

# 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： 2025.4.23  
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： 三相桥式全控整流及有源逆变电路实验

## 一、 实验目的和要求

### 1、实验目的

- (1) 了解 KC 系列集成触发器的调整方法和各点的波形
- (2) 加深理解三相桥式全控整流及有源逆变电路的工作原理

### 2、实验报告要求

- (1) 画出电路的移相特性  $U_d = f(\alpha)$
- (2) 画出 $\alpha=30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $150^\circ$ 时的整流电压  $U_d$  和晶闸管两端电压  $U_{VT}$  的波形
- (3) 简单分析模拟的故障现象

## 二、 实验内容和原理

### 1、实验原理

实验线路如图 1 及图 2 所示。主电路由三相全控整流电路及作为逆变直流电源的三相不控整流电路组成，触发电路为 DJK02-1 中的集成触发电路，由 KC04、KC41、KC42 等集成芯片组成，可输出经高频调制后的双窄脉冲链。

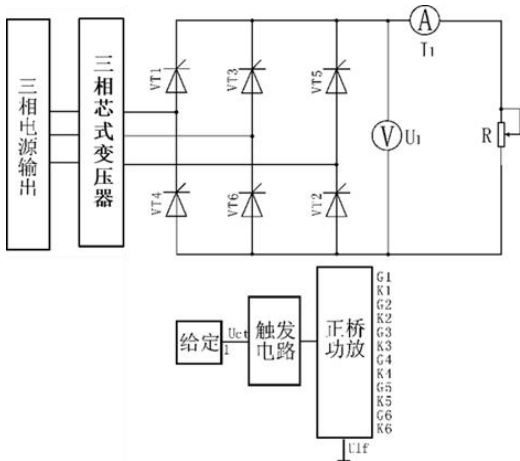


图 1 三相桥式全控整流电路实验原理图

在三相桥式有源逆变电路中，电阻、电感与整流的一致，而三相不控整流及芯式变压器均在 DJK10 挂件上，其中芯式变压器用作升压变压器，逆变输出的电压接芯式变压器的中压端 Am、Bm、Cm，返回

电网的电压从高压端 A、B、C 输出，变压器接成 Y/Y 接法。图中的 R 均使用 D42 三相可调电阻，将两个 900Ω接成并联形式；电感  $L_d$  在 DJK02 面板上，选用 700mH，直流电压、电流表由 DJK02 获得。

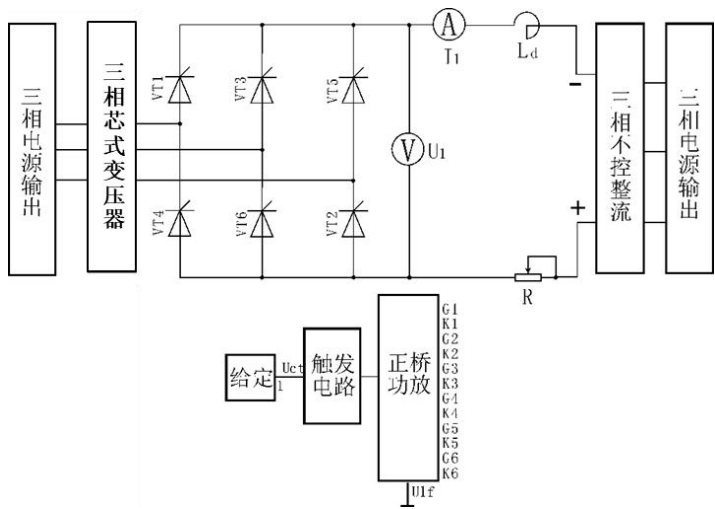


图 2 三相桥式有源逆变电路实验原理图

2、实验内容

- (1) 三相桥式全控整流电路
- (2) 三相桥式有源逆变电路
- (3) 在整流和有源逆变状态下，当触发电路出现故障(人为模拟)时观测主电路的各电压波形

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	/
3	DJK02-1 三相晶闸管触发电路	该挂件包含“触发电路”,“正反桥功放”等几个模块。
4	DJK06 给定及实验器件	该挂件包含“二极管”等几个模块。
5	DJK10 变压器实验	该挂件包含“逆变变压器”以及“三相不控整流”。
6	D42 三相可调电阻	/
7	双踪示波器	自备
8	万用表	自备

