

# 高频电子线路实验

电工电子实验中心  
电子线路实验室

# 课时安排

- 实验一：仪器使用（半天）
- 实验二：高频谐振功率放大器（半天）
- 实验三：高频**LC**、压控及晶体振荡器（半天）
- 实验四：模拟乘法器实验（一天）
- 实验五：相位鉴频器实验（半天）
- 实验六：操作考试（1小时）

# 课程特点

- 相对低频实验而言，电路和使用的仪器处理信号的频率更高。
- 需考虑实际电路的分布参数。
- 需充分考虑仪器及连接线分布电容对被测电路的影响。

# 课程考核

- 平时成绩**70%**，考试**30%**。考试为操作。
- 平时成绩包括当场验收和实验报告成绩。
- 当场验收成绩由任课老师在学生做完实验后根据学生表现和实验正确与否给出，并当场在原始记录纸上加盖任课老师的实验成绩专用章，返还给学生。学生交实验报告时，应一并将此成绩单附上。无教师印章的原始记录纸，该实验成绩为**0**。

# 实验须知

- 上课前预习实验指导书，大致了解实验内容。
- 不得迟到、早退，有病有事须事先请假。
- 按照编好的实验小组对号入座，以后每次试验座位要相对固定下来。
- 实验前要清点工具和器材，如有缺少或损坏应及时报告。

# 实验须知

- 未经许可不得随意拿走别人或老师的工具和器材。
- 实验中应严格按照实验步骤正确操作，如因个人操作不当引起的仪器损坏，应由个人负责。
- 注意安全。
- 每次实验结束，应有值日生打扫卫生。

# 实验报告要求

- 实验报告必须在做下次实验时交来。
- 报告内容应符合指导书中的规定，一般包括实验内容、**实验电路图**、实验数据（原始数据和整理后的数据）、必要的曲线和波形，理论计算、理论与实际结果的分析比较以及本次实验的结论等。
- 实验中出现的问题和解决方法。
- 收获、体会、意见和建议。

# 实验一

## 仪器使用



# 实验目的

- 了解常用高频实验仪器的技术指标。
- 理解常用高频实验仪器的工作原理。
- 掌握常用高频实验仪器的使用方法。

# 常用高频实验仪器

- QF1056B型信号发生器
- COS5020TM型双踪示波器
- NFC—1000C—1多功能计数器
- DA22A型超高频毫伏表
- BT3C频率特性测量仪

# 仪器一

## QF1056B型信号发生器



# QF1056B型信号发生器

- **QF1056B**型信号发生器是一种锁相信号发生器，它包括音频频率计、音频信号发生器及射频信号发生器，能产生**10Hz~39.9999MHz**的频率信号。
- 射频信号具有载波，**AM**，**FM**输出功能，有较高的载波频率稳定度及频率精确度。
- 载波频率由**6位LED**数字显示，输出电平可以用**V**，**mV**，**μV**或**dBm**直接读出，并由步进衰减器与连续细调衰减器相互组合控制调节。

# 主要技术指标

- 工作频率范围：10Hz~39.9999MHz
- 载波频率范围：0.1~39.9999MHz
- 载波输出幅度范围：**0.3 μV ~ 1V**（**-117 ~ +13dBm**，在**50 Ω**负载上）

dBm是“dB毫瓦”的简称。“0dBm”定义为在50 Ω负载上获得1毫瓦功率所对应的电压（224mV）。

在50 Ω负载上，电压X的dBm值为

$$20\lg \frac{X}{0.224} \text{ (dBm)}$$

# 射频特性

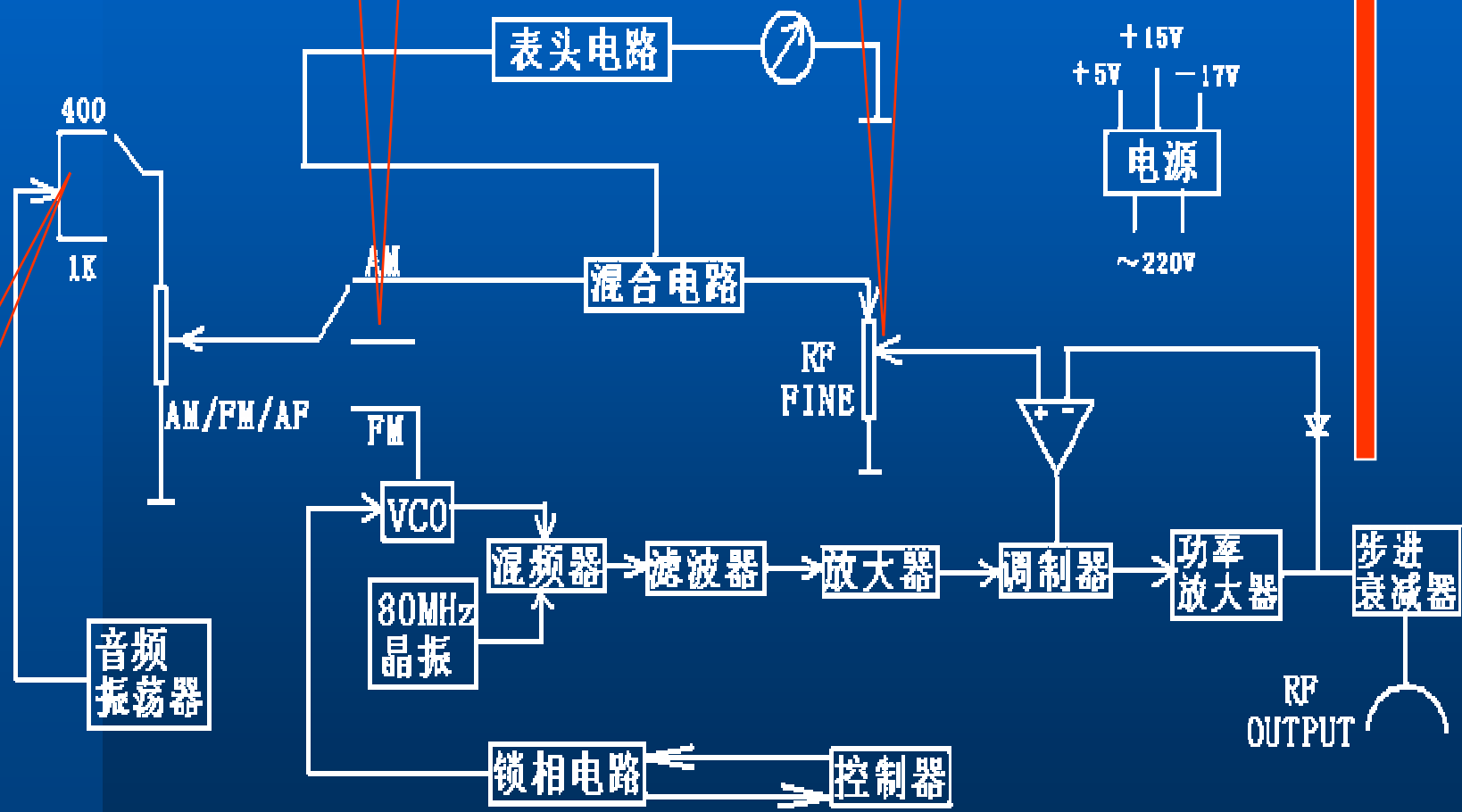
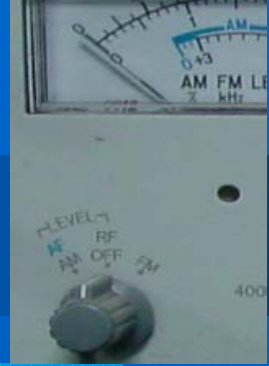
- 调幅范围：**0~90%**（载波电平指示表头在**AM**范围内）
- 量程：**0~10%**，**0~30%**，**0~100%**
- 调频范围：**0~100kHz**
- 量程：**0~10 kHz**，**0~30 kHz**，**0~100 kHz**

# 工作原理图

状态选择开关

射频输出细调旋钮

音频选择开关



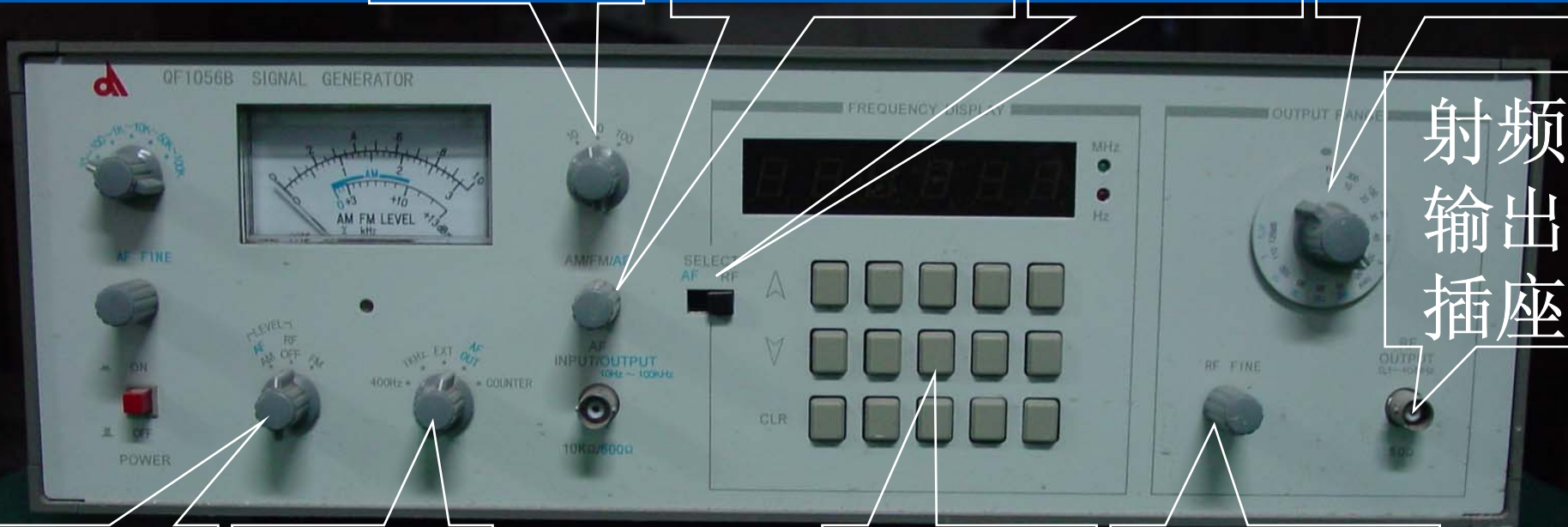
# 仪器面板

表头量  
程开关

AF/AM/FM  
细调旋钮

频段选  
择开关

射频输  
出量程



射频  
输出  
插座

状态选  
择开关

音频选  
择开关

载波频  
率设定

射频输出  
细调旋钮



# 使用方法

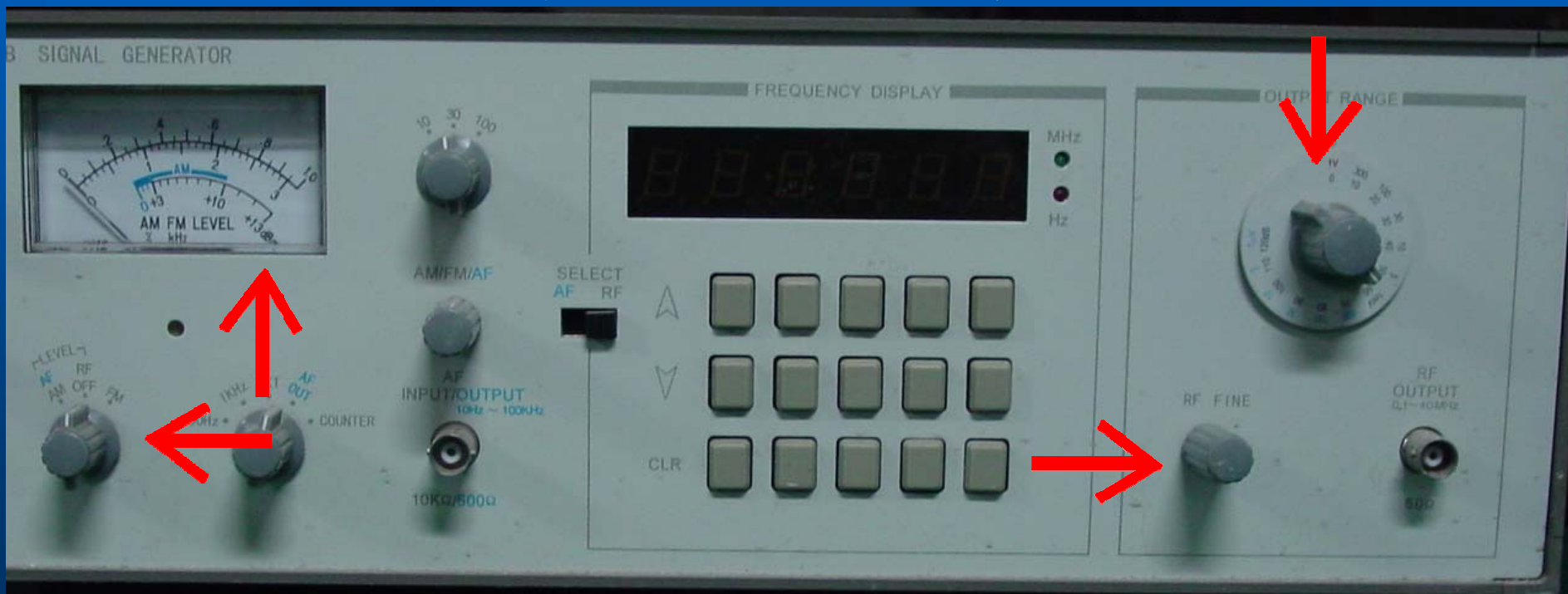
## 载波频率置定

利用载波频率置定开关，在相对应的数字位下面分别按“↑”“↓”或**CLR**。



- 输出电平调节:

面板状态选择开关置于**OFF (RF LEVEL)**，此时表头指示为载波输出电平。表头刻度数值可用表盘相对应的刻度线，直接读出电压值。



- 调幅/调频输出:

