

# 电工电子实验论文

## -----分相电路

### 一. 摘要

裂相电路由电阻和电容组成,它吸取了单相电源供电方便,多相整流输出直流平稳,谐波少,功率因数高等优点。电容(电感)两端的电压和通过它们的电流的相位差恒为  $90^\circ$ 。我们也可以把单相交流电源分裂为三相交流电源(相位差为  $120^\circ$ )。利用 Multism12.0 软件仿真,将单相交流电路分裂成两相电源和三相电源,又对裂相后的电路性质进行了一系列的分析,通过测量与作图讨论了电压与负载的关系,讨论负载为感性或容性时的电压负载曲线。并在最后证明了设计电路在空载时功耗最小。

### 二. 关键词

分相 单相交流电源 二相电源 三相电源 负载 空载 电压

### 三. 引言

单项电源是目前常见的而且易于得到的一种电源,实际上,为了适应许多物理环境及工程环境的需要,三项电源的需求已经越来越大。

裂相电路由于吸取了单相电源供电方便、多相整流输出直流平稳、谐波少以及功率因素高等优点,并且克服了单相和多相整流电路在某些方面存在的缺点,故而受到越来越多的欢迎。将单相电源变为两相或三相,产生相位差恒定的电源,能比较好的利用。

### 四. 正文

#### 一. 实验要求

1. 将单相交流电源(220V/50Hz)分裂成相位差为  $90^\circ$  的两相电源。

(1) 两相输出空载时电压有效值相等,为  $150 \times (1 \pm 4\%) \text{ V}$ , 相位差为  $90^\circ \times (1 \pm 2\%)$ 。

(2) 测量并作电压——负载(两负载相等,且为电阻性)特性曲线,到输出电

压  $150(1-10\%)V$ ；相位差为  $90^\circ \times (1-5\%)$  为止。

(3) 测量证明设计的电路在空载时功耗最小。

2. 将单相交流电源 ( $220V/50Hz$ ) 分裂成相位差为  $120^\circ$  对称的三相电源。

(1) 两相输出空载时电压有效值相等，为  $110 \times (1 \pm 4\%)V$ ；相位差为  $120^\circ \times (1 \pm 2\%)$ 。

(2) 测量并作电压—负载（两负载相等，且为电阻性）特性曲线，到输出电压  $110(1-10\%)V$ ；相位差为  $120^\circ \times (1-5\%)$  为止。

(3) 测量证明设计的电路在空载时功耗最小。

3. 若负载分别为感性或容性时，讨论电压——负载特性。

4. 论述分相电路的用途，并举一例详细说明。

## 二. 实验原理

1. 把电源  $U_s$  分裂成  $U_1$  和  $U_2$  两个输出电压。如下图所示为 RC 分相电路中的一种，它可将输入电压  $U_s$  分裂成  $U_1$  和  $U_2$  两个输出电压，且使  $U_1$  和  $U_2$  的相位差为  $90^\circ$ 。

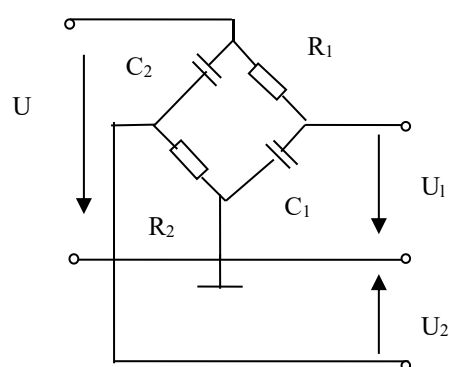


图 (1)

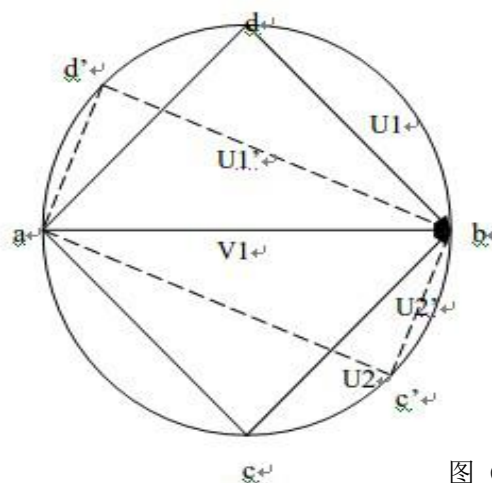


图 (2)

图中输入电压  $U_s$  为交流电，输出电压为  $U_1$  和  $U_2$ ，

由图知它们的关系有：

$$\left| \frac{U_1}{U_s} \right| = \left| \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R_1 C)^2}}$$

$$\left| \frac{U_2}{U_s} \right| = \left| \frac{R_2}{\frac{1}{j\omega C_2} + R_2} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{1}{\omega R_2 C_2} \right)^2}}$$

对输入电压  $U_s$  而言，输出电压  $U_1$  和  $U_2$  的相位为：

$$\varphi_1 = -\arctan \omega R_1 C_1$$

$$\varphi_2 = \arctan \frac{1}{\omega R_2 C_2}$$

或者为：

$$\cot \varphi_2 = \omega R_2 C_2 = -\tan(\varphi_2 + 90^\circ)$$

由此

$$\varphi_2 + 90^\circ = -\arctan \omega R_2 C_2$$

若

$$R_1 C_1 = R_2 C_2 = RC$$

则必有  $\varphi_1 - \varphi_2 = 90^\circ$

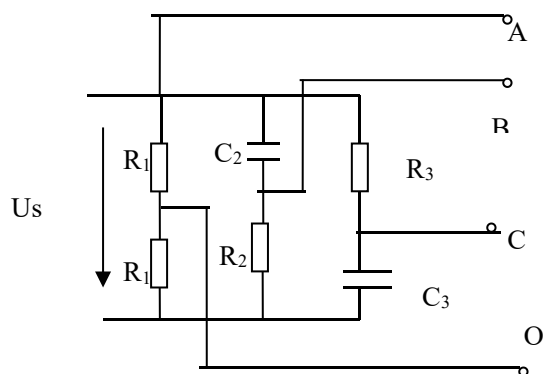
一般而言， $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  与角频率  $\omega$  无关，但为使  $U_1$  和  $U_2$  数值相等，可令

