

# 模拟电子技术课程-电路设计报告

西安电子科技大学



【Created by 黄子曦 23009290041】

## 前期准备

### Question I submit:

我只学习过比较电路，同向求和、反向求和、滞回比较电路等基础的电路，能不能基于此给我讲解一下文氏桥振荡电路的原理，比如和基础电路中的哪种比较像，以及正负反馈分别的作用是什么，输入应该是什么电压，为什么能过最终稳定输出正弦信号？

### Answer from Doubao:

要理解 **文氏桥振荡电路**，可以结合你学过的**负反馈放大电路**、**比较电路**的思路，从“**反馈的作用**”“**信号从哪来**”“**为什么输出正弦波**”三个核心问题拆解：

#### 一、和基础电路的“相似性”：运放+反馈网络

你学过的**反向求和**、**同向求和电路**，核心是 **运放通过负反馈实现“比例运算”**（反馈电阻控制增益）；**滞回比较电路** 是 **运放开环工作**，利用**正反馈**产生回差（输出在高低电平跳变）。

文氏桥振荡电路可以看作 **“正反馈选频 + 负反馈稳幅”**的运放闭环电路：

正反馈：让特定频率的信号持续放大（类似滞回比较的正反馈，但这里正反馈是**选频网络**，只对某一频率生效）；

负反馈：防止信号无限放大导致失真（类似求和电路的负反馈，控制增益稳定）。

## 二、正负反馈的分工：“选频”和“稳幅”

### 1. 正反馈：RC串并联网络的“选频魔法”

文氏桥的正反馈由 **RC串并联网络**（如R1、C1和R2、C2）实现，它的核心作用是 **“只让某一特定频率  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$  通过，并保证相位一致”**：

**相位一致**：当信号频率为  $f_0$  时，RC串并联网络的相移为  $0^\circ$ （反馈信号和输出信号同相），满足 **“相位平衡条件”**（振荡的前提：反馈信号能持续放大输出）。

**幅度筛选**：RC串并联网络对  $f_0$  的反馈系数最大（为  $\frac{1}{3}$ ），其他频率的信号会因相移不为  $0^\circ$  或反馈系数太小，被自然抑制。

### 2. 负反馈：电阻网络的“稳幅刹车”

负反馈由 **电阻网络**（如Rf、R3）实现，作用是 **“控制运放增益，让信号稳定振荡，不失真”**：

**起振阶段**：电路上电时，存在各种频率的微小噪声（相当于“初始输入”）。此时负反馈较弱，运放增益 **>3**（因为正反馈需要增益=3才能维持振荡，增益>3时信号会快速放大）。

**稳定阶段**：当信号幅度增大后，负反馈会**动态增强**（比如用热敏电阻：温度升高→电阻减小→负反馈增强），使运放增益 **降到3**，此时“正反馈的放大”和“负反馈的衰减”达到平衡，信号稳定输出。

→ **类比**：像滞回比较电路的正反馈让输出跳变，而文氏桥的负反馈像“刹车”，把运放从“即将饱和的边缘”拉回**线性区**（避免像比较电路那样输出方波，而是维持正弦波）。