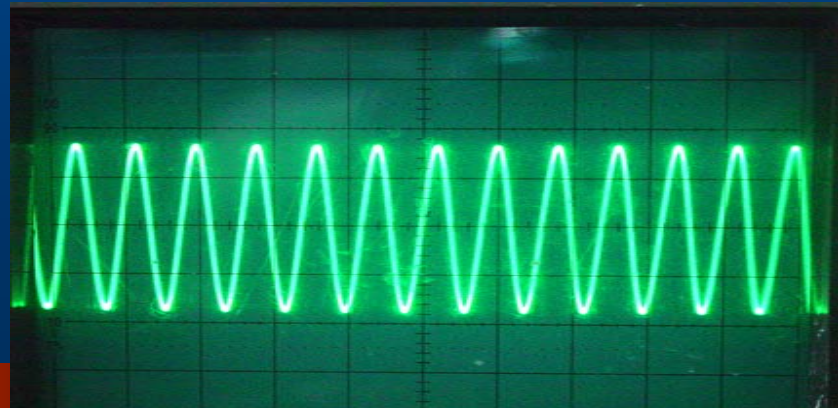
面板状态选择开关置于“**OFF**”(RF LEVEL),调节输出量程开关,输出细调旋钮到所需输出射频电压上,(表头指示只允许在**0~+10dBm**范围内使用),然后状态选择开关置于“**AM**”,音频开关置于调制“**400Hz**”或“**1kHz**”。调节**AM / FM / AF**旋钮,使调制表头指示到所需数值。若输出调频信号,将状态选择开关置于“**FM**”即可,其他步骤不变。

注意:当表头指示不到满量程的三分之一时,应更换量程。



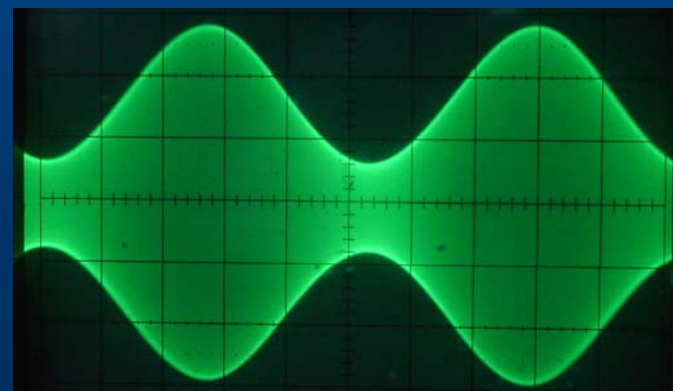
# 举例一

- 输出频率为**6.5MHz**，电平为**300mV**的载波信号。



# 举例二

- 输出频率为**1MHz**，电平为**300mV**，调制频率为**1KHz**，调幅度为**60%**的**AM**信号。



# 仪器二

## COS5020TM型双踪示波器



# 时间扩展开关

- 在测量高频信号时，示波器显示出的波形会过于密集，导致无法正确读数。
- 将扫描时间微调旋钮置校准位置后拔出，可将信号扩展**10**倍。
- 注意将时间的测量结果  $\times 1/10$



# 示波器探头

在高频信号的测量中，由于示波器内部电路的影响，会使测量结果发生较大的误差。我们可以使用不同的探头。

示波器的探头大一般有  $1\times$  探头、  $10\times$  探头、  $50\times$  探头、  $100\times$  探头等。



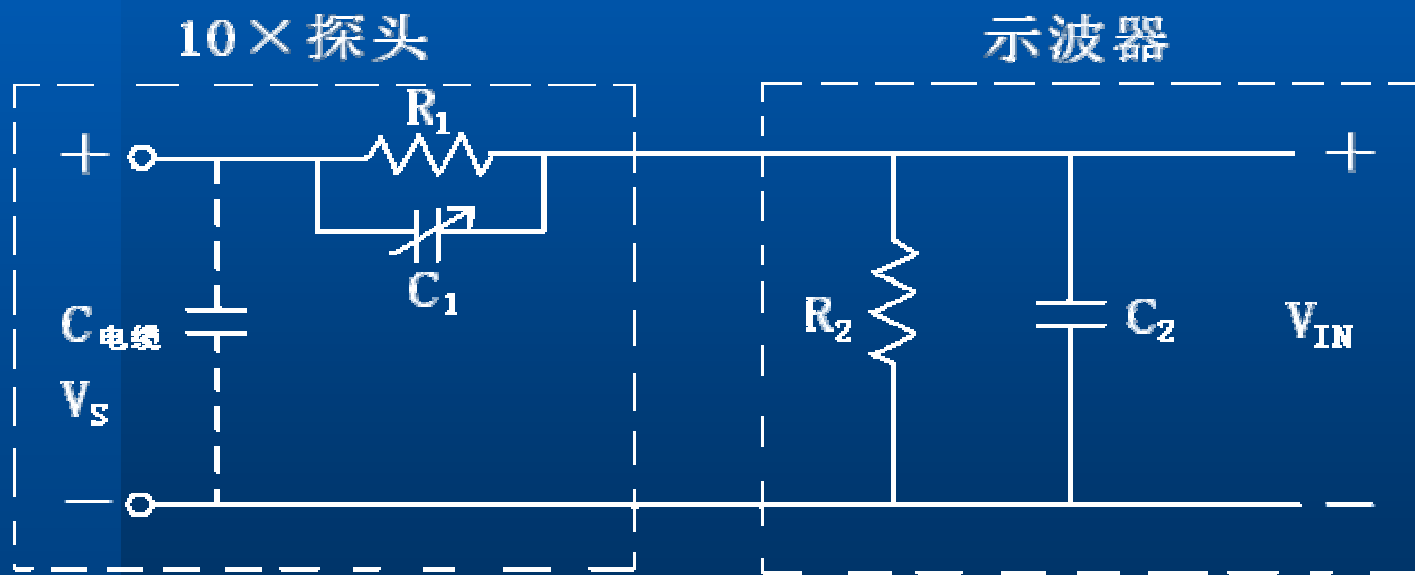


# 1×探头

1×探头也称1:1探头，可简单的将高输入阻抗示波器接到被测电路。通过设计，它们使损失达到最小且容易连接，它们相当于电缆的功能。

# 10×探头

10×探头也称10:1探头（也称分压探头或衰减探头），它中间插有并联的电阻和电容。



适当的调节 $C_1$ 后，电容影响抵消。

$$R_1 = 9R_2$$

$$R_1C_1 = R_2C_2$$

- 假使 $R_1C_1 = R_2C_2$ ，则两个电容的影响正好抵消。在这种条件下， $V_S$ 和 $V_{IN}$ 的关系如下：

$$V_{IN} = V_S \left[ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

- 又 $R_1 = 9R_2$ ，则 $V_S$ 和 $V_{IN}$ 的关系如下：

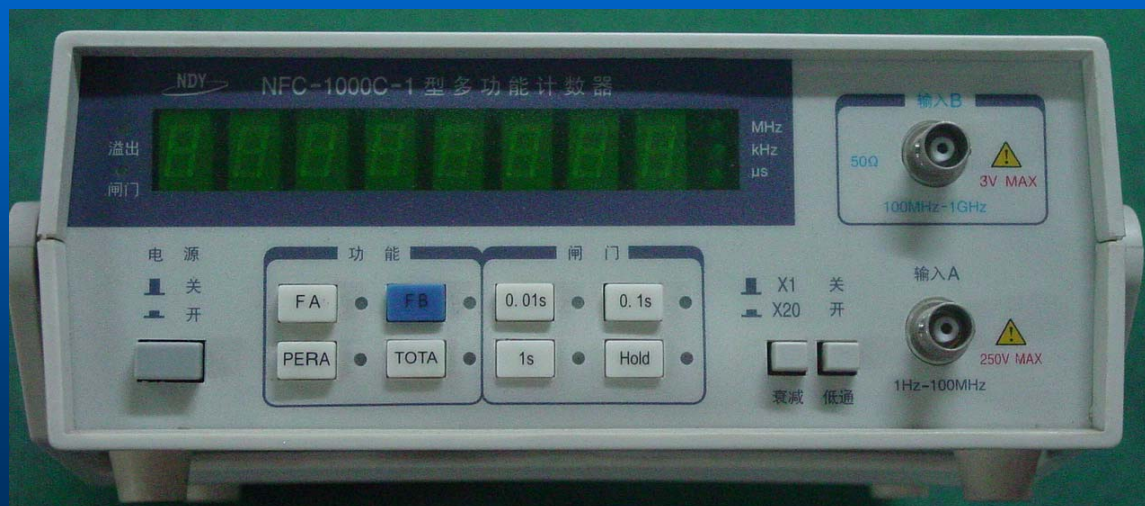
$$V_{IN} = \left[ \frac{1}{10} \right] V_S$$

结果是：**10**×探头和示波器结合后，由于两个电容有效地抵消，有比**1**×探头宽的多的带宽。代价是导致电压的损失。此时在示波器上只能看到原先电压的**1/10**。只要被测电压不致于小到原先的**1/10**后，示波器无法读出即可。

注意：使用**10**×探头后将电压结果**×10**

# 仪器三

## NFC-1000C-1多功能计数器



# NFC-1000C-1多功能计数器

该仪器是一台测频范围为**1Hz~1500MHz**的多功能计数器。其特点是采用**八位LED**数码管显示，四种功能测量。本仪器有四个主要功能：**A**通道测频、**B**通道测频、**A**通道测周期及**A**通道计数，测频采用等精度测量原理。

# 主要技术指标

项 目		技 术 参 数
频率测量范围	A通道	1Hz~100MHz
	B通道	1Hz~1500MHz
周期测量范围（仅限于A通道）		1Hz~10MHz
计数（仅限于A通道）及容量	频率	1Hz~10MHz
	容量	$10^8 - 1$

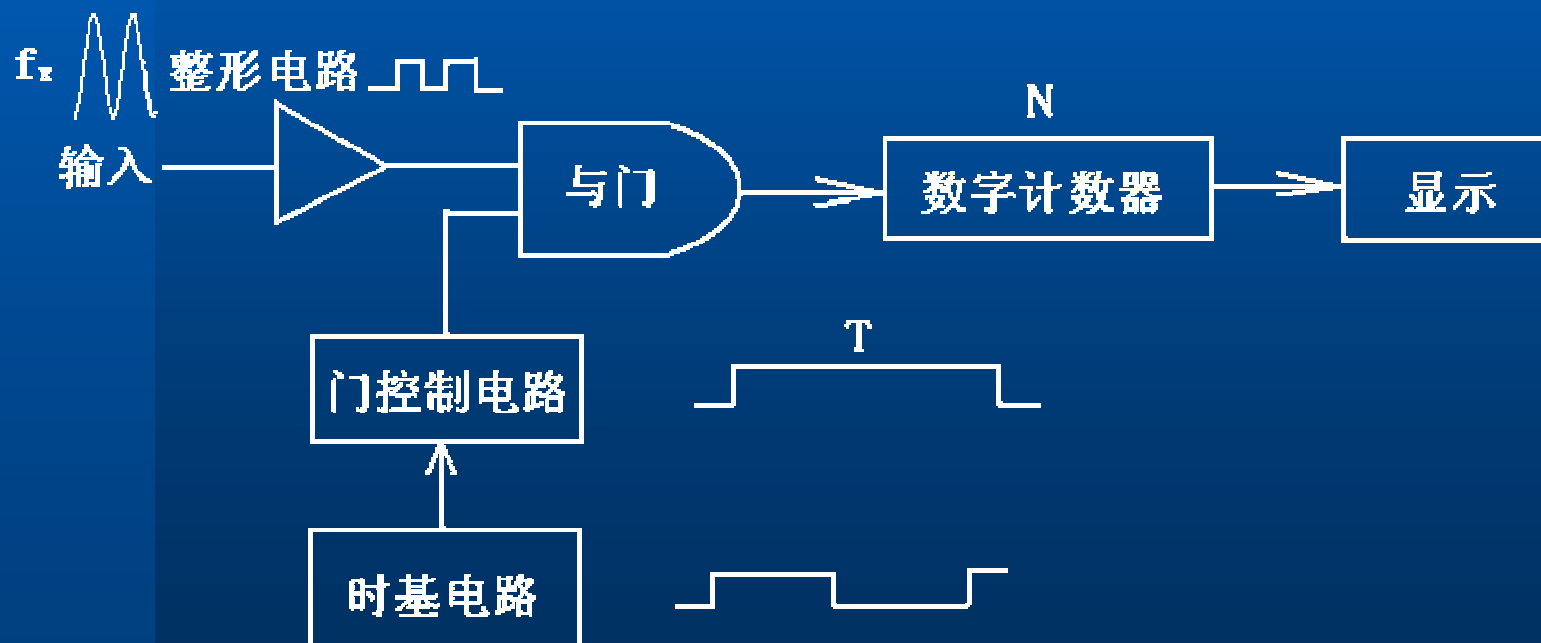
闸门时间预选		10ms; 0.1s; 1s或保持
输入衰减 (仅限于A通道)		×1或×20固定
输入低通滤波器 (仅限于A通道)	截止频率	约100KHz
	衰减	约3dB (100KHz频率点, 输入灵敏度不得 < 30mVrms)
最大安全电压	A通道	250V (直流和交流之和; 衰减置×20档)
	B通道	→ 3V



# 测量原理

- 周期波的频率定义

$$f_x = \frac{N}{T}$$



输入  
信号



门控制  
信号



门输入



该多功能计数器进行频率、周期测量是采用等精度的测量原理。即在预定的测量时间（闸门时间）内对被测信号的N个整周期信号进行测量，分别由一计数器的累计在所选闸门内的对应个数，同时另一计数器累计标准时钟的个数T。然后由微处理器进行数据处理。

