

ICS 27.100  
K 51  
备案号: 57180-2017

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1628 — 2016

---

## 水轮发电机励磁变压器技术条件

Specification for excitation transformers of hydro turbine generator

2016-12-05 发布

2017-05-01 实施

---

国家能源局 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 产品型号 ..... 2

5 运行环境 ..... 3

6 技术要求 ..... 3

7 检验规则 ..... 7

8 试验方法 ..... 7

9 技术文件 ..... 8

10 标志、包装、运输和储存 ..... 8

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定制定。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国电力企业联合会标准化管理中心提出。

本标准由电力行业水电站自动化标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：国电南瑞科技股份有限公司、顺特电气设备有限公司、海南金盘电气有限公司。

本标准起草人：许和平、刘燕、陈伟、许其品、杨铭、葛东平。

本标准首次发布。

本标准在执行过程中的意见和建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 水轮发电机励磁变压器技术条件

## 1 范围

本标准规定了励磁变压器的技术要求、检验规则、试验方法等。

本标准适用于额定三相（组）容量不大于 16 000kVA，最高电压不高于 40.5kV 的同步发电机组励磁用干式变压器（组）（以下简称励磁变）。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 1094.11 电力变压器 第 11 部分：干式变压器

GB/T 7409.3 同步电机励磁系统 大、中型同步发电机励磁系统技术要求

GB/T 11021 电气绝缘 耐热性和表示方法

GB/T 18494.1 变流变压器 第 1 部分：工业用变流变压器

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**额定一次电压 rated primary voltage**

