

1. 串并联谐振回路的相频特性曲线到底是相同的还是对偶的？

解答：

从道理上来说，其实都是对的。但本质上来讲，两者的相频特性曲线应当相同。

首先根据公式可以得出：

对于串联：

$$\begin{cases} \dot{V}_{L0} = \dot{I}_0 X_L \\ \dot{V}_{C0} = \dot{I}_0 X_C \\ Z = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \end{cases} \xrightarrow[\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0]{\text{谐振}} \begin{cases} \dot{V}_{L0} = \dot{I}_0 j\omega_0 L = \frac{V_S}{R} j\omega_0 L = j\frac{\omega_0 L}{R} \dot{V}_S = jQ \dot{V}_S \\ \dot{V}_{C0} = \dot{I}_0 j\omega_0 C = -j\frac{1}{\omega_0 CR} \dot{V}_S = -jQ \dot{V}_S \end{cases}$$

显然，串联谐振时可在L和C上获得放大Q倍的 \dot{V}_S ，故又用于捕获微小的电压源。

同样推导出并联：

$$\begin{cases} \dot{I}_{CP} = \frac{\dot{V}_0}{\frac{1}{j\omega_p C}} = j\omega_p C \dot{V}_0 = j\omega_p C I_S Q_p \frac{1}{\omega_p C} = jQ_p \dot{I}_S \\ \dot{I}_{LP} = \frac{\dot{V}_0}{R + j\omega_p L} \approx \frac{\dot{V}_0}{j\omega_p L} = \frac{Q_p \omega_p L \dot{I}_S}{j\omega_p L} = -jQ_p \dot{I}_S \end{cases}$$