#### 四、操作方法和实验步骤

##### 1、DJK02 和 DJK02-1 上的“触发电路”调试

(1) 打开 DJDK-3W 总电源开关, 操作“电源控制屏”上的“三相电网电压指示”开关, 观察输入的三相电网电压是否平衡。

(2) 确保“启动”前 DJDK-3W“电源控制屏”上三相调压器旋钮已旋至最小。

(3) 用 10 芯的扁平电缆, 将 DJK02 的“三相同步信号输出”端和 DJK02-1“三相同步信号输入”端相连, 打开 DJK02-1 电源开关, 拨动“触发脉冲指示”钮子开关, 使“窄”的发光管亮。

(4) 观察 A、B、C 三相的锯齿波, 并调节 A、B、C 三相锯齿波斜率调节电位器 (在各观测孔左侧), 使三相锯齿波斜率尽可能一致。

(5) 将 DJK06 上的“给定”输出  $U_g$  直接与 DJK02-1 上的移相控制电压  $U_{ct}$  相接, 将给定开关 S2 拨到接地位置 (即  $U_{ct}=0$ ), 调节 DJK02-1 上的偏移电压电位器, 用双踪示波器观察 A 相同步电压信号和“双脉冲观察孔”VT1 的输出波形, 使  $\alpha < 150^\circ$  (注意此处的  $\alpha$  表示三相晶闸管电路中的移相角, 它的  $0^\circ$  是从自然换流点开始计算, 前面实验中的单相晶闸管电路的  $0^\circ$  移相角表示从同步信号过零点开始计算, 两者存在相位差, 前者比后者滞后  $30^\circ$ )。

(6) 适当增加给定  $U_g$  的正电压输出, 观测 DJK02-1 上“脉冲观察孔”的波形, 此时应观测到单窄脉冲和双窄脉冲。

(7) 用 8 芯的扁平电缆, 将 DJK02-1 面板上“触发脉冲输出”和“触发脉冲输入”相连, 使得触发脉冲加到正反桥功放的输入端。

(8) 将 DJK02-1 面板上的  $U_{lf}$  端接地, 用 20 芯的扁平电缆, 将 DJK02-1 的“正桥触发脉冲输出”端和 DJK02“正桥触发脉冲输入”端相连, 并将 DJK02“正桥触发脉冲”的六个开关拨至“通”, 观察正桥 VT1~VT6 晶闸管门极和阴极之间的触发脉冲是否正常。

##### 2、三相桥式全控整流电路

按图 1 接线, 将 DJK06 上的“给定”输出调到零 (逆时针旋到底), 使电阻器放在最大阻值处, 按下“启动”按钮, 调节三相调压器使交流电源部分输出的三相线电压达到 200V, 调节给定电位器, 增加移相电压, 使  $\alpha$  角在允许范围内调节。用示波器观察并记录  $\alpha=30^\circ$ 、 $45^\circ$  及  $60^\circ$  时的整流电压  $U_d$  和晶闸管两端电压  $U_{VT}$  的波形, 并记录相应的  $U_d$  数值。

##### 3、整流状态故障现象的模拟

当  $\alpha=60^\circ$  时, 将触发脉冲钮子开关拨向“断开”位置, 模拟晶闸管失去触发脉冲时的故障, 观察并记录这时的  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形的变化情况。

##### 4、三相桥式有源逆变电路

按图 2 接线，将 DJK06 上的“给定”输出调到零(逆时针旋到底)，将电阻器放在最大阻值处，按下“启动”按钮，调节三相调压器使交流电源部分输出的三相线电压达到 200V，调节给定电位器，增加移相电压，使 $\alpha$ 角在  $90^\circ \sim 150^\circ$  范围内调节。用示波器观察并记录 $\alpha=90^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $150^\circ$ 时的电压  $U_d$  和晶闸管两端电压  $U_{VT}$  的波形，并记录相应的  $U_d$  数值。

5、逆变状态故障现象的模拟

当 $\alpha = 120^\circ$ 时，将触发脉冲钮子开关拨向“断开”位置，模拟晶闸管失去触发脉冲时的故障，观察并记录这时的  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形的变化情况。

