

浙江大学实验报告

专业： 电气工程及其自动化
姓名： 潘谷雨
学号： 3220102382
日期： 2025.5.22
地点： 教二 115

课程名称： 电力电子技术 指导老师： 胡鹏飞、赵建勇 成绩：
实验名称： 单相交流调压电路实验

一、 实验目的和要求

1、实验目的

- (1) 理解单相交流调压电路的工作原理
- (2) 理解单相交流调压电路带电阻、电感性负载对脉冲移相范围的要求
- (3) 理解单相交流调压电路失控的原理

2、实验报告要求

- (1) 整理、画出实验中所记录的各类波形
- (2) 分析电阻电感性负载时， α 角与 φ 角相应关系的变化对调压器工作的影响
- (3) 分析实验中出现的各种问题

二、 实验内容和原理

1、实验原理

本实验触发脉冲部分可以采用 KC05 晶闸管集成移相触发器。该触发器适用于双向晶闸管或两个反向并联晶闸管电路的交流相位控制，具有锯齿波线性好、移相范围宽、控制方式简单、易于集中控制、有效保护、输出电流大等优点。

单相晶闸管交流调压器的主电路由两个反向并联的晶闸管组成，如图 1 所示。图中电阻 R 用 D42 三相可调电阻，将两个 900 Ω 接成并联接法，晶闸管则利用 DJK02 上的反桥元件，交流电压、电流表由 DJDK-3W 控制屏上得到，电抗器 L_d 从 DJK02 上得到，用 700mH。

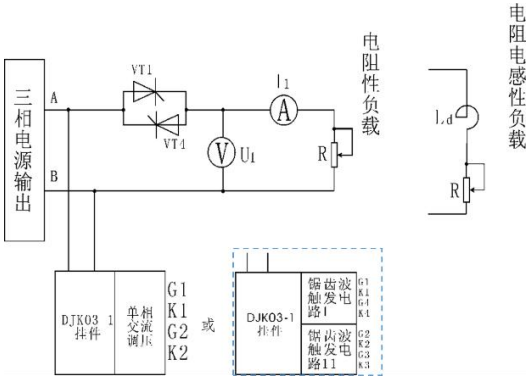


图 1 单相交流调压主电路原理图

2、实验内容

- (1) 线路阻抗角相关参数测量、计算
- (2) 单相交流调压电路带电阻性负载
- (3) 单相交流调压电路带电阻电感性负载

三、 主要仪器设备

序号	型 号	备 注
1	DJDK-3W 电源控制屏	该控制屏包含“三相电源输出”等几个模块。
2	DJK02 晶闸管主电路	该挂件包含“晶闸管”以及“电感”等模块。
3	DJK03-1 晶闸管触发电路	该挂件包含“单相交流调压触发电路”、“锯齿波触发电路”等模块。
4	D42 三相可调电阻	
5	双踪示波器	
6	万用表	

四、 操作方法和实验步骤

1、晶闸管移相触发电路调试

通过操作控制屏左侧的自藕调压器，将输出的线电压调到 220V 左右，断电后用两根导线将 220V 交流电压接到 DJK03 的“外接 220V”端，按下“启动”按钮，打开 DJK03 电源开关，锯齿波同步移相触发电路调试：其调试方法与实验一相同。令 $U_{ct}=0$ 时（RP2 电位器顺时针转到底） $\alpha > 150^\circ$

2、单相交流调压带电阻性负载

将 DJK02 面板上的两个晶闸管反向并联而构成交流调压器，将触发器的输出脉冲端“G1”、“K1”、“G2”和“K2”分别接至主电路相应晶闸管的门极和阴极。接上电阻性负载，用示波器观察交流输出电压、晶闸管两端电压 U_{VT} 的波形。调节“单相调压触发电路”上的电位器 RP2，观察在不同 α 角时各点波形的变化，并记录 $\alpha=30^\circ$ 、 60° 、 90° 、 120° 时的波形

