

ICS 27.100
K 51
备案号: 18556-2006

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 583 — 2006
代替 DL/T 583 — 1995

大中型水轮发电机静止整流励磁系统及 装置技术条件

Specification for static rectified excitation systems
and devices 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 术语和定义..... | 1 |
| 4 基本技术要求..... | 8 |
| 5 试验..... | 13 |
| 6 技术文件..... | 14 |
| 附录 A（规范性附录） 电磁兼容试验等级及其标准..... | 15 |

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。

本标准与 DL / T 583—1995《大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置技术条件》版比较主要有以下一些主要变化：

- 主要是针对近年来已成为主流的微机励磁调节器以及自并励励磁系统的发展而进行了修订；
- 明确了灭磁时间、均流系数等长期争论的一些术语，规范了电力系统稳定器的模型。术语、定义由过去的 20 条增加到 40 条；
- 明确了一些参数测量条件：均流系数的测量条件、调压精度明确了用静差率来替代、参数指标的标么化。强励倍数取消了 0.8 折算系数直接按额定机端电压计算。功率柜配置数 N 按长期连续运行（已计算了强励）励磁电流考虑，以及备份冗余的配置；灭磁时间的定义使长期以来灭磁验证有了统一的标准。

本标准实施后代替 DL / T 583—1995。

本标准的附录 A 为规范性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电站自动化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、陈贤明、刘国华、吴建东、徐福安、秦汉军、王川、曾庆赣、陈小明、高光华、姜树德、陈家恒、方建新、梁志成。

大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置技术条件

1 范围

本标准规定了大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置的基本技术要求、使用的术语、定义、计算方法、试验、技术文件等。

本标准适用于单机容量为 10MW 及以上大中型水轮发电机（以下简称发电机）的静止整流励磁系统及装置的使用与订货要求。目前整流型励磁系统主要是以自并励方式的系统为主，其他方式实际已很少使用。因此本标准主要针对自并励系统进行阐述，整流型励磁系统亦可参照执行。

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。

GB 1094.1 电力变压器 第 1 部分：总则

GB 1094.2 电力变压器 第 2 部分：温升

GB 1094.3 电力变压器 第 3 部分：绝缘水平和绝缘试验

GB 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB 6450 干式电力变压器

GB/T 17626 电磁兼容试验和测量技术

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

IEEE std 421.4 电力系统稳态用励磁系统模型 Recommended practice for excitation system models for power system stability studies

IEC61000—4 电磁兼容 第 4 部分 试验测量技术 Electromagnetic compatibility (EMC) Part4: Testing and measurement techniques

IEC61000—6—5 电磁兼容 第 6—5 部分 通用部分 发电站和变电站 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 6-5: Generic standards-Immunity for power station and substation environments

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

励磁系统 Excitation system

为同步发电机提供励磁电流的设备，包括所有调节、控制、保护单元及功率电源和灭磁装置等。

3.2

静止整流励磁系统及装置 Static rectified excitation system and device

用静止晶闸管整流器将来自交流电源整流成直流，供给同步发电机可调励磁电流的系统及装置。它包括励磁变压器、功率整流单元、励磁调节器、起励、灭磁、保护、监视装置和仪表等。

3.3

励磁调节器 Excitation regulator

指按照某种调节规律对同步发电机机端电压、无功功率、功率因数、转子电流进行实时闭环调节的

装置。

3.4

自动电压调节器 (AVR) Automatic voltage regulator

指实现按恒机端电压调节方式的调节及相关的限制保护功能的装置,也称自动(调节)通道。

3.5

手动励磁调节单元 (FCR) Field current regulator

指实现按恒励磁电流调节方式的调节及相关的限制保护功能的装置,也称手动(调节)通道。

3.6

励磁系统额定电流 Excitation system rated current

指在励磁系统规定的运行条件下,励磁系统能够提供的长期连续运行的最大输出直流电流(这个电流必须大于同步发电机额定励磁电流的 1.1 倍,即发电机长期连续运行的最大励磁电流。包括由发电机电压、频率和功率因数变化所引起的变化)。

3.7

励磁系统额定电压 Excitation system rated voltage

指在同步发电机连续运行的额定负荷条件下,励磁系统输出额定电流时,励磁系统能够提供的在其输出端的直流电压。

3.8

励磁系统顶值电流(也称励磁顶值电流、顶值电流) Excitation system ceiling current

指在规定的强励时间内,励磁系统可输出的最大直流电流。

3.9

励磁系统顶值电压(也称励磁顶值电压、顶值电压) Excitation system ceiling voltage

指励磁系统强励时励磁电流达到规定的顶值电流的瞬间,励磁绕组两端整流电压的平均值。强励起始励磁电流取额定励磁电流,起始励磁绕组温度取发电机在额定工况下运行的励磁绕组温度(按 120℃ 计算)。

3.10

顶值电流倍数 Ratio of ceiling current

指励磁系统顶值电流与额定励磁电流之比。

3.11

顶值电压倍数 Ratio of ceiling voltage

指励磁系统顶值电压与额定励磁电压之比。

3.12

额定励磁电流 Rated field current

指当同步发电机运行在额定的电压、电流、功率因数和转速下,磁场绕组中的直流电流。

3.13

空载励磁电流 No-load field current

指当同步发电机运行在空载和额定转速下,产生额定电压所需要的发电机励磁电流。

3.14

额定励磁电压 Rated field voltage

指同步发电机在连续额定负荷条件下运行时,跨接在同步发电机磁场绕组端所需的直流电压。当磁场绕组设计的额定运行温升小于或等于 60℃ 时磁场绕组温度为 75℃。当磁场绕组设计的额定运行温升大于 60℃ 时磁场绕组温度为 100℃。

