

第五章 电力系统暂态稳定实验

一、实验目的

1. 通过实验加深对电力系统暂态稳定内容的理解，使课堂理论教学与实践结合，提高学生的感性认识。
2. 学生通过实际操作，从实验中观察到系统失步现象和掌握正确处理措施
3. 用数字式记忆示波器测出短路时短路电流的非周期分量波形图，并进行分析。

二、原理与说明

电力系统暂态稳定问题是指电力系统受到较大的扰动之后，各发电机能否继续保持同步运行的问题。在各种扰动中以短路故障的扰动最为严重。

正常运行时发电机功率特性为： $P_1 = (E_0 \times U_0) \times \sin \delta_1 / X_1$ ；

短路运行时发电机功率特性为： $P_2 = (E_0 \times U_0) \times \sin \delta_2 / X_2$ ；

故障切除发电机功率特性为： $P_3 = (E_0 \times U_0) \times \sin \delta_3 / X_3$ ；

对这三个公式进行比较，我们可以知道决定功率特性发生变化与阻抗和功角特性有关。而系统保持稳定条件是切除故障角 δ_c 小于 δ_{max} ， δ_{max} 可由等面积原则计算出来。本实验就是基于此原理，由于不同短路状态下，系统阻抗 X_2 不同，同时切除故障线路不同也使 X_3 不同， δ_{max} 也不同，使对故障切除的时间要求也不同。

同时，在故障发生时及故障切除通过强励磁增加发电机的电势，使发电机功率特性中 E_0 增加，使 δ_{max} 增加，相应故障切除的时间也可延长；由于电力系统发生瞬间单相接地故障较多，发生瞬间单相故障时采用自动重合闸，使系统进入正常工作状态。这二种方法都有利于提高系统的稳定性。

三、实验项目与方法

（一）短路对电力系统暂态稳定的影响

1. 短路类型对暂态稳定的影响

本实验台通过对操作台上的短路选择按钮的组合可进行单相接地短路，两相相间短路，两相接地短路和三相短路试验。

固定短路地点，短路切除时间和系统运行条件，在发电机经双回线与“无穷大”电网联网运行时，某一回线发生某种类型短路，经一定时间切除故障成单回线运行。短路的切除时间在微机保护装置中设定，同时要设定重合闸是否投切。

在手动励磁方式下通过调速器的增（减）速按钮调节发电机向电网的出力，测定不同短路运行时能保持系统稳定时发电机所能输出的最大功率，并进行比较，分析不同故障类型对暂态稳定的影响。将实验结果与理论分析结果进行分析比较。 $P_{\max}$ 为系统可以稳定输出的极限，注意观察有功表的读数，当系统出于振荡临界状态时，记录有功表读数，最大电流读数可以从 YHB—III型微机保护装置读出，具体显示为：

- GL-xxx 三相过流值
- GA-xxx A 相过流值
- GB-xxx B 相过流值
- GC-xxx C 相过流值

微机保护装置的整定值代码如下：

- 01： 过流保护动作延迟时间
- 02： 重合闸动作延迟时间
- 03： 过电流整定值
- 04： 过流保护投切选择
- 05： 重合闸投切选择

另外，短路时间 T_D 由面板上“短路时间”继电器整定，具体整定参数为表 5-1。

表 5-1

整定值代码	01	02	03	04	05	T_D
整定值	0.5(s)	/	5.00(A)	On	Off	1.0(s)

微机保护装置的整定方法如下：按压“画面切换”按钮，当数码管显示『PA—』时，按压触摸按钮“+”或“-”输入密码，待密码输入后，按下按键“△”，如果输入密码正确，就会进入整定值修改画面。进入整定值修改画面后，通过“△”“▽”先选 01 整定项目，再按压触摸按钮“+”或“-”选择当保护时间（s）；通过“△”“▽”选 03 整定项目，再按压触摸按钮“+”或“-”选择当过电流保护值；通过“△”“▽”选 04 整定项目，再按压触摸按钮“+”或“-”选择当过电流保护投切 ON；通过“△”“▽”选 05 整定项目，再按压触摸按钮“+”或“-”选择重合闸投切为 OFF。（详细操作方法 WDT—III综合自动化试验台使用说明书。）

