

实验二 测量磁共振中心频率（拉莫尔频率）

一、实验目的：

- 1、理解核磁共振的基本原理。
- 2、理解磁体的中心频率和拉莫尔频率的关系。
- 3、掌握拉莫尔频率的测量方法。

二、实验器材：

约 10mm 高的大豆油试管样品；NMI20 台式磁共振成像仪。

三、实验原理：

1、核磁共振基本原理

当一个样品被放在外磁场 B_0 中时，样品就会被磁化，产生能级分裂现象，所产生的能级间距为： $\Delta E = gB_0 \hbar$ ；如果在该样品系统上加上一个射频磁场，从量子力学观点来看，射频场的能量为 $h\nu$ ，当该能量和分裂产生的能级间距相等，即 $h\nu = \Delta E$ 时，样品对外加射频能量吸收达到最大，产生的磁共振信号也最强，因此得到核磁共振产生的基本条件： $h\nu = h\nu_0 = h2\pi f_0 = gB_0 \hbar$ ，因此得到拉莫尔方程 $\nu_0 = gB_0 / h$ ，此时的 ν_0 就是产生核磁共振的拉莫尔频率，也是外加磁场的中心频率，其中 g 为样品物质的磁旋比， \hbar 为原子核自旋角动量的单位， h 为普朗克常量， B_0 为外加磁场的磁场强度。

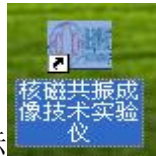
2、测量方法

方法一：对于一个主磁场确定的磁共振系统来说，在外界条件不变的条件下，其共振频率也是一个固定的值，接收线圈测量到的 FID 信号和射频磁场的频率变化是一致的，因此可以对 FID 信号进行傅立叶变换，找到 FID 信号的频率，根据核磁共振发生的条件，从而间接得到射频磁场的中心频率，此频率也就是样

品质子进动的拉莫尔频率。

方法二：宏观磁化矢量的弛豫可以通过布洛克方程进行描述和求解，但此过程中总是包含着一个固定的进动项。由于进动的存在，使得描述和求解都很困难。而进动并不对信号幅值产生任何影响。因此有人采用旋转坐标系来描述宏观磁化矢量的弛豫过程。因此，实验室坐标系中的 MR 信号在旋转坐标系中就可以把进动项消除。当旋转坐标系的旋转频率与拉莫尔频率完全相同时，线圈采集到的 FID 信号中的拉莫尔频率成分就可被完全过滤掉，呈现出来的是一条呈指数递减规律的曲线。因此在实验中可以通过不断修改射频脉冲的频率，同时观察屏幕上的 FID 信号。当 FID 信号的振荡频率逐步减小到基本上不出现振荡时，说明此时的射频频率就是拉莫尔频率。