## 三、“输入从哪来”：自激振荡的秘密

文氏桥振荡电路 **没有外部输入信号**（和比较电路、求和电路不同），它靠 **“电路上电时的噪声”** 启动：

上电瞬间，电路中会产生各种频率的微小噪声（如热噪声、电压波动），这些噪声就是“初始信号”。

RC串并联网络会**筛选出  $f_0$  频率的噪声**，通过正反馈不断放大，其他频率的噪声因不满足相位/幅度条件，会逐渐衰减消失。

## 四、“为什么稳定输出正弦波”：两个平衡条件

最终能稳定输出正弦波，是因为同时满足 **“相位平衡”**和**“幅度平衡”**：

**相位平衡：**只有  $f_0$  频率的信号，经过RC串并联网络后相移为  $0^\circ$ ，反馈信号和输出信号同相，能持续放大。

**幅度平衡：**负反馈动态调节运放增益到3，此时“正反馈的放大倍数（3倍）”和“负反馈的衰减倍数（1/3）”刚好抵消，信号既不衰减也不无限增大，稳定振荡。

→ **对比比较电路：**比较电路是**开环工作**，输出直接饱和为方波；而文氏桥通过**闭环反馈**，把运放“限制”在线性区，输出连续变化的正弦波。

**总结：文氏桥的核心逻辑**

用你熟悉的“反馈”知识串联：

**正反馈负责“选频”：**只让  $f_0$  频率通过，满足相位条件；

**负反馈负责“稳幅”：**把运放增益控制在3，满足幅度条件；

**输入是上电噪声：**天然存在的微小信号，被筛选放大；

**输出正弦波：**因为运放工作在线性区（没饱和），信号连续变化，且只有  $f_0$  频率存活下来。

这样一来，文氏桥就像一个“自动筛选+稳定放大”的系统：从噪声里挑出正弦波，再通过反馈把它稳稳“按住”，不让它失真或消失～

**弄懂了文氏振荡电路的原理，另外两个（过零比较电路和积分电路）可以通过查询老师的PPT（Chapter\_7）对应学习**

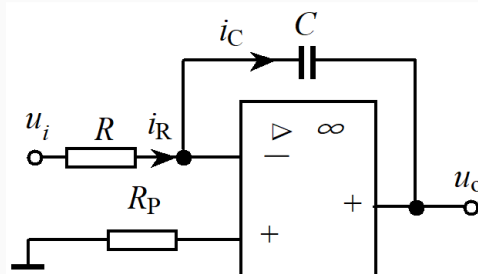
## 1、积分运算电路

积分运算电路的分析方法与求和电路差不多。

由于反相输入端虚地，且  $i_+ = i_- = 0$ ，由图可得：  $i_R = i_C$

$$i_R = \frac{u_i}{R}$$

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} = -C \frac{du_o}{dt}$$



由此可得：

$$du_o = -\frac{1}{R C} u_i dt$$

$$\therefore u_o = -\frac{1}{R C} \int u_i dt + u_C(0)$$

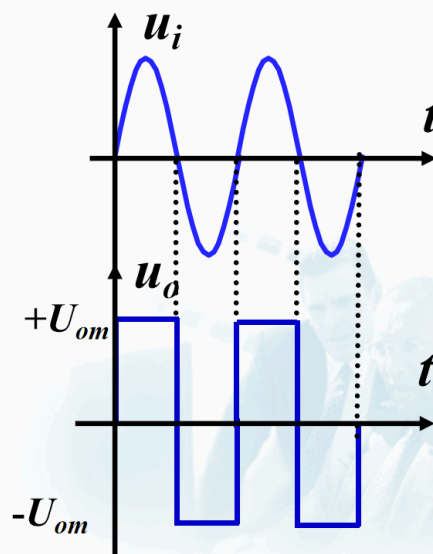
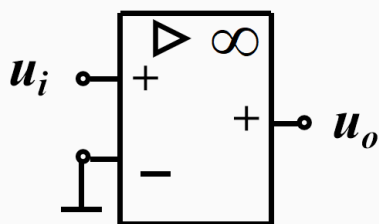
输出电压与输入电压对时间的积分成正比。



利用过零电压比较器，可以把正弦波或其它周期波形变换成同频率的方波。

(方波是高电平持续时间与低电平持续时间相等的矩形波)。

**例：**利用电压比较器将正弦波变为方波。



# 动手开干

## 一、电路模块分析

### 电源模块（左上角 V1、V2）

由于运放需要正负电源才能输出对称的交流信号，所以需要

**双电源**进行供电，故电路中提供  $\pm 10\text{V}$  双电源，给三个运算放大器（U1、U2、U3）提供电压。

### 文氏桥振荡电路（左侧 U1 及周边元件）

- **核心角色**：生成正弦波（接示波器 XSC1 观测）。

- **正反馈**：通过 R1、C1 和 R4、C2 组成 **RC 串并联选频网络**，只让某个特定频率（ $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ ）的信号通过选频，进行放大。

- **负反馈**：R2、R3 加上二极管 D1、D2，起到 **稳幅作用**（信号太小时，二极管截止，负反馈弱，运放增益高，信号快速放大；信号变大后，二极管导通，负反馈增强，增益降低，避免波形失真）。

