

励磁系统开环小电流测试仪 使用说明书

1、概述

近年我国电源建设突飞猛进，在建发电机机组的单机容量迅速提高，发电机的额定励磁电压和励磁电流都越来越大，励磁系统的安全性越来越显得特别重要，在早期的静态调试实验以及机组大修试验中，励磁系统开环小电流试验（开环试验）是一项非常重要的试验。

励磁系统开环小电流试验的目的是创造一个模拟的环境检查励磁调节器的基本控制功能，脉冲可靠触发的能力，晶闸管完好性等。同时检查同步信号回路的相序和相位，查看调节器的触发脉冲是否正确，检查晶闸管功率桥是否均能可靠触发，检查晶闸管输出波形是否正确。

励磁系统开环小电流试验需要外接 380V 的交流电源、阻值恰当且功率合适的电阻负载以及录波器等设备。为了解决励磁系统开环试验现场准备工作的繁琐性，我们研发了型励磁系统开环小电流测试仪，由电源变换模块、负载电阻和显示存储装置组成，实现了励磁系统开环测试的数字化、小型化、便携化。

励磁系统开环小电流测试仪适用于励磁控制系统的全面检测、适用于励磁系统故障的快速定位。

励磁系统开环小电流测试仪适用于各种型号的励磁控制系统整流柜开环特性。本测试仪操作方便，安全可靠，性能良好，维修方便，可以全面检测励磁系统的同步信号回路的相位和相序、脉冲输出回路接线、控制角的范围、全控桥触发回路及主回路工作情况，进一步确保励磁系统的可靠、安全、稳定运行。

励磁系统开环小电流测试仪适用于各种型号的励磁系统的事故分析。励磁系统的测量回路、同步信号回路、脉冲回路干扰、可控硅触发回路等硬件回路的故障是发电机励磁系统的典型故障，使用本开环特性测试仪可以对励磁系统故障快速定位，缩短发电机事故停机的时间。

经现场使用后，励磁系统开环小电流测试仪避免了现场试验准备的繁琐工作，大大节约了励磁系统开环试验的时间，提高了现场试验接线的安全可靠性，进一步降低了试验人员的劳动强度。

2、规格和技术特性

输入电压：三相四线交流电源，线电压 380V 。

输出电压：线电压为 100 V（此为标准输出电压，若需要其它电压值可定制）的三相交流电，频率 50Hz（取决于输入电源的频率）；顶部配有 PT 电压和同步电压。

波形显示：直流和脉冲的电压值

波形存储：U 盘

3、结构和工作原理

3.1 功能和工作原理

励磁系统开环小电流测试仪由测试电源、电阻负载和波形录波仪组成见图 1。测试仪故障智能检测与定位；可以 BMP 文件格式保存画面；对设备交流输出波形有缺相检测功能；具有对可控硅整流桥故障类型自动判断功能；移相特性检查、逆变失败、通道切换、脉冲投切、电压校准、BOD 判断试验。电阻负载可以根据被测整流柜晶闸管的特性进行适当调整；波形录波仪可以实时录取被测整流柜的输出电压。

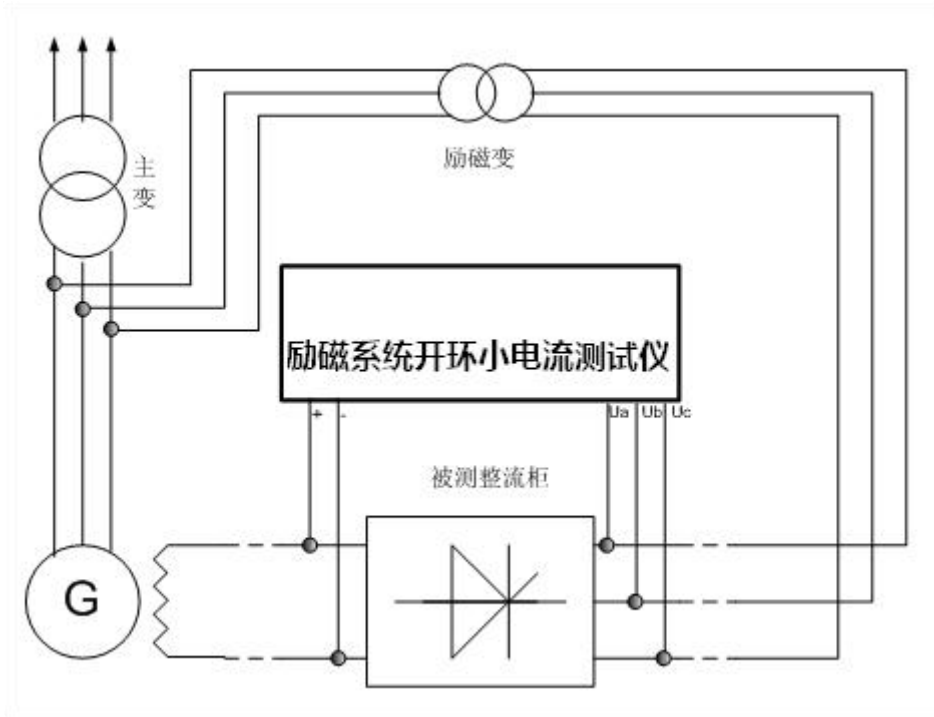


图 1 励磁系统开环小电流测试仪测试原理图

3.2 面板说明

励磁系统开环小电流测试仪面板如图 2 所示，主要由仪器电源接口、直流输入接口、脉冲输入接口、输出接口和波形显示屏等部分组成。

- (1) 输出：A B C 三相交流输出线电压 50V 或 100 V，输出 50Hz 正弦波。
- (2) 输入：直流输入（即励磁调节器功率柜输出直流电压）；脉冲输入。
- (3) USB：U 盘插口，用于小电流波形的存储和读取。
- (4) 电源：三相四线
- (5) 输出开关：交流输出开关
- (6) 复位：逆变和采集单元复位