显然，并联谐振时可在支路获得放大Q倍的 \dot{I}_S ，故用于捕获微小电流源。

串联时，相角 ϕ 是指回路电流与信号源电动势的相位差，当电流超前电压时， $\phi > 0$ ，此时回路阻抗为容性， $f < f_0$ ；

并联时，相角 ϕ 是指回路电压与信号源电流的相位差，当电压超前电流时， $\phi > 0$ ，此时回路阻抗为感性， $f < f_0$ ；

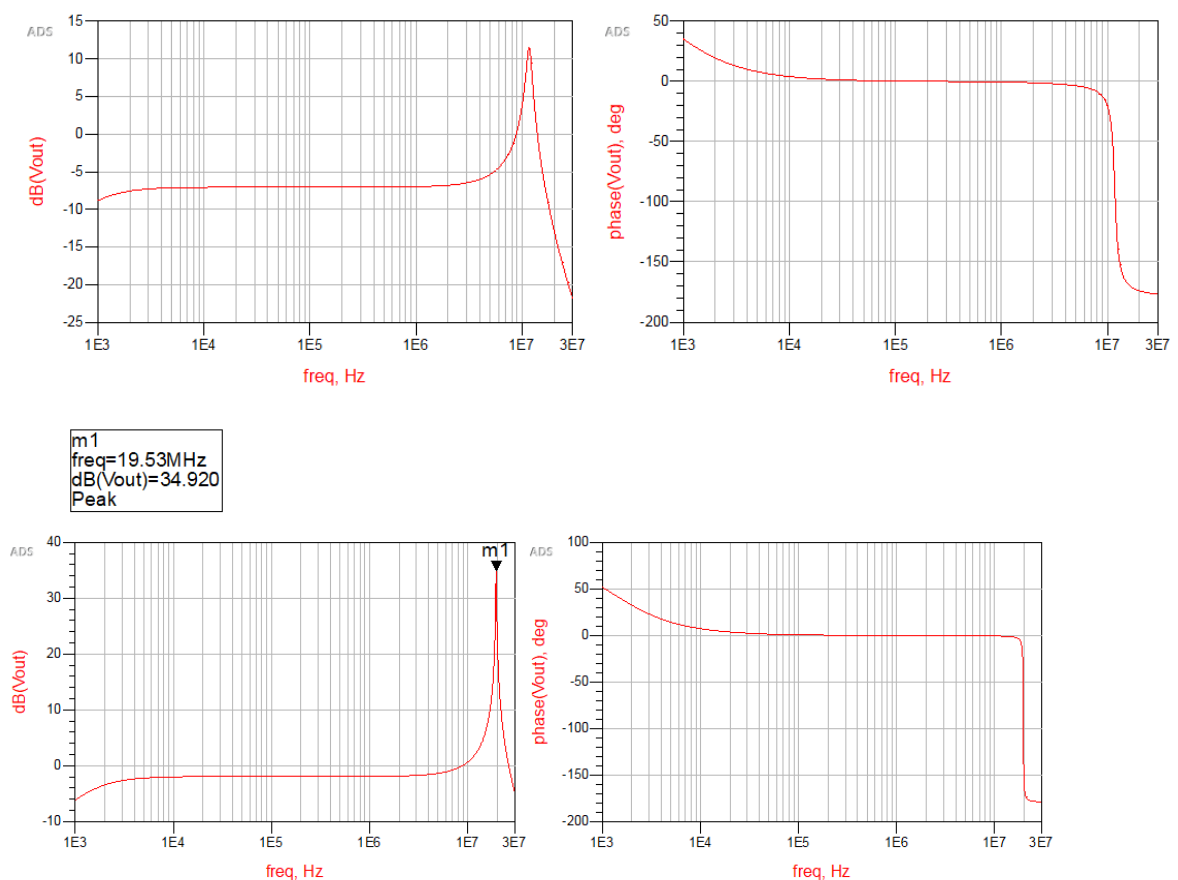
因此，这两者的相位特性曲线变化规律相同，这是由应用定义的相位特性决定的。

但是，实验中作图时，同学们并未意识到这两者之间的区别，而是统一了相角 ϕ 的定义，那么由于阻抗和导纳互为倒数，自然就呈现对耦特性了。

这当然不能说不_对，只是对于实际应用而言，这样的相位特性曲线显然没什么意义，毕竟如果采用并联，就是希望得到大电流，那么此时以电压为标准显得有些没有作用。

总之，串联回路的相角是回路电流与信号源电压的相位差；而并联谐振的相角是回路电压与信号源电流的差，二者在定义方式上恰好相反。如此定义下，二者都是在 $\omega < \omega_0$ 时， $\psi > 0$ ，两者的相位特性变化相同，故图像上也相同。

