



北京交通大学

全国大学生电子设计大赛

北交大校赛

简易电路特性测试仪（D 题）

设计总结报告

组 别: 第 65 组

组 长: 徐良顺

组员一: 张 鑫

组员二: 李科瑜

摘要

摘要：本设计对特定放大电路的特性进行测量，判断该放大器由于元器件变化而引起故障或变化的原因，并显示结果和原因。系统以 STM32F411 为主控器，DDS 信号源产生不同频率的正弦波信号，用电压/电流检测电路和峰值检测电路测量输入输出电压，通过 STM32F411 自带的 A/D 转换器将电压值输入到单片机中，经处理后在 LCD 显示值和结果。

关键词：电路特性测试，STM32F411，AD/DA 转换，DDS 信号源，电压/电流检测电路，峰值检测电路，LCD

目录

1	系统设计	3
1.1	设计要求	3
1.1.1	基本要求	3
1.1.2	发挥部分	3
1.2	总体设计方案	4
1.2.1	设计思路	4
2	理论分析与计算	5
2.1	电路参数的理论分析与仿真结果	5
2.1.1	搭建电路使用的各个元件参数	5
2.1.2	电容容抗	5
2.1.3	具体参数分析	5
2.1.4	截止频率仿真结果	7
2.2	故障分析与仿真	7
2.3	故障树	13

1 系统设计

1.1 设计要求

设计并制作一个简易电路特性测试仪。用来测量特定放大器电路的特性，进而判断该放大器由于元器件变化而引起故障或变化的原因。该测试仪仅有一个输入端口和一个输出端口，与特定放大器电路连接如图 1 所示。

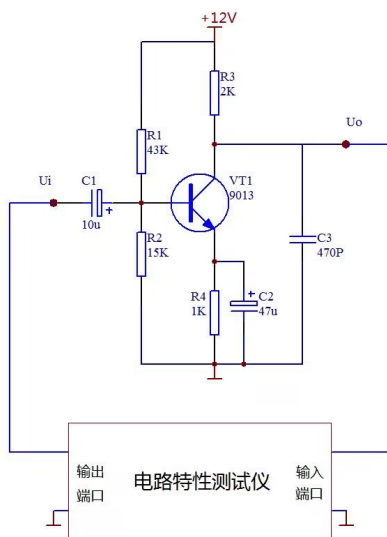


图 1: 特定放大器电路与电路特性测试仪连接图

1.1.1 基本要求

- 电路特性测试仪输出 $1kHz$ 正弦波信号，自动测量并显示该放大器的输入电阻。输入电阻测量范围 $1k\Omega \sim 50k\Omega$ ，相对误差的绝对值不超过 10%。
- 电路特性测试仪输出 $1kHz$ 正弦波信号，自动测量并显示该放大器的输出电阻。输出电阻测量范围 $500\Omega \sim 5k\Omega$ ，相对误差的绝对值不超过 10%。
- 自动测量并显示该放大器在输入 $1kHz$ 频率时的增益。相对误差的绝对值不超过 10%。
- 自动测量并显示该放大器的频幅特性曲线。显示上限频率值，相对误差的绝对值不超过 25%。

1.1.2 发挥部分

- 该电路特性测试仪能判断放大器电路元器件变化而引起故障或变化的原因。任意开路或短路 $R1 \sim R4$ 中的一个电阻，电路特性测试仪能够判断并显示故障原因。
- 任意开路 $C1 \sim C3$ 中的一个电容，电路特性测试仪能够判断并显示故障原因。
- 任意增大 $C1 \sim C3$ 中的一个电容的容量，使其达到原来值的两倍。电路特性测试仪能够判断并显示该变化的原因。
- 在判断准确的前提下，提高判断速度，每项判断时间不超过 2 秒。
- 其他。

1.2 总体设计方案

1.2.1 设计思路

本测试仪系统由 DDS 信号发生模块、输入电压/电流检测电路、输出电压/电流检测电路、峰值检波电路、A/D 转换电路、单片机和 LCD 显示模块等组成，系统整体框图如图 2 所示。

