

# ABB Unitrol 500 发电机励磁系统应用中的故障分析

李兆丰

华北电力大学（北京）

**摘要：**本文以 ABB 公司 Unitrol5000 静止励磁系统为例，介绍了大型同步发电机应用广泛的自并励静止励磁系统方式基本原理。详细叙述了 Unitrol5000 系统中的 Crowbar 回路（用于转子过电压保护）功能及工作原理。结合 ABB Unitrol 5000 静态励磁系统在首钢京唐公司自备电厂（2×300MW）机组运行中 Crowbar 回路出现的典型故障分析及解决，对同类型励磁系统调试运行提出建议。

**关键词：** 静止励磁，ABB Unitrol 5000，Crowbar 回路，转子过电压

## Abstract

Take the ABB company' s Unitrol 5000 static excitation system as an example, basic principle of static self-shunt excitation system is introduced, which has a wide application in large synchronous generator set . A Crowbar circuit of the Unitrol 5000 exitation system ( used for the field overvoltage protection )IS Detailed described. A typical fault in crowbar circuit of ABB Unitrol 5000 static excitation system of Shougang Jingtang company power plant (2 × 300MW ) generating set is analysed. An solution method are provided as important reference for the same types of excitation system in other power plants.

**Keyword:** Static exitation , ABB Unitrol 5000, Crowbar circuit , field over-voltage

中图分类号：TM621.3 文献标识码：A 文章编号：

## 一、发电机自并励静止励磁方式

自并励励磁系统又称静止励磁系统。它是在发电机出口端接1台降压变压器（励磁变压器）作为励磁电源，通过可控硅整流装置直接控制发电机的励磁，其系统简图见图1，主要特点如下：无主、副励磁机，励磁电源取自发电机机端或厂用母线，经励磁变压器和可控硅整流器后供发电机励磁绕组励磁。无旋转部件，结构简单，轴系短，轴承座少。励磁回路中有滑环、炭刷、灭磁装置，响应速度快。

