

大学物理实验报告

实验名称：

晶体电光调制

学院：理学院 专业：应用物理学 班级：应物 1601

学号：20161413 姓名：谢尘竹 电话：18640451671

实验日期： 2019 年 7 月 22 日

第 二十一 周 星期 一 第 一 节

实验室房间号：307

实验组号：1

成绩

指导教师

批阅日期

程显中

2019 年 7 月 22 日

1. 实验目的：

①.了解晶体的电光效应及电光调制器的基本原理；

②.掌握电光调制器的主要性能——消光比和半波电压的测量方法；

③.观察电光调制现象；

④.完成光纤通信实验。

2. 实验器材：

名称	编号	型号	精度
半导体激光器			
起偏器、检偏器			
调制器			
硅光电池探测器			
光功率计			
光电放大器			
示波器		DS1102E	
电光调制实验仪		WDG	

3. 实验原理（请用自己的语音简明扼要地叙述，注意原理图需要画出，测试公式需要写明）

1. 电光效应原理

某些晶体在外电场作用下，构成晶体的原子、分子的排列和它们之间的相互作用随外电场 E 的改变而发生相应的变化，因而某些原来各向同性的晶体，在电场作用下，显示出折射率的改变。这种由于外电场作用而引起晶体折射率改变的现象称为电光效应。折射率 n 和外电场 E 的关系如下 $n(E)=n_0+aE+bE^2+\dots$ 。

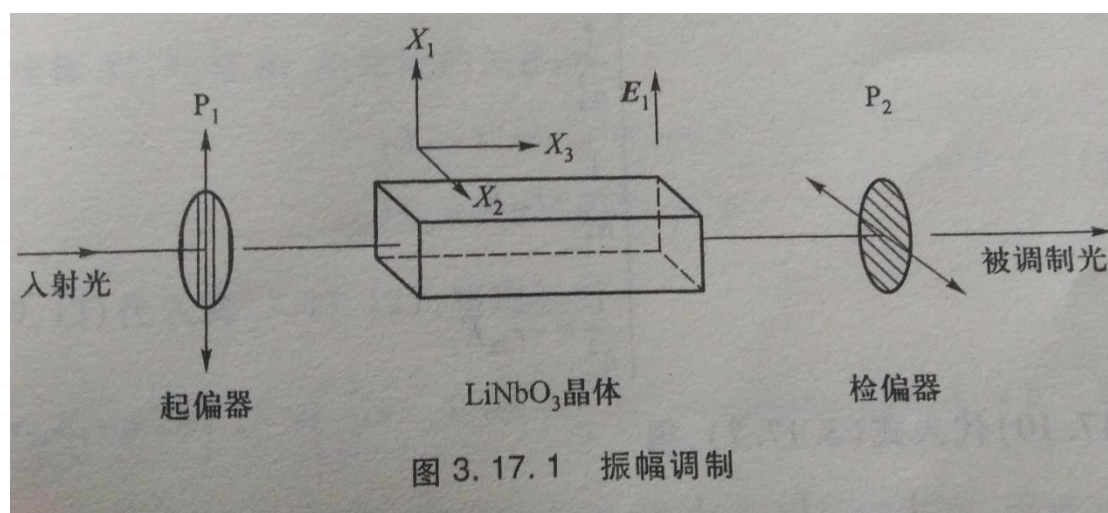
式中 n 为未加外电场 ($E=0$) 时晶体某一方向的折射率， a 是线性电光系数， b 是二次电光系数。通常把电场一次项引起的电光效应称为一次电光效应，也叫线性电光效应，是由泡克耳斯 (Pockels) 于 1893 年发现的，故又称为泡克耳斯效应；把二次项引起的电光效应叫做二次电光效应，是由克尔 (Ker) 于 1875 年发现的，故又称为克尔效应。其中，泡克耳斯效应只在无对称中心的晶体中才有，而克尔效应没有这个限制。在无对称中心的晶体中，与泡克耳斯效应相比，克尔效应较小，通常可忽略，所以一般只讨论线性电光效应。