- **调试故事**：一开始按照视频教程选 R、C 值，但是波形要么频率不对，要么振幅飘来飘去！后来推到重新分析，反复换电阻电容，最终才让正弦波稳定下来～

### 比较电路（中间 U2 及周边元件）

- **核心角色**：把正弦波转成方波（接示波器 XSC2 观测）。

- **原理呼应课上学的“过零比较器”**：

- 正弦波输入后，和“地电位（0V）”比较（即课上所讲“过零比较”），当正弦波电压

- 高于 0V 时，运放输出高电平（接近 +10V）；低于 0V 时，输出低电平（接近 -10V），从而将正弦输入变成了方波输出。

- **二极管的重要作用**：D3、D4 是 **限幅器**：把方波幅度限制在  $\pm 5\text{V}$  左右（保护后级电路，也让积分电路更容易处理）。

- **调试故事**：刚开始方波边缘很“模糊”，后来综合考虑各级电路之间的影响后，调整 R6、R7 的阻值，让比较的“阈值更 sharp”，方波跳变才变得干净～

### 积分电路（右侧 U3 及周边元件）

- 

**核心角色：**把方波转成三角波（接示波器 XSC3 观测）。

- 

**原理呼应课上学的“积分运算”：**

- 方波输入后，通过 R8、R9 给电容 C3

**充电 / 放电：**方波高电平时，电容充电，输出电压线性下降；方波低电平时，电容放电，输出电压线性上升 → 最终形成三角波。

- R10 是

**反馈电阻：**防止积分电路“漂移”（长时间工作后输出电压不会跑到电源极限）。

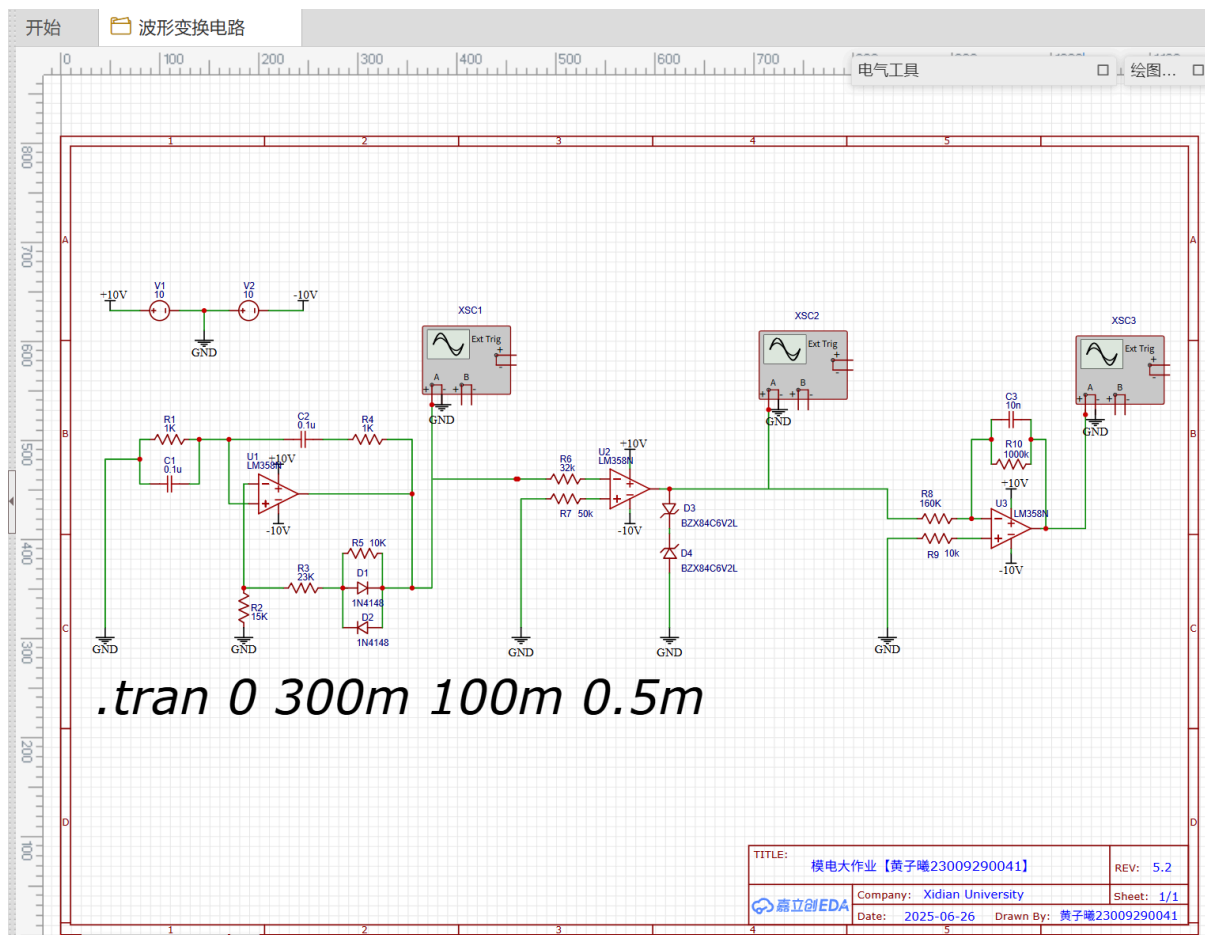
- 

**调试故事：**一开始三角波“歪歪扭扭”，不是线性的！后来反复换 R8、R9、C3 的值，还调整 R10，才让三角波的斜率均匀，看起来像“锯齿”～

### 示波器（XSC1、XSC2、XSC3）

- 

**作用：**分别接三个模块的输出，方便仿真时观察 **正弦波→方波→三角波** 的变化过程



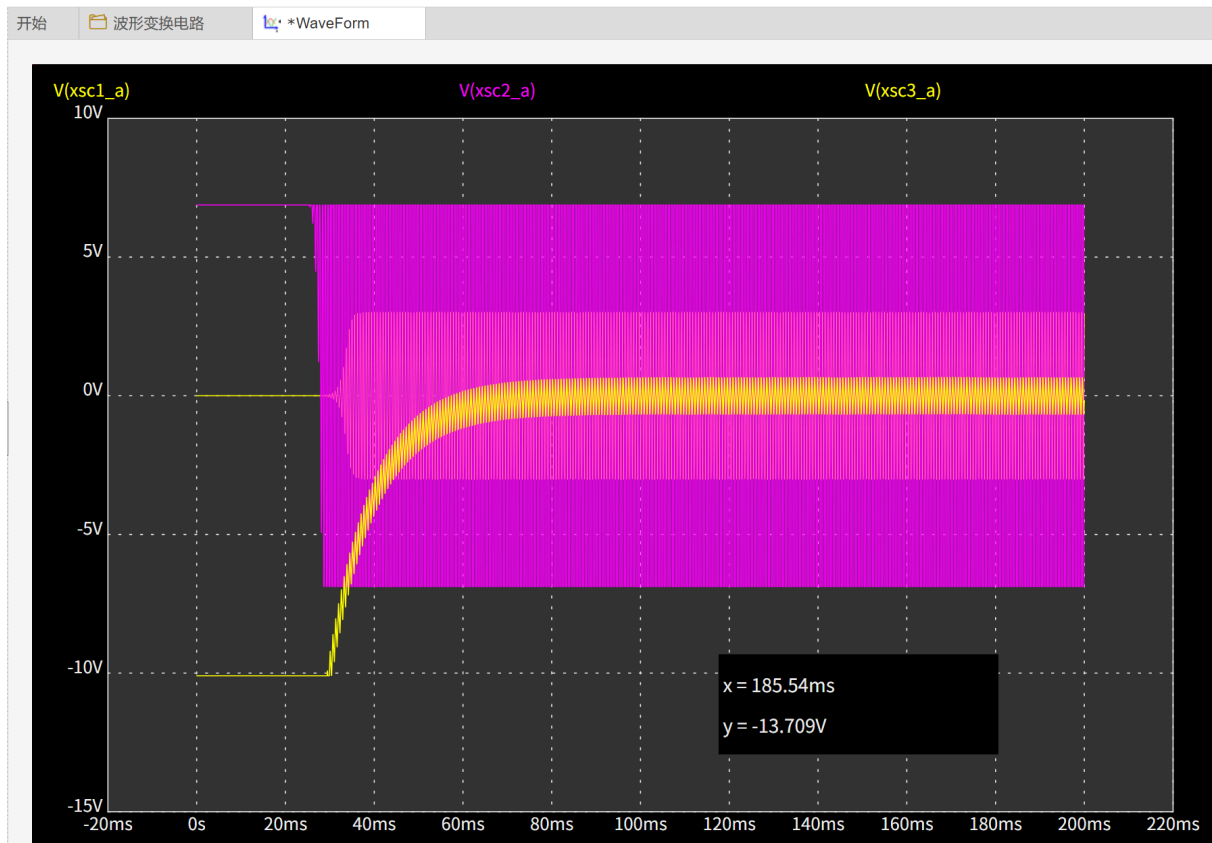
## 二、仿真

### 参数 (.tran) 说明

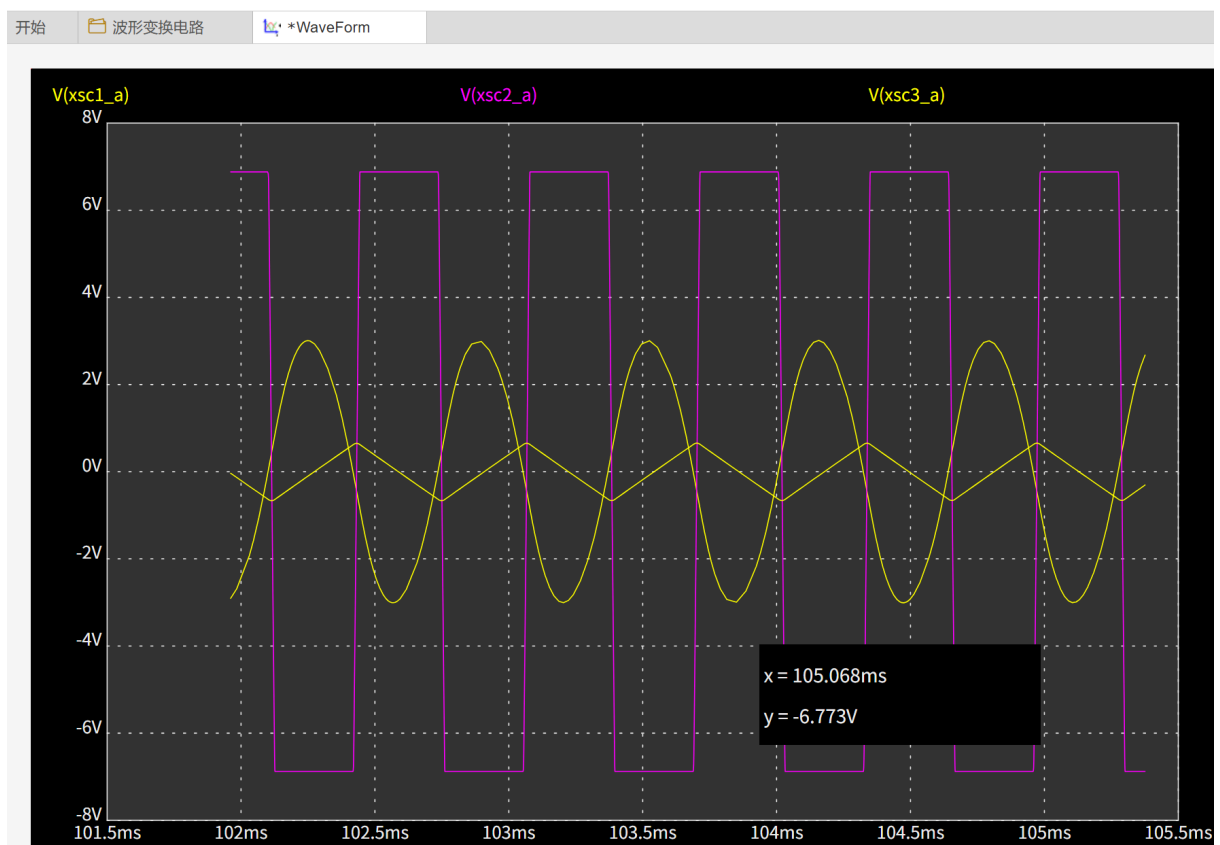
参数格式	含义解释	设定细节
<code>.tran</code>	头部标识，设置采用瞬态分析 (Transient Analysis)	瞬态分析 (.tran) 相当于实时监测波形变化，适应需求
<code>0</code>	设置仿真 <b>起始时间</b> 为 0 (从电路上电开始)	必选，否则不知道从什么时候开始仿真～
<code>300m</code>	仿真 <b>结束时间</b> 300 毫秒 (0.3 秒)	要足够长，保证能看到完整的波形周期 (比如正弦波频率 1kHz, 0.3 秒能测 300 个周期)
<code>100m</code>	仿真 <b>初始步长</b> 100 毫秒	步长太小，仿真时间会很长；太大，可能漏掉波形细节。调试时试过 50m、200m，最后选 100m 平衡速度和精度～
<code>0.5m</code>	仿真 <b>最大步长</b> 0.5 毫秒	限制步长不能太大，避免波形“跳变”(比如方波跳变瞬间，步长太大就会漏掉)

