

ICS 27.100

K 51

备案号: 18581-2006

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1013 — 2006

大中型水轮发电机微机励磁调节器 试验与调整导则

Test and adjustment guide of microcomputer-based
excitation regulator for large and medium hydraulic generators



2006-09-14 发布

2007-03-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

| | |
|------------------|----|
| 前言..... | II |
| 1 范围..... | 1 |
| 2 规范性引用文件..... | 1 |
| 3 试验分类和项目..... | 1 |
| 4 基本试验与调整方法..... | 2 |

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2006 年行业标准项目计划的通知》（发改办[2006] 1093 号）的安排制定的。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由中国电力行业水电站自动化设备标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：国家电网公司南京自动化研究院。

本标准起草人：许和平、刘国华、陈贤明、吴建东、徐福安、秦汉军。

大中型水轮发电机微机励磁调节器试验与调整导则

1 范围

本标准规定了大中型水轮发电机微机励磁调节器的试验分类、试验项目、基本试验和调整方法与要求。

本标准适用于单机容量为 10MW 及以上大中型水轮发电机（简称发电机）的微机励磁调节器使用与试验调整要求。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

DL/T 489—2006 大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置试验规程

DL/T 583 大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置技术条件

DL/T 838 发电企业设备检修导则

3 试验分类和项目

微机励磁调节器的试验一般分为型式试验、出厂试验、交接试验及定期检查试验四种。

3.1 型式试验

试验的主要目的是对产品电气性能的正确性和完整性、环境适应性、电磁兼容性等方面进行检验。遇有下列三种情况之一者应进行型式试验：

- a) 新产品定型；
- b) 对正常产品的设计、工艺、材料（包括电子元器件）改变而影响产品的主要性能时；
- c) 按合同规定需对电站安装的产品进行型式试验者。

3.2 出厂试验

是对产品的部分电气性能以及产品铭牌参数（或合同中产品参数）的校核验证。每台设备均应进行出厂试验。

3.3 交接试验

是对产品的主要性能指标的综合测试。验证的结果应满足 DL/T 583 的有关要求。

此试验应在励磁系统及其装置交付正式投入运用前进行，除表 1 中所列内容外，也应符合 DL/T 489 中表 1 的要求。

3.4 定期检查试验

是指对已投入运行的微机励磁调节器进行定期 A、B 级检修（见 DL/T 838）期间，为确保其安全、可靠运行的定期检查试验。其试验周期一般与机组检修周期相同或根据装置运行的情况确定。

关于装置中的设备及元器件故障修复后或更换后的试验，按定期检查试验规定进行。

3.5 试验项目

根据试验的不同要求，分别列出微机励磁调节器的型式试验、出厂试验、交接试验及定期检查试验项目，如表 1 所示。

表1 微机励磁调节器型式试验、出厂试验、交接试验及定期检查试验项目

| 序号 | 试验项目 | 型式试验 | 出厂试验 | 交接试验 | 定期检查试验 |
|------|--------------------------|------|------|------|--------|
| 1 | 电气单元特性试验 | | | | |
| 1.1 | 直流稳压电源单元试验 | √ | √ | * | * |
| 1.2 | 模拟量测量环节试验 | √ | √ | * | * |
| 1.3 | 开关量输入输出环节试验 | √ | √ | * | * |
| 1.4 | 同步信号及移相特性环节试验 | √ | √ | | |
| 1.5 | 脉冲特性试验 | √ | √ | | |
| 2 | 微机励磁调节器参数整定和静态模拟试验 | | | | |
| 2.1 | 自动和手动环节调节范围测定 | √ | √ | * | * |
| 2.2 | 自动手动环节给定调节速度测定 | √ | √ | * | * |
| 2.3 | 两套调节通道切换试验 | √ | √ | * | * |
| 2.4 | 过励限制参数整定和静态模拟试验 | √ | √ | * | * |
| 2.5 | 欠励限制参数整定和静态模拟试验 | √ | √ | * | * |
| 2.6 | 强励反时限参数整定和静态模拟试验 | √ | √ | * | * |
| 2.7 | 电压/频率限制参数整定和静态模拟试验 | √ | | | * |
| 2.8 | TV断线功能模拟试验 | √ | √ | | * |
| 3 | 微机励磁调节器动态模拟和仿真试验 | | | | |
| 3.1 | 起励试验 | √ | * | | * |
| 3.2 | 零起升压试验 | √ | * | | * |
| 3.3 | 逆变灭磁试验 | √ | * | | * |
| 3.4 | 空载自动方式10%阶跃响应试验(PID参数整定) | √ | * | | * |
| 3.5 | 空载电流闭环阶跃响应试验(PID参数整定) | √ | * | | * |
| 3.6 | 自动/手动/两套调节通道切换试验 | √ | * | | * |
| 3.7 | 电压/频率限制试验 | √ | * | | * |
| 3.8 | TV断线试验 | √ | * | | * |
| 3.9 | 过励限制试验 | √ | * | | * |
| 3.10 | 欠励限制试验 | √ | * | | * |
| 3.11 | 强励反时限限制试验 | √ | | | |
| 3.12 | 三相短路试验 | √ | | | |
| 3.13 | 两相短路试验 | √ | | | |
| 3.14 | 两相接地短路试验 | √ | | | |
| 3.15 | 单相接地短路试验 | √ | | | |
| 3.16 | PSS试验 | √ | * | | * |
| 3.17 | 甩负荷试验 | √ | * | | * |

