**中山大学**

**电路基础实验报告**

**完成人： 雷俊峰、李冬**

**学号： 19308069、19308072**

**一、****实验目的**

通过本次实验， 达到以下目的：

1.RLC 串联电路的幅频特性与谐振现象：

·测定 R、L、C 串联谐振电路的频率特性曲线。

·观察串联谐振现象，了解电路参数对谐振特性的影响。

2. RC 电路频率特性的研究：

·研究 RC 电路的频率特性。

·初步了解文氏电路的应用，组成正弦波振荡器。

**二、仪器设备**

1.TPE-DG2L电路分析实验箱，主要使用：

不同阻值电阻（1kΩ、510kΩ、滑动变阻器）、电线等

2.SIGLENT SDM3065X 数字万用表

3.SIGLENT SPD3303X 可编程线性直流电源

4.SIGLENT SDS5000X 双踪示波器

5.SIGLENT SDG-6000X-E 函数信号发生器

**三、实验原理与内容**

1. RLC 串联电路的幅频特性和谐振现象

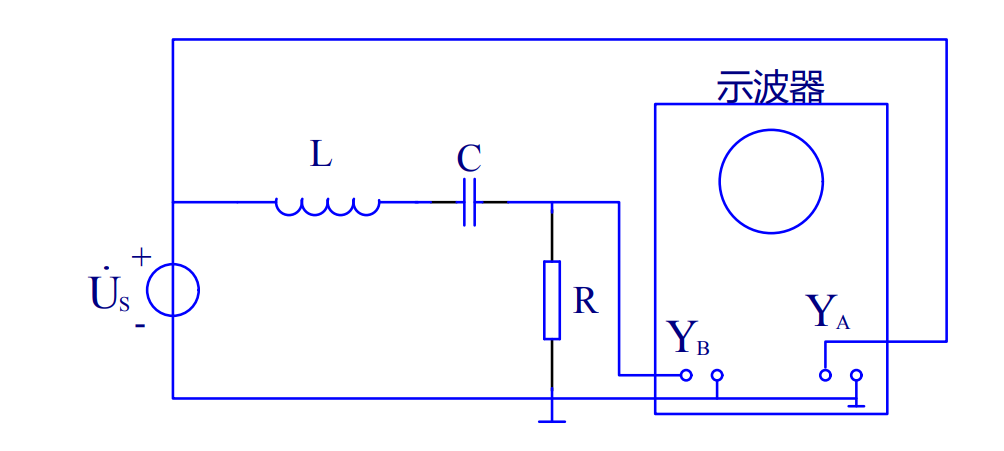
（1）实验目的

1.测定 R、L、C 串联谐振电路的频率特性曲线。

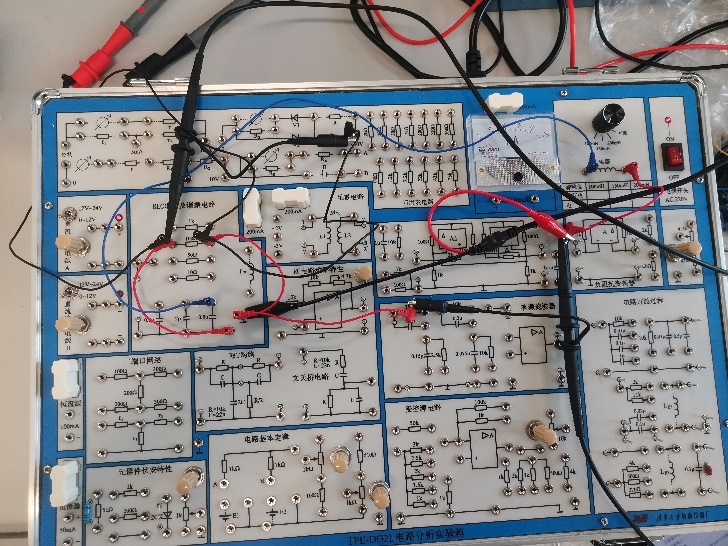
2.观察串联谐振现象，了解电路参数对谐振特性的影响。

（2）实验内容及步骤

按图 10-1 连接线路，电源 为低频信号发生器。将电源的输出电压接示波器的 插座，输出电流从 R 两端取出，接到示波器的 插座以观察信号波形，取 ，电源的输出电压 。