短路切除时间 $t=0.5s$ 短路类型：单相接地短路

表 5-2

时间: {52time}

QF1	1	0	1	0
QF2	1	1	1	1
QF3	1	0	0	1
QF4	1	1	1	1
QF5	0	0	1	1
QF6	1	1	1	1
$P_{\max}(W)$	{5210}	{5211}	{5212}	{5213}
最大短路电流 (A)	{5214}	{5215}	{5216}	{5217}

(0: 表示对应线路开关断开状态 1: 表示对应线路开关闭合状态)

短路切除时间 $t=0.5s$

短路类型：两相相间短路

表 5-3

时间: {53time}

QF1	1	0	1	0
QF2	1	1	1	1
QF3	1	0	0	1
QF4	1	1	1	1
QF5	0	0	1	1
QF6	1	1	1	1
$P_{\max}(W)$	{5310}	{5311}	{5312}	{5313}
最大短路电流 (A)	{5314}	{5315}	{5316}	{5317}

短路切除时间 $t=0.5s$

短路类型: 两相接地短路

表 5-4

时间: {54time}

QF1	1	0	1	0
QF2	1	1	1	1
QF3	1	0	0	1
QF4	1	1	1	1
QF5	0	0	1	1
QF6	1	1	1	1
$P_{\max}(W)$	{5410}	{5411}	{5412}	{5413}
最大短路电流 (A)	{5414}	{5415}	{5416}	{5417}

短路切除时间 $t=0.5s$

短路类型：三相短路

表 5-5

时间: {55time}

QF1	1	0	1	0
-----	---	---	---	---

QF2	1	1	1	1
QF3	1	0	0	1
QF4	1	1	1	1
QF5	0	0	1	1
QF6	1	1	1	1
$P_{\max}(W)$	{5510}	{5511}	{5512}	{5513}
最大短路电流 (A)	{5514}	{5515}	{5516}	{5517}

2. 故障切除时间对暂态稳定的影响

固定短路地点，短路类型和系统运行条件，通过调速器的增速按钮增加发电机向电网的出力，在测定不同故障切除时间能保持系统稳定时发电机所能输出的最大功率，分析故障切除时间对暂态稳定的影响。

一次接线方式： QF1=1 QF2=1 QF3=1
QF4=1 QF5=0 QF6=1

短路类型：

表 5-6

时间： {56time}

过流保护动作时间	{5610}	{5611}	{5612}
$P_{\max}(W)$	{5613}	{5614}	{5615}
Idl 最大短路电流(A)	{5616}	{5617}	{5618}

例： QF1=0 QF2=1 QF3=1 QF4=1 QF5=1 QF6=1
QF1=1 QF2=1 QF3=0 QF4=1 QF5=1 QF6=1

(二) 研究提高暂态稳定的措施

1. 强行励磁

在微机励磁方式下短路故障发生后，微机将自动投入强励以提高发电机电势。观察它对提高暂态稳定的作用。

2. 单相重合闸

在电力系统的故障中大多数是送电线路（特别是架空线路）的“瞬时性”故障，除此之外也有“永久性故障”。

在电力系统中采用重合闸的技术经济效果，主要可归纳如下：

- ① 大提高供电可靠性；
- ② 高电力系统并列运行的稳定性；
- ③ 对继电保护误动作而引起的误跳闸，也能起到纠正的作用。

对瞬时性故障，微机保护装置切除故障线路后，经过延时一定时间将自动重合原线路，从而恢复全相供电，提高了故障切除后的功率特性曲线。同样通过对操作台上的短路按钮组合，选择不同的故障相。

通过调速器的增（减）速按钮调节发电机向电网的出力，观察它对提高暂态稳定的作用，观察它对提高暂态稳定的作用。

其故障的切除时间在微机保护装置中进行修改，同时要设定进行重合闸投切，并设定其重合闸时间。其操作步骤同上，不同的是在 05 整定项目时，按压触摸按钮“+”或“-”选择投合闸投切 on，并选 02 整定项目时，按压触摸按钮“+”或“-”设定重合闸动作延时时间。瞬时故障时间由操作台上的短路时间继电器设定，当瞬时故障时间小于保护动作时间时保护不会动作；当瞬时故障时间大于保护动作时间而小于重合闸时间，能保证重合闸成功，当瞬时故障时间大于重合闸时间，重合闸后则认为线路为永久性故障加速跳开整条线路。

