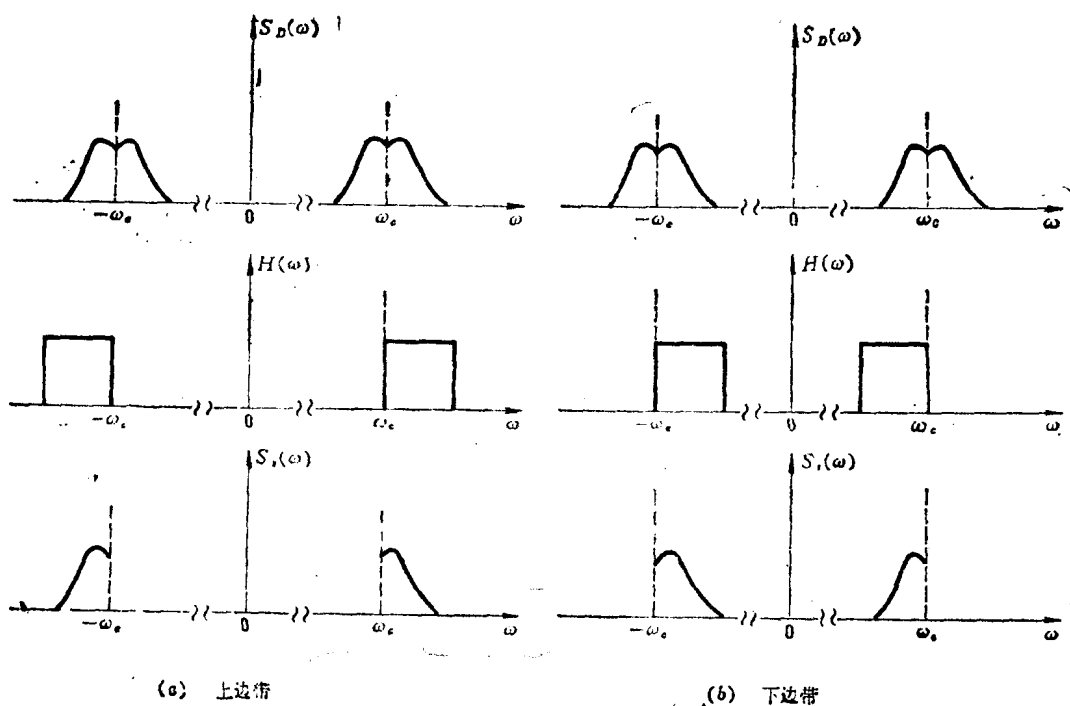


图 2-3 SSB信号的频谱

三、实验步骤

1. 预热信号发生器,选频电平表和示波器。接好仪器、电源和实验电路板连线,注意电源极性和接地线。

2. 将一台音频信号发生器输出的信号作为调制信号加于输入端①(见图2-7,下同),调信号频率 $f_m = 20\text{kHz}$,用选频电平表(阻抗置于 600Ω)跨接变压器两端点③和④,调信号振幅电平为 -0.5Np (Np ——奈培,下同),示波器测量电压峰值约 0.7V 。

3. 将另一台音频信号发生器输出的信号作为载波加于输入端②,调载频 $f_c = 100\text{kHz}$,用选频电平表(阻抗 600Ω)跨接平衡调制器两端点⑤和⑥,调信号振幅电平为 0.5Np ,示波器测量电压峰值约 1.8V 。