**图10.1**



**图10.2 RLC电路接线**

**1．计算和测试电路的谐振频率**

① ，用L、C之值代入式中算出 。

计算得到

② 测试：用交流毫伏表接在 R 两端，观察 的大小，然后调整输入电源的频率，使电路达到串联谐振，当观察到 最大时电路即发生谐振，此时的频率即为 。



**图10.3 R、L、C谐振波形**

**·误差分析：**

**真实实验电路发生谐振时输入电源的频率大概为 。推测可能是因为电路中电容、电感、电阻等元件参数与计算的标准值有误差导致的结果偏差，误差大小处于可接受范围内。**

**以下实验内容均按照真实谐振频率 进行。**

**2．测定电路的幅频特性**

① 以 为中心，调整输入电源的频率从 100Hz~2000Hz，在 附近，应多取些测试点。用交流毫伏表测试每个测试点的 值，然后计算出电流 I 的值，记入表格 10-1 中。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***f* (Hz)** | **100** | **300** | **500** | **700** | **710** | **720** | ***724( )*** |
| ***U R* (mV)** | 9.2926 | 32.7871 | 83.667 | 283.916 | 292.019 | 295.82 | 297.471 |
| ***I*(mA)** | 0.92926 | 3.27871 | 8.3667 | 28.3916 | 29.2019 | 29.582 | 29.7471 |

**表10.1表 & 10.1-续**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **730** | **750** | **800** | **1000** | **1300** | **1600** | **2000** |
| 295.13 | 282.228 | 219.96 | 94.9671 | 52.3807 | 37.2138 | 27.3255 |
| 29.513 | 28.2228 | 21.996 | 9.49671 | 5.23807 | 3.72138 | 2.73255 |

·计算：因为 ，所以 。

② 保持 ，改变 R，使 ，即改变了回路Q值，重复步骤①，记入表格 10-2 中。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***f* (Hz)** | **100** | **300** | **500** | **700** | **710** | **720** | ***724( )*** |
| ***U R* (mV)** | 91.9981 | 320.789 | 758.244 | 1547.052 | 1559.793 | 1565.419 | 1565.741 |
| ***I*(mA)** | 9.19981 | 32.0789 | 75.8244 | 154.7052 | 155.9793 | 156.5419 | 156.5741 |

**表10.2**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **730** | **750** | **800** | **1000** | **1300** | **1600** | **2000** |
| 1564.254 | 1542.446 | 1409.502 | 838.681 | 500.207 | 362.138 | 268.41 |
| 156.4254 | 154.2446 | 140.9502 | 83.8681 | 50.0207 | 36.2138 | 26.841 |

**表10.2-续**

·计算：因为 ，所以 。

**3．测定电路的相频特性**

①仍保持 。以 为中心，调整输入电源的频率从 100Hz~2000Hz。在 的两旁各选择几个测试点，从示波器上显示的电压、电流波形上测量出每个测试点电压与电流之间的相位差 ，数据记入表10.3。



**图10.4 通过光标测量相位差**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***f* (Hz)** | **100** | **300** | **500** | **700** | **710** | **720** | ***724*** |
| **Δt（ms）** | -2.46 | -0.8 | -0.46 | -0.12 | -0.07 | -0.02 | 0 |
| **T(ms)** | 10 | 3.3333333 | 2 | 1.4285714 | 1.4084507 | 1.3888889 | 1.38121547 |
| **Δt/T** | -0.246 | -0.24 | -0.23 | -0.084 | -0.0497 | -0.0144 | 0 |
| **Δφ(°)** | -88.56 | -86.4 | -82.8 | -30.24 | -17.892 | -5.184 | 0 |
| **Δφ(rad)** | -1.545664 | -1.507964 | -1.445133 | -0.527788 | -0.312274 | -0.090478 | 0 |