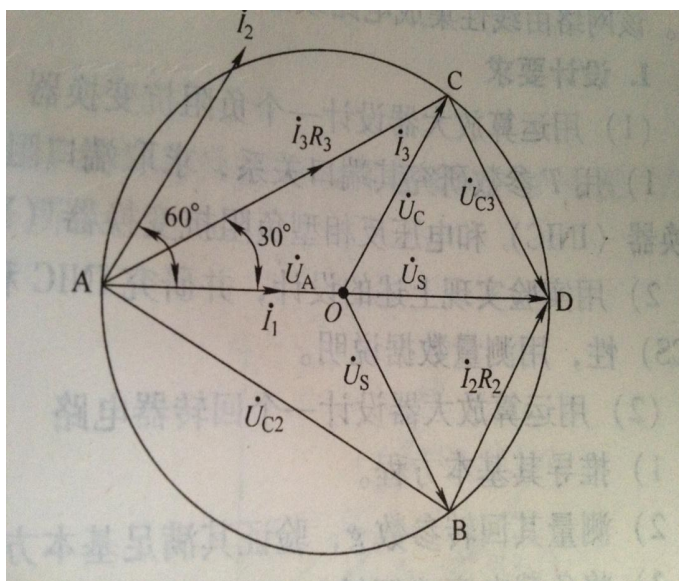
$$\omega R_1 C_1 = \omega R_2 C_2 = 1$$

当上述两条件都满足时则单相交流电被分裂成大小相等、相位差为  $90^\circ$  的两相交流电。

2. 将单相交流电源（220V/50Hz）分裂成相位差为  $120^\circ$  对称的三相电源。

该试验电路图为：





对该图相位差分析如下：

$$X_{C2}/R_2 = \tan 60^\circ$$

$$X_{C3}/R_4 = \tan 30^\circ$$

此时满足  $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$  相位差为  $120^\circ$

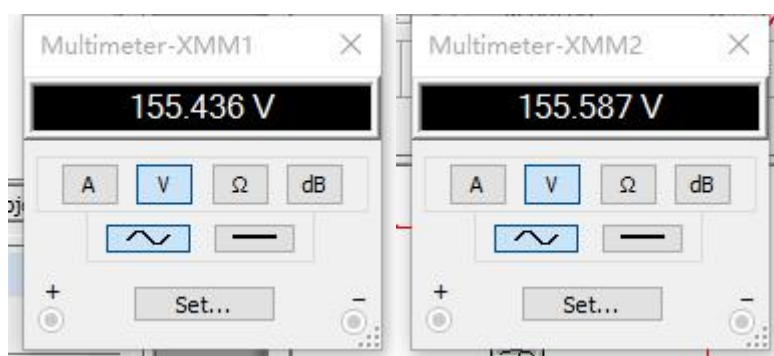
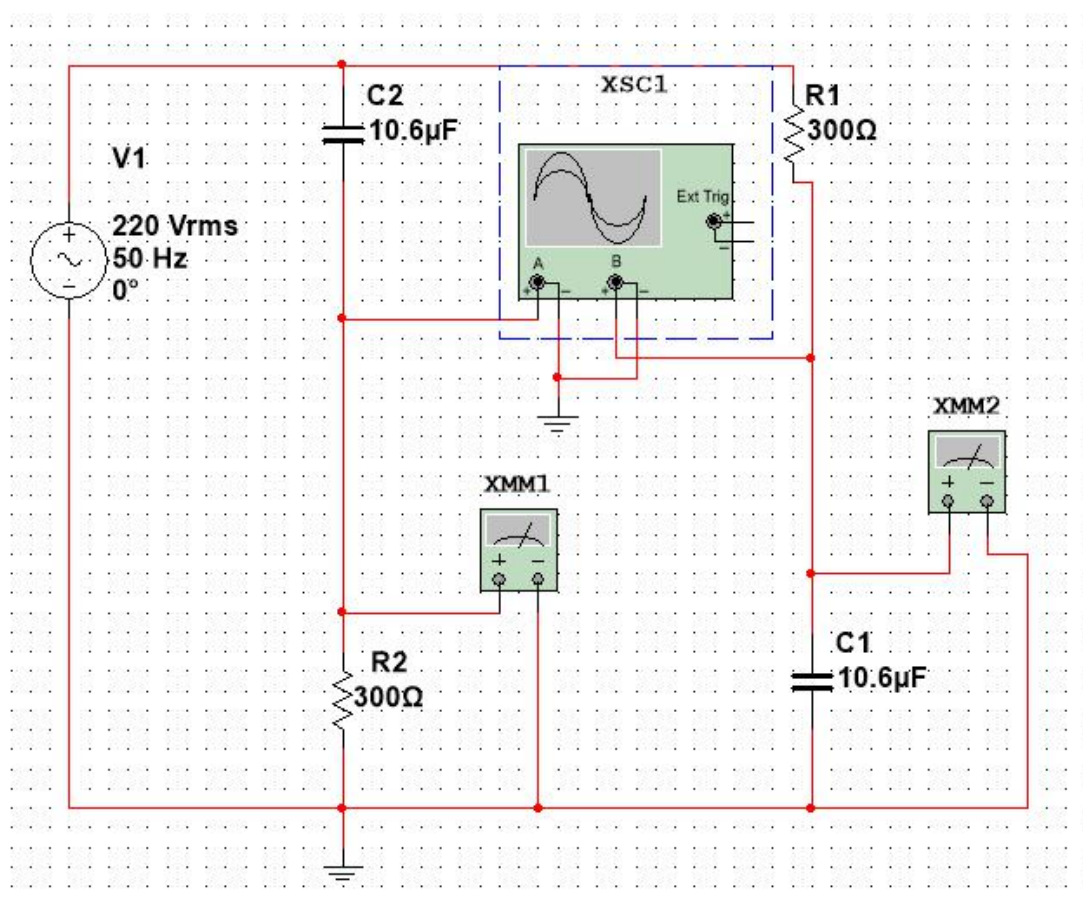
当  $R_2$ ， $R_3$  为  $1k$  欧姆时，通过计算得到  $C_2=1.84\mu F$ ， $C_3=5.52\mu F$ 。