四、实验步骤：



1、启动计算机，点击桌面图标



MRIjx按钮进入 WinMRIXP 操作界面，如图 2、



图 1 核磁共振成像技术实验仪软件界面

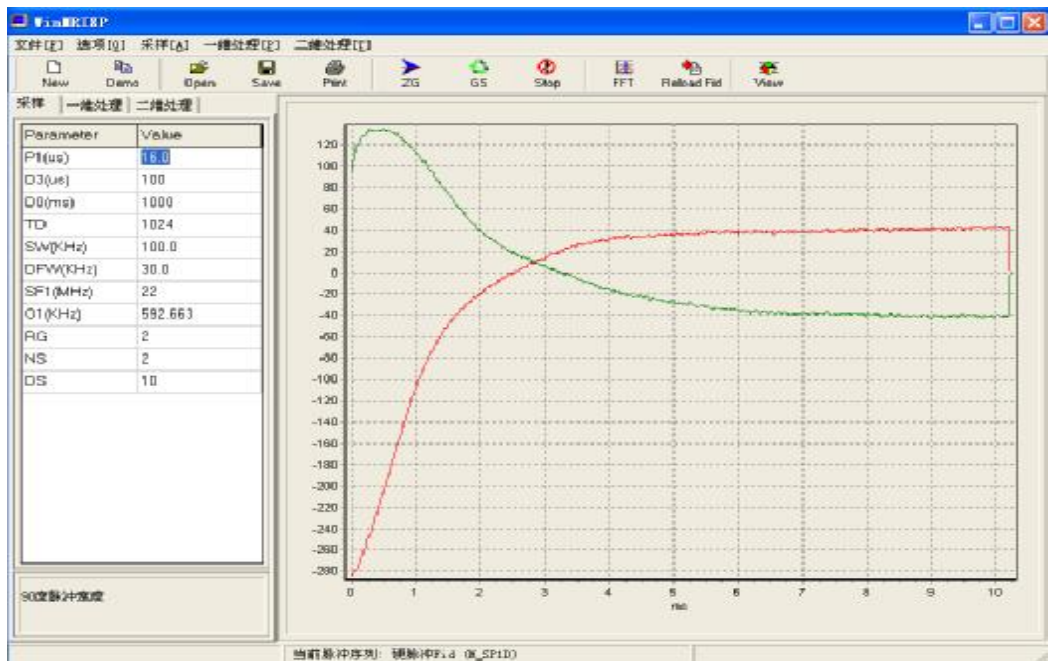


图2 WinMRXP 操作界面


- 2、将装有 10mm 高大豆油的样品管小心放置入磁体柜上方样品孔内。
- 3、开启射频单元及梯度放大器的电源(如下两图)。



NM2010 射频单元面板



NM2011 梯度单元面板

- 4、单击工具栏上的  Demo 按钮 (如图 3)，进入脉冲序列选择对话框 (如图 4)。

选择硬脉冲 FID 序列，在参数设置列表中将中心频率主值 SF1、偏移量 O1 和采样点数 TD 分别预设为：22、600.000 和 2048（如图 5）。（注意：此处数值为射频单元 NM2010 面板上所张贴数值，注意主频偏移量 O1 不能偏离所设数值 20KHz，否则无法自动寻找中心频率。）若所填写数值无误，但并未观察到 FID 信号，此时可适当改变 O1 值，直到出现 FID 信号为止。如若精细调节后仍无 FID 信号，则可能是硬件上的问题，此时可将问题向老师反映。