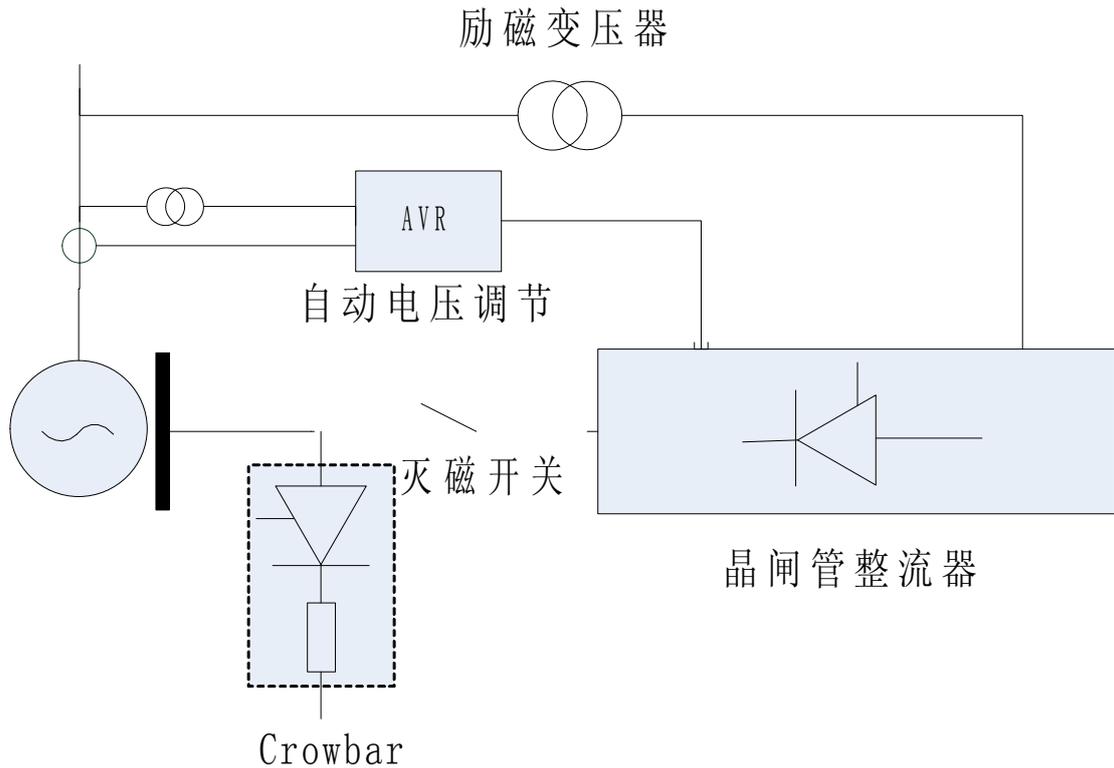


图1-1 自并励励磁系统原理图

自并励励磁系统接线简单，工作可靠，响应速度快，造价低，因而得到了广泛应用。

## 二、ABB Unitrol 5000 Crowbar 回路

### 三、1、跨接器（Crowbar）的工作原理

在UN5000励磁系统中，跨接器的主要作用有两点：一是用于灭磁；二是用于转子过电压保护。跨接器主要由触发板-A02，晶闸管V1~V3及电流监视用CUS元件（Hall current sensor）-T1三部分回路组成，如图2-1、图2-2所示。