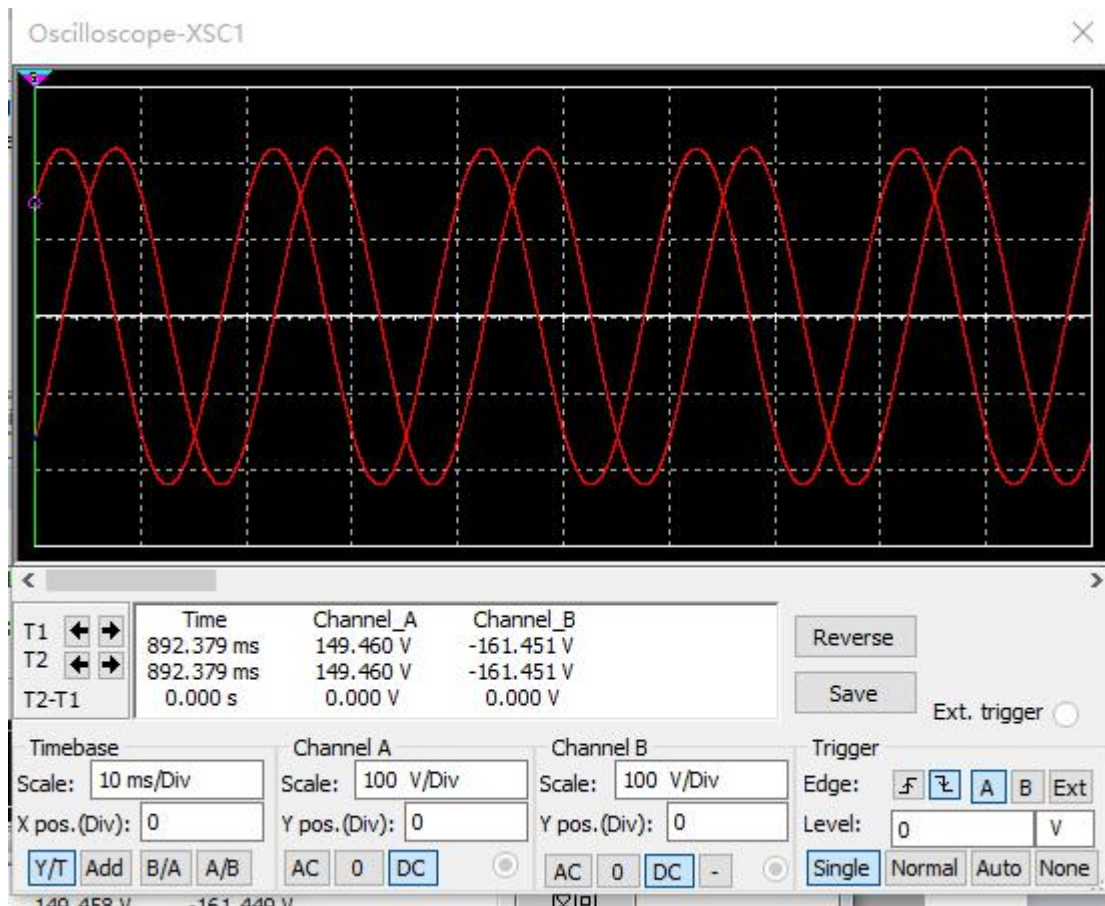
### 三. 实验过程

(一) 将单相交流电源分裂成相位差为  $90^\circ$  的两相电源。

1. 两相输出空载时电压有效值相等，为  $150 \times (1 \pm 4\%) \text{ V}$ ，相位差为  $90^\circ \times (1 \pm 2\%)$ 。

电路图：

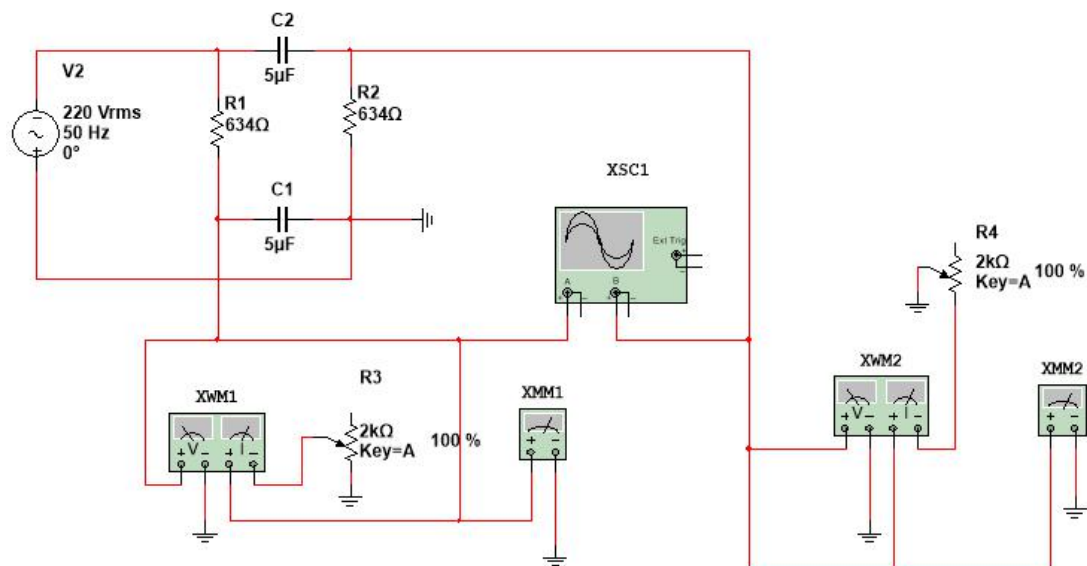




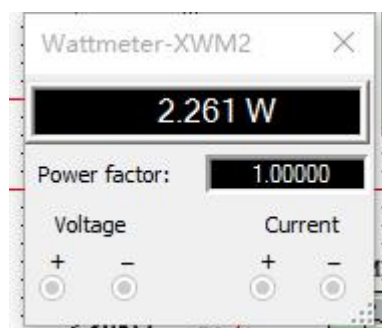
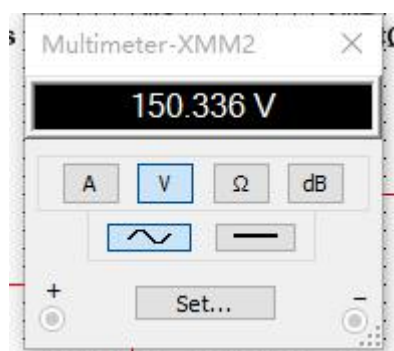
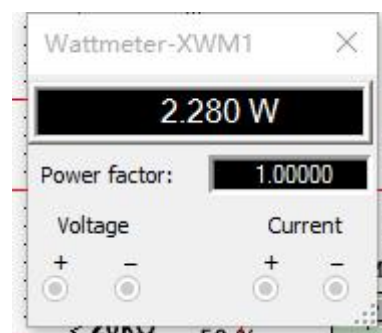
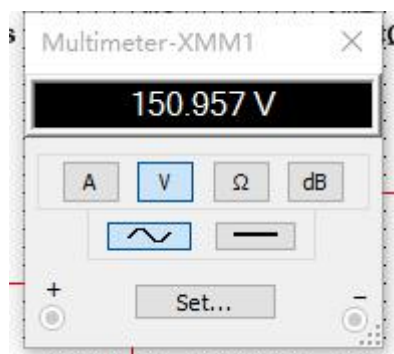
两相输出空载时， $U_1=155.436\text{V}$ ， $U_2=155.587\text{V}$ ，满足条件电压为  $150 \times (1 \pm 4\%)$  V，即在 144 和 156V 之间，且相位差为  $90^\circ \times (1 \pm 2\%)$ 。

2. 测量并作电压——负载（两负载相等，且为电阻性）特性曲线，到输出电压 150（1-10%）V；相位差为  $90^\circ \times (1-5\%)$  为止。

