

射频通讯实验系统

GRF-1300A

学生用书

用户操作手册和教材

固纬料号：82RFB1300AM01



ISO-9001 CERTIFIED MANUFACTURER

GW INSTEK

目 录

安全说明	2
安全符号	2
安全指示	2
关于本书	5
GRF-1300A 介绍	6
包装内容	8
产品规格和功能	8
时域与频域概述	15
不同角度的观察	15
频谱分析仪介绍	22
宽频接收机	22
通讯系统与射频信号实验	28
实验一: 频谱分析仪的基本操作	29
实验二: 基带波形基本测量	33
实验三: 不同基带波形与其谐波的测量	37
实验四: 射频载波的测量	44
实验五: AM 信号的测量	56
实验六: FM 信号的测量	64
实验七: 频谱仪在通讯系统中的测量	74
实验八: 通讯产品的测量	80
实验九: 生产线之应用	83
实验十: 混频器	87
学习成果验收测验	97
附录	104
dBm, dBuV 及 dBmV 之间数值转换表	104
π 型电阻衰减器之各电阻值	105
T 型电阻衰减器之各电阻值	106
FM 信号之调频指数与边频分量幅度对照表	107
合格声明	108

安全说明

本章节包含了重要的安全注意事项，当操作和储存这个仪器时，必须遵循这些事项。为保证安全，请在任何操作之前阅读以下事项，保证仪器在最好的工作状态。

安全符号

这些安全符号会出现在使用手册或机器上。



警告

警告：表示某一特定的环境或操作可能会导致人员伤害甚至失去生命。



注意

注意：产品在某一确认情况下或实际应用上可能对产品本身或其它产品造成损坏。



危险

高电压



注意

注意：内容请参考这本操作手册



保护导线端子



接地端子

安全指示

一般指导方针

- 不要放置重物在本机上。



注意

- 避免严重的撞击或不当的处置而损伤机器。
- 避免静电。
- 避免测量直接连接到主电源的电路设备。(参看下面的注释)。

(注意) EN 61010-1 : 2010 指定测量种类如下：

GRF1300 系列采用以下测量种类 I。

- 测量种类 IV 是在低电压源装置下的测量。
- 测量种类 III 是在建筑装置下测量。
- 测量种类 II 是在直接连接低电压装置的回路中测量。
- 测量种类 I 是不直接将电源连接到电路中测量。

-
- 电源供应
- 交流电压：100V~240V, 50/60Hz。
 - 将电源保护接地端接地以避免电击。



保险丝



- 保险丝类型：1A/250V。
- 为了防火，替换保险丝时应替换指定类型和等级。
- 保险丝更换前不要连接电源线。
- 更换保险丝之前，先确认保险丝熔断的原因。

清洁

- 清洁前不要连接电源线
- 以中性洗涤剂和清水沾湿柔软的布擦拭仪器。不要直接喷洒任何液体。
- 不要用化学制品或包含有如苯, 甲苯, 二甲苯和丙酮之类物质的清洁剂。

操作环境

- 地点：室内，避免阳光直射, 无尘, 几乎没有磁场干扰（下注）
- 相对湿度：< 80%
- 高度：< 2000m
- 温度：0°C to 40°C

(注意) EN 61010-1: 2001 详细说明了污染度和它们的要求如下。本仪器在污染指数 2 以下。污染指数指出了附着的杂质, 固体, 液体, 或气体(电离的气体), 可能会导致绝缘度或表面电阻系数的降低。

- 污染度数 1: 没有污染或是仅有干燥的, 无传导的污染发生时, 这种污染没有影响。
- 污染度数 2: 通常仅无导电污染发生, 然而由于浓缩引起的暂时性传导必须被考虑。
- 污染度数 3: 传导污染发生或者干燥, 没有传导污染发生时由于浓缩被预料变成可导, 在这种环境下, 装备通常是受保护的以免在暴露中受阳光直射, 强大的风压, 但是温度和湿度都不被控制。

存储环境

- 地点：室内
 - 相对湿度：< 70%
 - 温度：-10°C to 70°C
-

英式电源线

当设备使用英式电源线时，确保这个电源线符合下列的安全说明。

注意：这个装置必须由专业人员接线

警告： 这个装置必须接地

注意： 这个装置的线的颜色必须与下列的代码一致

绿色/黄色： 地线

蓝色： 零线

棕色： 火线



在许多装置中由于线的颜色可能与你的设备中标识的不一致，如下继续进行：
颜色为绿色和黄色的线必须接用字母标识为 E，有接地标志⊕，颜色为绿色或绿色和黄色的接地端。

颜色为蓝色的线必须连接到用字母标识为 N，颜色为蓝色或黑色的一端。

颜色为棕色的线必须连接到用字母标识为 L 或 P 或颜色为棕色或红的一端。

如果还有疑问，参考设备的用法说明书或联系供应商。

这个电缆装备应该被有合适额定值的和经核准的 HBC 部分保险丝保护，参考设备的额定信息和用户用法说明书的详细资料， 0.75mm^2 的电缆应该被一个 3A 或 5A 的保险丝保护，按照操作，大的导体通常要 13A 的型号，它取决于所用的连接方法。任何包含需要拿掉或更换的连接器的模具，在拿掉保险丝或保险丝座的时候一定被损坏，带有露出线的插头当插到插座里的时候是危险的，任何再接的电线必须要与以上标签相符。

关于本书

本书作为固纬电子公司生产之射频通讯实验系统 GRF-1300A 与 3GHz 频谱分析仪 GSP-730 一起搭建起来的射频通讯实验系统之使用手册，除提供使用上详细之说明外，亦提供丰富的频域测量所需的知识，包括频谱仪的工作原理，AM、FM 通讯系统的原理等等。

为了让读者更容易了解书中的内容，我们尽可能地加入图片，以加深读者的印象与理解。

本书分为教师与学生两种版本，教师版中附有所有实验结果。另外教师版中在标题上打上*号之章节，表示为进阶之延伸阅读，在学生版中并未印出。这些减少的部分，并不影响学生阅读后续章节的连续性。但为了方便学生学习，在学生版上将以 " 笔记栏 " 表示。

GRF-1300A 介绍

GRF-1300A 是一套设计精良, 能产生 3MHz 的基带信号和高达 900MHz 的载波信号, 同时也能实现调幅、调频功能的射频电路实验系统。这套实验系统能满足一般射频课程中验证性实验科目的需要。GRF-1300A 主要由三个模块组成, 分别为: Base band 模块、RF Synthesizer/FM 模块和 AM 模块。

Base band 模块能够模拟产生基带信号, 可提供 Sine 波、Square 波、Triangle 波三种波形, 输出频率和幅度可调。实验过程中三种波形可以任意切换, 以便满足不同实验对不同信号的要求。

RF Synthesizer/FM 模块是一个射频综合器用于产生频率可调的载波信号, 同时也可以起到频率调制的作用。这个模块可以说是射频电路学习中的重点, 这部分的理论验证实验, 在后面的章节会重点介绍。用此模块与 Base band 模块配合使用可产生调频波, 可用频谱仪 GSP-730 来观察测量调频波的各种特性。

AM 模块和 Base band 模块配合使用能进行幅度调制实验, 可用频谱仪 GSP-730 来观察测量调幅波的特性。

本实验系统可通过 USB 接口和电脑通讯, 可用指令控制电路的开闭, 组成通讯纠错实验项目。学生能透过各种实验现象探究其本质, 加深学生对射频电路各个部分的理解, 这就好比化整为零, 各个击破, 达到把理论知识细化的目的。

本实验系统集合了信号发生、调频调幅、通信等多种功能, 通过各模块的连接能组成多个射频电路实验项目。具体实验部分, 我们会在后面章节重点介绍。

GRF-1300A 射频通讯实验系统从音频信号的产生到载波的调制, 都考虑到了射频电路理论知识的困难之处, 有重点的研究这些理论并设置实验项目, 能使学生更容易理解这些理论知识, 并增加学生对射频电路的学习兴趣。

图 1 GRF-1300A
控制面板

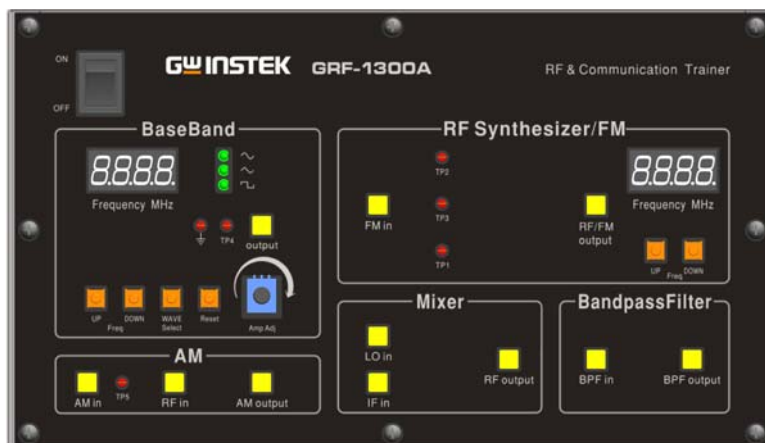




图 2 配套频谱仪
GSP-730



包装内容

本产品包装里面有主机一个、RF 线 10cm 两条、RF 线 80cm 一条、使用说明书、天线、电源线等。

Title	Photo	No	Note
GRF-1300A		1	
RF wire		3	100mm
RF wire		1	200mm
RF wire		2	800mm
Antenna		2	800-1000MHz
AC power cord		1	100-240V~50-60Hz
CD		1	User manual and software
Adapter		1	N-SMA Adapter
Student Textbook		1	RF & Communication Trainer

产品规格和功能

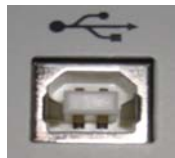
功能	项目	规格
Base Band	Waveforms	Sine, Square, Triangle
	Frequency Range	0.1~3MHz (Triangle-0.1~1MHz) Step:10KHz
	Amplitude	$\geq 1.5V_{pp}$ $\geq 0.75 V_{pp}(50 \text{ ohm})$
	Harmonics Distortion	$\leq -30\text{dBc}$
RF/FM Analysis	Frequency Accuracy	$\pm 0.15\text{MHz}$
	Adjustable Range	$\geq 45\text{MHz}$ (870M~920M) Step:1MHz
	Power Range	$\geq -15\text{dBm}$
FM 调制	Max Frequency Deviation	$> 3\text{MHz}$
AM 调制	Peak Difference	$\geq -18\text{dBm}$

混频	LO+IF	$\geq -35\text{dBm}$
	LO-IF	$\geq -35\text{dBm}$
调整信号混频输出		$\geq -60\text{dBm}$
带通滤波器	中心频率：2.4GHz	带宽： $\pm 20\text{MHz}$
通讯	能用指令控制电路的开闭，可做通讯纠错实验	

使用说明

操作步骤

1. 使用时请正确接 AC 电源。（安全使用）
接交流电源：100V~240V 50-60Hz。
电源线电源保护接地端接地以免电击。
2. 电源插座和 USB 插孔在设备的后面，电源开关在设备的左上角



USB 插孔



AC 座



面板开关

3. 当同时使用几个模块时，用合适的 RF 线把不同的模块连接起来就可以使用。

图 A-3
不同模块连接图



4. Base Band 模块上可以通过 UP、DOWN 按钮来调整基带信号的频率，步长为 10kHz。
 - WAVE Select 按钮的功能是用来选择三种不同的基带波形。选择波形时对应的发光二极管会被点亮。
 - Reset 按钮是复位键。用于 GRF-1300A 的复位，复位状态为输出 0.10MHz 正弦波基带信号和频率为 880MHz 的载波信号。
 - Output 端口用于输出设置好的基带信号。
 - 四位数码管用于显示输出基带信号的频率。
 - TP4 点用于监测 Output 端口有无信号输出。
 - 电位器旋钮可用来调节输出基带信号的电压，顺时针

为增大，逆时针为减少。

图 A-4
Base Band 模块



5. RF Synthesizer/FM 模块上可通过 UP、DOWN 按钮来调节载波的频率，步长为 1MHz。

- 四位数码管用来显示载波输出的频率值。
- FM in 端口和 RF/FM output 端口分别用来接收调频信号和输出载波信号。
- TP2/TP3/TP1 三个测试点用来监测电路的开断。每个测试点的电路位置见图 A-7。

图 A-5
RF
Synthesizer/ FM
模块



6. AM 模块主要是用来进行幅度调制。其中 AM in 端口、RF in 端口分别用于输入调制信号和载波信号，AM output 端口输出调制好的调幅波。

图 A-6
AM 模块

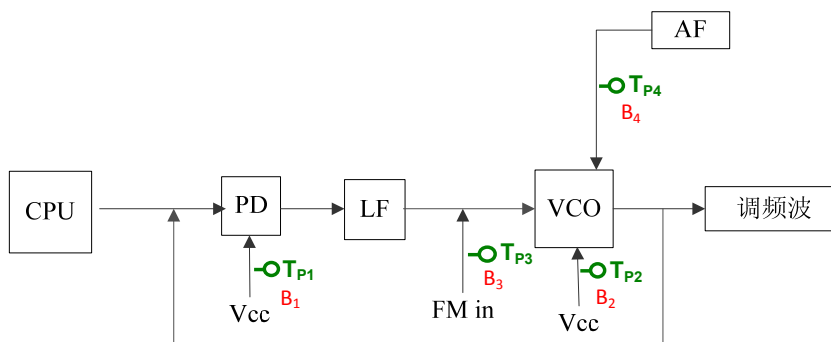


混频器的主要作用是完成频率的变换，使射频信号转换成中频信号，或者是将中频信号转换成射频信号，以便携带的信息传输及处理。



7. 面板上有五个测试点（Tp1, Tp2, Tp3, Tp4, Tp5），这五个测试点分别设置在不同模块电路的通道上，具体位置如下图所示，对应的五个测试点由不同的继电器（B1, B2, B3, B4, B5）控制其通断，可用示波器来侦测各个的点信号，以便确认电路的状态。

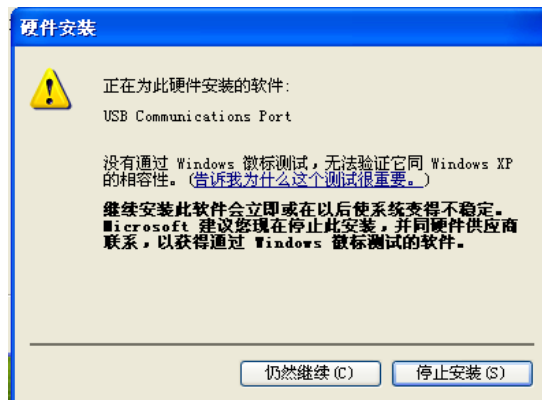
图 A-7
各测试点对应的
电路位置



8. GRF-1300A PC 端驱动的安装。

- 连接好 GRF-1300A 和电脑后，按照硬件安装步骤，把安装驱动添加到安装目录下，点下一步出现下面的显示提示。

图 A-8
为硬件安装软件



- 接下来点“仍然继续”，继续安装。最终安装完成，驱动安装结束。

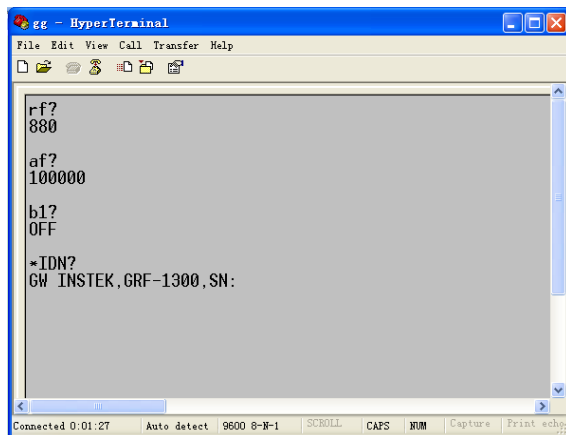
图 A-9
驱动安装完成



- 安装完成之后，可用超级终端对 GRF-1300A 发送指令，进行通讯系统纠错实验。

图 A-10
超级终端操作界面





9. 各条指令功能。

指令	功能
*IDN?	返回产品型号，序列号
RF?	返回 PLL 模块数码管上的数值
AF?	返回 Base band 模块数码管上的数值
WAVE?	返回 Base band 模块波形类型
Bn? (n 为控制五个测试点的继电器编号)	返回此时的继电器开闭状态
WAVE:0	选择波形为正弦波
WAVE:1	选择波形为三角波
WAVE:2	选择波形为方波
Bn:0(n 为控制五个测试点的继电器编号)	使对应编号的继电器为 OFF
Bn:1(n 为控制五个测试点的继电器编号)	使对应编号的继电器为 ON
AF:N(N 为要设置的频率)	设置 AF 的频率为 N
RF:N(N 为要设置的频率)	设置 RF 的频率为 N

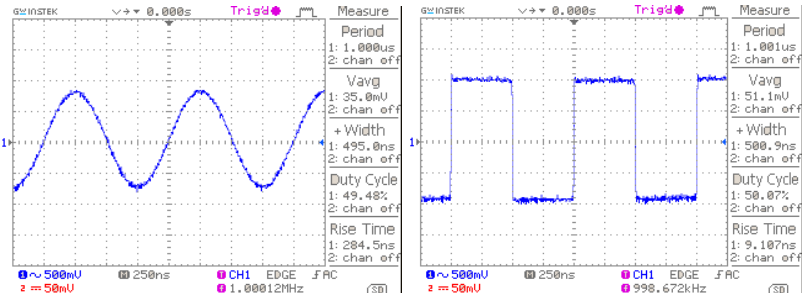
时域与频域概述

不同角度的观察

所谓时域，是指信号以时间的观点来表现。例如我们形容一个正弦波信号每 1 微秒(μsec , 10^{-6} 秒)重复出现一次，表示该信号周期是 1 微秒。通常我们会用示波器来测量信号在时间上的特性。另外我们在谈方波的上升下降时间，也是用时域的观点观测。还有相位的延迟，也是信号在时域上显出的特性。示波器，是为大家所熟知的电子信号量测仪器，所进行的就是时域的测量。

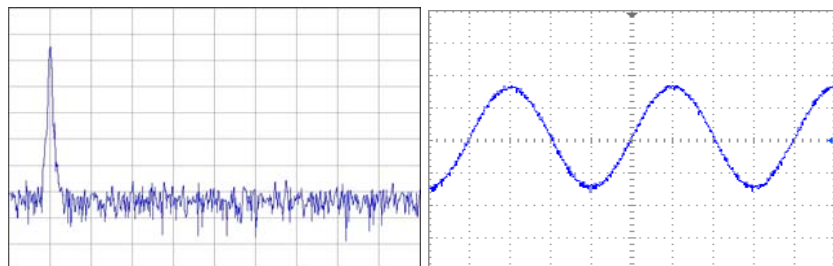
周期 1 微秒的正弦波信号(Left)

周期同样是 1 微秒的方波(right)

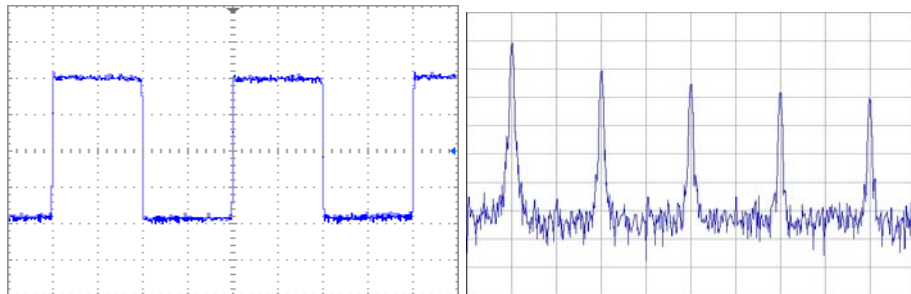


但是当我们观察峰值相同, 周期同样是 1 微秒的方波与正弦波时, 除了形容波型不一样以外, 有没有更理性, 量化的说法呢? 频域的测量刚好提供了一个不同的观点!