图 3 WinMRXP 菜单栏

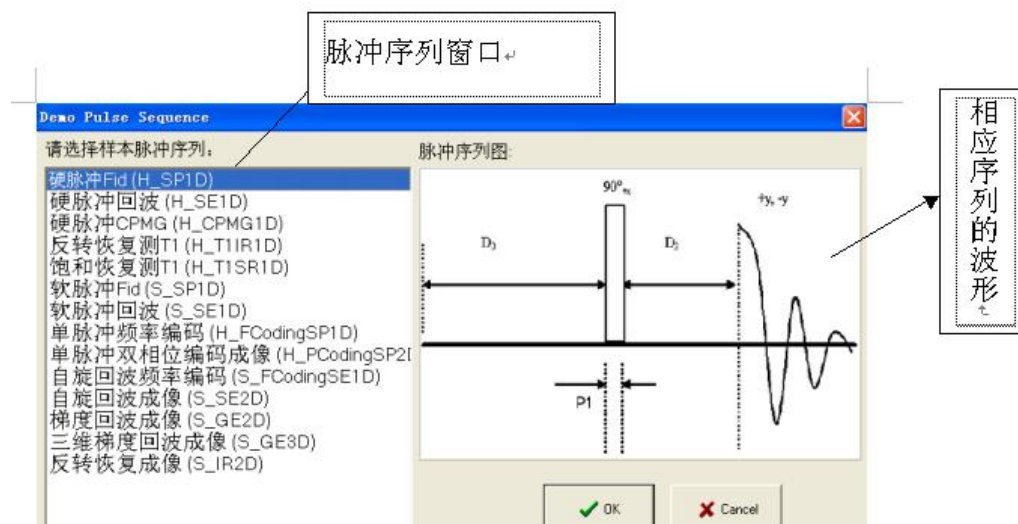


图 4 脉冲序列对话

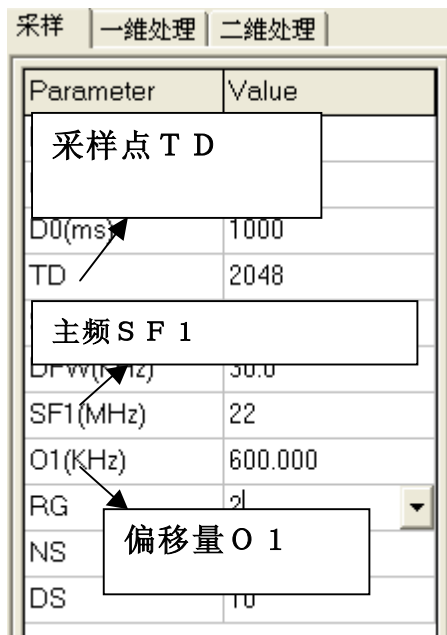





图 5 WinMRIXP 参数设置界面

方法一：

- 1、点击  (见图 7) 进行单次采集，即可观测到 FID 信号。
- 2、单击  按钮(如图 7)停止扫描，单击  按钮(如图 7)，弹出一对话框，



如图所示：

S1 选择默认值，点击 OK 按钮，将 FID 信号进行傅里叶变换。

傅里叶变换后窗口如下图所示：

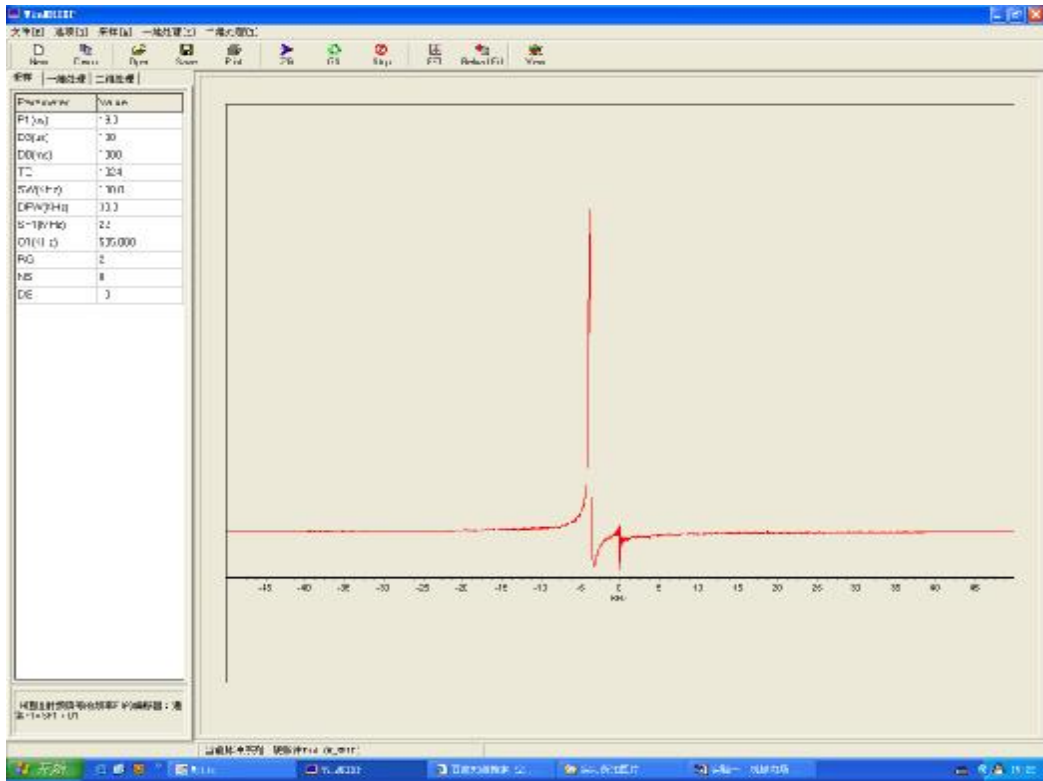


图 6 FID 信号经 FT 后的频域信号形状



图 7 WinMRXP 菜单栏

- 3、点击 **一维处理**（见图 7）进入一维处理选项卡，界面如图 8 所示。
- 4、单击 **相位校正**（见图 8）按钮进入相位校正对话框，调节零级相位校正 PC0 数值框中的值使谱线基部处在同一水平位置上，如图 8 所示，选择 OK 确定。