晶体的电光效应，通常采用泡克耳斯方法来描述，即将晶体的光学性质用介电隔离率张量来表示。在施加电场后，介电隔离率张量会有一个改变量，将该改变量(张量)以电场各分量为自变量进行泰勒展开，即晶体电光效应的数学表示，它可化简为 $\Delta\beta_m = \Delta\left(\frac{1}{n_{ij}^2}\right)_m = r_{mj}E_j$ 。

2. 折射率椭球

(起源于介电隔离率是个张量；正如《半导体物理》中的电子的有效质量张量，也起源于加速度矢量 a 用力矢量 F 表示一样，它也是质量的倒数本身才是张量；这里折射率的平方的倒数，才是个三维三阶张量)

3. 电光调制



(1).铌酸锂晶体加电压后的折射率的变化，实际上是折射率椭球随电场变化而变化。

LiNbO_3 晶体是负单轴晶体，其 $n_o(632.8\text{nm})=2.286$ 、 $n_e(632.8\text{nm})=2.200$ ，其中的 λ 是入射光波长，而不是晶体中的光波长，里面由于折射率的存在而频率不变，所以寻常光和非寻常光的波长不一样，且都不等于 632.8nm 。

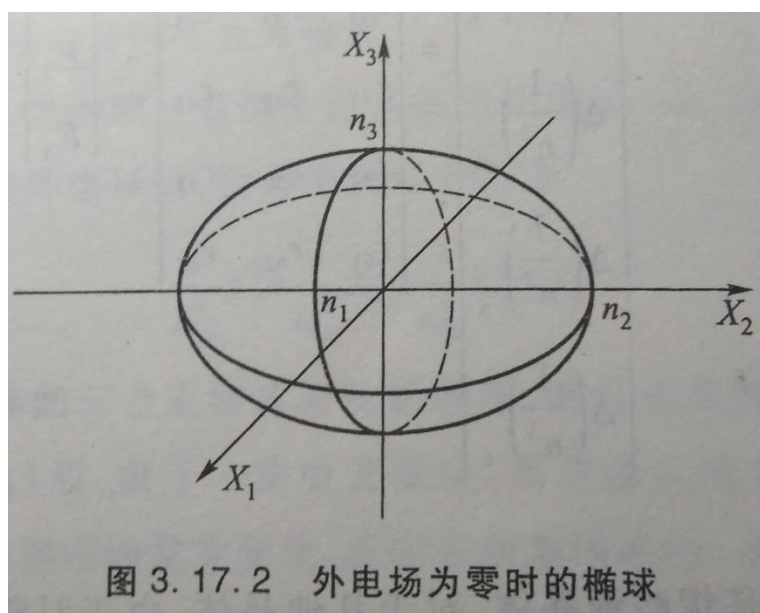
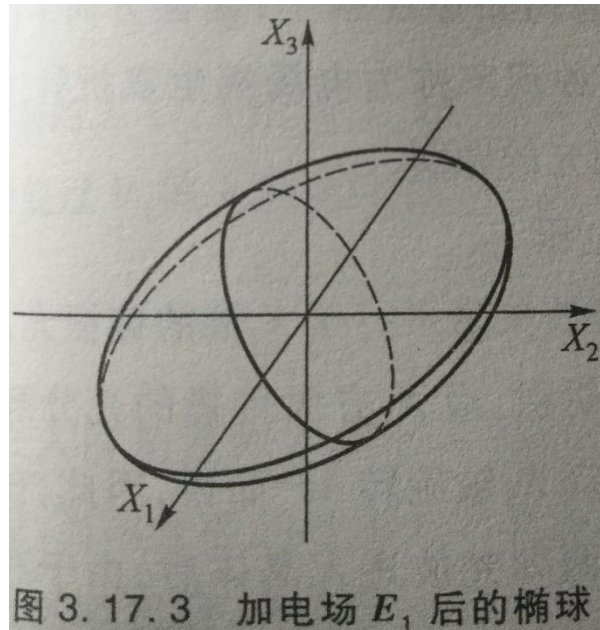
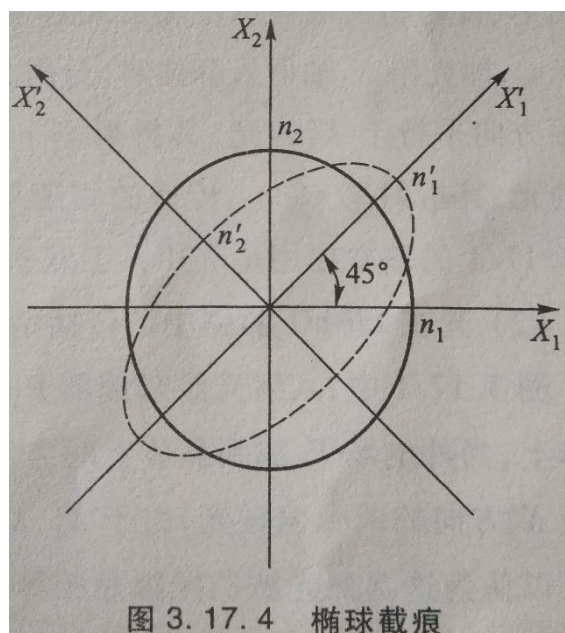