**表10.3**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **730** | **750** | **800** | **1000** | **1300** | **1600** | **2000** |
| 0.025 | 0.12 | 0.205 | 0.225 | 0.18 | 0.15 | 0.122 |
| 1.369863 | 1.3333333 | 1.25 | 1 | 0.769230769 | 0.625 | 0.5 |
| 0.01825 | 0.09 | 0.164 | 0.225 | 0.234 | 0.24 | 0.244 |
| 6.57 | 32.4 | 59.04 | 81 | 84.24 | 86.4 | 87.84 |
| 0.1146681 | 0.5654867 | 1.0304424 | 1.4137167 | 1.470265362 | 1.5079645 | 1.5330972 |

**表10.3-续**

**·测量数据与处理：**

**首先通过光标之间的时间差读出电源输入波形和电阻R上的输出波形时间差Δt，然后根据公式 计算得出相应的波形周期。由于电容电阻对电路的影响仅仅是产生相移，所以电源输入和输出之间周期相同，即可根据 得到相差值对周期的比值，从而换为以°为单位的 ，进而换算为弧度值的相位差。**

② 保持 ，改变 R，使 ，即改变了回路Q值，重复步骤①，记入表格 10.4 中。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***f* (Hz)** | **100** | **300** | **500** | **700** | **710** | **720** | ***724*** |
| **Δt（ms）** | -2.5 | -0.78 | -0.4 | -0.05 | -0.02 | -0.005 | 0 |
| **T(ms)** | 10 | 3.3333333 | 2 | 1.4285714 | 1.4084507 | 1.3888889 | 1.38121547 |
| **Δt/T** | -0.25 | -0.234 | -0.2 | -0.035 | -0.0142 | -0.0036 | 0 |
| **Δφ(°)** | -90 | -84.24 | -72 | -12.6 | -5.112 | -1.296 | 0 |
| **Δφ(rad)** | -1.570796 | -1.470265 | -1.256637 | -0.219911 | -0.089221 | -0.022619 | 0 |

**表10.4**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **730** | **750** | **800** | **1000** | **1300** | **1600** | **2000** |
| -0.005 | 0.06 | 0.11 | 0.185 | 0.17 | 0.14 | 0.114 |
| 1.369863 | 1.3333333 | 1.25 | 1 | 0.769230769 | 0.625 | 0.5 |
| -0.00365 | 0.045 | 0.088 | 0.185 | 0.221 | 0.224 | 0.228 |
| -1.314 | 16.2 | 31.68 | 66.6 | 79.56 | 80.64 | 82.08 |
| -0.022934 | 0.2827433 | 0.5529203 | 1.1623893 | 1.388583953 | 1.4074335 | 1.4325663 |