4. 用示波器接平衡调制器输出端⑦,观察输出的DSB信号波形,并画下简图。

5. 用选频电平表(阻抗 600Ω)跨接调制器输出端⑦和⑧,测量DSB信号的上边带、下边带及载频的频率和幅度。

6. 用示波器接带通滤波器输出端⑧,观察输出的SSB信号波形。

7. 用选频电平表(阻抗 600Ω)跨接线路输出端⑧和⑨,测量带通滤波器输出信号的下边带频率和幅度,同时测量上边带和载频值。

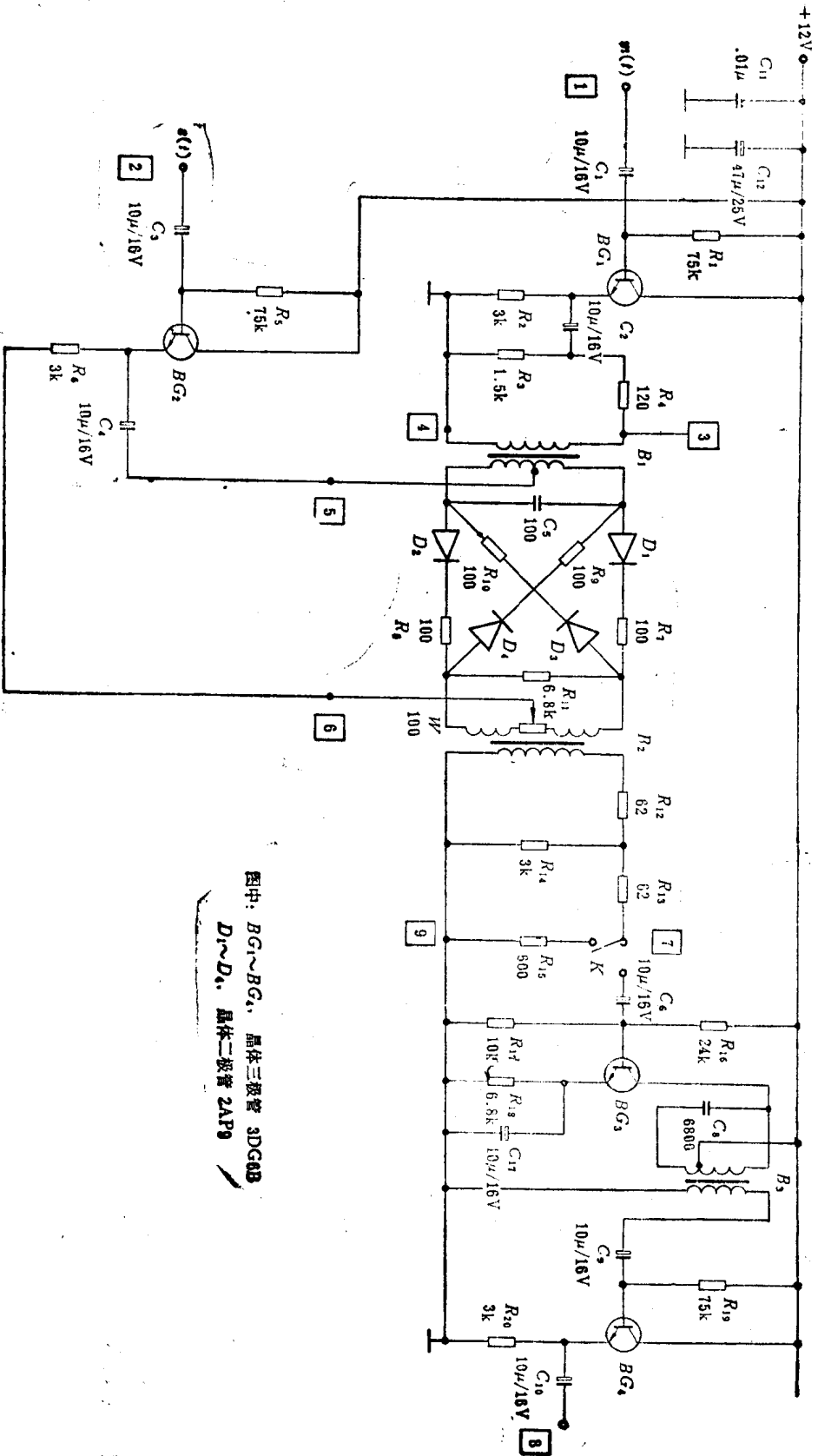


图2-7 DSB和SSB信号产生电路原理图

图中: $BG_1 \sim BG_6$, 晶体三极管 3DG6B
 $D_1 \sim D_4$, 晶体二极管 2AP9

四、实验仪器和设备

- | | |
|-----------------|----|
| 1. 音频信号发生器 | 两台 |
| 2. 选频电平表(UD5) | 一只 |
| 3. 示波器 | 一台 |
| 4. 直流稳压电源 + 12V | 一台 |

五、实验报告内容

1. 根据实验测试记录,分别作DSB信号和SSB信号的频谱图。
2. 设载波 $s(t) = s_0 \cos \omega_c t$, 低频调制信号 $m(t) = m_0 \cos \omega_m t$ 。根据实验步骤2、3给出的数据,计算DSB信号和SSB信号的频谱,并与实验步骤5、7所得结果进行比较。