五、实验数据记录和处理

1、三相桥式全控整流电路

读出电表数据，根据计算公式 $U_d = 2.34U_2\cos\alpha$  ( $\alpha = 0 \sim 60^\circ$ )，得到实验数据如表 1 所示。

表 1 电源电压  $U_2$  和负载电压  $U_d$  数值（三相桥式全控整流电路）

角度 $\alpha/^\circ$	30	45	60
$U_2/V$	57.74	57.74	57.74
$U_d/V$	100	83.5	64.3
$U_d/U_2$	1.73	1.45	1.11
$U_d$ 计算值	117.00	95.53	67.55
$U_d/U_2$ 计算值	2.03	1.65	1.17

当 $\alpha = 30^\circ$ ，输出直流电压  $U_d$ 、晶闸管电压  $U_{VT}$  波形如图 1.1 所示（ $U_{VT}$  在上； $U_d$  在下，经过反向操作）。

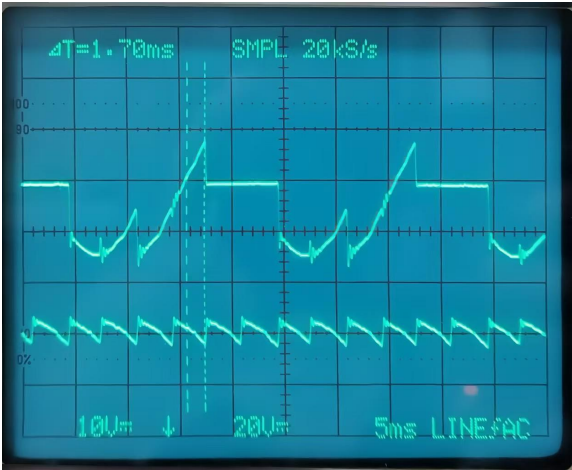


图 1.1  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形（ $\alpha = 30^\circ$ ）

当 $\alpha = 45^\circ$ ，输出直流电压  $U_d$ 、晶闸管电压  $U_{VT}$  波形如图 1.2 所示（ $U_{VT}$  在上； $U_d$  在下，经过反向操作）。

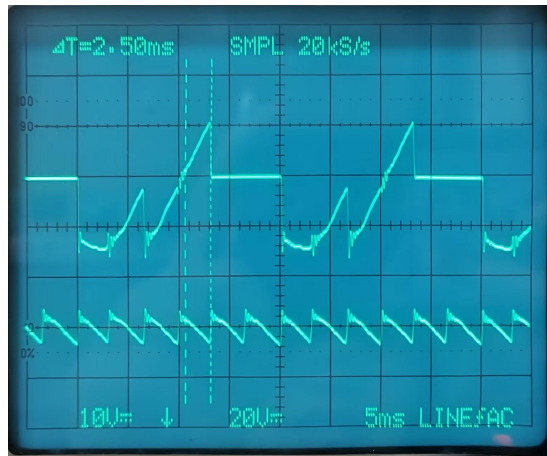


图 1.2  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形 ( $\alpha = 45^\circ$ )

当  $\alpha = 60^\circ$ ，输出直流电压  $U_d$ 、晶闸管电压  $U_{VT}$  波形如图 1.3 所示 ( $U_{VT}$  在上； $U_d$  在下，经过反向操作)。

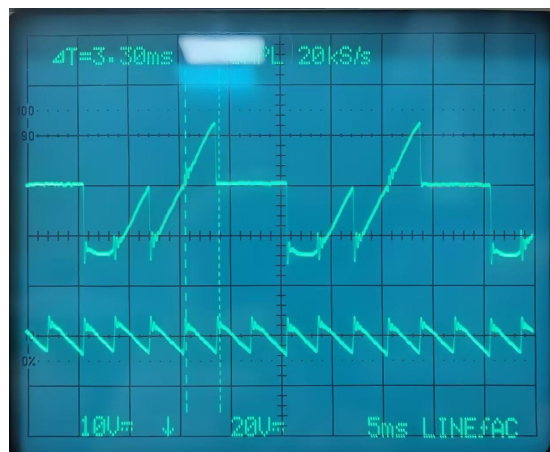


图 1.3  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形 ( $\alpha = 60^\circ$ )