2. 串联谐振回路的相频特性曲线



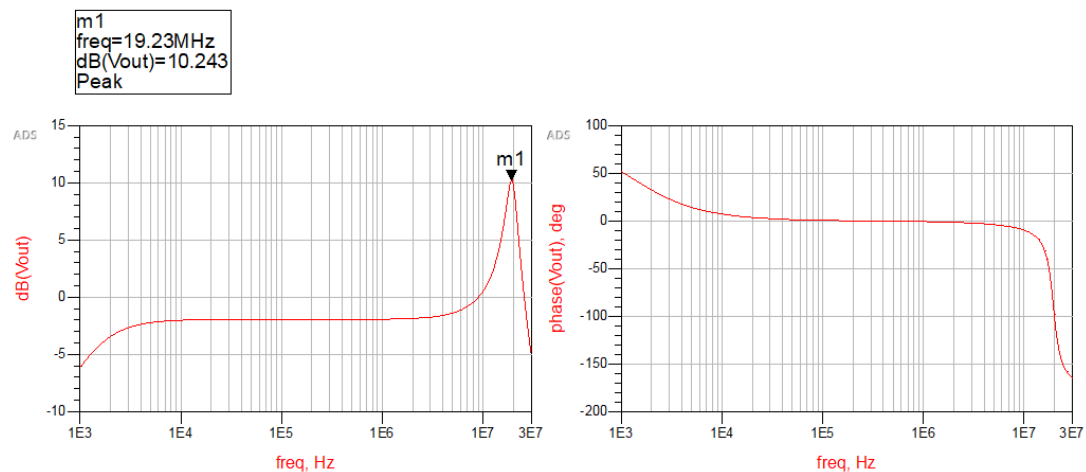
中心频率左端幅频特性与理论不符的原因：

此外，通过仿真，更改示波器处的输入电容（减小到 20pF），左侧平坦区衰减幅度更加明显。

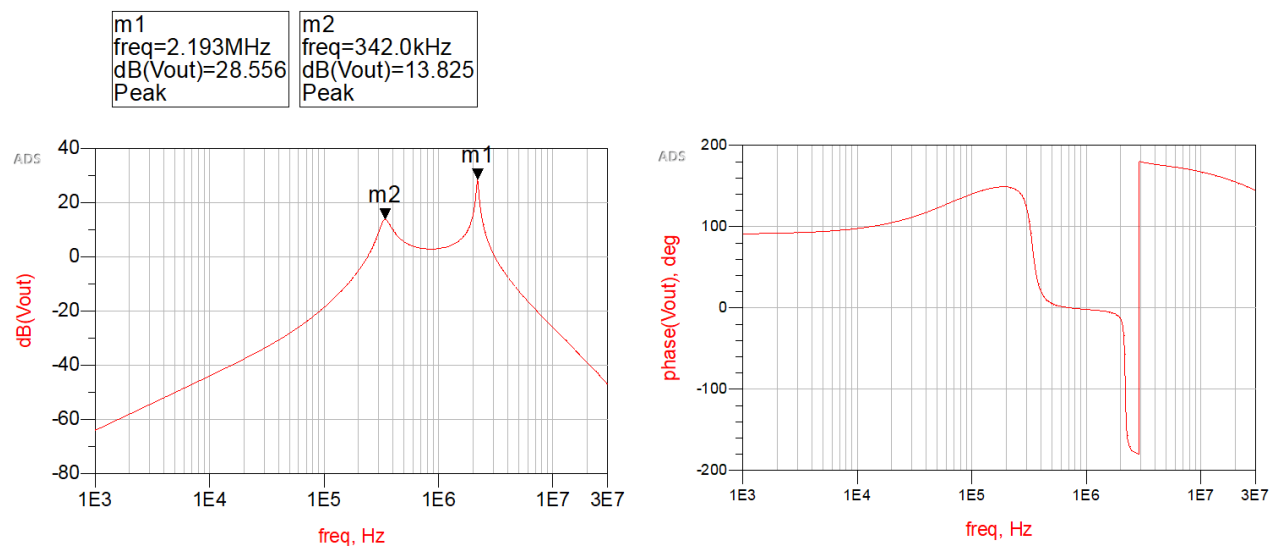
这样也能解释，实验课上，同学分享的“更换探头线材导致曲线变化”的现象。

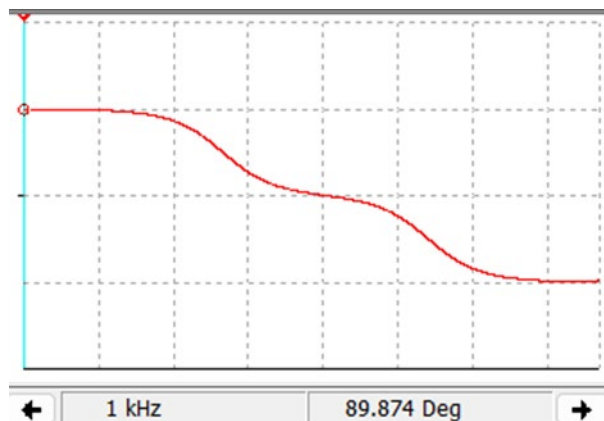
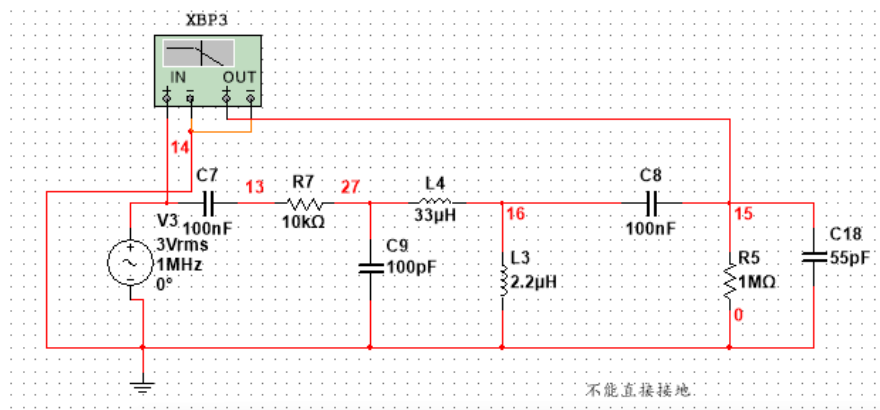
如果更换的线材寄生电容更小, 和示波器输入电容共同作用下的总电容也会减小, 从而使曲线变形更加明显。

进一步的, 如果增大回路电阻 R , 这一现象更加明显:



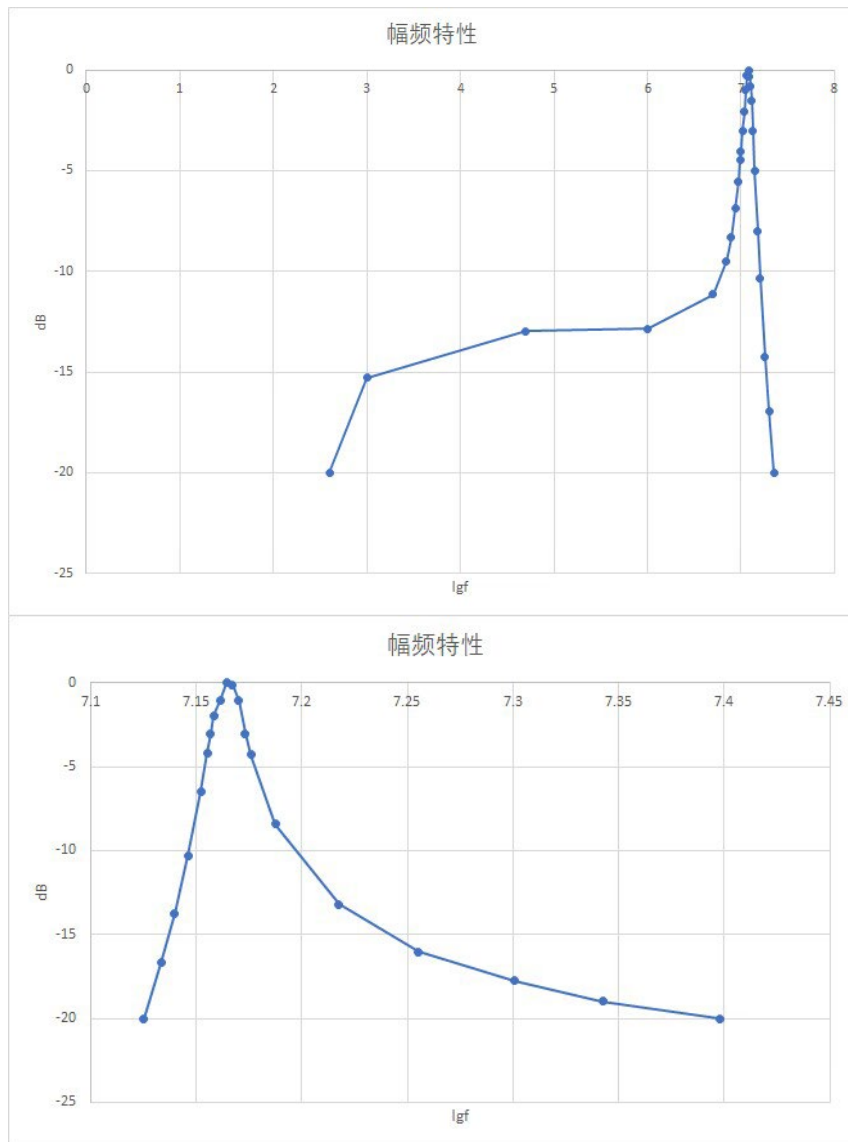
3. 并联谐振回路的相频特性曲线





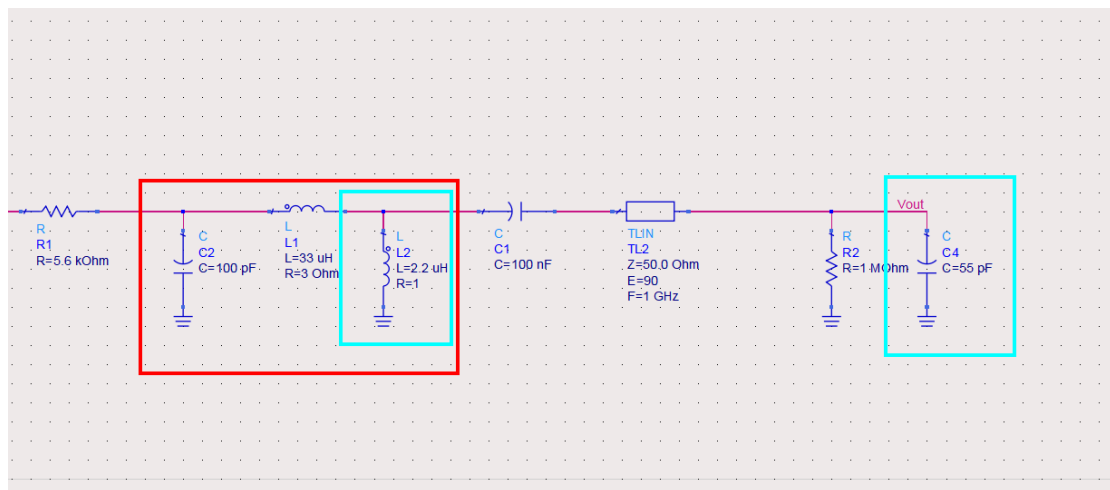
- 分析（为什么考虑示波器输入电阻电容后，在中心频率后还有一个相位突变）：应该是这边可以看成接入了一个RC移相器或者接入了另一个谐振网络（从幅频的双峰也可以推测），使得原来稳定的相位继续发生变化。在串联谐振网络的仿真中我也发现如果 R_w 不为 0，则相频图会发生变化（类似于接入一级RC移相器，受其影响）