六、思考题

1. 实验中取载波振幅电平远大于低频调制信号 $m(t)$ 的振幅电平,为什么?
2. 在理想的DSB信号和SSB信号中,载波分量是被抑制的。实验中测出的载波分量称为载漏,载漏的大小可用载漏电压电平衰减来衡量,其公式如下:

$$b_{\text{载漏}} = \ln \frac{S_F}{S'_F},$$

式中, S_F 为变压器 B_1 、 B_2 中心抽头两端的载波电压, S'_F 为载波漏至变压器 B_2 次级的输出电压。一般要求 $b_{\text{载漏}}$ 越大越好。试求出该值,并分析它是如何产生的,如何提高载漏电压电平衰减值。

3. DSB已调波与AM已调波有何区别?

七、参考书目

- [1] 北京邮电学院多路通信教研室编:《载波通信原理》上册,人民邮电出版社,1978年。
- [2] 南京工学院无线电工程系编:《电子线路》第四册,人民教育出版社,1980年。

实验三

频分复用(FDM)的实现

一、实验目的

1. 了解模拟通信多路传输的频分复用技术。
2. 了解12路载波机的复用技术。

二、实验原理

1. 基本原理

在模拟通信系统中,为充分利用信道频带,将多路信号按频率划分共用一个信道进行传输,这就是频分复用技术。在工程中大多采用抑制载波单边带调幅方式(简称单边带)。本实验采用的BZ-12型晶体管载波机,就是一个FDM-SSB通信系统。它可以同时传送12路话音信号,话音频带为 $0.3\sim 3.4\text{kHz}$,保护频带为 0.9kHz ,每路占用信道带宽为 4kHz 。

在BZ-12型载波机中,12个话路音频频带分成四个小群,它们分别是1、2、3, 4、5、6, 7、8、9和10、11、12。每个小群中的三个话音频带分别用12、16、20kHz的载频进行分路变频,称为分路调制。再经带通滤波器取其上边带,形成占有频带为 $12\sim 24\text{kHz}$ 的四个前群。而后,再进行第二次变频,将四个前群分别进行前群调制。第1、2、3路为第一前群,用载频 120kHz 调制;第4、5、6路为第二前群,调制载频为 108kHz ;第三前群7、8、9路和第四前群10、11、12路的调制载频分别为 96kHz 和 84kHz 。再由带通滤波器取其下边带,组成频带为 $60\sim 108\text{kHz}$ 的基群。前群和基群的频谱分配如图3-1所示。

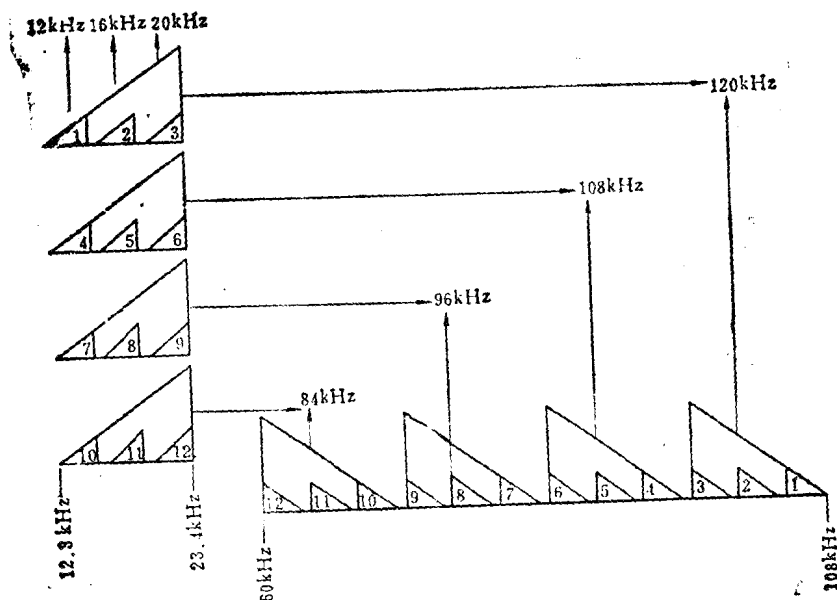


图3-1 前群和基群的频谱分配图