电源的额定电压。

### 3.2

**额定二次电压 rated secondary voltage**

电源电压为额定，励磁变空载下的二次侧线电压。

### 3.3

**额定电压比 rated voltage ratio**

一次绕组的额定电压对二次绕组的额定电压之比。

### 3.4

**额定二次电流 rated secondary current**

励磁变允许长期运行的二次侧电流。

### 3.5

**励磁变总损耗 total loss of excitation transformer**

励磁变总损耗包括额定负载时的基波损耗和谐波损耗，计算公式如式（1）所示：

$$P_N = P_1 + P_{hN} \tag{1}$$

式中：

$P_N$ ——励磁变额定工况下的总损耗，单位为瓦（W）；

$P_1$ ——额定基波损耗，单位为瓦（W）；

$P_{hN}$ ——额定谐波损耗，单位为瓦（W）。

### 3.5.1

**额定基波损耗 rated fundamental wave loss**

额定负载时基波在变压器线圈、铁芯等部位引起的无效热能。

励磁变基波损耗计算公式如下（仅考虑基波电压、基波电流）：

$$P_1 = I_1^2 R + P_{w1} \quad (2)$$

式中：

$P_1$ ——额定基波损耗，单位为瓦（W）；

$I_1$ ——基波额定电流，单位为安（A）；

$R$ ——绕组直流电阻，单位为欧（ $\Omega$ ）；

$P_{w1}$ ——基波电流下绕组涡流损耗，单位为瓦（W），计算公式见 GB/T 18494.1。

### 3.5.2

#### 额定谐波损耗 rated harmonic loss

额定负载时谐波电流产生的损耗按下列公式计算：

$$P_{hN} = k_j^2 I_{LN}^2 R + F_w P_{w1} - P_1 \quad (3)$$

$$I_{LN} = \left( \sum_{h=1}^n I_h^2 \right)^{1/2} \quad (4)$$

$$F_w = \sum_{h=1}^n (I_h / I_1)^2 \times h^2 \quad (5)$$

式中：

$P_{hN}$ ——额定谐波损耗，单位为瓦（W）；

$k_j$ ——导体的集肤系数，对于变压器一般取 1.1~1.3；

$I_{LN}$ ——额定变流负载下的绕组电流方均根值，单位为安（A）；

$R$ ——绕组直流电阻，单位为欧（ $\Omega$ ）；

$F_w$ ——绕组谐波涡流损耗增加系数；

$P_{w1}$ ——基波电流下绕组涡流损耗，单位为瓦（W），计算公式见 GB/T 18494.1；

$P_1$ ——额定基波损耗，单位为瓦（W）；

$I_h$ ——第  $h$  次电流的方均根值，单位为安（A）；

$h$ ——谐波次数。

### 3.6

#### 额定容量 rated capacity

不考虑谐波时励磁变绕组的视在功率计算值，又称励磁变的标称容量。

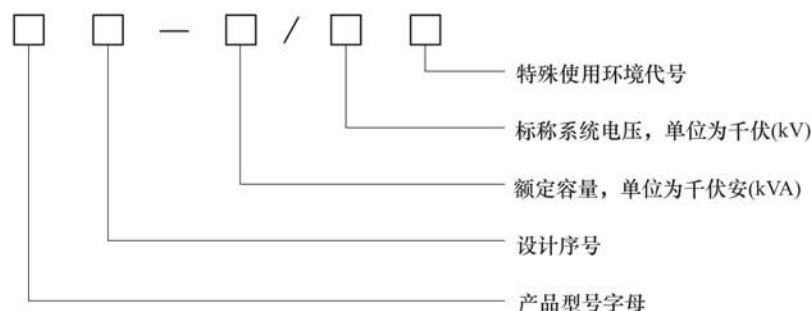
### 3.7

#### 热容量 heat capacity

励磁变的额定容量与额定工况下的总损耗之和。

## 4 产品型号

励磁变产品型号如下：



励磁变产品型号字母排列顺序及含义见表 1。

表 1 励磁变产品型号字母排列顺序及含义

序号	分 类	含 义		代表字母
1	用途	励磁用		ZL
2	网侧相数	单相		D
		三相		S
3	绕组外绝缘介质	空气（干式）		G
		成型固体	浇注式	C
			包绕式	CR
4	绝缘耐热等级	干式	E 级	E
			B 级	B
			F 级	—
			H 级	H
			绝缘系统温度为 200℃	D
			绝缘系统温度为 220℃	C
5	冷却装置种类	自然循环冷却装置		—
		风冷却器		F
6	绕组数	双绕组		—
		三绕组		S
7	线圈导线材质	铜线		—
		铜箔		B
		铝线		L
		铝箔		LB
		铜铝复合		TL

## 5 运行环境

励磁变运行环境应满足以下要求：

- 使用环境：见 GB/T 1094.11。
- 工作频率：工作频率为 50Hz 或 60Hz。

## 6 技术要求

### 6.1 电压的选择

#### 6.1.1 额定一次电压的选择

额定一次电压为向励磁变提供电能的电源额定电压。自并励系统的励磁变一次电压应采用发电机机端额定电压。

#### 6.1.2 额定二次电压的选择

励磁变二次额定电压宜按下列公式计算：

$$K \times (3\sqrt{2}/\pi) \times U_{2N} \times \cos \alpha_{\min} = K_u U_{fn} + K_i I_{fn} [(3/\pi)(X_T + X_L) + 2R_T + R_L] + \Delta U_{scr} + \Delta U \quad (6)$$

$$X_T = U_k \times (U_{2N}^2 / S_N) \quad (7)$$

式中:

$K$ ——考虑整流桥阳极电压下降系数, 无特殊要求可取 1;

$U_{2N}$ ——励磁变额定二次电压, 单位为伏 (V);

$\alpha_{\min}$ ——励磁系统允许输出的晶闸管最小触发角, 单位为度 (°);

$K_u$ ——励磁系统电压强励倍数;

$U_{fn}$ ——对应发电机额定容量的励磁电压, 单位为伏 (V);

$K_i$ ——励磁系统电流强励倍数;

$I_{fn}$ ——对应发电机额定容量的励磁电流, 单位为安 (A);

$X_T$ ——由励磁变至整流桥交流输入端之间的每相换向电抗, 单位为欧 (Ω);

$X_L$ ——线路电抗, 主要是交流输入电缆电抗, 单位为欧 (Ω);

$R_L$ ——线路电阻, 包括交直流输入线路电阻, 单位为欧 (Ω);

$R_T$ ——励磁变短路阻抗中的电阻分量, 单位为欧 (Ω);

$\Delta U_{scr}$ ——导通两臂的晶闸管元件正向压降, 单位为伏 (V);

$\Delta U$ ——电刷、集电环等其他部分的压降, 单位为伏 (V), 取 2V~4V;

$U_k$ ——励磁变短路阻抗百分值;

$S_N$ ——励磁变的额定容量, 单位为瓦 (W)。

## 6.2 二次侧电流的选择

励磁变额定二次电流应按下列公式计算:

$$I_{2N} = 0.816 \times I_{fmax} \times \sqrt{1 - 3 \times \Psi(\alpha, \gamma)} \quad (8)$$

$$\Psi(\alpha, \gamma) = \{\sin \gamma \times [2 + \cos(2\alpha + \gamma)] - \gamma \times [1 + 2 \cos \alpha \times \cos(\alpha + \gamma)]\} / \{[\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)]^2 \times 2\pi\} \quad (9)$$

$$\gamma = -\alpha + \cos^{-1} \left[ \cos \alpha - \left( \sqrt{2} X_T K_i I_{fn} / U_{2N} \right) \right] \quad (10)$$

式中:

$I_{2N}$ ——励磁变额定二次电流有效值, 单位为安 (A);

$I_{fmax}$ ——发电机最大连续负载的励磁电流, 单位为安 (A), 应不小于 1.1 倍额定励磁电流;

$\alpha$ ——励磁系统最大连续工作电流时的晶闸管控制角, 单位为度 (°);

$\gamma$ ——励磁系统最大连续工作电流时的晶闸管换相角, 单位为度 (°);

$X_T$ ——由励磁变至整流桥交流输入端之间的每相换向电抗, 单位为欧 (Ω);

$K_i$ ——励磁系统电流强励倍数;

$I_{fn}$ ——对应发电机额定容量的励磁电流, 单位为安 (A);