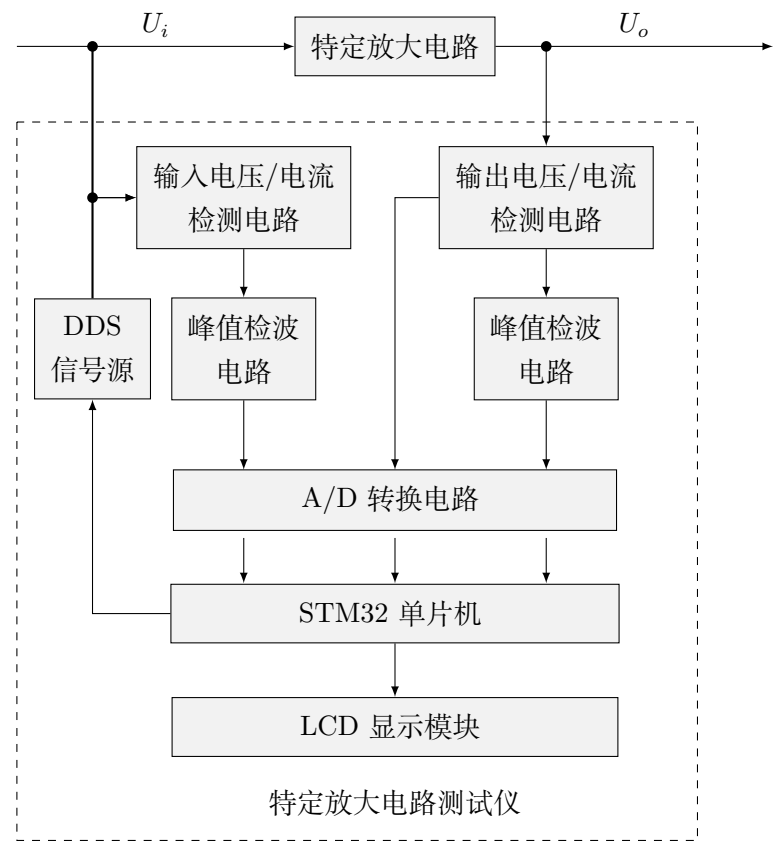


图 2: 系统整体框图

2 理论分析与计算

2.1 电路参数的理论分析与仿真结果

2.1.1 搭建电路使用的各个元件参数

电容 C1	$10\mu F$	电容 C2	$47\mu F$	电容 C3	$470pF$
电阻 R1	$43k\Omega$	电阻 R2	$15k\Omega$	电阻 R3	$2k\Omega$
电阻 R4	$1k\Omega$	三极管型号	9013	三极管放大倍数 β	200
三极管压降 U_{BE}	0.7V	三极管基极体电阻 r_{bb}	63.2 Ω	三极管发射极体电阻 r_e	10.8 Ω

表 1: 各个元件参数

2.1.2 电容容抗

由

$$X_c = \frac{1}{j2\pi fC} \qquad (f = 1kHz)$$

得得到电容阻抗：

X_{C1}	16 Ω	X_{C2}	3.39 Ω	X_{C3}	340k Ω
----------	-------------	----------	---------------	----------	---------------

表 2: 电容阻抗

2.1.3 具体参数分析

由

$$h_{ie} = r_{bb} + (1 + \beta)r_{e'}$$
$$r_{e'} = r_e + |X|$$

可以得到：

$$h_{ie} = 63.2 + (1 + 200) \times (10.8 + 3.39) = 2917.4\Omega$$

根据直流等效电路：

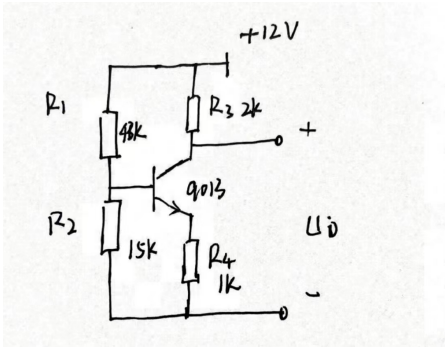


图 3: 直流等效电路图

由公式,

$$U_{BQ} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{CC}$$

发射极电压为:

$$U_{EQ} = U_{BQ} - 0.7V$$

发射极电流为:

$$I_{EQ} = \frac{U_{EQ}}{R_4}$$

集电极电压为:

$$U_{CQ} = U_{CC} - I_{CQ}R_3 = U_{CC} - I_{EQ}R_3$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta}$$