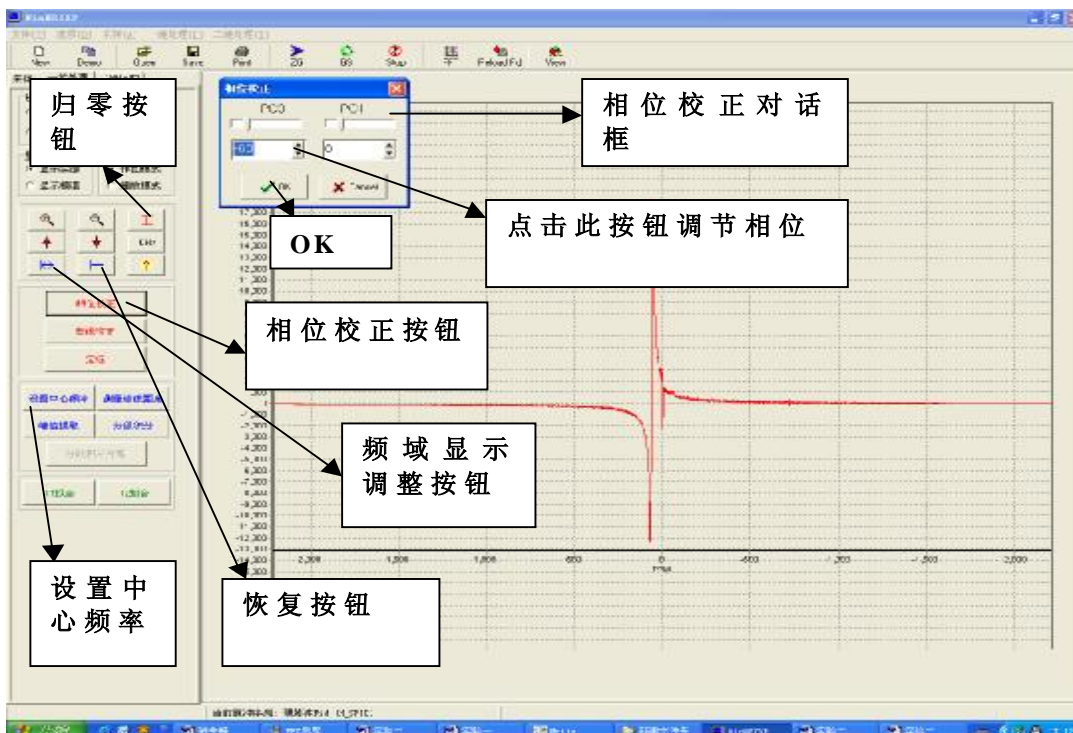



图 8 一维处理界面

5、选择基线归零  按钮(见图 8)，谱线基部会下拉到坐标零基线位置，如图 9 所示。

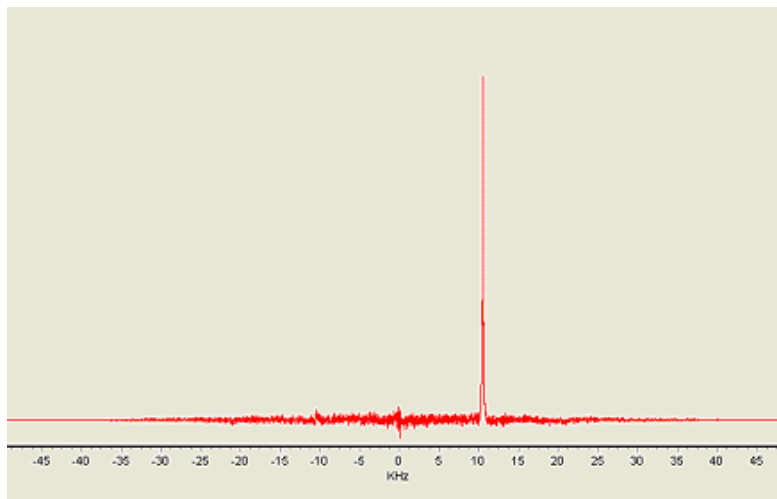

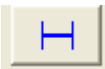


图 9 基线归零后的频谱图

6、使用频域显示调整  按钮（见图 8），选择以谱峰为中心点的局部谱线进行显示，具体方法将鼠标先后对称地点谱峰中心左右两侧，如图 10 所示。鼠标松开后，选择的局部谱线就会得到放大显示如图 11 所示。放大后如若想回到原来状态，可点击恢复按钮  （见图 8）

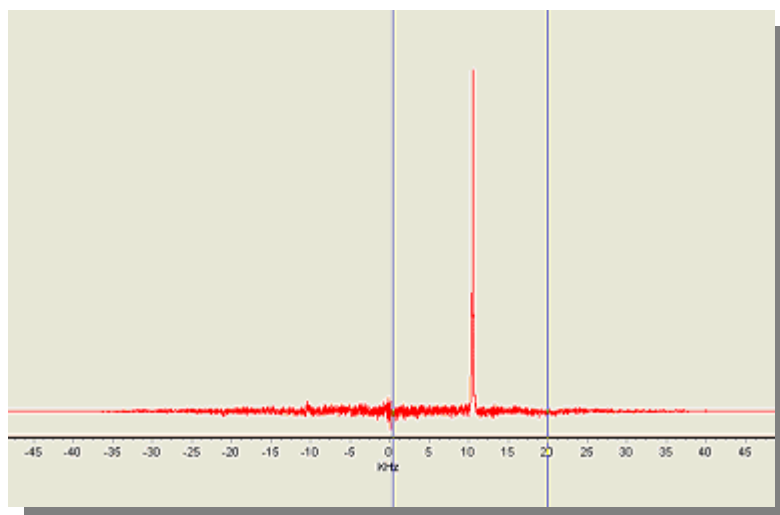



图 10 局部谱线显示图

- 7、使用  按钮(见图 8)，把谱线中心峰值处设置为中心频率，如图 11 所示，设定后系统会出现一个对话框，确定后系统就会在下次采集时采用设定的中心频率，即找到了系统的中心频率。