4、使用操作说明

4.1 试验接线接线：

ABC 三相接可控硅前端

红接正，黑接负

接地线：牢固接地

电源线：接三相三线或四线 380V 交流电源

USB：插入 U 盘，仔细检查后方可进行下一步操作

4.2 打开电源，触摸屏显示系统 Logo 界面，待系统加载成功后，显示图 3 所示。

其中功率柜设计一组合列表框，从中可以选择功率柜编号。基准值 100%对应输出线电压为 50V，此参数不可调。这两个参数设定完毕后，单击“开始采集”按钮，就可以得到实时刷新的 40ms 的直流波形，测试完毕即可以“停止采集”按钮。点击“保存图像”按钮后，当前波形以 jpg 文件格式保存在 usb 存储设备上。

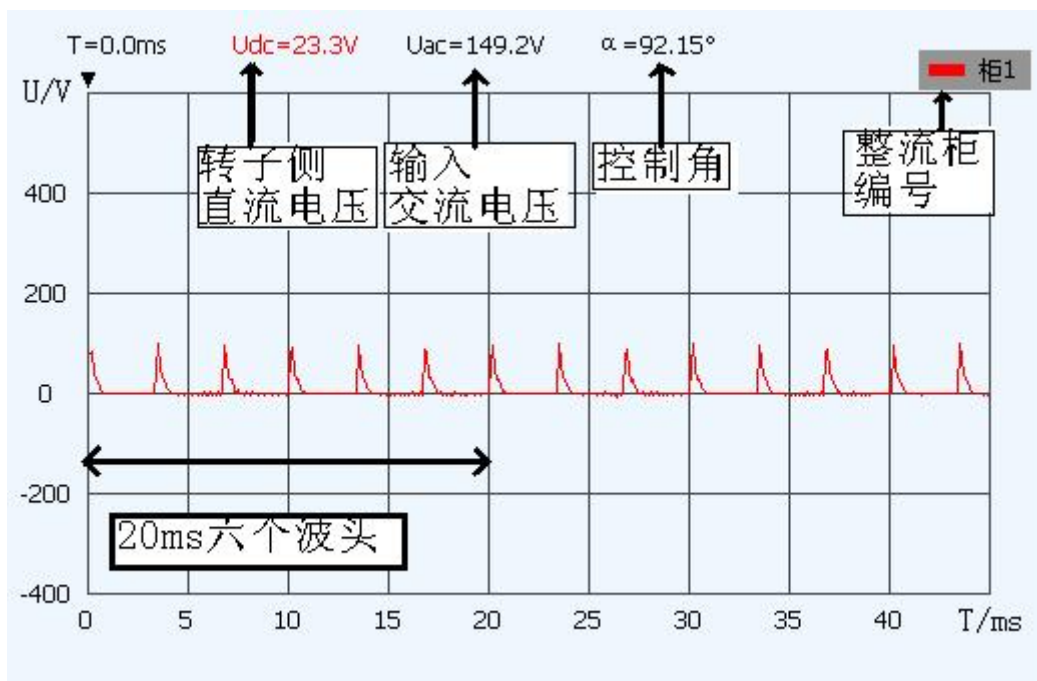
当系统检测到 usb 端口上未连接移动存储设备时，录波图像会保存在本机 FLASH 下。点击“退出程序”按钮，退出测试界面显示 Wince 界面。点击左上角第二个图标“我的设备”进入后点击“NandFlash”盘符，就可以找到保存的 jpg 文件。待插入 usb 存储设备后，可以复制或剪切本例测试文件。

功率柜的编号和保存图像时的命名相关、输出和频率在 3S 型号中锁定不可调，AC 增益和 DC 增益分别用来调节交直流波形的幅值的显示高度。

测试结束，关闭电源，拔出 U 盘和测试线。

4.3 录波图形分析

图为励磁系统开环小电流试验典型波形图。



励磁系统开环小电流试验典型波形图

图中，波形横坐标为时间，单位为毫秒，纵坐标为电压，在 0-20ms 内含 6 个规则的波头，图形上部显示测试数据， U_{dc} 为整流柜直流侧电压， U_{ac} 为整流柜交流侧， α 为实测的晶闸管导通角，柜 1 显示被测整流柜的编号。

