

近代物理实验报告——晶体的电光调制

物理 4+4 胡喜平 U201811966 hxp201406@gmail.com <https://hxp.plus/>

摘要：电光调制是一种把电信号转化成光信号的技术，通过把电信号转化成光信号，这就可以让原本的电信号通过光纤发射出去，实现光纤通讯。本次实验中我们搭建晶体横向电光调制装置，并输入正弦信号，企图将正弦的电信号转化为光信号，并探索什么条件下信号不会发生失真。

关键词：电光调制、电光晶体

一、引言

【实验目的】

搭建晶体横向电光调制装置，之后输入正弦电信号，探究什么条件下电信号转化得到的光信号不发生失真，以及什么条件下会发生什么样子的失真。

二、实验内容与数据处理

【实验原理】

下图是晶体横向电光调制装置图，入射光经过起偏器成为平行于 x 轴的线偏振光，通过电光晶体， x 分量和 y 分量产生相位差 δ_1 ，通过 $1/4$ 波片再产生相位差 δ_2 ，最终从平行于 y 轴的检偏器出射。

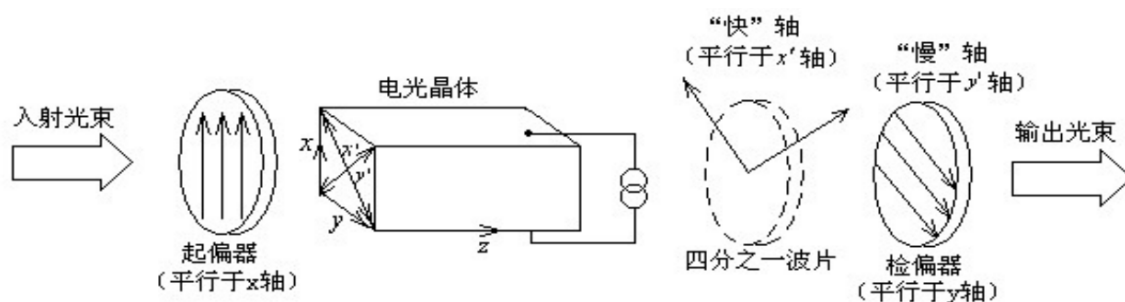


图 1: 晶体的横向电光调制装置图

其中光通过电光晶体产生的相位差 δ_1 是正比于电光晶体上加的电压的，为

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 \gamma_{22} V \frac{\lambda}{d}$$

同时，光透过检偏器后透射率为

$$T = \sin^2 \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$$

当晶体两端电压在某一个特定数值的时候, 光透过晶体产生 π 的相位差, 定义这个电压为 V_π , 则

$$V_\pi = \frac{\lambda}{2n_0^3\gamma_{22}} \left(\frac{d}{l} \right)$$

则

$$\delta_1 = \pi \frac{V}{V_\pi}$$

而本次实验需要运用两个电光调制原理, 首先是通过改变直流偏压。

如果我们把直流偏压 V_0 和交流调制信号 $V_m \sin \omega t$ 同时加到电光晶体两端, 随着交流调制信号的改变, 透过率也会改变。

$$T = \sin^2 \frac{\delta_1}{2} = \sin^2 \frac{\pi}{2V_\pi} (V_0 + V_m \sin \omega t)$$

调制信号不失真应当有两个前提: V_0 设置的静态工作点处, 透射率对于晶体两端电压的偏导数是 1, 且 $V_m \ll V_0$ 。原因看下面的图自然很容易就明白。