3.15

发电机调压精度 Accuracy of voltage regulation for generators

指在自动电压调节器投入、调差单元退出、电压给定值不进行人工调整的情况下，发电机负载从额定视在功率值变化到零，以及环境温度、频率、功率因数、电源电压波动等在规定的范围内变化时，所引起的发电机机端电压的最大变化，用发电机额定电压的百分数表示。

注：由于测量的困难，通常用发电机电压静差率的测试来替代发电机调压精度。

3.16

发电机电压静差率（负载变化时的调压精度） Static voltage droop rate for generators

指在自动电压调节器的调差单元退出、电压给定值不变、在额定功率因数下，负载从额定视在功率值减到零时发电机机端电压的变化率。

发电机电压静差率按下式计算：

$$E(\%) = [(U_{G0} - U_{GN}) / U_{GN}] \times 100\% \quad (1)$$

式中：

U_{G0} ——视在功率值为零时的发电机机端电压；

U_{GN} ——额定视在功率值时的发电机机端电压。

3.17

发电机电压调差率 Ratio of reactive current compensation

指在自动电压调节器调差单元投入、电压给定值固定、功率因数为零的情况下，无功电流的变化所引起的发电机电压的变化率。用任选两点无功功率值下的电压变化率除以两点的电流变化率的百分数来表示。

发电机电压调差率按下式计算：

$$D(\%) = \{ [(U_{G0} - U_{G1}) / U_{G1}] / [(I_{G0} - I_{G1}) / I_{G1}] \} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

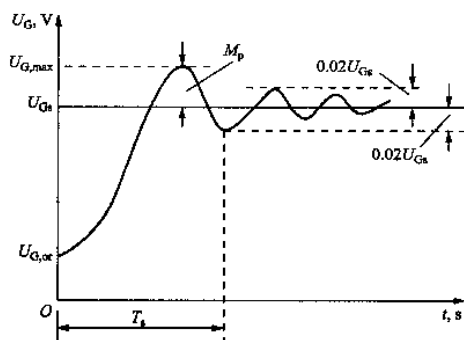
U_{G0} 、 U_{G1} ——发电机电压（对应于 I_{G0} 、 I_{G1} 下）；

I_{G0} 、 I_{G1} ——发电机电流（发电机不同无功功率下所对应的电流）。

3.18

调节时间 Settling time

指从给定阶跃信号到发电机机端电压值和稳态值的偏差不大于稳态值的 $\pm 2\%$ 所经历的时间。调节时间见图 1。



注： U_{Gmax} 为发电机机端电压最大瞬时值； U_{Gs} 为发电机机端电压稳态值； U_{G0r} 为发电机机端电压起始值，对于空载起励情况， U_{G0r} 为零（或发电机残压），对于甩负荷情况， U_{G0r} 为发电机甩负荷前机端电压值； T_s 为调节时间； M_p 为超调量。

图 1 调节时间

3.19

超调量 Overshoot

指阶跃响应中被控量的最大值与最终稳态值之差，见图 1。

3.20

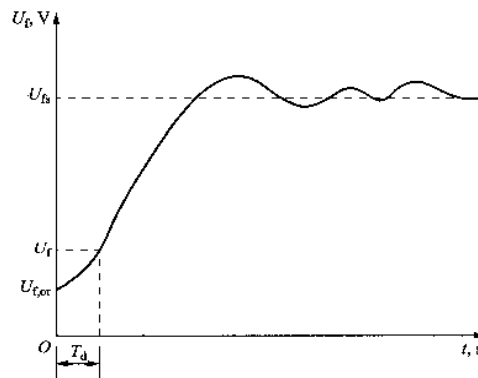
振荡次数 Number of oscillation

指被控量第一次达到被控量与最终稳态值之差的绝对值小于 2% 的最终稳态值时，被控量的波动周期次数。

3.21

励磁系统延迟时间 Time delay of excitation system

指从给自动电压调节器施加引起强行励磁的信号瞬间起，至励磁绕组电压与起始值的偏差等于最终励磁绕组电压与起始值之差的 3% 的瞬间止的时间段 T_d 。励磁系统延迟时间见图 2。



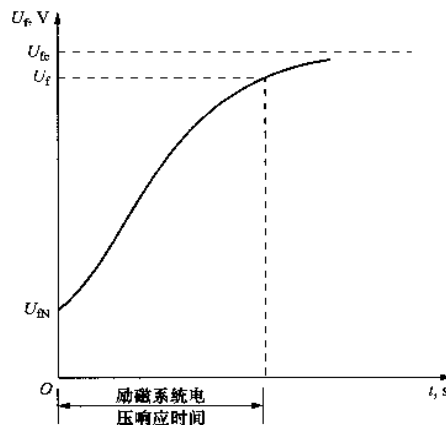
注： T_d 为励磁系统延迟时间； $U_f - U_{f,or} = 0.03 (U_b - U_{f,or})$ ； U_f 为励磁绕组电压； U_b 为最终励磁绕组电压； $U_{f,or}$ 为励磁电压起始值。