先解释一下何谓频域. 频域是指信号在频率上的表现, 也就是说信号的频率是多少. 假如我们先把 1 微秒的正弦波信号加到频谱分析仪上, 就会看到在 1 兆赫 (MHz) 的刻度上有一个明显的信号. 我们所熟知的频率为周期的倒数, 所以周期 1 微秒的正弦波其频率就是 1MHz. 由示波器上可以量到电压, 在频谱分析仪上, 习惯给的是 dBm, 一种功率单位. 反正电压与功率之间可以转换的, 所以都是用来表现信号的强度. 所以这里先介绍一个基本的观念. 在频谱上的每一个频率点代表的是一个单一频率的弦式波(正弦和余弦都可以)。

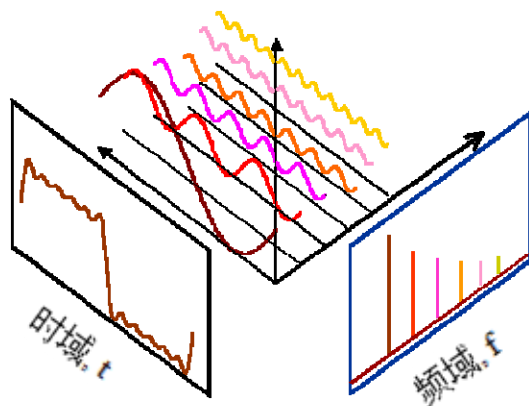


方波呢? 刚刚说用频域来说明它和正弦波的不同, 接下来将周期 1 微秒的方波输入频谱分析仪, 所得到的波形表现 (我们习惯说, 它的频谱或频率分布) 如下。



我们可以看到, 和正弦波的频谱比较, 除了在 1MHz 的刻度点以外, 在其它频率点也有幅度随频率增加而递减的信号。因此显示了方波除了在 1MHz 基频(fundamental)点, 还包含了基频的倍数频率的信号所组合起来的。

接着我们用一个很经典的表现方式来说明时域与频域的关系. 由下面这张图来说明. 时域上的方波信号, 可以分解为由多个基次谐波所加总而成. 这些谐波成分, 在频域上可以清楚的看出谐波频率的分布。频域分析提供了从另一个观点来描述信号的特性。



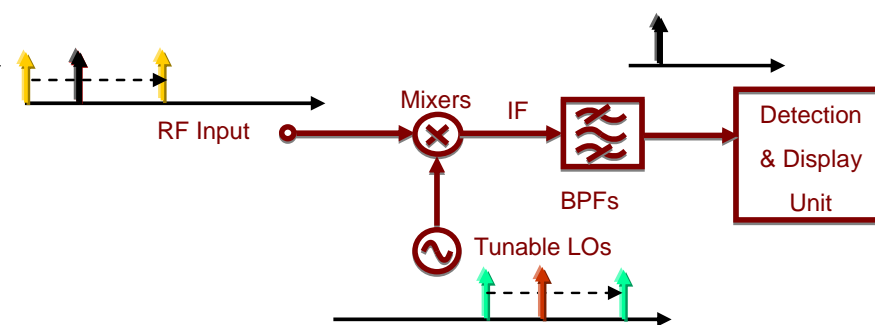
频谱分析仪介绍

频谱分析仪是做为射频微波量测最重要的仪器之一，熟悉频谱分析仪的操作对一个从事高频微波或通讯测量都非常重要的工作。另外熟悉频谱分析仪的原里与操作，对于其它相关测试仪器也可以快速上手。在这一章，我们将简单的介绍频谱仪的工作原理。了解了基本工作原理以后，对于频谱分析仪的使用，在使用上比较能得心应手。

宽频接收机

首先频谱仪的工作概念就是将输入的待测高频信号的频率降低，降低到数字与显示电路能够处理的频段，将测量结果显示出来。举例而言，2.4GHz 的信号对大部分的数字和显示线路而言不易处理，因此在频谱分析仪中，就要想办法将此频率降下来到几十 MHz 的频率。所以频谱分析仪的前半部分，我们称为射频模块，任务就是降频。利用混频器和带通滤波器，就可以达到降频(升频也可以)的作用。混频器是一个三端组件，其中有两个输入口，一个输出口。假设两个输入口的频率各为 f_{RF} , f_{LO} ，那么输出口的频率 f_{IF} 会同时出现两个频率的信号， $f_{LO}-f_{RF}$ 和 $f_{LO}+f_{RF}$ ，一个是频率相减，一个是频率相加的信号。要使用哪一个频率，就看系统和随后的带通滤波器的设计而定。至于三个端口被命名为射频 RF，本振 LO，中频 IF，乃是一种通用的，约定成俗的说法。

图 1
宽带接收者的基本结构

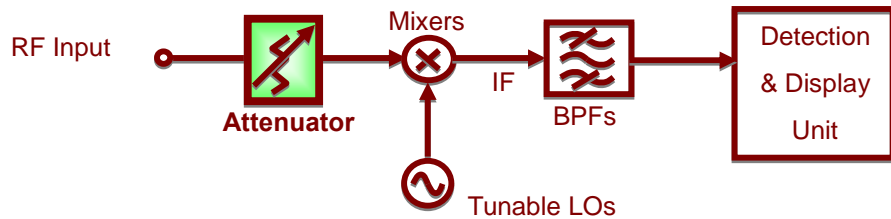


接下来要介绍其它在频谱分析仪得重要基本区块，这些区块在频谱分析仪的使用上，也会被经常提起。

衰减器

在 RF 输入路径上的衰减器能增加输入信号电平的动态范围或者给频谱分析仪输入更多的保护。参考图 2，衰减器将把输入到混频器的 RF 端信号的电平限制在一定的大小。如果输入信号大过参考电平，它能引起测量误差，或者引起更多的突波噪音。

图 2
衰减器



分辨带宽滤波器

输入信号频率转变为中频 IF 后, RBW(分辨带宽)过滤器用来区分在频率方面彼此接近的信号。图 3 显示这个概念。

图 3
RBW 过滤器

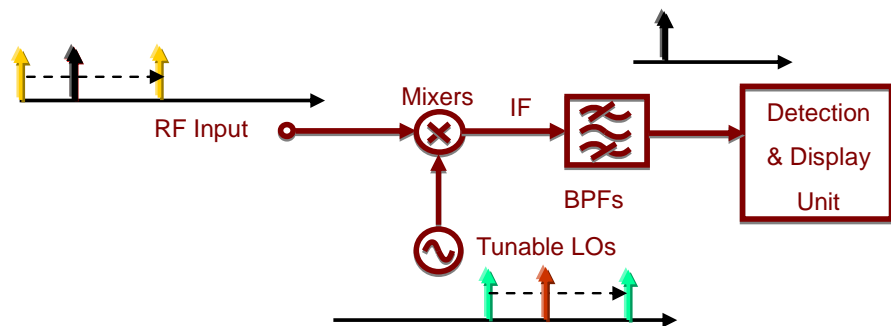
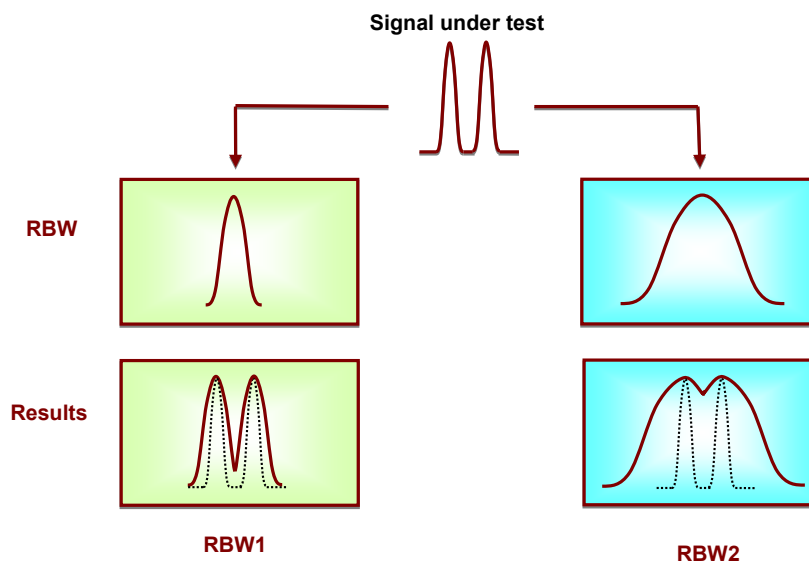


图 4 说明两个频率相近的信号通过不同带宽的 RBW 滤波器的结果。下图的两个 RBW 滤波器，其带宽 RBW1 小于 RBW2。

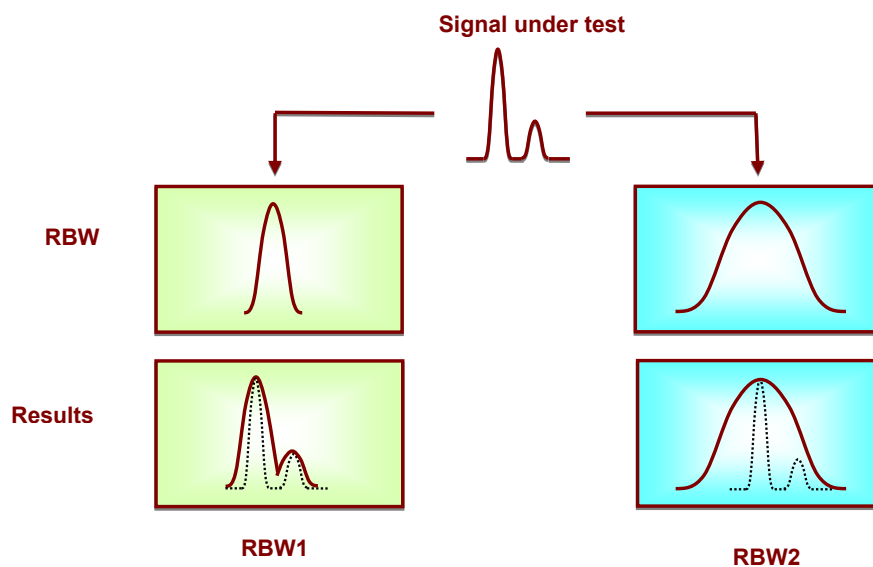
图 4
不同的 RBWs 的
影响 (1)



从结果中，在通过更狭窄的 RBW1 滤波器之后，两个频率可以清楚的区分开来。但是较宽的 RBW2 滤波器的结果没有 RBW1 清楚。这里我们能预见如果 RBW2 更宽，结果可能只会看成一个信号。或者这两个信号频率更近，同样问题也将会发生。

另一种情况是一个信号幅度比另一个高得多的情况，小水平的信号可能被为 RBW1 测量出来，但是在 RBW2 情况下会被隐藏。请参考图 5 的说明。这是我们命名这个滤波器为分辨带宽 RBW 滤波器的原因

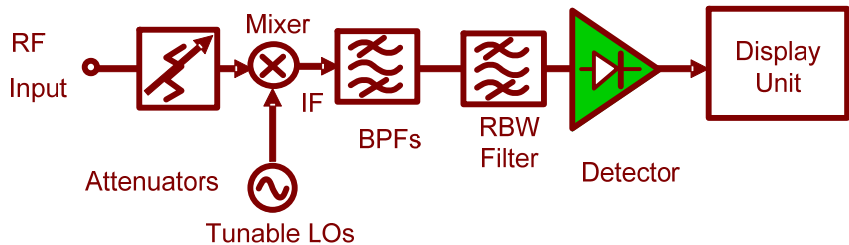
图 5
不同的 RBW 的影
响 (2)



检测器

RBW 滤波器之后的是将发现功率转变成直流电压的检测器, 其输出电压经由 ADC 转换成数字数据以便显示出来

图 6
检测器



视频滤波器

但是, 在检测器之后, 加上一个滤波器来滤掉检波器放大的噪声, 可以达到较好的显示效果, 这就是 VBW (视频带宽) 滤波器的功能, 如图 7 所示。

图 7
在系统里的 VBW 滤波器

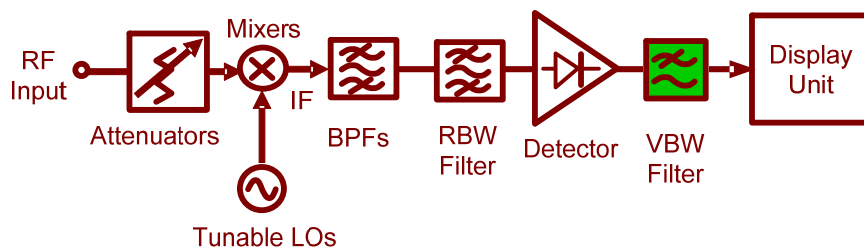
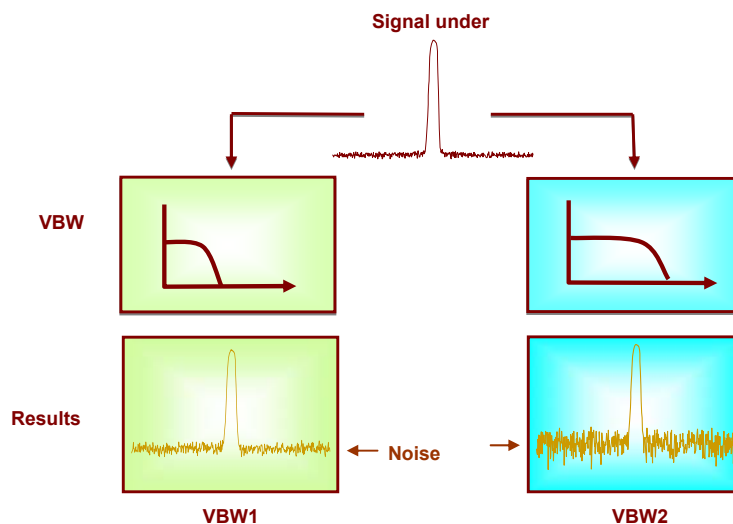


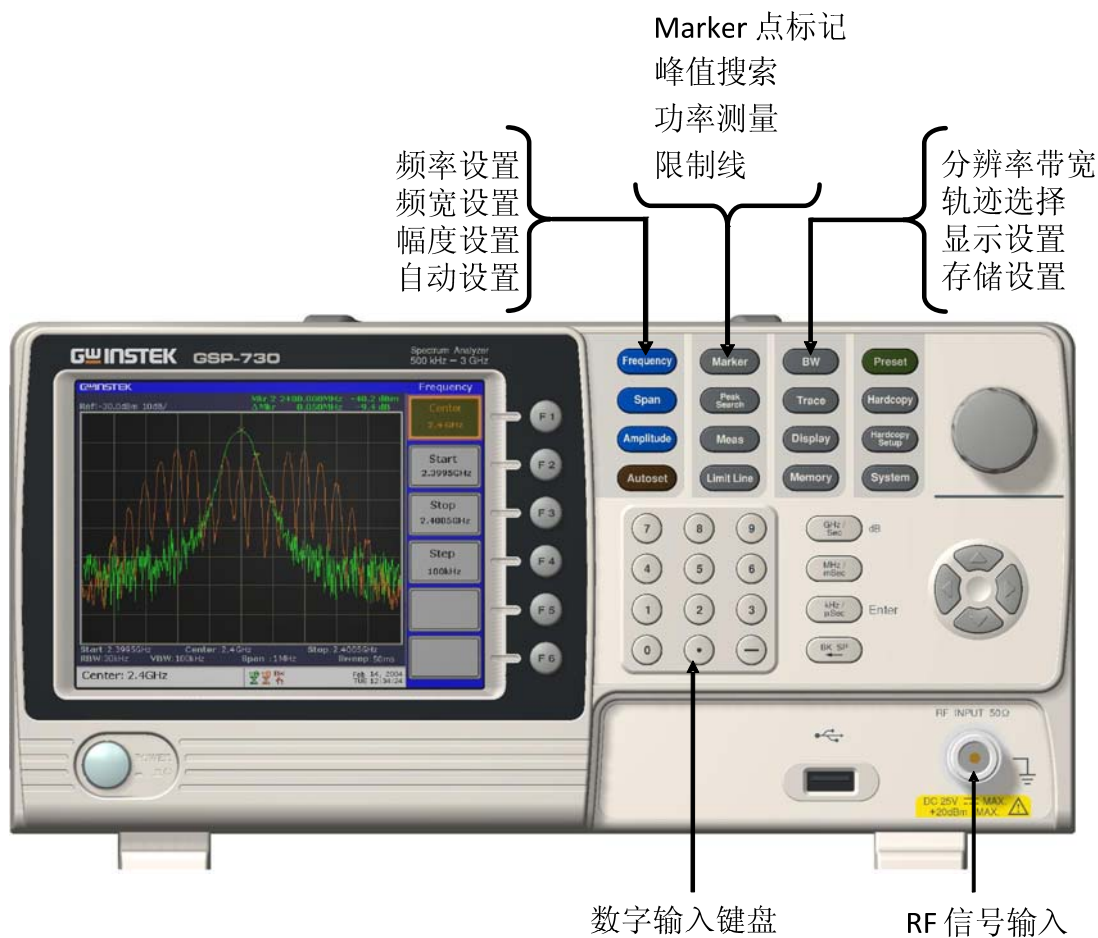
图 8 说明 VBW 影响。如果输入信号分别通过两个 VBW 滤波器, 其中 VBW1 带宽小于 VBW2。从结果中, 我们可以发现 VBW2 的底噪跳动幅度超过 VBW1。但是请注意到底噪的水平是相同的。VBW 只影响底噪的跳动幅度, 不影响信号的幅度。

图 8
对不同的 VBW 的影响



通讯系统与射频信号实验

接下来我们即将要进行频谱分析仪的基本操作与量测实验。在这之前，先要简单介绍一下固纬电子公司的 GSP-730 频谱分析仪的操作面板。详细的使用说明可以参考 GSP-730 使用说明书



实验一：频谱分析仪的基本操作

实验意义

我们人类的生活环境中除了有蓝天、海洋、森林……还有一张看不见、摸不着、听不见的错综复杂的电磁网，在这里面交织着各种频段的无线信号。这些信号虽然是看不见、摸不着的，但是我们可以借助频谱仪来认识分析这些信号。

本节实验利用频谱仪 GSP-730 抓取一些环境中的无线信号，在熟悉频谱仪使用方法的同时，也能勾起同学们对射频信号领域的求知欲。

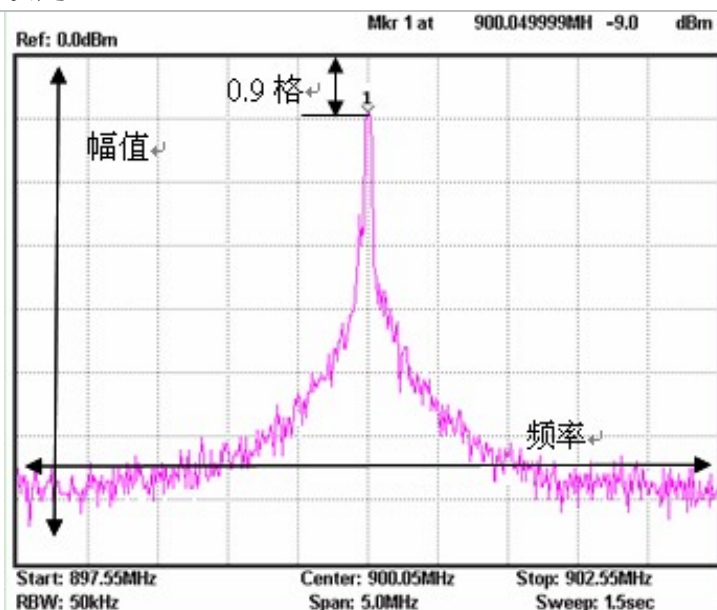
项次	设备名称	数量	备注
1	频谱仪	1 台	GSP-730
2	转接头	1 个	N 转 SMA
3	天线	1 根	800-1000MHz

实验目的

了解并熟悉频谱分析仪 GSP-730 的频率、幅值、光标等参数的设定与使用。

实验原理

频谱分析仪主要测量的物理量为信号的频率与幅值，因此在基本操作上一开始先设定频率范围，然后接下来是幅值之参考电平的设定。



上图是一张典型频谱仪的画面显示图，水平设定是频率，垂直轴是幅值。因此频谱仪的基本使用就是利用操作频率，振幅等功能键与数字键来进行频率与幅值之相关设定。

频率，振幅等功
能键与数字键



频率设定有两种方式，若是待测信号的频率是已知的话，可以利用中心频率加频展的设定方式，若是要量测的频点是一个范围，则可以利用设定开始频率和停止频率的方法。

实验内容 将频谱仪 GSP-730 接上天线，对环境中的无线电波进行测试。

- 实验步骤**
1. 开启 GSP-730 的电源并接上天线。
 2. 手机发射信号测量，由于手机频率介于 800MHz --1900MHz 之间，因此利用设定频率范围 800--1900MHz 方式。
 3. GSP-730 的设置如下：
 - Start frequency: 800MHz
 - Stop frequency: 1900MHz
 - 参考电平: -30dBm
 - 分辨率设置 (RBW): Auto

Step1 **Frequency** (F2) 8 0 0 MHz/ mSec **Start 800.0MHz**

Step2 **Frequency** (F3) 1 . 9 GHz/ Sec **Stop 19GHz**

Step3 **Amplitude** (F1) - 3 0 GHz/ Sec **Ref. Level -30.0dBm**

Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

4. 此时可以看到在频谱仪画面上有一些信号显示其上，找出其中较高的三个信号，记下其频率值。Reference Level 可随信号的强弱而调整。

5. 于手机会有跳频现象，可以利用信号轨迹之峰值保持 (Peak Hold) 功能保存读值，将跳频信号保留在显示屏幕上，将频率与幅值记录下来。

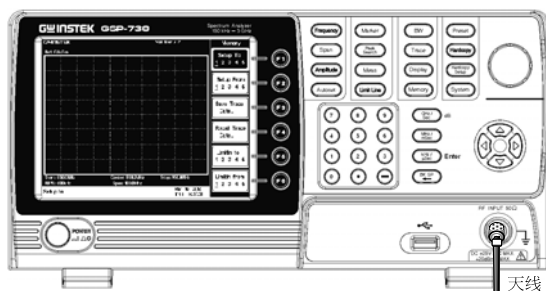
Step5 **Trace** (F3) **Peak Hold**

6. Span 改为 5MHz，中心频率依序设为上述三个频点，如此可以较准确的观察单一信号，依序纪录三个频点的幅值在表 1-1 中。

Step6 **Frequency** (F2)
中心频率为各频率点

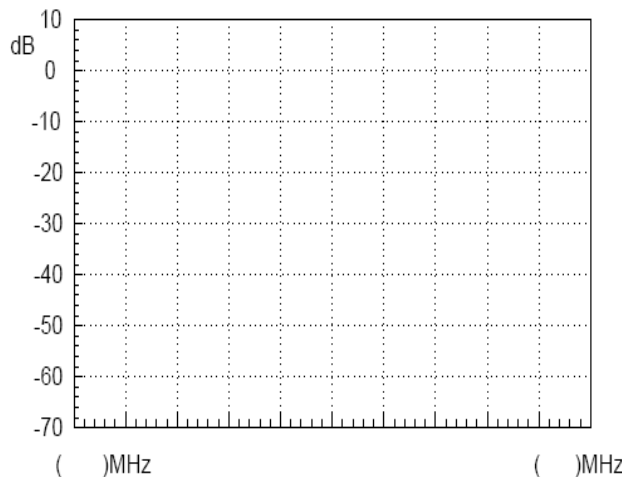
Step7 **Span** (5) **MHz/mSec** **Span 5.0MHz**