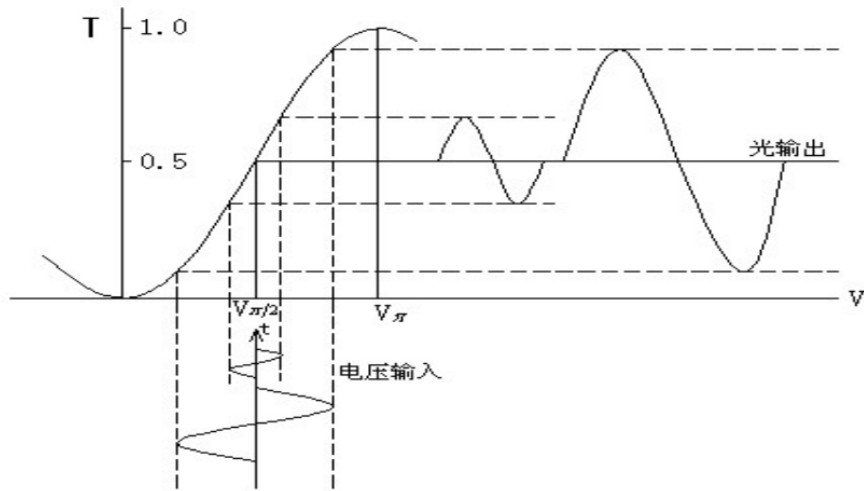


图 2: 电光调制原理图

理想的静态工作点是 $V_\pi/2$ 。当 $V_0 = V_\pi/2$ 时, 如果有 $V_m \ll V_0$, 则

$$T \approx \frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{\pi V_m}{V_\pi} \right) \sin \omega t \right]$$

此时输出波形是我们想要的**线性调制**信号。

当不满足 $V_m \ll V_\pi$ 时, 调制信号幅度过大, 会出现奇次谐波, 输出波形会出现严重**非线性失真**。

当选择静态工作点 $V_0 = V_\pi$ 或者 $V_0 = 0$ 时,

$$T \approx \frac{1}{8} \left(\frac{\pi V_m}{V_\pi} \right)^2 (1 - \cos 2\omega t)$$

看上面的原理图很容易明白，由于电压高于静态工作点和低于静态工作点时，输出对称的重复图像，所以输出频率是原先的两倍。这种现象称作**倍频失真**。

除了通过改变直流偏压来进行电光调制，我们也可以通过旋转 $1/4$ 波片。

我们已经知道影响最后投射光强的本质因素是相位差 $\delta_1 + \delta_2$ （依靠改变直流偏压的电光调制中没有 $1/4$ 波片， $\delta_2 = 0$ ），因此我们除了可以调节晶体两端直流偏置电压 V_0 来改变 δ_1 来改变最终信号光的相位差，也可以通过更改 $1/4$ 波片的朝向，来改变 δ_2 ，达成相同的目的。

当 $1/4$ 波片主轴和检偏器光轴夹角为 0 或者 $\pi/2$ 时， $\delta_2 = 0$ ，和依靠改变直流偏压的电光调制中设置 $V_0 = 0$ 或者 $V_0 = V_\pi$ 是一样的，都会输出**倍频失真**的波形。

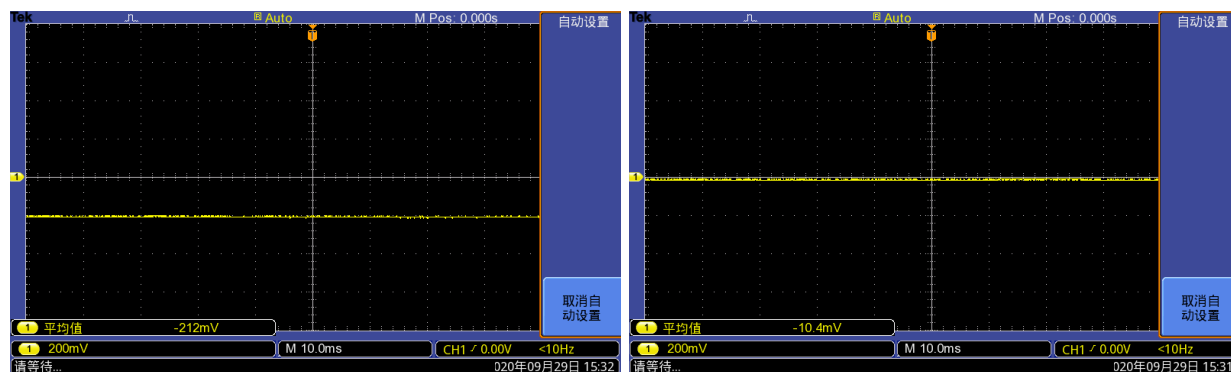
当 $1/4$ 波片主轴和检偏器光轴夹角为 $\pi/4$ 或者 $3\pi/4$ 时， $\delta_2 = \pi/2$ ，和依靠改变直流偏压的电光调制中设置 $V_0 = V_\pi/2$ 是一样的，输出**线性调制**的波形。

