**西安电子科技大学**

**电子线路实验（I） 课程实验报告**

**实验名称 集成运算放大器基本特性及应用研究实验**

电子工程 学院 2302061 班

成 绩

姓名 李达航 学号 23009101011

同作者 无

实验日期 2025 年 3 月 31 日

|  |
| --- |
| 指导教师评语：  指导教师：  年 月 日 |
| **实验报告内容基本要求及参考格式**  一、实验目的  二、实验所用仪器（或实验环境）  三、实验基本原理及步骤（或方案设计及理论计算）  四、实验数据记录（或仿真及软件设计）  五、实验结果分析及回答问题（或测试环境及测试结果） |

# 集成运算放大器基本特性及应用研究实验

## 一、实验目的

1. 通过实验，深入理解集成运算放大器的基本运算功能。

2. 熟识集成运算放大器的增益，传输特性，频率响应，负载能力的物理含义及测量方法，理解所谓集成运放的理想特性是指在线性工作范围，信号频率在通频带内，并在正常负载能力下所呈现的特性。学会合理选择和正确运用集成运算放大器。

## 二、实验所用仪器设备

1. 测试仪器：万用表，信号源，直流稳压电源，示波器，毫伏表。

2. 模拟电路通用实验板（内含集成电路插座，电阻，电容等）。

3. 电子电路实验箱（工具及元器件，本实验用的F007运放等）.

4. 规定电源电压为正负12V。

## 三、实验内容及要求

1. 基本命题

（1） 用F007构成同相比例放大器，实现运算为的电路（要求电路最大电阻为60k）。

（2） 输入信号为可调直流电压，测试该电路的电压传输特性，并确定增益*Auf*及输入，输出动态范围。

（3） 用F007构成反相比例放大器，实现运算（要求最小电阻为2k）。

（4） 在上面电路输入0.5kHz的正弦信号，用示波器观察输出波形，用双踪示波器确定增益及输入，输出动态范围。

（5） 在线性范围内，测量反相比例放大器的幅频特性，并确定上限频率*f*H。（用示波器或交流毫伏表测，测试过程中，改变频率时，要保证整个测量范围内，输出信号不出现非线性失真）。

## 四、实验说明及思路提示

（1） 根据基本命题（1）的要求，构建同相比例放大器电路如图1所示。同相端加可调的直流电压，测量传输特性。

【注意】：所有电压地，信号地均要接通。

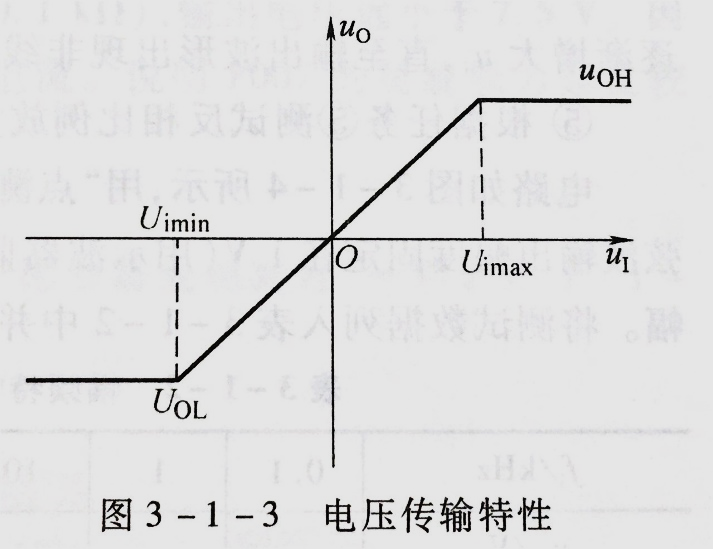
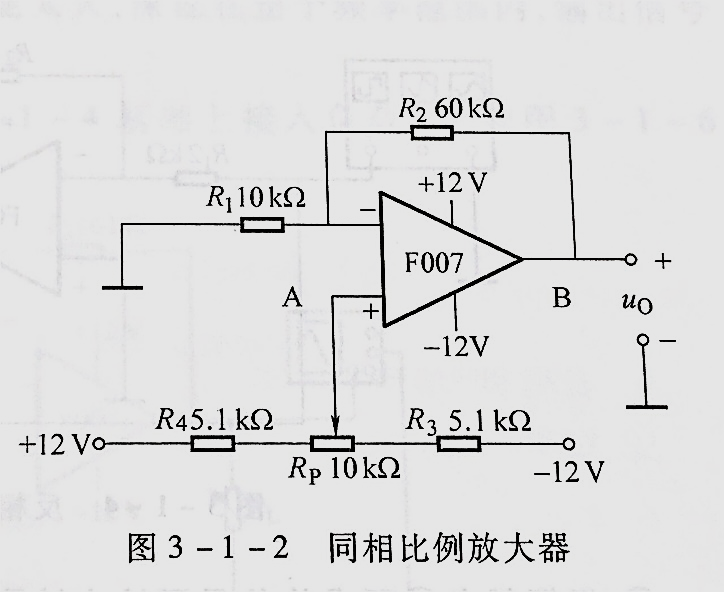