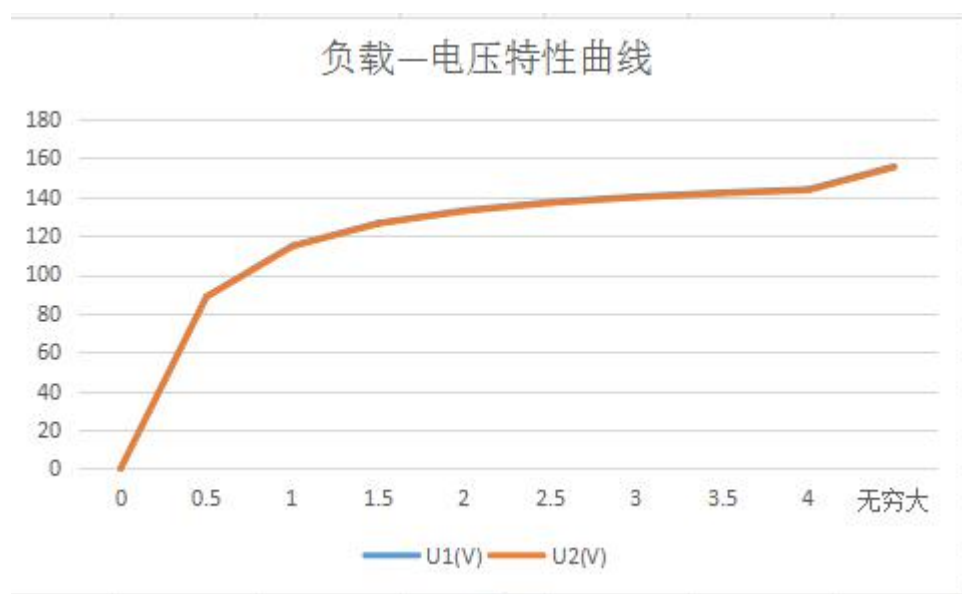
电路图如下所示：



负载空载时：



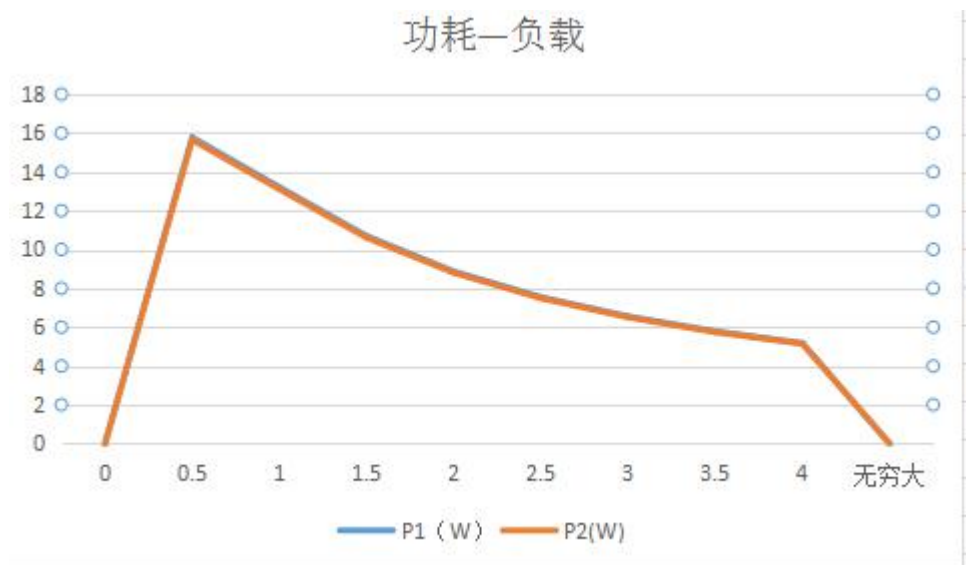
R1=R2 (K $\Omega$ )	U1 (V)	U2 (V)	P1 (W)	P2 (W)
0	0	0	0	0
0.5	88.788	88.423	15.777	15.647
1	114.939	114.466	13.218	13.109
1.5	126.651	126.13	10.699	10.611
2	133.206	132.658	8.877	8.804
2.5	137.368	136.802	7.553	7.491
3	140.255	139.678	6.561	6.507
3.5	142.362	141.776	5.794	5.746
4	143.969	143.376	5.184	5.142
无穷大	155.832	155.199	4.859mW	4.819mW



由数据于图像可知，电压随着负载电阻的增大而增大。但是增大的趋势逐渐减少，逐渐趋向于稳定值，最终趋向于空载电压输出值 155V 左右。同时负载电阻阻值的变化，对相位差并没有明显影响，始终保持在  $90^\circ$  左右。由于两相电源的有效值相差无几，故在折线图中两曲线重合。

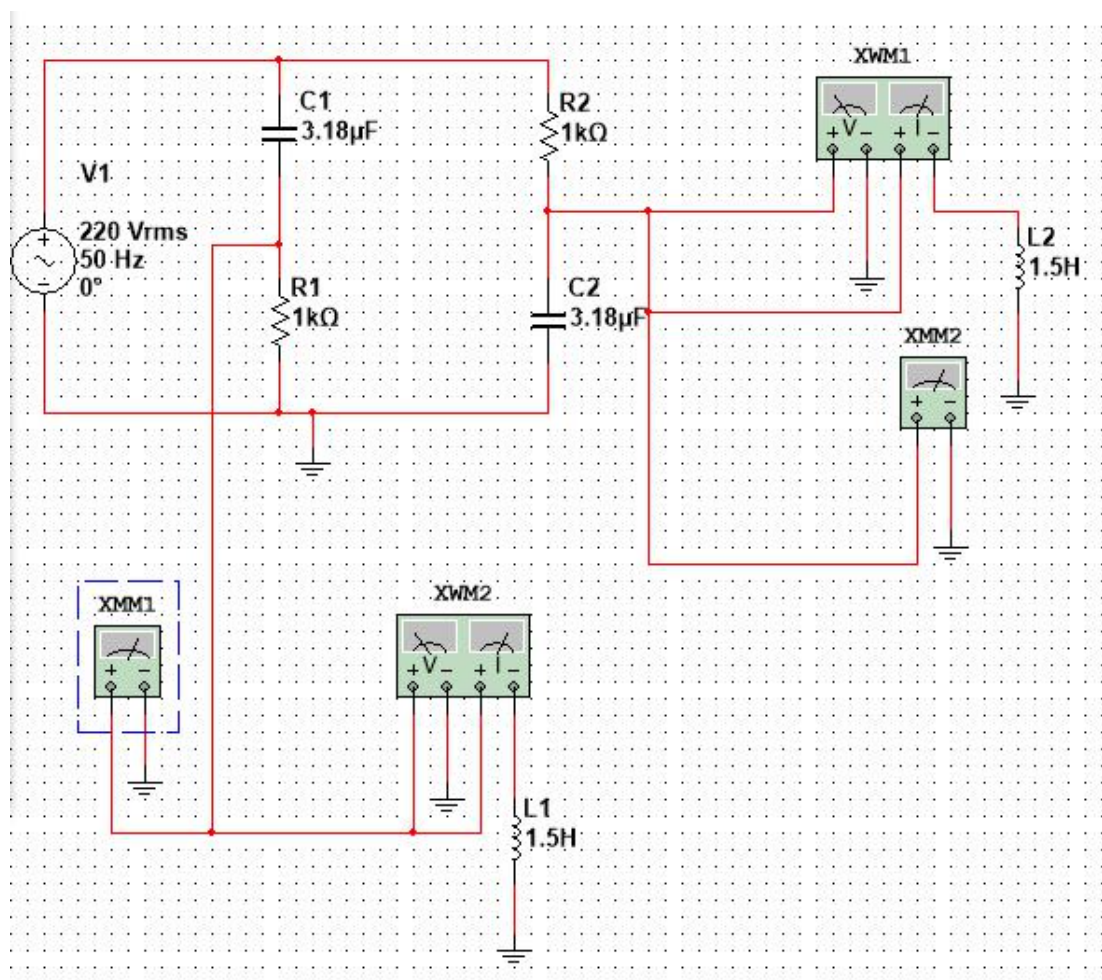


3. 测量证明设计的电路在空载时功耗最小。



由上图可知，空载时我们可以看作是负载无穷大，由上图我们可以发现负载越大，功耗越小，且越来越接近空载时的功耗，由此可以证明设计的电路在空载时功耗最小。

4. 测量并作电压——负载（两负载相等，且为感性）特性曲线，到输出电压 150 (1-10%) V；相位差为  $90^\circ \times (1-5\%)$  为止。