### 仿真运行

首先可以看到，波形在80ms及以后趋于稳定



放大来看，效果理想~该曲曲该方方~

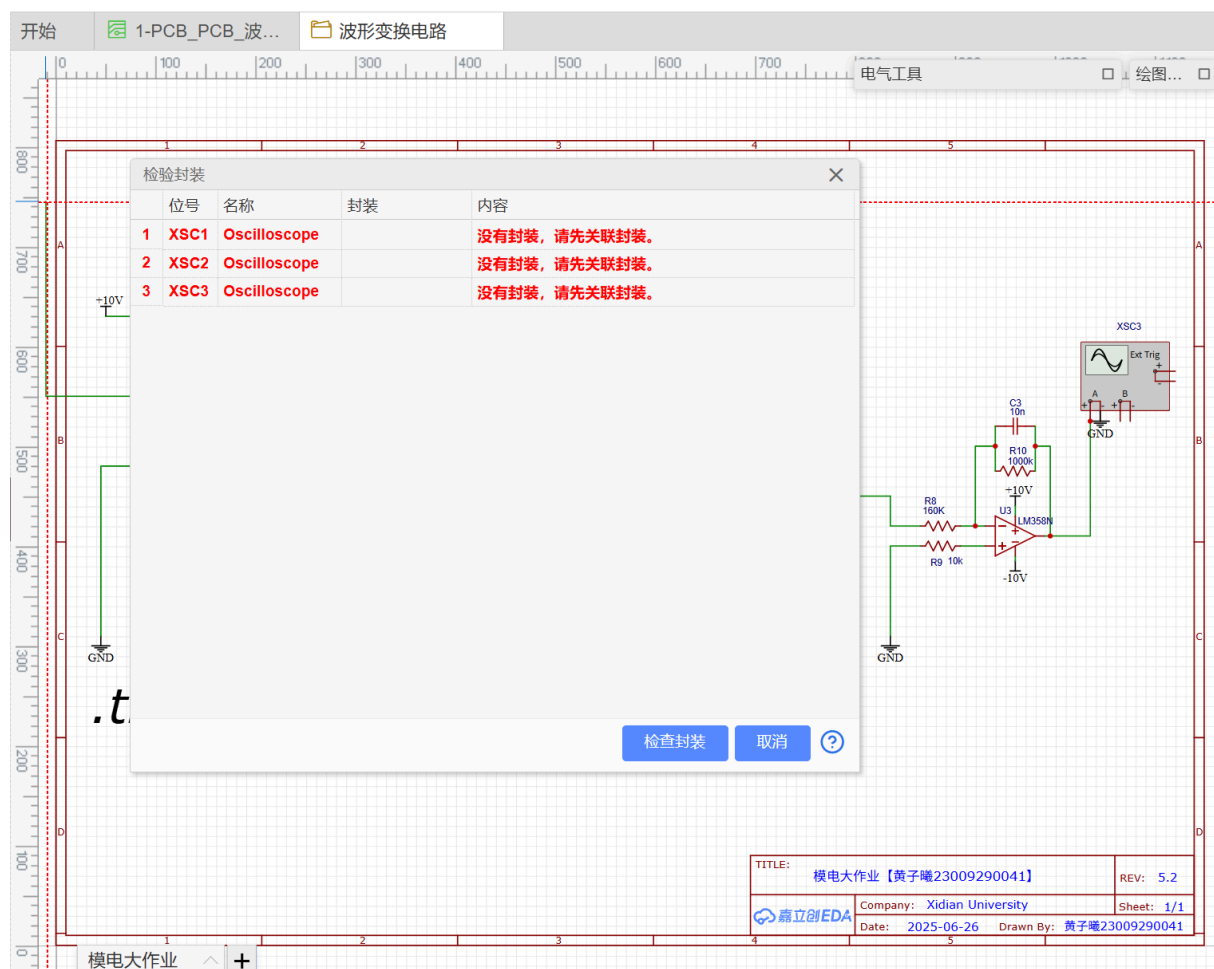




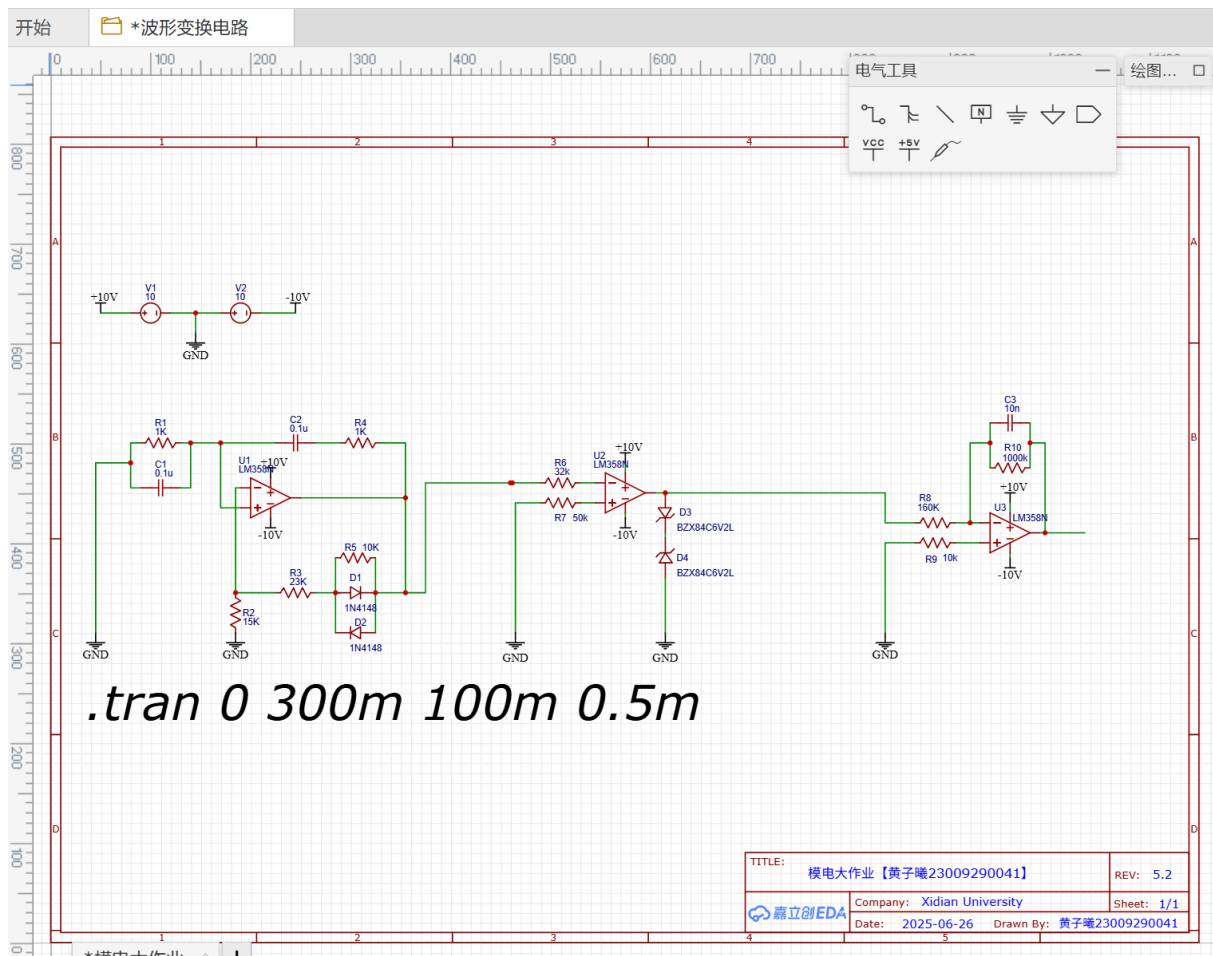