当  $\alpha = 60^\circ$ ，将触发脉冲钮子开关拨向“断开”位置，模拟晶闸管失去触发脉冲时的故障，输出直流电压  $U_d$ 、晶闸管电压  $U_{VT}$  波形如图 1.4 所示 ( $U_{VT}$  在上； $U_d$  在下，经反向操作)。

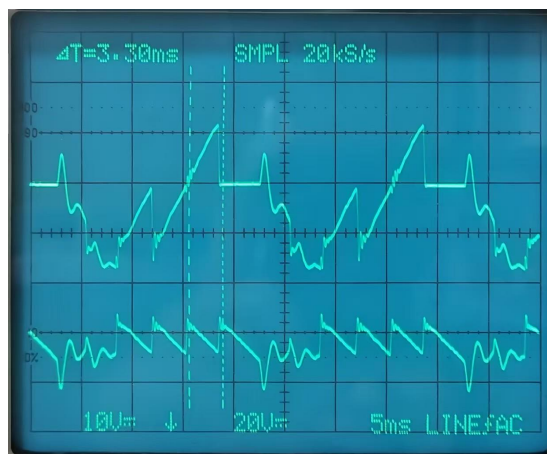


图 1.4  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形 ( $\alpha = 60^\circ$  脉冲丢失)

## 2、三相桥式有源逆变电路

读出电表数据，根据计算公式 $U_d = 2.34U_2\cos\alpha$  ( $\alpha = 90^\circ \sim 150^\circ$ )，得到实验数据如表 2 所示。

表 2 电源电压  $U_2$  和负载电压  $U_d$  数值（三相桥式有源逆变电路）

角度 $\alpha/^\circ$	90	120	135	150
$U_2/V$	59.76	59.18	59.47	59.76
$U_d/V$	0.330	-67.5	-104.6	-125.8
$U_d/U_2$	0.006	-1.14	-1.76	-2.11
$U_d$ 计算值	0.000	-69.24	-98.40	-121.10
$U_d/U_2$ 计算值	0.000	-1.17	-1.65	-2.03

当 $\alpha = 90^\circ$ ，输出直流电压  $U_d$ 、晶闸管电压  $U_{VT}$  波形如图 2.1 所示（ $U_{VT}$  在上； $U_d$  在下，经过反向操作）。

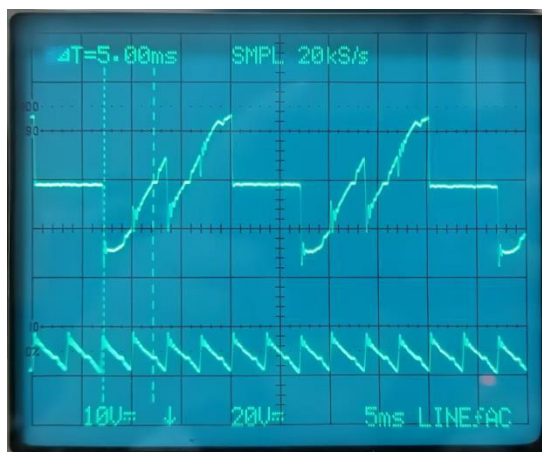


图 2.1  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形 ( $\alpha = 90^\circ$ )

当 $\alpha = 120^\circ$ ，输出直流电压  $U_d$ 、晶闸管电压  $U_{VT}$  波形如图 2.2 所示（ $U_{VT}$  在上； $U_d$  在下，经反向操作）。

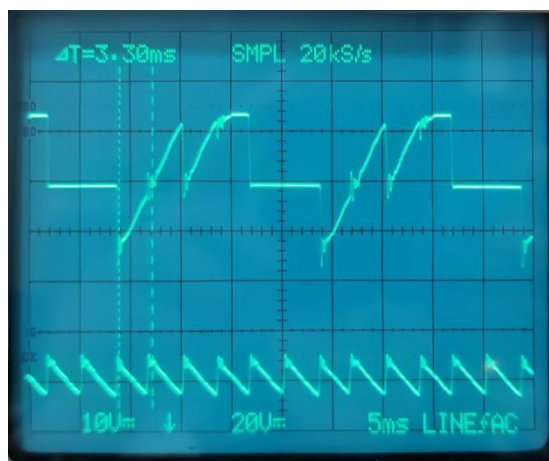


图 2.2  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形 ( $\alpha = 120^\circ$ )