图 3. 17. 2 外电场为零时的椭球

当外电场为 0 时，其折射率椭球方程是个以 X_3 轴为旋转轴的旋转椭球，对应的该方向上的折射率 $n_3=n_e$ ，而 X_1, X_2 方向上的折射率 $n_1, n_2=n_o$ ，即寻常光折射率，可见此 X_1, X_2 所在平面上的折射率是相同的，均为 n_o 。【其中 X_3 为光线传播方向】

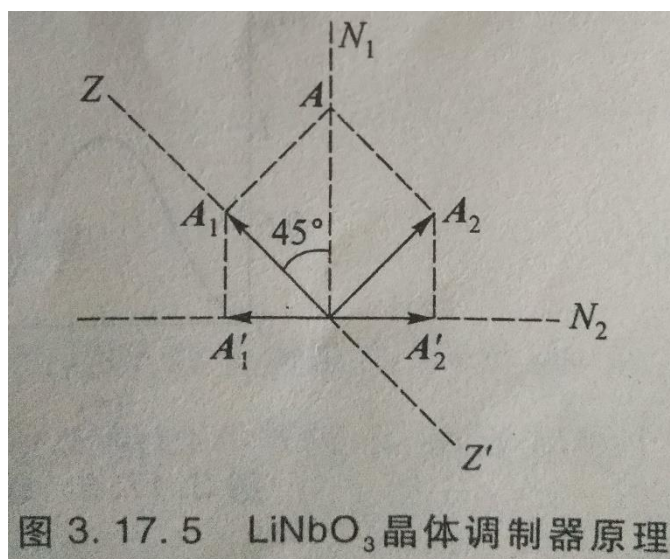


当外加电场沿着 LiNbO_3 晶体的 X_1 方向加电场 E_1 后，折射率椭球的形状将发生变化，具体地说，其 X_1 、 X_2 方向的主轴方向将变到 X'_1 、 X'_2 方向，且 X'_1 -o- X'_2 坐标系的两轴，在 X_1 -o- X_2 坐标系和所在平面中，分别由 X_1 轴、 X_2 轴逆时针旋转 45° 得到；且截面由 X_1 -o- X_2 的圆面变为 X'_1 -o- X'_2 的椭圆面，且 X'_1 轴为椭圆长轴，折射率 n'_1 比原 n_o 大、 X'_2 轴为椭圆短轴，折射率 n'_2 比原 n_o 小。