## 原理图转PCB图

要将原理图转PCB图，首先要解决一个封装的问题

由于示波器是仿真模型，没有对应的“PCB 封装”(物理尺寸、引脚焊盘)。因此直接转换 PCB 时，软件会报错“找不到封装”，无法生成有效 PCB。

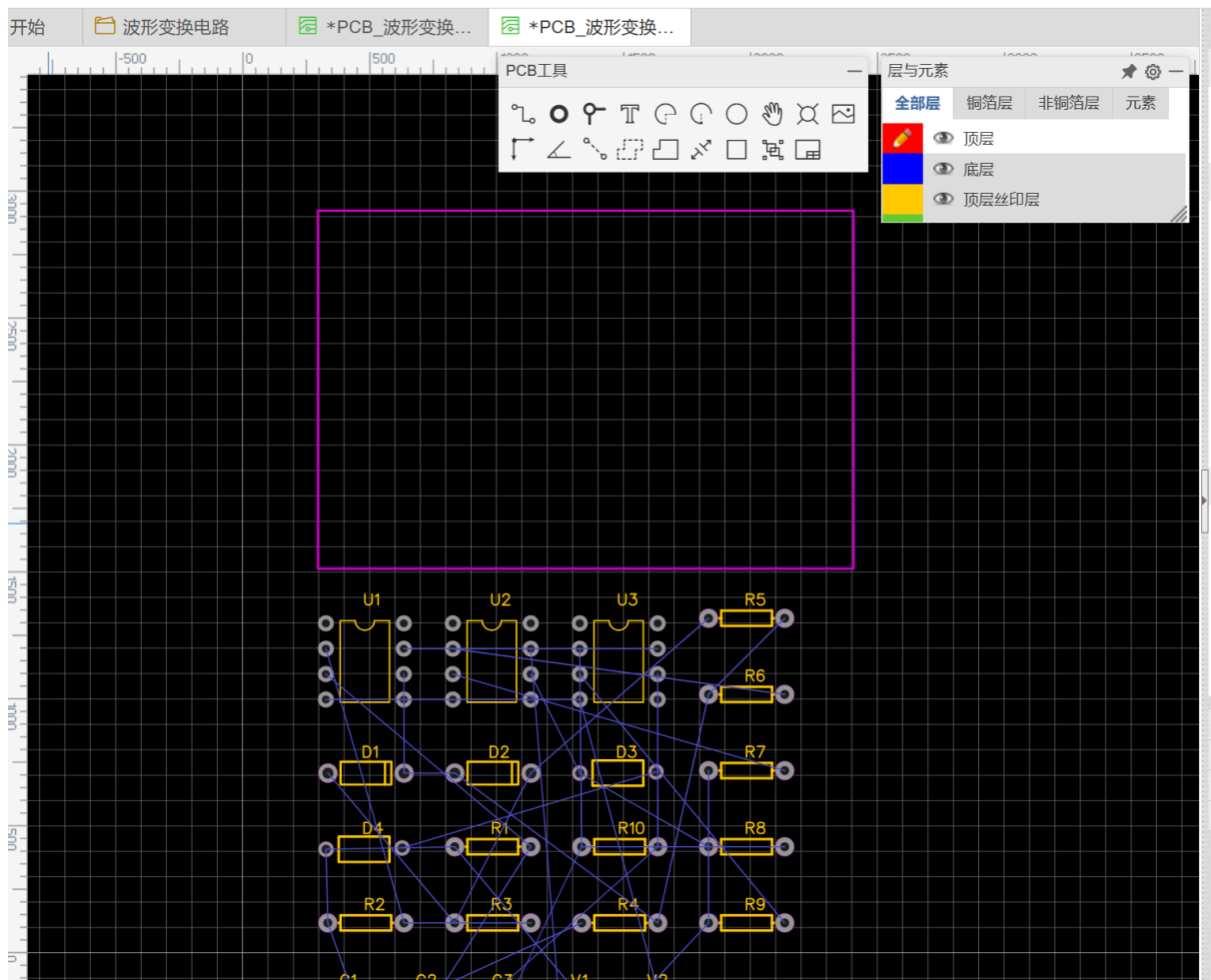


因此首先去掉示波器



然后将EDA编译器切换为“标准模式”【仿真模式没有转PCB的按键】

按下转PCB按键后，得到下方PCB初始图



接着，我们将器件拖进框中，然后在导航栏中找“布线”，选“自动布线”，运行后就得到了原理图对应的PCB图。【原文件在附件中提交~】