当 $\alpha = 135^\circ$ ，输出直流电压  $U_d$ 、晶闸管电压  $U_{VT}$  波形如图 2.3 所示（ $U_{VT}$  在上； $U_d$  在下，经反向操作）。

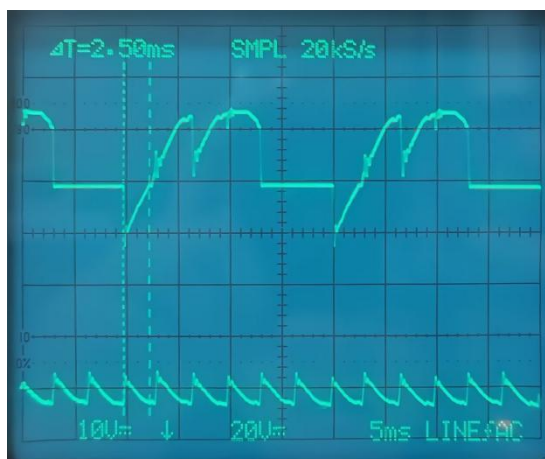


图 2.3  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形 ( $\alpha = 135^\circ$ )

当  $\alpha = 150^\circ$ ，输出直流电压  $U_d$ 、晶闸管电压  $U_{VT}$  波形如图 2.4 所示 ( $U_{VT}$  在上； $U_d$  在下，经反向操作)。

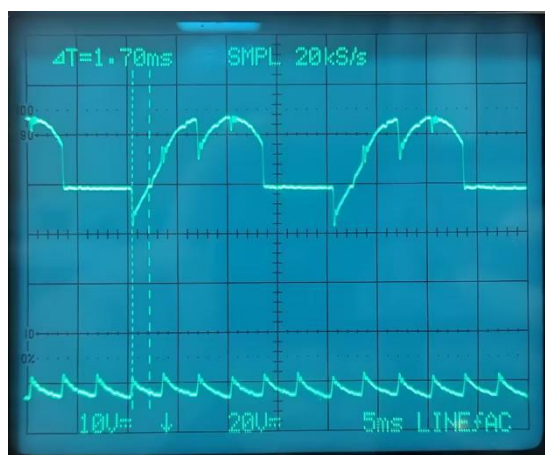


图 2.4  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形 ( $\alpha = 150^\circ$ )

当  $\alpha = 120^\circ$ ，将触发脉冲钮子开关拨向“断开”位置，模拟晶闸管失去触发脉冲时的故障，输出直流电压  $U_d$ 、晶闸管电压  $U_{VT}$  波形如图 2.5 所示 ( $U_{VT}$  在上； $U_d$  在下，经反向操作)。

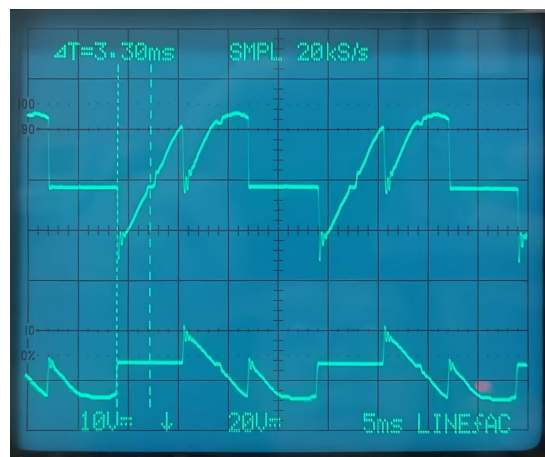


图 2.5  $U_d$ 、 $U_{VT}$  波形 ( $\alpha = 120^\circ$  脉冲丢失)

## 六、实验结果与分析

### 1、实验波形分析

#### (1) 三相桥式全控整流电路

电阻电感性负载下，当  $\alpha = 60^\circ$  时  $U_d$ 、 $U_{VT}$  理论波形如图 1.5 所示，输出电压恰好过零；当  $\alpha < 60^\circ$  时，输出电流恒正；电流连续，晶闸管不导通时两端电压为线电压，导通时接近 0。实验记录波形与理论基本符合。