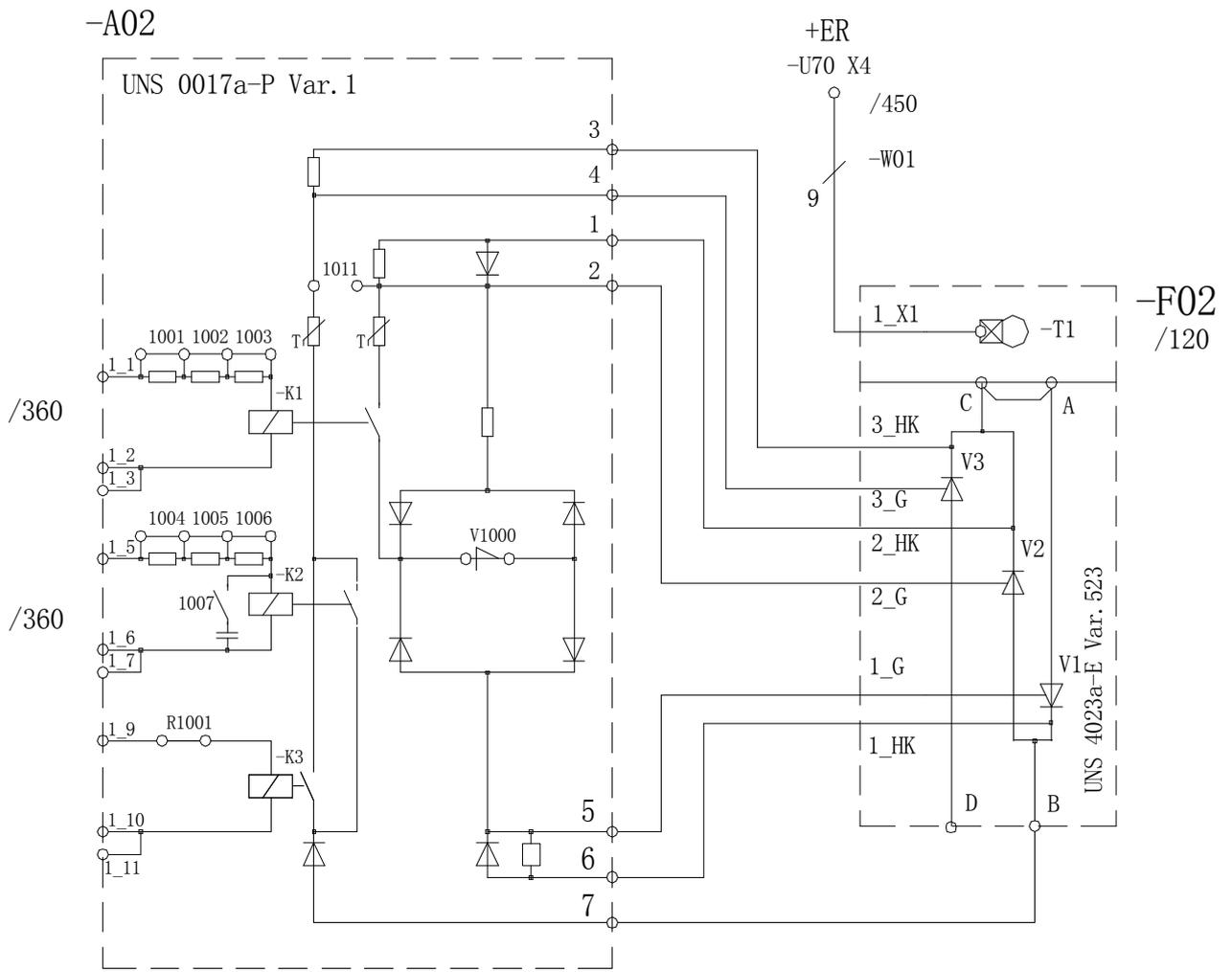


图2-1 跨接器的组成与接线

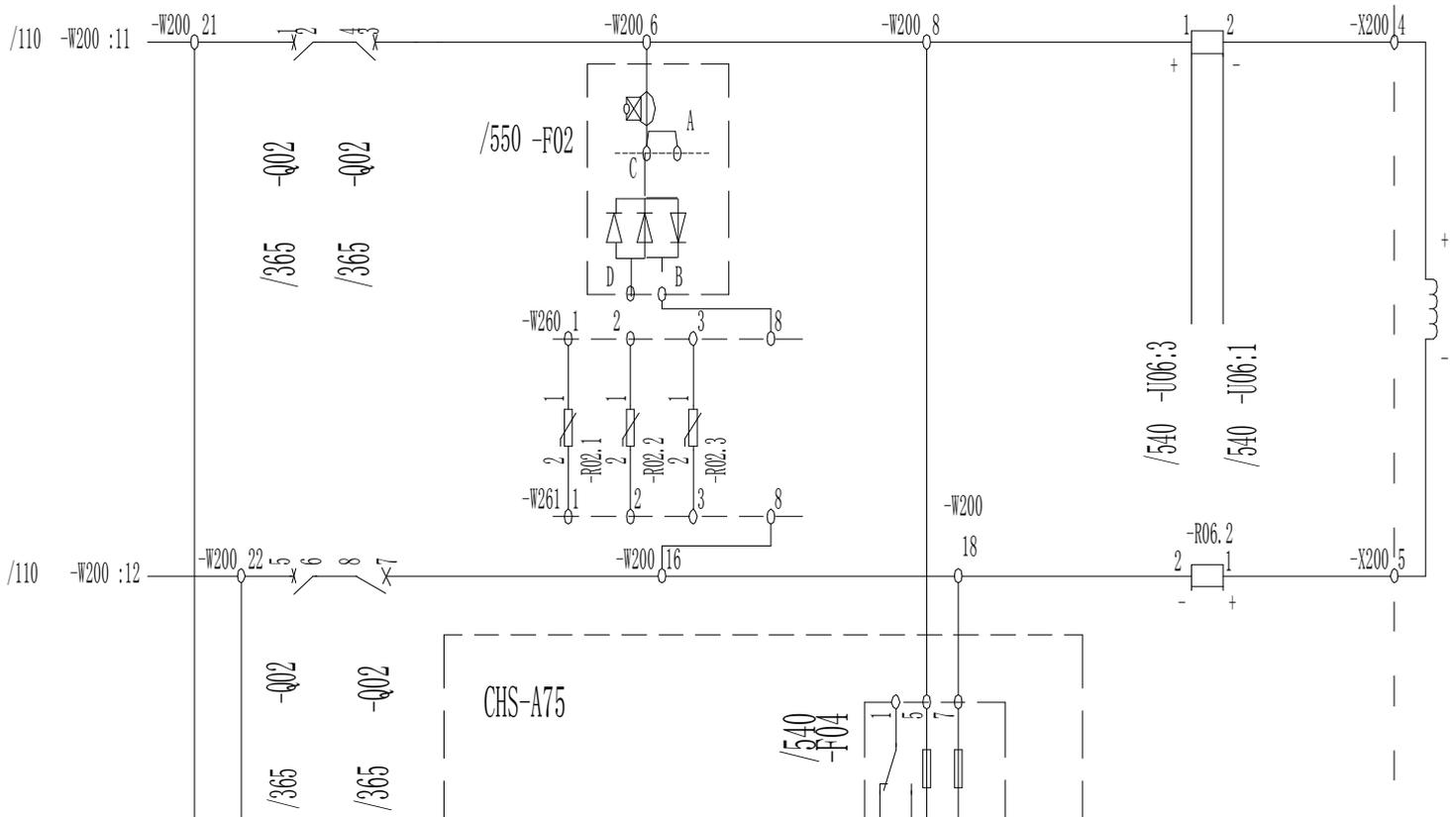


图2-2 跨接器-F02主回路接线图

## (1) 灭磁原理

对于300MW及以上的汽轮发电机UN5000自并励静止励磁系统，一般都采用标准的直流灭磁方案，它包括安装于整流桥直流侧的4断口磁场断路器、晶闸管跨接器（CROWBAR）、碳化硅非线性灭磁电阻。当收到来自发电机保护或者来自内部的励磁保护跳闸命令，在断开直流侧磁场断路器的同时触发晶闸管跨接器以接通灭磁电阻灭磁，同时启动逆变灭磁措施共同灭磁。

## (2) 过压保护原理

发电机端出现故障，如短路、错误的同步或异步运行，会在转子回路中产生反向过电压。为不至于破坏励磁绕组的绝缘，必须限制过电压到足够安全的水平。跨接器电路通常用于直流侧过压保护。该电路采用雪崩二极管探测转子回路中的正向和反向过电压。对于300MW汽轮发电机组该雪崩二极管的击穿电压一般选择为2200V，即过电压保护动作值为2200V。当雪崩二极管被击穿时，相连的可控硅则被触发，立即将碳化硅非线性灭磁电阻并联连接到转子回路上，如图2-2。同时发出跳闸命令，由此形成真正过电压发生时对转子回路的保护。

## 2、 Current sensor 功能特性

### (1) Current sensor 原理

电流传感器CUS通过Hall current sensor（霍尔电流传感器）测量电流。它电流测量范围为0-2000A，而且线性度和精度都非常高。传感器的输出能够产生与铁心内流过的电流成正比的差分电压，原理图如图2-3。