图 2 励磁系统延迟时间

3.22

励磁系统电压响应时间 Voltage-response time of excitation system

指从施加阶跃信号起，励磁电压达到顶值电压与额定励磁电压差的 95% 的瞬间的时间。励磁系统电压响应时间见图 3。



注： $U_f - U_N = 0.95 (U_b - U_N)$ ； U_b 为最大励磁电压； U_N 为额定励磁电压。

图 3 励磁系统电压响应时间

3.23

高起始响应励磁系统 High initial response of excitation system

指励磁系统电压响应时间等于或小于 0.1s 的励磁系统。

3.24

均流系数 Coefficient of current distribution

指并联运行各支路电流平均值与支路最大电流之比。

均流系数按下式计算：

$$K_i = \frac{\sum_{i=1}^m I_i}{m I_{\max}} \quad (3)$$

式中：

$\sum_{i=1}^m I_i$ —— m 条并联支路电流的和；

I_{\max} ——并联支路中的电流最大值。

3.25

励磁系统强迫停运率 (F.O.R) Forced off ratio

指励磁系统强迫停运小时数对投入运行小时数及励磁系统强迫停运小时数之和的比，用百分数表示。励磁系统强迫停运率按下式计算：

$$\text{FOR} = \frac{t_f}{t_r + t_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

t_f ——励磁系统强迫停运的小时数，h；

t_s ——励磁系统投入运行的小时数，h。

3.26

非线性电阻的非线性系数 Non-linear coefficient of varistor

指在规定条件下，非线性电阻元件或组件的伏安特性用下式表示时的 β 值：

$$U = CI^\beta \quad (5)$$

式中：

I ——流过非线性电阻的电流，A；

U ——非线性电阻上的电压降，V；

C ——常数（即通过 1A 电流时的电阻值）， Ω ；

β ——非线性系数， $0 < \beta < 1$ 。

3.27

非线性电阻压敏电压 Volt of voltage-sensitivity of varistors

指在规定条件下，非线性电阻流过指定的直流电流（ αmA ）时两端的电压降，用 $U_{\alpha \text{mA}}$ 表示（对氧化锌非线性电阻取 $\alpha=10$ ，因而， $U_{\alpha \text{mA}}=U_{10 \text{mA}}$ ）。

3.28

非线性电阻荷电率 Load-rate of varistor

指在额定工况下，非线性电阻承受的电压峰值与压敏电压之比。

3.29

压敏电压变化率 Voltage change-rate of voltage sensitivity

指非线性电阻经能量冲击或长时间运行后的压敏电压变化 $\Delta U_{\alpha \text{mA}}$ 与能量冲击前或运行前的压敏电压 $U_{\alpha \text{mA}}$ 之比。用下式表示：

$$\frac{\Delta U_{\alpha \text{mA}}}{U_{\alpha \text{mA}}} \times 100\% \quad (6)$$

式中:

ΔU_{omA} ——元件运行后的压敏电压与压敏电压初始值之差;

U_{omA} ——能量冲击前或运行前的压敏电压。

3.30

工作能容量 Energy capacity of varistor

指非线性电阻元件或装置在承受脉宽 0.3s~1.0s 的冲击波后,能自动恢复原特性的最大允许能量数值。

3.31

灭磁时间 De-excitation time

指从施加灭磁信号起,发电机励磁电流衰减到 5%空载励磁电流以下的那一时刻的时间。

3.32

电压给定变化速度 Change rate of voltage setting

指在手动增减励磁的情况下,每 1s 发电机电压对于额定发电机电压的最大变化速率。

3.33

起励电源 Power source for voltage building

指利用外部的交流或直流电源,帮助发电机建立初始电压用的专门电源。

3.34

残压起励 Voltage building with residual magnetism

指在不依靠起励电源的情况下,利用发电机剩磁形成自励,来建立发电机电压的过程。

3.35

软起励 Soft voltage building

指电压给定值按斜坡时间函数变化的发电机电压建立过程。

3.36

零起升压 Start-up from zero voltage

指通过手动增加励磁给定值,发电机电压从零开始,逐步使电压升到额定电压的过程。

3.37

限制器 Limiters

指当预定的条件达到时,能将控制量限制在允许值以内的一个励磁系统的单元。

3.37.1 欠励限制器 Under-excitation limiter

当发电机进相运行时,为防止励磁电流过度减少。通过增加励磁电流,将发电机运行点限制在发电机稳定 PQ 曲线范围内的限制器。目的是防止稳定破坏,防止定子端部铁芯过热。

3.37.2 过励限制器 Over-excitation limiter

当发电机运行在滞相工况时,为防止励磁电流过度增大。通过减小励磁电流,将发电机运行点限制在发电机 PQ 曲线范围内的限制器。目的是防止发电机定子、转子过热。

3.37.3 强励反时限限制器 Reversing-time limiter of forced excitation

在任何运行工况下,限制磁场电流不超过允许值的、防止转子过热的限制器。当励磁电流超过 1.1 倍额定磁场电流且小于强励顶值电流时,按照等效发热原则,强励允许持续时间和强励电流值按反时限规律确定。

3.37.4 最大励磁电流限制 Maximum current limiter

在任何运行工况下,瞬时限制励磁电流不超过磁场顶值电流。

3.38

伏/赫限制器(也称电压/频率限制器) Volts per hertz limiter

指当机组频率降低到某一预定值后,根据频率减少而使被调电压按比例减少,其目的是防止同步电

机转子过电流或变压器过磁通。

3.39

电磁兼容性 (EMC) Electromagnetic compatibility

指设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。

3.40

电力系统稳定器 Power system stabilizer

指励磁调节器通过一种附加控制功能,用以改善电力系统稳定性能的一个或一组单元。输入变量可以是转速、频率或功率(或多个变量的综合)。

模型和说明如下。

稳定器参数应和规定的稳定器输入信号类型一致。不同输入信号的稳定器参数,在提供类似的阻尼特性可能十分不同。

a) 1A 型电力系统稳定器。

广义形式的单输入电力系统稳定器见图 4。 V_{SI} 为稳定器输入变量; T_6 为变送器时间常数; K_S 为稳定器增益; T_5 为信号隔直时间常数。下一方块中的 A_1 和 A_2 允许高频扭振滤波器(有些稳定器用)的一些低频效应被计入。如无此用途,如果需要,该方块可用来帮助形成稳定器增益和相角特性,随后的两个方块可允许 2 级超前一滞后补偿,用常数 $T_1 \sim T_4$ 设置。