3、单相交流调压接电阻电感性负载

(1) 在进行电阻电感性负载实验时，需要调节负载阻抗角的大小，因此应该知道电抗器的内阻和电感量。常采用直流伏安法来测量内阻，如图 2 所示。电抗器的内阻为 $R_L=U_L/I$ 。电抗器的电感量可采用交流伏安法测量（选做，电感值默认为 700mH），如图 3 所示。由于电流对电抗器的电感量影响较大，采用自藕调压器调压，多测几次取其平均值，从而可得到交流阻抗，须接近额定电流测定（1A）。

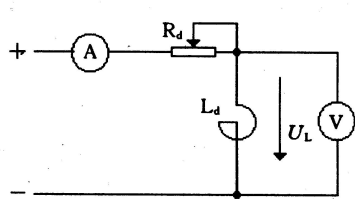


图 2 用直流伏安法测电抗器内阻

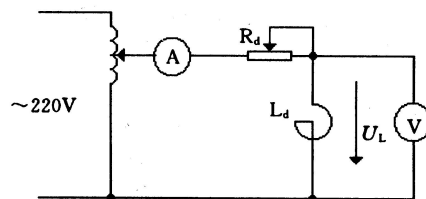


图 3 用交流伏安法测定电感量

$$Z_L = \frac{U_L}{I}$$

电抗器的电感为

$$L = \frac{\sqrt{Z_L^2 - R_L^2}}{2\pi f}$$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R_d + R_L}$$

这样，即可求得负载阻抗角。在实验中，欲改变阻抗角，只需调节电阻器 R 的电阻值即可（建议滑动变阻器阻值调到最大，450Ω）。

（2）切断电源，将 L 与 R 串联，改接为电阻电感性负载。按下“启动”按钮，用双踪示波器同时观察晶闸管端电压和交流输出电压的波形。固定滑动变阻器阻值，使阻抗角为一定值,观察在不同α角时波形的变化情况，记录α=90°、α=60°、α=φ、α<φ（失控）四种情况下晶闸管端电压和交流输出电压。

五、 实验数据记录和处理

1、单相交流调压带电阻性负载

当α=30°，输出电压 Uo、晶闸管电压 UVT 波形如图 1.1 所示（上为 UVT，下为 Uo）。

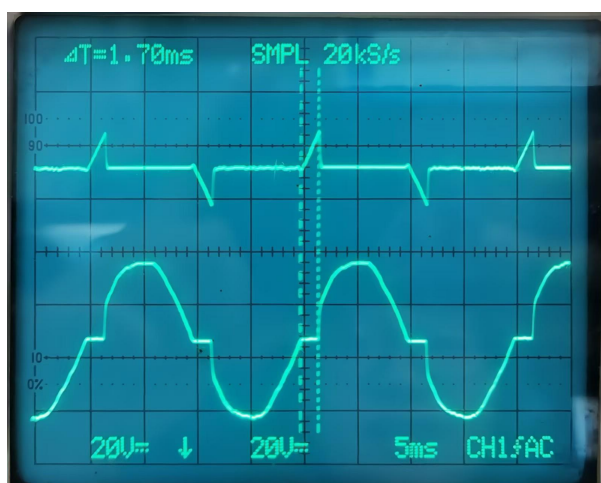


图 1.1 输出电压 Uo、晶闸管电压 UVT 波形（电阻性负载，α=30°）

当α=60°，输出电压 Uo、晶闸管电压 UVT 波形如图 1.2 所示（上为 UVT，下为 Uo）。

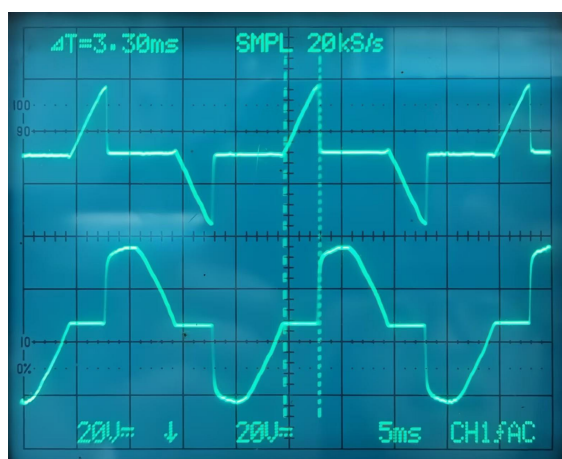


图 1.2 输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形（电阻性负载， $\alpha = 60^\circ$ ）