**表10.4-续**

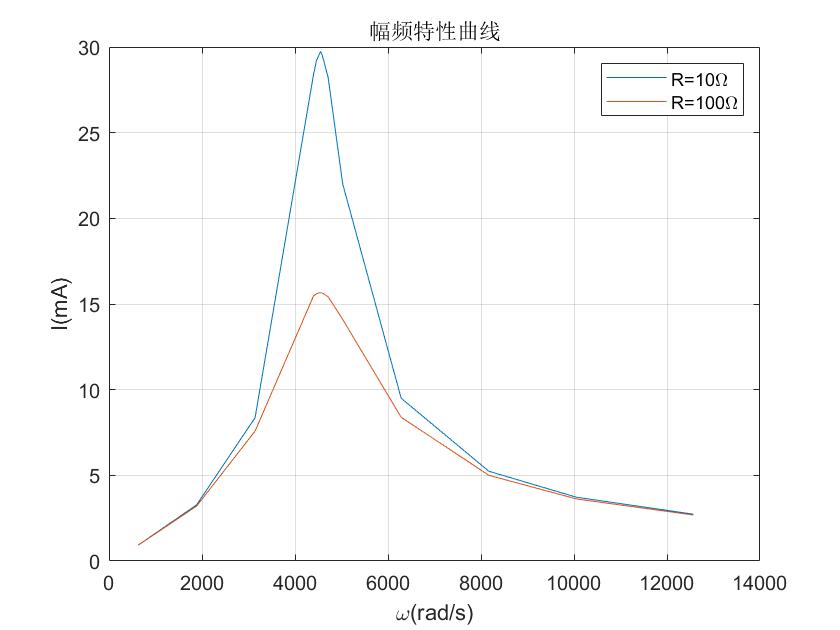
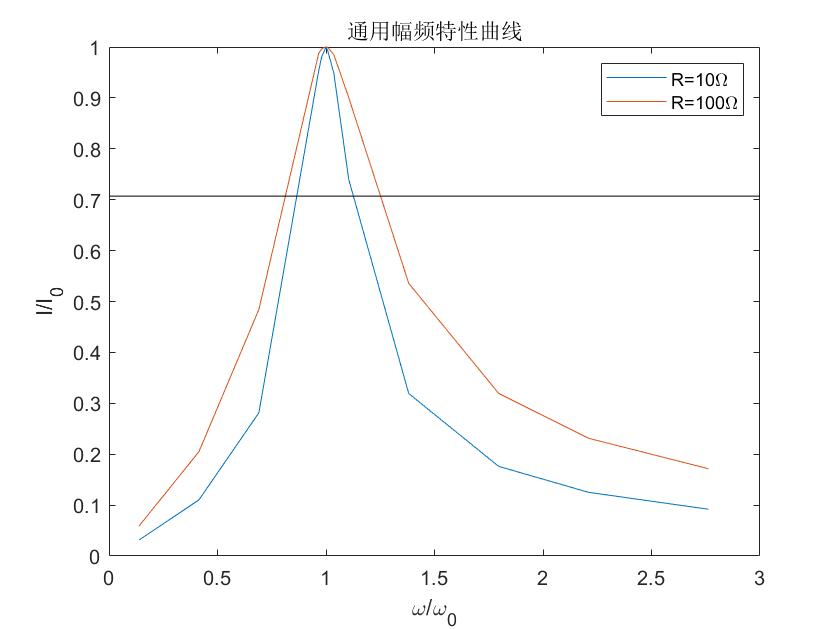
**·测量数据与处理：**

**同①。**

（3）实验分析及思考

1．根据实验数据，坐标纸上绘出两条不同 Q 值下的幅频特性曲线和相频特性曲线，并作扼要分析。

①不同 Q 值下的幅频特性曲线

**图10.5 幅频特性曲线 图10.6 通用幅频特性曲线**

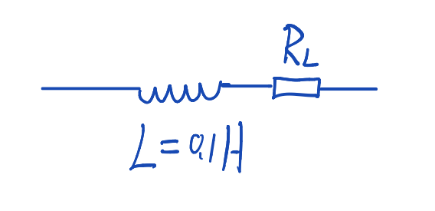
**·曲线分析：**

**（1）由于RLC电路中总阻抗为 ，发生谐振时 有公式 ，此时电路呈现电阻性。理论上来讲应该有 和 。**

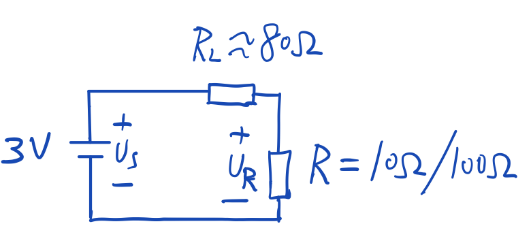
**已知两次测量时电路中 、 ，也即理论上两个曲线对应的 应该是10倍关系。但是从图10.5幅频特性曲线可以看出两个不同Q值时的电路仅有2倍的关系。**