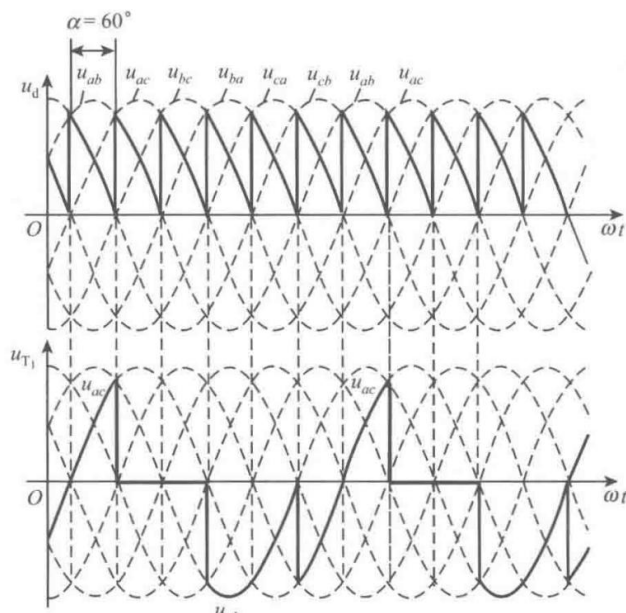


图 1.5 三相桥式整流电路带大电感负载  $\alpha=60^\circ$  时的波形

#### (2) 三相桥式有源逆变电路

电阻电感性负载下， $U_d$  理论波形如图 2.6 所示。当  $\alpha = 90^\circ$  ( $\beta = 90^\circ$ ) 时，输出电压恰好正负部分抵消，电压表读数接近 0；当  $\alpha = 120^\circ$  ( $\beta = 60^\circ$ ) 时输出电压恰好过零；当  $\alpha > 120^\circ$  ( $\beta < 60^\circ$ ) 时，输出电流恒负；电流连续，晶闸管不导通时两端电压为线电压，导通时接近 0。实验记录波形与理论基本符合。

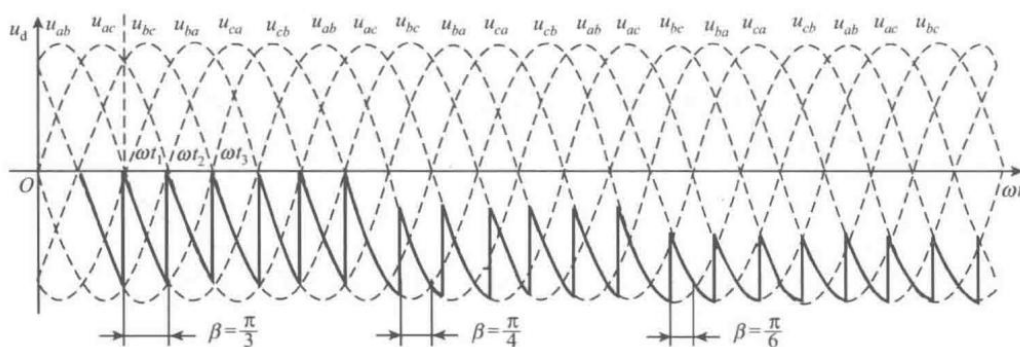


图 2.6 三相桥式整流电路带大电感负载  $\alpha=60^\circ$  时的波形



## 2、 $U_d = f(\alpha)$ 的曲线

由于三相桥式全控整流电路与三相桥式有源逆变电路的输入输出电压计算公式相同，因此  $U_d = f(\alpha)$  曲线可放入同一张图中，如图 3 所示。记录值和计算值曲线基本一致，记录值符合余弦函数趋势，与理论计算值相符合。