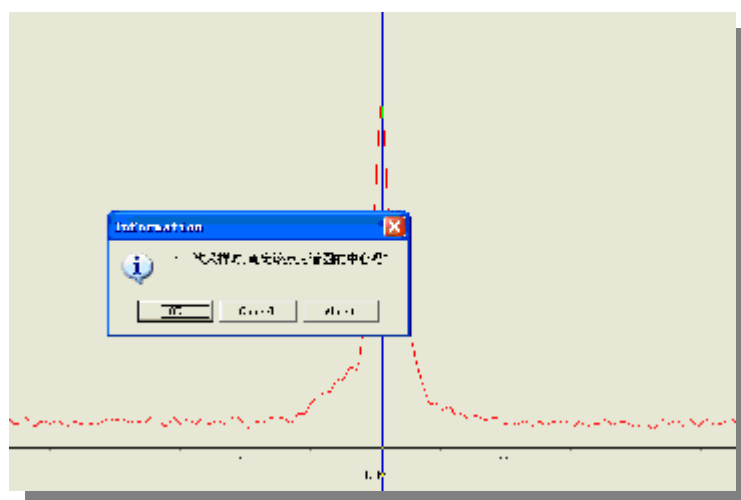



图 11 中心频率设置

- 8、再次选择单次采集工具  (见图 7)，观看 FID 信号情况。重复以上步骤，当 FID 信号如图 12 或 13 出现单调无振荡时，说明射频信号的中心频率和磁场的中心频率近似一致，此时射频中心频率 $SF1(MHz) + O1(KHz)$ 的值即为磁场的拉莫尔频率。