【实验内容】

- 观察电光效应，测量晶体的半波电压。
- 改变晶体的工作点，观察线性调制、倍频失真、非线性调制。
- 用 $1/4$ 波片改变工作点，观察晶体的倍频失真和线性调制。

【实验结果的分析和结论】

调好两个偏振片和电光晶体光轴的方向，先不放偏振片，只加入直流电压，不断调整电压的值，测得输入直流电压为 484V 时，示波器测得绝对值最大电压，输入直流电压为 289V 时，示波器测得绝对值最小电压。



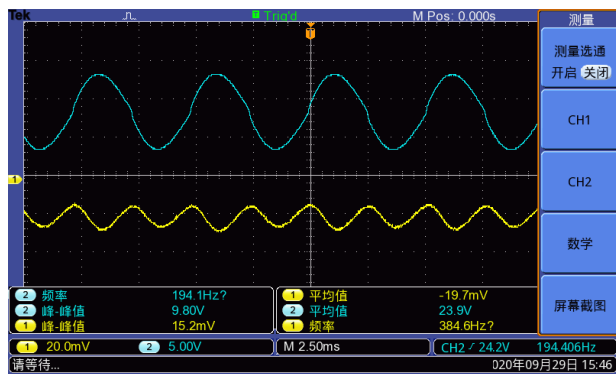
(a) 示波器测得绝对值最大电压

(b) 示波器测得绝对值最小电压

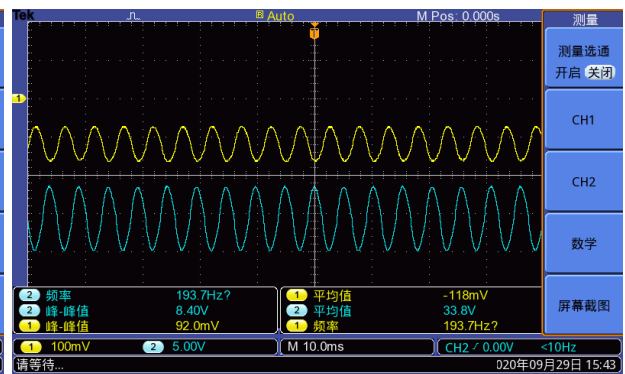
图 3: 直流偏置电压的测定

而且这个示波器测量的电压会随直流电压周期性改变，因此晶体的半波电压为 $484\text{V} - 289\text{V} = 195\text{V}$ 。而且我们知道了如果直流电压在 484V 或者 289V ，那输入交流信号，会发生倍频失真。如果直流电压在 484V 或者 289V 的正中间，即 386.5V ，会输出正常不失真的信号。