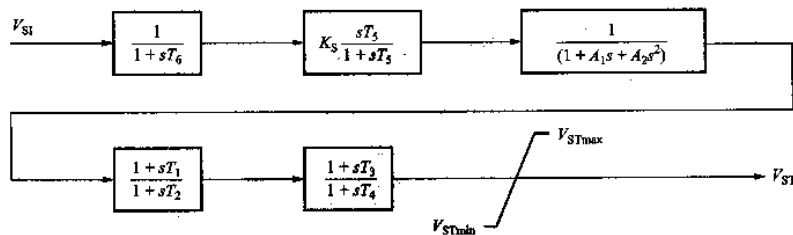


图 4 广义形式的单输入电力系统稳定器 (PSS1A 型)

这个模型只表示了简单的稳定器输出限制 V_{STmax} 和 V_{STmin} , 也可用其他方法。

b) 2A 型电力系统稳定器。

多种双输入电力系统稳定器见图 5, 通常用功率和转速或频率来导出稳定信号。

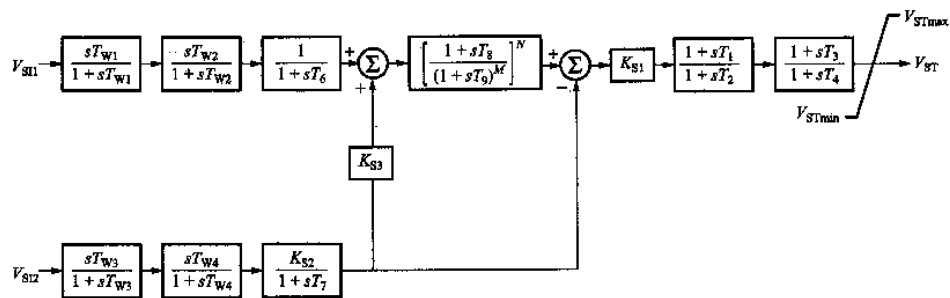


图 5 双输入电力系统稳定器 (PSS2A 型)

模型可用不同类型的双输入实现稳定器的输入。如转速和频率、转速和电功率、频率和电功率等。

当同样的模型用不同类型双输入信号构成稳定器时,对等效的稳定作用,模型中用的参数会差别很大。对每个输入,两个隔直时间常数可被表示 ($T_{W1} \sim T_{W4}$) 连同变送器或积分时间常数 (T_6, T_7) 对转速和频率双输入电力系统稳定器 K_{S3} 正常为 1, 而 K_{S2} 为 $T_7/2H$ (H 是同步电机惯性常数)。 V_{S11} 正常代表转速或频率, 而 V_{S12} 代表功率信号, 指数 N (至 4 的整数) 和 M (至 2 的整数) 允许表示成“斜坡跟踪”

和较简单的滤波器特性。相位补偿由 2 级超前—滞后，或滞后—超前方块 $[T_1 \sim T_4]$ 提供，输出限制的选择和在 1A 模型中的类似。

4 基本技术要求

4.1 使用条件

4.1.1 静止整流励磁系统及装置应适用于下述环境条件：

- a) 海拔高度不大于 1000m (超过 1000m, 有关参数指标应进行修正)；
- b) 环境最高温度为 +40℃；
- c) 环境最低温度：功率整流器采用水内冷者为 +5℃，采用其他冷却方式者为 -10℃；
- d) 最湿月的月平均最大相对湿度为 90%，同时该月的月平均最低温度不高于 +25℃；
- e) 安装地点应无爆炸危险的介质，无腐蚀金属和破坏绝缘的气体，无水淋、日晒并保证周围清洁。振动频率在 10Hz~150Hz 时，振动加速度不大于 5m/s^2 。

4.1.2 静止整流励磁系统及装置适用于下述供电电源条件：

- a) 在下述供电电源电压及频率偏差范围内，励磁系统应能保证发电机在额定工况下长期连续稳定运行：
交流 380/220V 系统，电压允许偏差为额定值的 -20%~+15%，频率允许偏差为 ±5%；
直流 220/110V 系统，电压允许偏差为额定值的 -20%~+15%；
- b) 励磁系统交流工作电源电压在短时间（不大于强行励磁持续时间）内、波动范围为 55%~130% 额定值的情况下，励磁系统应能维持正常工作。
当工作电压波动超出上述范围时，应采用备用工作电源保证上述要求；
- c) 励磁系统应能在机端频率为 45Hz~82.5Hz 范围内维持正确工作。

4.1.3 当使用条件不符合上述情况或用户有特殊要求时，由用户与供货方商定。

4.2 系统性能要求

4.2.1 励磁系统应保证当发电机励磁电流和电压为发电机额定负载下励磁电流和电压的 1.1 倍时，能长期连续运行。

4.2.2 励磁顶值电压倍数一般为 1.5~2.0。励磁顶值电压倍数小于 2 时，励磁顶值电流倍数与励磁顶值电压倍数相同。励磁顶值电压倍数超过 2 时，励磁顶值电流倍数仍取 2。当系统稳定要求更高励磁顶值电压倍数时，按计算要求确定。

4.2.3 励磁系统在输出顶值电流情况下，允许持续时间不小于 20s。

4.2.4 励磁系统电压响应时间不大于 0.1s。

4.2.5 励磁系统应保证发电机机端调压精度优于 ±0.5%。

4.2.6 励磁系统应能保证发电机机端电压调差率整定范围为 ±15%，级差不大于 1%。调差特性应有较好的线性度。

4.2.7 励磁系统应保证在发电机空载运行情况下，频率值每变化 1% 时，发电机电压的变化值不大于额定值的 ±0.25%。

4.2.8 励磁系统应满足下列要求：

- a) 空载 ±10% 阶跃响应，电压超调量不大于额定电压的 10%，振荡次数不超过 3 次，调节时间不大于 5s；
- b) 发电机空载运行，转速在 0.95~1.05 额定转速范围内，突然投入励磁系统，使发电机机端电压从零上升至额定值时，电压超调量不大于额定电压的 10%，振荡次数不超过 3 次，调节时间不大于 5s；
- c) 在额定功率因数下，当发电机突然甩掉额定负载后，发电机电压超调量不大于 15% 额定值，振荡次数不超过 3 次，调节时间不大于 5s。