当 $\alpha = 90^\circ$ ，输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形如图 1.3 所示（上为 U_{VT} ，下为 U_o ）。



图 1.3 输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形（电阻性负载， $\alpha = 90^\circ$ ）

当 $\alpha = 120^\circ$ ，输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形如图 1.4 所示（上为 U_{VT} ，下为 U_o ）。

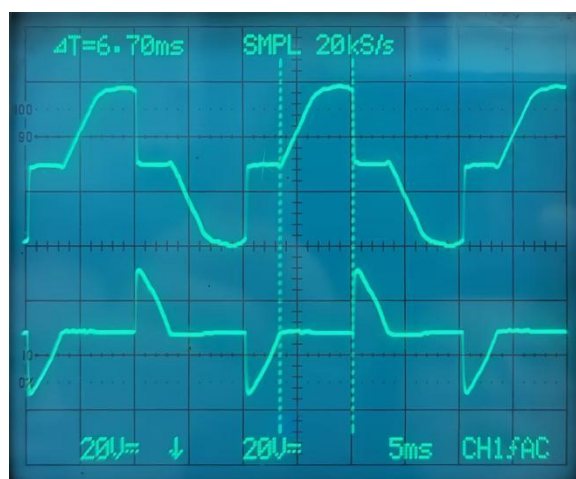


图 1.4 输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形（电阻性负载， $\alpha = 120^\circ$ ）

2、单相交流调压接电阻电感性负载

(1) 测量负载阻抗角的大小

直流伏安法测量电感的电阻值大小，得到数据如表 1 所示，电感为 700mH。

表 1 电感电流及两端电压记录

U/V	I/mA	R 计算值/ Ω	R 平均值/ Ω
0.311	29.77	10.45	10.39
0.403	38.84	10.38	
0.511	49.41	10.34	

调节滑动变阻器 R_d 的大小，在不同的直流电压下测量电流，根据公式 $R_L = U_L / I_L$ ，得到电感的平均电阻大小 R_L 为 10.39Ω 。

由于实验条件限制， L 取理论值为 700mH，实验中滑动变阻器调到最大， R_d 为 450Ω ，根据公式 $\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R_d + R_L}$ ，得到计算的负载阻抗角大小为 25.53° 。

(2) 观察晶闸管端电压和交流输出电压波形

当 $\alpha = 60^\circ$ ，输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形如图 2.1 所示（上为 U_{VT} ，下为 U_o ）。

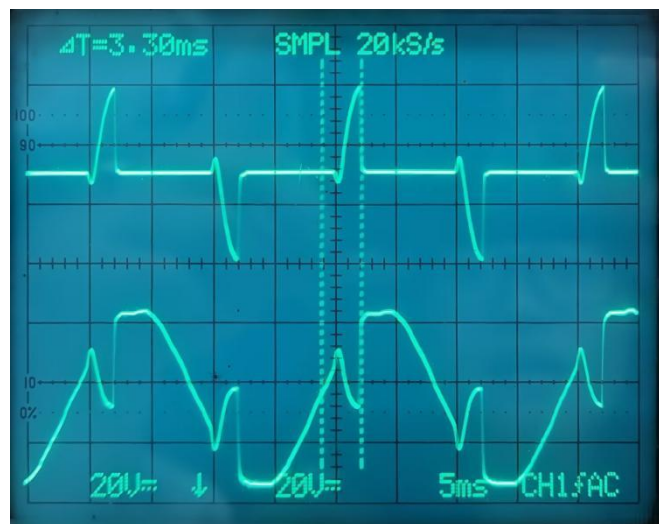


图 2.1 输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形（电阻性负载， $\alpha = 60^\circ$ ）