注：*为可选做项目。也可选做项目中某些内容。

4 基本试验与调整方法

4.1 微机励磁调节器电气单元试验与调整

4.1.1 直流稳压电源单元

4.1.1.1 试验目的

检验微机励磁调节器直流稳压电源的基本特性。

4.1.1.2 试验条件

单相调压器，负载用滑线变阻器，电流表、电压表等试验仪器。

4.1.1.3 试验方法

- a) 稳压范围。稳压电源单元接额定电流的等值负载，通过调压器改变输入电压使得稳压电源输入电压在 -20% ~ $+15\%$ 额定电压值之间。测量输出电压的变化，绘出曲线；
- b) 外特性曲线。输入电压为额定值，改变负载电流，使负载电流在 0 至额定值之间变化，测量输出电压的变化，绘出曲线；
- c) 输出纹波系数。保持输入、输出电压和负载均为额定值，测量输出电压的纹波值。一般稳压纹波峰峰值应不大于 1% 的电压额定值，电压纹波系数为直流电源电压波动的峰峰值与电压额定值之比。

4.1.2 模拟量测量环节整定

4.1.2.1 试验目的

校验模拟量信号的测量精度、线性度和范围。

4.1.2.2 试验条件

标准三相交流电压源（输出 $0\sim 150\text{V}$ ， 50Hz ，不低于精度 0.5 级），标准三相交流电流源（输出 $0\sim 10\text{A}$ ，不低于精度 0.5 级）。示波器、万用表等试验仪器。型式试验电源精度要求为 0.2 级。

4.1.2.3 试验方法

- a) 三相模拟量输入一致性整定。微机励磁调节器三相输入端子（发电机定子电压、发电机定子电流、代表发电机转子电流的整流器阳极电流等）并联后接入单相标准源（电流源、电压源）。
 - 1) 交流直接采样。将三通道示波器连接在 A/D 转换器前，观测三相信号交流波形（相位、幅值）。要求相位误差不得大于 1° ，幅值误差小于 0.5% 。波形不能畸变。如三相一致性不能满足要求，检查输入通道的互感器、滤波器所引起的相移和幅值衰减，并进行调整，使其满足要求。
 - 2) 整流型采样。将万用表连接在 A/D 转换器前，观测各相信号电压有效值是否相同。要求误差小于 0.5% 。如三相一致性不能满足要求，检查输入通道的互感器、滤波器所引起的衰减，并进行调整，使其满足要求。

A/D 转换器前信号调理电路调整好后，观测微机励磁调节器模拟信号的测量显示值。要求显示值测量误差在 0.5% 以内。

- b) 三相模拟量输入测量精度、线性度和范围的检查。微机励磁调节器接入三相标准源。电压源有效值变化范围为 $0\%\sim 150\%$ （微机励磁调节器设计输入值），电流源有效值变化范围为 $0\%\sim 200\%$ 。设置若干测试点，测试点不少于 15 个，其中要求有 0 和最大值两点。在设计额定值附近测试点可以密集些，不要求测试点等间距。观测微机励磁调节器测量显示值并记录。