**误差分析：**

**猜测数据误差是因为电感内部的电阻分压导致的误差。由于电路中的电感L不是理想电感，设电感的真是模型为理想电感串联一个内阻 ：**



**画出谐振时分压电路图：**



**根据方程 ，可以算出 。此时，对于两次测量（ 、 ）， 。**

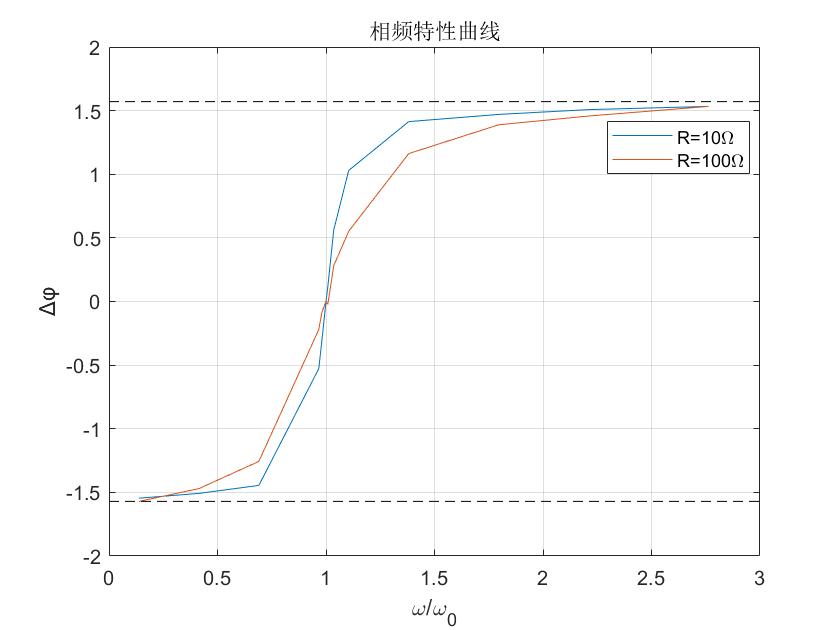
**（2）由于改变电路中的R只改变Q值，根据Q的公式可以得到，然 Q 值越大，幅频特性曲线越尖锐。**

**观察以上幅频特性曲线和通用幅频特性曲线，R=10Ω时Q值更大，曲线更尖锐。**

**（3）在通用幅频特性曲线中作 直线与幅频特性曲线相交得到不同Q值下对应的通频带。**

**显然，Q值越大，谐振时的通频带越窄，也即电路的选择性越好。**

②不同 Q 值下的相频特性曲线



**图10.7 通用相频特性曲线**

**·曲线分析：**

**据图可以看出，当电源输入频率从0变到 时，电抗由−∞变到0，ϕ 角从 变到0，电路为容性；**

**当电源输入频率从 增大到∞时，电抗由 0 增到∞，ϕ角从 0 增到 ，电路为感性。**

**根据测量数值画出的曲线符合理论分析。**

2．用哪些实验方法可以判断电路处于谐振状态？

①RLC电路处于谐振时，由于 。此时复阻抗 Z 达最小，电路呈现电阻性，电流与输入电压同相；

②电感电压与电容电压数值相等，相位相反。此时电感电压(或电容电压)为电源电压的 Q 倍，Q 称为品质因数，即

在 L 和 C 为定值时，Q 值仅由回路电阻 R 的大小来决定。

③在激励电压有效值不变时，回路中的电流达最大值，即：

3．实验中，当 R、L、C 串联电路发生谐振时，是否有 及 ？ 若关系不成立，试分析其原因。

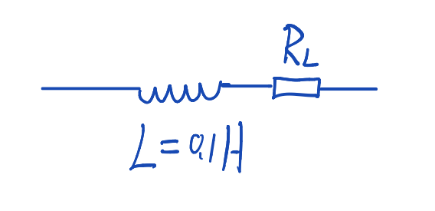
分析：根据表10.1和表10.2测量得到的数据可以看出，电源输入频率为 ，发生谐振时。 、，并且有数值关系为：