计算公式如下： 频率： $f=N/T$   
周期： $P=T/N$

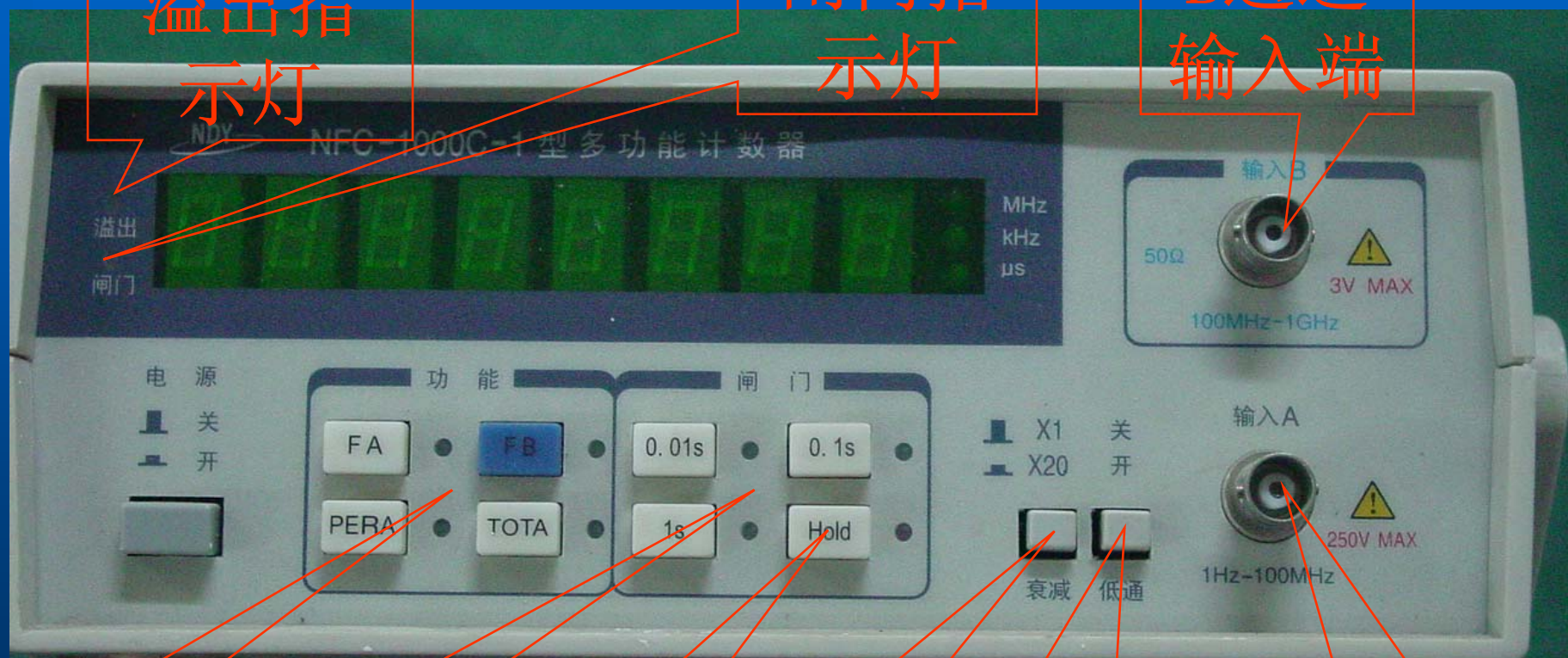
- 由于本机的标准时钟为**10MHz**，则每个钟脉冲的周期为**100ns**，故的累计误差为**100ns**，则频率测量的测量精度为 **$100\text{ns}/(T \times f)$** 。

# 面板

溢出指  
示灯

闸门指  
示灯

B通道  
输入端



功能选  
择键

闸门选  
择键

保持  
键

衰减  
键

低通滤  
波器键

A通道输  
入端

# 使用方法

- 根据所需的分辨率大致范围选择“ $F_A$ ”或“ $F_B$ ”测量。
- “ $F_A$ ”测量输入信号接至A输入通道口，“ $F_A$ ”功能键按一下。“ $F_B$ ”测量输入信号接至B输入通道，“ $F_B$ ”功能键按一下。
- “ $F_A$ ”测量时，根据输入信号的幅度大小决定衰减按键置 **1**或 **20**位置；输入幅度大于 **300mv**时，衰减开关应置 **20**位置。

# 使用方法

- “ $F_A$ ”测量时，根据输入信号的频率高低决定，低通滤波器按键置“开”或“关”位置。输入频率低于**100kHz**，低通滤波器应置“开”位置。
- 根据所需的分辨率，选择适当的闸门预选时间（**0.01s**、**0.1s**、**1s**）。闸门预选时间越长，分辨率越高。

# 仪器四



## DA22A型超高频毫伏表



# DA22A型超高频毫伏表

DA22A超高频毫伏表，是采用国内外先进技术研制而成的产品。其采用双二极管检波，反馈比较放大型电路，能测量频率范围为20KHZ-1GHZ、电压为800  $\mu$  v-10v的正弦波有效值电压。

# 主要技术参数

- 交流电压测量范围：**800**  $\mu\text{v}$ ~10v。分八档  
(3、10、30、100、300mv、1、3、10v)  
接上100:1附加分压器可把量程扩大至300V。
- 测量电压的频率范围：20kHz~1GHz。
- 输入电容：不大于2.5pF
- 同轴T 接头驻波系数：不大于1.35 (1GHz时)
- 输出电压：在任一档量程上，当指针指示满刻度“1.0”位置时，输出电压应为1V $\pm$ 15%的直流电压。

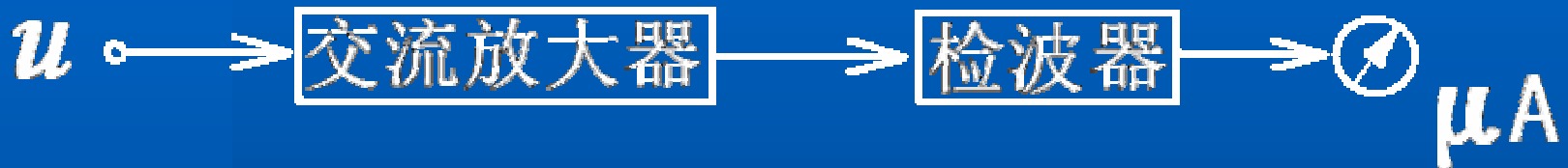
- 电压固有误差：以100kHz为基准，经1V档校准后不超过满读值的百分数误差为

300mv档以上	±2%
30、100mv档	±3%
10mv档以下	±5%

- 基准条件下的频率影响误差：（以100KHZ为基准）

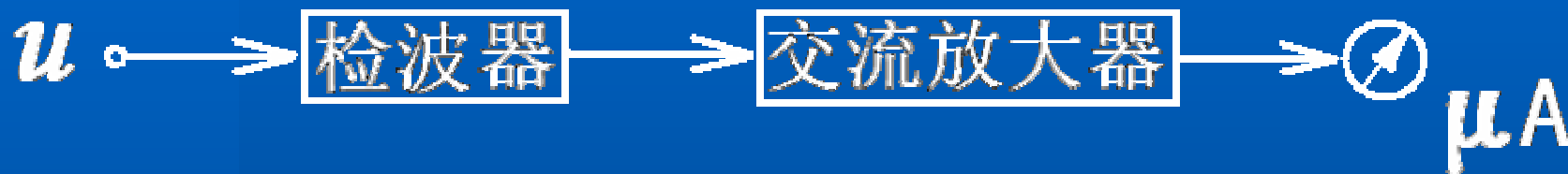
100KHZ-50MHZ	±3%
20KHZ-600MHZ	±10%
600MHZ-1GHZ	±15%

# 放大-检波式电压表



- 被测交流电压先经宽带放大器放大，然后再检波变成直流电压，驱动电流表偏转。
- 由于先放大，可以提高输入阻抗和灵敏度，避免了检波电路工作在小信号时所造成的刻度非线性及直流放大器存在的漂移问题。
- 上限频率为兆赫级，最小量程为毫伏级。

# 检波-放大式电压表



- 被测交流电压先经检波器检波变成直流电压，然后再经直流放大器放大后驱动直流微安表偏转。
- 该类电压表放大器的频率特性不影响整个电压表的频响，因此测量电压的频率范围主要决定于检波电路的频响。
- 其上限频率可达**1GHz**。

# 前面板



调零  
旋扭

满度  
旋扭

# 后面板



1伏  
校准  
插口



探头

# HFJ-8D超高频毫伏表





# HFJ-8D超高频毫伏表

- 该仪器是**DA22A**的换代产品，使用非常简单。
- **3mV**以上的档位可以直接使用，无须调节。
- **3mV**档位需调节**BAL**旋钮。
- 该仪器探头小巧，使用时应轻拿轻用，严防损坏。

# 使用方法

- 仪器接通电源前，检查表头指针是否指在零点，如不在零点，用调节螺丝调整到零。
- 仪器开机预热30min。仅1V档校准，探头插入校准孔。
- 将量程开关调到所需档。探头按测量需要接附件。量程的选择，应该是表头指示值大于满刻度的30%，又小于满刻度值为最佳。

# 使用注意事项

- 预先把波段开关置于10V量程档。
- 交流电压在**10V**档最大输入电压不得大于**15V**，仪器的最大输入交流电压和直流电压迭加后的总有效值应小于**50V**。
- 直接测量信号发生器的输出电平时，应在信号发生器的输出端并联一个**50Ω**的电阻。

# 练习一

信号源输出	<b>f=10MHz</b> <b>U=200mV</b>	<b>f=6MHz</b> <b>U=80mV</b>	<b>f=6.5MHz</b> <b>U=400mV</b>
示波器测量 周期、电压			
频率计测量			
毫伏表测量			

注意：此时信号源输出端应并接50欧姆负载电阻。

# 练习二

- 用信号发生器输出一个频率为**10MHz**、输出电平为**800mV**、调制频率为**400Hz**调幅度为**70%**的调幅信号，用示波器观察，并画出其波形。