4.2.9 自动电压调节器应能在发电机空载电压 10%~110%额定值范围内进行稳定、平滑的调节。手动励磁调节单元应保证在发电机空载电压 10%~110%额定值范围内进行稳定、平滑的调节。

4.2.10 在发电机空载运行状态下，自动电压调节器和手动调节单元的电压给定值变化速度，应不大于 $(1\%U_N)/s$ ，不小于 $(0.3\%U_N)/s$ 。

4.2.11 励磁系统功率整流器不应采用串联元件。在发电机额定励磁电流情况下，均流系数不应低于 0.85。

4.2.12 励磁系统的功率整流器应满足下列要求：

- a) 并联运行的支路数冗余度一般应按照不小于 $N+1$ 的模式配置。在 N 模式下要求保证发电机所有工况的运行（包括强行励磁在内）；
- b) 风冷功率整流器如有停风情况下的特别运行要求时，并联运行支路的最大连续输出电流容量值，应按停风情况下的运行要求配置；
- c) 在任何运行情况下，过电压保护器应使得整流器的输出过电压瞬时值不超过绕组对地耐压试验电压幅值的 30%。

4.2.13 励磁系统应装设励磁回路直流侧过电压保护装置。过电压保护动作整定值的选择原则如下：

- a) 在任何运行情况下，应高于最大整流电压的峰值，低于整流器的最大允许电压值；
- b) 在任何运行情况下，应高于灭磁装置正常动作时产生的过电压值；
- c) 在任何运行情况下，应保证励磁绕组两端过电压时的瞬时值不超过出厂试验时绕组对地耐压试验电压幅值的 70%。

要求动作的分散性不大于 $\pm 10\%$ 。

4.2.14 励磁系统的灭磁装置应满足：灭磁过程中，励磁绕组反向电压应控制在不低于出厂试验时绕组对地耐压试验电压幅值的 30%，不超过出厂试验时绕组对地耐压试验电压幅值的 50%。

4.2.15 静止整流励磁系统的起励电源的容量配置，应不大于发电机空载励磁电流的 10%。

4.2.16 励磁系统的年强迫停运率应不大于 0.1%。

4.3 系统功能要求

4.3.1 励磁系统应设置两套独立的调节通道。两套独立调节通道可以是双自动通道（至少一套含有 FCR 功能），也可以是一个自动通道加一个手动通道。

4.3.2 励磁系统采用的两套调节通道应互为热备用、相互自动跟踪，应能手动切换，运行通道故障时能自动切换和 TV 断线自动切换至备用通道。自动跟踪部件应具有防止跟踪异常情况或故障情况的措施。以保证当运行调节通道故障时，能正确、自动地切换到备用调节通道。切换时发电机机端电压或无功功率应无明显波动。

4.3.3 励磁系统调节通道设有自动/手动运行方式时，应具有双向跟踪、切换功能。跟踪部件应能正确、自动地进行跟踪。切换应具有手动和 TV 断线自动切换能力。切换时保证发电机机端电压和无功功率无明显波动。

4.3.4 独立运行的自动通道电压给定器或励磁电流给定器应带有限位功能，发电机解列后应能自动返回至空载额定电压给定位置。

4.3.5 励磁系统的功率整流器应具有切除脉冲控制功能及风机停风、快速熔断器熔断、脉冲故障检测等报警功能。

4.3.6 励磁系统应具有转子过电压动作记录功能及磁场开关动作记录功能。

4.3.7 励磁系统应能可靠起励，允许残压起励（在满足功率元件自励的条件下），并配有软起励功能。

4.3.8 励磁系统应设起励装置，起励装置具有自动和手动投切功能、起励延时报警功能。

4.3.9 励磁调节器应有开关量的直接输出/输入，同时还应具有通信接口。能输出励磁系统有关数据到上级计算机或监控装置，并能接受其增、减磁等命令。

4.3.10 容量为 100MW 及以上的水轮发电机励磁系统用自动电压调节器应满足 4.4.1 的限制并有电力系

统稳定器 PSS 等辅助功能。

4.3.11 励磁系统至少应具有下列检测功能：

- a) 触发脉冲检测；
- b) 励磁调节器同步回路检测；
- c) TV 断线检测；
- d) 功率整流器停风或水流量中断检测；
- e) 功率整流器快熔熔断检测；
- f) 功率整流器故障退出检测；
- g) 调节通道故障检测；
- h) 励磁变压器温度检测。

4.3.12 励磁系统至少应能发出下列信号：

- a) 调节器用稳压电源消失或故障；
- b) 励磁系统操作控制回路电源消失；
- c) 励磁绕组回路过电压保护动作；
- d) 功率整流器柜冷却系统和风机电源故障；
- e) 功率整流器熔断器熔断；
- f) 触发脉冲消失；
- g) 起励失败；
- h) 调节通道切换动作；
- i) 欠励磁限制器动作；
- j) 过励磁限制器动作；
- k) 强励反时限限制动作；
- l) 最大励磁电流限制器动作；
- m) 电压互感器断线；
- n) 励磁变压器温度过高；
- o) 电压/频率限制器动作。