可以得到直流输出电压大约为:

$$U_{CQ} = 7.20V$$

根据交流等效通路:

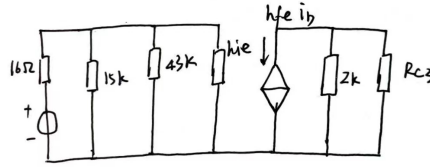


图 4: 交流等效通路图

得到等效输入电阻大约为:

$$R_i = R_1 // R_2 // h_{ie} + X_{c1} = 2.316k\Omega$$

等效输出电阻大约为:

$$R_o = R_3 // R_{C3} = 2k\Omega \quad (R_{C3} \text{ 很大, 可以近似等效为断路})$$

电压放大增益:

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{h_{fe}R_3}{h_{ie}} = 137.9$$

最大截至频率:

$$f = \frac{1}{2\pi j R_o C} = 169.3kHz$$

经过计算最小截至频率在 300Hz 左右。

基本参数：（输入信号为 10mV 的交流小信号时）

等效输入电阻	2.316kΩ	等效输出电阻	2kΩ	电压放大倍数	137.9
直流输出电压	7.20V	上限频率	169.3kHz	下限频率	300Hz
信号源频率范围	300Hz~169.3kHz		交流输出电压	1.379V	

表 3: 基本参数

2.1.4 截止频率仿真结果

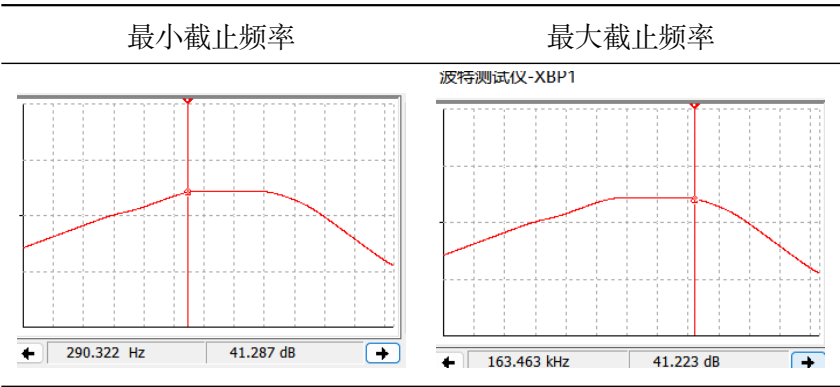


表 4: 截止频率仿真结果

2.2 故障分析与仿真

搭建仿真电路图：

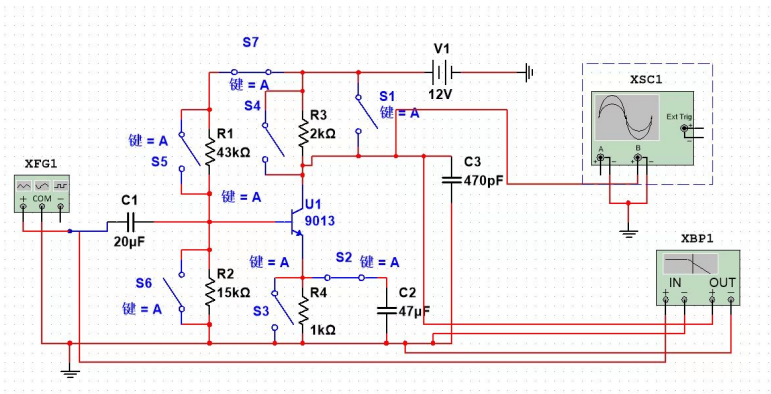


图 5: 仿真电路图

正常电路仿真结果：

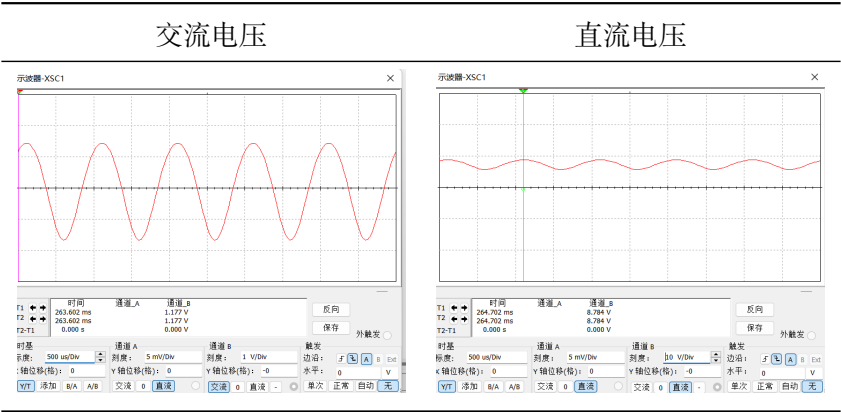


表 5: 正常电路仿真结果

当输入为 $10mV$ 的一个交流信号时, 输出一个大约 $1.177V$ 的交流电压, 一个大约 $7.5V$ 的直流电压, 故仿真的电压放大增益大约为 117.7 。