励磁系统开环特性合格的判定标准：

- 1、在 0-20ms 内含 6 个规则的波头。
- 2、实测晶闸管导通角与励磁装置显示导通角偏差不超过允许值。

5、安全注意事项

- 5.1 使用前务必详阅此使用说明书，并遵照指示步骤，依次操作。
- 5.2 请勿使用非原厂提供之附件，以免发生危险。
- 5.3 仪器与被测物必须良好接地，不允许随意扎在自来水管道上。
- 5.4 当仪器处于测试状态下，请不要触摸测试线、被测物、测试棒和输出端。

5.5 不要使本仪器的测试线短路，以免烧坏仪器。

5.6 一旦电源开关被切断时，如再度开启时，则需等几秒之后，千万不要把电源开关连续做开与关的动作，以免产生错误的动作损坏仪器。

5.7 避免在下列环境中使用：

- a. 避免放置阳光直射。雨淋或潮湿之处。
- b. 请远离火源及高温，以防机器温度过高。
- c. 搬运或维修时，应先关机并将电源线拆掉

6、典型应用

6.1 励磁调节器开环试验详细步骤

(1) 试验接线：断开整流柜刀闸，将励磁系统开环小电流测试仪三相输出端 U_a 、 U_b 、 U_c 三相分别接至刀闸上口（整流柜内侧），将励磁系统开环小电流测试仪正负输入端接至整流柜直流输出端。

(2) 打开励磁系统开环小电流测试仪输出开关，交流三相输出指示灯亮。

(3) 用相序表测量整流柜交流输入电源为正相序。

(4) 励磁调节器柜，控制方式按钮切至“就地”。

(5) 励磁开关柜，合上灭磁开关。

(6) 整流柜，合上独立运行开关，合上脉冲电源开关，此时控制角显示 120 度。

(7) 励磁调节器柜，按“增磁”按钮，增加励磁，至需要的角度。

(8) 通过型励磁系统开环小电流测试仪的示波屏观察整流屏输出电压，每 20 毫秒 6 各波头。

(9) 拆除接线，恢复原状，试验完毕。

6.2 A 励磁调节器开环试验详细步骤

(1) 试验接线：断开励磁系统与励磁变压器的母排连接（ABB 励磁系统一般没有出口刀闸），将励磁系统开环小电流测试仪三相输出端 Ua、Ub、Uc 三相分别接至母排整流柜内侧；断开励磁系统与发电机转子的母排连接，将励磁系统开环小电流测试仪正负输入端接至整流柜直流输出端。

(2) 打开型励磁系统开环小电流测试仪输出开关，交流三相输出指示灯亮。

(3) 用相序表测量整流柜交流输入电源为正相序。

(4) 设置励磁调节器定值：

P312=就地 ECT：采用 ECT 控制

P412=厂用电：采用厂用电

P504=100：励磁变低压侧额定值（起风扇）

P515=30 度：控制角最小值

P901=SHUNT：采用它励方式

P928=P929=P930=5：同型整流桥故障数量大于 5 时，跳闸

P5502=3434，采用定角度控制方式

P3434= -2000，设置起励后为逆变状态。

P10504 同步电压；P10506 转子电压；P10591 控制角；

可选：

P5904=12501：强制消除部分报警

(5) 励磁调节器柜门 LCP 面板上，按“RELEASE+LOCAL”切至就地控制，按“RELEASE+FCB ON”合上灭磁开关。

(6) 励磁调节器柜门 LCP 面板上，按“RELEASE+EXC ON”按钮，进行起励操作。

(7) 修改 P3434= -1000、0、200、500、1000 等，逐步改变控制角到不同角度。

(8) 通过励磁系统开环小电流测试仪的示波屏观察整流屏输出电压，每 20 毫秒 6 各波头。

(9) 拆除接线，恢复原状，断开励磁调节器电源，恢复原始定值，试验完毕。



图5 励磁调节器开环测试设置画面

- (5) 待测整流柜，合上脉冲电源开关。
- (6) 按“就地建压”按钮。
- (7) 励磁调节器柜，按“增磁”按钮，增加励磁，至需要的角度。
- (8) 通过励磁系统开环小电流测试仪的示波屏观察整流屏输出电压，每 20 毫秒 6 个波头。
- (9) 拆除接线，恢复原状，试验完毕。

7、励磁系统开环特性测试仪其他测试功能

7.1 调节器脉冲输出试验

该试验与整流桥小电流试验一起完成，在做整流桥小电流试验时应注意，除了满足整流桥小电流试验的特性，同时查看励磁装置的脉冲计数是否正确（同步输入信号为 50Hz 时脉冲计数显示 600，同步输入信号为 400Hz 时脉冲计数显示 4800），用示波器观察各相触发脉冲波形是否相同，双脉冲间隔角度是否为 60 度。

7.2 强励功能测试

该试验与整流桥小电流试验一起完成，当完成小电流试验后，保持控制角大于 60 度，励磁调节器柜，“控制方式”把手切至“电压闭环”位置，由于此时定子电压没有输入，定子电压给定值与实测值偏差很大，调节器实现强励功能，瞬时将控制角改为 15 度，小电流试验波形迅速变为强励状态下的波形。