4.1.3 开关量输入输出环节测试

4.1.3.1 试验目的

检验微机励磁调节器开关量输入输出环节的正确性。

4.1.3.2 试验条件

模拟开关量信号输入或短接端子；开关量信号输出可用发光二极管加附加电源。

4.1.3.3 试验方法

- a) 开关量输入环节试验。手动改变输入开关量状态，通过微机励磁调节器板件指示或界面显示逐一检查开关量输入的正确性。
- b) 开关量输出环节试验。通过微机励磁调节器监控界面或其他方式，模拟每路开关量的输出，并检查对应开关量输出环节的正确性。

4.1.4 同步信号及移相特性环节试验

4.1.4.1 试验目的

校验微机励磁调节器同步信号、移相特性及变化范围的正确性。

4.1.4.2 试验条件

标准三相交流电压源、示波器等试验仪器。

4.1.4.3 试验方法

- a) 移相特性测试。按照正确的相序要求，将标准三相交流电压源连接到微机励磁调节器同步输入端子。此时同步电压设定在额定值。微机励磁调节器触发控制角置于固定角度。示波器一个通道接同步电压输入端，如 U_{ab} 或 U_a 。另一通道接脉冲输出端即脉冲变压器的一次侧或二次侧。观测脉冲前沿和同步电压的相移关系。测试开始通过微机励磁调节器触发控制角置于固定角度，如 30° 角。用示波器校核同步电压信号和触发脉冲之间的移相。然后从强励角到最大逆变角按等间隔设置不少于 15 个点的测试相角点。测试点要求包含强励角、 90° 角、最大逆变角。观测触发角度的上、下限和变化范围并进行记录。所有点测试记录以后，分析移相特性是否正确。如不正确找出相角移动的原因并进行校正；
- b) 同步信号幅值变化的测试。同上接线。微机励磁调节器触发控制角置于固定角度。将同步电压频率值设定在额定值。调节输入同步电压有效值，使其变化范围为 $0\% \sim 150\%$ 。用示波器观测校核同步电压信号和触发脉冲之间的移相，并记录。观察同步信号幅值变化和移相角之间的关系（在同步电压的最低分辨电压值以上，移相角应无大变化），确定同步电压的最低分辨电压值；
- c) 同步信号频率变化的测试。同上接线。微机励磁调节器触发控制角置于固定角度。将同步电压有效值设定在额定值。改变输入同步电压频率值，使其在 $0.9 \sim 1.6$ 倍额定频率范围内变化。用示波器观测校核同步电压信号和触发脉冲之间的移相，并记录。分析同步信号频率值变化和移相角准确度之间的关系，确定微机励磁调节器正确工作的同步电压频率值上限和下限值。

4.1.5 脉冲特性试验

4.1.5.1 试验目的

校验微机励磁调节器脉冲输出及移相特性。

4.1.5.2 试验条件

三相同步电源和整流电源（同相）、试验用三相整流桥、直流负载，示波器等试验仪器。

4.1.5.3 试验方法

- a) 触发脉冲检查。用示波器观测脉冲变压器一次侧和晶闸管控制极的脉冲波形，脉冲波形应正确。如双脉冲应是相差 60° 角的两个脉冲。脉冲序列应和设计波形相同。触发脉冲前沿的陡度应小于 $1\mu\text{s}$ 。脉冲应光滑、干净、没有多余的毛刺；脉冲宽度一般不小于 5° （ 360° 对应 20ms ）；晶闸管控制极脉冲应可见脉冲前沿的开通尖峰和脉冲后沿的导通平台。如不正确应进行检查。
- b) 触发脉冲一致性检查。使微机励磁调节器带试验用晶闸管整流桥，连接电抗性负载做开环小电流试验状态。微机励磁调节器输出一个固定的触发控制角，用示波器观测负载上的直流电压和同步电压。当三相同步电压、三相整流电源各相电压幅值相等而且相角准确相差 120° 时，负载上的锯齿波形状的直流电压一致性应很好。 20ms 应有 6 个波头。每相锯齿波应波形相同、面积相等、幅值相等。当微机励磁调节器变化相角时，锯齿波 6 个波头仍应对称、一致。如有不同应检查电路和控制程序。

4.2 微机励磁调节器参数整定和功能静态模拟试验

4.2.1 自动和手动环节调节范围测定

4.2.1.1 试验目的

检测微机励磁调节器在自动、手动方式下的调节范围及上、下限幅整定。

4.2.1.2 试验条件

三相电源模拟同步电压源；利用三相电压源和电流源接入微机励磁调节器模拟定子电压、定子电流、代表转子电流的整流器阳极电流等信号。

4.2.1.3 试验方法

发电机微机励磁调节器工作电源投入，微机励磁调节器工作正常。

微机励磁调节器模拟工作在发电机空载工况下，分别按恒发电机定子电压闭环调节方式及恒发电机转子电流闭环调节方式运行。通过对发电机微机励磁调节器进行增、减给定值操作，观测发电机定子电压给定值、转子电流给定值的上、下限，并进行记录。检查和设计规范要求是否一致。如不满足要求应整定、修改，直到符合要求为止。