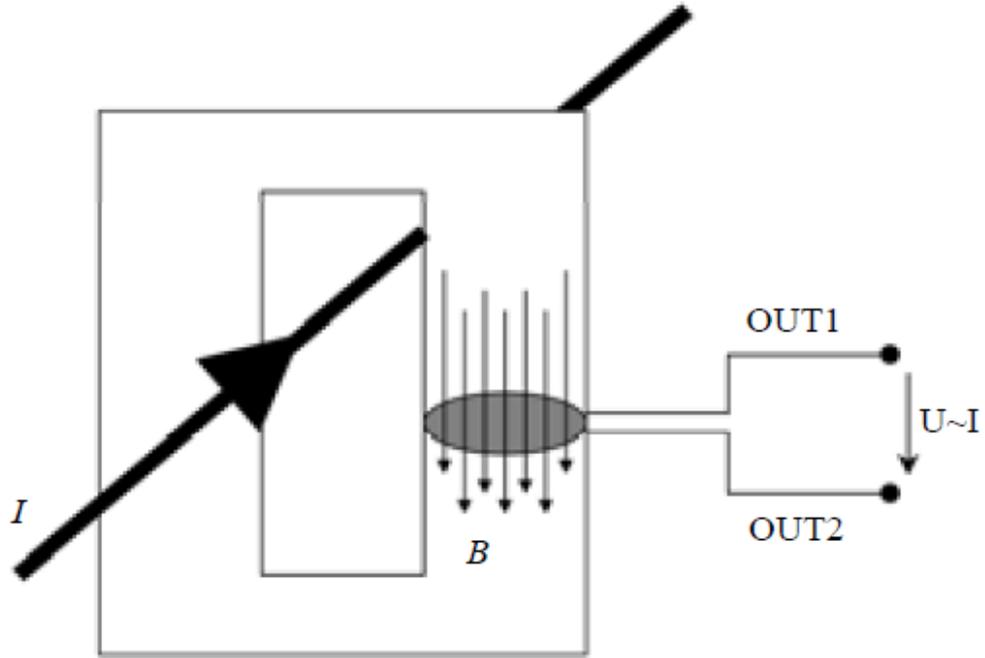


图2-3 CUS电流测量原理图1

## (2) 跨接器 (Crowbar) 功能实现

当晶闸管导通电流达到Current sensor 监视元件（图2-1中的-T1元件）的动作值时,Crowbar回路会导通非线性电阻回路用来抑制转子过电压上升,AVR 运行程序会发出转子过电压报警,联跳磁场断路器,从而联锁停机,已达到保护转子回路的功能。但是,Crowbar回路一旦导通动作,即使转子电压恢复正常运行值,Crowbar回路也不会自动复归切断,励磁系统将不能正常工作。

## 三、ABB Unitrol 5000 应用中的故障分析及解决方案

### 1、首钢京唐自备电厂案例

首钢京唐公司自备电厂（以下简称“我厂”）2×300MW机组励磁系统为ABB UNITROL 5000， 型号Q5S-0/U231-D3200 由哈尔滨电机厂成套提供，采用下出线

接线方式，静态调试、动态调试均合格。按照设计，励磁系统保护动作时要跳开灭磁开关，同时发出励磁系统故障信号到发变组保护A、B（南瑞RCS985A）屏，经发变组保护的“外部重动1（励磁系统故障）”动作于全停。

以下是我厂1#机组自2009年9月9日通过168试运行以来励磁系统运行中发生的故障案例。

2010年2月7日，当时厂用电运行情况为启备变带2#机厂用负荷，1#机组高厂变带1#机组厂用电运行。

2: 44，启备变掉闸，同时1#机组掉闸，1#、2#柴油发电机联启失败，直流油泵联启。就地手动启动两台柴油发电机失败，全厂停电。经现场查看，启备变本体110kV侧A、B两相套管有明显闪络痕迹（注：A相比B相严重），摇测绝缘不合格。

检查起备变保护A柜报警情况为：

02: 44: 48: 676变压器差动动作，变压器比率差动动作。

发变组A屏报警情况为：

02: 44: 48: 680励磁断路器联跳保护动作（励磁柜就地报励磁过电压（报警信号为018 field overvoltage 35 152 standby alarm 119）