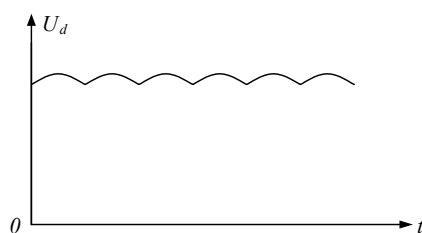


图 6 励磁系统强励波形图

7.3 逆变功能测试

如 7.2 所述，完成强励试验后，在“电压闭环”控制方式下进行逆变灭磁，小电流试验波形迅速消失，即逆变完成，整流柜没有输出。

7.4 励磁调节器双机切换测试

该试验与整流桥小电流试验一起完成，小电流试验完成后，保持控制角大于60度，励磁调节器柜，“控制方式”把手切至“电压闭环”位置，进行调节器双机切换试验。

A) 故障自动切换

将“通道选择”把手置于“自动”位置，且A调节器为主，B调节器为从且运行正常，模拟A调节器电源故障（修改A调节器电源参考值），调节器自动从A调节器切换到B调节器。

将“通道选择”把手置于“自动”位置，且B调节器为主，A调节器为从且运行正常，模拟B调节器电源故障（修改B调节器电源参考值），调节器自动从B调节器切换到A调节器。

B) 掉电自动切换

将“通道选择”把手置于“自动”位置，且A调节器为主，B调节器为从且运行正常，切断A调节器电源，调节器自动从A调节器切换到B调节器。

将“通道选择”把手置于“自动”位置，且B调节器为主，A调节器为从且运行正常，切断B调节器电源，调节器自动从B调节器切换到A调节器。

8、励磁系统功率单元典型故障分析

在现代发电机励磁系统中，大量采用三相全控桥作为发电机励磁系统的功率单元。功率单元故障包括晶闸管不导通和短路两种形式，而晶闸管不导通为常见故障，导致故障原因有晶闸管开路损坏、同步信号断线、触发脉冲丢失、串接熔断器熔断等。当某只晶闸管不导通时，整流波形发生变化，整流桥仍有输出，整流装置仍保持工作，因此不易发现故障。但输出纹波增大、正常导通的晶闸管负担增加、励磁电压波形畸变，使发电机处于不稳定状态，同时也加大了对电网的干扰。

功率单元故障可分为晶闸管单管故障、双管故障、三管故障以及两管接反四大类。根据故障晶闸管在整流桥中的位置有将功率单元故障分为十小类。

功率单元故障	故障类障1:	仅1只晶闸管发生故障
	故障类障2:	故障类障21: 接到同一相电源的2只晶闸管故障
		故障类障22: 在同一半桥2只晶闸管故障
		故障类障23: 交叉2只晶闸管故障
	故障类障3:	故障类障31: 三相桥臂各有1只晶闸管故障，且为上下交叉故障
		故障类障32: 任意两相桥臂中共三只晶闸管故障
		故障类障33: 三相桥臂各有1只晶闸管故障，且为同一半桥故障
	故障类型4:	故障类型41: 同一相电源的2只晶闸管接反
		故障类型42: 在同一半桥2只晶闸管接反
		故障类型43: 交叉2只晶闸管接反

功率单元电路图如图 7 所示：

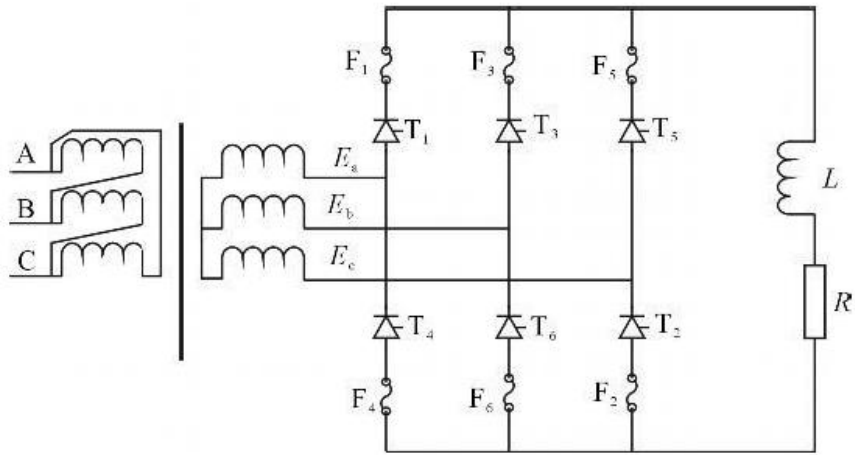


图7 励磁系统功率单元电路图

故障类型 1: 仅 1 只晶闸管发生故障 (T1 或 A+脉冲断线)