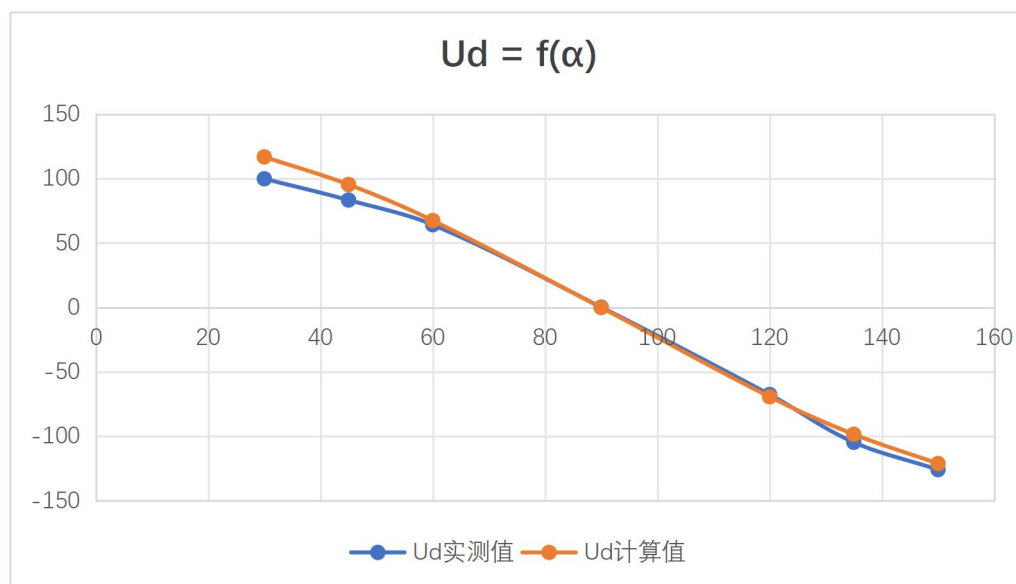


图 3  $U_d = f(\alpha)$  曲线（三相桥式全控整流电路）

## 3、整流状态故障现象的模拟

可以从图 1.4、图 2.5 看出，由于晶闸管触发脉冲其中一相丢失，在原本的换流点无法进行环流，导致有两个晶闸管不工作，输出电压  $U_d$  缺一相，平均电压减小，波形变差。根据实验观察，不同晶闸管脉冲丢失产生的故障波形不尽相同，具体说来，桥式整流必须要两个晶闸管同时导通，而去掉一路触发之后该路晶闸管不工作，无完整的整流波形输出。

## 七、思考、心得与体会

### 1、实验心得与体会

通过本次实验，我对三相桥式全控整流电路和有源逆变电路的工作原理、触发控制方式以及故障现象有了更深入的理解，同时也积累了宝贵的实验操作经验。在实验中，通过调节触发角  $\alpha$ ，观察到了整流和逆变两种工作状态的转换。当  $\alpha = 90^\circ$  时，输出电压接近零，验证了理论上的临界点。通过示波器观察不同  $\alpha$  角下的  $U_d$  和  $U_{VT}$  波形，发现实验波形与理论分析基本一致。人为断开触发脉冲后，输出电压波形出现明显畸变，说明在实际电力电子系统中，触发电路的稳定性至关重要，一旦发生故障可能导致设备异常甚至损坏。本次实验不仅加深了我对三相桥式整流与逆变电路的理解，让我认识到电力电子系统的复杂性

和调试的精细程度，让我对电力电子技术的实际应用有了更直观的认识，也增强了我的动手能力和分析问题的能力，为后续学习和研究打下了坚实基础。

## 2、思考题

### （1）如何解决主电路和触发电路的同步问题？在本实验中主电路三相电源的相序可任意设定吗？

采用宽脉冲触发或双脉冲触发方式。解决主电路和触发电路的同步问题，可采用两种方法：1）外部同步，用外部信号控制触发信号的产生，使其与主电路同步；2）内部同步，在触发电路中加入同步电路，利用主电路的电压或电流信号，自动产生与主电路同步的触发信号。

本实验中主电路三相电源的相序可以任意设定。即使主电路相序接反，触发电路仍能正确识别换相点，自动适应相序变化，保证晶闸管按正确顺序导通。但如果使用外部同步信号（非实验板自带），仍需保证同步源与主电路相序一致。

### （2）在本实验的整流及逆变时，对 $\alpha$ 角有什么要求？为什么？

整流时， $\alpha$ 需保持在  $0-90^\circ$  之间；由于换相重叠角可能导致晶闸管无法及时关断，因此逆变时 $\alpha$ 在  $90^\circ-150^\circ$  之间比较合适，如此保证整流和逆变能可靠运行。