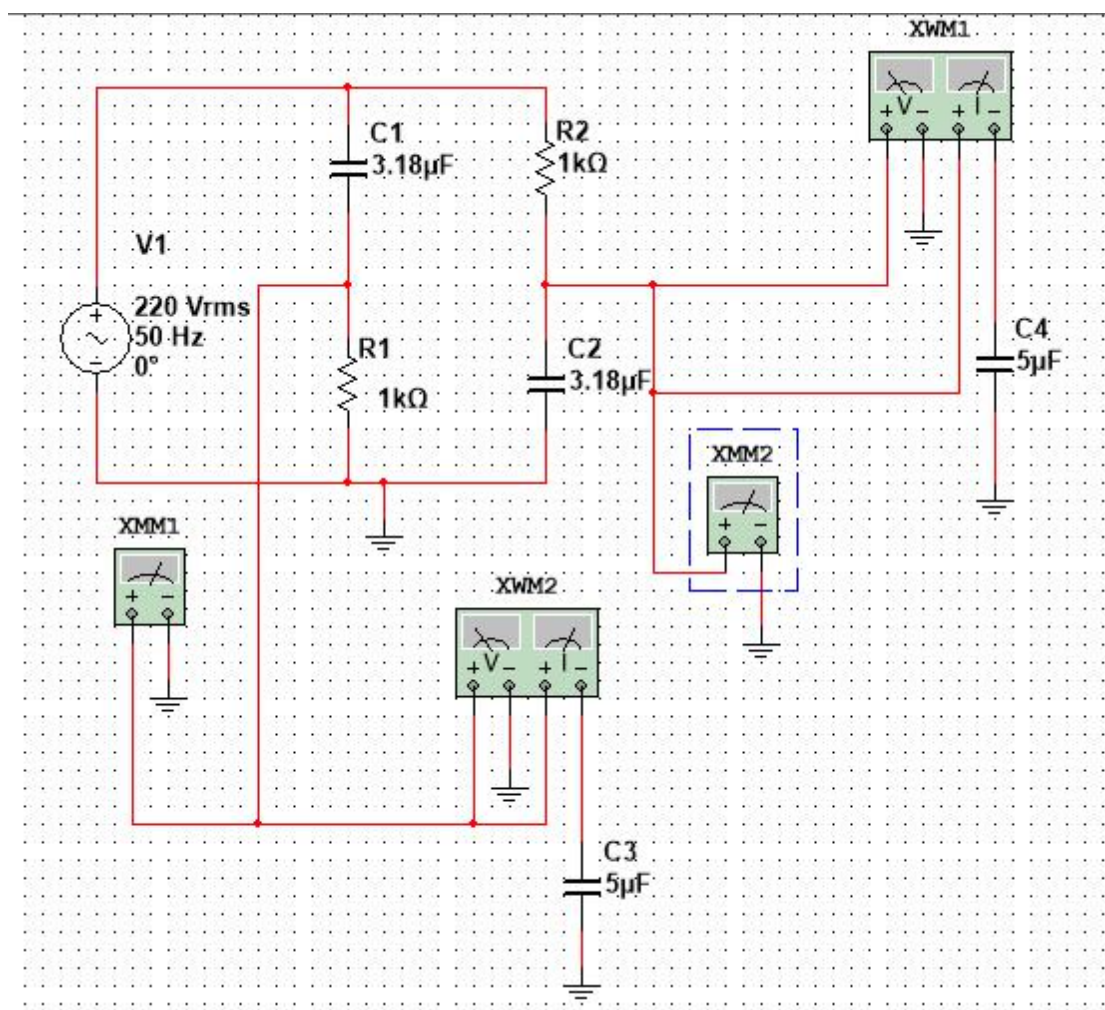


L1=L2 (H)	U1 (V)	U2 (V)
0.2	14.701	14.716
0.5	40.257	40.297
1	91.497	91.586
1.5	146.16	146.303
3	219.365	219.578
6	199.025	199.219
9	184.669	184.849
15	172.729	172.897
30	163.941	164.101
60	159.665	159.821
无穷大	155.438	155.639

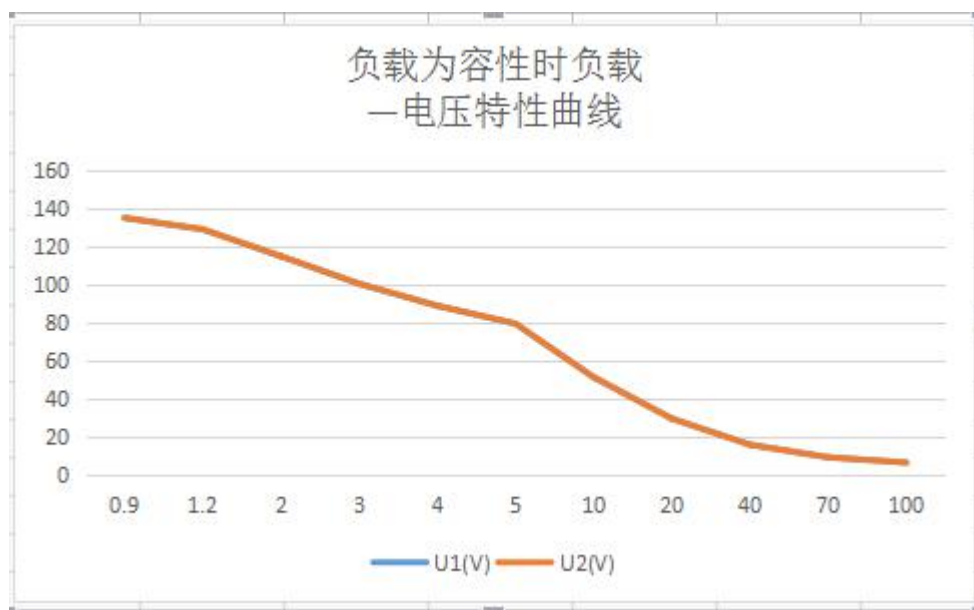


由数据和曲线可知电压随电感的增加先增大后趋向于 155V。

5. 测量并作电压——负载（两负载相等，且为容性）特性曲线，到输出电压 150（1-10%）V；相位差为  $90^\circ \times (1-5\%)$  为止。