图1 同相比例放大器 图2 电压传输特性

（2） 根据基本命题（2）要求，调节图中电位器*R*p，用万用表分别测量A点和B点对地电压，列入表1中并绘制如图2所示的传输特性。

表1 同相比例放大器的电压传输特性实验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| /V | -3 | -2 | -1.7 | -1 | -0.5 | 0 | +0.5 | +1 | +1.7 | +2 | +3 |
| /V |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

由数据表或曲线得出该放大器的闭环增益

（1）

输入动态范围 （2）

输出动态范围 （3）

（3） 根据基本命题（3）要求，构建实验电路——反相比例放大器，如图3所示。

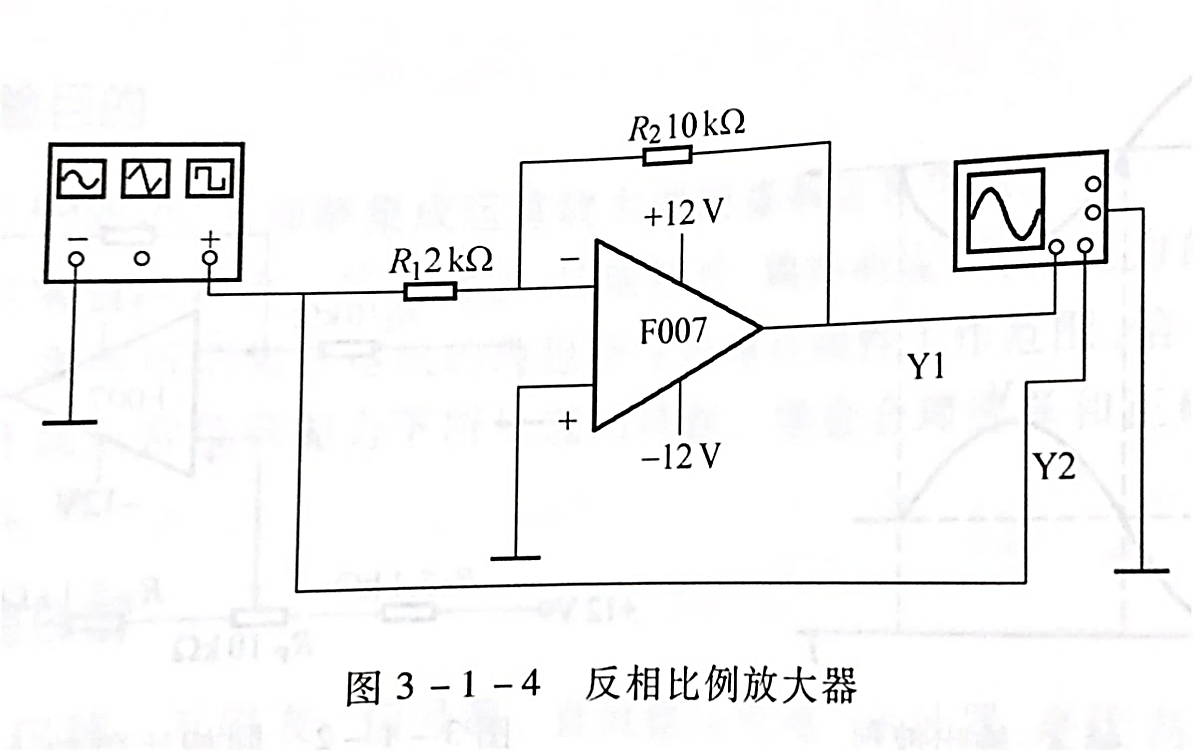


图3 反相比例放大电路

（4） 根据任务（4）要求将信号源输出波形选为正弦波，幅度选为保证放大器工作在线性范围内（如：0.5v），频率选为保证放大器工作在通频带内（如：1kHz）用双踪示波器同时观察和波形（相位及大小）并测出增益