$U_{2N}$ ——励磁变额定二次电压, 单位为伏 (V)。

## 6.3 容量的选择

### 6.3.1 额定容量

励磁变的额定容量按式 (11) 计算:

$$S_N = \sqrt{3} \times U_{2N} \times I_{2N} \quad (11)$$

式中:

$S_N$ ——励磁变的额定容量, 单位为瓦 (W);

$U_{2N}$ ——励磁变额定二次电压，单位为伏（V）；

$I_{2N}$ ——励磁变额定二次电流，单位为安（A）。

6.3.2 热容量

励磁变的热容量宜按式（12）计算：

$$S_{th}=S_N+P_N \approx (1.1 \sim 1.25)S_N \tag{12}$$

式中：

$S_{th}$ ——励磁变的热容量，单位为瓦（W）；

$S_N$ ——励磁变的额定容量，单位为瓦（W）；

$P_N$ ——励磁变额定工况下的总损耗，单位为瓦（W）。

注：公式中系数为通常情况下励磁变热容量与额定容量的关系变动范围，具体值以励磁变的设计计算为准。

6.4 短路阻抗的选择

励磁变短路阻抗最小值应符合表 2 的规定。

表 2 励磁变短路阻抗的选择

额定容量 kVA	最小短路阻抗 %
630 及以下	4.0
631~1250	5.0
1251~2500	6.0
2501~6300	7.0
6301~16 000	8.0

6.5 绝缘水平

励磁变的绝缘水平应符合表 3 的规定。

表 3 励磁变的绝缘水平

额定电压 kV	额定短时外施耐受电压 kV	额定雷电冲击耐受电压 kV
≤1.2（0.23/0.4/0.69）	5	—
3.15	10	20
6.3	20	40
10.5	35	60
13.8	38	60
15.75	40	75
18	50	125
20	50	125
22	50	125
24	50	125
26	60	150
27	60	150



### 6.6 绝缘等级

励磁变温升不超过表 4 中规定的数值。

表 4 励磁变温升限值

绝缘系统温度（见注 1） ℃	额定电流下的绕组平均温升限值（见注 2） K
105（A）	60
120（E）	75
130（B）	80
155（F）	100
180（H）	125
200	135
220	150
注 1：有关温度等级的字母代号见 GB/T 11021。 注 2：温升测量按 GB/T 1094.11 进行。	

### 6.7 空载励磁电流

励磁变的空载励磁电流应小于表 5 中规定的数值。

表 5 励磁变的空载励磁电流

额定容量 kVA	空载电流 %
500 及以下	1.4
501～800	1.2
801～1600	1.0
1601～2500	0.9
2501～4000	0.8
4001～6300	0.7
6301～10 000	0.6
10 001～16 000	0.5

### 6.8 外壳防护

当励磁变带外壳时，外壳的防护等级宜采用 IP20。

### 6.9 寿命

励磁变正常工作条件下的寿命不应小于 30 年。

### 6.10 接法

励磁变绕组应采用“Yd”或“Dy”接线。

### 6.11 屏蔽层

励磁变的一次侧和二次侧之间应设置金属静电屏蔽层，屏蔽层应一点可靠接地。

6.12 局部放电

励磁变局部放电的技术要求应符合 GB/T 1094.11 的规定。

6.13 温度检测

应配置温度监测装置监测励磁变绕组温度；温度监测装置应具有报警功能，报警分两级，报警值可整定，每级报警接点不少于 2 对。

6.14 不平衡度

正常情况下，电压不平衡度允许值为 2%，短时不超过 4%。

6.15 分接头

若配置分接头，宜为  $0 \pm 2 \times 2.5\% U_N$ 。

7 检验规则

7.1 试验规则

- a) 性能试验应符合 GB/T 1094.11 的规定。
- b) 温升试验的试验电流应是根据励磁变的热容量计算出的等效工频电流。

7.2 试验项目

励磁变试验项目见表 6。

表 6 励磁变试验项目

编号	试 验 项 目	型式试验	出厂试验	交接试验	大修试验
1	温升试验	√			
2	绕组直流电阻测试	√	√	√	√
3	绝缘电阻测试	√	√	√	√
4	空载损耗	√	√		
5	空载电流测试	√	√		
6	电压比测试	√	√	√	*
7	外施工频耐压试验	√	√	√	√
8	联结组标号检定	√	√	√	*
9	负载损耗	√	√		
10	短路阻抗	√	√		
11	感应耐压试验	√	√		
12	局部放电试验	√	√		
13	雷电冲击试验	√			
注：*表示仅在相关接线拆装后进行。					

8 试验方法

试验方法见 GB/T 1094.11。

## 9 技术文件

励磁变出厂时的技术文件应包含以下内容：

- 产品外形图（含安装尺寸和质量等）；
- 接线图；
- 试验报告；
- 过载能力特性曲线、输入输出电压特性曲线；
- 安装使用说明书；
- 合格证；
- 装箱清单。

## 10 标志、包装、运输和储存

- a) 应设有铭牌，铭牌的规范应符合 GB/T 1094.11 的规定。
  - b) 设备的包装、运输和储存应符合 GB/T 191 的规定，且含装箱单、合格证及有关资料。
-