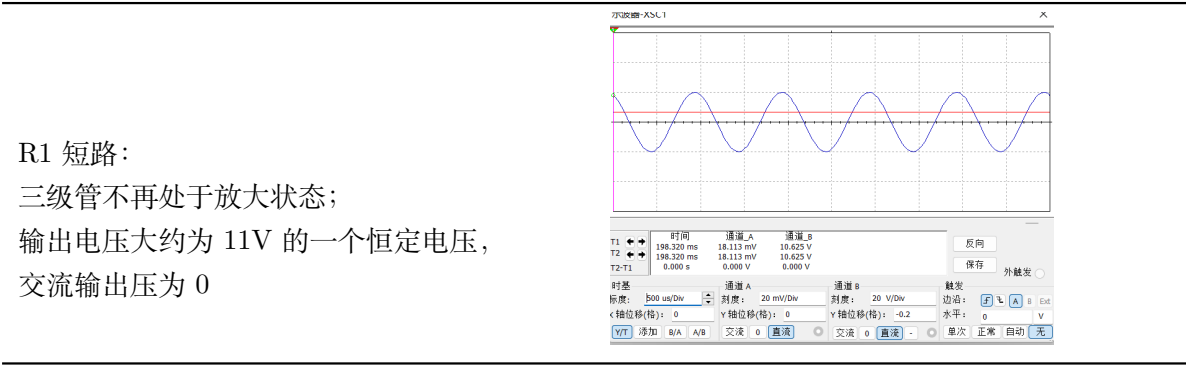


表 6: R1 短路

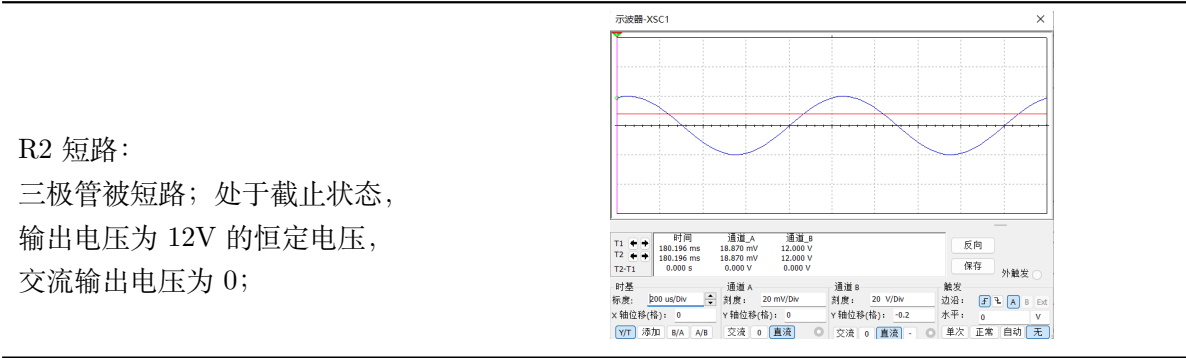


表 7: R2 短路

R3 短路：
三极管工作在放大区，
但由于此时 R3 短路，
输出电压就是外加直流电压大小；
故输出 12V 左右的恒定电压，交流电压为 0；

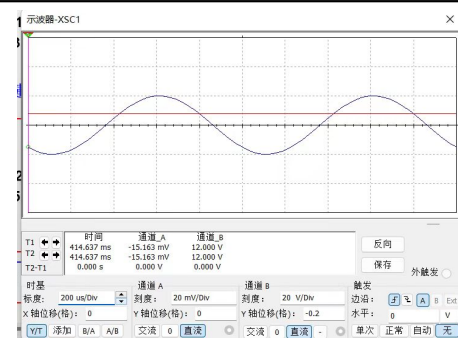


表 8: R3 短路

R4 短路：
三级管不处于放大状态，
此时三极管输出信号为一个幅度值
50mV 左右的一个直流信号
和 20mV-50mV 变化的一个交流信号。

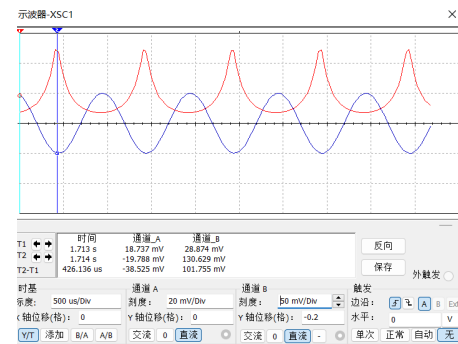


表 9: R4 短路

R1 断路：
此时交流电压没有耦合直流偏置，
导致交流信号无法通过三极管进行放大，
此时输出端输出一个 12V 的直流恒定电压。