7. 按下图所示，测试环境中的无线信号。

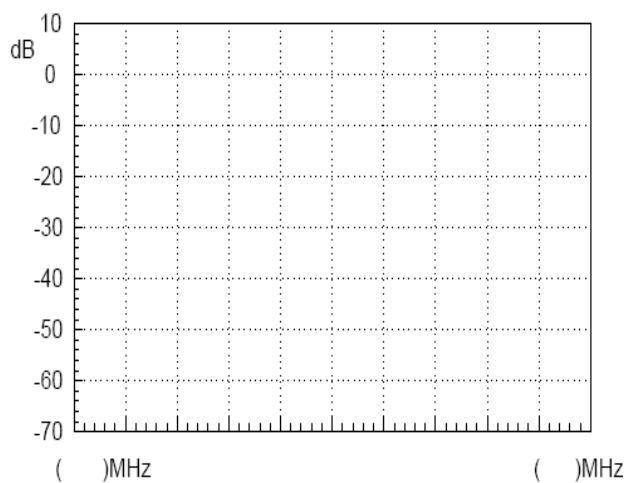


实验结果

表 1-1
手机发射机信号的
频率及幅值



频率：
幅度：



频率：

幅度：

问题与思考 除了手机信号，环境中还有什么无线信号能被量测到？

实验二：基带波形基本测量

实验意义

频谱仪相对于示波器有许多突出的优点，也是测量频域数据的主要测量工具，学会使用频谱仪是每一位学习射频知识的同学必须要掌握的一项基本技能。

本实验结合简单的基带波形的测量，让同学们对频谱仪的使用有一个全面的认识，为后续的实验打下基础。

项次	设备名称	数量	备注
1	频谱仪	1 台	GSP-730
2	射频通讯实验系统	1 台	GRF-1300A
3	RF 线	1 条	800mm
4	转接头	1 个	N 转 SMA

实验目的

1. 基本信号的测量分析。
2. 了解并熟悉 GRF-1300A 射频通讯实验系统基带信号的基本使用方法。

实验原理

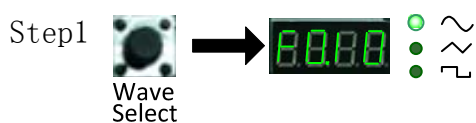
设定 GRF-1300A 的波形为 1MHz 的正弦波，利用 GSP-730 去量测其频谱。

实验内容

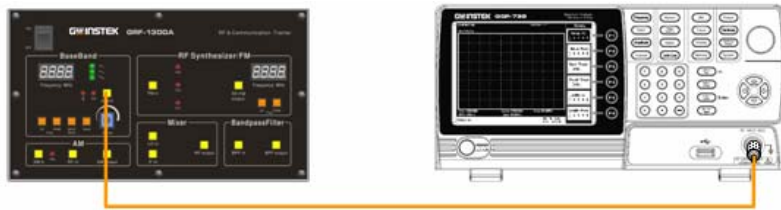
设定并测量 1MHz 正弦波的频谱及测量各次谐波比。

实验步骤

1. 开启 GRF-1300A, GSP-730 的电源。
2. GRF-1300A Base Band 部分的设定如下：
 - 波形: 正弦波。
 - 频率: 1MHz。
 - 输入幅值旋钮顺时针转到底。



3. 将 GRF-1300A 的基带信号从 out put 端连接到 GSP-730 的输入端。



4. GSP-730 的设置如下：

- 中心频率：2.5MHz
- Start frequency: 0kHz,
Stop frequency: 5MHz
- 参考电平：10dBm
- 分辨率设置 (RBW): Auto

Step1 **Frequency** (F1) 2 . 5 MHz/mSec **Center 2.5MHz**

当做完第一步时，第 2、3 步，已经自动设定到这种状态，同学们可以先做第 2、3 步，这里仅供参考！

Step2 **Frequency** (F2) 0 MHz/mSec **Start 0.0kHz**

Step3 **Frequency** (F3) 5 MHz/mSec **Stop 5.0MHz**

Step4 **Amplitude** (F1) 1 0 GHz/Sec **Ref. Level 10.0dBm**

Step5 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

5. 利用频谱仪的 Marker 功能测量各次谐波比并记录在表 2-1 中。

Step6 **Peak Search**

做完上一步之后，不用急着去做下面的谐波比的测量，旋转频谱仪上的旋钮，把 Marker 1 点对应于每个频点，并作记录，绘制简单的频谱草图。在表 2-1 上绘制好频谱图后，可以按下面步骤测量各次谐波的谐波比。下面两个步骤是利用频谱仪的 Δ -Marker 功能测量各次谐波比。

Step7 **Marker** (F3) **Mode Normal Delta** 1 MHz/mSec

Step8 **Marker** (F3) **Mode Normal Delta** 2 MHz/mSec

6. 上述测量也可以用函数信号发生器当信号源，要注意输出信号的幅值不可过大。

由于 dBm 是功率单位，是和一毫瓦 (mW) 为参考的振幅单位，其公式为 $x \text{ dBm} = 10 \times \log (P_x / 1\text{mW})$

若 10 毫瓦带入上述公式， $10 \times \log (10/1) = 10 \times 1 = 10\text{dBm}$ ，同理若是 100 毫瓦， $x = 10 \times \log (100\text{mW} / 1\text{mW}) = 10 \times 2 = 20\text{dBm}$ 。

因为函数信号发生器的输出多用在 50 欧姆负载下的电压表示，因此要将功率再换算到电压。几个常用的数值如下：

电压到 dBm 之转换：(50 欧姆负载情况下)

V _{pp} (V)	V _m (V)	V _{rms} (V)	P (mW)	dBm
10.00	5.00	3.54	250.00	23.98
5.00	2.50	1.77	62.50	17.96
2.00	1.00	0.71	10.00	10.00
1.00	0.50	0.35	2.50	3.98

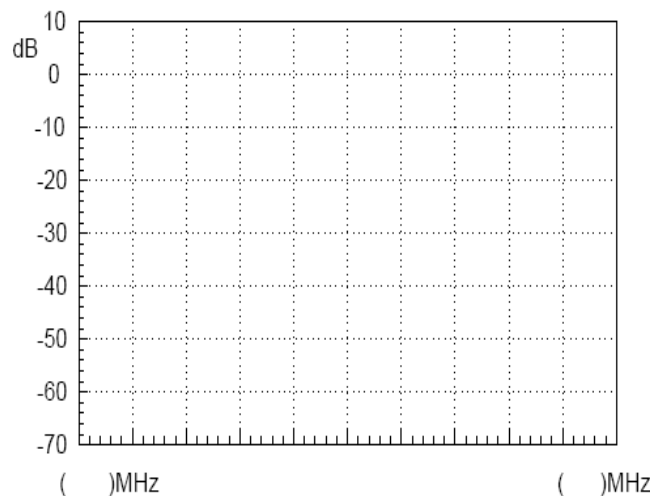
dBm 到电压得转换如下：(50 ohm 负载情况下)

dBm	P (mW)	V _{rms} (V)	V _m (V)	V _{pp} (V)
20.00	100.00	2.24	3.16	6.32
10.00	10.00	0.71	1.00	2.00
0.00	1.00	0.22	0.32	0.63
-10.00	0.10	0.07	0.10	0.20

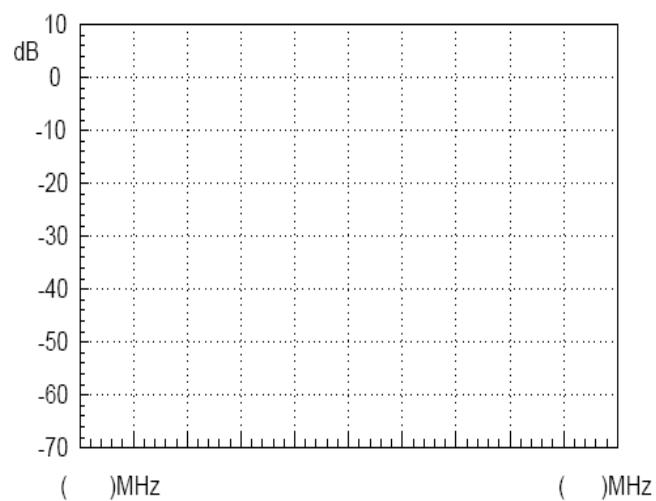
若电压是在空载情况下以示波器测试，则 V_{pp} 与 V_m 要乘以 2。举例言之，空载以示波器量得 4V_{pp}，相当于 50 欧姆 2V_{pp}，换算结果是 10dBm。

实验结果

表 2-1
1MHz 正弦波的各项谐波频谱测试结果



二次谐波比为



三次谐波比为

问题与思考

1. 理论正弦波的频谱是怎么样的，为什么实际测得不一样？
2. 分析信号频域特性？

注意事项

1. 待测设备接口不能带电，输出功率也不能超过频谱仪的规定功率，否则会损坏频谱仪。
2. 用 RF 线连接时，注意把接头旋紧。

实验三：不同基带波形与其谐波的测量

实验意义

分析电信号对于每一个同学而言并不陌生，一般情况下，我们分析电信号是用一台示波器去观察信号的波形、幅值，也就是观察电信号随时间变化的函数 $X(t)$ 。然而，随着我们研究对象的不同，分析信号的目的也不同。例如，当我们分析放大器、滤波器、混频器……时，我们渴望得到的不再是时域中的变化关系函数，而是能表征其特性的频响函数。

通过这个实验，同学们会发现频域分析在很多时候具有时域分析所无法比拟的优点。同时，你也会发现时域和频域之间存在的关系，更好的理解傅里叶级数理论。

项次	设备名称	数量	备注
1	频谱仪	1 台	GSP-730
2	射频通讯实验系统	1 台	GRF-1300A
3	示波器	1 台	GDS-2204
4	RF 线	1 条	800mm
5	转接头	1 个	N 转 SMA

实验目的

1. 藉由射频通讯实验系统 GRF-1300A 中的基带信号进行谐波量测。
2. 由量测结果验证傅立叶级数理论。
3. 理解信号时域和频域的内在联系。
4. 通过实验熟悉典型信号的波形和频谱特征，并能够从信号频谱中读取所需信息。

实验原理

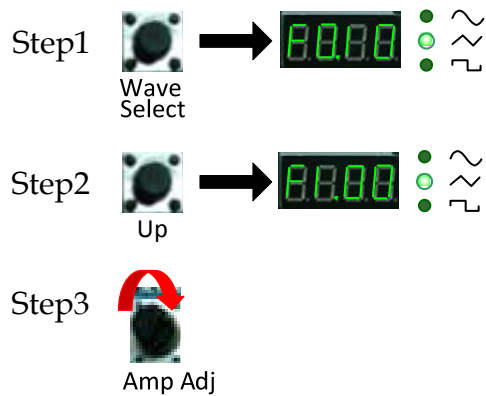
设定 GRF-1300A 的波形, 切换到不同波形, 利用 GSP-730 去量测其谐波频谱。前面第三章节已经介绍了时域和频域的关系，此处不再赘述。

实验内容

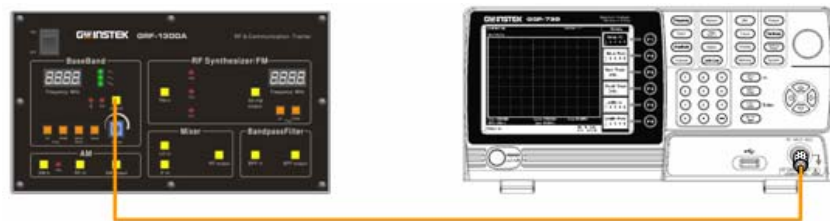
本实验通过对简单信号（三角波、方波）的时域波形测量和频谱分析，熟悉 GRF-1300A 中基波产生模块和频谱仪使用，重点分析这几种信号的频谱。

实验步骤

1. 开启 GRF-1300A, GSP-730 的电源。
2. GRF-1300A Base Band 部分的设定如下:
 - 波形:三角波。
 - 频率:1MHz。
 - 输入幅值旋钮顺时针转到底。

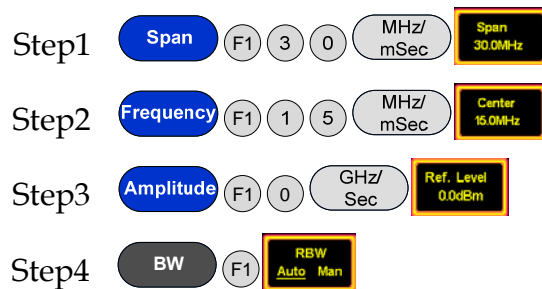


3. 将 GRF-1300A 的基带信号用 RF 线从 output 端口连接到 GSP-730 的输入端。



4. GSP-730 的设置如下

- 中心频率: 15MHz
- Start frequency: 0kHz, Stop frequency: 30MHz, Span: 30MHz
- 参考电平: 0dBm
- 分辨率带宽 (RBW): Auto



5. 观察频谱，利用频谱仪上的 Marker 功能绘制频谱并把谐波比记录在表 3-1 上。



做完上一步之后，不用急着去做下面的谐波比的测量，旋转频谱仪上的旋钮，把 Marker 点旋到每一个谐波的峰值点，并作记录，绘制简单的频谱草图。在表 3-1 上绘制好频谱图后，可以按下面步骤测量各次谐波的谐波比。下面两个步骤是利用频谱仪

的 Δ -Marker 功能测量各测谐波比。



6. 再在 GRF-1300A Base Band 部分选择方波，做同样的频谱测量。



7. 观察频谱仪上的方波频谱，利用频谱仪上的 Marker 功能绘制频谱并把谐波比记录在表 3-3 上。
用绘制三角波频谱的方法，去绘制方波的频谱。先把频谱上的 Δ -Marker 取消。



在表 3-3 上绘制好频谱图后，可以按下面步骤测量各次谐波的谐波比。



按照上面测谐波比的方法，同学们可以试着测量更高次谐波的谐波比。

8. 分别测量完频谱以后，从 output 端口连接到示波器的输入端口，测量三角波和方波的时域波形，并记录在表 3-2 和表 3-4 中。

实验结果

1. 三角波和方波的时域波形和频域频谱的测量结果。

表 3-1
1MHz 三角波的频谱测试结果

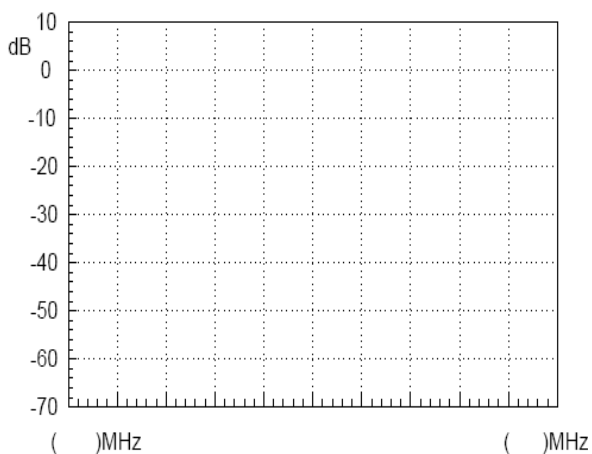


表 3-2
1MHz 三角波的时间域波形

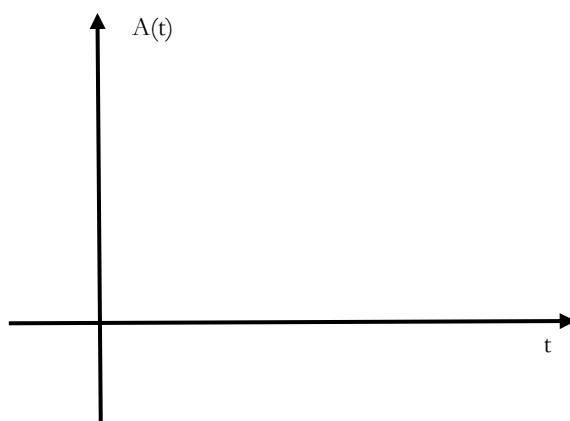


表 3-3
1MHz 方波的频谱测试结果

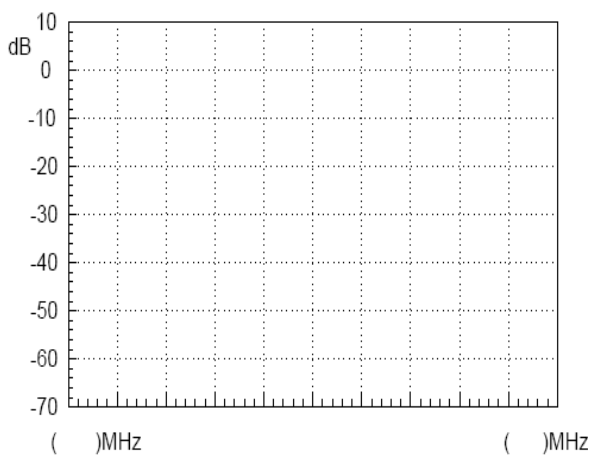
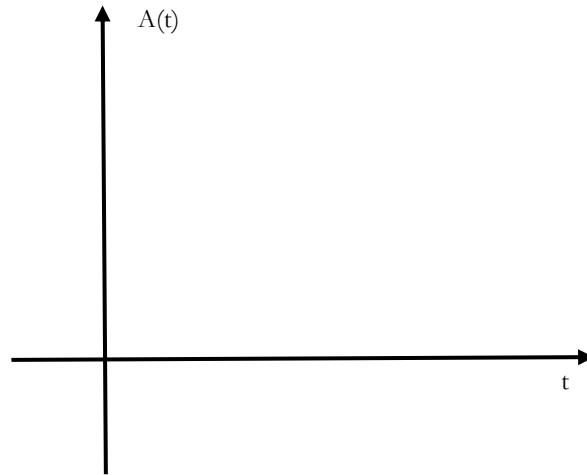
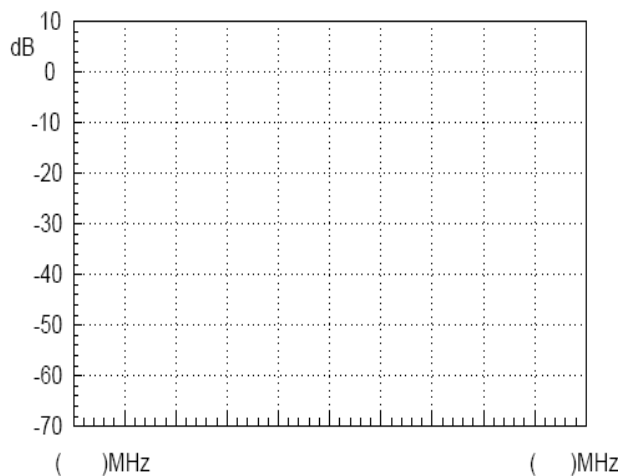


表 3-4
1MHz 方波的时域
波形

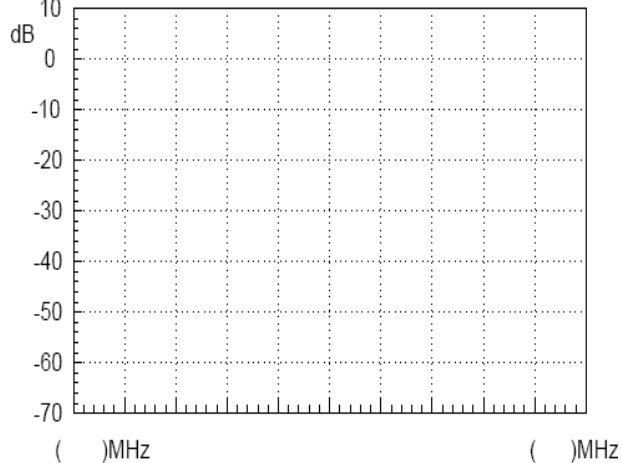


2. 三角波和方波的各次谐波的谐波比的测量。

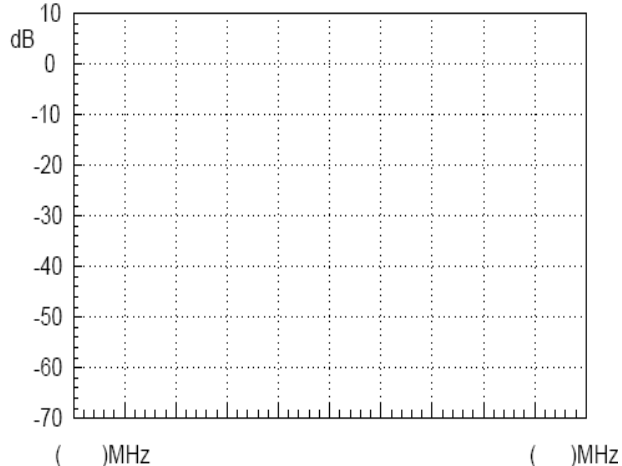
三角波三次谐波比



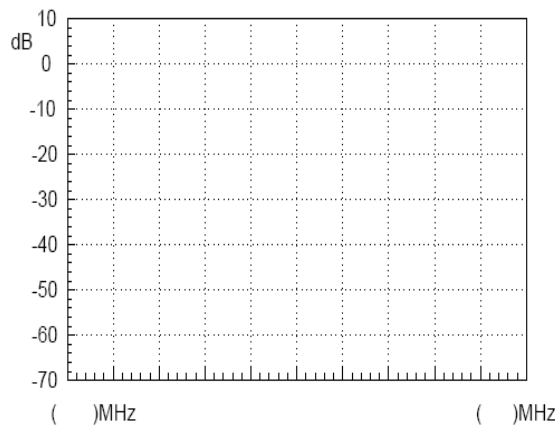
三角波五次谐波比



方波的二次谐波



方波的三次谐波



问题与思考

1. 比较频域和时域的测量结果，仔细思考傅里叶级数理论。
2. 分析三角波和方波的频谱的区别，写出它们的三角函数形式的傅里叶级数，你发现各次谐波和级数的每一项是什么关系？

注意事项

频谱仪的中心频率的设置有好几种方法，可根据需要设置。

实验四：射频载波的测量

实验意义

射频信号一般做为通讯系统之载波. 由于低频信号不易由天线发射传送到远方去, 因此必须将低频的讯息(如语音)放入较高频的信号上, 再由天线将含着低频讯息的高频信号发射出去. 这高频信号像是一个载体载着讯息, 所以此载体信号称为载波. 本实验对射频信号进行基本测量, 以及相位噪声, 谐波等重要参数做一测量。