4.3.13 励磁系统在现场至少应能指示如下参数：

- a) 励磁电流；
- b) 励磁电压（可选）；
- c) 机端电压；
- d) 无功功率；
- e) 功率柜直流电流。

4.3.14 防护等级：

- a) 励磁调节器柜防护等级应在 IP30 以上；
- b) 励磁功率整流器柜防护等级应在 IP20 以上；
- c) 励磁变压器外罩的防护等级室内安装应在 IP20 以上，室外安装应在 IP23 以上。

具体要求见 GB 4208。

4.4 装置技术要求

4.4.1 励磁调节器

励磁调节器除了具有自动电压调节（AVR）、励磁电流调节（FCR）、调差功能等基本调节功能外，大、中型发电机励磁调节器还应具有下列辅助功能单元：

- a) 最大励磁电流限制器。限制励磁电流不超过允许的励磁顶值电流。功率整流器部分支路退出或冷却系统故障时，应将励磁电流限制到预设的允许值内；

- b) 强励反时限限制器。在强行励磁到达允许持续时间时，限制器应自动将励磁电流减到长期连续运行允许的最大值。强励允许持续时间和强励电流值按反时限规律确定。限制器应当和发电机转子热容量特性相匹配，且在强励原因消失后，应能自动返回到强励前状态；
- c) 过励磁限制器。发电机滞相运行情况下，调节器应能保证发电机在 PQ 限制曲线范围内运行。当发电机运行点因为某种原因超出限制范围时，调节器应能限制励磁输出，确保自动将发电机运行点拉回到 PQ 限制曲线内。过励原因消失后应能自动返回到过励前状态。过励磁限制器可延时动作，以保证故障情况下机组尽可能地出力；
- d) 欠励磁限制器。发电机进相运行情况下，调节器应能保证发电机在 PQ 曲线限制范围内运行。当发电机运行点因为某种原因超出限制范围，调节器应能立刻自动的将发电机运行点限制到 PQ 限制曲线内。欠励磁限制器为瞬时动作，以防止故障情况下机组失步。
欠励磁限制要与失磁保护配合，欠励磁限制动作应先于失磁保护；
- e) 其他限制、保护功能：
 - 1) 电压互感器断线保护；
 - 2) 电压/频率限制器；
 - 3) 系统电压跟踪单元；
 - 4) 无功功率成组调节单元；
- f) 电力系统稳定器 PSS 附加控制。电力系统稳定器应具有必要的保护、控制和限制功能。其数学模型应符合 IEEE std 421.4 中的规定。其一般有效抑制低频振荡的频率范围为 0.2Hz~2.0Hz。如有特殊要求可根据系统计算和仿真进行整定。并配有 PSS 试验用输入、输出测试口；
- g) 励磁调节器必须通过相应等级的电磁兼容试验（见附录 A），并满足 GB/T 17626、IEC 61000—6—5、IEC 61000—4—7 的规定；
- h) 微机励磁调节器还应有以下功能和要求：
 - 1) 励磁系统参数的在线显示和整定，显示的参数应为实际值或标么值，并以十进制表示。
 - 2) 故障的在线检测和诊断。
 - 3) 现场的调试和试验功能。
 - 4) 励磁系统状态、事件的记录和故障的实时录波功能；
- i) 励磁调节器应有两路输入供电电源。其中至少一路应由厂用蓄电池组供电。

4.4.2 功率整流器

- a) 发电机励磁系统应采用三相全控桥式整流器。以提高动态响应性能和实现逆变灭磁功能；
- b) 功率整流器冷却方式可以是自然冷却方式（含热管散热方式）、强迫风冷方式（开启式，密闭式）或水冷冷却方式，其中：

自然冷却方式应考虑空气自然环流、防积尘和屏柜防护等级的关系，必要时应加装温度越限报警装置和后备风机。

强迫风冷方式（开启式，密闭式）风机应采用两路电源供电，两路电源互为备用，能自动切换。也可采用双风机备用方案。采用开启式强迫风冷方式时，进风口应设滤尘器且满足冷却风机的风量、风压需要。整流器柜风机噪声在离柜 1m 处不大于 70dB。

水冷冷却方式应有进、出口水温，冷却水流量和水压检测和报警装置；

- c) 功率整流器应设置必要的保护及报警装置，包括交流侧阳极过电压吸收和保护器、直流侧过电压吸收和保护器、功率元件换相过电压保护器、功率元件快速熔断器、风机故障停运或水冷系统故障报警装置、功率元件故障和脉冲故障报警装置、功率整流器切除和电源消失故障报警装置；
- d) 功率元件反向重复峰值电压的选择，应保证功率整流器的最大允许电压高于励磁回路直流侧过电压保护装置动作电压整定值。

4.4.3 转子过电压保护器

为防止发电机运行和操作过程中产生危及励磁绕组的过电压，应装设励磁绕组过电压保护装置。

- a) 过电压保护装置可以由非线性电阻、晶闸管跨接器组成，也可以由其他电气元器件组成；
- b) 过电压保护装置动作应可靠，并能自动恢复，采用的元件容量应有足够的裕度；
- c) 采用电子跨接器的过电压保护装置的回路中，不允许串接熔断器；
- d) 采用氧化锌非线性电阻的励磁绕组过电压保护装置应符合下列要求：
 - 1) 在额定工况下，非线性电阻元件荷电率应小于 60%；
 - 2) 非线性电阻的工作能容量应有足够的裕度，并允许连续动作；
 - 3) 非线性电阻元件使用寿命不小于 10 年（非线性电阻元件的使用寿命，指在正常工作条件下，元件压敏电压变化率达到 10% 的使用时间）；
 - 4) 非线性电阻元件的伏安特性、耗能容量、分散性、稳定性等技术指标均应符合设计要求。