（4）

逐渐增大，直至输出波形出现非线性失真，从而得出输出，输入动态范围。

（5） 根据任务（5）测试反相比例放大器的幅频特性。

电路如图3所示，用“点测法”测量放大器的幅频特性。改变信号频率，测出相应的输出信号振幅。将测试数据列入表2中并绘制如图4所示的幅频特性曲线。

表2 幅频特性数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| /kHz | 1 | | 10 | | 20 | 30 | | 40 | | 50 | 60 | | 70 | | 80 | 90 | | 100 | | 110 | 120 | | 130 |
| /V |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |  |
| /V |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |  |
| Au |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |  |
| /kHz | | 140 | | 150 | | | 160 | | 180 | | | 200 | | 250 | | | 300 | | 350 | | | 450 | |
| /V | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | |
| /V | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | |
| Au | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | |  | | |  | |

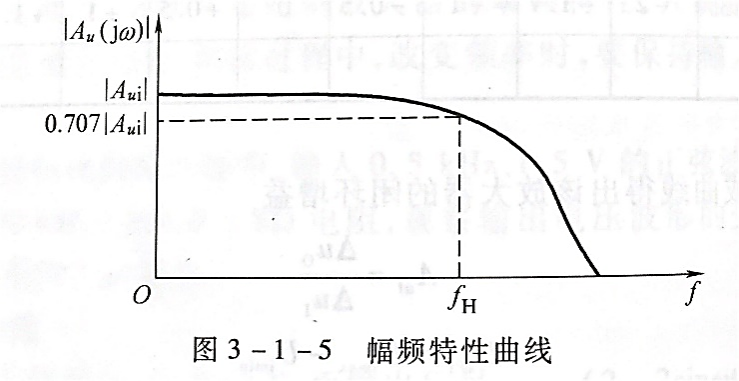


图4 幅频特性曲线

【注意】：

a. 频率点取值自行决定，在输出开始下降处可多测几个点以提高精度。

b. 测量幅频特性也可以用毫伏表，不一定用示波器。

c. 测量幅频特性时输入信号不能太大，保证在整个频率范围内，输出信号不出现非线性失真。

**五、实验电路设计过程和实验方法描述**

*（实验设计过程应包含从题目分析到电路设计的全过程，包括但不限于参数计算、画出电路图等，实验方法描述是指用什么测量工具测试数据）*

**1. 实验内容1设计与实验方法描述**

题目分析：实验内容1的目标是测量规定型号集成运算放大器(F007)所构建的同相比例放大电路的传输特性.由已知条件可知所要研究被放大的物理量是电压,需要通过输入、输出的电压绘制该同相比例放大器的电压传输特性,因而要求电路设计时同相端的输入可在该放大器的正常工作范围内线型调整（通过查询F007的技术手册可知，在该集成运放±15V的电源电压下，差模输入电压可以达到 30V 以上，共模输入电压范围接近电源电压，因此本人选择用来输入测试的电压在给F007供电±12V的范围内）.

在题目所给出的电路中，可通过调节滑动变阻器来控制输入同相比例放大器的电压从而获得多组不同的输入与输出数据，通过在该集成运放工作范围内运用点测法获取数据来绘制同相比例放大器的电压传输特性曲线，即可观察出其在放大区和截止区的工作性质，得到该同相比例放大器的输入动态范围与输出动态范围；同时通过取该电压传输曲线上位于放大区且相隔距离较远的点求斜率即可算出该同相比例放大器点闭环增益.

（注：由于实验室器材本身原因。R**2**从原方案中的60kHz被改成了62kHz）

**2. 实验内容2设计与实验方法描述**

先按照实验要求连接好线路，示波器调节成双踪模式以便观察输入电压与输出电压的相位关系；

在保持电路频率在放大器的通频带内的情况下，保持信号源输出频率不变，单独增大ui以观察反向放大后的电压何时出现失真（输出电压开始失真时，输出正弦的波峰顶端或波谷底端会开始出现变平的迹象（此时可以通过读出输入电压的幅值与输出电压的幅值来分别测量出Uipp与Uopp），随着输入电压的幅值变大，输出电压的波形最后会变成三角波）;

与前面提到的同相比例放大电路相似,该反向比例放大电路也可通过取位于放大区且相隔距离较远的数据点求斜率,即可算出该反相比例放大器点闭环增益.