当 $\alpha = 90^\circ$ ，输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形如图 2.2 所示（上为 U_{VT} ，下为 U_o ）。

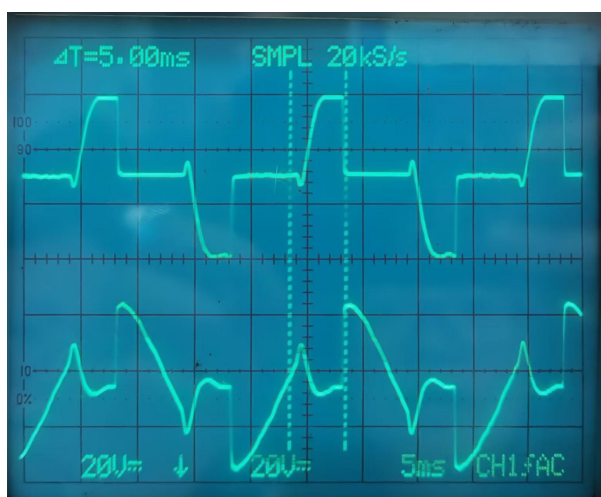


图 2.2 输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形（电阻性负载， $\alpha = 90^\circ$ ）

当 $\alpha = \varphi$ ，输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形如图 2.3 所示（上为 U_{VT} ，下为 U_o ）。

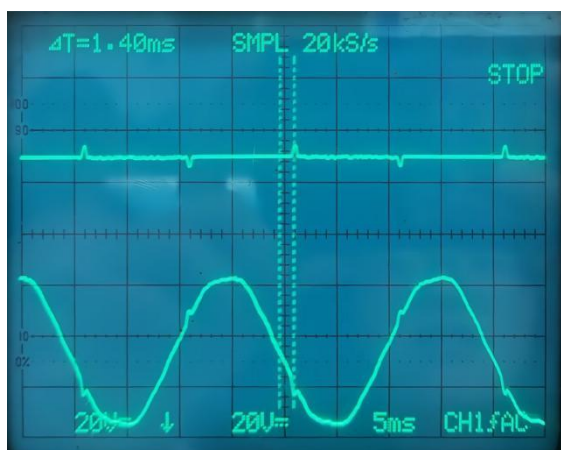


图 2.3 输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形（电阻性负载， $\alpha = \varphi$ ）

当 $\alpha < \varphi$ （失控），输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形如图 2.4 所示（上为 U_{VT} ，下为 U_o ）。