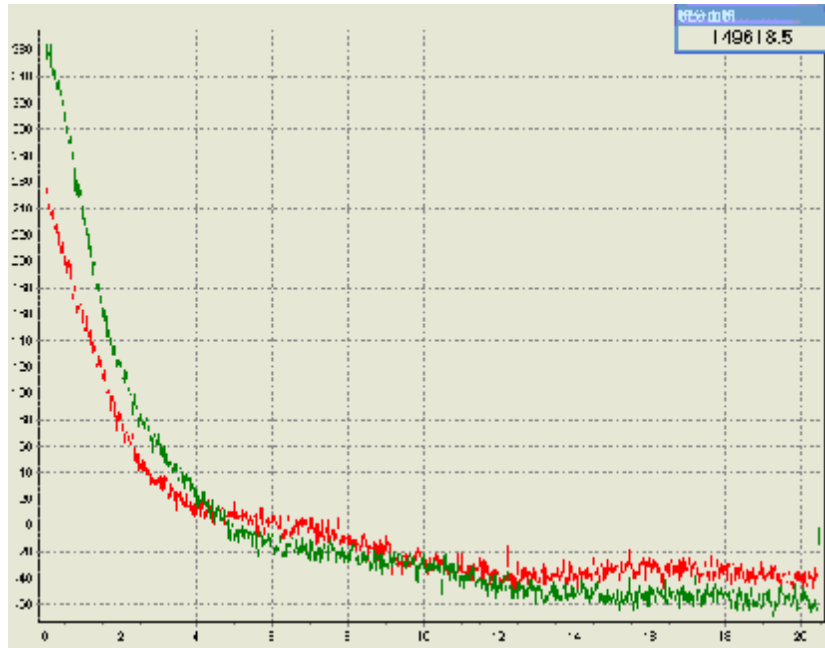


图 12 共振状态

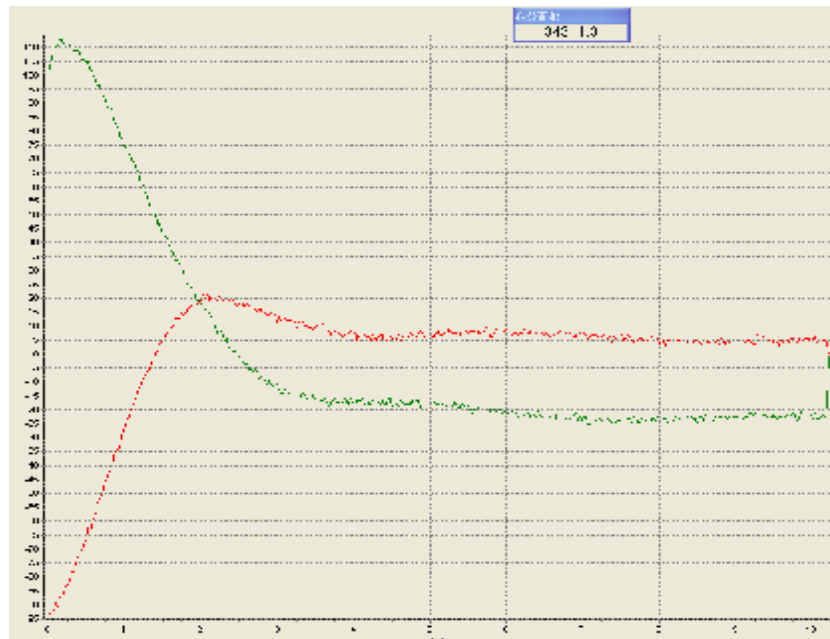



图 13

方法二：

- 1、使用单次采集工具  (见图 7) 进行信号采集，如图 14 所示，该图表明当前设置的频率和中心频率有一定差距。

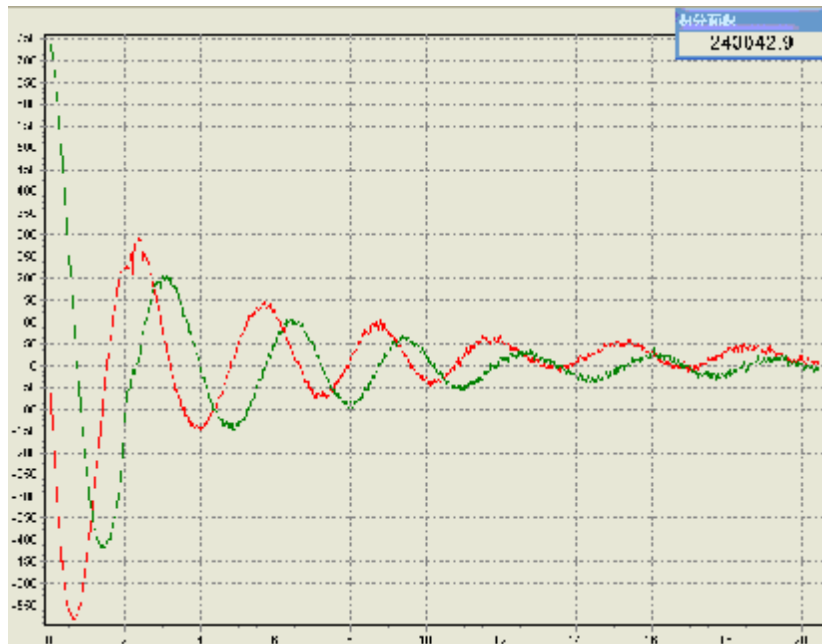


图 14

2、调整射频频率，即增大或减少 O1 值来寻找合适的射频频率，调整方向为使信号变疏(即使频率差变小)，具体调整方法介绍如下(SF1 均为 22):