# 高频电子线路实验

## 实验二 高频谐振功率放大器

# 一、实验目的

- 1. 通过实验，进一步熟悉谐振功率放大器的工作原理，了解负载阻抗、输入激励电压和集电极电源电压对工作状态的影响。
- 2. 掌握调谐、调整和测量方法。

## 二、实验原理

- 实验板方框图

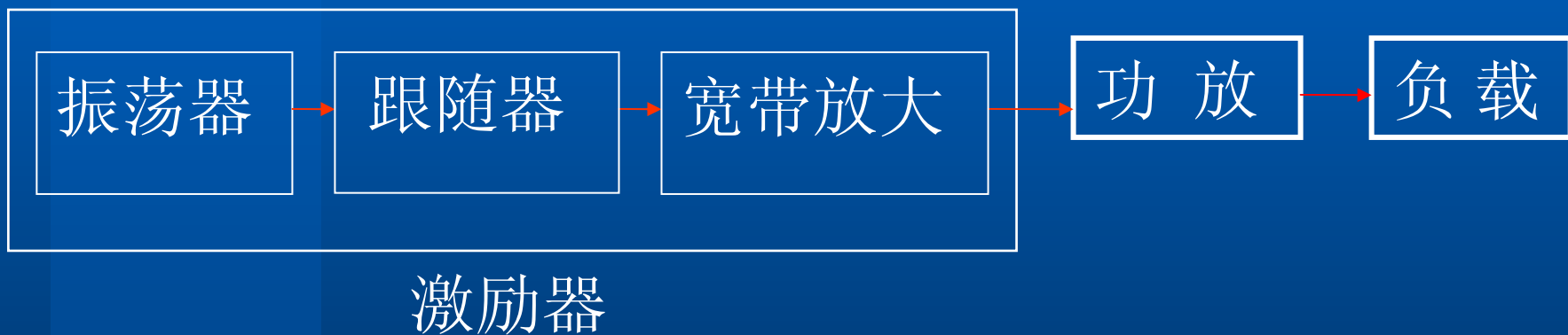


图2-1-1 实验板方框图



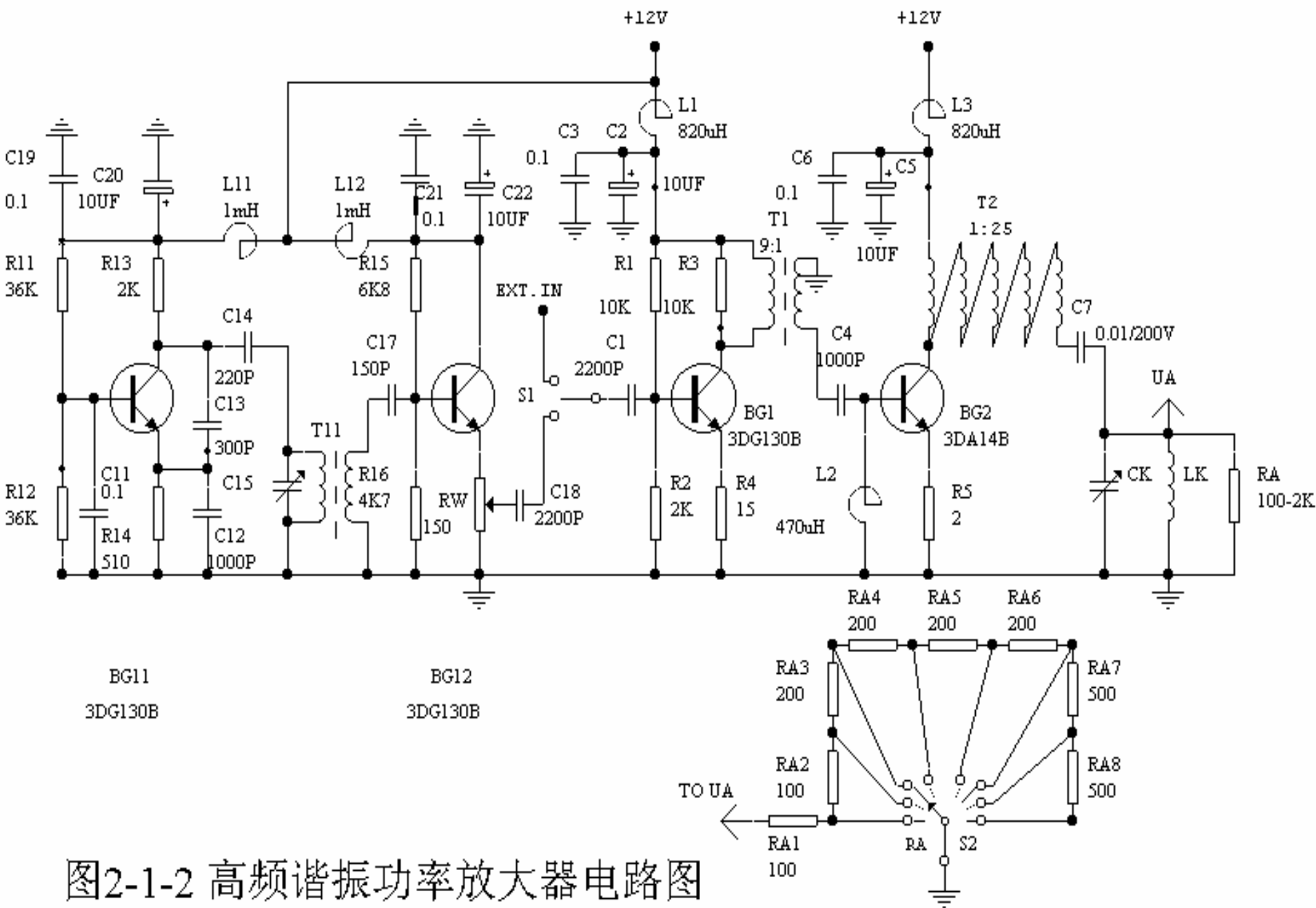
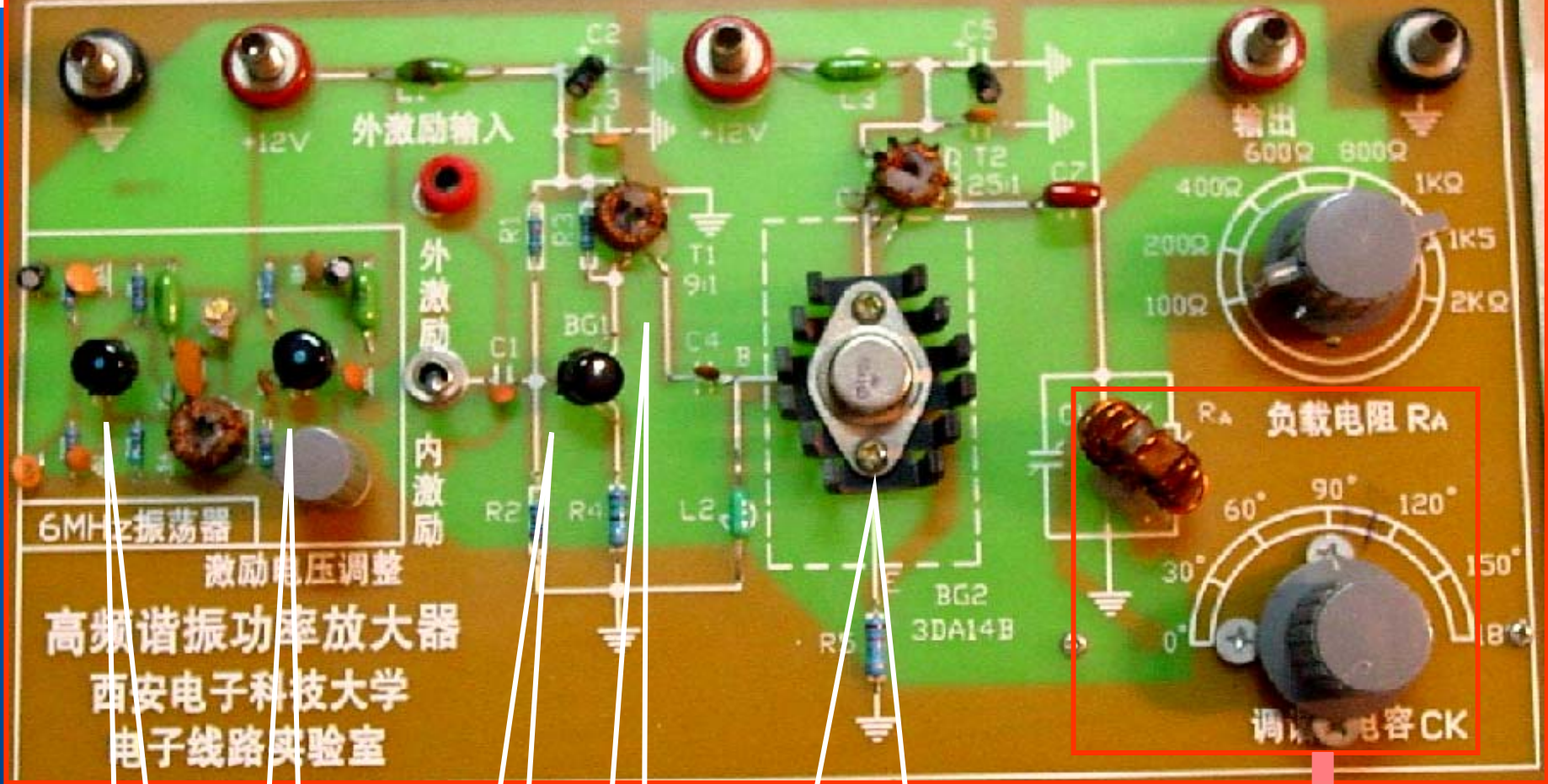


图2-1-2 高频谐振功率放大器电路图



振荡器

跟随器

宽带放大器

降压变压器

功率放大管

谐振电路

实验板面板图

# 高频功率放大器的激励器

第一级为改进型电容反馈式振荡器产生6MH高频信号（频率可通过微调电容微调）。

第二级为射随器，起隔离作用，并借助射极电位器 $R_w$ 改变输出，以控制对末级激励的强弱。

第三级是宽带放大器，为了与功率放大器匹配，集电极采用了阻抗比为9:1的降压变压器。为使实验电路稳定可靠工作，前三级电源电压为12V，加载时可提供功放级激励电压 $U_{bmax} > 2.5V$ （有效值）。

# 末级为功率放大器

末级为功率放大器，该级选用3DA14功率管，为使该级稳定可靠工作，集电极电源电压为12V（也可适当提高），射极电阻为 $2\Omega$ ，起负反馈作用，放大器工作于丙类。集电极电路自稳压电源串入一只数字万用表来测量 $I_{c0}$ 。因为晶体管放大器的输出阻抗较低，而回路由 $L_K$ 、 $C_K$ 、 $R_A$ 并联组成放大器的负载（通过改变 $R_A$ 可改变负载电阻的大小）其阻抗较高。故通过一宽带变压器（阻抗比为1:25）与集电极耦合。通过开关K可选择不同的负载电阻 $R_A$ 与回路并联。

### 3. 调谐特性

- 调谐特性是指谐振功率放大器集电极回路在调谐过程中，集电极平均电流 $I_{co}$ （或基极平均电流 $I_{bo}$ ）及回路电压 $U_L$ 的变化特性，理论分析如右图2-1-3所示。

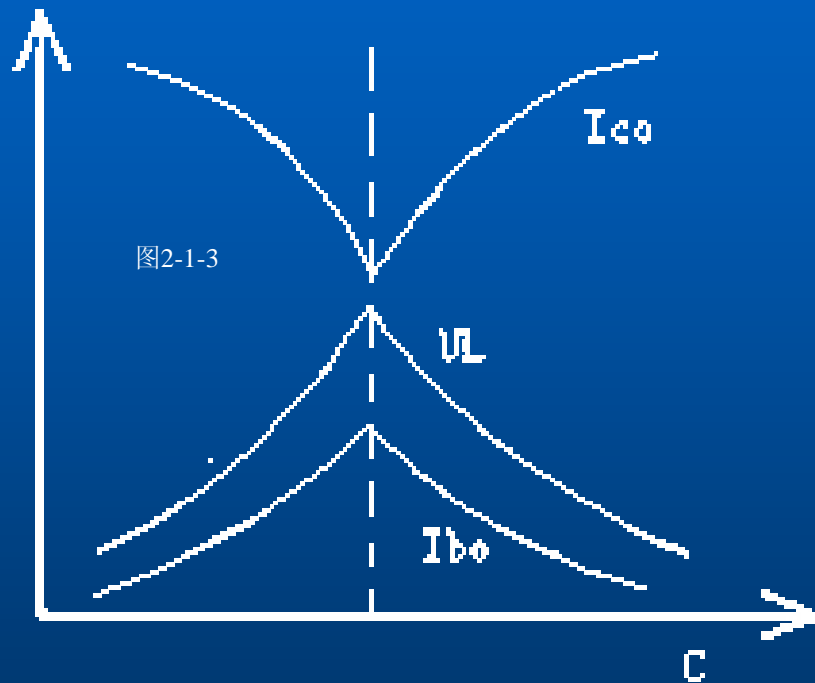


图2-1-3

由图可见，当回路自然谐振频率与信源频率恰好一致时，即称为谐振，此时 $I_{c_0}$ 最小（或 $I_{b_0}$ 最大）， $U_L$ 最大，故以此作为谐振指示。理论分析 $I_{c_0}$ 最小（ $I_{b_0}$ 最大）与 $U_L$ 最大应同时出现，而实际放大器由于存在内部电容 $C_{BC}$ 反馈，因此 $U_L$ 最大与 $I_{c_0}$ 最小往往不同时出现。

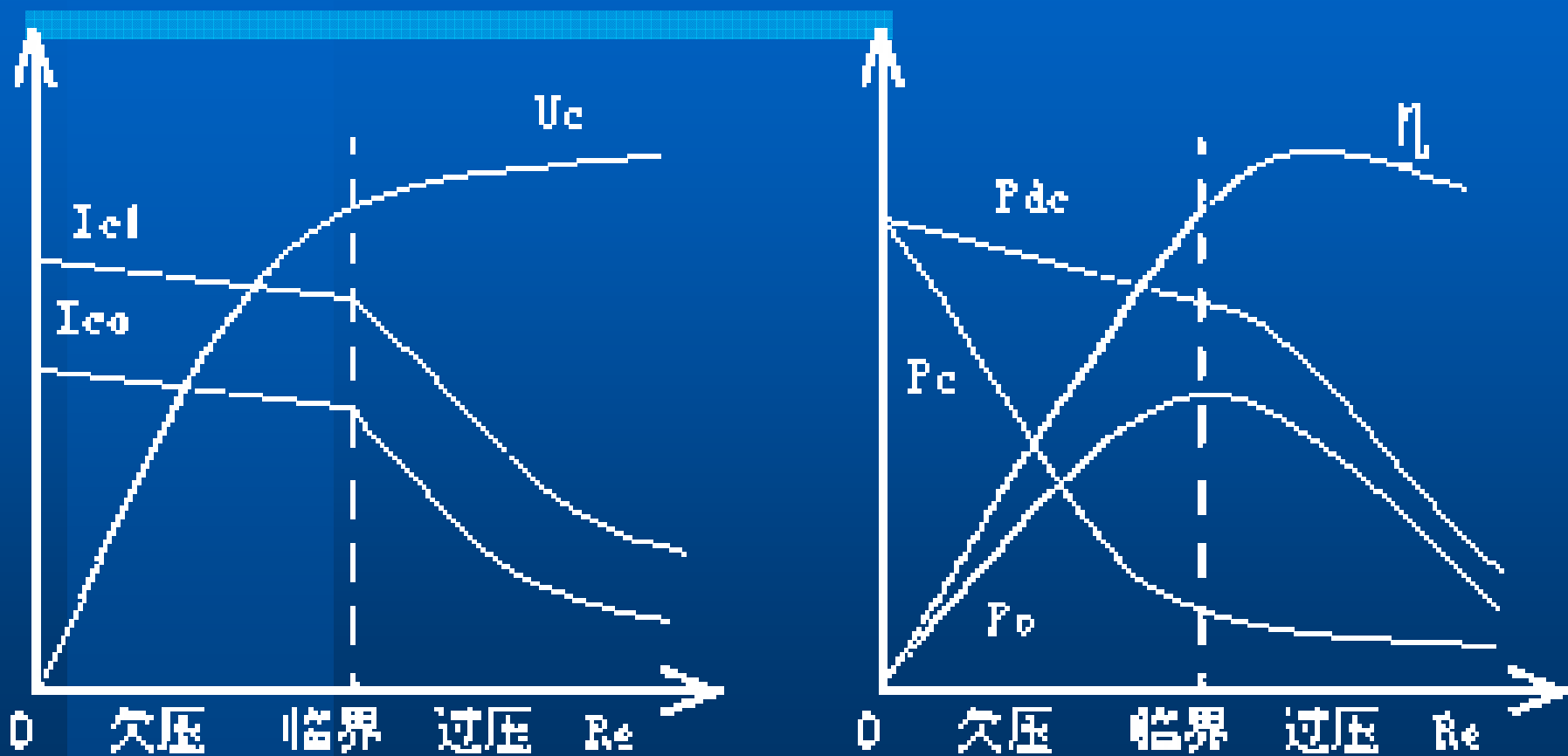
调谐在什么状态下进行为好呢？由理论分析得知，放大器工作于欠压状态时，集电极电流 $I_c$ 是尖顶脉冲，且变化不大；而在过压状态时， $I_c$ 是凹顶脉冲，因此变化很明显。为使调谐明显，可在过压状态下进行，当然要防止在强过压状态下工作，致使管子击穿。

经过上面分析，得出以下两条结论：

(1) 集电极的调谐指示，以 $I_{c0}$ 为准。

(2) 在过压状态时测试集电极调谐特性为好。由调谐曲线可知，失谐时电流很大，因此调谐动作要快，失谐时间不要太长。本实验板功放管是3DA14,  $I_c=12V$ 时，要求 $I_{c0} \leq 250mA$ ，否则要减小激励电压 $U_p$ 的值。