·当R=10Ω时 ；

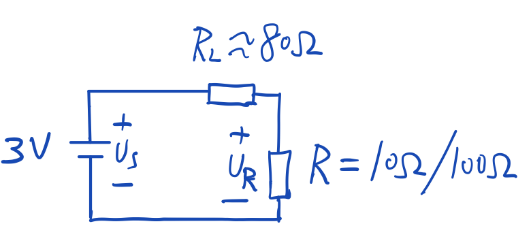
·当R=100Ω时 ；

**误差分析：**

猜测数据误差是因为电感内部的电阻分压导致的误差。由于电路中的电感L不是理想电感，设电感的真是模型为理想电感串联一个内阻 ：



根据之前分析幅频特性曲线时计算得到的 大约为80Ω左右，画出谐振时分压电路图：



根据欧姆定理可以估算得到：

·当R=10Ω时 ；

·当R=100Ω时 。

检查表10.1和表10.2中数据得到：

·当R=10Ω时 ；

·当R=100Ω时 。

猜测验证。

综上，是因为电感内部的电阻分压导致的谐振时电源电压没有全部加在电阻上，电路中电阻大于所测量的电阻。

2. RC 电路频率特性的研究

（1）实验目的

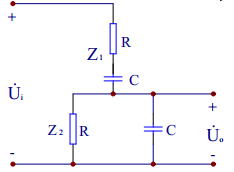
1. 研究 RC 电路的频率特性。

2. 初步了解文氏电路的应用，组成正弦波振荡器。

（2）实验原理

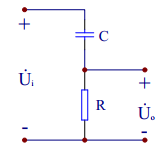
1.文氏电路

文氏电路如图11.1所示。



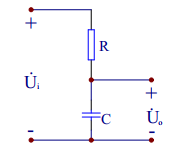
**图11.1 文氏电路**

当时，文氏电路可以等效为图11.2所示的低频等效电路，愈低，的幅度愈小，其相位愈超前于。当趋近于0时，趋近于0，接近。



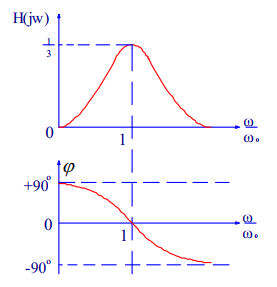
**图11.2 低频等效电路**

当时，文氏电路可以等效为图11.3所示的高频等效电路。愈高，的幅度愈小，其相位愈滞后于。当趋近于∞时，趋近于0，接近。当频率为某一中间值时，不为0，且与同相。



**图11.2 高频等效电路**

我们把输出电压和输入电压的比称为网络函数，记作，其中，，和分别为电路的幅频特性和相频特性，它们的曲线见图11.3。当频率时，有极大值，，经过计算，的最大值为1/3。因此，这种电路具有选择频率的特点，它被广泛地用于RC振荡器的选频网络。

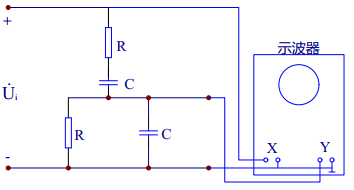


**图11.3 文氏电路的幅频特性和相频特性**

2.文氏电路的测定

由前文可得，的测定可以转化为输入电压和输出电压的相位差得测定。

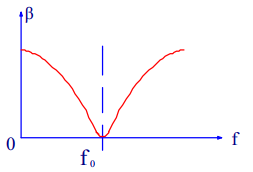
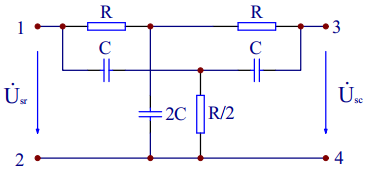
用示波器观察李萨育图形的方法定。实验线路如图11.4所示，给定为某一数值，改变电源频率，并逐渐改变X，Y轴增益，使荧光屏上出现一条直线，此时电源频率即为。