C (uF)	U1 (V)	U2 (V)
100	6.777	6.784
70	9.551	9.56
40	16.158	16.174
20	29.901	29.93
10	51.597	51.647
5	79.707	79.781
4	89.076	89.163
3	100.639	100.737
2	115.069	115.181
1.2	129.209	129.335
0.9	135.194	135.325

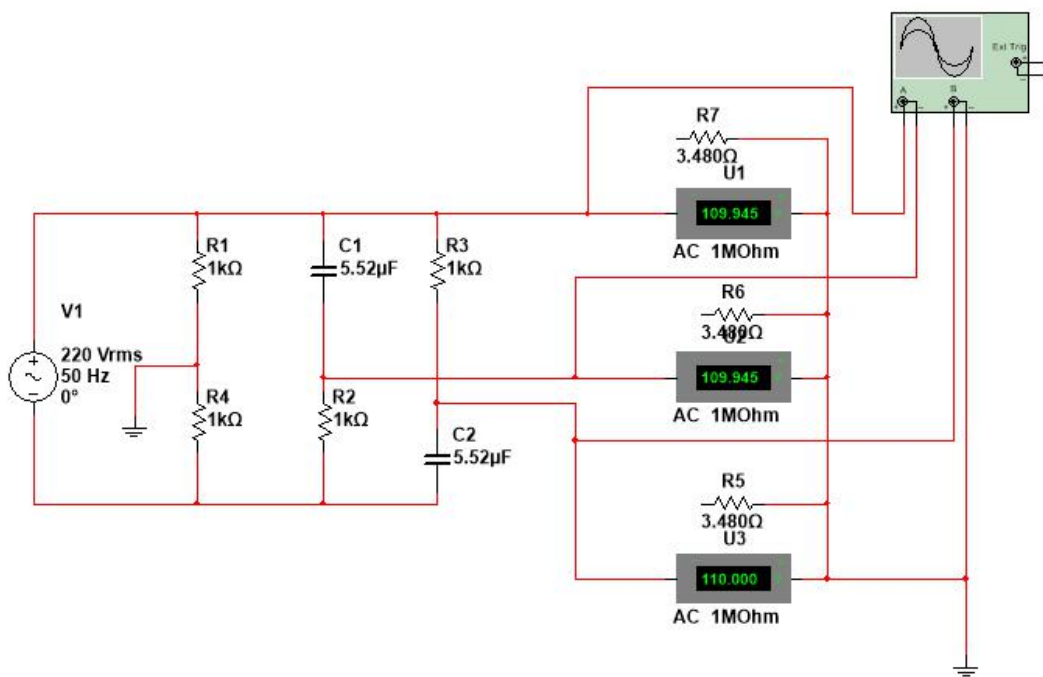


由图像可知当电容  $C$  增大时，电压随之减小，事实上经过测试可知当电容值比表中所列值继续减小时，电压的增幅越来越小，并逐渐趋于稳定，稳定值在 155V 左右，接近空载时的电压输出值。两相间的相位差比较稳定，电容值的变化对其并无太大影响，始终稳定在  $90^\circ$  左右。且两负载电容上的电压值基本相同，所以图中两曲线基本重合。

(二) 将单相交流电源 (220V/50Hz) 分裂成相位差为  $120^\circ$  对称的三相电源。

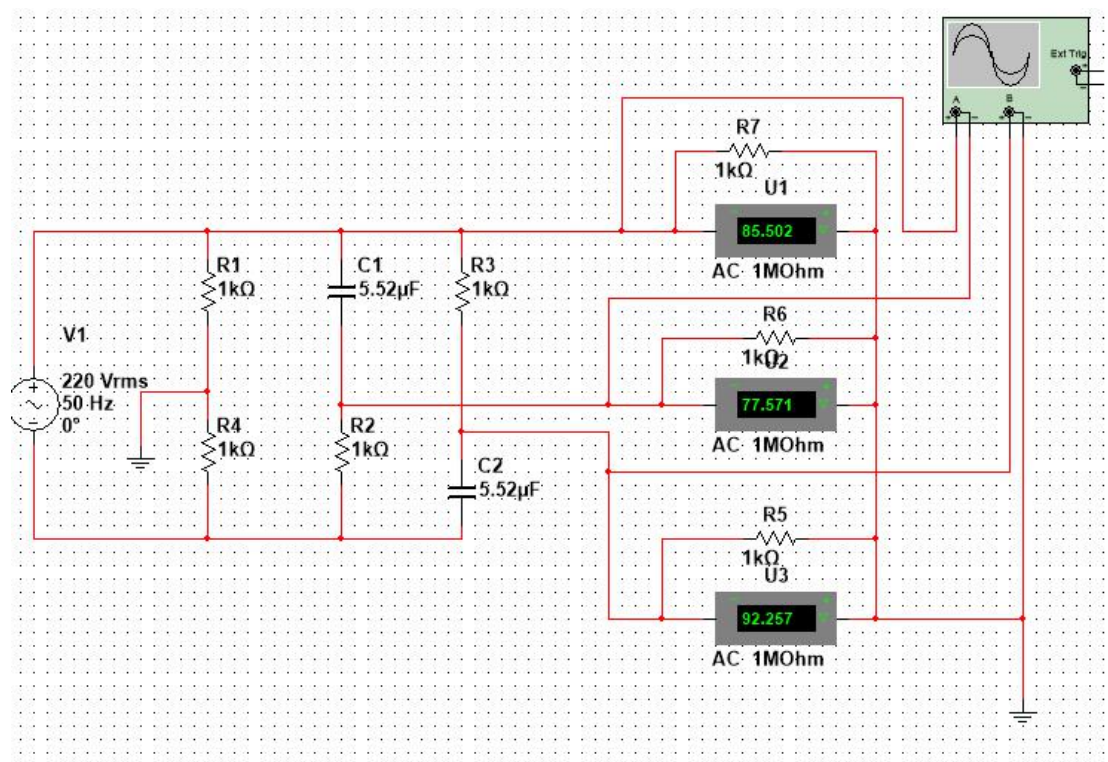
1. 两相输出空载时电压有效值相等，为  $110 \times (1 \pm 4\%)$  V；相位差为  $120^\circ \times (1 \pm 2\%)$ 。