## 4. 负载特性





$I_{c1}$ : 为集电极电流基波分量的振幅

$I_{c0}$ : 为集电极电流直流分量

$P_{dc}$ : 为集电极电源供给直流功率

$P_c$ : 为集电极损耗功率

$P_o$ : 为集电极高频输出功率

$\eta$ : 为集电极效率

$U_c$ : 为基波电流在回路上产生的高频电压

## 三、实验仪器

1. 高频谐振功率放大器实验板一块
2. 直流稳压电源一部
3. 数字万用表一块
4. 高频毫伏表表 (DA22A) 一部
5. 双踪示波器 (5020) 一部

## 四、实验内容与步骤

### 1. 调谐特性的研究：

即作 $I_{co}$ 、 $U_L \sim C_K$ 的调谐曲线。

#### 步骤：

- (1) 电源电压为12V；  
电位器 $R_w$ 放适中位置；  
 $R_A$ 置 $2000\ \Omega$ ；  
激励置内激励；  
关断电源；

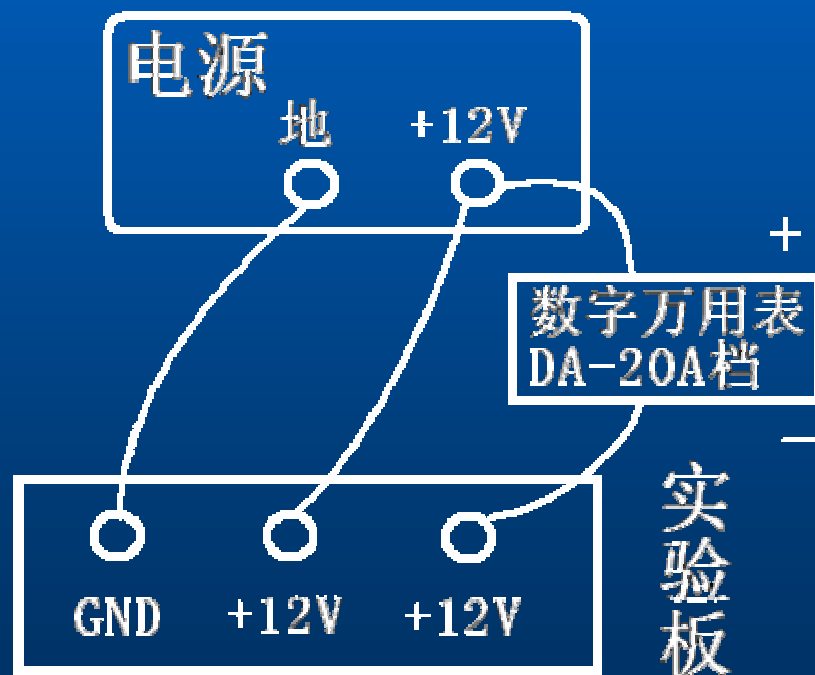


图1-1-5



### 3. 负载阻抗变化对工作状态的影响

**要求:** 测出  $I_{CO}$ 、 $U_L \sim R_A$  的值,

**计算:**  $P_{dc}$ 、 $P_A$ 、 $\eta_{\Sigma} \sim R_A$  对应数值画出曲线, 其:

$P_{dc} = Ec \cdot I_{co}$  为直流输入功率  $P_A = U_A^2 / R_A$   
为负载上输出功率 ( $U_L$  为有效值)

$\eta_{\Sigma} = P_A / P_{ac}$  为总的效率

注:  $\eta_{\Sigma} = \eta_e \cdot \eta_k = (P_0 / P_{dc}) \cdot (P_A / P_0)$

$\eta_e$  — 集电极效率

$\eta_k$  — 考虑回路损耗及其它损耗效率

(1) 电源电压为12V，电位器 $R_w$ 放适中位置， $R_A$ 置 $2k\Omega$ ，激励置“内激励”。

(2) 将功放级电源串接直流电流表，接通电源，立即转动 $C_k$ 使回路谐振。然后将 $R_A$ 置 $100\Omega$ ， $I_{co}=200mA$ 时则可进行测量，否则需要调节电位器 $R_w$ 。

(3) 改变负载电阻 $R_A$ ，测量 $I_{co}$ 和 $U_L$ 的值记录于表二中，同时用示波器观察输出波形，并计算出 $P_{dc}$ 、 $P_A$ 、 $\eta_\Sigma$ 之值。

(4) 将测试与计算值分析是否合理，若不合理应找出原因或重做



## 4. 电源电压变化对工作的影响

(1)用双路稳压电源，分别对激励和功放供电，电压均为12V。

(2)保持负载特性时**临界值 $R_A$ 和 $U_b$** 。

(3)改变功放 $E_c$ 值，从大到小选若干点，测出对应的 $I_{c0}$ 和 $U_L$ 值，注意调谐，用示波器观察并在表三中记录所测数据，算出 $P_A$ 值，画出 $I_{c0}$ 、 $U_L$ 、 $P_A \sim E_c$ 曲线。

(4)解释曲线变化规律，指出其特点。





## 五、实验报告要求

- 1.整理数据列表，用方格纸画出它们的曲线，并进行分析、讨论。
- 2.试比较三组曲线( $I_{c0}$ 、 $P_A$ )变化规律及其特点。
- 3.对本实验的心得体会，建议要求。

# 预习与思考

1. 复习谐振功率放大器的工作原理和分析方法。理解本实验原理。
2. 熟悉实验仪器的使用。
3. 何谓调谐和调整？应注意什么问题。
4. 作调谐特性时，发现 $I_{c0}$ 最小值与 $U_L$ 最大值往往不同时出现，为什么？
5. 如何验证实验电路工作于丙类？
6. 用示波器监视输出波形时，发现负载电阻 $R_A$ 越大时，波形越好，而 $R_A$ 越小时波形越差（失真），为什么？

# 结 束

西安电子科技大学  
电子技术系电子线路实验室

2003年9月25日

# 模拟乘法器实验

# 引言

模拟乘法器是输出电压与两路输入电压的乘积成正比的有源三端口网络。图2-3-1是它在电路中的符号。 $K$ 称为乘法器的增益。其数学描述式为：

$$U_z = K U_x U_y$$

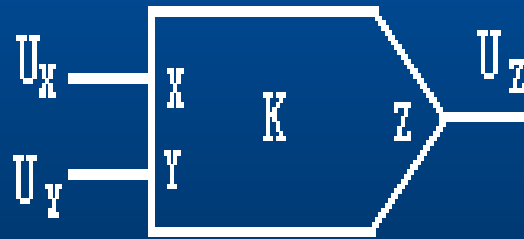


图2-3-1

如果在模拟乘法器两路输入端分别输入不同的模拟信号，在其输出端接入不同的滤波电路或负载电路，可以得到不同的应用。特别是在通信电路中，广泛采用模拟乘法器实现**AM**调制、**DSB**调制、**SSB**调制、同步解调、倍频、混频、相位检测等。

本实验采用**MC1496**集成模拟乘法器芯片，建立并分析一些实验，以验证**AM**调制、**DSB**调制、**AM**、**DSB**同步解调、倍频、混频等功能电路原理，概念和应用。因此对集成芯片**MC1496**作一简单介绍。

**MC1496**是专为电路做平衡调制器/平衡解调器的集成芯片，它有以下特点。

- (1)**很宽的工作频率范围，最高的载波频率和调制频率分别是**300MHz**和**80MHz**。
- (2)**对载波信号有极高的抑制比：当载波频率为**0.5MHz**时，载波抑制比达**65dB**；当载波频率为**10MHz**时，载波抑制比为**55dB**。
- (3)**灵活的平衡输入、平衡输出的端口。
- (4)**极低的零点漂移和失调。
- (5)**可调节的乘法增益。



**T1—T4**是双差分放大器，起电流开关作用。**T5**和**T6**构成线性电压—电流变换器，它产生正比于调制电压的电流，克服了双差分放大器电流控制作用的不便。**T7—T9**是电流源，每一个电流源提供 $I/2$ 的电流。**R<sub>1</sub>**、**R<sub>2</sub>**、**R<sub>3</sub>**为负反馈电阻，展宽动态范围