4. 并联谐振幅频特性两侧衰减速度不一致的分析



(上图为 串联 左侧衰减慢；下图为 并联 右侧衰减慢)

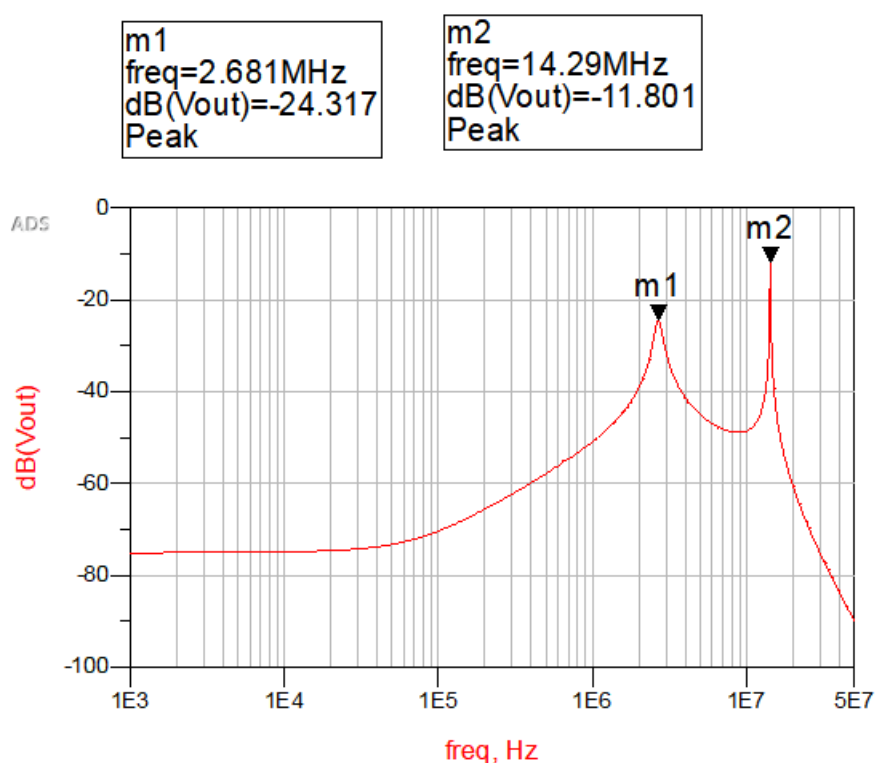
解释：主要是电容、电感值相对大小的差异导致。



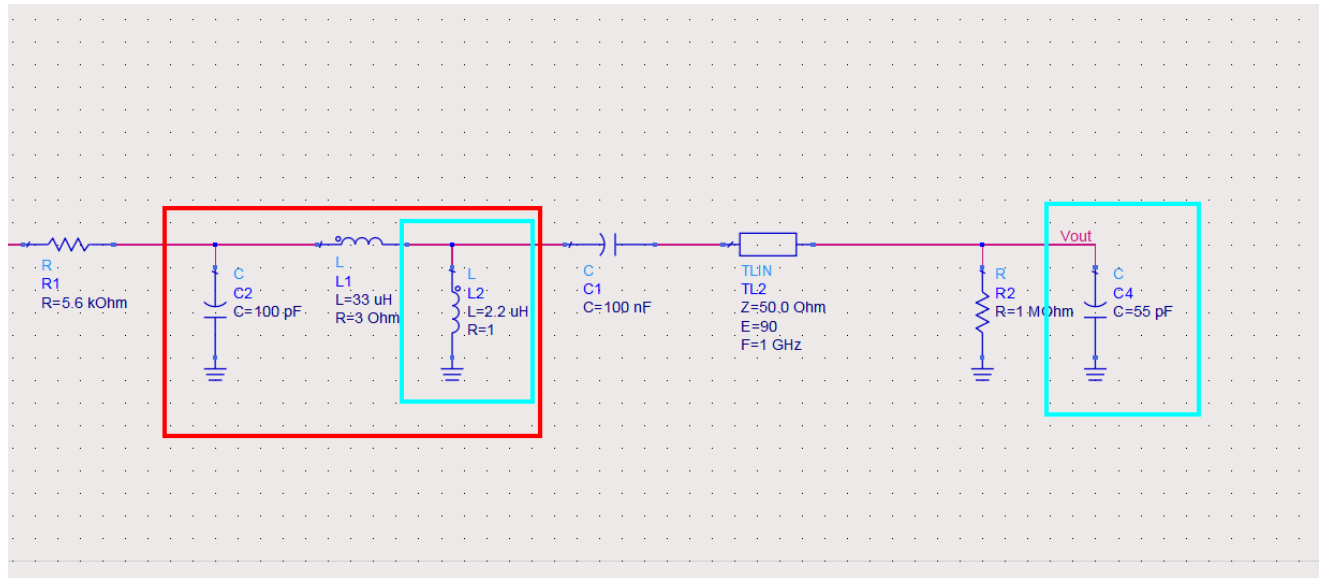
例如，在并联谐振中，电感为 33 μ H、2.2 μ H，电容仅为 100 pF，感值相对较大。在较低频区域，电容的容抗大，信号主要通过电感回路流入 GND；在较高频区域，由于电容数值较小，容抗随频率上升的速度小，此时，信号主要通过电容回路流入 GND，容抗增长慢，故衰减慢。

5. 并联谐振时，幅频特性的“双峰”

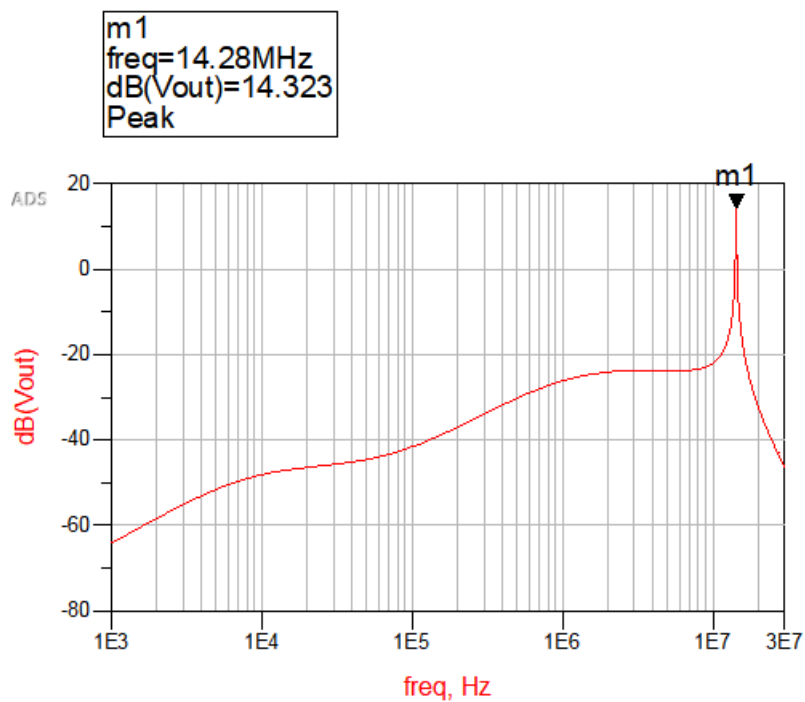
在仿真测试过程中，我还注意到，当并联谐振回路的电阻值较大时，幅频特性会出现两个尖峰。



通过理论计算，前一个峰值的谐振频率为 2.7MHz 左右，恰为 100pF 电容与 33 μ H 左右的电感构成的谐振频率；而后者（频率为 14.29MHz 的振荡），其振荡频率较高，恰好为 2.2 μ H 电感与示波器输入电容构成的振荡，也是我们实验测得的振荡。



当并联回路的 R 取较小值时，前一个尖峰消失 (Q 值减小)，只剩下后一个振荡频率：



此时的相频曲线在较低频部分显示为有些许的起伏。

6. 阻抗不匹配——幅频曲线变形的一个可能原因

实验中通过 500 Ω 同轴电缆线连接示波器，但示波器的输入阻抗为 1M Ω ，高频信号在低阻抗电缆线和输入端的高阻抗之间可能形成反射，从而造成了振铃。