电路图为：



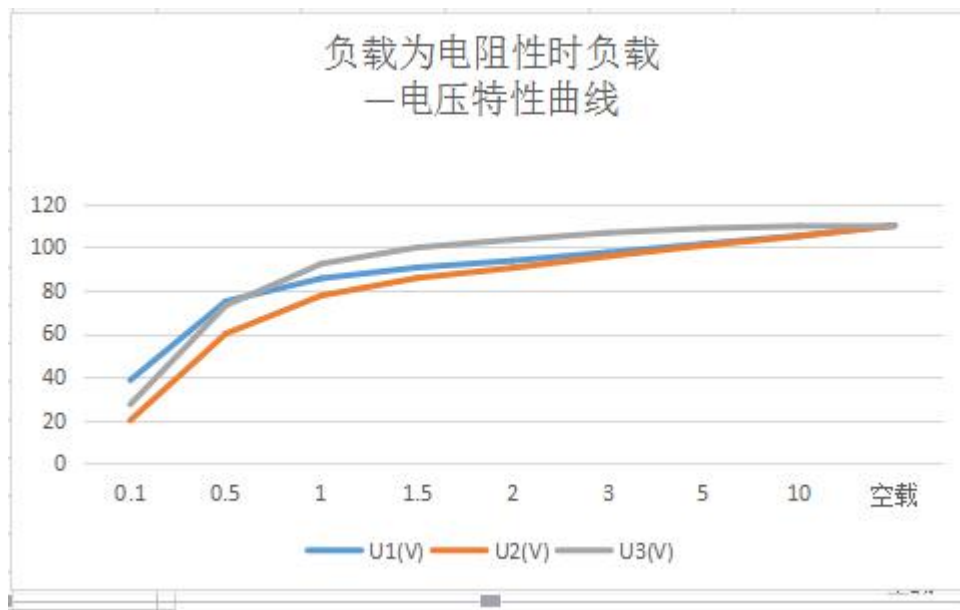
空载时， $U_1=109.945\text{V}$ ,  $U_2=109.945\text{V}$ ,  $U_3=110.000\text{V}$ ，满足条件，且相位差也满足条件。

2. 测量并作电压——负载（两负载相等，且为电阻性）特性曲线，到输出电压 110（1-10%）V；相位差为  $120^\circ \times (1-5\%)$  为止



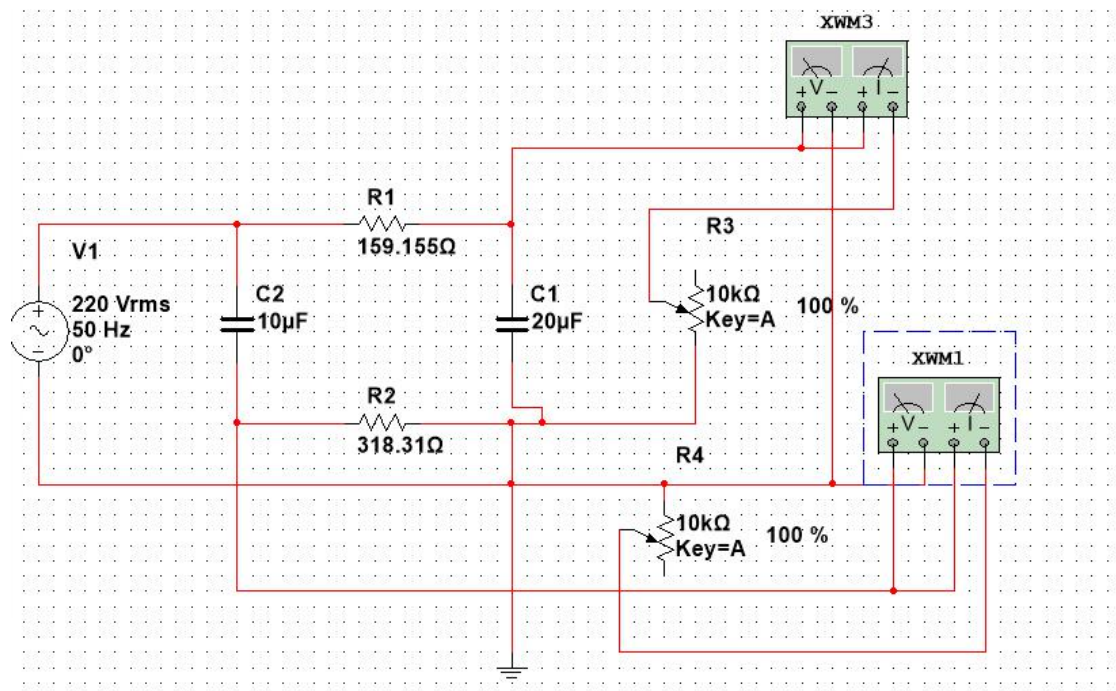


R (K $\Omega$ )	U1 (V)	U2 (V)	U3 (V)
0.1	38.570	20.031	27.404
0.5	74.952	59.996	73.029
1	85.502	77.571	92.257
1.5	90.505	85.655	99.731
2	93.640	90.335	103.307
3	97.480	95.711	106.530
5	101.403	100.627	108.572
10	105.165	104.933	109.620
空载	109.917	109.910	109.972