**3. 实验内容3设计与实验方法描述**

该实验使用的电路与前面提到的反相比例放大器的电路一致,可通过点测法在不同的电路频率值下求得各自的放大倍数,绘制出幅频特性曲线(在这个过程中,由于y轴的值是放大倍数,即输出电压与输入电压的比值,因此在ui处于反相比例放大器正常工作范围内的前提下可以不取固定值)

在后期处理实验内容3的数据时,可采用3次样条插值以将数据点拟合成平滑的曲线,在此基础上可:指定频率为0kHz来得出实验测得的反相比例放大器的直流增益、指定放大倍数为 来得出实验测得的反相比例放大器的截止频率fH .

**六、数据记录与处理**

**1. 实验内容1：**

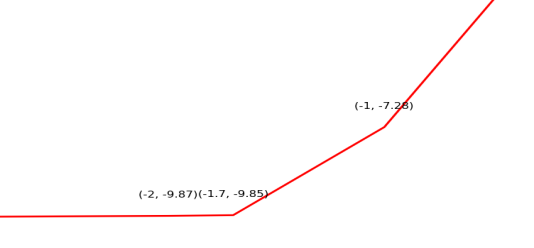
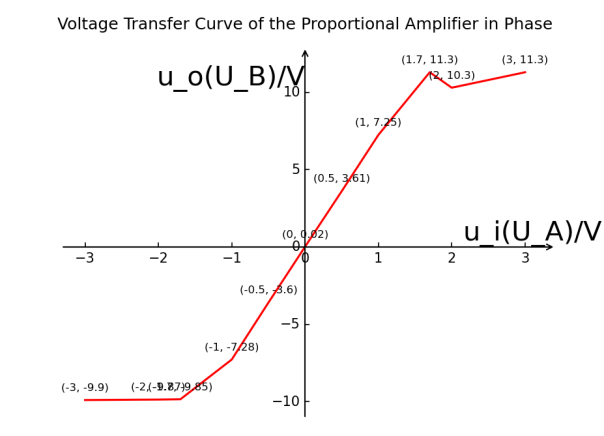
①实验数据记录

同相比例放大器的电压传输特性实验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| /V | -3 | -2 | -1.7 | -1 | -0.5 | 0 | +0.5 | +1 | +1.7 | +2 | +3 |
| /V | -9.90 | -9.87 | -9.85 | -7.28 | -3.60 | 0.02 | 3.61 | 7.25 | 11.30 | 11.30 | 11.30 |

②实验数据处理

1. 绘制电压传输特性曲线：



*(注:使用Python绘制,右图为传输特性曲线在第三象限的局部放大)*

2）由曲线得出该放大器的闭环增益

= =7.265 (注:该数据选择了大概率是输入处于该运放的线性放大区域的uA=-1V与uA=+1V数据点,理论上会比uA=-0.5V与uA=+0.5V的数据点更准)

输入动态范围 = (+12V)-(-12V)=24V

输出动态范围: = (+11.40V)-(-9.84V)=21.24V

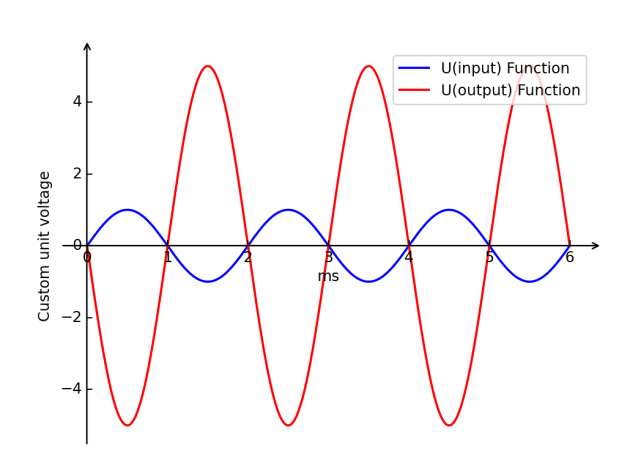
**2. 实验内容2：**

①实验数据记录

*(见下方实验数据处理与后附原始数据)*

②实验数据处理

1）示波器显示波形(此处为定性绘制)：

**

*(使用Python绘制 ,y轴坐标为定性绘制)*

1. 增益：

(注:采样点为, *,* ,)