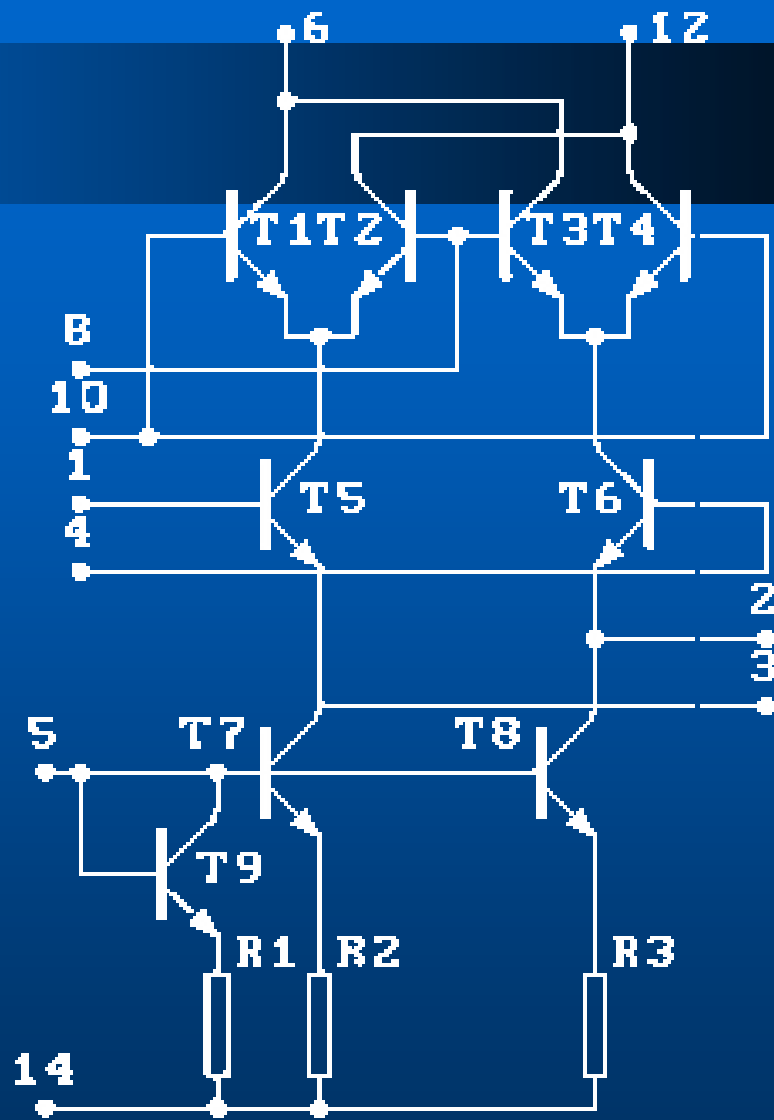


图2-3-2

各引线端的功能如下：

1. 调制信号输入同相端；

2.3. 增益调节端；

4. 调制信号输入反相端；

5. 偏置端；

6. 乘法器输出同相端；

7. 空端；

8. 载波信号输入同相端；

9. 空端；

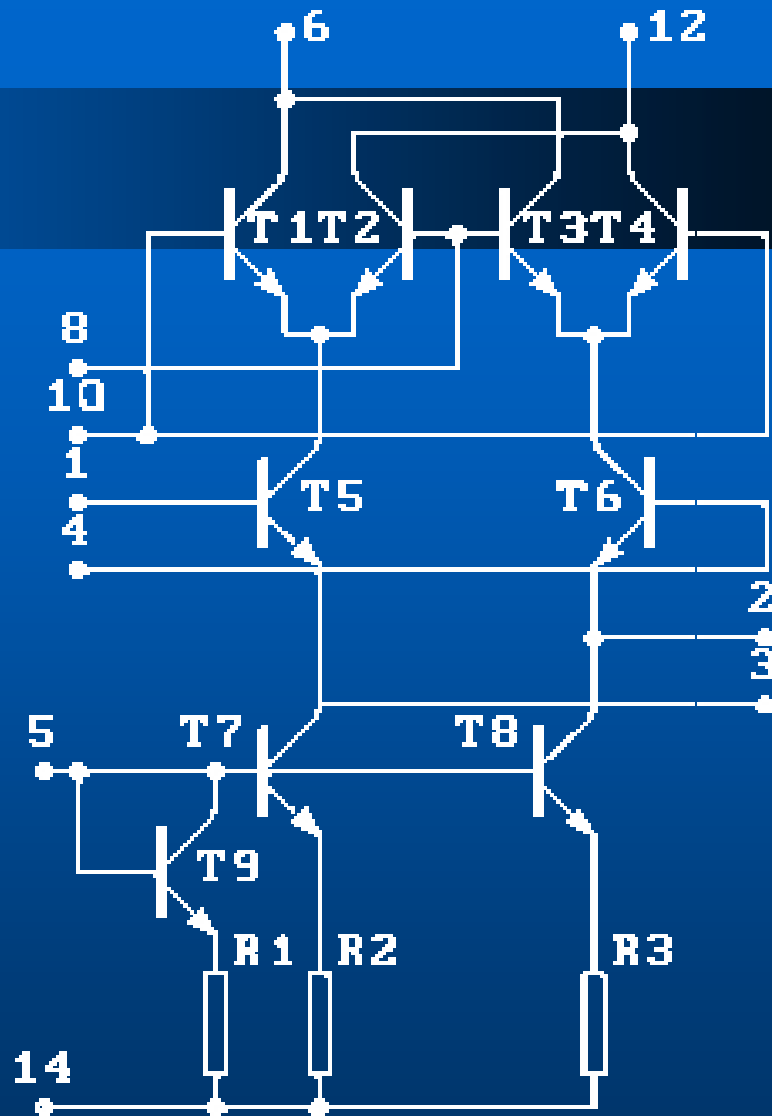
10. 载波信号输入反相端；

11. 空端；

12. 乘法器输出反相端；

13. 空端；

14. 公共端，或接公共端（地），或接负电源。



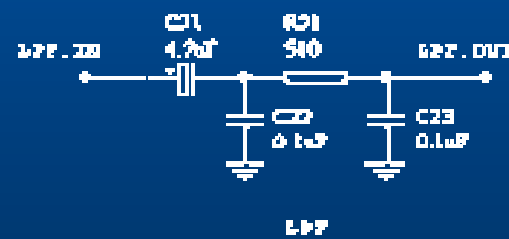
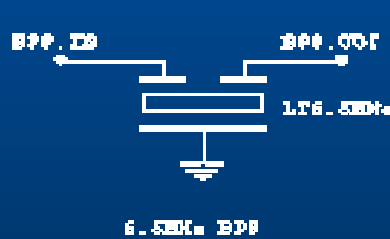
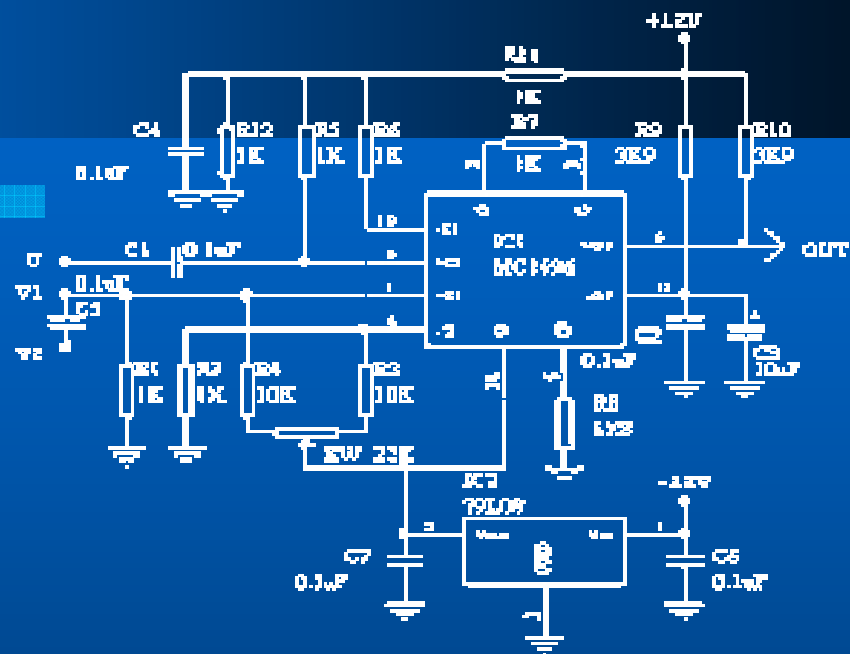
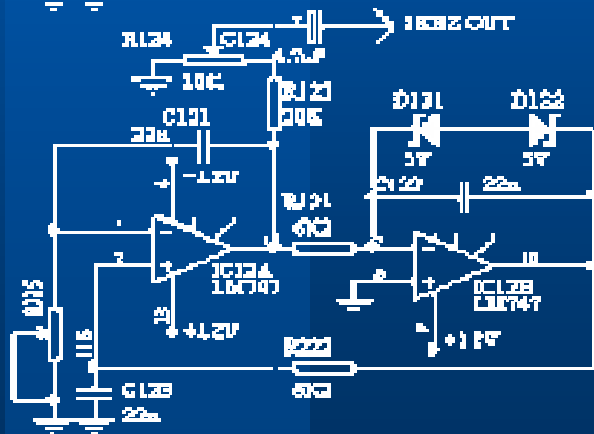
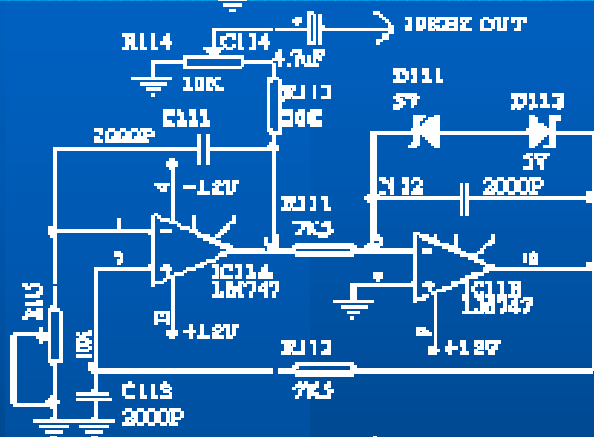
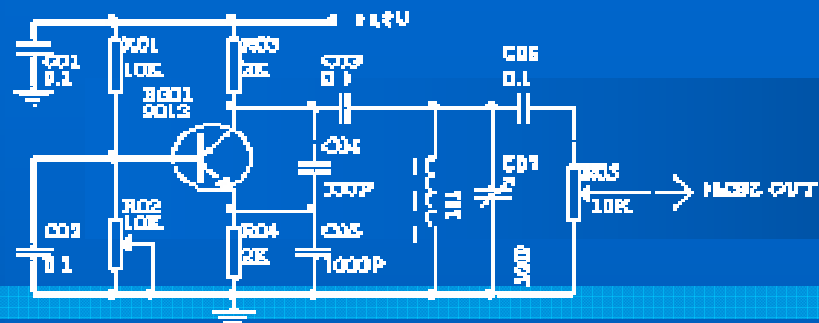
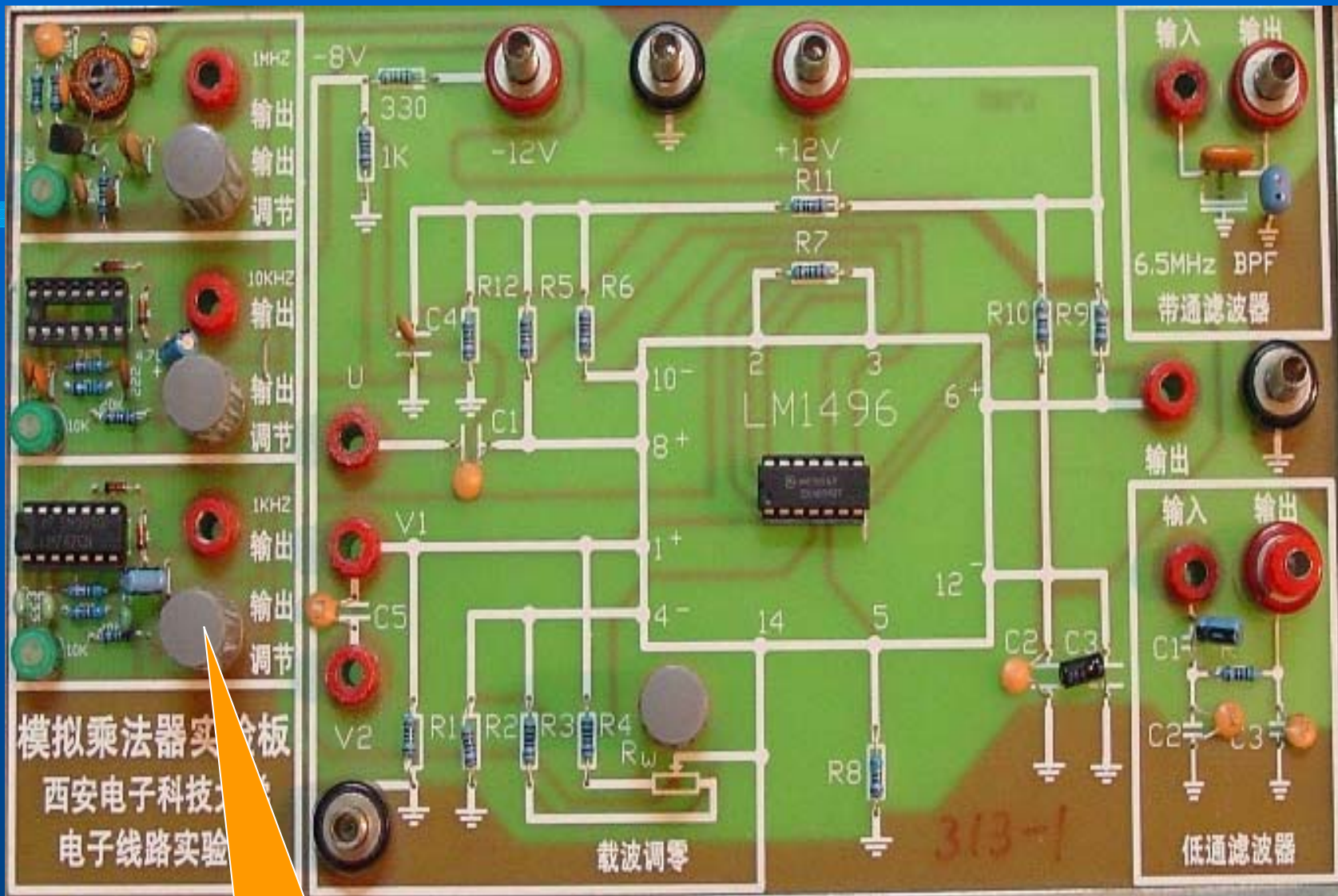


图2-3-4模拟乘法器实验板电路图



±12V的双极性电源电压，其连接方法如图2-3-5所示。

在本实验中，双踪示波器是观察与测试信号的主要测量仪器，也是本次实验中实验仪器使用学习的重点。在此强调两点。

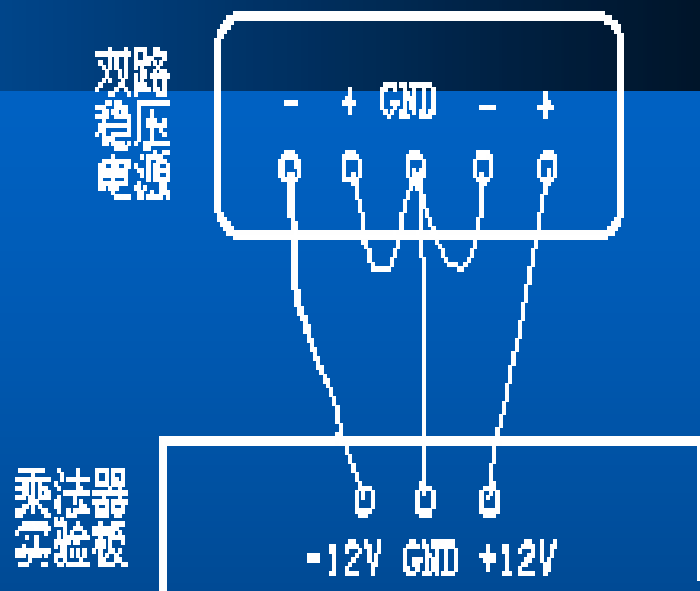


图2-3-5

一、用示波器测量信号的大小或时间（如周期），其测量结果应按标准格式书写。

测量信号大小的书写格式由三部分组成：

第一部分是信号在垂直方向显示的分格数；

第二部分是通道增益调节在校准状态下所指示的垂直灵敏度；

第三部分是测量探头的衰减倍数。

举例：测量载波信号的峰—峰值 $U_{cp-p}$ 。其测量结果书写格式：

$$U_{cp-p} = 6 \text{格} \times 20 \times 10^{-3} \text{V/格} \times 10 = 1.2 \text{V}$$

测量信号的周期，测量结果的书写格式由两部分组成：第一部分是信号一个周期在示波器水平方向所占的分格数；第二部分是水平调节在校准状态的（如果采用扫描速率扩展，应考虑其对扫描速率的影响）。

举例：测量载波信号的周期 $T_c$ 其测量结果书写格式：

$$T_c = 1.5 \text{格} \times 0.1 \mu\text{s/格} = 0.15 \mu\text{s}$$

按标准格式书写测量结果的意义：

**(1)**表明测量的精度；

**(2)**表明示波器的测量工作状态；

**(3)**表明测量人员的实验素质。

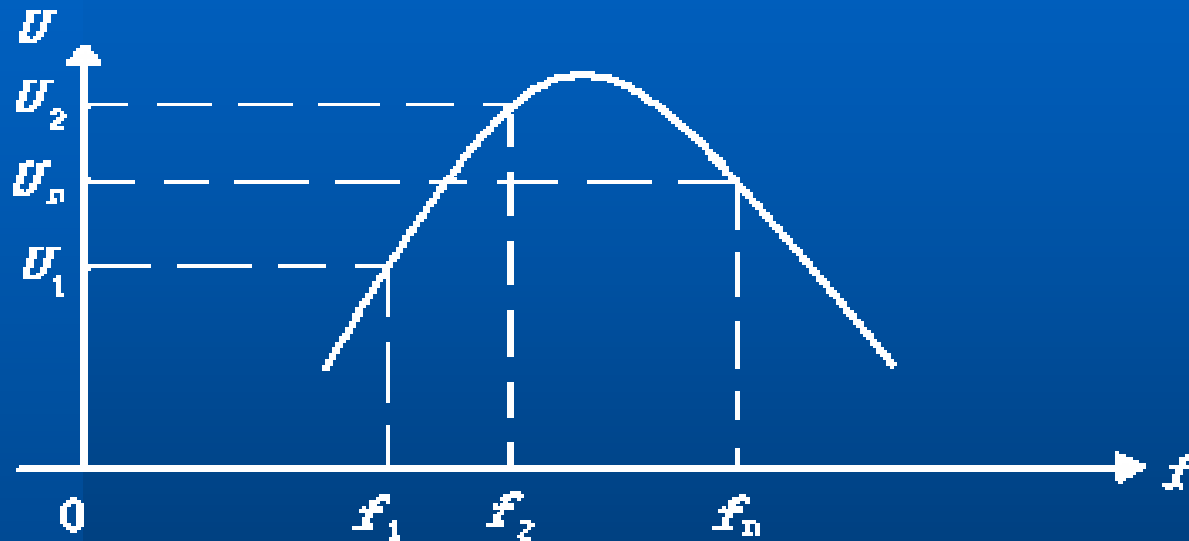
二、用示波器双踪同时显示输入、输出信号波形并适当调节，可以进行波形的比较、分析，从而更直观地加深对电路原理的理解。