(2).光在 LiNbO_3 晶体中的传播情况，半波电压

入射光经起偏器 p 后，获得光波矢量平行于 X_1 轴的偏振光，射到晶体上，当外电场 E_1 加到晶体上时，产生人工双折射，沿 X_3 方向传播的光分解为沿 X'_1 及 X'_2 方向的两个偏振光，由于 X'_1, X'_2 为 X_1, X_2 绕 X_3 轴旋转 45° 而得，因此，在入射端可以认为这两列光波的振幅是相等的。



但当这两列光波进入晶体后，由于存在电场引起的双折射相速度不再相同，两列光波各按自己的相速度传播到晶体的另一端。设LiNbO₃晶体沿X₃方向的长度为l，X₁方向的厚度为d，由于电场E的大小不易测量，故实验中用垂直于E的两个晶体表面上的电势差V (=E · d) 来代替，则这两列光波通过晶体时产生的相位差为 $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} l (n'_1 - n'_2) = \frac{2\pi}{\lambda} l n_o^3 r_{22} E_1 = \frac{2\pi}{\lambda} l n_o^3 r_{22} \frac{V}{d} = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 r_{22} V \frac{l}{d}$ 。

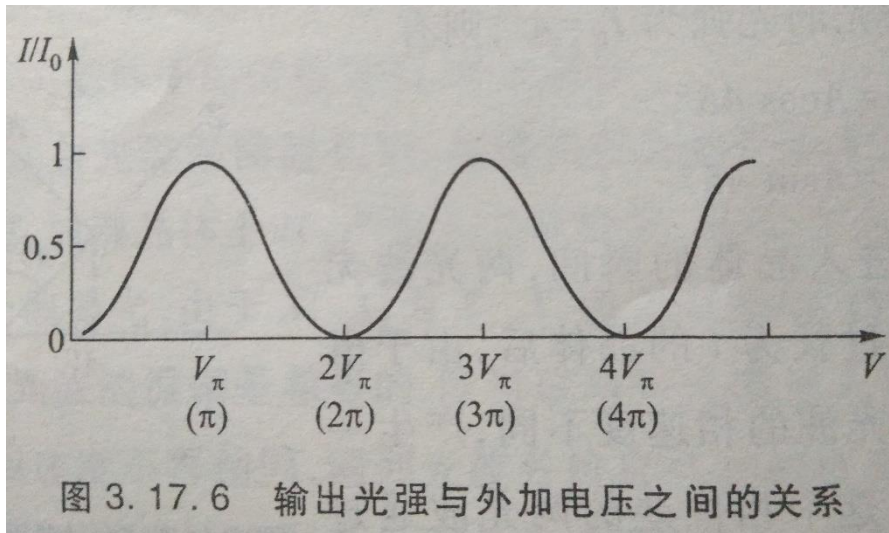
当外加电场加到某一确定值时，两列波通过晶体时产生的相位差正好等于 π ，称此时的外加电场为半波电压，用 V_π 或 $V_{\frac{\lambda}{2}}$ 表示。半波电压这一概念形象地表示了：加上此电压，晶体内部的两个正交分量的光程差刚好等于半个波长。相应的相位差等于 π ，因此由 $\pi = \frac{2\pi}{\lambda} n_o^3 r_{22} V \frac{l}{d}$ ，可以得到 $V_\pi = \frac{\lambda}{2 n_o^3 r_{22}} \frac{d}{l}$ ，于是代回得到 $\delta = \pi \frac{V}{V_\pi}$ 。

半波电压是评价电光调制器的一个重要参量，实际应用中，希望它越小越好，为此，首先需要选用半波电压低的电光材料，其次再降低 $\frac{d}{l}$ 比。

(3).LiNbO₃晶体调制器

从检偏器后得到的 $I = I_0 \sin^2(\frac{\delta}{2}) = I_0 \sin^2(\frac{\pi V}{2 V_\pi})$ 。可见两线偏振光之间的相位差不同，导致输出的光强也就不同。所以可以通过外加电压控制相位差以至间接地控制光强。