本实验系统的载波是由锁相环路部分产生, 锁相环路的应用非常广泛, 如锁相接收, 锁相调频与解调等, 也常被用在作为发射机和接收机的本地振荡器。我们学习射频电路, 必须对锁相环电路的工作原理作深入研究。本实验通过测量载波的频谱, 使同学们认识高频信号的同时, 也对其电路有个认识。在后面通讯诊断实验中我们还会深入研究锁相环锁定和失锁的条件。

项次	设备名称	数量	备注
1	频谱仪	1 台	GSP-730
2	射频通讯实验系统	1 台	GRF-1300A
3	RF 线	1 条	800mm
4	转接头	1 个	N 转 SMA

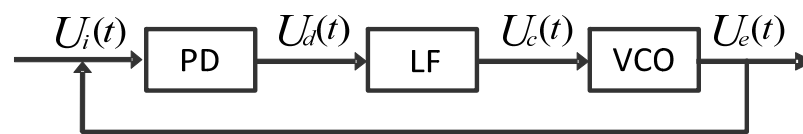
实验目的

藉由射频通讯实验系统 GRF-1300A 对射频信号进行量测, 并对较重要的参数相位噪声和谐波失真进行量测。

实验原理

锁相环路 (PLL, Phase Locked Loop) 是一个相位误差控制系统, 是将参考信号与输出信号之间的相位进行比较, 产生相位误差电压来调整压控振荡器输出信号的频率, 以达到与参考信号同频的目的。其基本电路结构如下图 4-1 所示。

图 4-1
锁相环电路结构



PD 为锁相环检相器、LF 为环路滤波器、VCO 为压控振荡器

在压控振荡器 (VCO) 的输出信号中, 振荡器相位噪声的优劣, 代表着振荡器的输出信号纯度是否良好。相位噪声通常定义为在某一给定偏移频率处的 dBc/Hz 值, 其中, dBc 是以 dB 为单位的该频率处功率与频率中心点处功率的比值。一个振荡器在某一偏移频率处的相位噪声的定义为在该频率处 1Hz 带宽内的信号功率与信号总功率的比值。

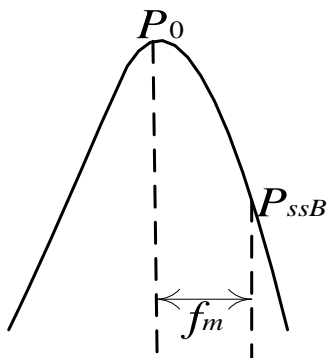
在单边带偏离载波频率 f_m 处, 测量边带功率 P_{ssB} , 通常利用下面公式去计算相位噪声

$$L(f_m) = (P_{ssB} - P_0) - \log B + 2.5$$

其中：

$$B = 1.2RBW \text{ (RBW 为分辨率带宽)}$$

图 4-2
相位噪声定义示意图



由于振荡器为非线性组件，所以会产生高次的谐波信号，谐波失真也是射频信号的重要指针之一，一般而言利用滤波器来滤除。

实验内容

1. 测量射频信号的频谱。
2. 测量射频信号的谐波失真。
3. 测量射频信号的相位噪声。

实验步骤

射频信号的频谱及谐波的测量

1. 开启 GRF-1300A 和 GSP-730 的电源，GRF-1300A 设置在开机默认状态。
2. 用 RF 线将 GRF-1300A 的 RF/FM output 端口连接到 GSP-730 的输入端口。
3. GSP-730 设置如下：
 - Span: Full Span
 - 参考电平 Ref: 0dBm
 - 分辨率带宽 (RBW) : Auto

Step1 Span F2 Full Span

Step2 Amplitude F1 0 GHz/Sec Ref. Level
0.0dBm

Step3 BW F1 RBW
Auto Man

- 观察频谱，利用频谱仪上的 **Marker** 功能测量各频率点的幅度（这里可以利用 **Next Peak** 功能），并把结果绘制在表 4-1 上。

Step4 **Peak Search**

Step5 **Peak Search** (F2)

- 在表 4-1 上绘制好频谱图后，可以按下面步骤测量各次谐波的谐波比。

Step6 **Marker** (F3) **Mode** (Normal Delta)

1 7 6 GHz/Sec



Step7 **Marker** (F3) **Mode** (Normal Delta)

2 6 4 GHz/Sec

上面两个步骤，由于 **Span** 很大，可能存在误差，找二次和三次谐波的时候，可以微调。并把结果最终记录在表 4-2 中。

射频信号相位
噪声的测量

- 开启 GRF-1300A 和 GSP-730 的电源。
- GRF-1300A RF Synthesizer/FM 的设定状态如下：
 - 载波频率调为 875MHz

Step1  → 
Down

- 用 RF 线从 GRF-1300A 的 RF/FM output 输出端口接到频谱仪的输入端。



- GSP-730 设置如下：
 - 中心频率：875MHz
 - Span: 1MHz
 - 参考电平: 0dBm
 - 分辨率带宽 (RBW) : Auto

Step1 **Frequency** (F1) 8 7 5 (MHz/mSec) **Center 875.0MHz**

Step2 **Span** (F1) 1 (MHz/mSec) **Span 10MHz**

Step3 **Amplitude** (F1) 0 (GHz/Sec) **Ref. Level 0.0dBm**

Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man**



Step5 **Peak Search**

5. 把载波功率记录下来后，设置偏离载波频率 f_m 为 100kHz 的偏离量，利用频谱仪上 Δ -Marker 功能测量此时的 Δ -Marker 值。

Step6 **Marker** (F3) **Mode Normal Delta** 1 0 0 (kHz/uSec)

记录下此时的值，然后根据公式算出此时的相位噪声，并把频谱图和测量计算结果记录在表 4-3 中。

6. 调整锁相环的输出频率为 900MHz,再次测量对应频率的功率值及相位噪声。

Step7  → 
Up

Step8 **Frequency** (F1) 9 0 0 (MHz/mSec) **Center 900.0MHz**

Step9 **Peak Search**

把载波功率记录下来后，设置偏离载波频率 f_m 为 100kHz 的偏离量，利用频谱仪上 Δ -Marker 功能测量此时的 Δ -Marker 值。

Step10 **Marker** (F3) **Mode Normal Delta** 1 0 0 (kHz/uSec)

记录下此时的值，然后根据公式算出此时的相位噪声，并把频谱图和测量计算结果记录在表 4-3 中

7. 调整锁相环的输出频率为 910MHz,再次测量对应频率的功率值及相位噪声。

Step11  → 
Up

Step12 **Frequency** (F1) 9 1 0 (MHz/mSec) **Center 910.0MHz**

Step13 **Peak Search**

把载波功率记录下来后，设置偏离载波频率 f_m 为 100kHz 的偏离量，利用频谱仪上 Δ -Marker 功能测量此时的 Δ -Marker 值。

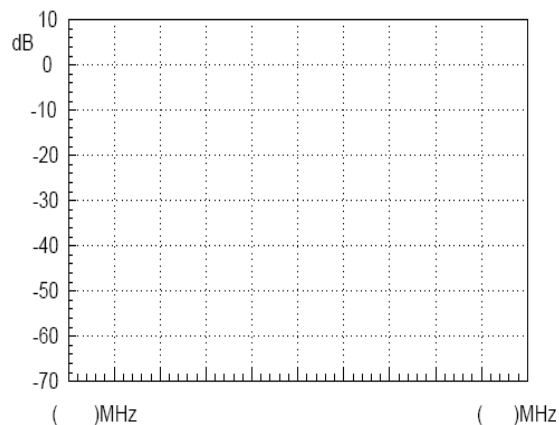
Step14 **Marker** (F3) **Mode Normal Delta** (1) (0) (0) kHz/uSec

记录下此时的值，然后根据公式算出此时的相位噪声，并把频谱图和测量计算结果记录在表 4-3 中

实验结果

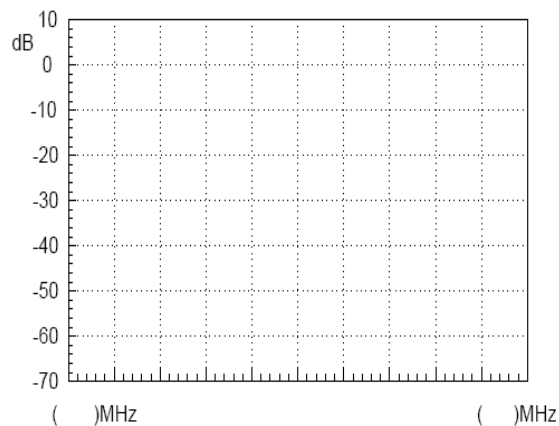
1. 射频信号频谱测量结果

表 4-1
射频信号的频谱

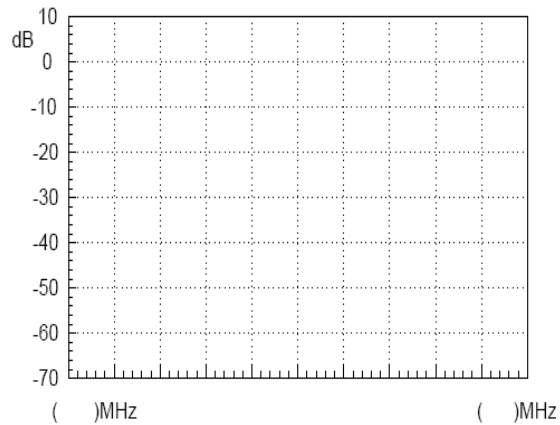


2. 射频信号的谐波和谐波比测量结果。

表 4-2
射频信号的谐波比测量



射频信号二次谐波比测量



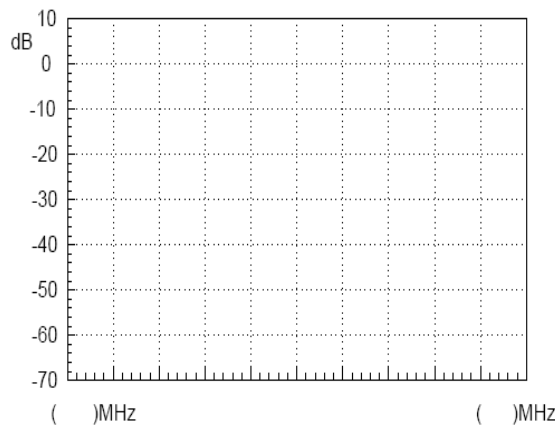
射频信号三次谐波比测量

3.射频信号相位噪声测量结果

表 4-3
相位噪声测量结果

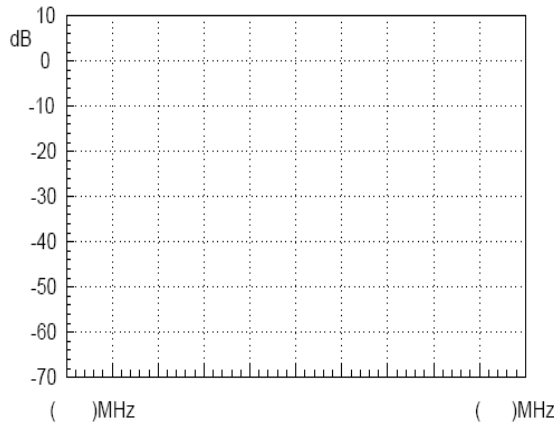
载波频率	测试结果
------	------

875MHz



载波频率:
输出功率:
相位噪声:

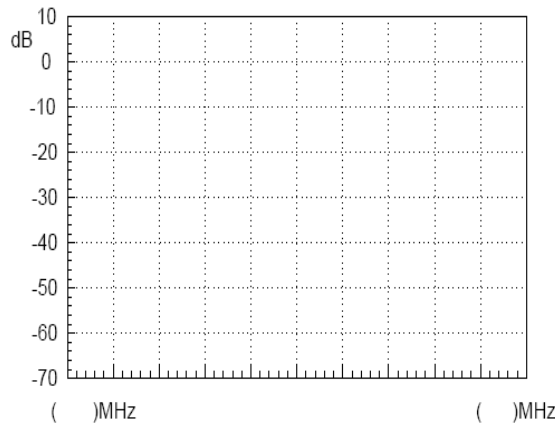
900MHz



载波频率:
输出功率:

相位噪声:

910MHz



载波频率:

输出功率:

相位噪声:

问题与思考

1. 锁相环电路由那几部分构成？并说明每部分的功能。
2. 为什么说锁相环路具有优良的优点？
3. 试说明相位噪声产生的原因？改善相位噪声的方法？

注意事项

用 RF 线连接时，接头端子一定要旋紧。

实验五：AM 信号的测量

实验意义

从消息变换过来的原始信号具有频率较低的频谱分量，这种信号在许多信道中不适宜传输。因此，在通讯和测试系统的发送端通常需要有调制的过程。调制是在信号传输过程中常用的一种信号调整方法，其作用就是把携带有信息的低频信号调制为适当频率的信号，以便解决微弱信号的放大处理以及信号的传输问题。调制在射频通讯系统中的作用至关重要。不仅可以把低频的原始信号进行调制发射出去，还可以实现信道复用。多个同频率范围的信号同时在一个信道中传输容易相互干扰，若将它们分别调制在不同的载波上，就可以同时传输多个信号了。本实验就从幅度调制开始，利用频谱仪对调幅信号的特性进行测量，对同学们掌握调频、调幅原理及特性有重要的意义。

项次	设备名称	数量	备注
1	频谱仪	1 台	GSP-730
2	射频通讯实验系统	1 台	GRF-1300A
3	RF 线	2 条	100mm
4	RF 线	1 条	800mm
5	转接头	1 个	N 转 SMA

实验目的

1. 理解 AM 之工作原理。
2. 利用频谱仪对射频信号的调幅特性进行测量。

实验原理

调制过程就是将低频信号搬移到高频信号上的过程，由高频信号进行传播。通常将携有信息的电信号称为调制信号或基带信号，未调制的高频信号称为载波信号，经过调制后的信号称为调波信号。根据受控参数的不同，对模拟信号有 3 种调制方式：调幅、调频和调相。

本实验就从调幅开始学习调制的一些理论知识。调幅就是利用调制信号去控制高频载波信号的振幅，使载波的振幅随调制信号成正比例变化。经振幅调制的高频载波称为调幅波。调幅波有普通调幅波、抑制载波的双边带调幅波和抑制载波的单边带调幅波。

1. 普通调幅波的表达式和波形

设调制信号为单一频率的余弦波($\Omega=2\pi f_{\Omega}$)，有

$$u_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t = U_{\Omega m} \cos 2\pi f_{\Omega} t \quad (4.1)$$

$$\text{载波信号为 } u_c(t) = U_{cm} \cos \omega_c t = U_{cm} \cos 2\pi f_c t \quad (4.2)$$

由于要实现振幅调制后载波频率保持不变，调幅波的振幅和调制

信号成正比，因此已调波的表达式为

$$u_{AM}(t) = U_{AM}(t) \cos \omega_c t = U_{cm}(1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t \quad (4.3)$$

为了简化分析，设两者波形的初相角为零。式(4.3)中， m_a 称为

$$m_a = \frac{k_a U_{\Omega m}}{U_{cm}}$$

调幅系数或调幅度，即

它表示载波振幅受调制信号的控制程度， k_a 为由调制电路决定的比例常数。调幅系数应该小于或等于1，当调幅系数大于1时，称为过调制，此时的调制信号要失真。

可见，调幅波也是一个高频振荡，而它的振幅变化规律（包络变化），是与调制信号完全一致的。因此调幅波中携带了调制信号的信息。下图为由调制信号到调幅波的变化过程。

图 5-1
载波由未被调制到被调制过程图

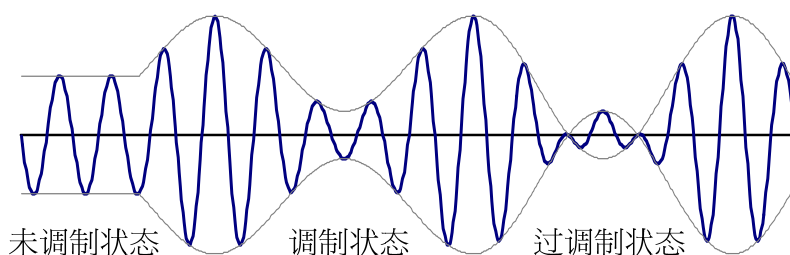
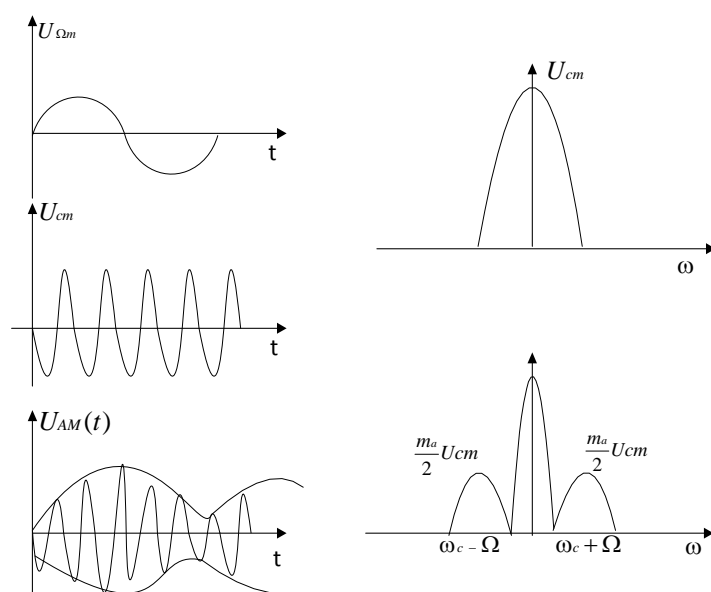


图 5-2
调幅波的时域和频域波形

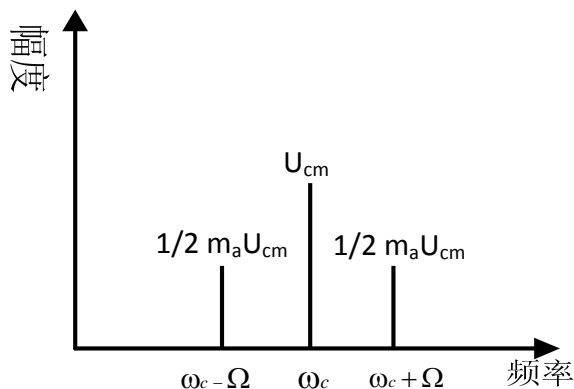


2. 调幅波的频谱

由式(4.3) 展开得

$u_{AM}(t) = U_{cm} \cos \omega_c t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \cos(\omega_c - \Omega)t$ 可见，用单音频信号调制后的已调波，由三个高频分量组成：除了载波以为，还有 $(\omega_c + \Omega)$ 和 $(\omega_c - \Omega)$ 两个新频率分量。其中一个比 ω_c 高称为上边频分量；一个比 ω_c 低称为下边频分量。其频谱图如图 5-3. 所示。

图 5-3
调幅波的频谱



以上分析表明，调幅的过程就是在频率上将低频调制信号搬到高频载波两侧的过程。显然在调幅波中，载波并不含有任何有用信息，要传送的信息只包含在边频分量中。

实验内容

1. 测量调幅波的频谱和波形。
2. 不同调制度下的调幅波频谱测量。

实验步骤

1. 开启 GRF-1300A 和 GSP-730 的电源
2. GRF-1300A 设置如下：
 - 开机默认状态下。
 - 用 RF 线把 Base Band 模块上的 output 端口和 AM 模块上的 AM in 端口连接起来。
 - 用 RF 线把 RF Synthesizer/FM 模块上的 RF/FM output 端口和 AM 模块上的 RF in 端口连接起来。
 - 把面板上的电位器顺时针旋转到底。
3. 用 800mm 的 RF 线从 AM output 端口接到频谱仪的输入端。



4. 频谱仪的设置如下:

- 中心频率:880MHz
- Span: 5MHz
- 参考电平: 0dBm
- 分辨率频宽 (RBW) : Auto

Step1 Frequency (F1) 8 8 0 MHz/mSec Center 880.0MHz

Step2 Span 5 MHz/mSec Span 5.0MHz

Step3 Amplitude (F1) 0 GHz/Sec Ref. Level 0.0dBm

Step4 BW (F1) RBW Auto Man

5. 利用 Marker 功能测量频谱仪上调幅波的载波分量及上下边频的功率，并用示波器测量此时 Tp4 点旋钮位置的电压值，并绘制调幅波频谱在表格 5-4 上。

Step5 Peak Search

Step6 Marker (F3) Mode Normal Delta 1 0 0 kHz/uSec

6. 逆时针旋转电位器到一半位置，并用示波器测得此时电压值，改变调制信号的输出幅度，观察调幅波的频谱有什么变化？并记录在表格 5-4 上。

7. 再次逆时针旋转电位器，使其输出电压值减小，并用示波器测的此时电压值，并观察调幅波的频谱变化，并记录在表格 5-4 上。

8. 把电位器旋钮按顺时针调到最大，通过 Base Band 模块上 Up 按钮调节调制信号的频率，观察调幅波的频谱有什么变化？和频率为 100kHz 实验结果作比较得出实验结论并记录在表 5-5 上

Step7  →  



9. 再次调节 Base Band 模块上的 Up 按钮改变调制信号的频率，观察调幅波的频谱有什么变化？并记录在表 5-5 上。



10.做完以上步骤后，按 Reset 按键，然后调节 RF Synthesizer/FM 模块上的 Up 按钮改变载波信号的频率，观察调幅波频谱有什么变化？并与频率在 880MHz 实验结果作比较得出实验结论并记录在表 5-6 上。



11.调节 RF Synthesizer/FM 模块上的 Down 按钮改变载波的频率，观察调幅波频谱有什么变化？并记录在表 5-6 上。

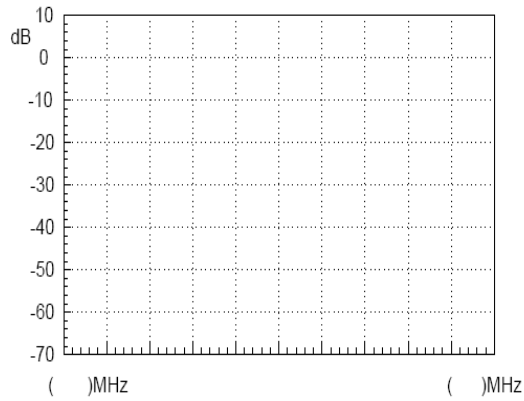


实验结果

1.改变调制电压实验结果

调制电压	测试结果
------	------

Vpp:

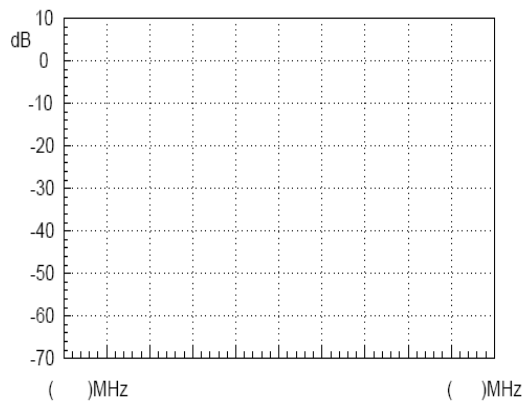


载波功率:

调制度:

下边频功率:

Vpp:

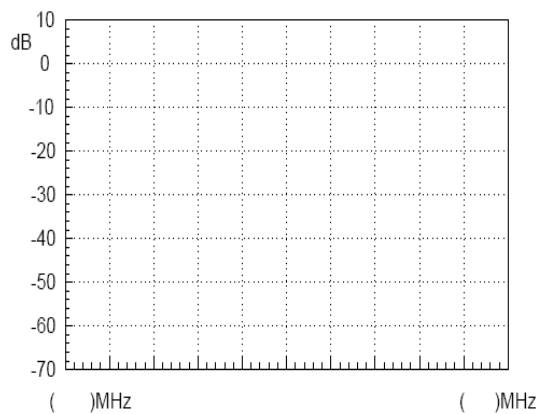


载波功率:

调制度:

下边频功率:

Vpp:



载波功率:

调制度

下边频功率:

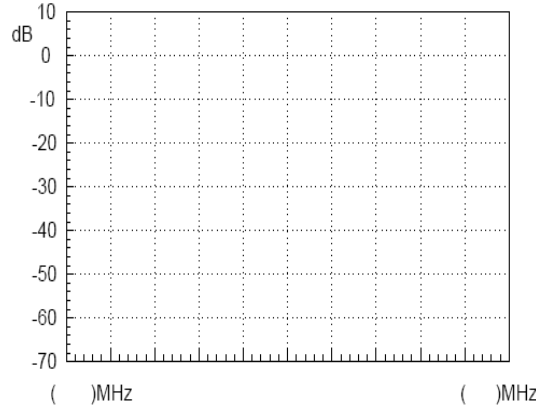
分析实验数据得出实验结论:

2.改变调制信号的频率实验结果

表 5-5
改变调制信号频率实验结果

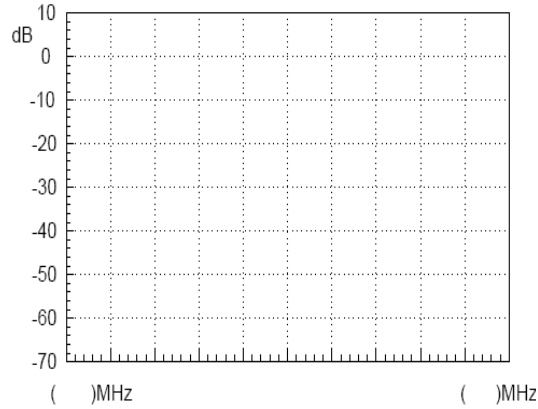
调制频率 测试结果

100kHz



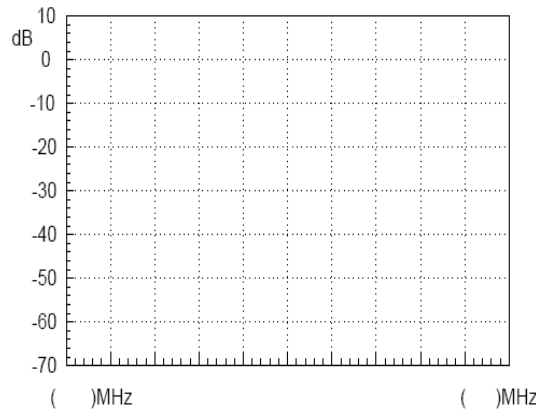
载波功率:
下边频功率:

300Khz



载波功率:
下边频功率:

600kHz



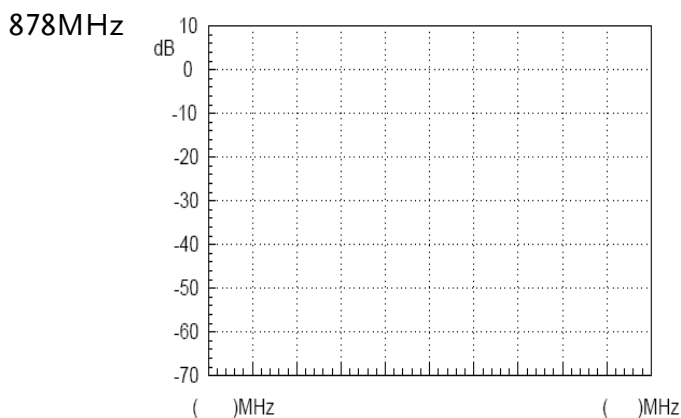
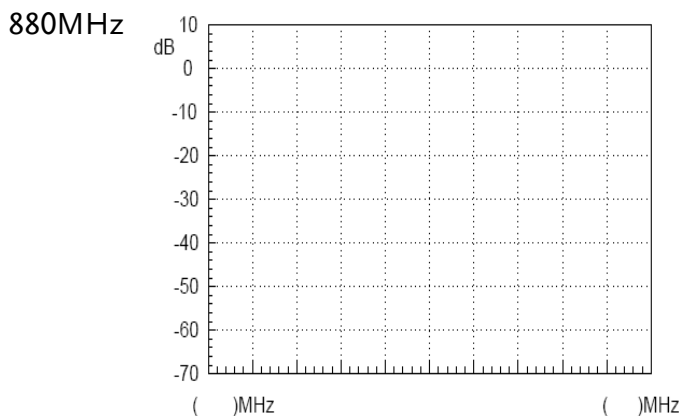
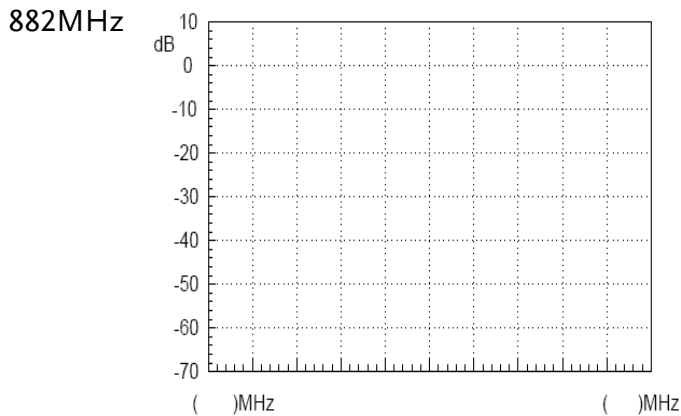
载波功率:
下边频功率:

分析实验数据得出实验结论:

3.改变载波频率

表 5-6
改变载波频率实
验结果

载波频率 测试结果



分析实验数据得出实验结论

问题与思考

1. 当调制信号的频率改变，而幅度固定不变时，调幅波的频谱结构会有什么变化？
2. 如果把接到 AM in 端口和 RF in 端口的 RF 线对调位置，再做同样的实验，会有什么现象，为什么？

实验六：FM信号的测量

实验意义 频率调制作为经常用到的调制方式，学习其调制原理和调频波的特性是很重要的。与幅度调制相比，频率调制调频波的幅度不携带调制信息，因此解调前可用限幅器消除幅度干扰，故其抗干扰能力强。调频波频带内的噪声功率谱密度在输入端均匀分布。但因频率调制的原因，在输出端变为与频率有关。因为调制信号带宽 F 远远小于调频波带宽 BW ，所以可根据这个特点在解调的时候通过低通滤波器衰减噪声，增大输出信噪比。故其设备的功率利用率高还有调角信号的保真度高等诸多优点。本实验的调频电路是利用锁相环调频原理，在这一节可以结合前面介绍的锁相环电路原理，学习锁相环电路的一个应用。

项次	设备名称	数量	备注
1	频谱仪	1 台	GSP-730
2	射频通讯实验系统	1 台	GRF-1300A
3	RF 线	2 条	100mm
4	RF 线	1 条	800mm
5	转接头	1 个	N 转 SMA

- 实验目的**
1. 了解 FM 之工作原理
 2. 利用频谱仪对调频波的调频特性进行测量。
 3. 掌握锁相环调频的原理。

- 实验原理**
1. 时域分析
频率调制是使载波信号的频率按调制信号规律变化的一种调制方式，使载波的频率偏移量随调制信号的幅值而变化。

设调制信号为

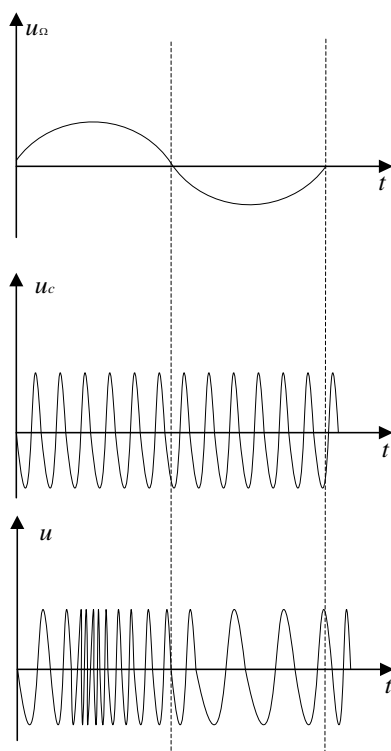
$$u_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t$$

载波信号为

$$u_c(t) = U_{cm} \cos \omega_c t = U_{cm} \cos 2\pi f_c t$$

调频信号随调制信号的变化情况图 6-1 所示。

图 6-1
调频信号随
调制信号
的变化情况



在调制电压的正半周，载波振荡频率随调制电压变化而高于载频，到调制电压的正峰值处，已调高频振荡角频率达到最大。在调制信号的负半周，载波振荡频率随调制电压变化而低于载频，到调制电压的负峰值处，已调高频振荡角频率达到最小。调频波的角频率 ω 则按调制信号同样的规律变化。

则 $\omega = \omega_c + \Delta\omega \cos \Omega t$

式中， ω_c 为载波的角频率； $\Delta\omega$ 为由调制信号 U_{Ω} 所决定的角频率偏移。

调频信号的一般表达式为

$$\begin{aligned} u(t) &= U_{cm} \cos[\omega_c t + k_f \int_0^t u_{\Omega}(t) dt + \varphi_0] \\ &= U_{cm} \cos[\omega_c t + k_f \int_0^t U_{\Omega m} \cos \Omega t dt + \varphi_0] \\ &= U_{cm} \cos[\omega_c t + \frac{k_f U_{\Omega m}}{\Omega} \sin(\Omega t) + \varphi_0] \\ \text{设 } M_f &= \frac{k_f U_{\Omega m}}{\Omega} = \frac{\Delta\omega_m}{\Omega} \end{aligned}$$

其中 M_f 称为调频指数， $\Delta\omega_m$ 称为最大角频偏，其值与调制信号振幅成正比。

2. 频域分析

$$\begin{aligned} \text{由时域调频波的表达式 } u(t) &= U_{cm} \cos[\omega_c t + \frac{k_f U_{\Omega m}}{\Omega} \sin(\Omega t) + \varphi_0] \\ &= U_{cm} \cos[\omega_c t + m_f \sin(\Omega t) + \varphi_0] \end{aligned}$$

令初相角为 0, 展开得

$$u(t) = U_{cm} [\cos \omega_c t \cos(m_f \sin \Omega t) + \sin \omega_c t \sin(m_f \sin \Omega t)]$$

当 $m_f \ll 1$, $\cos(m_f \sin \Omega t) \approx 1$

$\sin(m_f \sin \Omega t) \approx (m_f \sin \Omega t)$

则得:

$$\begin{aligned} u(t) &= U_{cm} \cos \omega_c t + m_f U_{cm} \sin \omega_c t \sin \Omega t \\ &= U_{cm} \cos \omega_c t + \frac{m_f U_{cm}}{2} \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{m_f U_{cm}}{2} \cos(\omega_c - \Omega)t \end{aligned}$$

可以看出 $m_f \ll 1$ 时的调频波频谱由载波、频率为 $(\omega_c + \Omega)$ 和频率为 $(\omega_c - \Omega)$ 的频率分量组成。

当 $m_f \gg 1$

$$\cos(m_f \sin \Omega t) = J_0(m_f) + 2J_2(m_f) \cos 2\Omega t + 2J_4(m_f) \cos 4\Omega t + \dots$$

$$\sin(m_f \sin \Omega t) = 2J_1(m_f) \sin \Omega t + 2J_3(m_f) \sin 3\Omega t + 2J_5(m_f) \sin 5\Omega t + \dots$$

其中 $J_n(m_f)$ 称为以 m 为宗, n 阶第一类贝塞尔函数。

可见调频波有无穷多个频率分量, 以载波频率为中心对称分布, 各分量的幅度取决于贝塞尔函数。

虽然从理论上讲, 调频波带宽为无穷大, 但由于 FM 信号的能量主要集中在载频附近, 因此在工程实践中通常忽略其它振幅很小的边频分量。规定: 凡振幅小于 10% 的边频均忽略不计, 得到调频波的频带为:

$$B = 2(m_f + 1)F$$

由以上分析可知

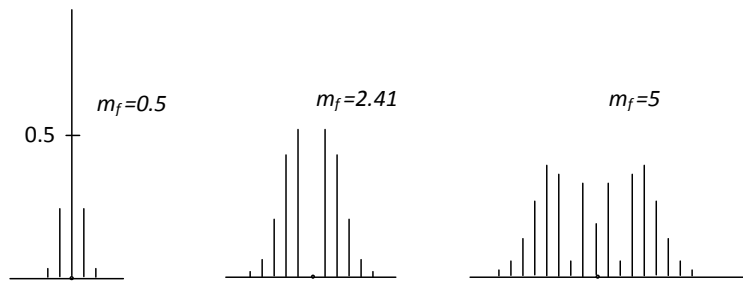
$$\text{因为 } m_f = \frac{\Delta \omega_m}{\Omega} = \frac{\Delta F}{F}$$

$$\text{故 } B = 2(\Delta F + F)$$

当 $\Delta F \gg F$ 时, 为宽带调制, $m_f \gg 1$ $B \approx 2\Delta F$

当 $\Delta F \ll F$ 时, 为窄带调制, $m_f \ll 1$ $B \approx 2F$

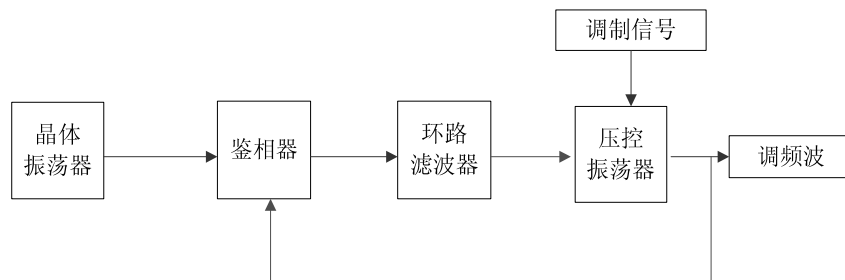
FM 信号之调频指数与边频分量幅度对照表放在附录中供参考. 这里先举几个调频指数为 0.5, 2.41, 5 其边频分量幅度之绝对值的例子。



GRF-1300A 的调频电路是利用锁相调频原理，采用这种调频电路可以解决在普通的直接调频电路中的振荡器的中心频率稳定度差，而采用晶体振荡器的调频电路其调频范围又太窄的问题。

实现锁相调频的条件是调制信号的频谱要处于低通滤波器通带之外。使压控振荡器的中心频率锁定在稳定度很高的晶振频率上，而随着输入调制信号的变化，振荡频率可以发生很大偏移。

图 6-2
GRF-1300A 调
频原理



- 实验内容**
1. 测量调频波的频谱。
 2. 观察调制信号的振幅对调频波的频偏的影响。
 3. 观察调制信号的频率对调频波的频谱的影响。

- 实验步骤**
1. 开启 GRF-1300A 和 GSP-730 的电源。
 2. 设置 GRF-1300A
 - 在开机默认状态下，电位器逆时针旋转到最小位置。
 - 用 RF 射频线把 Base Band 模块上 output 端口和 RF Synthesizer/FM FM in 端口连接起来。
 - 用 RF 线把 RF/FM output 端口连接到频谱仪的输入端。



3. 频谱仪设置如下:

- 中心频率:880MHz
- Span: 50MHz
- 参考电平: 0dBm
- 分辨率频宽 (RBW) : Auto

Step1 **Frequency** (F1) 8 8 0 MHz/mSec **Center 880.0MHz**

Step2 **Span** (F1) 5 0 MHz/mSec **Span 50.0MHz**

Step3 **Amplitude** (F1) 0 GHz/Sec **Ref. Level 0.0dBm**

Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man** (F4) **RBW 100 kHz**

4. 观察频谱仪上 Marker 功能, 测得此时载波的位置。

Step5 **Peak Search**

5. 顺时针旋转电位器到一定位置, 并用示波器测得此时电压值, 通过改变调制信号的输出幅度, 观察调频波的频谱有什么变化? 并按以下步骤测得频偏记录在表格 6-2 上。

Step6 **Marker** (F3) **Mode Normal Delta**

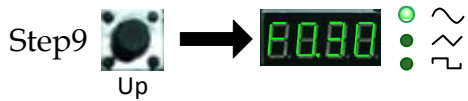
6. 再次顺时针旋转电位器到一定位置, 并用示波器测得此时电压值, 通过改变调制信号的输出幅度, 观察调频波的频谱有什么变化? 并按以下步骤测得频偏记录在表格 6-2 上。

Step7 **Peak Search**

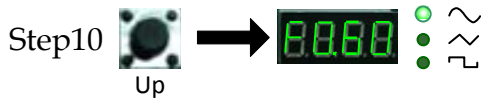
7. 调节电位器到最大位置, 再次重复上面的步骤, 并记录结果到表 6-2 上。

Step8 **Peak Search**

8. 完成上面的实验步骤后，通过调节 Base Band 模块上 Up 按钮调节调制信号的频率，观察调频波的频谱有什么变化？和频率为 100kHz 实验结果作比较得出实验结论并记录在表 6-3 上



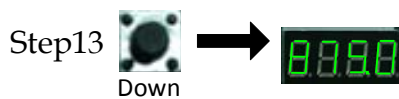
9. 再次调节调制信号的频率为 600KHz，观察调频波的频谱变化，并把实验结果记录在表 5-3 上。



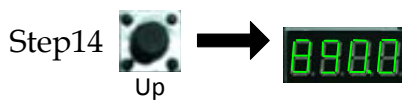
10.再次调节调制信号的频率为 1MHz，观察调频波的频谱变化，并把实验结果记录在表 6-3 上。



11.做完以上步骤后，按 Reset 按键复位，把调制信号的幅度调小，以便在 50MHz 的范围内可见到整个频谱。然后调节 RF Synthesizer/FM 模块上的 DOWN 按钮改变载波信号的频率，观察调频波频谱有什么变化？并和频率在 880MHz 实验结果作比较得出实验结论并记录在表 6-4 上。



12.再次调整载波的频率，观察调频波的频谱有什么变化？并把实验结果记录在表 6-4 上。

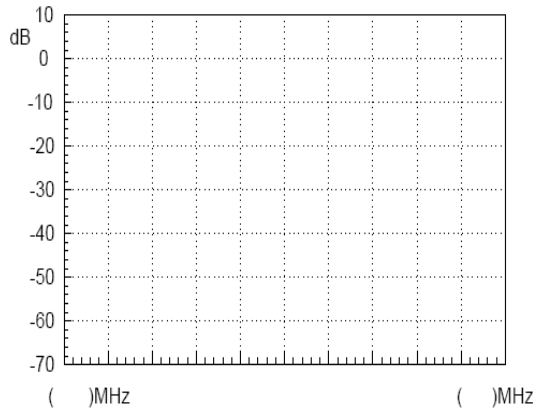


实验结果 1.改变调制信号幅度

表 6-2
改变调制信号幅度实验结果

调制电压 测试结果

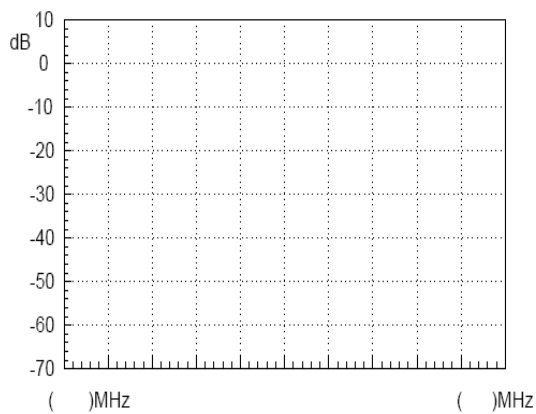
Vpp:



频偏:

调频指数

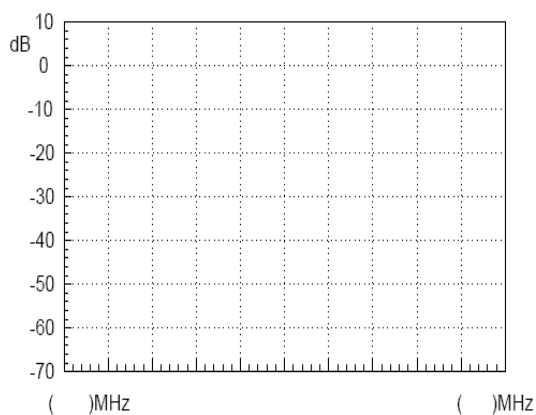
Vpp:



频偏:

调频指数

Vpp:



频偏:

调频指数:

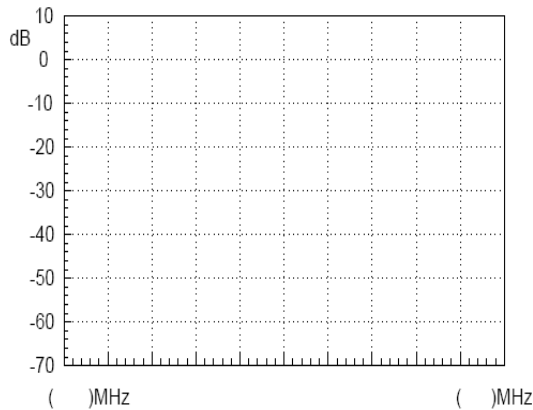
分析实验数据得出实验结果

2.改变调制信号频率

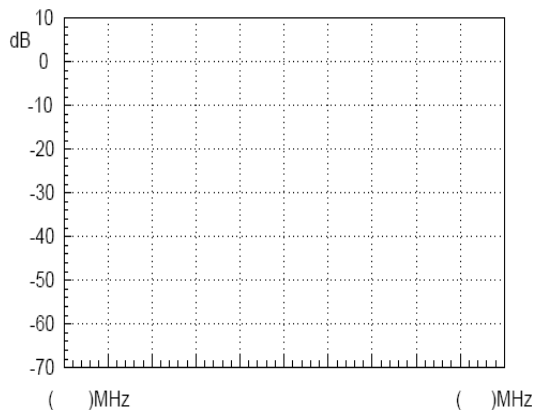
表 6-3
改变调制信号频率实验结果

调制频率 测试结果

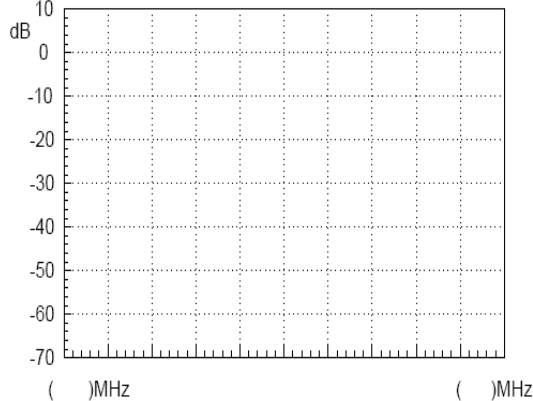
100kHz

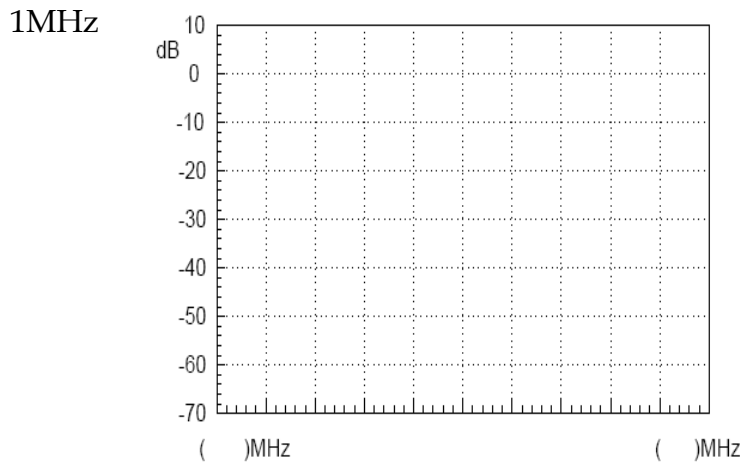


300Khz



600kHz



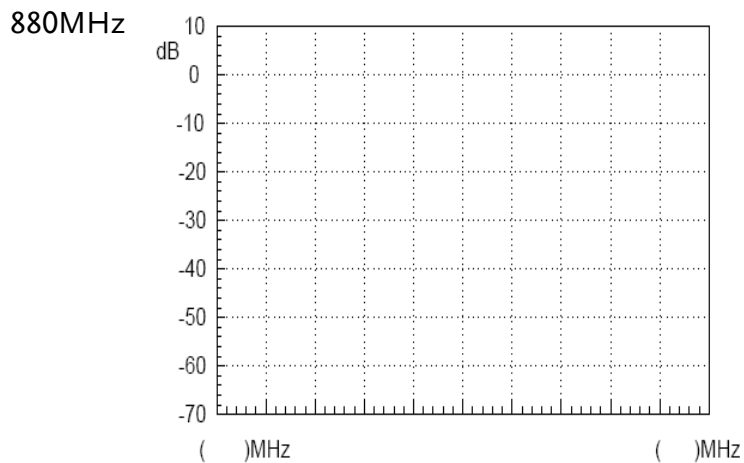
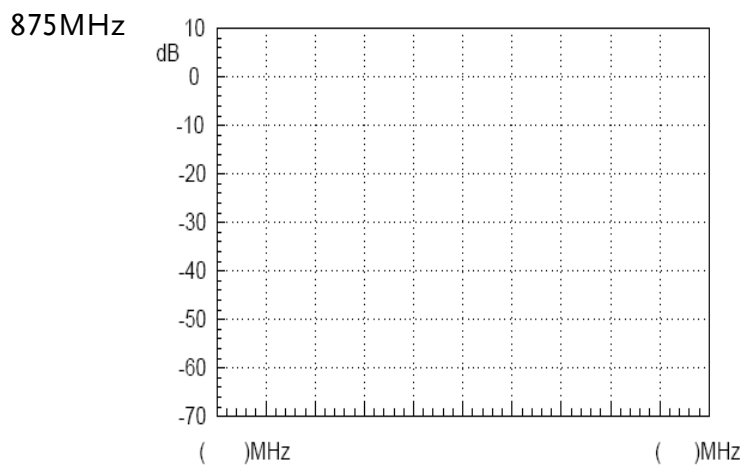


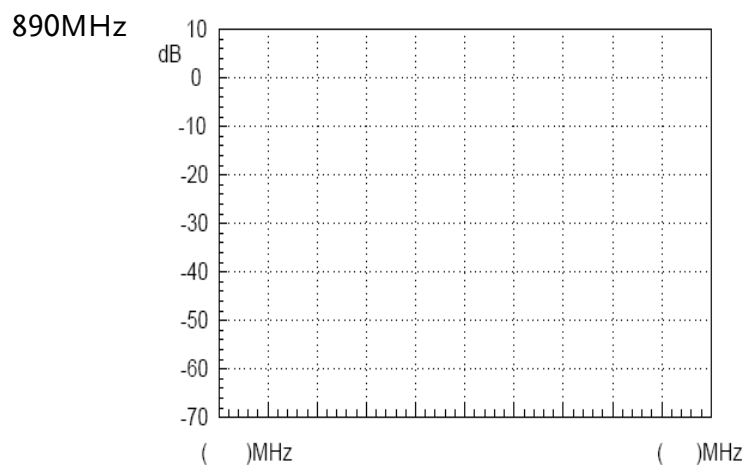
分析实验
数据得出
实验结果

3.改变载波频率

表 6-4
改变载波频率
实验结果

载波频率 测试结果





分析实验
数据得出
实验结果

问题与思
考

1. 对调频波而言，若保持调制信号的幅度不变，将调制信号频率加大为原值的 2 倍，问频偏及频带宽度 B 如何改变？
2. 通过频谱仪测得的数据，计算出调制电路的调频指数？

实验七：频谱仪在通讯系统中的测量

实验意义

ACPR 和 OCBW 是射频调制信号测量中的重要参数，学会用频谱仪测量 ACPR 和 OCBW 是很重要的。我们要会利用频谱仪测量生活中经常用到的射频参数，为以后的社会实践打下基础。ACPR 是表征有关主信道泄露功率的量引起邻近信道信号的失真程度。OCBW 是有关消耗指定的功率量的信道频宽。目前，第三代移动通信系统正在向产业化方向发展，而一些国家和公司正在着手开发第四代移动通信系统。研究 CDMA 射频功率测量中的重要参数及相关问题具有很高的实用价值。

实验设备	项次	设备名称	数量	备注
	1	频谱仪	1 台	GSP-730
	2	射频通讯实验系统	1 台	GRF-1300A
	3	RF 线	1 条	100mm
	4	RF 线	1 条	800mm
	5	转接头	1 个	N 转 SMA

实验目的

1. 了解 ACPR 的量测原理与进行实际量测。
2. 了解 OCBW 的量测原理与进行实际量测。

实验原理

1. ACPR 的测量

ACPR(Adjacent Channel Power Ratio)邻近信道功率比，邻近频率的平均功率和发射信道功率的平均功率之比。它表示发射机的能量有多少落在了其它信道传输频带内，所考虑的信道通常是指直接和发射通道相邻的通道，特殊时候也选用其它通道。

当两个频率相近的信号输入到一个射频功率放大器时，输出信号中不仅有这两个信号，还有他们的和、差的组合信号。一般的输入输出的频谱图如图 7-1 所示。

图 7-1
射频功率放大器
输入输出

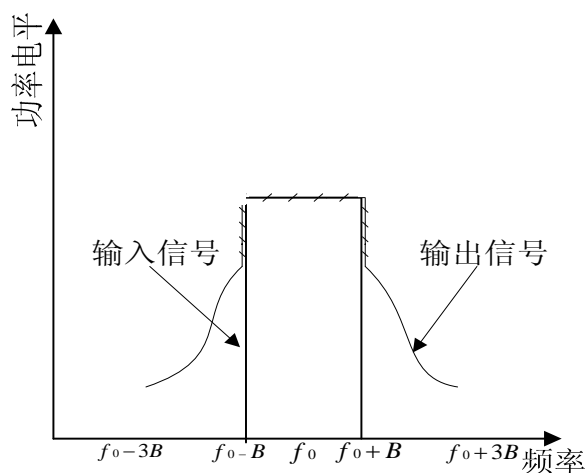
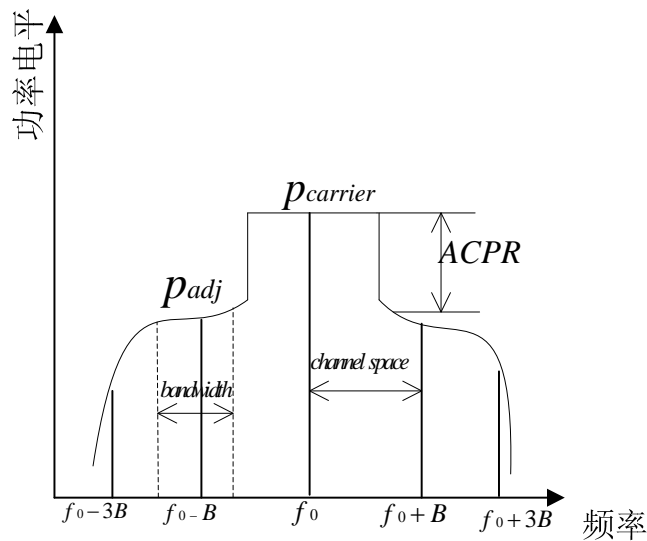


图 7-2
ACPR 的定义



按照 ACPR 的定义（图 7-2）知 $ACPR = 10 \log (P_{adj} / P_{carrier})$ ，用频谱仪测 ACPR 时，首先要为频谱仪的显示宽度（Span）、分辨带宽（RBW）选择合适的设置值。Span 要大于测量带宽，RBW 约等于测量带宽的 1%，因为频谱分析仪的扫描时间和 RBW 的平方成反比，所以要合理考虑 RBW 的设置。RBW 的设置也应该不超过所测信道带宽的 4%，否则频谱的分辨率太小，信道频谱的边缘部分受到 RBW 滤波器频谱特性的影响。GSP-730 的 RBW 设置采用档位调节，故只要把 RBW 设置为自动就可以了。

2. OCBW 的测量

OCBW 的测量，用于测量指定的功率量的信道频宽。用于测量占指定功率量的百分比的占据带宽。

常用到的测量设置参数为信道频宽，信道间隔，OCBW% 等。

实验内容

1. 对 GRF-1300A 产生的 FM 信号进行 ACPR 测量。
2. 对 GRF-1300A 产生的 FM 信号进行 OCBW 测量。

实验步骤

1. 开启 GRF-1300A 和 GSP-730 的电源。
2. GRF-1300A 设置如下：
 - 为开机默认状态。
 - 用 RF 射频线把 Base Band 模块上 output 端口和 RF Synthesizer/FM FM in 端口连接起来。
 - 用 RF 线把 RF/FM output 端口连接到频谱仪的输入端。



3. 频谱仪的设置如下:

- 中心频率:880MHz
- Span: 10MHz
- 参考电平: -10dBm
- 分辨率带宽: Auto

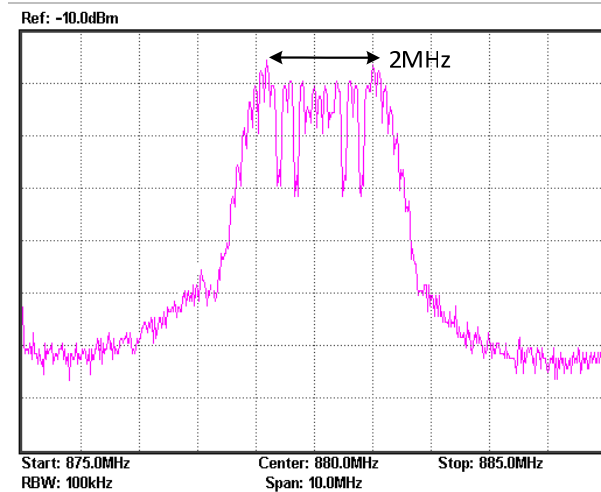
Step1 Frequency (F1) 8 8 0 MHz/mSec Center 880.0MHz

Step2 Span (F1) 1 0 MHz/mSec Span 10.0MHz

Step3 Amplitude (F1) - 1 0 GHz/Sec Ref. Level -10.0dBm

Step4 BW (F1) RBW Auto Man

4. 调整 GRF-1300A 上的电位器, 使 FM 频偏为 1MHz (共 2MHz)



5. 频谱仪设定之后开始进行 ACPR 和 OCBW 测量。


ACPR 测量

Step1 Meas (F2) ACPR ON OFF

Step2 (F1) Main CH BW

设定要测的信道频宽为 2MHz

Step3  设定要测的信道间隔为 5MHz

Step4   设定临近信道 1 频宽 0.8MHz

Step5  设定临近信道 1 偏移 2MHz

Step6  设定临近信道 2 频宽 0.5MHz

Step7  设定临近信道 2 偏移 4MHz

再次调制 GRF-1300A 上的电位器,使 FM 的频偏为 2MHz(共 4MHz),再次测量 ACPR 把结果记录在表 7-1 中。

OCBW 测量 Step1  

Step2  设定要测的信道频宽 2MHz

Step3  设定要测的信道间隔 10MHz

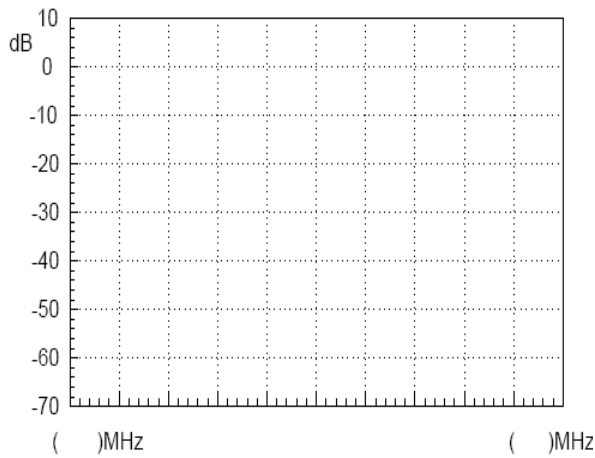
Step4 OCBW%默认为 90%

将测量的数据记录在表 7-2 中。

Step5 通过 GRF-1300A 上的电位器调整调频波的频偏,再次测量 OCBW%并把结果记录在表 7-2 中。

实验结果 1. ACPR 测量结果

FM 波频偏为
1MHz 时测量结果



FM 波频偏为
2MHz 时测量结果

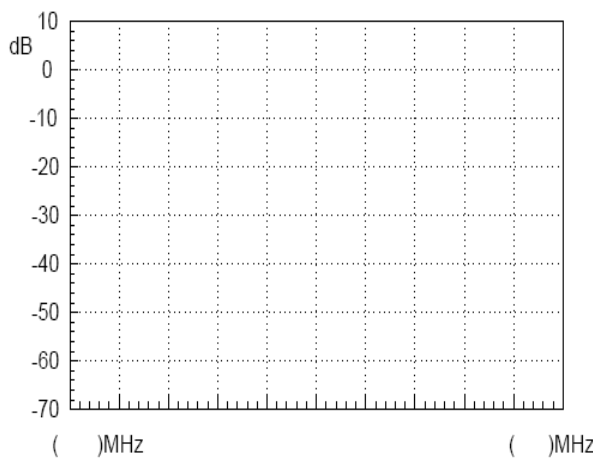
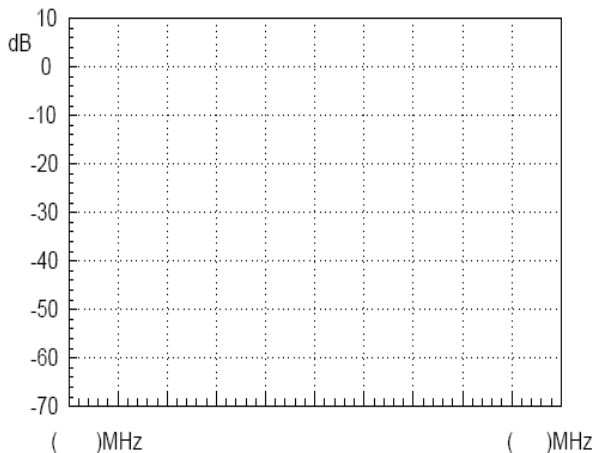


表 7-1
ACPR 测量结果

次数	项目			
	Lower ACPR1	Upper ACPR1	Lower ACPR2	Upper ACPR2
1				
2				
3				
4				
平均值				

2. OCBW 测量结果

FM 波频偏为
1MHz 时测量结果



FM 波频偏为
2MHz 时测量结果

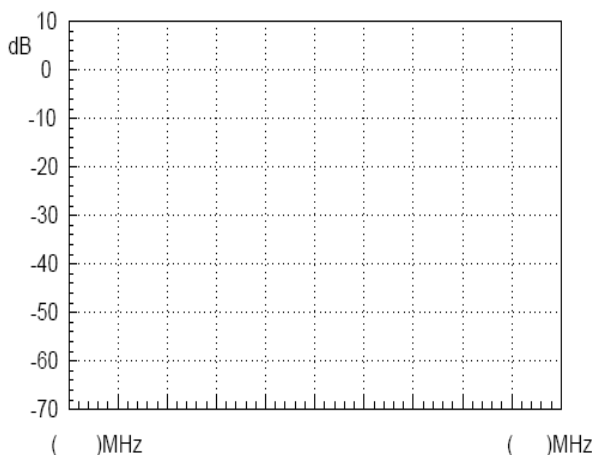


表 7-2
OCBW 测量结果

OCBW%: _____			
次数	CH Power	OCBW	平均值
1			
2			
3			
4			
5			

问题与思考 试阐述 ACPR 的定义?