# BT3C型频率特性测试仪



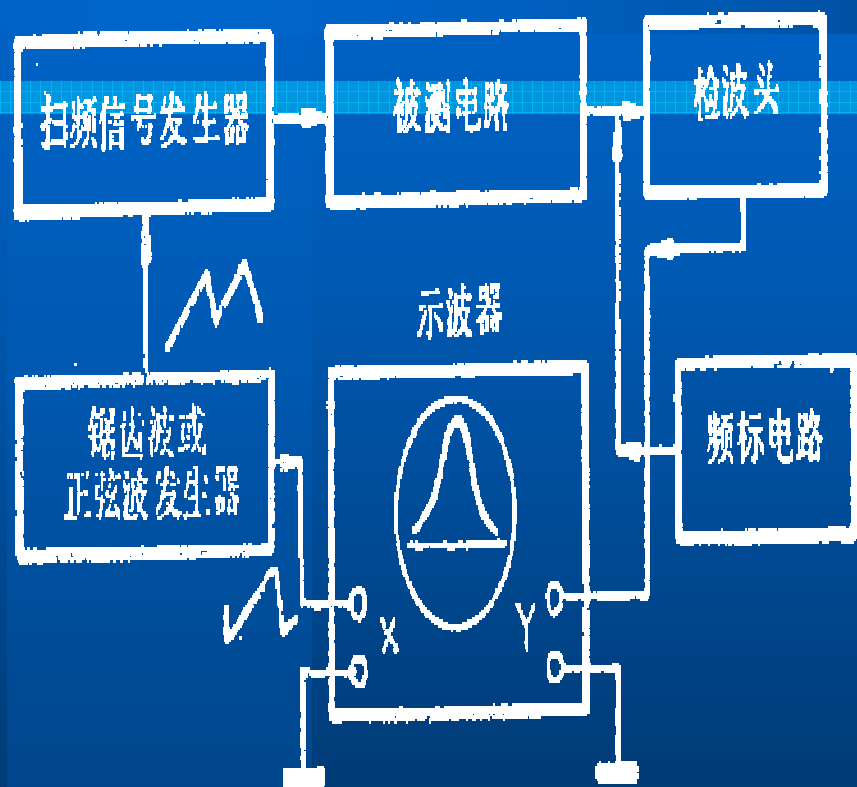
# 一、点测法



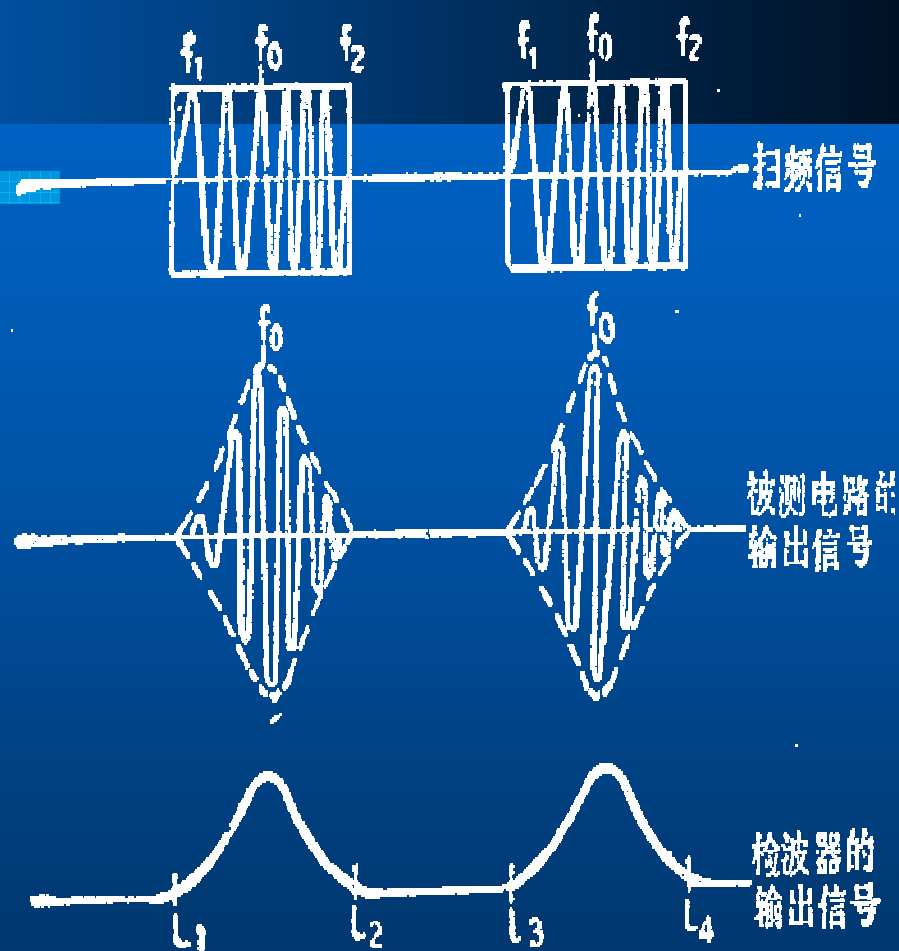
点测法原理图

此方法测的频率特性，可以得到准确的数据，但是，测量操作繁琐，效率很低，而且不形象。

## 二、扫频法



(a) 扫频仪组成方框图



(b) 扫频仪各级的波形响应

扫频仪的工作原理图

# 三、仪器面板图

荧光屏

频标选择开关

频标幅度

扫频信号输出

电源开关

聚焦

Y位移

Y增幅

衰减

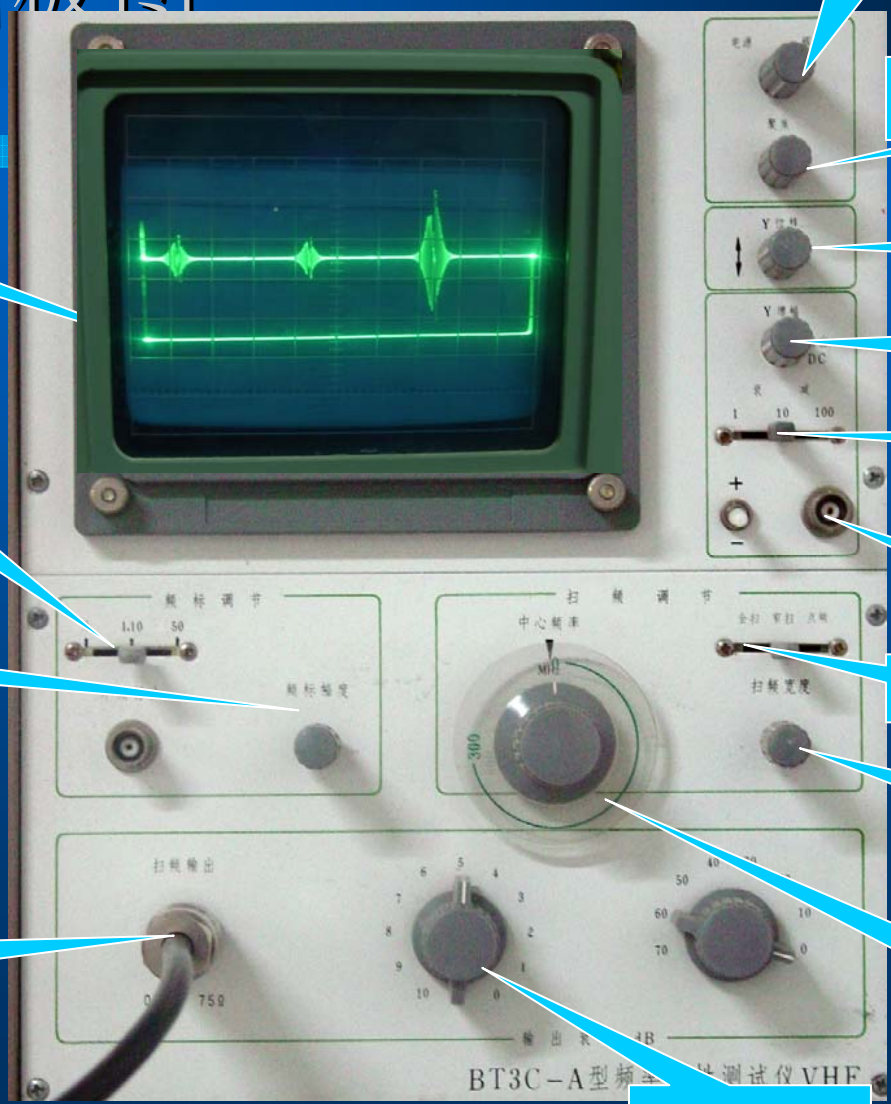
输入

扫频方式选择

扫频宽度

中心频率调节旋钮

衰减开关



## 四、使用方法

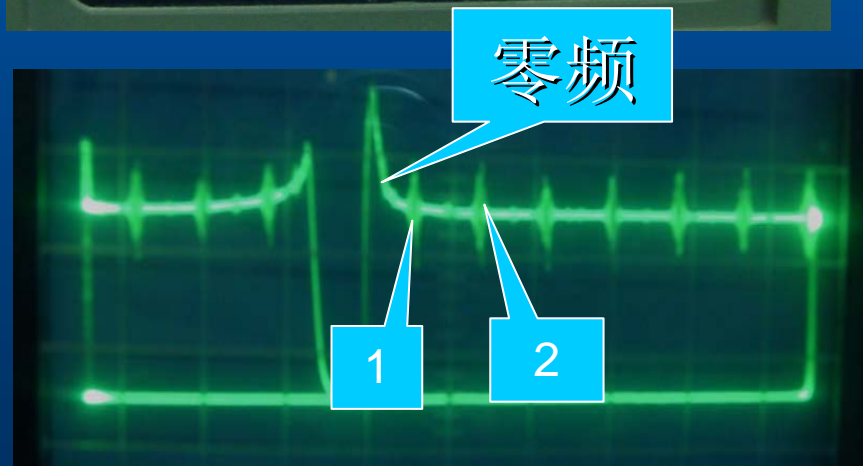
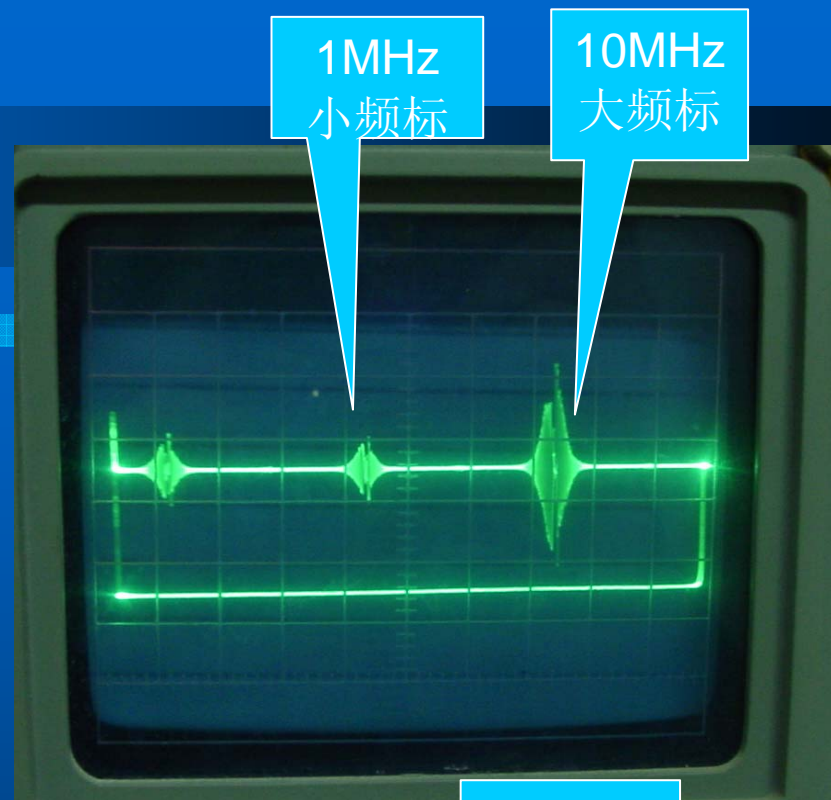
### a. 测试频率特性

① 检查仪器正常工作后，将输出电缆的一端接“扫频电压输出”插座，另一端接被测的输出端，并适当调节频标增益，在荧光屏上可见到被测设备的频率特性曲线，频标叠加在曲线上。如果被测设备带有检波器，则不用检波探测器，而用输入电缆直接接入仪器的垂直输入端。

② 按下述方法**b**找到零频，然后调节“中心频率”旋钮，找到被测设备的频率特性曲线，确定其中心频率等频率值。

## b. 零频的确定方法:

- ① 将扫频信号输出探头和输入检波探头连接在一起，如右下图所示则为零频。
- ② 将中心频率调为0附近，如看到有两点频标距离是其他频标距离的两倍，则此距离中点即为零频。



## c. 放大器增益的测试

- ① 把扫频仪输出电缆与检波探头短接。
- ② 扫频仪“输出衰减”，旋在0dB。
- ③ 调节“Y轴增益”，使荧光屏上显示的图形占纵坐标5格（也可以是其他数目）。
- ④ 保持“Y轴增益”不变，把扫频仪的输出接至放大器的输入，输入接放大器的输出，这荧光屏上将显示放大器的频率特性曲线，再调节扫频仪的“输出衰减”，使荧光屏上显示的放大器曲线也占5格，这时“输出衰减”所指示的分贝数就是放大器的增益。

# 实验仪器

标准高频信号发生器一台；

双路稳压电源一台；

双踪示波器一台；

数字万用表一块；

频率特性测试仪一台；



# 实验一

## 载波信号调谐与调零

# 1.实验目的

掌握乘法器电路调谐与调零的原理及其操作方法，为后续实验建立基础。

## 2.实验原理

模拟乘法器在通信电路应用中，通常在其输出端需接带通滤波器。为了得到良好的输出信号，需要对带通滤波器进行调谐。

所谓调谐就是使带通滤波器回路固有振荡频率与信号频率一致，即谐振。这一过程称之为调谐。

实现调谐的方法有三种：调节电容、调节电感、调节信号的频率。本实验电路板采用**6.5MHz**的陶瓷滤波器作为带通滤波器。其中心频率是固定的，因此，只能采用调节信号频率进行调谐。谐振时，滤波器输出电压最大。

进行载波电路调谐实验时，必须明确三点：

- (1) 调谐的对象——带通滤波器；
- (2) 调谐的方法——调节载波信号的频率；
- (3) 调谐指示——带通滤波器输出电压最大。

载波调零就是减小乘法器输出端的直流失调电压，使其尽可能为零，实现输出端的载波抑制。

载波调零是在调制输入端外加直流平衡调节电位器，使其在输出端产生一个与失调电压大小相等、极性相反的直流电压，从而实现失调电压的抵消。使载波信号与调制输入端的零信号相乘，输出载波信号为零。