3）输入动态范围： = (+401.7mV)-(-401.7mV)=803.4mV

输出动态范围： = (+2.04V)-(-2.04V)=4.08V

**3. 实验内容3：**

①实验数据记录

表2 幅频特性数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| /kHz | 0.1 | 1 | 10 | 20 | 30 | | 40 | 50 | 60 | | 70 | 80 | 90 | | 100 | 110 | 120 | |
| /mV | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | | 150 | 150 | 160 | | 160 | 170 | 170 | | 180 | 180 | 190 | |
| /mV | 520 | 536 | 536 | 1000 | 1000 | | 760 | 750 | 770 | | 760 | 810 | 790 | | 820 | 800 | 820 | |
| Au | 5.200 | 5.360 | 5.360 | 5.000 | 5.000 | | 5.066 | 5.000 | 4.812 | | 4.750 | 4.765 | 4.647 | | 4.556 | 4.440 | 4.315 | |
| /kHz | 130 | 140 | | 150 | | 160 | | 180 | | 200 | | 250 | | 300 | | 350 | | 450 | |
| /mV | 190 | 210 | | 210 | | 220 | | 220 | | 230 | | 230 | | 240 | | 240 | | 250 | |
| /mV | 810 | 860 | | 830 | | 840 | | 800 | | 200 | | 690 | | 586 | | 520 | | 436 | |
| Au | 4.264 | 4.095 | | 3.952 | | 3.81 | | 3.636 | | 0.870 | | 3.000 | | 2.441 | | 2.167 | | 1.744 | |

②实验数据处理

1）绘制幅频特性曲线：

*（使用Python绘制，创建三次样条插值以绘制平滑曲线，在处理数据过程中发现f=200kHz，Au=.870为坏值，故舍去）*

x\_data = [0.1, 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 250, 300, 350, 450]

y\_data = [5.200, 5.360, 5.360, 5.000, 5.000, 5.066, 5.000, 4.812, 4.750, 4.765, 4.647, 4.556, 4.440, 4.315, 4.264, 4.095, 3.952, 3.81, 3.636, 3.000, 2.441, 2.167, 1.744]