DCS曲线查询结果：02: 42: 48 励磁电压、励磁电流、发电机机端电压突降为零，发电机跳闸（但根据DCS曲线查看，突降前参数并无明显波动）。

故障录波器录波情况：

02: 44: 48 启备变电压、电流异常启动录波（启备变保护动作）。

02: 44: 48 发电机励磁电流、励磁电压、发电机机端电压异常启动录波。

发变组跳闸前后，发电机励磁电流、励磁电压、发电机机端电压的曲线无异常波动。

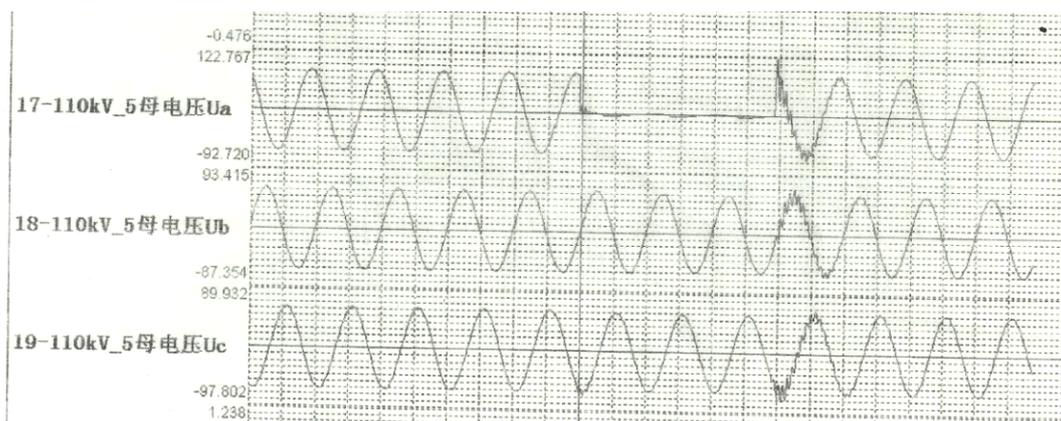


图 3-1 2月7日首钢京唐公司 110kV 系统电压故障录波图

#### 原因分析：

事故发生时，运行方式为启备变带2#机组厂用电运行，而设备记录显示启备变差动跳闸在先，1#机组跳闸在后，经对各保护装置检查，除励磁过电压动作外，没有其他保护动作的记录，即：1#发变组没有保护动作，而是被动的接到跳闸指令后执行跳闸，所以事故原因确定为：因启备变闪络故障导致110kV母线电压电流波动（启备变与1#主变均上5甲母线运行，启备变中性点不接地运行，1#主变中性点接地运行），导致1#发电机转子感应过电压，进而造成1#机组保护动作跳闸。

2010年4月1日，14:33，我厂1#发电机组解列，经检查，发变组A、B屏保护报警“外部重动1动作”（即励磁系统联跳）。励磁系统报“磁场过电压”信号（018 field overvoltage 35 152 standby alarm 119）。根据故障录波器记录情况显示，14:33因外部系统（首钢京唐公司外部220kV电网）故障，110kV电压最多降幅达20kV，有明显电压波形畸变，经检查励磁系统线路及电路板，无其他故障及报警信号，本次跳机事故现象与2月7日跳机情况如出一辙。经分析，认为造成两次停机的原因如下：

励磁系统存在问题，是造成此次停机的根本原因。励磁系统的霍尔传感器（直流电流传感器，即Crowbar回路的Hall current sensor）输出动作值整定过低，现设定为200A，即当霍尔元件（直流电流互感器）输出达到动作定值200A时，即造成励磁调节器“转子过电压”保护误动作，从而发变组“外部重动1”保护动作，机组跳闸。霍尔传感器的动作值没有固定值，为厂家设备运行经验值，而且

受每台机组实际情况决定，它一般出厂时的默认值是120 A，因在其他机组运行时发生过类似误动情况，所以我厂机组现在整定值为200 A，但各机组运行环境以及运行的系统存在差异，所以正常运行时，各机组的霍尔传感器正常输出值也有所不同。经了解，有机组300MW正常运行时实测霍尔元件输出达到190 A左右，所以分析认为由于外部故障影响，电网电压波动，又因Crowbar回路动作报警值设定过低，则外部稍有扰动即造成霍尔元件（直流电流互感器）输出达到Crowbar回路动作（发出报警跳闸信号，而并非真正导通灭磁电阻）定值而致励磁系统误动。

## 2、分析及解决方案

### （1）分析过程

我厂机组在300MW正常运行时，磁场电压为260V左右，而“转子过电压”Crowbar回路击穿动作值为2200V，即使在强励动作的情况下，也不会造成“转子过电压”发生，根据DCS记录曲线，跳机前发电机励磁电压、电流均无较大波动，因此可基本排除转子过电压实际发生可能性。故有理由判定为励磁系统测量回路误发动作信号引起，对灭磁柜内Crowbar回路的霍尔变送器外观、二次接线检查无发现明显的问题。

因参数TRIG I CROWBAR A（转子过电压动作定值）为200A，针对Crowbar回路电流运行中出现的异常现象，临时将参数TRIG I CROWBAR A定值改为260A。

为实际测试确定Crowbar回路合理定值，可选取典型运行工况，分别于1#机组启动达额定转速、空投励磁时，机组并网带100MW负荷、200MW负荷、300MW负荷时实地测定、抄录装置感应漏电流值，以此为依据，最终确定合适、可靠定值，并完成整定。