$V=2kV_\pi$ 时, I 达到极小值 I_{min} (理论上为 0 但实际上不为 0); $V=(2k+1)V_\pi$ 时, 输出光强达到极大值 I_{max} (理论上是 I_0 但实际上比它小)。——这就涉及到消光比 $\frac{I_{max}}{I_{min}}$ 这一物理量, 以衡量晶体的加工精度和光学质量。



实验时, V 由一个直流分量和一个交流分量, 即 $V_0 + V_m \sin \omega t$ 构成, 则光强透射率 $T = \frac{I}{I_0} = \sin^2\left(\frac{\pi V}{2V_\pi}\right) = \sin^2\left[\frac{\pi}{2} \frac{1}{V_\pi} (V_0 + V_m \sin \omega t)\right]$ 。——这个设计非常巧妙, 直流电压的作用就是改变(静态)工作点的位置, 然后用交流分量的输入输出来判断系统的好坏:

当 $V_0 = \frac{V_\pi}{2}$ 时, $\delta = \frac{\pi}{2}$, $\frac{\delta}{2} = \frac{\pi}{4}$, 直流分量落在 $I = I_0 \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)$ 曲线的线性工作区(横坐标)中心, 然后在此基础上横坐标引入了交流正弦分量, 那么由于此时系统是线性的, 则输出的 $I = T \cdot I_0$ 也将是一个有一定高度的正弦信号(如果加载的正弦信号幅值不大的话)。

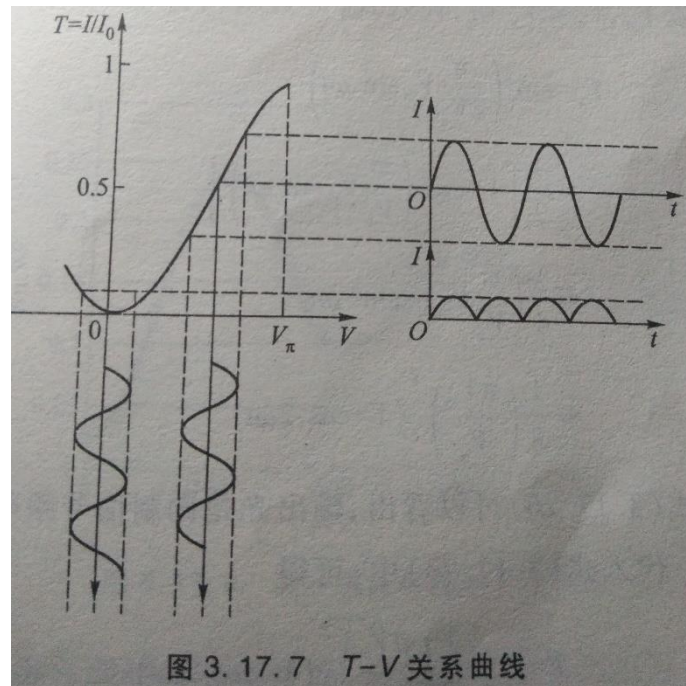


图 3.17.7 T-V 关系曲线

而当 $V_0 = n \cdot V_\pi$ 时 ($n \in \mathbb{Z}$)，直流分量落在 $I = I_0 \sin^2(\frac{\delta}{2})$ 曲线的顶端或底端，代入后可以算出一个 $(1 - \cos 2\omega t)$ 因子，所以经晶体调制后的输出光，相对于原信号将发生倍频失真。

所以有两种方法实现半波电压 V_π 的测量，实验中使用的是后者，即倍频失真法；对应的测量公式为 $V_\pi = V'_0 - V_0$ ，其中 V'_0, V_0 为两个相邻的极值点 $[(n \pm 1) \cdot V_\pi, n \cdot V_\pi]$ 。