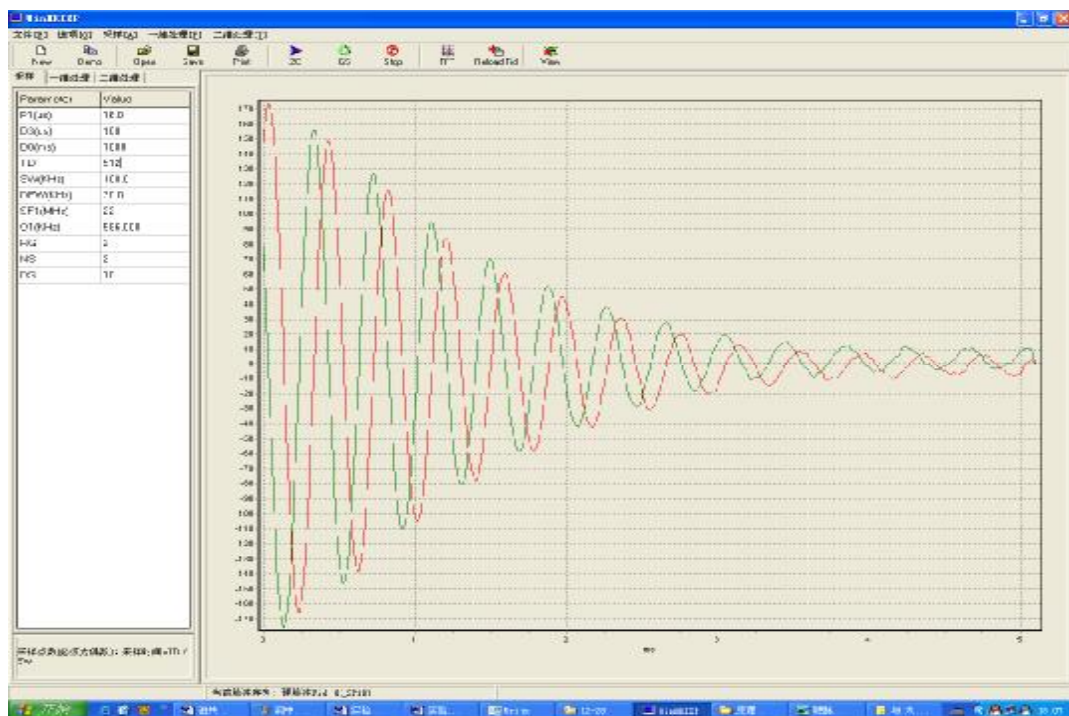


图 15 O1 为 586KHz 时的 FID 信号

从图中可以数出 1—3ms 内的完整波个数为 5 个，所以 FID 信号的周期为 $2/5=0.4\text{ms}$ ，所以 FID 信号的频率为 $1/0.4\text{ms}=2.5\text{KHz}$ 。记下此值，以 2.5KHz 为基准增大或减小 O1 值。

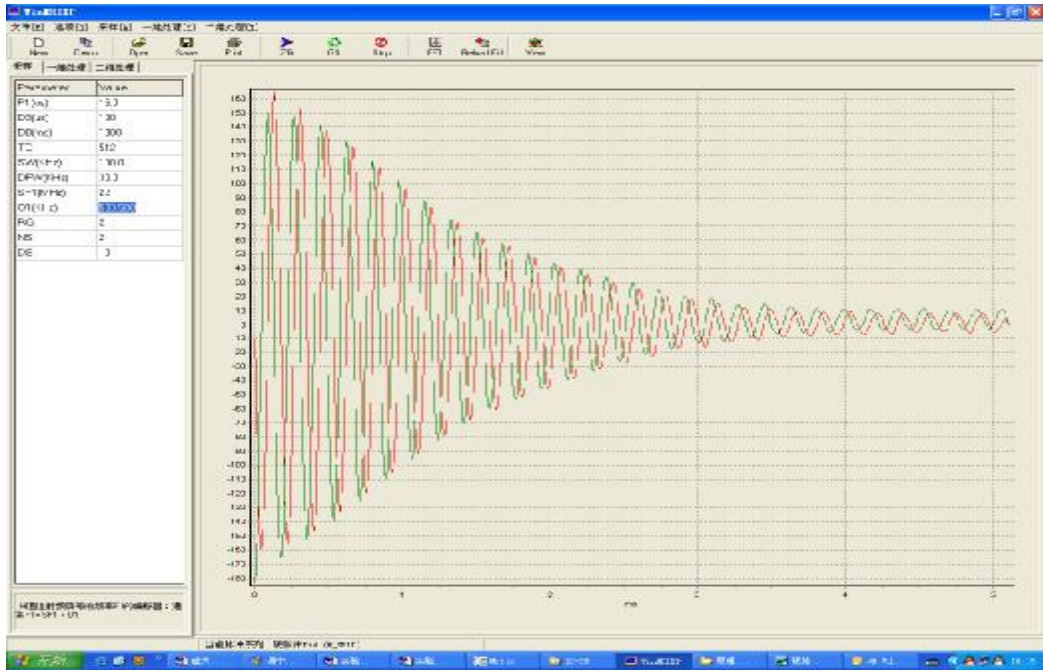


图 16 O1 为 583.5KHz 时的 FID 信号

图 16 为在 $O1=586\text{KHz}$ 的基础上减小 2.5KHz 之后得到的 FID 信号图形。与图 15 对比可得,图 16 中 FID 信号明显变密了,而共振状态是 FID 信号无振荡的状态,即 FID 信号要向变疏的方向调节。由此推知,共振频率应该大于 $SF1+586\text{KHz}$,即 $O1$ 要增大。将 $O1$ 在 586KHz 的基础上增加 2.5K 后所得的图像如图 17 所示。