于是我们加入交流电压信号，调节直流信号，发现电压为 265V 时，信号发生倍频失真，电压在 374V 时，信号刚好不发生失真。



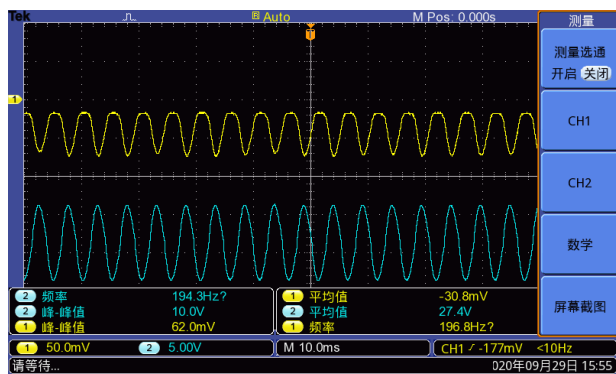
(a) 直流电压 265V，倍频失真



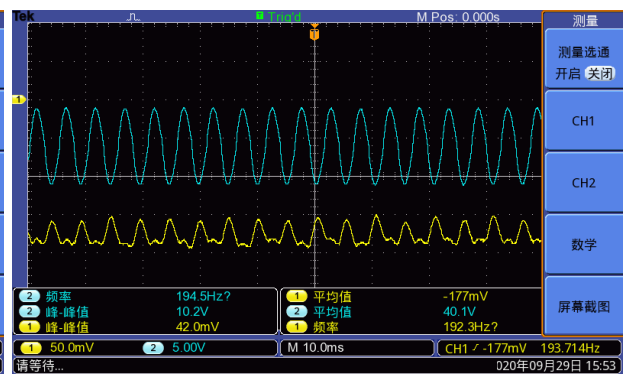
(b) 直流电压 374V，不失真

图 4: 倍频失真和不失真信号的观察

然而只要电压稍微偏离一点，就会发生非线性失真，实验中测量了两组非线性失真，直流偏置电压分别为 303 V 和 440 V



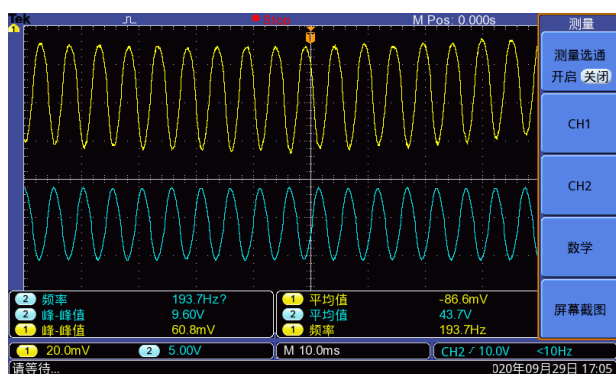
(a) 直流电压 303V，上失真



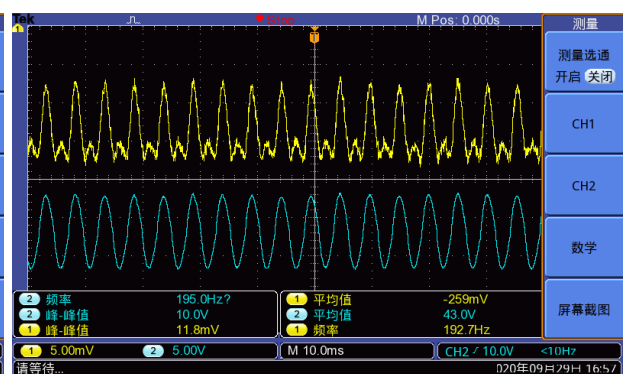
(b) 直流电压 440V，下失真

图 5: 非线性失真信号的观察

之后，调节直流偏压到 484 V 并加入 1/4 波片不断旋转，转到示波器有特定图像的时候就记录当前波片方向，用光具座上的角度表示。我们发现在角度为 250 度和 270 度的时候，图像刚好不失真。