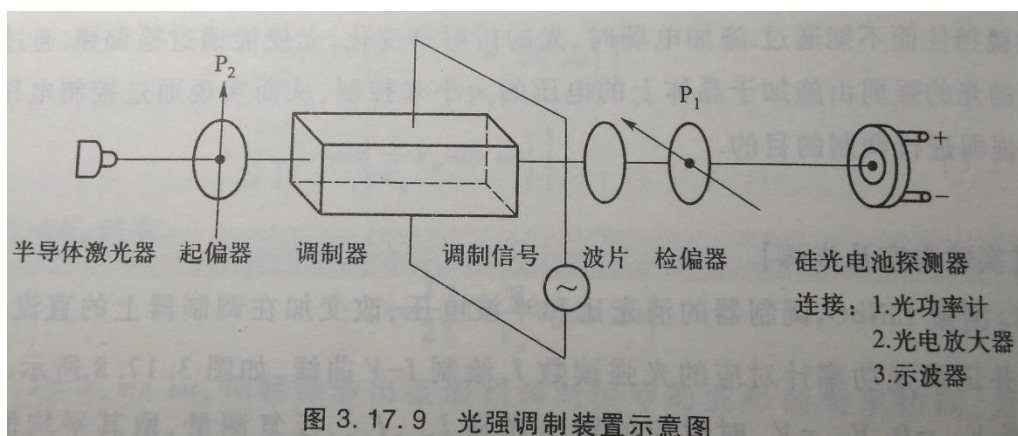


图 3.17.9 光强调制装置示意图

4. 实验内容与步骤

在晶体上加的直流电压缓慢增大到半波电压(曲线的极大值)时, 输出出现“倍频”失真; 改变直流电压极性后; 直流电压再次加到半波电压附近, 又出现“倍频”失真。——这两次出现“倍频”失真时所对应的直流电压之差就是半波电压。记录数据, 求出半波电压。

相关参数: $d=1.70\text{mm}$ 、 $l=50.0\text{mm}$ 、 $\lambda=650.0\text{nm}$ 、 $n_0=2.084$; 电光系数理论值 $r_{22}=8.690 \times 10^{-12}\text{m/V}$ 。

5. 实验记录（注意：单位、有效数字、列表）

一. 原始数据

倍频失真法测半波电压数据记录表

No. _____

Date. _____

87V 88V 87V. 第1个极值点对应的电压

224V 225V 225V 第2个极值点对应的电压

第1次 第2次 第3次

2019.7.22

程显中印

6. 数据处理及误差分析

一.倍频法测量半波电压数据处理

表 1 倍频法测量半波电压数据处理表

$d=1.70\text{mm}$; $l=50.0\text{mm}$; $\lambda=650.0\text{nm}$; $n_0=2.084$

测量次数	1	2	3	平均值
倍频失真电压 V_-	87	88	87	87.33
倍频失真电压 V_+	224	225	225	224.67

1.半波电压

$$V_{\pi}=|V_+-V_-|=\mathbf{137.34\text{ V}}$$

2.电光系数

$$r_{22}=\frac{\lambda}{2n_0^3V_{\pi}}\frac{d}{l}=\frac{650.0\times10^{-9}}{2\cdot2.084^3\cdot137.34}\frac{1.70}{50.0}=\mathbf{8.89\times10^{-12}\text{ m/V}}$$

3.百分差

$$E_r=\frac{|r_{22}-r_{22}^s|}{r_{22}^s}\times\mathbf{100\%}=\frac{|8.690-8.89|}{8.690}=\mathbf{2.3\%}$$

7. 思考题及实验小结

1.本实验中，有几种测量半波电压的方法？
试比较其精度。

答：①.有两种。

(1).其中一种方法为：通过找线性工作区的中点。

即目测输出的调制信号变成正弦波形后，记下此时的直流电压值，减去初始的极值点(相邻的倍频失真的极值点)，得到的数值 $\frac{V_{\pi}}{2}$ ，再 $\times 2$ ，便得到了半波电压 V_{π} ；