T1 T2	T2 T3	T3 T4	T4 T5	T5 T6	T6 T1	Ufd
A+ C-	C- B+	B+ A-	A- C+	C+ B-	B- A+	/
○					○	79.8

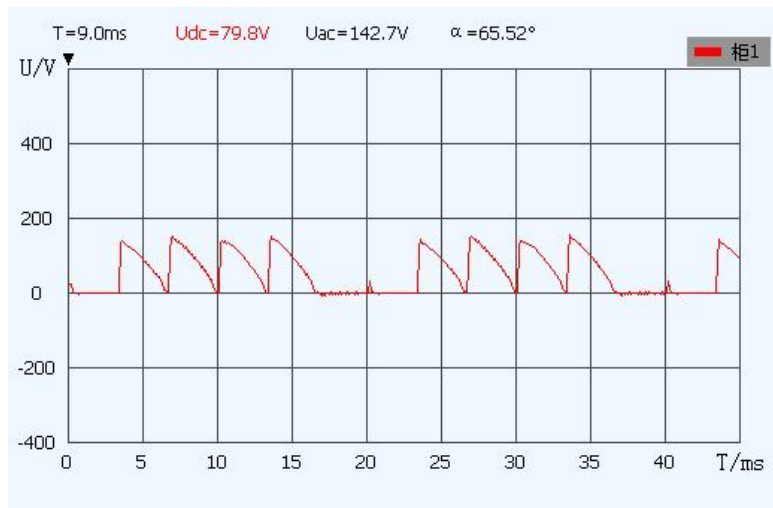


图8 A+脉冲断线

故障特征：一个周期 20ms 内有 4 个完整的波头

故障类型 2：接到同一相电源的 2 只晶闸管故障 (A+A- 脉冲断线)。

T1 T2	T2 T3	T3 T4	T4 T5	T5 T6	T6 T1	Ufd
A+ C-	C- B+	B+ A-	A- C+	C+ B-	B- A+	/
○		○	○		○	53.4

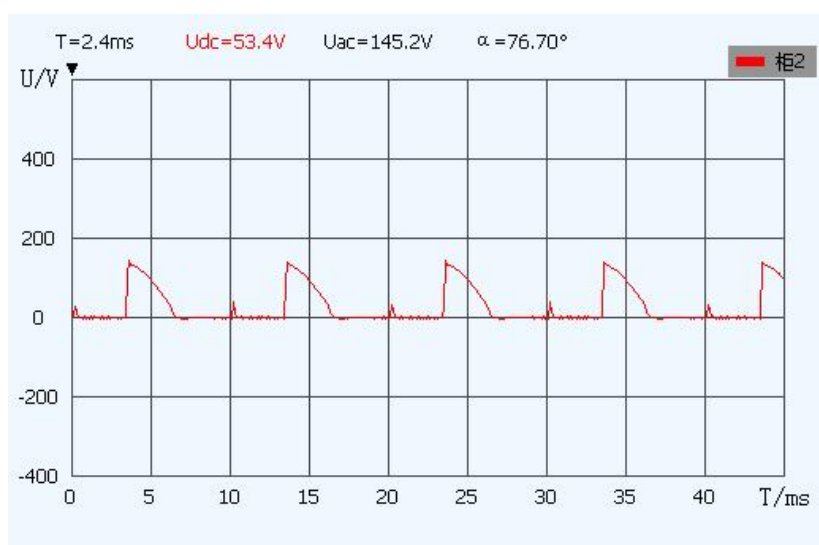


图 9 A+A- 脉冲断线

故障特征：一个周期 20ms 内有 2 个完整的波头

故障类型 3：在同一半桥中的 2 只晶闸管故障 (A+B+ 脉冲断线)

T1 T2	T2 T3	T3 T4	T4 T5	T5 T6	T6 T1	Ufd
A+ C-	C- B+	B+ A-	A- C+	C+ B-	B- A+	/
○	○	○			○	57.5

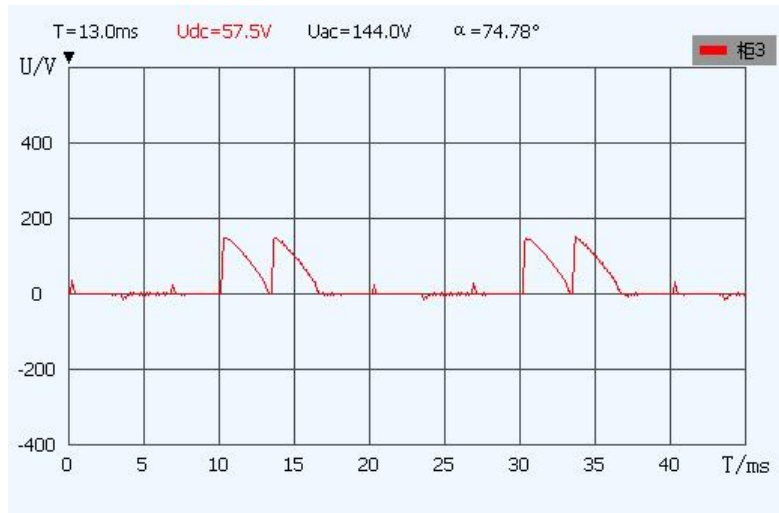


图 10 A+B+脉冲断线

故障特征：一个周期 20ms 内有 2 个完整的波头

故障类型 4：交叉 2 只晶闸管故障(A+B-脉冲断线)