跟据实验结果，1#机组空投励磁、100MW负荷、200MW负荷、300MW负荷时Crowbar回路电流值分别为78A、112A、131A、156A。

因机组事故时满负荷运行，根据实验测定值156A，故在满负荷时，Crowbar回路电流极有可能因外部电压波动导致的励磁电流波动引起转子过电压保护动作值200A，由此确认2月7日、4月1日发生的转子过电压跳闸事故为Hall current

sensor因受外部电网故障电压波动干扰引发误动作。

另外，有研究指出，灭磁开关柜内励磁母线的布置亦可能对Hall current sensor测量造成较大影响。母线结构布置的不合理时，如Crowbar回路附近的励磁直流输出铜排不对称，当励磁输出铜排通过大电流时，因为不对称产生的磁场会使霍尔元件受到感应，从而造成Crowbar回路电流输出叠加增大。

## (2) 解决方案

根据现场情况，改善母线排布置不具有可行性，故只能调整参数TRIG I CROWBAR A的定值。

利用实验结果，1#机组空投励磁、100MW负荷、200MW负荷、300MW负荷时Crowbar回路电流值分别为78A、112A、131A、156A，结合对应励磁电流(Exitation A)记录值，可的如下数据表：

表 3-1：Crowbar/Exitation 电流数据表

| Load        | OMW(未投励磁 0) | OMW(空投励磁) | 100MW | 200 MW | 300 MW |
|-------------|-------------|-----------|-------|--------|--------|
| Crowbar A   | 0A          | 78A       | 102A  | 131A   | 156A   |
| Exitation A | 0A          | 900A      | 1280A | 1704A  | 2161A  |