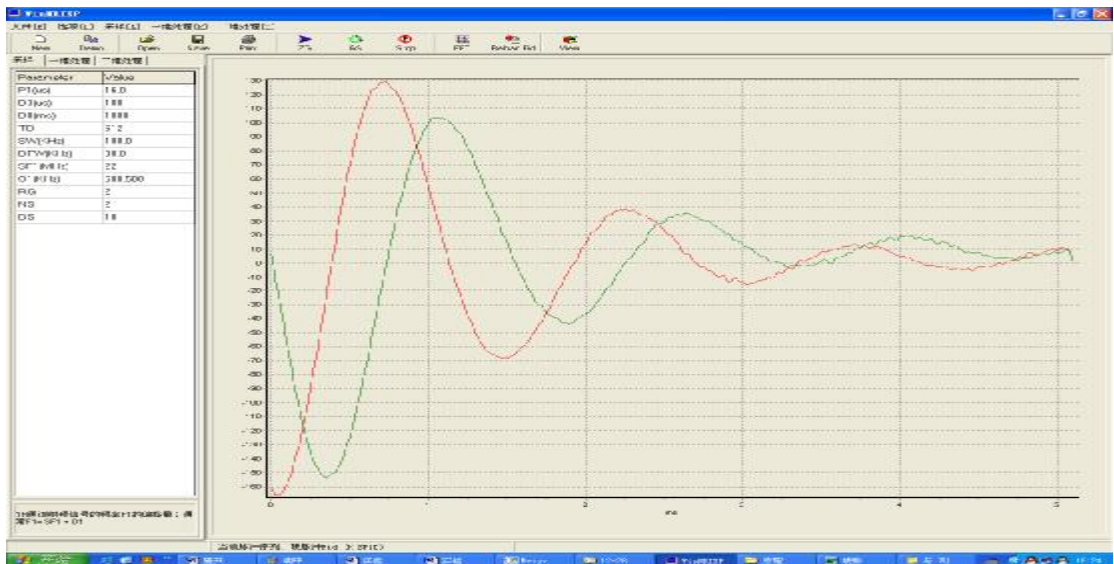


图 17 O1 为 585.5KHz 时的 FID 信号

图 17 与图 15 相比, FID 信号明显变疏。接下来重复以上步骤,直至 FID 信号无振荡为止(如图 18)。

- 3、当 FID 信号无振荡时，说明设定的射频频率和磁场中心频率重合，即该频率即为拉莫尔频率。

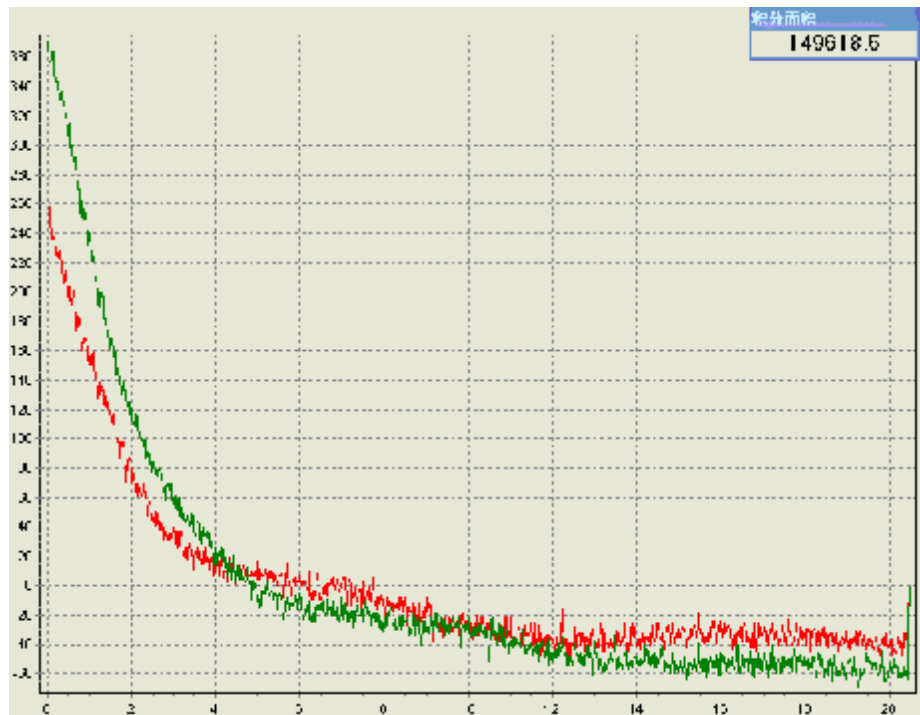


图 18

五、实验结果

- 1、应用方法一测量到的中心频率为：_____
- 2、应用方法二测量到的中心频率为：_____

六、结果讨论与思考题

- 1、如何描述磁共振产生的基本原理；
- 2、如何应用傅立叶变换进行射频频率的测量；
- 3、讨论和比较两种中心频率测量方法之间的异同；
- 4、理论上的旋转坐标系在系统中是用何种硬件器件来实现的？