T1 T2	T2 T3	T3 T4	T4 T5	T5 T6	T6 T1	Ufd
A+ C-	C- B+	B+ A-	A- C+	C+ B-	B- A+	/
○				○	○ ○	69.7

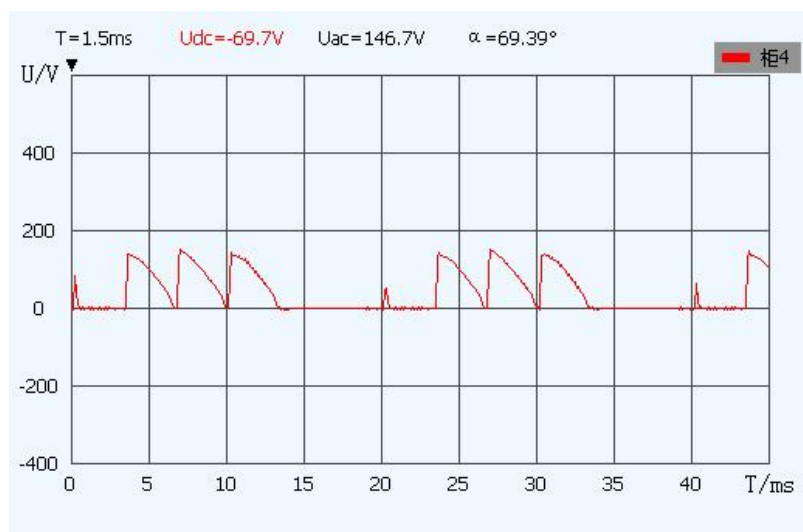


图 11 A+B-脉冲断线

故障特征：一个周期 20ms 内有 3 个完整的波头

故障类型 5：三相桥臂中各有 1 只晶闸管故障，且为上下交叉故障(A+B+C-脉冲断线)

T1 T2	T2 T3	T3 T4	T4 T5	T5 T6	T6 T1	Ufd
A+ C-	C- B+	B+ A-	A- C+	C+ B-	B- A+	/
○ ○	○ ○	○			○	57.3

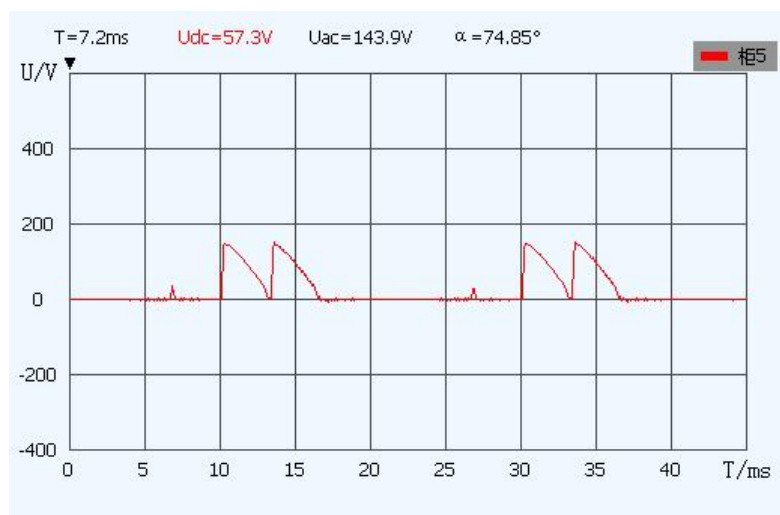


图 12 A+B+C-脉冲断线

故障特征：一个周期 20ms 内有 2 个完整的波头

故障类型 6：任意二相桥臂中共 3 只晶闸管故障(A+B+A-脉冲断线)

T1 T2	T2 T3	T3 T4	T4 T5	T5 T6	T6 T1	Ufd
A+ C-	C- B+	B+ A-	A- C+	C+ B-	B- A+	/
○	○	○ ○	○		○	39.9

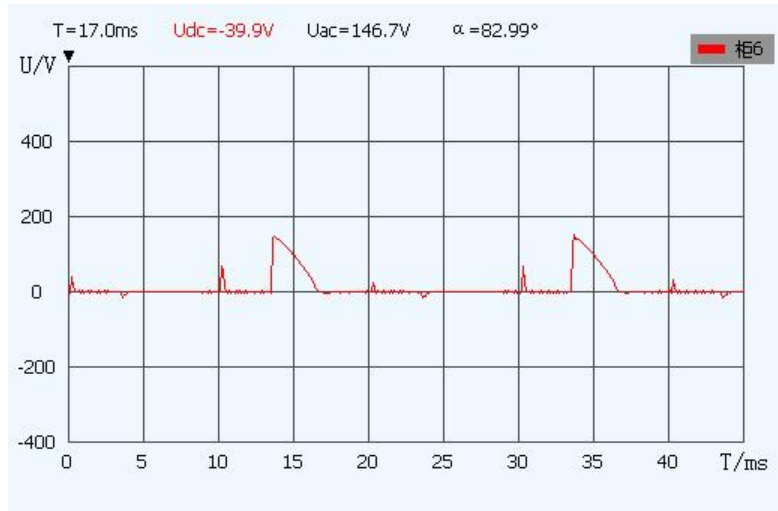


图 13 A+B+A-脉冲断线

故障特征：一个周期 20ms 内有 1 个完整的波头

故障类型 7：三相桥臂中各有 1 只晶闸管故障，且为同一半桥发生故障(A+B+C+脉冲断线)