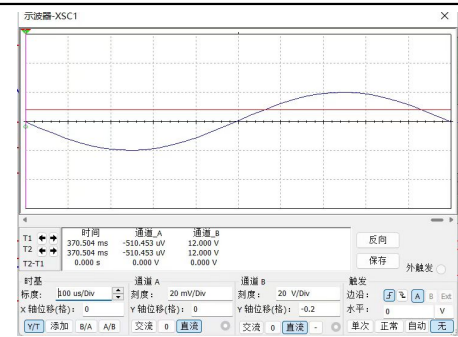


表 10: R1 断路

R2 断路：
此时三级管的工作状态未受到影响；
此时直流电压大约为 4V 左右，
交流输出电压大约为 15-20mV

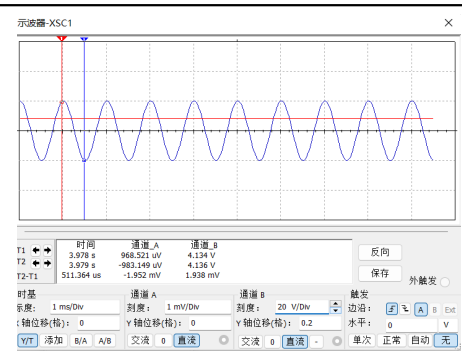


表 11: R2 断路

R3 断路：
此时直流电压输出大约为 200mV，
无交流输出电压。

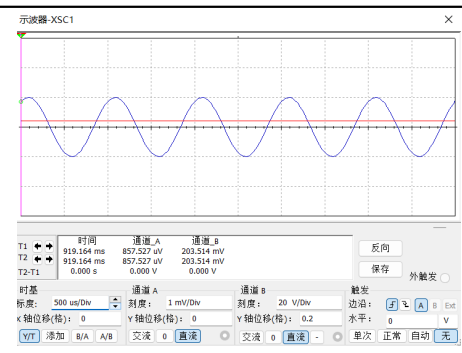


表 12: R3 断路

R4 断路：
直流输出 12V，
交流输出一个 200nV 左右的小信号。

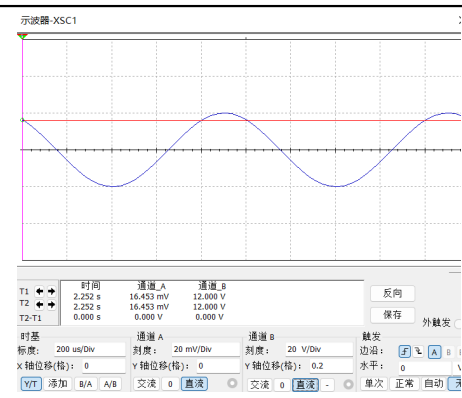


表 13: R4 断路

电容 C1 断路：
此时交流无法进入放大电路，
直流通路不受影响，
故输出结果为只有 7.5V 左右的一个
直流稳压偏置，无交流信号。

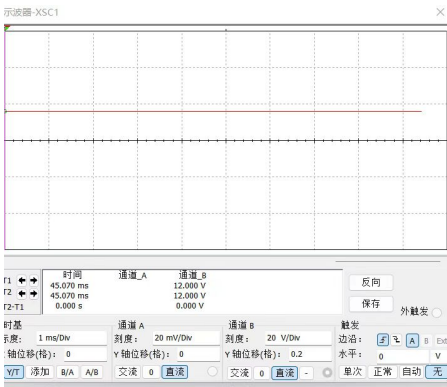