注意事项 测量 ACPR 和 OCBW 时要求多次测量取平均值的方法来测，不能用视频平均的功能，应该对测得的功率取平均，因为视频平均是对数据的对数取平均。

实验八：通讯产品的测量

实验意义

鼠标自 1968 年诞生以来，已经经历过近四十年的演变和发展。近十年来，随着消费型电脑的普及，鼠标的工作方式也有了翻天覆地的进步：从早期的机械滚轮鼠标到目前主流的光电鼠标再到中高端的激光鼠标……鼠标的每一次变革无不给用户带来使用上的快感。此外，随着人们对办公环境和操作便捷性要求日益增高，无线鼠标普及也被提到日程上来。无线技术根据不同的用途和频段被分为不同的类别，其中包括蓝牙、Wi-Fi (IEEE 802.11)、Infrared (IrDA)、ZigBee (IEEE 802.15.4) 等等多个无线技术标准，但对于当前主流无线鼠标而言，仅有 27Mhz、2.4G 和蓝牙无线鼠标共三类。(来自互联网)

本实验在了解频谱仪使用及测量的方法之后，进行实际的通讯产品的测量。对于巩固和加深对频谱仪的使用及射频知识的理解有很大的帮助作用。

实验设备	项次	设备名称	数量	备注
	1	频谱仪	1 台	GSP-730
	2	2.4G 无线鼠标	1 个	
	3	天线	1 根	800-1000MHz
	4	转接头	1 个	N 转 SMA

实验目的

1. 熟练使用频谱仪测量生活中电子通讯产品的一些参数。
2. 了解无线鼠标的工作原理。

实验原理

本实验用 2.4G 无线鼠标，它是利用“2.4G 非联网解决方案”也就是我们俗称的 2.4G 无线网络技术。它的优点是解决了 27MHz 功率大、传输距离短、同类产品容易出现互相干扰等缺点而提出的。2.4G 无线技术之所以是“2.4G”而不是“2.5G”是因为该技术使用的频率是 2.4-2.485GHz ISM 无线频段，该频段在全球大多数国家均属于免授权免费使用，这为产品的普及扫清了最大障碍。

无线鼠标的原理其实很简单，主要是利用 DRF（数字无线电频率）技术对短距离通讯设备提供充足的带宽，非常适合鼠标和键盘这样的外围设备使用，鼠标部分工作原理和传统的鼠标原理相同，只是利用了无线发射器把鼠标的 X、Y 位置，按键按下或抬起的信息转换成无线信号并发送出去，无线接收器接收到信息后经过解码传递给主机，驱动程序告诉操作系统鼠标的动作，该把鼠标指针移向哪个方向或是执行何种指令。

实验内容

测量无线鼠标发射信号的频率及功率。

实验步骤

1. 将天线和频谱仪连接
2. 频谱仪设置条件如下：

- 中心频率: 2.4GHz
- Span: 200MHz
- 参考电平: -20dBm
- 分辨率带宽: Auto

Step1 **Frequency** (F1) 2 . 4 (GHz/Sec) **Center 2.4GHz**

Step2 **Span** (F1) 2 0 0 (MHz/mSec) **Span 200.0MHz**

Step3 **Amplitude** (F1) - 2 0 (GHz/Sec) **Ref. Level -20.0dBm**

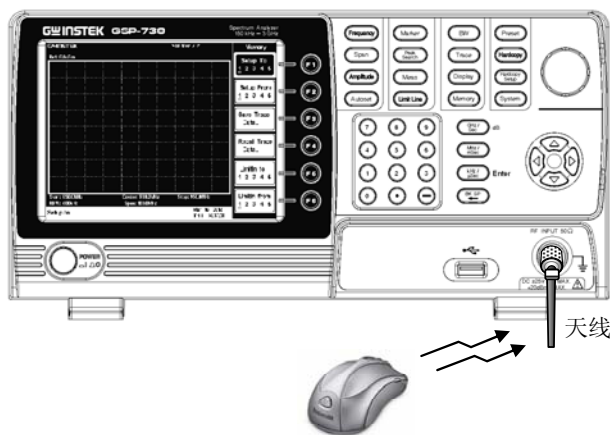
Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

3. 打开无线鼠标的电源。

Step5 **Trace** (F3) **Peak Hold**

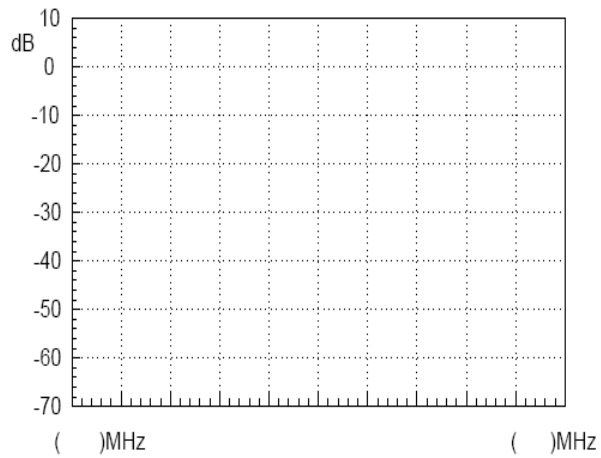
Step6 **Peak Search**

4. 实验连接图。



5. 蓝牙, 无线网卡模块的信号也可以相同方式量测得到。

实验结果

表 8-1
实验结果

发射频率:

发射信号功率

问题与思考 无线鼠标发射中心频率选择为 2.4G 左右，有什么优点？

注意事项 开启频谱仪上的峰值保持功能，无线鼠标发射出来的信号是跳变的，不容易动态测量。

实验九：生产线之应用

实验意义

谱仪频被大量用在射频, 通讯产品的生产在线, 透过单机的 Pass/Fail 测试或是 PC 的编程控制, 是两种常用的方法。通过远程指令, 控制频谱仪的参数设置, 及传送测试结果, 可以节省很多人工设定的时间, 提高产线的工作效率。本实验利用 GRF-1300A 模拟产线上的产品, 利用 GSP-730 的 Limit Line 功能, 简单测试产品是否合格, 通过指令传回测试数据。

项次	设备名称	数量	备注
1	频谱仪	1 台	GSP-730
2	射频通讯实验系统	1 台	GRF-1300A
3	RF 线	1 条	800mm/100mm
4	转接头	1 个	N 转 SMA

实验目的

1. 了解频谱仪中 Limit Line 的编辑与 Pass/Fail 测试的方法。
2. 利用远程指令进行频谱仪测试数据的读回。

实验原理

1. Limit Line 编辑与 Pass/Fail 测试。

Limit Line 在整个频率范围内设定上/下振幅限制。限制线可以用来侦测输入信号的幅度是高于或低于设定的振幅范围。然后给出一个判断的结果 Pass/Fail, 显示在画面的底部

限制线可以通过编辑列表, 通过编辑 10 个点来确定一条限定线, 编辑列表如下图所示:

No.	MHz	dBm	No.	MHz	dBm
1	0.0	0.0	6	60.0	0.0
2	20.0	0.0	7	70.0	0.0
3	30.0	0.0	8	80.0	0.0
4	40.0	0.0	9	90.0	0.0
5	50.0	0.0	10	100.0	0.0

每个编辑点有频率值设置和幅度值设置, 可以利用方向键移动游标到不同的频率点设置数值。同理高低限制线都利用同样的方法来设置。设置好限定线后, 就可以打开 Pass/Fail 来进行测试了。

远程指令进行频谱仪测试数据的读回
人工设置频谱仪比较费时, 考虑到这一点, GSP-730 还提供了远程指令设定频谱仪中各个参数。在这里我们简单介绍一下 GSP-730 远程指令:

频率设置:	meas:freq:cen?	返回中心频率以 KHz 为单位。
-------	----------------	------------------

	meas:freq:cen	设定中心频率。举例： meas:freq:cen_100_mhz
	meas:freq:st?	返回开始频率以 kHz 为单位。
	meas:freq:st	设定开始频率。举例： meas:freq:st_100_mhz
	meas:freq:stp?	返回终止频率以 kHz 为单位。
	meas:freq:stp	设定终止频率。举例： meas:freq:stp_100_mhz
展频设置	meas:span?	返回频率展频。
	meas:span	设定频率展频。举例： meas:span:10_mhz
	meas:span:full	设定全展频。
振幅设置:	meas:refl:unit?	返回参考准位单位。
	meas:refl:unit	设定准位单位。参数 1 (dBm) 2 (dBmV) 3 (dBuV)
	meas:refl?	返回参考准位以 dBm 为单位。
	meas:refl	设定参考准位以 dBm 为单位。举例： meas:refl:-30
限制线 测试:	meas:lmpline:on	打开限制线。参数: 0 (低限制线) 1 (高限制线)
	meas:lmpline:off	关闭限制线。参数: 0 (低限制线) 1 (高限制线)
	meas:lmpline:passfail _on	打开 Pass/Fail 测试。

实验内容

1. 设定上下限制线，测试 GRF-1300A 的信号，判别 Pass/Fail.
2. 通过远程指令控制频谱仪，以便远程设定频谱仪。

- 实验步骤
1. 开启 GRF-1300A 和 GSP-730 的电源。
 2. GRF-1300A 的设置为开机默认状态。
 3. 用 RF 线把 Base Band 模块上 output 端口和 RF Synthesizer/FM 模块上 FM in 端口连接起来。



4. GSP-730 设置如下：
 - 中心频率:880MHz
 - Span: 50MHz
 - 参考电平: 0dBm
 - 分辨率频宽 (RBW) : Auto

Step1 **Frequency** (F1) 8 8 0 MHz/mSec **Center 880.0M-Hz**

Step2 **Span** (F1) 5 0 MHz/mSec **Span 50.0M-Hz**

Step3 **Amplitude** (F1) 0 GHz/Sec **Ref. Level 0.0dBm**

Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

5. 限制线 Pass/Fail 测试。

Step5 **Limit Line** (F3) **Edit...**

Step6 (F1) **Limit High Low** (F2) **Edit Table ON OFF**

在显示的下面，设定各个频率点处的幅度值。移动光标，选择要设定的位置，设置为编辑面板后，按 **F6** 返回。

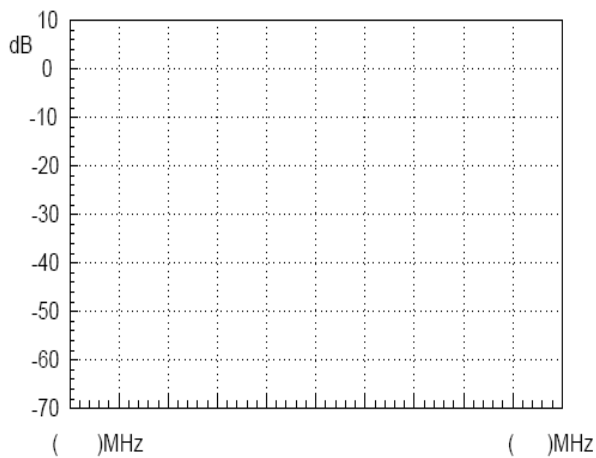
Step7 (F1) **Pass/Fail ON OFF**

6. 按照上面设定的方法，同学们可以设定一条下限制线。
7. 调节 GRF-1300A 的电位器，观察此时的 Pass/Fail 测试结果并记录在表 9-1 中。
8. 把 GSP-730 和电脑连接，通过超级终端，发送控制指令，也能实现同样的功能。

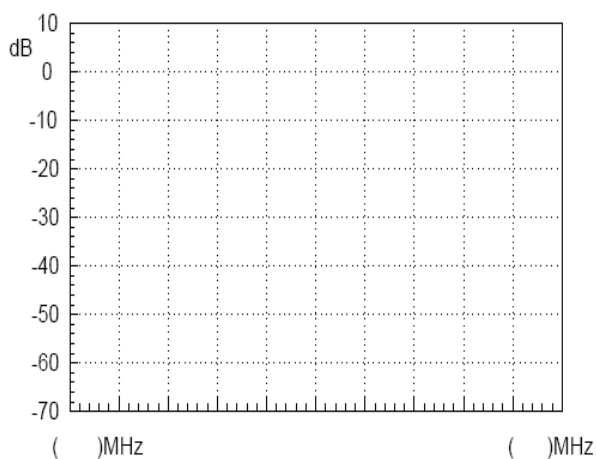
实验结果

表 9-1
调节电位器在不同位置时的测试结果

频偏为 5MHz 时的测试结果



频偏为 10MHz 时的测试结果



实验十：混频器

实验意义

在实验五和实验六中有介绍怎么把信号调制在载波上，那么调制好的信号还要经过怎样的处理才能发射出去呢？这一过程中有一个很重要的器件，就是混频器。混频器的主要作用是完成频率的变换，使射频信号转换成中频信号，或者是将中频信号转换成射频信号，以便携带的信息传输及处理。本实验从频谱角度来观察频谱搬移现象，加深对混频器原理的理解。

项次	设备名称	数量	备注
1	频谱仪	1 台	GSP-730
2	射频通讯实验系统	1 台	GRF-1300AA
3	USB Signal Generator	1 只	USG-LF44
4	RF 线	2 条	100mm
5	RF 线	1 条	200mm
6	RF 线	1 条	800mm
7	转接头	1 个	N 转 SMA

实验目的

1. 了解混频器之工作原理
2. 利用频谱仪观察频谱搬移现象。
3. 测量变频增益，通道隔离度等混频器参数。

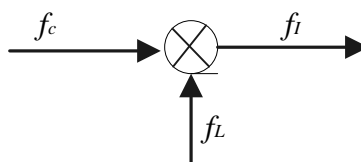
实验原理

1. 混频概念介绍

混频器完成频率的变换，混频也称为变频。混频是将载频为 f_c 的已调信号变换为载频为 f_i 的已调波，以便接下来的电路处理。这一过程及所谓的频谱搬移。混频器完成频率的变换要求保持原载频已调波的调制方式不变，携带的信息也不变，而且不产生失真。

混频的基本功能是保持已调信号的调制规律不变，仅使载波频率升高（上变频）或者降低（下变频）。从频谱角度看，混频的实质是将已调信号的频谱沿频率轴做线性搬移，因而混频电路必须由具有乘法作用的非线性器件和中频带通滤波器组成，如图 10-1 所示

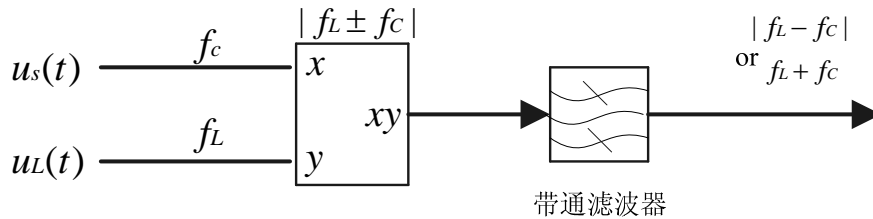
图 10-1
混频器器的电
路组成



如图 10-2 混频信号框图可知，混频器将载频为 f_c 的已调信 $u_s(t)$ 和振荡频率为 f_L 的本振信号 $u_L(t)$ 相乘。根据三角函数相乘关系可知，相乘后的输出信号频率必然是 f_c 和 f_L 的和差关系，即 $f_i = f_L + f_c$ 和 $f_i = |f_L - f_c|$ ，其中 f_i 在工程中被称为中频频率，载波为 f_i 的混频信号被称为中频信号 $u_i(t)$ 。

图 10-2

混频信号框图

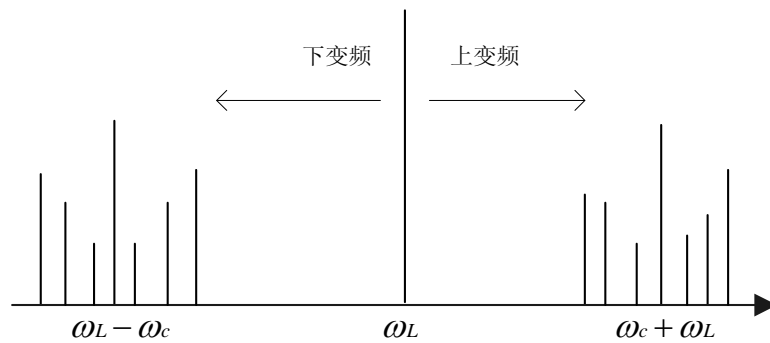


设输入已调信号 $u_s(t)$ 为 $u_s(t) = V_s \cos(\omega_c t)$ ，本地振荡信号 $u_L(t)$ 为 $u_L(t) = V_L \cos(\omega_L t)$ ，则其乘积为

$$u_i(t) = V_s V_L \cos(\omega_c t) \cos(\omega_L t) = \frac{V_s V_L}{2} [\cos(\omega_c + \omega_L)t + \cos(\omega_L - \omega_c)t]$$

经过带通滤波器，取出其中想要 $\omega_c + \omega_L$ 或 $\omega_L - \omega_c$ 的频率分量，即完成变频作用。新的载波频率习惯上称为中频信号。

上面的计算结果表现在频谱上如下图所示：



从频谱搬移图上可以看出，混频之后，频率是输入信号和本振信号的加减，而实现混频的器件一般都是非线性器件，可见，在混频的过程中必然会产生非线性失真和组合频率干扰。输入信号和本振信号的谐波成分也会参与混频，所以输出还会有各次谐波的加减项。

在无线收发电路中，前置的低噪声射频小信号放大器（LNA）和中频放大器（IFA）都是属于小信号线性放大，所引起的非线性失真远小于混频器的非线性失真。因此，无线接收发电路中的非线性失真和组合频率干扰主要是由混频电路产生的。工程中混频器的非线性特性常用如下展开式来表示：

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + a_3 u^3 + \dots$$

式子中， u 为加在混频器输入端的总输入信号。设 u 的组成为

$$u = u_1 \cos \omega_1 t + u_2 \cos \omega_2 t + u_3 \cos \omega_3 t$$

把 u 代入得:

$$\begin{aligned} i = & A_0 + A_1(u_1 \cos \omega_1 t + u_2 \cos \omega_2 t + u_3 \cos \omega_3 t) \\ & + A_2(u_1^2 \cos 2\omega_1 + u_2^2 \cos 2\omega_2 + u_3^2 \cos 2\omega_3) \\ & + A_3(u_1^3 \cos 3\omega_1 + u_2^3 \cos 3\omega_2 + u_3^3 \cos 3\omega_3) \\ & + \dots + A_p \cos(\pm\omega_3 + \omega_1)t + A_q \cos(\pm\omega_3 \pm \omega_2)t \\ & + A_m \cos(\pm\omega_3 + 2\omega_1 \pm \omega_2)t \\ & + A_n \cos(\pm\omega_3 + \omega_1 \pm 2\omega_2)t \\ & + A_x \cos(k\omega_3 + r\omega_1 + s\omega_2)t \\ & + \dots \end{aligned}$$

式中, A_0 项为直流分量项, A_1 项为基波项, A_2 和 A_3 为 2 次和 3 次谐波分量项, 高次谐波分量已忽略。这些频率分量均由混频器后面的连接的带通滤波器滤除, 不会对后级有影响。 A_p 和 A_q 项为有用的中频分量, 应该进入接收通道正常接收。 A_m 和 A_n 项为三阶互调频率分量, 它们也会进入接收通道而形成干扰。工程中把这类干扰叫做三阶互调干扰, 它们是难以用滤波器滤除的干扰。设计和生产线性好的混频器件是减弱三阶互调干扰的最有效的措施。集成的混频器件通常用输入三阶互调阻断点 IP_3 来表示三阶互调这一指标, IP_3 越大, 表示该混频器件的混频线性越好。电路设计时, 尽可能降低射频信号输入幅度, 使混频器工作在线性工作状态, 也可以减少三阶互调分量。

2. 混频器主要参数

混频器的主要技术指标有，变频增益，1dB 压缩点，隔离度等。

(1) 变频增益

射频输入功率电平与混频器输出信号功率电平之比称为变频增益 G_c , 即

$$G_c = 10 \lg \frac{P_I}{P_R}$$

式中，射频输入功率 P_R 和中频输出功率 P_I 均已 dBm 为单位。

对于无源二极管，变频增益 < 1 , 此时存在变频损耗，用 L_c 表示。而对于有源混频器，例如三极管、FET、集成模拟相乘器，变频增益 > 1 。

在测量变频增益 G_c 时，本振激励功率应该为某一固定功率电平。例如：对于 50Ω 输入，输出的二极管环形混频器，本振标准功率电平为 7dBm。对于集成模拟乘法器 MC1596，本振为标准功率电平 20dBm。

测量应用混频器时，应该注意混频器三个端口的阻抗匹配。当混频器的射频端口通过镜像抑制滤波器与 LNA 相连时，为了保证滤波器的性能，混频器射频端口的输入阻抗必须与此滤波器的输出阻抗相匹配，滤波器的输出阻抗一般为 50Ω 。同样的道理，混频器的中频端口的输出阻抗也应与中频滤波器的输入阻抗相匹配，低于 100MHz 的中频滤波器的输入阻抗一般都大于 50Ω 。

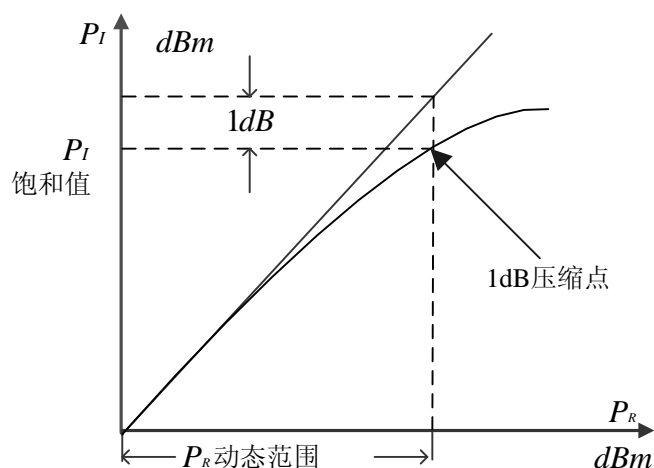
(2) 1dB 压缩点

混频器的非线性失真程度用变频压缩点来表示。混频器对射频小信号而言是线性网络，在射频输入电平远小于本振电平时，混频器处于线性运行状态下。其中射频输出随射频输入电平的增加而线性增加。但是，当射频输入逐渐增大，增加到一定程度后，例如射频输入电平增加到与本振电平相差不到 10dB 时，中频输出随射频输入增加的速度变慢，其中射频输出不随射频输入电平的增加而线性增加，混频器开始进入饱和状态，存在非线性失真，如图 10-3 所示：

由图可知，变频压缩点是中频输出功率电平偏离线性变化功率值 1dB 处的点。显然，变频压缩点间接地表示了混频器的非线性失真程度。对于 LNA 也可以用这个 1dB 压缩点来表示线性放大范围。

10-3

1dB 压缩点



(3) 通道隔离度

隔离度是表征混频器内部电路平衡的一个指标，即表示混频器各端口之间泄漏和窜透的大小。理论上混频器各个端口之间是应该严格隔离的。但实际上，由于混频器器件内部电路的不对称性，即平衡度稍有差别，就会产生各端口间的窜透。

如果混频器的各端口之间的隔离度低，会直接产生以下几个方面的影响。本振 (LO) 信号端口向射频 (RF) 端口的泄漏，会影响 LNA 的工作，甚至会通过天线辐射出去。其中特别是二极管环形混频器，与本振信号通过本振端口窜入射频输入端口时，它将会通过天线将本振信号发射出去，去干扰邻近通道的信号。射频端口向本振端口的窜通，会影响本机振荡器的工作，产生频率牵引。本振端口向混频器输出端口的窜通，本振大信号会影响以后的中频放大器的放大。

本地振荡信号对射频信号的隔离度的定义为：

$LO-RF \text{ Isolation (dB)} = \text{在 LO 输入端的 LO 信号功率 (dBm)} - \text{在 RF 端的 LO 信号输出功率 (dBm)}$

实验内容

1. 观察混频器之频谱搬移现象。
2. 测量通道隔离度及变频增益。
3. 利用 GRF-1300AA 发射出 2.4G 调制信号。

实验步骤

1. 开启 GRF-1300A 和 GSP-730 的电源。
2. 设置 GRF-1300A
 - 用 RF 射频线把 RF Synthesizer/FM 模块上 RF/FM output 端口与 Mixer 模块上 IF in 端口连接起来。
 - 用 RF 线把 USG 输出端口连接到 Mixer 模块的 LO in 端口。
 - 用 RF 线把 Mixer 模块上的 RF output 端口连接到频谱仪输入端