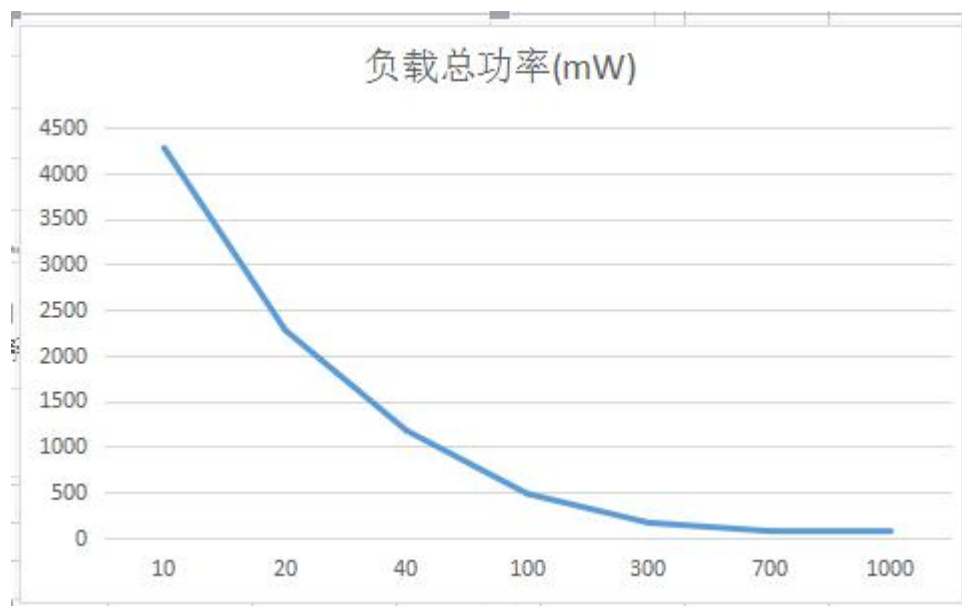




3. 测量证明设计的电路在空载时功耗最小。



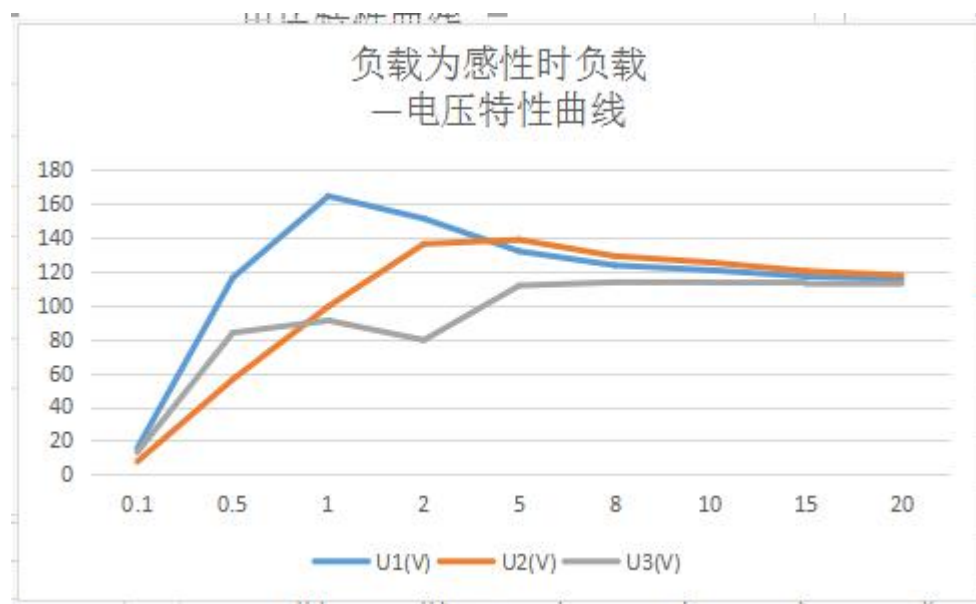
R (K Ω )	P1 (mW)	P2 (mW)	P 总 (mW)
10	2084	2190	4274
20	1123	1151	2274
40	582. 728	590. 065	1172. 793
100	238. 393	239. 592	477. 985
300	80. 263	80. 398	160. 661
700	34. 497	34. 522	69. 019
1000	24. 163	24. 176	48. 339



从变化曲线可以看出消耗功率随负载的增大而减小，当负载趋于无穷大，即空载时功率最小，所以电路在空载时功率是最小的。

4) 负载为感性时，将电路图中的 R5, R6, R7 改为  $L1=L2=L3=L$

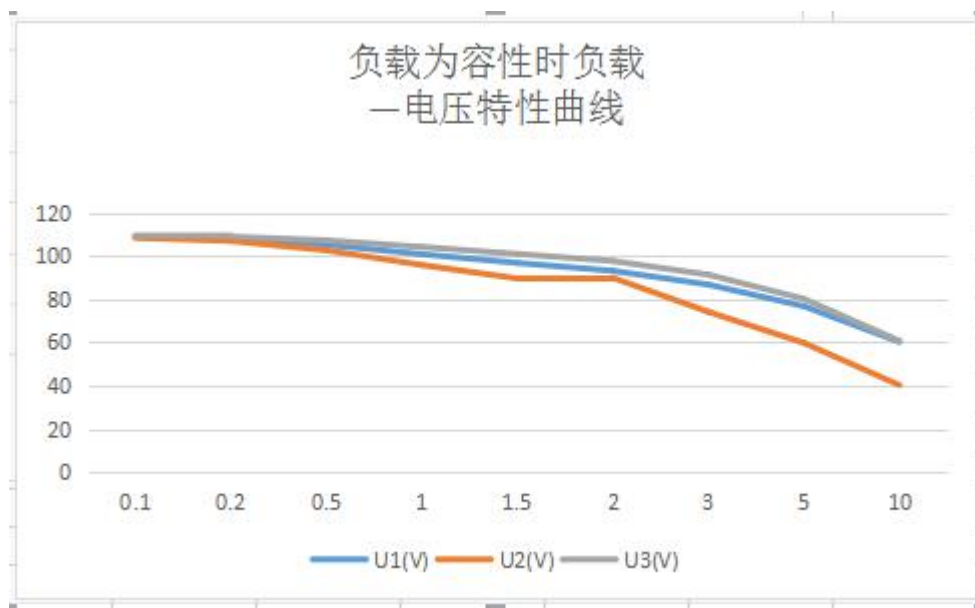
L (H)	U1 (V)	U2 (V)	U3 (V)
0.1	15.615	7.610	13.140
0.5	116.228	56.224	83.722
1	164.434	99.258	90.963
2	151.118	136.183	79.379
5	131.822	138.650	111.616
8	123.520	128.971	113.519
10	120.696	125.262	113.359
15	116.997	120.160	112.665
20	115.176	117.609	112.123



由图中曲线趋势可以看出随着负载电感值的增大，电感两端的电压先增大后减小，最终趋于稳定，稳定值在 110V 左右。

5) 负载为容性时，将电路图中的 R5, R6, R7 改为 C3=C4=C5=C

C (uF)	U1 (V)	U2 (V)	U3 (V)
0.1	108.964	108.405	109.444
0.2	107.984	106.933	108.914
0.5	105.166	102.616	107.223
1	100.802	95.815	104.150
1.5	96.773	89.575	100.910
2	93.123	89.909	97.655
3	86.754	74.163	91.315
5	76.762	59.806	80.166
10	60.314	40.310	60,746



由上可知：容性、感性、阻性负载的电压-负载特性与有很大的不同，容性负载电压随负载增大而逐渐衰减为零，感性负载电压随电压增大先增大然后再衰减，最后趋于稳定，且不为零。阻性负载电压随负载增大而增大，最后趋于空载电压。

## 五.结论

### (1)实验结论

- 1、设计电阻值时应该尽量要小，这样能够拓宽负载范围而不使电压衰减过大。但同时也有另外一个问题，裂相电阻过小时，空载时电源消耗的功率也是非常大的，裂相电路中的电阻可能烧毁。所以在实际中应该权衡电源功率与负载范围。
- 2、分相电路可以提供更多的接口，使各负载之间能够分开，而不需要同时并联到哪一单相电源上，用电更加安全。
- 3、阻性负载时，负载越大，得到的电压越稳定，越接近理论值。
- 4、空载时，电阻趋向无穷大，此时功耗最小。当负载为容性时，负载越小，得到的电压越稳定，越接近理论值。当负载为感性时，电压先随负载的增大而增大，而后随负载的增大而减小。
- 5、在空载时设计的两个电路可以完好的达到设计要求，电压值与相位差值均在

误差范围内；

6、负载为容性时，电压随电容的减小而增大并逐渐趋于稳定；

7、负载为感性时，电压随电感的增大先增加后减小并逐渐趋于稳

8、利用 RC，RL 桥式电路可以将单相交流电源裂相成二相或三相电源。主要是利用了电容及电感与电阻时间的相位差及电容和电感正常工作时不消耗功率的特性。

9、设计两相裂相电源时，应让两裂相电路中的电阻值相等，电容值相等，这样在有相同负载时仍能使得两相电源幅值相等，相位差不变。

## 六. 致谢

在这里首先要感谢本校基础实验楼里的老师与员工们，没有他们的辛勤劳动就不会有今天的实验成果。然后，我还要感谢教我基础知识的老师们，正是他们的谆谆教诲让我有了做电工电子实验的基础，让我感受到了实验带来的乐趣。最后我要感谢在我遇到困难时给我帮助的同学，他们的支持给我带来了动力。

## 七. 参考文献

- 1、《电工仪表与电路实验技术》马鑫金主编 机械工业出版社
- 2、《电路》黄锦安主编 机械工业出版社