

4.3 调频和鉴频特性

4.3.1 测量说明及步骤

不加调制信号，调整电位器，使直流电压从 1~5V 变化，间隔 0.5V（用万用表直流电压档测量），测量调频电路相应的输出频率（用频率计测量）和鉴频电路的输出直流电压幅度（用万用表直流电压档测量），并做记录。

4.3.2 测量结果

电位器两端电压 /V	频率/MHz	解调输出电压 /V
1.002	10.584514	-0.498
1.507	10.640788	-0.480
2.005	10.706320	-0.451
2.491	10.784441	-0.405
3.002	10.883728	-0.320
3.495	10.997824	-0.192
3.995	11.134663	-0.007
4.510	11.298495	0.248
4.860	11.427997	0.460

五、 结果计算与分析

5.1 调频输出波形

如图 2，调频输出波形近似为正弦波，但由于频率的微小变化，显示在示波器上时，起点处波形较细，越靠右波形越粗。解调输出波形为正弦波加直流偏置，由于示波器采用了交流耦合，所以仅看出了正弦波。

在鉴频输出波形中，有类似底边切割失真的现象出现，该现象原因将在下方 5.2 节分析。

5.2 调频与鉴频特性

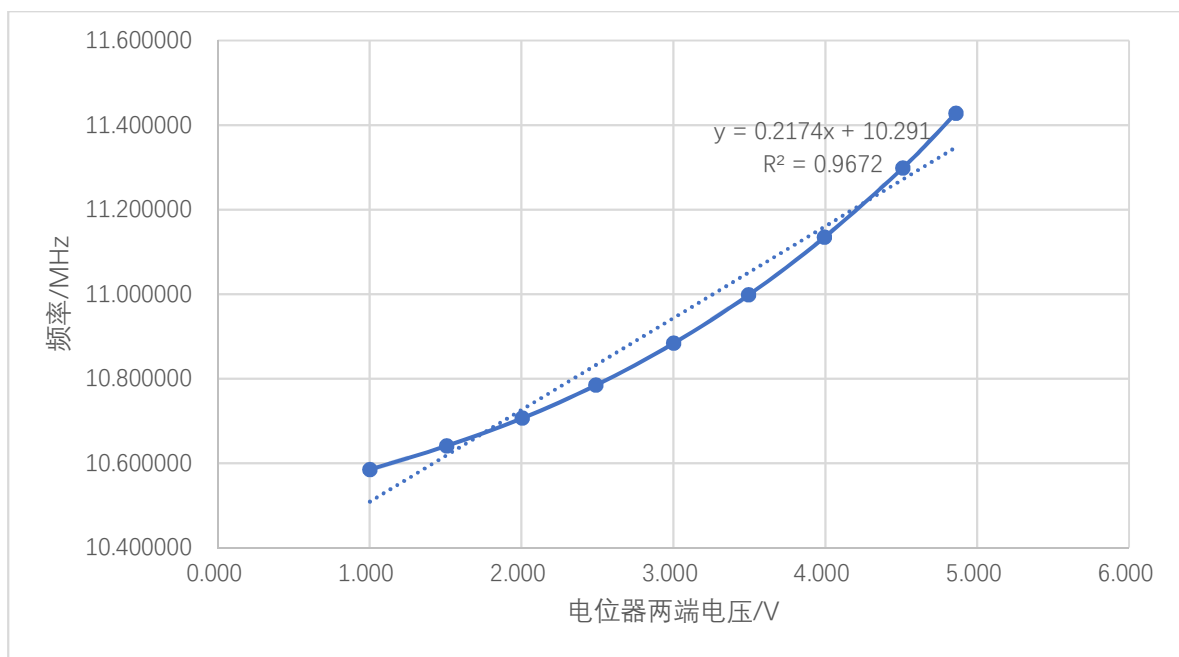


图 5 调频特性曲线

由图 5 可以看出，频率与电位器两端电压呈正相关，近似为线性关系时，调频灵敏度为拟合直线的斜率：

$$\text{调频灵敏度 } K_f = \frac{\Delta f}{v_\Omega} = 0.2174 \text{ MHz/V} = 217.4 \text{ KHz/V}$$