口。

- 通过上位机软件把 USG 的频率设置在 1520MHz 左右。



3. 频谱仪设置如下：

- 中心频率:2.4GHz
- Span: FULL
- 参考电平: 0dBm
- 分辨率频宽 (RBW) : Auto

Step1 **Frequency** (F1) 2 . 4 (GHz/Sec) **Center 2.4GHz**

Step2 **Span** (F2) **Full Span**


Step3 **Amplitude** (F1) 0 (GHz/Sec) **Ref. Level 0.0dBm**

Step4 **BW** (F1) **RBW Auto Man**


4. 观察频谱仪上谱线的分布，得到此时混频的频谱图。并测量各谱线的幅度大小绘制在表 10-1 上。

Step5 **Peak Search**

5. 调整 RF Synthesizer/FM 模块的输出射频的频率。观察频谱仪上的谱线有什么变化，并记录在表 10-1 上。

Step6  → **8900**

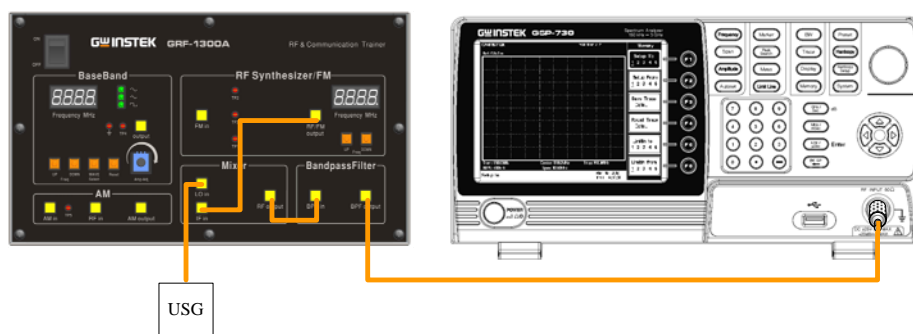
6. 调整 RF Synthesizer/FM 模块的输出射频的频率。观察频谱仪上的谱线有什么变化，并记录在表 10-1 上。

Step7  → **8790**

7. 根据前面步骤得到的频谱图及各谱线的幅度大小，算出下变频的变频增益，且算出 IF in 端口的隔离度。把实验结果记录在表 10-

2 上。

8. 完成上面的实验步骤后，把 RF Synthesizer/FM 模块的射频频率调整为 880MHz.接下来，用 RF 线把 Mixer 模块上 RF output 端口接到 Band pass Filter 模块的 BPF in 端口上。原先接在 Mixer 模块上的 RF output 上的 RF 线接到 BPF output 端口上，另一端还是接到频谱仪输入端口。



9. 频谱仪的设置条件不变。

10. 观察测试频谱仪上谱线的有什么变化，并把实验结果记录在表 10-3 上。

- 11.保持第 10 步实验连接方法不变，用 RF 线把 BaseBand 模块上的 output 端口连接到 RF Synthesizer/FM 模块上 FM in 端口。并调整 BaseBand 部分 的电位器，使其有一定幅度的音频信号输出。

12. 此时 GSP-730 设置状态如下：

- 中心频率:2.4GHz
- Span: 50MHz
- 参考电平: 0dBm
- 分辨率频宽 (RBW) : Auto

Step8 **Frequency** (F1) 2 . 4 GHz/Sec **Center 2.4GHz**

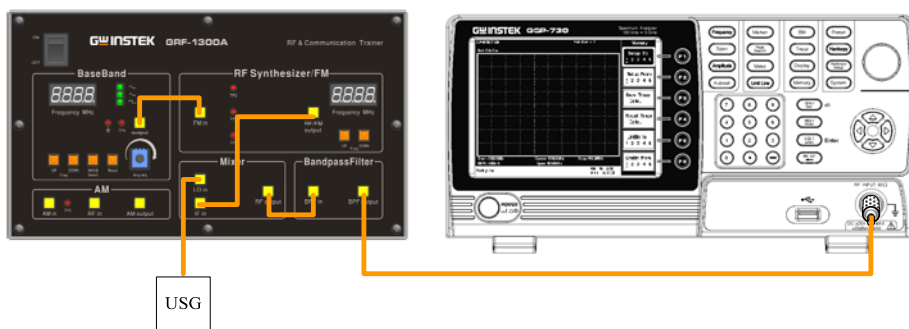
Step9 **Span** (F1) 5 0 MHz/mSec **Span 50.0MHz**

Step10 **Amplitude** (F1) 0 GHz/Sec **Ref. Level 0.0dBm**

Step11 **BW** (F1) **RBW Auto Man**

- 13.观察此时的谱线有什么变化，变把谱线记录在表 10-3 上。

14.按照实验五，产生 AM 调制信号的接线方法，把 AM 调制信号变频到 2.4GHz 信号上。并把实验结果记录在 10-3 上。

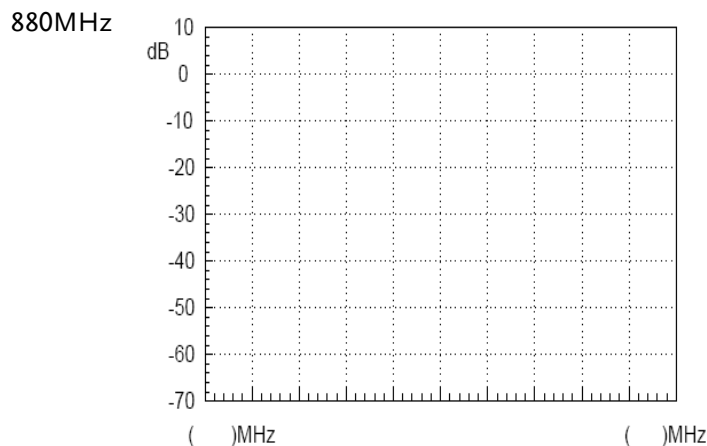


实验结果 1.混频器频谱搬移现象

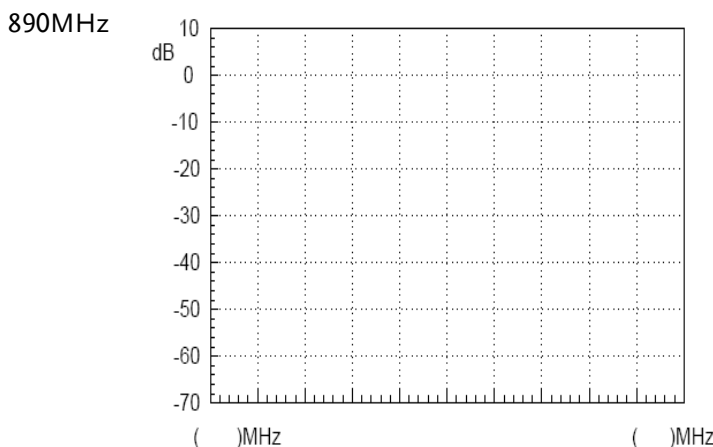
表 10-1

射频频率 测试结果

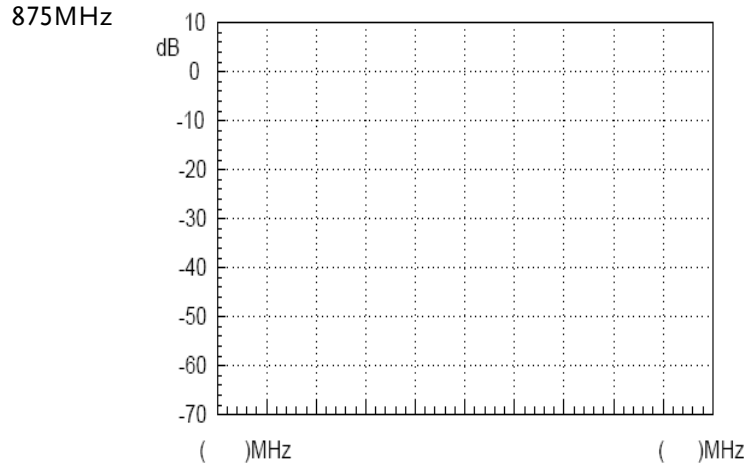
混频现象实验结果



各频率点的幅度:



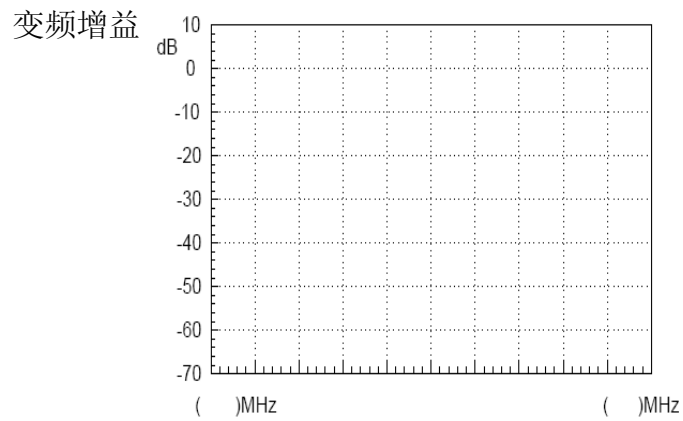
各频率点的幅度:



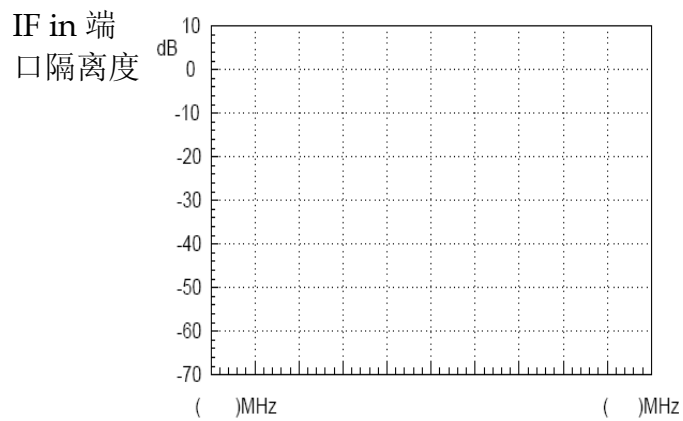
各频率点的幅度:

2. 下变频变频增益, IF in 端口的隔离度。

表 10-2
变频增益
增益及隔离度
的计算



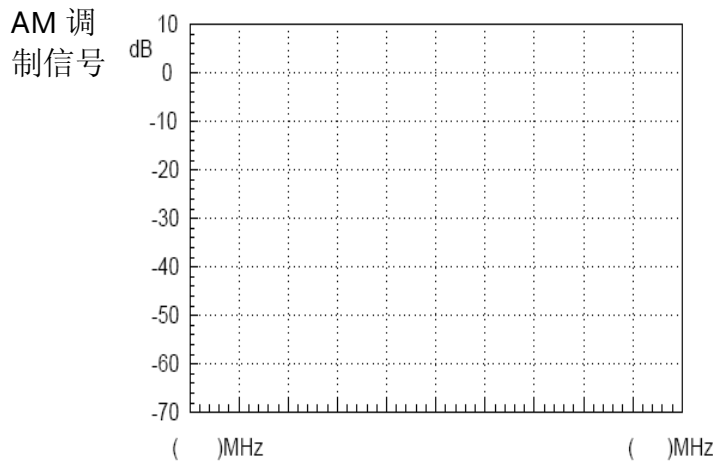
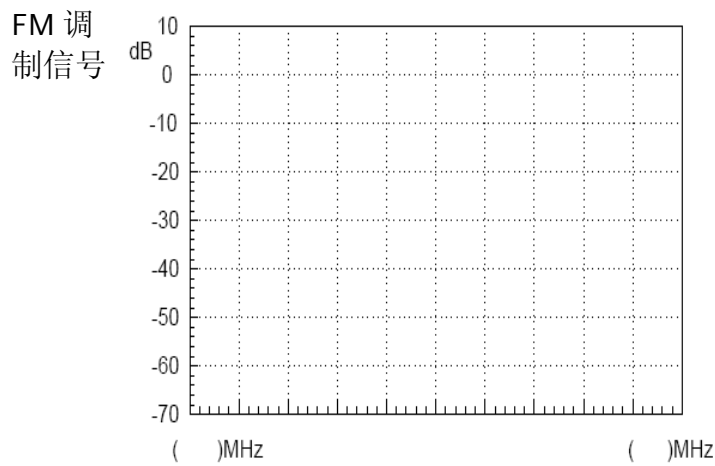
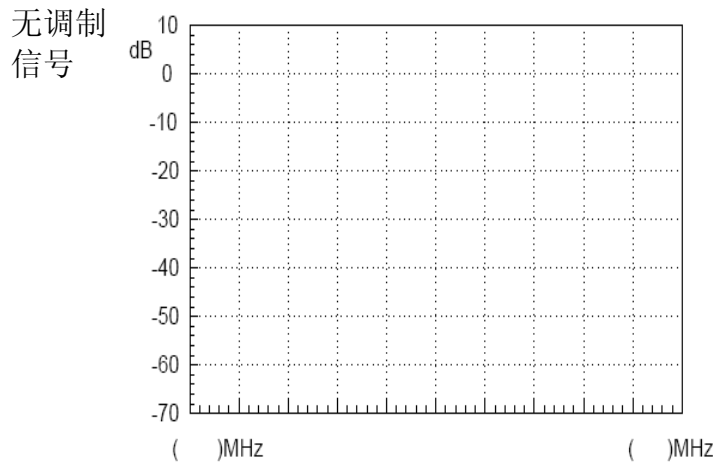
增益:



隔离度:

3. 2.4GHz 调制信号

表 10-3
2.4GHz 调制信号



问题与思考

1. 带通滤波器的特性是什么？
2. 混频器输出的频谱为什么会有 5 个频率点？

学 习成果验收测验

在前面几个实验里，我们分别对锁相环、调幅、调频等概念有了深入的了解，但这对于全面掌握射频电路有关知识还是不够的。本实验把这三个部分结合起来组成一个系统,通过指令控制各模块电路的开闭，从产生的实验现象上分析故障原因。同学们在分析故障的原因的同时，会对这三者的关系及原理有个整体的认识。这有利于同学们对锁相环、调幅、调频等知识建立一个体系，而不是半知半解。.

实验目的

1. 理解锁相环锁定和失锁的条件及原因。
2. 对整个通讯系统有一个整体的认识。

实验内容

指导老师通过给 GRF-1300A 发送指令设置故障，让学生根据故障现象，猜想故障原因。同学们可以利用电表、示波器、频谱仪等测量设备来查找原因，验证你所猜想的故障原因。

一：射频信号故障模拟实验

故障设置一

故障现象：

故障分析：

故障验证：

故障设置二

故障现象:

故障分析:

故障验证:

二：FM 调制故障模拟实验

故障设置一

故障现象:

故障分析:

故障验证:

故障设置二

故障现象:

故障分析:

故障验证:

故障设置三

故障现象:

故障分析:

故障验证:

故障设置四

故障现象

故障分析:

故障验证:

三：AM 调制故障模拟实验

故障设置一

故障现象：

故障分析：

故障验证：

故障设置二

故障现象：

故障分析：

故障验证：

故障设置三

故障现象：

故障分析:

故障验证:

故障设置四

故障现象:

故障分析:

故障验证:

附录

在此我们附上一些常用的数值转换表，以供查询使用
dBm, dBuV, dBmV 之换算与 dB, dBc 之关系

dBm, dBuV 及 dBmV 之间数值转换表

dBm	mW	uV	dBuV	dBmV
-30	0.001	7071.07	76.9897	16.9897
-25	0.003	12574.33	81.9897	21.9897
-20	0.010	22360.68	86.9897	26.9897
-15	0.032	39763.54	91.9897	31.9897
-10	0.100	70710.68	96.9897	36.9897
-5	0.316	125743.34	101.9897	41.9897
0	1.000	223606.80	106.9897	46.9897
5	3.162	397635.36	111.9897	51.9897
10	10.000	707106.78	116.9897	56.9897
15	31.623	1257433.43	121.9897	61.9897
20	100.000	2236067.98	126.9897	66.9897
25	316.228	3976353.64	131.9897	71.9897
30	1000.000	7071067.81	136.9897	76.9897

以 50Ω 为例, 因此 -30dBm 等于 0.001mW, 或 $10^{-6}W$. 在 50Ω 的负载上为 7071.07 uV 或 0.007071mV. 上表之公式及推导方式为

$$P_{\text{immW}} = 10^{\frac{\text{dBm}}{10}} \Rightarrow V = \sqrt{P \times R}$$

$$\Rightarrow \text{dBuV} = 20 \times \log\left(\frac{V}{\text{uV}}\right)$$

$$\text{另外 } \text{dBm} = 10 \times \log\left(\frac{P}{\text{mW}}\right) \quad \text{dBmV} = 20 \times \log\left(\frac{V}{\text{mV}}\right)$$

至于 dB 及 dBc 为相对单位. 就功率而言, 差 20dB 等于差 100 倍.

问题 0dBm 与 -50dBm 相差 50dB 或 50dBm?

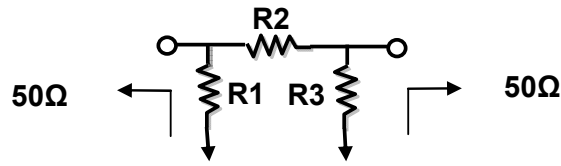
答案 50dB

说明 0dBm=1mW, -50dBm=10⁻⁵mW, 两者相差 10⁵ 倍, 等于 50dB.
或者两者相差 0.99999mW,

而 0.99999mW 等于 -0.0000434dBm ≈ 0dBm.

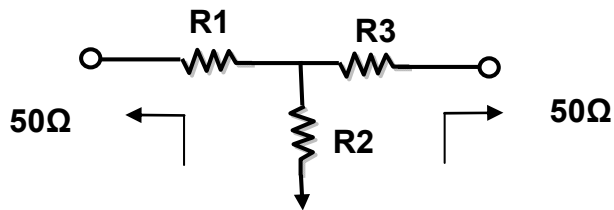
50dBm=10⁵mW=100W, 显然 50dBm 是错误的.

π 型电阻衰减器之各电阻值



dB	R1	R2	R3
1	869.55	5.77	869.55
2	436.21	11.61	436.21
3	292.40	17.61	292.40
4	220.97	23.85	220.97
5	178.49	30.40	178.49
6	150.48	37.35	150.48
7	130.73	44.80	130.73
8	116.14	52.84	116.14
9	104.99	61.59	104.99
10	96.25	71.15	96.25
11	89.24	81.66	89.24
12	83.54	93.25	83.54
13	78.84	106.07	78.84
14	74.93	120.31	74.93
15	71.63	136.14	71.63
16	68.83	153.78	68.83
17	66.45	173.46	66.45
18	64.40	195.43	64.40
19	62.64	220.01	62.64
20	61.11	247.50	61.11
25	55.96	443.16	55.96
30	53.27	789.78	53.27
35	51.81	1405.41	51.81
40	51.01	2499.75	51.01

T型电阻衰减器之各电阻值



dB	R1	R2	R3
1	2.88	433.34	2.88
2	5.73	215.24	5.73
3	8.55	141.93	8.55
4	11.31	104.83	11.31
5	14.01	82.24	14.01
6	16.61	66.93	16.61
7	19.12	55.80	19.12
8	21.53	47.31	21.53
9	23.81	40.59	23.81
10	25.97	35.14	25.97
11	28.01	30.62	28.01
12	29.92	26.81	29.92
13	31.71	23.57	31.71
14	33.37	20.78	33.37
15	34.90	18.36	34.90
16	36.32	16.26	36.32
17	37.62	14.41	37.62
18	38.82	12.79	38.82
19	39.91	11.36	39.91
20	40.91	10.10	40.91
25	44.68	5.64	44.68
30	46.93	3.17	46.93
35	48.25	1.78	48.25
40	49.01	1.00	49.01

FM信号之调频指数与边频分量幅度对照表

Modulation index	Sideband																
	Carrier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.00	1.00																
0.25	0.98	0.12															
0.5	0.94	0.24	0.03														
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02													
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01												
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03												
2.41	0	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02											
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	0.01										
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01										
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02									
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02								
5.53	0	-0.34	-0.13	0.25	0.40	0.32	0.19	0.09	0.03	0.01							
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02							
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02						
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03					
8.65	0	0.27	0.06	-0.24	-0.23	0.03	0.26	0.34	0.28	0.18	0.10	0.05	0.02				
9.0	-0.09	0.25	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01			
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01		
12.0	0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01

合格声明

We

GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD.

No. 7-1, Jhongsing Rd, Tucheng Dist., New Taipei City 236. Taiwan.

GOOD WILL INSTRUMENT (SUZHOU) CO., LTD.

No. 69 Lushan Road, Suzhou City(Xin Qu), Jiangsu Sheng, China.

declare that the below mentioned product

Type of Product: **RF & Communication Trainer**

Model Number: **GRF-1300A**

are herewith confirmed to comply with the requirements set out in the Council Directive on the Approximation of the Law of Member States relating to Electromagnetic Compatibility (2004/108/EEC) and Low Voltage Directive (2006/95/EEC).

For the evaluation regarding the Electromagnetic Compatibility and Low Voltage Directive, the following standards were applied:

© EMC	
EN 61326-1:	Electrical equipment for measurement, control and laboratory use -- EMC requirements (2006)
Conducted & Radiated Emission EN 55011: 2009+A1: 2010	ClassB Electrostatic Discharge IEC 61000-4-2: 2008
Current Harmonics EN 61000-3-2: 2006+A2: 2009	Radiated Immunity IEC 61000-4-3: 2006+A2: 2010
Voltage Fluctuations EN 61000-3-3: 2008	Electrical Fast Transients IEC 61000-4-4: 2004+A1: 2010
-----	Surge Immunity IEC 61000-4-5: 2005
-----	Conducted Susceptibility IEC 61000-4-6: 2008
-----	Power Frequency Magnetic Field IEC 61000-4-8: 2009
-----	Voltage Dip/ Interruption IEC 61000-4-11: 2004

Low Voltage Equipment Directive 2006/95/IEC	
Safety Requirements	IEC 61010-1: 2010 (Third Edition)