4.4.4 灭磁装置

励磁系统励磁绕组回路应装设灭磁装置。在任何需要灭磁的工况下包括误强励灭磁装置必须保证可靠灭磁。灭磁时间应尽可能短。励磁系统应提供如下灭磁方式：正常停机可以采用逆变灭磁方式。故障情况下灭磁装置应具有独立性和强制性。可以采用线性电阻的灭磁方式，亦可以采用非线性电阻的灭磁方式和自然衰减的灭磁方式。大型机组不提倡采用自然衰减的灭磁方式。当系统配有多种灭磁环节时，要求时序配合正确、主次分明、动作迅速。

- a) 逆变灭磁要求连续、稳定，不发生颠覆；
- b) 线性电阻灭磁：可以是磁场开关加线性电阻组合；也可以是整流器阳极交流开关加线性电阻组合。线性电阻支路可以串接开关接点，也可以串接电子跨接器闭合转子构成灭磁回路。电阻值按 75℃ 时转子电阻的 2~3 倍选取；
- c) 非线性电阻灭磁：可以是磁场开关加非线性电阻组合，也可以是整流器阳极交流开关加非线性电阻组合。非线性电阻支路可以串接开关接点，也可以串接电子跨接器闭合转子构成灭磁回路。非线性电阻可以是氧化锌非线性电阻，也可以是碳化硅非线性电阻；
- d) 可采用电子跨接器加灭磁电阻的灭磁方案，灭磁电阻可以是线性电阻或非线性电阻；
- e) 移能型直流磁场开关或整流器阳极交流开关配合非线性电阻的灭磁装置应符合下列要求：
 - 1) 最小断流能力不大于额定励磁电流的 6%；
 - 2) 最大断流能力不小于额定励磁电流的 300%；
 - 3) 开关合闸和跳闸动作要可靠，电弧不应外喷；
- f) 采用氧化锌非线性电阻应满足下列要求：
 - 1) 非线性电阻荷电率不大于 60%；
 - 2) 非线性电阻装置整组非线性系数 $\beta < 0.1$ ；
 - 3) 最严重灭磁工况下，需要非线性电阻承受的耗能容量不超过其工作能容量的 80%。同时，当装置内 20% 的组件退出运行时，应仍能满足最严重灭磁工况下的要求；
 - 4) 在严重故障条件下，灭磁各支路的非线性电阻均能系数应在 90% 以上；
 - 5) 除机组定子三相短路或空载误强励下灭磁外，其他工况下，允许连续两次灭磁；
 - 6) 非线性电阻元件使用寿命不小于 10 年，一般不应限制灭磁次数；
- g) 采用碳化硅非线性电阻时非线性系数 β 宜小于 0.33。除此之外其他要求和本条中的 f) 相同。

4.4.5 起励装置

- a) 起励装置的电源可以是厂用蓄电池组的直流电源。也可以是厂用交流电源；
- b) 采用交流电源时，可以是单相电源，也可以是三相电源；
- c) 起励装置应具有延时和起励失败报警功能；
- d) 起励装置应具有手动、自动投切功能；

e) 直流起励装置输出应装设二极管，防止电流倒送。

4.4.6 励磁变压器

- a) 励磁变压器高压侧不应安装自动开关或快速熔断器；
- b) 安装在户内应采用干式变压器，在户外可采用油浸式变压器；
- c) 变压器绝缘的耐热等级一般考虑 B 级及以上；
- d) 励磁变压器三相电压不对称度不应大于 5%；
- e) 承受 2 倍额定励磁电流下的过载时间应符合 4.2.3 的要求；
- f) 制造厂设计时应考虑绕组中谐波电流引起的发热，并留有裕量；
- g) 一、二次绕组间应有屏蔽并接地；
- h) 励磁变压器短路阻抗一般在 4%~15% 范围内；
- i) 励磁变压器应装有温度控制、温度测量显示装置；
- j) 其他技术要求应满足 GB/T 18494、GB 1094.1~GB 1094.3、GB 6450 的要求。

4.4.7 励磁专用电压互感器 TV 及电流互感器 TA 的准确等级

准确等级均不得低于 0.5 级。

4.4.8 装置及系统各部温升要求

同步发电机在额定工况下运行时，励磁系统各部分极限温升见表 1。励磁变压器温升不得超过 GB 1094.2 和 GB 6450 中规定的温升限值。

表 1 励磁系统各部分极限温升

K

| 各部位名称 | | 极限温升 | | | | 测量方法 |
|-----------------|---------------|-------|----|-------|-------|------------------|
| | | A 级绝缘 | | B 级绝缘 | F 级绝缘 | |
| | | 干式 | 油浸 | | | |
| 变压器 | 绕组 | 60 | 65 | 80 | 100 | 电阻法 |
| | 铁芯 | 65 | 70 | 85 | 105 | 电阻法 |
| 铜母线及导电螺 钉连接处 | 铜母线 | 35 | | | | 温 度 计 法 |
| | 连接处 | 无保护层 | 45 | | | |
| | | 锡的保护层 | 55 | | | |
| | | 有银保护层 | 70 | | | |
| 铝母线 | 母线 | 25 | | | | |
| | 连接处 | 30 | | | | |
| 电阻 | 距表面 30mm 处的空气 | 25 | | | | |
| | 印刷电路板上的电阻表面 | 30 | | | | |
| 塑料、橡皮、漆布绝缘导线 | | 20 | | | | |
| 整流管与散热器交接处 | | 45 | | | | |
| 晶闸管与散热器交接处 | | 40 | | | | |
| 熔断器连接处 | | 40 | | | | |