微机励磁调节器模拟工作在发电机并网工况下，按恒发电机定子电压闭环调节方式及恒发电机转子电流闭环调节方式下，通过对发电机微机励磁调节器进行增、减给定值操作，观测发电机定子电压给定值、转子电流给定值的上、下限，并做记录。检查和设计规范要求是否一致。如不满足要求应整定、修改，直到符合要求为止。

4.2.2 自动和手动环节给定调节速度测定

4.2.2.1 试验目的

检测微机励磁调节器在自动、手动方式下电压调节速度。

4.2.2.2 试验条件

三相电源模拟同步电压源。

4.2.2.3 试验方法

微机励磁调节器工作电源投入，微机励磁调节器工作正常。

在恒发电机定子电压闭环调节方式下，通过对微机励磁调节器进行增、减励磁操作，在某时间段中，记录发电机定子电压给定值变化量。然后，计算出单位时间（1s）的发电机定子电压给定值百分数值，并做记录。

在恒发电机转子电流闭环调节方式下，通过对微机励磁调节器进行增、减励磁操作，在某时间段中，记录发电机转子电流给定值变化量。然后，计算出单位时间（1s）的发电机转子电流给定值百分数值，并做记录。

试验结果应满足 DL/T 583 的要求，否则进行调整，直到符合要求为止。

4.2.3 两套调节通道跟踪切换试验

4.2.3.1 试验目的

测定发电机微机励磁调节器双通道的相互跟踪情况，是否可快速跟踪并能够实现无扰动切换。

4.2.3.2 试验条件

三相调压器作为晶闸管整流桥阳极电源和微机励磁调节器同步信号源；向微机励磁调节器送入三相电压作为发电机定子电压信号；晶闸管整流器带滑线变阻器和电感作为负载。

4.2.3.3 试验方法

将微机励磁调节器设置在恒电压控制方式下，分别调整触发控制角度为强励角或强减角。也可切除积分环节将触发控制角稳定在一个值上。对微机励磁调节器做主从通道切换试验，用示波器观测晶闸管输出直流侧波形是否有变化，并做记录。应无变化，否则找出变化的原因并进行改正。

4.2.4 过励限制参数整定和静态模拟试验

4.2.4.1 试验目的

测试微机励磁调节器过励限制参数整定值和限制动作功能。

4.2.4.2 试验条件

三相电源模拟同步电压源；利用三相电压源和电流源接入微机励磁调节器模拟的定子电压、定子电流等信号；由用户提供的实际过励限制曲线。

4.2.4.3 试验方法

模拟微机励磁调节器工作在发电机并网的负载工况下，采用恒发电机定子电压调节方式运行。整定并输入实际的过励限制曲线。计算出有功功率为 $0P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $1.0P_N$ 时的无功功率值。通过模拟输入改

变有功功率、无功功率大小，逐点进行试验。检验微机励磁调节器是否会准确动作及动作时间是否与设计值一致，检验过励限制信号是否发出，分别记录过励限制功能动作值。过励限制功能动作后，增磁应无效。连接3点绘出曲线，检查是否符合输入的实际过励限制曲线。如不符应修正输入曲线。

减小无功功率使其满足过励限制的返回条件，过励限制信号应返回。

4.2.5 欠励限制参数整定和静态模拟试验

4.2.5.1 试验目的

测试微机励磁调节器欠励限制参数整定值和限制动作功能。

4.2.5.2 试验条件

三相电源模拟同步电压源；利用三相电压源和电流源接入微机励磁调节器模拟的定子电压、定子电流等信号；由用户提供的实际欠励限制曲线。

4.2.5.3 试验方法

模拟微机励磁调节器工作在发电机并网的负载工况下，采用恒发电机定子电压闭环调节方式运行。整定并输入实际的欠励限制曲线。计算出有功功率为 $0P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $1.0P_N$ 时的无功功率值。通过模拟输入改变有功功率、无功功率大小，逐点进行试验。检验微机励磁调节器是否会准确动作及动作时间是否与设计值一致，检验欠励限制信号是否报出，分别记录欠励限制功能的各点动作值。欠励限制功能动作后，减磁应无效。连接3点绘出曲线，检查是否符合输入的实际欠励限制曲线。如不符应修正输入曲线。