表 5-7

整定值代码	01	02	03	04	05	T_D
保护不动作	0.2	1.5	5.00	on	on	0.1
重合闸	0.2	1.5	5.00	on	on	1.0
永久故障	0.2	1.5	5.00	on	on	3.0

（三）异步运行和再同步的研究

1. 在发电机稳定异步运行时，观察并分析功率，发电机的转差，振荡周期及各表的读数变化的特点。

2. 在不切除发电机的情况下，研究调节原动机功率，调节发电机励磁对振荡周期，发电机转差的影响，并牵入再同步。

注意事项：

1. 在做单相重合闸实验时，进行单相故障操作的时间应该在接触器合闸 10 秒之后进行，否则，在故障发生时跳三相，微机保护装置会显示“GL-xxx”，且不会进行重合闸操作。

2. 实验结束后，通过励磁装置使无功至零，通过调速器使有功至零，解列之后按下调速器的停机按钮使发电机转速至零。跳开操作台所有开关之后，方可关断操作台上的电源关断开关，并断开其他电源开关。

3. 对失步处理的方法如下：通过励磁调节器增磁按钮，使发电机的电压增大；如系统没处于短路状态，且线路有处于断开状态的，可并入该线路减小系统阻抗；通过调速器的减速按钮减小原动机的输入功率。

四、实验报告要求

1. 整理不同短路类型下获得实验数据，通过对比，对不同短路类型进行定性分析，详细说明不同短路类型和短路点对系统的稳定性的影响。
2. 通过试验中观察到的现象，说明二种提高暂态稳定的措施对系统稳定性作用机理。

五、思考题

1. 不同短路状态下对系统阻抗产生影响的机理是什么？
 2. 提高电力系统暂态稳定的措施有哪些？
 3. 对失步处理的方法（注意事项 3 中提到）的理论根据是什么？
- 自动重合闸装置对系统暂态稳定的影响是什么？

短路切除时间 $t=0.5s$ 短路类型：单相接地短路

表 5-21 （上限）

时间：{521time}

$P_{\max}(W)$	{52110}	{52111}	{52112}	{52113}
最大短路电流（A）	{52114}	{52115}	{52116}	{52117}

表 5-22 （下限）

时间：{522time}

$P_{\max}(W)$	{52210}	{52211}	{52212}	{52213}
最大短路电流（A）	{52214}	{52215}	{52216}	{52217}

短路切除时间 $t=0.5s$

短路类型：两相相间短路

表 5-31 （上限）

时间：{531time}

$P_{\max}(W)$	{53110}	{53111}	{53112}	{53113}
最大短路电流（A）	{53114}	{53115}	{53116}	{53117}

表 5-32 （下限）

时间：{532time}

$P_{\max}(W)$	{53210}	{53211}	{53212}	{53213}
最大短路电流（A）	{53214}	{53215}	{53216}	{53217}

短路切除时间 $t=0.5s$

短路类型：两相接地短路

表 5-41 （上限）

时间：{541time}

$P_{\max}(W)$	{54110}	{54111}	{54112}	{54113}
最大短路电流 (A)	{54114}	{54115}	{54116}	{54117}

表 5-42 (下限)

时间: {542time}

$P_{\max}(W)$	{54210}	{54211}	{54212}	{54213}
最大短路电流 (A)	{54214}	{54215}	{54216}	{54217}

短路切除时间 $t=0.5s$

短路类型: 三相短路

表 5-51 (上限)

时间: {551time}

$P_{\max}(W)$	{55110}	{55111}	{55112}	{55113}
最大短路电流 (A)	{55114}	{55115}	{55116}	{55117}

表 5-52 (下限)

时间: {552time}

$P_{\max}(W)$	{55210}	{55211}	{55212}	{55213}
最大短路电流 (A)	{55214}	{55215}	{55216}	{55217}

表 5-6 1

时间: {561time}

过流保护动作时间	{56110}	{56111}	{56112}
$P_{\max}(W)$	{56113}	{56114}	{56115}
Idl 最大短路电流(A)	{56116}	{56117}	{56118}

表 5-62

时间: {562time}

过流保护动作时间	{56210}	{56211}	{56212}
$P_{\max}(W)$	{56213}	{56214}	{56215}
Idl 最大短路电流(A)	{56216}	{56217}	{56218}