表 14: 电容 C1 断路

电容 C2 断路：
对直流通路没有影响，
仍然输出 7.5V 左右的直流电压，
但交流通路中的 h_{ie} 增大至 $200k\Omega$ 的量级，
导致输入电阻变大明显至 $10k\Omega$ 。
输出的交流信号 $19mV$ 左右。

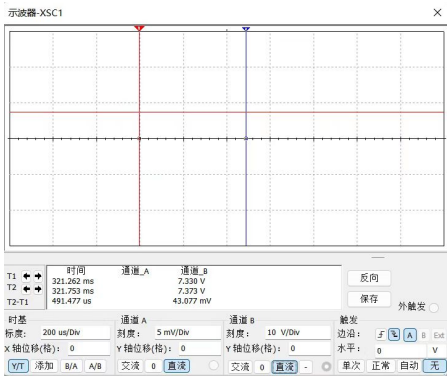


表 15: 电容 C2 断路

电容 C3 断路：
C3 断路对输出几乎无影响，
但会导致最大截至频率丢失，
最后观察到的幅频曲线没有下降沿
或者上限截至频率增大至 MHz 量级。

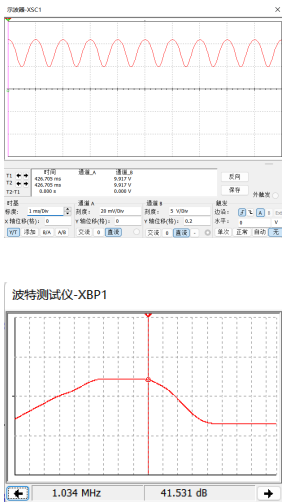


表 16: 电容 C3 断路

C1 加倍：
C1 加倍对输出信号基本没有影响，
但由于其自身电容的改变，
会改变自身电阻，
从而对输入电阻产生直接影响；
输入电阻下降为原来一半，
大约 7.96Ω，输出电阻变为 2.308kΩ