**图11.4 用示波器观察李萨育图形**

3.双T网络频率特性

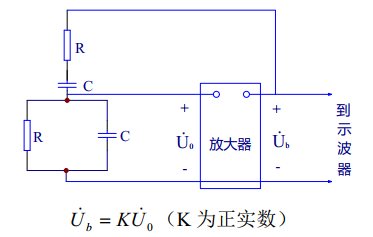
图11.5所示，双T网络的频率特性正好与RC串并联电路相反。在时，β=0，输出电压为0，因此可以用来滤去频率为fo的谐波。fo也称为该网络的“截止频率”。双T电路的幅频特性曲线见图11.6。



**图11.5 图11.6**

4.利用文氏电路组成正弦波振荡器

图11.7是由文氏电路和运算放大器构成的正弦波振荡器示意图。



**图11.7 正弦波振荡器示意图**

在电路满足相位平衡条件(反馈信号与输入信号同相)，幅度平衡条件（其中为放大器放大倍数，为反馈网络的反馈系数），而放大器的工作点又正常的情况下，即能产生正弦波振荡。

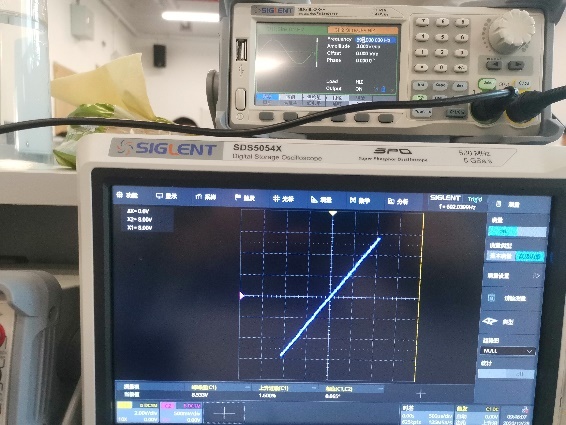
（3）预习内容

1.根据给定参数C=22n和R=10kΩ，计算文氏电路的fo及此频率时的及。

2. 根据给定参数C=22n和R=10kΩ，计算双T电路的fo及此频率时的及。

（4）实验内容及步骤

1.用示波器观察李萨育图形的方法测定文氏电路的 ，如图11.8所示。再用频率计测 ，并用毫伏表测 时的 、 。



**图11.8 fo时的李萨育图形**

**实际测得fo=692Hz,与理论值723Hz较为接近，此时Ui=3001.57mV，Uo=997.051mV。，与理论值1/3接近，误差造成的原因可能和实验仪器本身的精度有关系。**

2.测试文氏电路的幅频特性及相频特性。如表11.1所示：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***f* (Hz)** | **69** | **100** | **300** | **500** | **650** | **670** | **692** |
| **|H(jω)|** | 0.093908 | 0.131509 | 0.278449 | 0.322907 | 0.331542 | 0.331992 | 0.332176 |
| **φ(°)** | 73.154 | 66.328 | 33.007 | 13.161 | 2.875 | 2.1345 | 0.065 |
| ***f* (Hz)** | **700** | **730** | **800** | **1000** | **3000** | **5000** | **6900** |
| **|H(jω)|** | 0.332136 | 0.332169 | 0.331261 | 0.323831 | 0.201177 | 0.134052 | 0.100424 |
| **φ(°)** | -0.425 | -1.563 | -5.575 | -13.629 | -51.752 | -65.408 | -72.03 |