或者直接用相邻两个线性工作区的横坐标之差，即得到 V_{π} 。

(2).另一种方法为：实验中所采用的“倍频”失真法，即通过找相邻两个极值点，作差，便得到 V_{π} 。

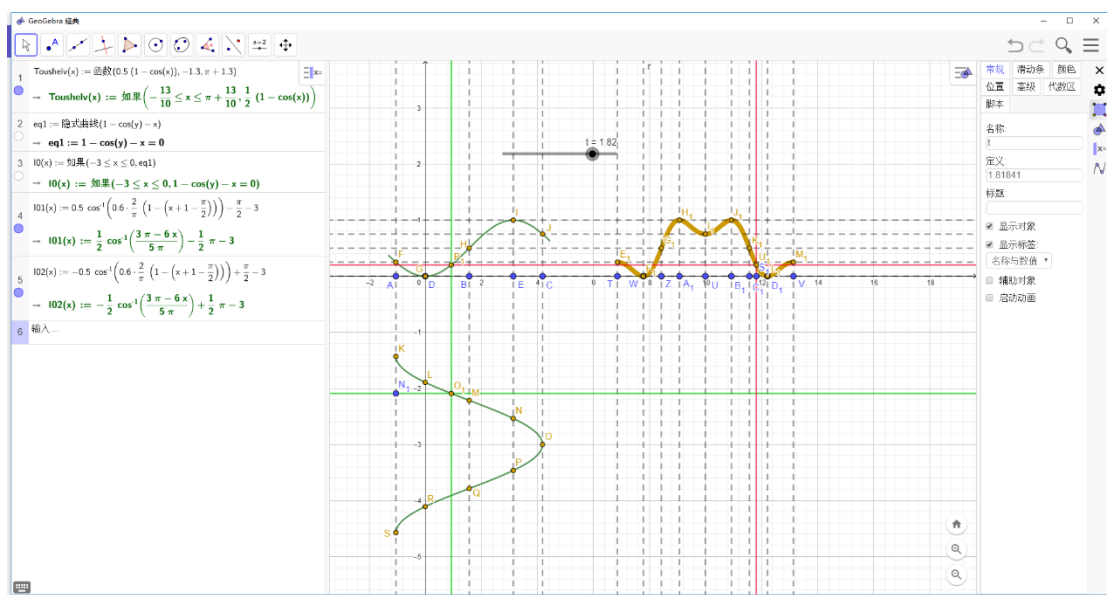
②.显然后者的精度更高，即“倍频”失真法的精度更高，因为倍频图像很容易被肉眼识别出，与其他函数曲线的区分度大，因为发生“倍频”时，函数曲线图像是正弦，而其他时候函数曲线不是正弦，有高低峰起伏；并且“倍频”本身可通过与输入波形比较来判断是否发生了“倍频”。