# 将数据转换为numpy数组

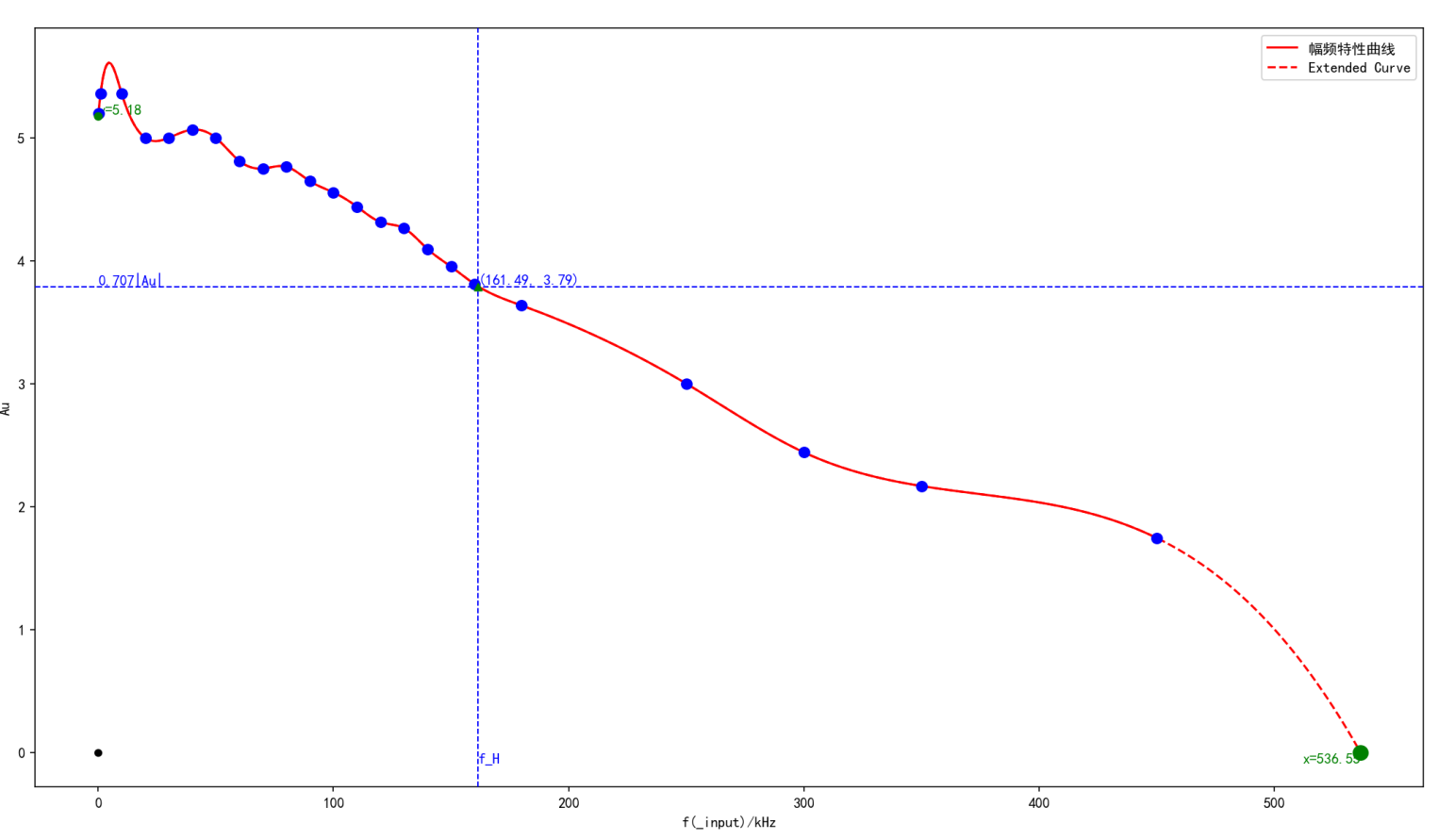
x = np.array(x\_data)

y = np.array(y\_data)

x\_smooth = np.linspace(min(x), max(x), 500)  # 创建平滑的x轴数据

spline = make\_interp\_spline(x, y, k=3)  # 创建三次样条插值

y\_smooth = spline(x\_smooth)  # 根据插值生成平滑的y轴数据



2）从曲线中得到：

增益：5.18 （当f=0kHz时)

截止频率：fH=161.49kHz

1. **实验分析与总结**

本次实验目标基本实现,但是复盘后总结问题如下:

1. 实验内容1:
2. 在测量同相比例放大器的电压传输特性的数据中,当u1=0V时,u0=0.02V而非0v,误差不大,初步判断为测量误差;
3. 理论上该同相比例放大电路的增益的计算结果是7.2,但是实验测得的结果是7.265,初步判断为测量误差;
4. 总体来看,测得的同相比例放大器的电压传输特性传输曲线并不奇对称,且x正负两个区域限幅区电压绝对值并不相等,误差较大,初步判断为电路连接上的原因(未知)
5. 实验内容2:

a. 发现该电路的所有接地端若连在示波器自带的接地端,示波器会产生明显的毛刺,难以进行测量操作;但是若连在信号源的接地端,则示波器的波形变得非常清晰,方便测量 (未知原因)

1. 实验内容3:
2. 该反向比例放大电路理论上计算出来的增益绝对值是5,但是由Python的scipy库中的函数对实验测得的数据进行3次样条插值后拟合出来的曲线显示该电路的直流增益的绝对值是5.18,初步推断是测量误差
3. 按照原始的实验指导给出的数据,理论上的截止频率fH=160.kHz左右,但是实际上实验数据拟合出来的曲线显示截止频率fH=161.49kHz ,初步判断是测量误差.
4. 在绘制幅频特性曲线的时候,发现实验数据在Python中拟合出来的平滑曲线下降过快,与理论上的幅频特性曲线形态有差异,发现原始实验报告模板中所给出的参考采样频率前密后疏,不适合绘制幅频特性曲线;应采用等间隔的采样频率较合理,或者是在理论计算出来的fH处的周围多增加几个采样点,便于显示出放大器增益的下降情况.