在进行载波信号调零实验时，也必须明确三点：

- (1)调零对象—乘法器电路；
- (2)调零方法—调节直流平衡电位器；
- (3)调零指示—乘法器输出电压为零

电路原理框图  
见图2-3-6

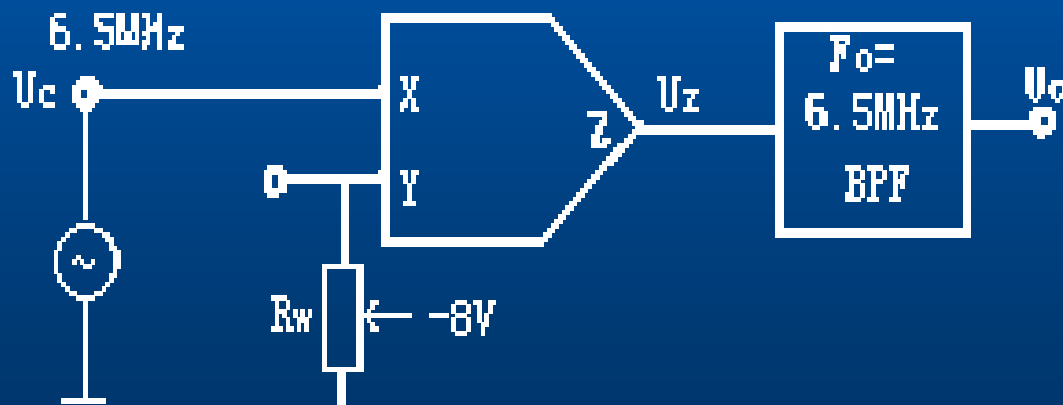


图2-3-6 载波调谐与调零电路原理框图

# 实验步骤

## 一、载波信号调谐

1. 给电路加上 $\pm 12V$ ，按图2-3-6连接电路；
2. 由信号源输出  $f_c=6.5\text{MHz}$ ， $V_c=300\text{mV}$  的载波信号，按入U端。乘法器输出端接带通滤波器（BPF）的输入端。
3. 调节 $R_w$ 右旋（或左旋）最大。
4. 用示波器观察BPF输出 $U_0$ 波形。微调信号源的频率，使 $U_0 \rightarrow U_{0\text{max}}$ 。
5. 调谐好后，测量 $U_0$ 的峰值及其周期 $T_c$

$$U_{0p-p} = \quad V; \quad T_C = \quad \mu S。$$

6. 画下输出信号 $U_0$ 的波形。

## 二、载波调零

1. 在载波调谐的基础上调节载波调零电位器 $R_w$ ，使BPF输出 $U_0$ 减小，直至为零，示波器显示为一条水平亮线，即载波调零已调好。
2. 记下调零时载波输出电压值及画下观察到的波形。

$$U_{0p-p} = \quad V。$$



# 实验二 双边带 (DSB) 调制

# 1.实验目的

验证双边带调制实现的原理，掌握实现双边带调制的乘法器电路。

# 2.实验原

## 理

在载波调谐和调零的情况下分析。

这时U和V<sub>1</sub>端接入信号分别为：

$$U_C = U_{cm} \cos 2\pi f_c t$$

$$U_M = U_{Mm} \cos 2\pi Ft$$

其输出信号U<sub>0</sub>为

$$U_0 = K_1 K_2 U_C U_M = K_1 K_2 U_{cm} U_{Mm} \cos 2\pi f_c t \cos 2\pi Ft$$

$$= K_1 K_2 U_{cm} U_{Mm} [\cos 2\pi (f_c + F)t + \cos 2\pi (f_c - F)t] / 2$$

其中，K<sub>1</sub>为乘法器增益；

K<sub>2</sub>为带通滤波器传输系数。

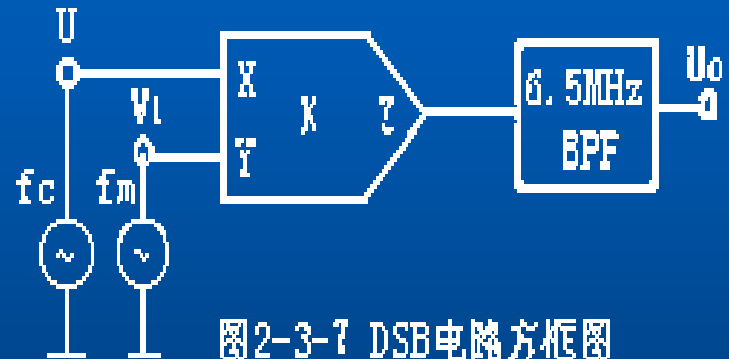


图2-3-7 DSB电路方框图

## 3.实验步

- 步骤** 1. 按图2-3-5连接电路，给实验板电路供电。
2. 由信号源输出  $f_c = 6.5\text{MHz}$ ， $U_c = 300\text{mV}$  的载波信号，接入U端。按照实验一的载波调谐与调零的方法进行调谐与调零。
3. 由实验板左边1KHz信号发生器输出  $F = 1\text{KHz}$ ，输出调节至最大的调制信号，接入 $V_1$ 端。
4. 用示波器观察输出信号 $U_0$ 的波形，此时应显示双边带调制波形。

5. 用示波器分别观测 $U_C$ 、 $U_M$ 、 $U_0$ 的波形、 $U_{CP-P}$ 、 $U_{MP-P}$ 、 $U_{OP-P}$ 及 $T_C$ 、 $T_M$ ，画下以上三个波形图。

6. 用示波器交替显示法

显示 $U_M$ 、 $U_0$ ，调节垂

直位移和通道增益旋钮，使 $U_M$ 与 $U_0$ 的包络吻合，在同一坐标纸上画出 $U_M$ 、 $U_0$ 波形，如图2-3-8所示

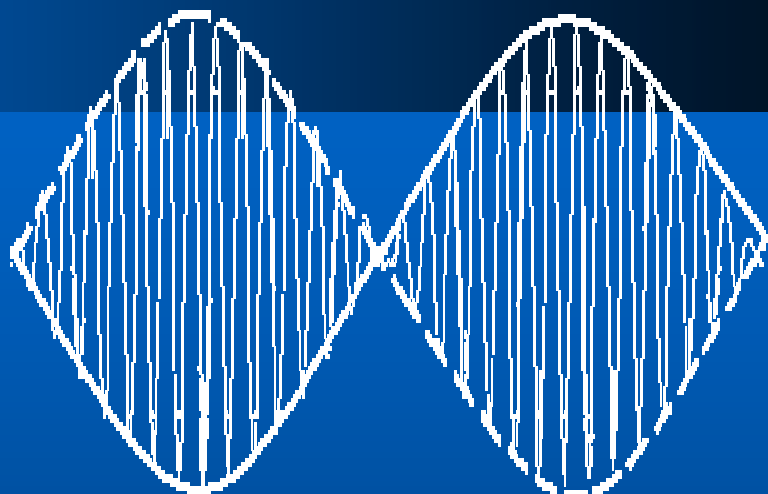


图2-3-8

# 实验三 AM调制

# 1.实验目的

验证乘法器实现**AM**调制原理，掌握测量振幅调制系数**m**的方法及实现**AM**调制的乘法器电路。

## 2.实验原理

如图2-3-9所示，U端接入载波信号为

$$U_c = U_c \cos 2\pi f_c t$$

V1端接入调制信号 $U_M$

$$U_M = E + U_M \cos 2\pi Ft$$

则电路输出 $V_0$

如下式所示

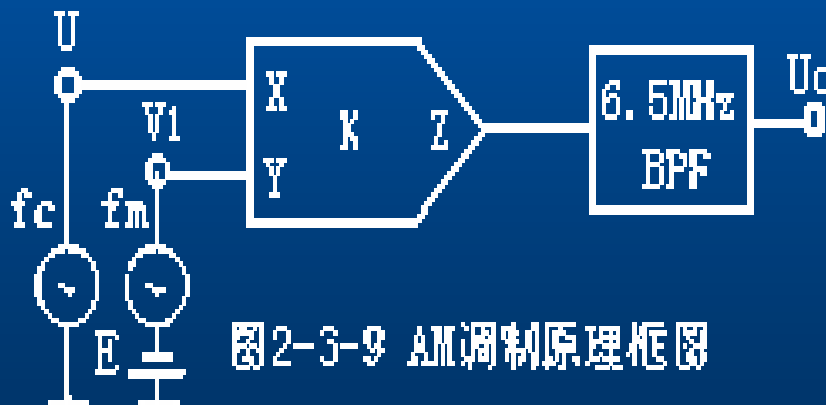


图2-3-9 AM调制原理框图



$$\begin{aligned}
U_0 &= K_1 K_2 U_M U_0 \\
&= K_1 K_2 (E + U_M \cos 2\pi Ft) U_C \cos 2\pi f_c t \\
&= K_1 K_2 E U_C (1 + m \cos 2\pi Ft) \cos 2\pi f_c t \\
&= k_1 K_2 E U_C [\cos 2\pi f_c t + m \cos 2\pi (f_c - F)t + \\
&\quad m \cos 2\pi (f_c + F)t] / 2
\end{aligned}$$

式中， $K_1$ 为乘法器增益；

$K_2$ 为滤波器传输系数；

$m$ 为调制系数。

由上式看出，输出为AM调制信号，其输出波形如图2-3-10所示。

振幅调制系数 $m$ 的测量由振幅调制系数定义可知

$$m = U_M / E;$$

用示波器测量振幅调制系数 $m$ 时，测量AM波的峰峰值 $AA'$ 和谷谷值 $BB'$ 比较方便；

$$m = (AA' - BB') / (AA' + BB')$$

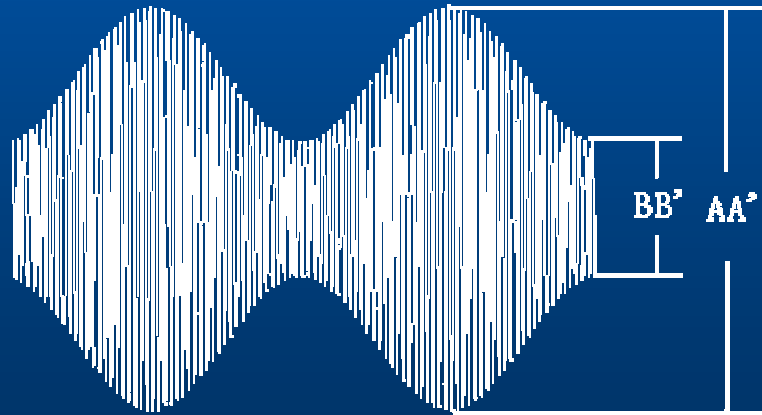
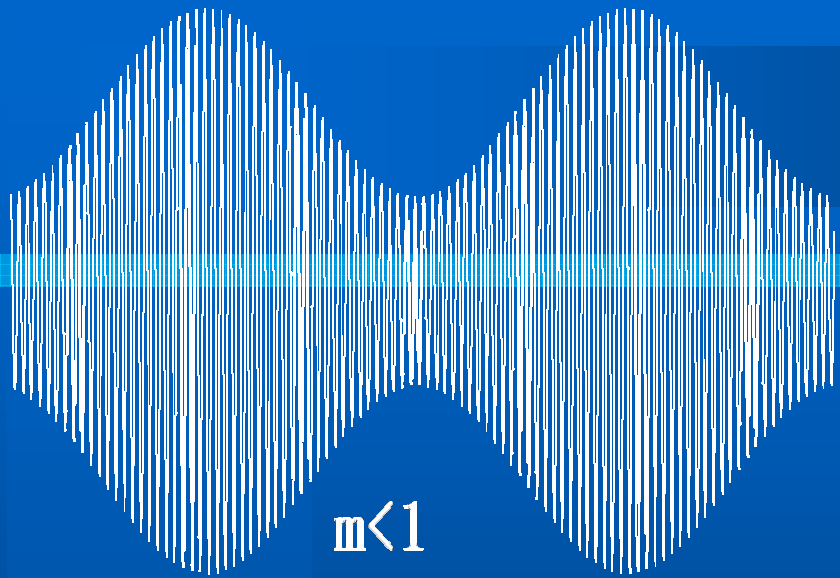
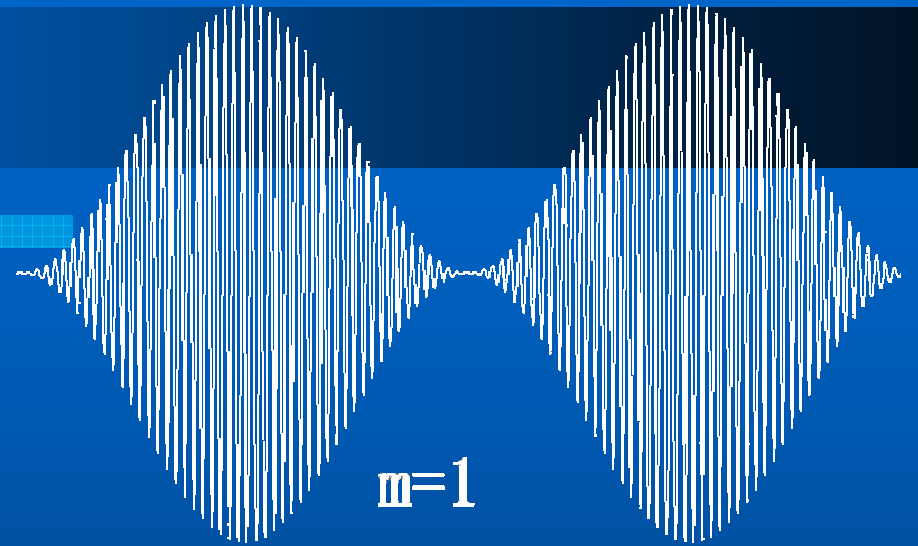


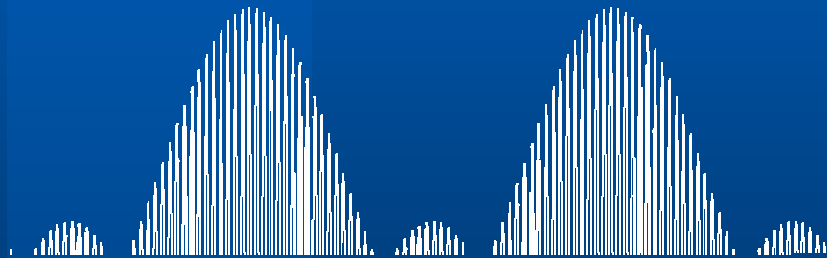
图2-3-10



$m < 1$



$m = 1$



$m$ 不同时的AM波形

$m = 1000$