5 试验

静止整流励磁系统及装置试验按 DL/T 489—2006 的规定进行。

6 技术文件

供方应按项目的进度，分阶段向用户提供下列技术文件：

- a) 产品技术条件；
- b) 使用说明书；
- c) 出厂试验报告和合格证；
- d) 励磁系统单元和整体调试大纲；
- e) 部件原理接线图；
- f) 零件明细表及屏柜配线图；
- g) 装置外形图及安装图；
- h) 交货明细表；
- i) 微机调节器说明书及软件主要流程图；
- j) 分包商产品的技术资料；
- k) 其他安装、运行、维护所必需的技术资料。

附录 A
(规范性附录)
电磁兼容试验等级及其标准

A.1 电磁环境

励磁设备安装在发电厂、站内, 电厂内有升压变电站。宜受电磁干扰的励磁调节器安装在控制中心、发电机层、水轮机层的电磁场的环境中。在此电磁环境中主要存在以下几种干扰:

- a) 高压电气操作产生的拉弧、浪涌电流或闪络、绝缘击穿所引起的高频暂态电流和电压;
- b) 雷击、故障电流所引起的地电位升高和高频暂态;
- c) 工频、无线射频对电子设备和传输信号的干扰和影响;
- d) 静电放电;
- e) 低压电气的操作所引起的干扰。

为了减小电磁干扰的影响, 机箱机柜通过可靠接地达到电磁屏蔽和隔离的作用。通过屏蔽和非屏蔽电缆和发电机、发电厂以及升压站的相关一次和二次设备连接。根据电缆传输的信号的类型不同, 选择接地和屏蔽层接地的相应规则。以及选择设备的摆放位置等措施。

A.2 各端口的抗扰度要求

机箱端口抗扰度要求见表 A.1, 功能接地端口抗扰度要求见表 A.2, 输入、输出及通信端口抗扰度要求见表 A.3, 电源端口抗扰度要求见表 A.4。

表 A.1 机箱端口抗扰度要求

| 序号 | 电磁干扰类型 | 试验规范 | 参照标准 | 试验等级 | 说明 |
|----|--------|------------------------------|---------------------------------|------|----|
| 1 | 射频电磁场 | 80MHz~3000MHz 10V / m | GB / T 17626.3 IEC 61000—4—3 | 三级 | |
| 2 | 静电放电 | 6kV 接触放电 8kV 空气放电 | GB / T 17626.2 IEC 61000—4—2 | 三级 | |
| 3 | 工频磁场 | 30A/m (持续) 300A/m (1s~3s) | GB / T 17626.8 IEC 61000—4—8 | 四级 | 见注 |

注: 仅适用于含有磁场敏感元件(如霍尔元件、磁场传感器、电流互感器、电压互感器等)的装置。

表 A.2 功能接地端口抗扰度要求

| 序号 | 电磁干扰类型 | 试验规范 | 参照标准 | 试验等级 | 说明 |
|----|------------|--|---------------------------------|------|----|
| 1 | 射频场感应的传导骚扰 | 0.15MHz~80MHz 10V (非调制, r.m.s.) 80%AM (1kHz) | GB / T 17626.6 IEC 61000—4—6 | 三级 | 见注 |
| 2 | 电快速瞬变脉冲群 | T_r / T_f : 5 / 50ns 重复频率 5kHz 2kV (峰值) | GB / T 17626.4 IEC 61000—4—4 | 三级 | 见注 |

注: 仅适用于按制造功能规范总长度超过 3m 的电缆连接端口。

表 A.3 输入、输出及通信端口抗扰度要求

| 序号 | 电磁干扰类型 | 试验规范 | 参照标准 | 试验等级 | 说明 |
|----|------------|--|---------------------------------|------|----|
| 1 | 射频场引起的传导骚扰 | 0.15MHz~80MHz 10V (非调制, r.m.s.) 80%AM (1kHz) | GB/T 17626.6 IEC 61000-4-6 | 三级 | 见注 |
| 2 | 电快速瞬变脉冲群 | T_r/T_f : 5/50ns 重复频率 5kHz 2kV (峰值) | GB/T 17626.4 IEC 61000-4-4 | 二级 | 见注 |
| 3 | 阻尼振荡波 | 1MHz, 100kHz 差模 1kV (峰值) 共模 2.5kV (峰值) | GB/T 17626.12 IEC 61000-4-12 | 三级 | 见注 |
| 4 | 浪涌 | 1kV (线—线) 2kV (线—地) | GB/T 17626.5 IEC 61000-4-5 | 三级 | 见注 |
| 5 | 工频电压 | 30V 持续 300V 1s | IEC 61000-4-16 | 四级 | |

注: 仅适用于按制造功能规范总长度超过 3m 的电缆连接端口。

表 A.4 电源端口抗扰度要求

| 序号 | 电磁干扰类型 | 试验规范 | 参照标准 | 试验等级 | 说明 |
|----|------------|---|----------------------------------|------|---------|
| 1 | 射频场引起的传导骚扰 | 0.15MHz~80MHz 10V/m (非调制, r.m.s.) 电源阻抗 150Ω 80%AM (1kHz) | GB/T 17626.6 IEC 61000-4-6 | 三级 | 见注 |
| 2 | 电快速瞬变脉冲群 | T_r/T_f : 5/50ns 重复频率 5kHz 2kV (峰值) | GB/T 17626.4 IEC 61000-4-4 | 三级 | |
| 3 | 阻尼振荡波 | 1MHz, 100kHz 差模 1kV (峰值) 共模 2.5kV (峰值) | GB/T 17626.12 IEC 61000-4-12 | 三级 | |
| 4 | 浪涌 | 1kV (线—线) 2kV (线—地) | GB/T 17626.5 IEC 61000-4-5 | 三级 | 见注 |
| 5 | 电压中断 | 100%降低中断时间 交流 5 周期~50 周期 直流 2.5 周期 | IEC 61000-4-11 IEC 61000-4-29 | | 仅用于输入端口 |

注: 仅适用于按制造功能规范总长度超过 3m 的电缆连接端口。