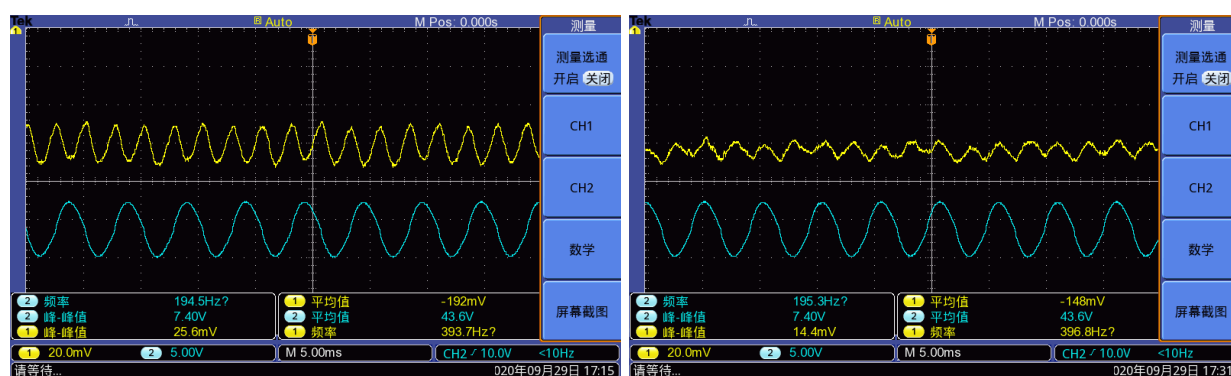
(a) 偏振片 250 度，不失真



(b) 偏振片 270 度，不失真

图 6: 加入 1/4 波片后不失真的信号

同时，我们观察到当偏振片的角度为 40 度和 76 度时，发生了倍频失真。

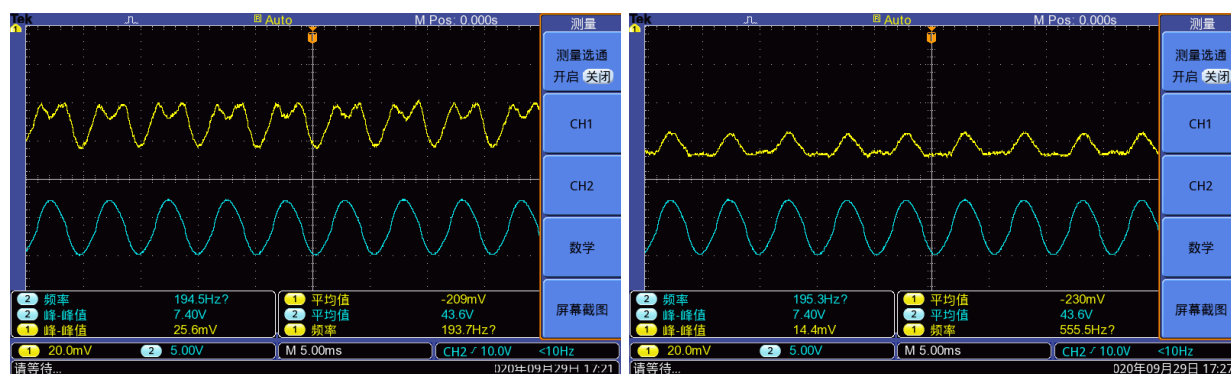


(a) 偏振片 40 度，倍频失真

(b) 偏振片 76 度，倍频失真

图 7: 加入 1/4 波片后倍频失真的信号

而且按照之前的结论，在倍频失真的基础上稍微动波片几度，应当会产生非线性失真。在 46 度和 82 度观察到的上失真和下失真证明了这个猜想。



(a) 偏振片 46 度，上失真

(b) 偏振片 82 度，下失真

图 8: 加入 1/4 波片后非线性失真的信号

【实验中遇到的问题及解决方法】

主要的问题就是偏振片和电光晶体光轴方向不知道的问题，需要想办法让光轴在正确的角度上。解决方法是：把激光器和光强检测装置固定在实验台上，将光强检测装置连接示波器测量电压。放两个偏振片，旋转其中的一个使得示波器显示的电压绝对值为最小值，这时两个偏振片是垂直的。再放入电光晶体，加上电压，此时示波器显示的电压绝对值变大，因为偏振光通过电光晶体发生了旋转，不再和后面的偏振片垂直。此时我们同步转动两个偏振片，保持两个偏振片始终保持垂直，时刻观察示波器显示的电压，达到最小值就停止旋转。这个时候光通过晶体没有发生旋转，电光晶体的两个感应轴是分别和两个偏振片光轴是平行的，再同步旋转两个偏振片 45 度，两个偏振片和电光晶体的轴就调整好了。

三、参考文献

近代物理实验讲义