增加无功功率使其满足欠励限制的返回条件，欠励限制信号应返回。

4.2.6 强励反时限限制参数整定和静态模拟试验

4.2.6.1 试验目的

测试微机励磁调节器强励反时限限制参数整定值和限制动作功能。

4.2.6.2 试验条件

三相电源模拟同步电压源；利用三相电流源接入微机励磁调节器模拟的转子电流等信号；已有实际的强励反时限限制曲线。

4.2.6.3 试验方法

模拟微机励磁调节器工作在发电机并网的负载工况下，采用恒发电机定子电压闭环调节方式运行。整定并输入实际的强励反时限限制曲线。将模拟转子电流测量值分别调整为发电机额定转子电流的1.2倍、1.4倍、1.6倍、1.8倍和2倍，分别检验微机励磁调节器是否会准确动作及动作时间是否与设计值一致，检验强励反时限限制信号是否报出，并做记录。连接记录点绘出强励反时限曲线。检查是否符合输入实际的强励反时限限制曲线。如不符应修正输入曲线。

将模拟转子电流调整至1.1倍额定值以下，满足强励反时限限制的返回条件，限制信号应返回。

4.2.7 电压/频率限制环节参数整定和静态模拟试验

4.2.7.1 试验目的

测试微机励磁调节器电压/频率限制环节参数整定值。

4.2.7.2 试验条件

选用可变频率三相电压源做同步信号源；设计的电压/频率限制曲线。

4.2.7.3 试验方法

模拟微机励磁调节器工作在空载工况。整定并输入设计的电压/频率限制曲线。调整三相电压源的频率，使电压频率在45Hz~52Hz范围内改变。选择不少于4个以上的频率点（其中包含有限制动作的初始点和逆变灭磁点），测量微机励磁调节器的电压整定值和频率值并做记录。检查微机励磁调节器电压/频率限制动作信号是否发出。连接记录点绘出电压/频率限制曲线。检查是否符合输入设计的限制曲线。如不符应修正输入曲线。

4.2.8 TV断线功能模拟试验

4.2.8.1 试验目的

测试微机励磁调节器 TV 断线检测保护功能。

4.2.8.2 试验条件

三相调压器作为晶闸管整流桥阳极电源和微机励磁调节器同步信号源，并将三相 100V 电压接入微机励磁调节器机端电压输入端子；晶闸管整流桥带滑线变阻器作负载；另有示波器、万用表等仪器。

4.2.8.3 试验方法

微机励磁调节器设置在恒电压闭环调节方式下，人为模拟任意 TV 一相断线。双通道微机励磁调节器将从主通道自动切换到备用通道。仍保持自动方式运行。恢复 TV 断线后，微机励磁调节器的 TV 断线信号应自动复归。

4.3 微机励磁调节器动态模拟试验和数字仿真试验

微机励磁调节器的某些性能上面的试验仍不能完全得以验证，必须通过必要动态模拟和数字仿真试验来验证。

动态模拟和数字仿真试验的试验项目如表 2 所示。试验中可根据励磁系统要求完成相应的微机励磁调节器试验接线。通过参数的配置使模拟机组和实际机组参数相一致。模拟电力系统的参数和实际电力系统一致。微机励磁调节器工作正常，整流装置的冷却系统工作正常，试验仪器齐备。根据表 2 的试验内容进行试验。检查微机励磁调节器性能的正确性。

表 2 动态模拟和数字仿真试验的试验项目

| | |
|----|------------------|
| 1 | 起励试验 |
| 2 | 零起升压试验 |
| 3 | 逆变灭磁试验 |
| 4 | 空载电压闭环阶跃响应试验 |
| 5 | 空载电流闭环阶跃响应试验 |
| 6 | 自动/手动/两套调节通道切换试验 |
| 7 | 电压/频率限制试验 |
| 8 | TV 断线试验 |
| 9 | 过励限制试验 |
| 10 | 欠励限制试验 |
| 11 | 强励反时限限制试验 |
| 12 | 单相接地短路试验 |
| 13 | 两相短路试验 |
| 14 | 两相接地短路试验 |
| 15 | 三相短路试验 |
| 16 | PSS 试验 |
| 17 | 甩负荷试验 |