T1 T2	T2 T3	T3 T4	T4 T5	T5 T6	T6 T1	Ufd
A+ C-	C- B+	B+ A-	A- C+	C+ B-	B- A+	/
○	○	○	○	○	○	4.8

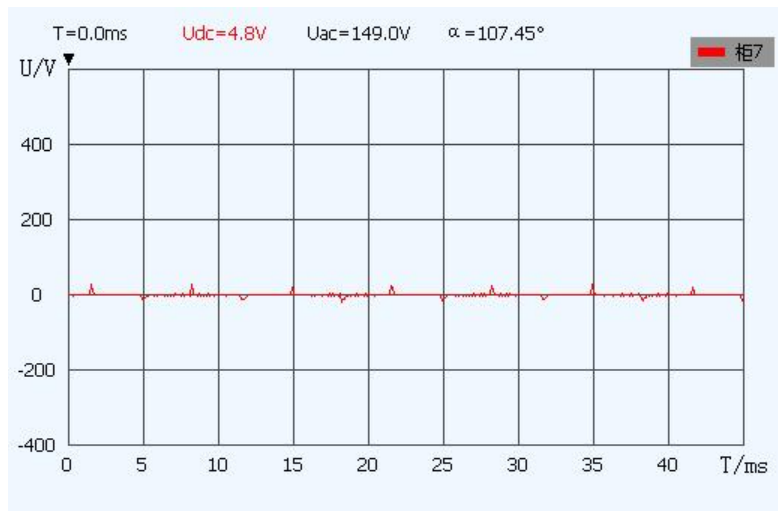




图 14 A+B+C+脉冲断线

故障特征：一个周期 20ms 内有 0 个完整的波头

故障类型 8：在同一半桥中的 2 只晶闸管故障 (A+B+脉冲接反)

T1 T2	T2 T3	T3 T4	T4 T5	T5 T6	T6 T1	Ufd
A+ C-	C- B+	B+ A-	A- C+	C+ B-	B- A+	/
○	○	○			○	96.4

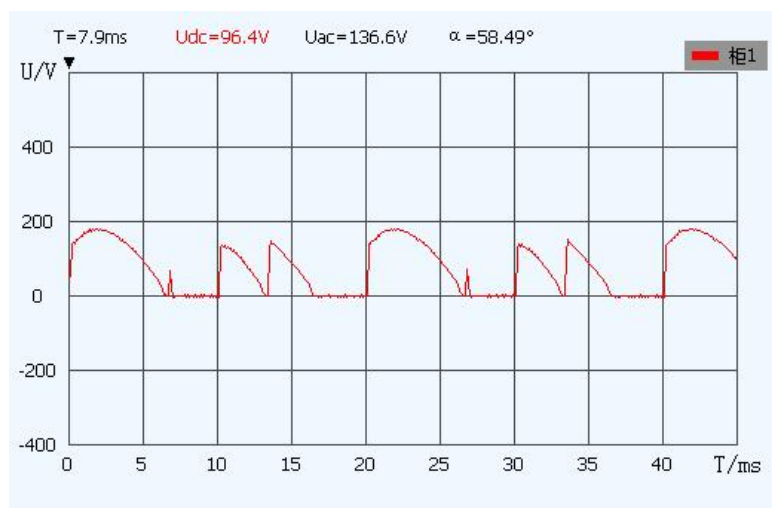




图 15 A+B+脉冲接反

故障特征：一个周期 20ms 内有 2 个完整的波头

故障类型 9：接到同一相电源的 2 只晶闸管故障 (A+A- 脉冲接反)。

T1 T2	T2 T3	T3 T4	T4 T5	T5 T6	T6 T1	Ufd
A+ C-	C- B+	B+ A-	A- C+	C+ B-	B- A+	/
○		○	○		○	53.8

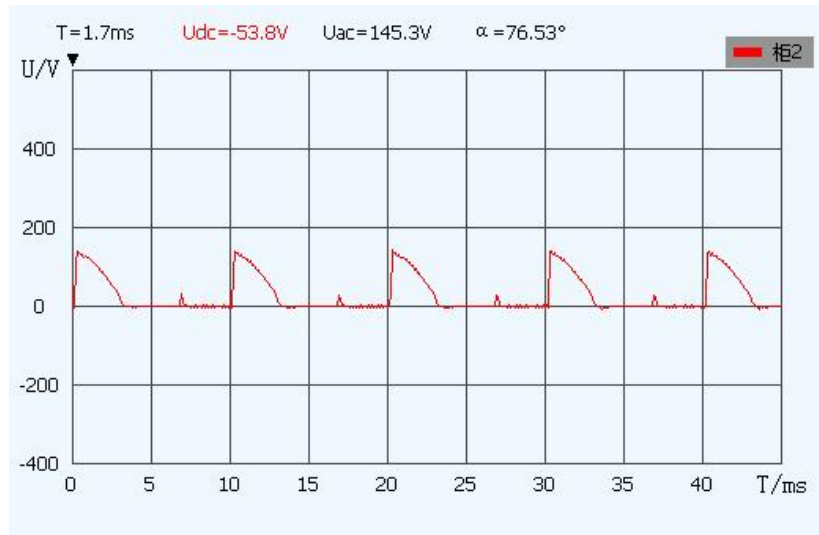


图 16 A+A-脉冲接反

故障特征：一个周期 20ms 内有 2 个完整的波头

故障类型 10：交叉 2 只晶闸管故障(A+B-脉冲接反)