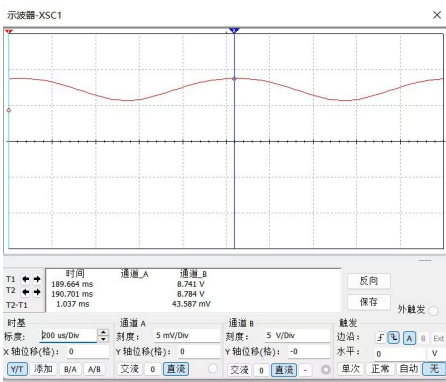


表 17: C1 加倍

C2 加倍：
C2 加倍对输出电压影响不大，
但对 h_{ie} 产生影响较大，
电容 C2 阻抗降至 1.69Ω，
从而根据公式，输出电阻变为 2.09kΩ

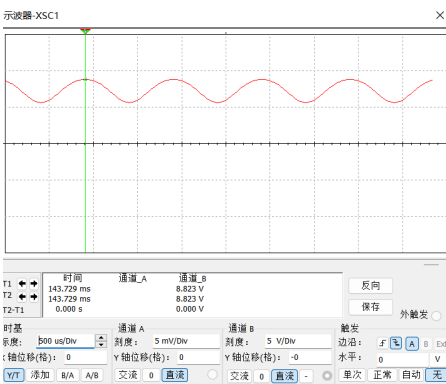


表 18: C2 加倍

C3 加倍：
对输出电压影响不大，
最直接影响是对幅频曲线的影响。
幅频曲线的上限截至频率大约变为 85kHz

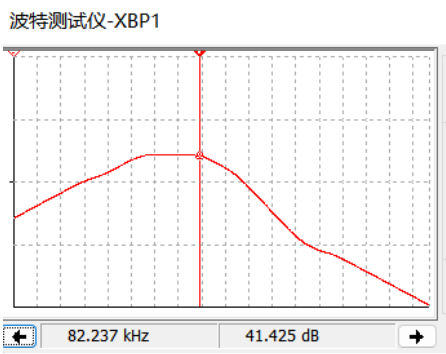


表 19: C3 加倍

通过上述分析，我们可以看到，大部分的故障输出情况比较独特，可以直接区分，接下来只要将输出为 12V 的直流信号时的几种情况进行区分就可以通过输出结果反推出故障原因；

要区分输出为 12V 的情况最直接的办法是计算各种情况时的输入阻抗，通过下面的公式，使用换算法测量输入电阻的值。开关闭合时，输出电压为 U_1 ，开关断开时，输出电压为 U_2 ，信号源串联电阻为 R 。

$$U'_i = \frac{R_1}{R_1 + R} U_i$$
$$R_i = \frac{U'_i}{U_i - U'_i} R$$

可以得到：

R1 断路	$R_i = 15.3k\Omega$	R4 断路	$R_i = 10.6k\Omega$
R3 短路	$R_i = 1.9k\Omega$	R2 短路	$R_i = 15\Omega$

表 20: 12V 时的情况

综上，我们可以通过各种路径来找到故障的原因，可以制成一个 excel 表格（附件 1）和故障树（附件 2）。

2.3 故障树

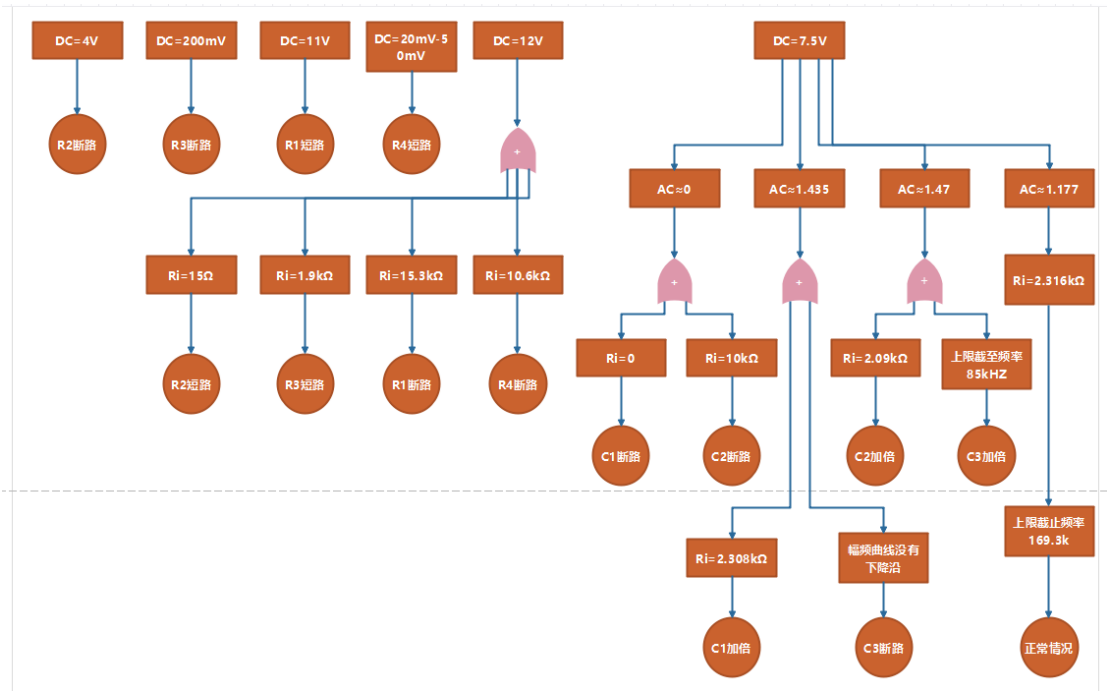


图 6: 故障树