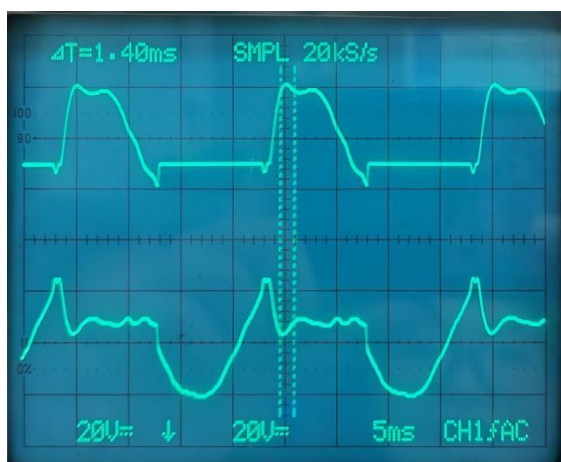


图 2.4 输出电压 U_o 、晶闸管电压 U_{VT} 波形（电阻性负载， $\alpha < \varphi$ （失控））

六、实验结果与分析

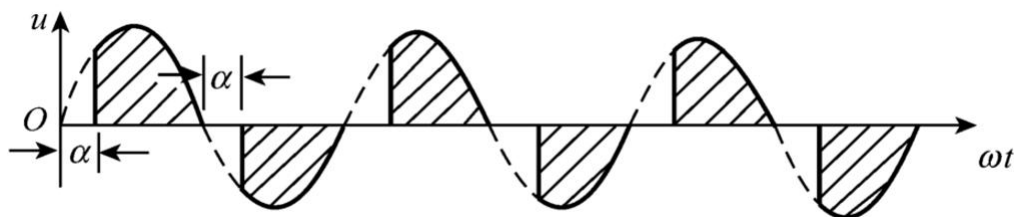


图 4 理论输出波形

$\alpha > \varphi$ 时，晶闸管的触发角大于负载的阻抗角，晶闸管能够可靠关断，能控制输出电压调压器正常工作，电阻性负载波形符合图 4 所示理论波形，随着 α 的增大，晶闸管的导通时间减少，输出电压与电流呈现减小趋势；对于电阻电感性负载，由于电感的存在，电流不能瞬间中断，因此会发生换流现象。晶闸管端电压 U_{VT} 的波形在导通期间为零，断开期间为电源电压；输出电压 U_o 的波形则在晶闸管导通期间接近电源电压，断开期间为零，二者重叠可以得到完整正弦波形。

$\alpha = \varphi$ 时，晶闸管的触发角与负载的阻抗角相等，电路处于临界状态，晶闸管的导通时间刚好能够维持负载的正常工作，输出电压的波形为较平滑的正弦波，调压器没有调压的作用。

$\alpha < \varphi$ 时，晶闸管的触发角小于负载的阻抗角，晶闸管无法可靠关断，仅其中一个晶闸管导通，输出为单向脉冲波，电路失控。继续减小 α ，将出现晶闸管两端电压 U_{VT} 为平滑正弦波、输出电压 U_o 为 0 的现象，这是因为过小的触发角使得触发电路无法生成有效的触发脉冲，晶闸管始终不导通。

七、思考、心得与体会

1、实验心得与体会

在本次实验中，我通过调整触发角，观察了不同 α 值下输出电压 U_o 和晶闸管两端电压 U_{VT} 的变化，加深了对单相交流调压电路工作原理的理解。在电阻性和电阻电感性负载条件下，观察到 α 角与 φ 角的相应关系及其对电路工作的影响，尤其是当 $\alpha < \varphi$ 时电路出现失控现象，进一步理解了脉冲移相范围的重要性，证明了阻抗角 φ 对电路稳定性的重要影响。此实验不仅验证了理论知识，还提高了动手能力和解决实际问题的能力，为进一步深入理解电力电子技术奠定了基础。

2、思考题

(1) 交流调压在带电感性负载时可能会出现什么现象?为什么?如何解决?

感性负载时，电流波形滞后于电压波形，会产生反向的感应电动势，电压过零变为负值后，还需要经过一个延滞角，电流才会降到 0，因此已经导通的晶闸管也要经过一个延迟角才能关断。接零后就能有效

吸收感性元件产生的脉冲，使得调压能够稳定工作。

本实验中的观察的结论如下： $\alpha < \varphi$ 时，电路失控；输出为单向脉冲波，含有较大直流分量，会对电机、电源变压器之类的小电阻、大电感形状负载带来严重危害；可以采取宽脉冲触发方式避免这种情况的发生。

（2）交流调压有哪些控制方式？有哪些应用场合？

交流调压的控制方式主要有周波控制调压、相位控制调压、斩波控制调压。

交流调压电路可以用于灯光控制及异步电动机的软起动，也用于异步电动机的调速。在电力系统中，还常用于对无功功率进行连续调节。在高电压小电流或低电压大电流的直流电源中，也常采用交流调压电路调节变压器的一次电压。交流调压广泛应用于调压调速、恒流软起动，交流负载的功率调节、灯光调节，供电系统无功调节，用作交流无触点开关、固态继电器等。