作出 Crowbar 漏电流 (纵坐标:A) 与 Exitation 电流 (横坐标:A) 电流曲线, 如图 5

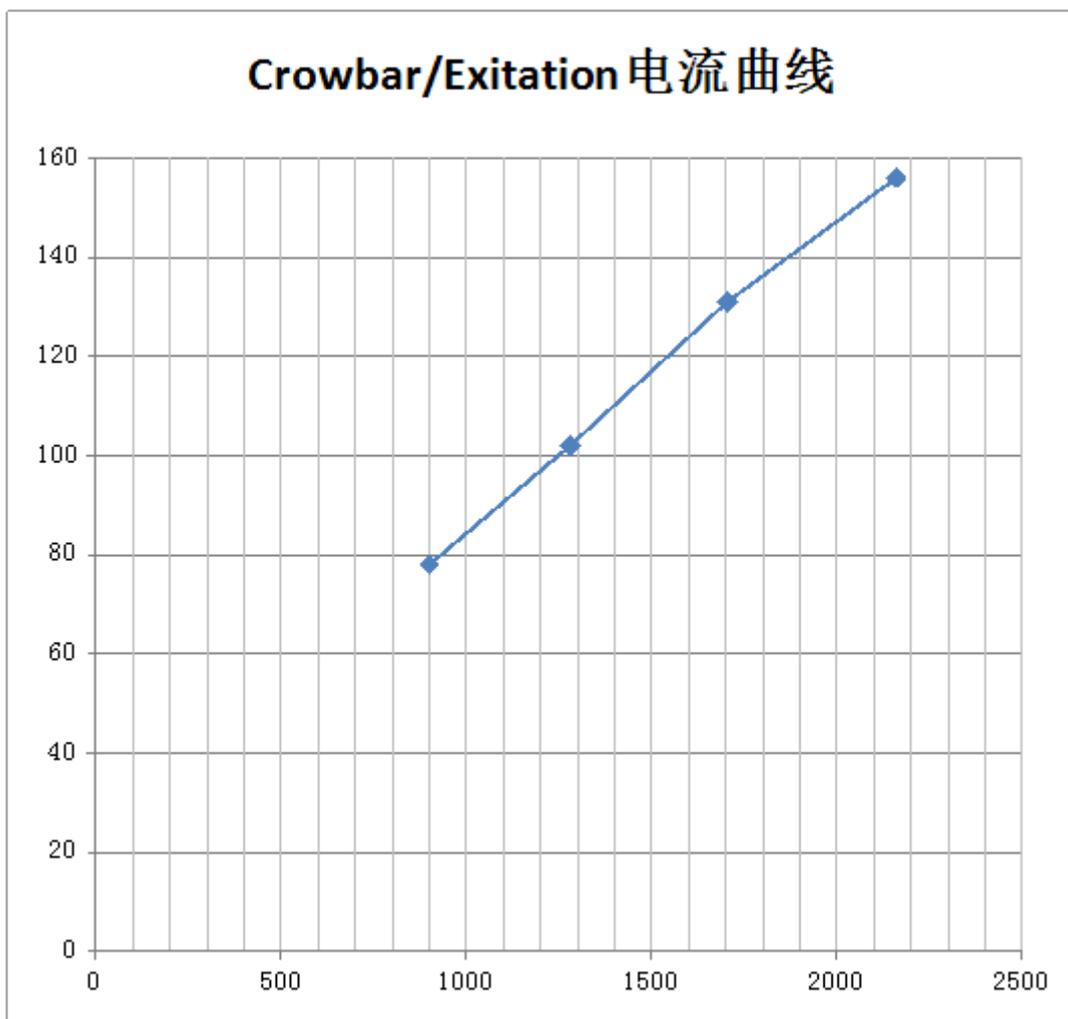


图 3-2 Crowbar/Excitation 电流曲线图

观察不同励磁电流下的 Crowbar 回路电流值，容易推定励磁电流与 Crowbar 回路电流值成线性正比关系，因此对参数 TRIG I CROWBAR A 定值重新整定如下：  
按躲过强励即 2 倍额定电流下的干扰值考虑，结合函数曲线，计算如下：

$$156A \times 2 = 312A \quad (3-1)$$

考虑安全裕度按 10% 计算，有

$$312A \times 1.1 = 343.2A \quad (3-2)$$

即得出合理整定值，取 340A。此定值应先临时设定进装置（在机组运行时锁存数据具有较大风险性，所以待机组停机后才应将新保护定值锁存）。

TRIG I CROWBAR A 定值重新整定后，机组后又经历多次系统电压波动，再未出现励磁“转子过电压”跳机故障发生，证明通过重新整定参数值能够彻底解决因 Hall current sensor 受干扰导致 Crowbar 回路误发报警信号的问题。

## 四、结束语

自并励励磁系统较其他励磁方式有许多优点,可作为发电机组优选的励磁方式。目前,大多数水轮机组都采用了自并励励磁方式,汽轮机组也将越来越多采用这种励磁方式。在国内300MW机组中ABB Unitrol 5000系统应用越广泛,对于应Crowbar回路的霍尔传感器问题导致的励磁保护误动作以至故障跳机的故障在国内其他电厂中也有发生,解决这个问题的关键在于施工过程中的母线排结构设计安装以及Crowbar回路电流TRIG I CROWBAR A参数设定。而对于参数TRIG I CROWBAR A的设定要严格根据特定机组的所处运行状况单独测试确定,并应考虑一定的可靠裕度。因此综上所述,建议新投运机组在调试阶段应专门针对Crowbar回路电流进行实验测试,计算获得合理TRIG I CROWBAR A参数整定,从而避免运行中的误动作跳机事故。

## 参考文献

- [1] 李基成. 现代同步发电机整流器励磁系统[M]. 北京:水利电力出版社, 1987
- [2] 李基成. 现代同步发电机励磁系统设计及应用[M]. 北京:中国电力出版社, 2002
- [3] 张玫, 朱方, 刘增煌. 大型汽轮发电机采用自并励励磁系统的可行性分析[J]. 电网技术, 1997, 21(12)
- [4] 林澄波. 同步发电机自并励励磁系统改造技术总结[J]. 电网技术, 1997, 21(12)
- [5] 方思立, 刘增煌, 孟庆和. 大型汽轮发电机自并励励磁系统的应用条件[J]. 中国电力, 1994, 27(12)
- [6] 陈杰凤, 姜国华, 曹洪亮. UN5000 励磁系统跨接器 (CROWBAR) 故障的技术分析与处理. 大电机技术, 2007, NO. 5
- [7] 席国权, 刘波元. ABB UNITROL 5000励磁系统几例故障分析及处理. 开发应用, 2011, 1