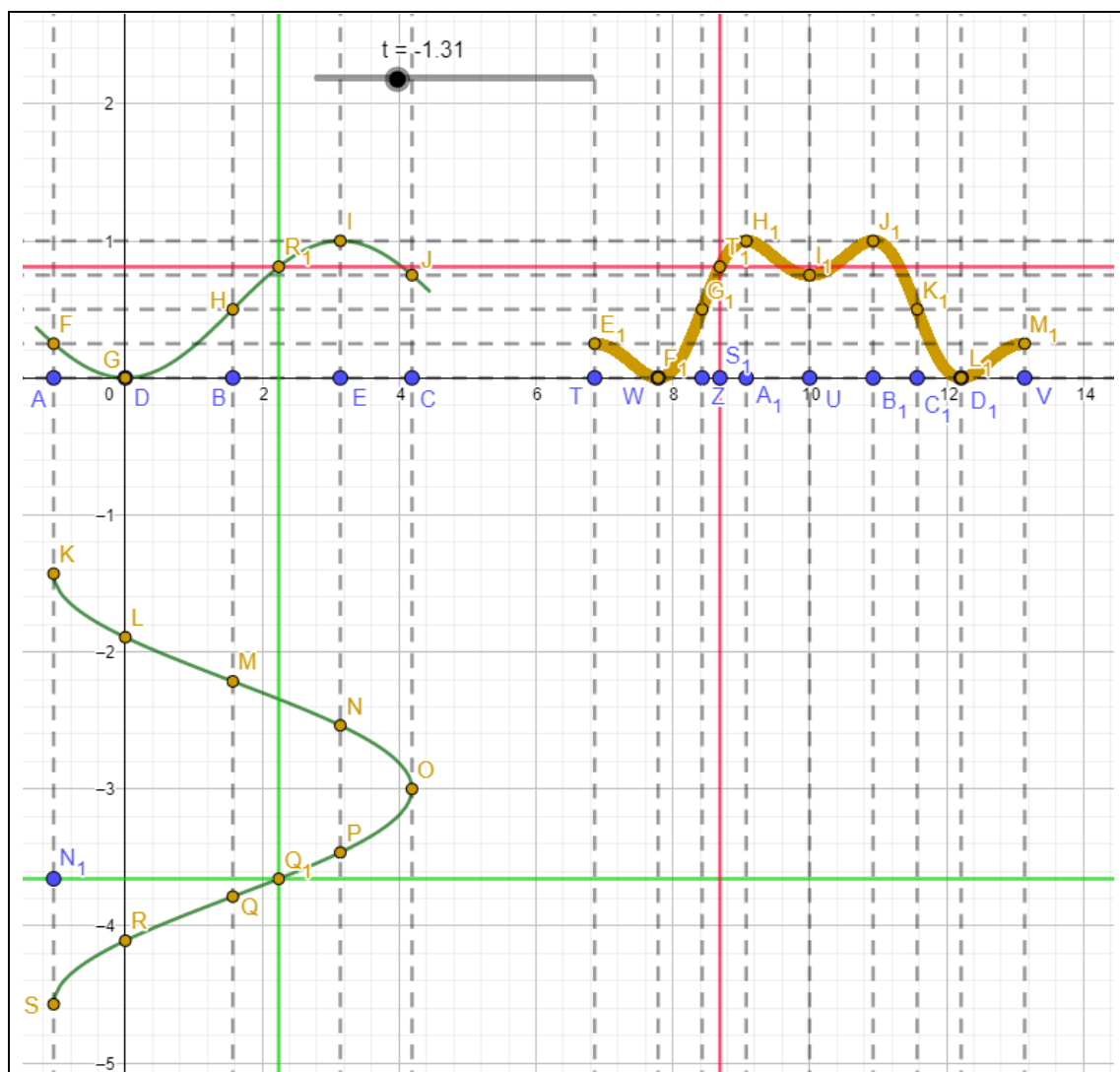
而第一种方法难点在于线性工作区中点不好找，现象不明显。因为当输入的正弦信号不大时，只要在线性工作区内，或者其中点附近，其受晶体调制后的波形都近似于正余弦曲线，很难肉眼辨别出来。

2. 工作点选在线性区中心，信号幅度加大时怎样失真？为什么失真？请画图说明。

答：输入信号赋值加大时，输出的调制信号出现非线性失真，表现为输出信号与输入信号不成线性关系。

之所以失真，是因为信号的峰-峰值(幅值的两倍)超过了线性工作区的工作范围，如图所示：





ggb模拟信号动态
视频.mp4

(双击该图标 ↑ 可打开视频观看)

以下内容为报告保留内容，请勿填写或删除，否则影响实验成绩

上课时间： 上课地点： 任课教师：
报告得分： 教师留言：
操作得分： 教师留言：
预习得分： 预习情况：