T1 T2	T2 T3	T3 T4	T4 T5	T5 T6	T6 T1	Ufd
A+ C-	C- B+	B+ A-	A- C+	C+ B-	B- A+	/
○				○	○ ○	80.2

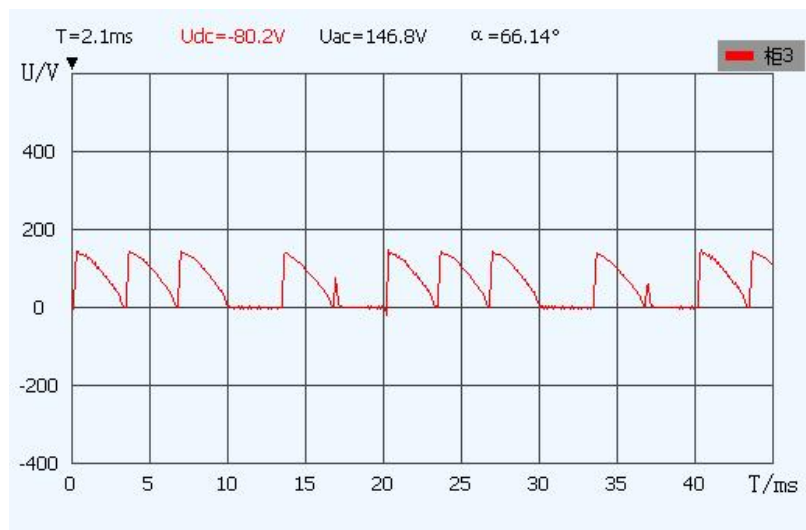


图 17 A+B-脉冲接反

故障特征：一个周期 20ms 内有 4 个完整的波头

10、相关技术问答

10.1 什么是励磁系统的小电流试验？

答：励磁系统开环小电流试验是指在整流柜的阳极输入侧外加交流电压，让励磁变压器、励磁调节柜、功率整流装置、励磁电压互感器带电，直流输出接电阻负载，调整控制角，通过观察负载电压波形变化，综合检查励磁控制器测量、脉冲等回路和整流柜元件的一种试验方式。

10.2 励磁系统开环小电流试验的作用是什么？

答：励磁系统开环小电流试验的目的是创造一个模拟的环境，检查励磁调节器的基本控制功能、脉冲可靠触发的能力、晶闸管完好性等。检查同步信号回路的相序和相位，主要是看调节器的脉冲触发是否正确；检查晶闸管功率桥均能可靠触发；检查晶闸管输出波形。

10.3 如何进行励磁系统开环小电流试验？

答：励磁系统开环小电流试验是励磁系统静态试验的重要试验项目之一，其试验步骤如下：首先断开功率输出与发电机转子线圈的连接，将试验模拟负载接入整流屏的输出侧；然后通过准备好的电流电源向励磁变送电，作为试验用的功率电源，送电后在二次侧测量相序；最后进行励磁投入操作，观察整流屏的输出电流、电压应上升平稳，检查整流屏及调节器屏的脉冲触发情况和晶闸管的导通情况。

10.4 为什么小电流试验没有直流输出？

小电流试验没有直流输出可能原因及处理方法如下：

a) 所加的假负载阻值太大，请减小负载阻值至 $100\sim 200\ \Omega$ 之间。

b) 没有脉冲，请检查整流柜上的“脉冲投切”开关是否在“投”的位置。

c) 有“跳灭磁开关封脉冲”的请检查灭磁开关是否合上（或者通过模拟灭磁开关合位的节点信号）。

d) 没有同步，请检查同步变压器的高压侧接线是否与所加的阳极电压相连。

10.5 如何分析励磁系统开环小电流试验的录波图？

答：发电机的励磁调节器一般采用三相全控整流桥回路，整流回路中六个晶闸管依次导通，在一个周期（20ms）内就产生六个波头，见图 3。

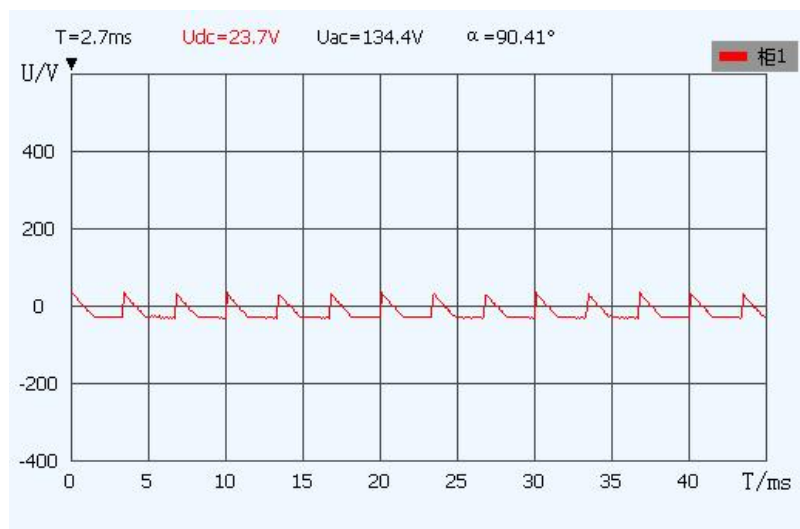


图 18 励磁系统开环小电流试验录波图