拟合优度

$$R^2 = 0.9672$$

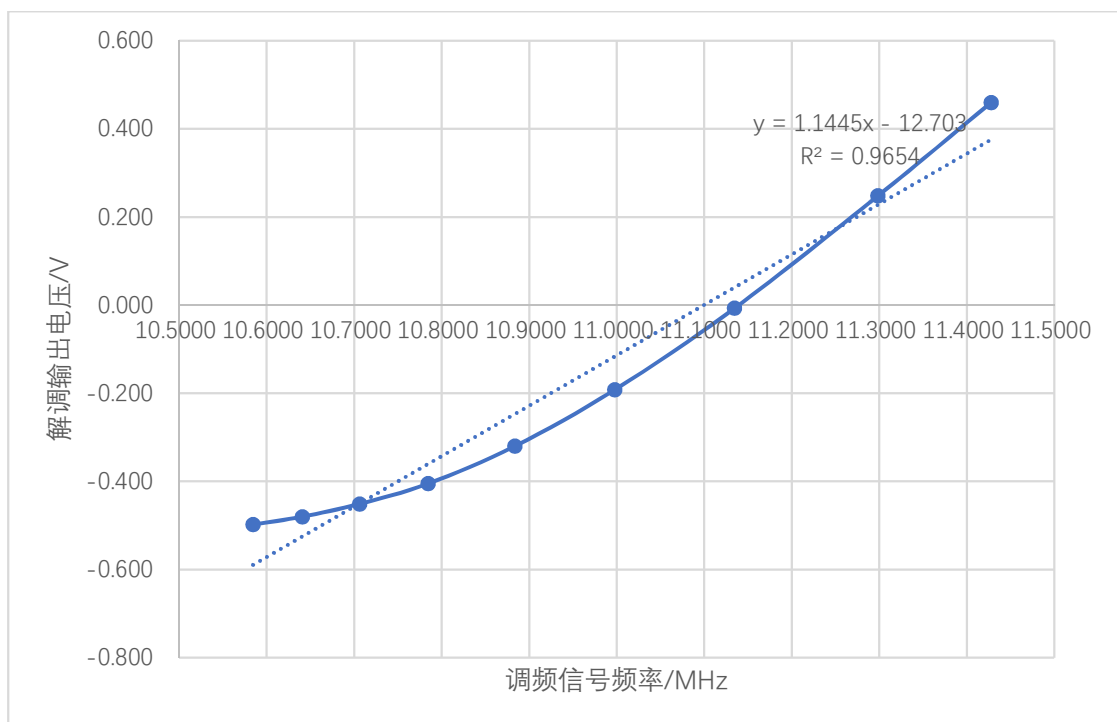


图 6 鉴频特性曲线

由图 6 可以看出，解调输出信号电压与调频信号频率呈正相关，近似为线性关系时，鉴频灵敏度为曲线斜率：

$$\text{鉴频灵敏度 } K_u = \frac{u_0}{\Delta f} = 1.1445V/MHz$$

拟合优度：

$$R^2 = 0.9654$$

结合图 5 和图 6，分析图 3 出现类似底边切割失真现象的原因：

- ① 在图 5 中，曲线斜率代表调频灵敏度，可以看出曲线斜率随电位器两端电压增加而增加。因此对于正弦调制信号，负半周时的调频灵敏度要比正半周时的调频灵敏度低。这会造成调制正弦信号时，输出调频信号的最低频率与载波频率的差值小于最高频率与载波频率的差值，即：

$$\Delta f_L = (f_c - f_{\min}) < \Delta f_H = (f_{\max} - f_c)$$

- ② 在图 6 中，曲线斜率代表鉴频灵敏度，可以看出曲线斜率随调频信号频率增加而增加，因此对于正弦波调制的调频信号的鉴频，在负半周的鉴频灵敏度小于正半周时的鉴频灵敏度。这会造成对于偏离载频相同频率的高频点 f_H 对应的电压比低频点 f_L 对应的电压高。

综合以上两点，图 3 鉴频波形产生了一定的底边切割失真现象。该失真可能由乘法器的高次方项产生。为了减小失真，可以选择平方率特性更明显的乘法器。

六、思考题

1. 正交乘积鉴频器中的移相网络在载频上的相移是多少？

在载频上， $\Delta f = 0$ ，因此相移为 $\varphi = \frac{\pi}{2} - \arctan 2Q_L \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\pi}{2}$ 。

2. 乘法器在该鉴频器中的作用是鉴相，那末他的鉴相特性是正弦的还是余弦的？

乘法器工作的数学模型为：

$$u_o = \cos(\omega_0 t + \phi_0) \cdot \cos(\omega_0 t + \phi_0 + \phi)$$

通过滤波器后：

$$u'_o = \frac{1}{2} \cos(\phi) = \frac{1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \arctan 2Q_L \frac{\Delta f}{f_0}\right) = \frac{1}{2} \sin\left(\arctan 2Q_L \frac{\Delta f}{f_0}\right)$$

所以鉴相特性为正弦。

3. 该调频电路输出的调频信号的载波频率对应变容二极管的电压是多少时的振荡频率？

变容二极管的电压由直流电压和调制信号的交流电压两部分构成，即

$$v_c(t) = v_{\pm} + v_{\Omega}(t)$$

其中 v_{\pm} 为直流反向偏置电压，在本实验中，除了 4.3 节调频和鉴频特性外，

$v_{\pm} = 3.0V$ ，因此载波频率对应变容二极管的电压为 3.0V。