**表11.1**

作出～曲线如图11.9所示。



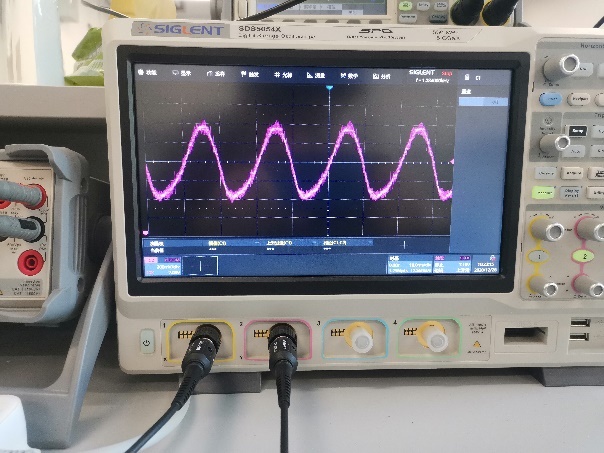
**图11.10 ～曲线**

作出～曲线如图11.11所示。



**图11.11 ～曲线**

3.利用文氏桥组成图11.7所示的正弦波振荡器。放大器的放大倍数K可以稍加调节。调节放大倍数K，使示波器上出现正弦波形，如图11.12。用频率计测量此正弦波的频率。用交流毫伏表测量放大器输入、输出电压。



**图11.12**

图中显示的正弦波频率为1284Hz。

放大器输入、输出电压见表11.2：

|  |  |
| --- | --- |
| 输入电压（mV） | 24.7203 |
| 输出电压（mV） | 294.416 |

**表11.2**

4.测双T网络的幅频特性及相频特性。

如表11.3：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***f* (Hz)** | **71** | **100** | **300** | **500** | **650** | **700** | **712** |
| **|H(jω)|** | 0.907312 | 0.850379 | 0.433473 | 0.176083 | 0.045421 | 0.009234 | 0.003563 |
| **φ(°)** | 21.893 | 29.968 | 63.645 | 78.095 | 83.742 | 87.532 | 0.028 |
| ***f* (Hz)** | **720** | **750** | **800** | **1000** | **3000** | **5000** | **7140** |
| **|H(jω)|** | 0.006542 | 0.026264 | 0.059711 | 0.168567 | 0.691451 | 0.855228 | 0.918393 |
| **φ(°)** | -89.213 | -82.888 | -84.44 | -79.07 | -43.874 | -29.395 | -21.522 |

**表11.3**

**理论计算得:**

作出～曲线如图11.13所示。



**图11.13 ～曲线**

作出～曲线如图11.14所示。



**图11.14 ～曲线**

**图像分析：通过图11.14可以看出，在处相位差φ发生了突变，这是因为此时电路中信号的频率为截止频率。**

（5）实验分析及思考

1.用半对数坐标纸画～曲线和～曲线

见图11.11、图11.12、图11.13和图11.14。

2.说明由文氏桥组成得正弦波振荡器中，振荡频率与电路参数的关系。

文氏桥正弦波振荡电路中有公式：

**四、实验中的问题和体会**

实验总结：

本次实验进行了探究RLC串联电路的幅频特性并测量数据与谐振现象的观察验证实验；通过文氏电路和双T网络电路等探究了RC电路的频率特性并测量数据进行了图像绘制。

通过实验对于RLC电路的幅频特性和相频特性有了更加深刻的认识。RLC电路中，当输入信号为谐振频率时，输出信号幅度为最大值，整个幅频特性曲线呈现先上升后下降的趋势。并且随着品质因数Q的提升，曲线逐渐变得陡峭，对于频率的选择特性更好。并且当谐振时电容和电阻导致的相移相互抵消，输出信号和输入信号同相。

实验十一利用文氏电路实现了对电路谐振频率的测量，组成了正弦波振荡器。利用双T网络实现了带阻滤波器的效果。通过实验，加深了对于文氏电路和双T网络电路的理解。