

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 总则	1
4 发电机保护的整定计算	2
5 变压器保护的整定计算	28
附录 A (规范性附录) 本标准用语说明	48
附录 B (资料性附录) 大型发电机变压器继电保护整定计算导则有关文字符号	49
附录 C (规范性附录) 发电机定子绕组对地电容、机端单相接地电容电流及 单相接地电流允许值	51
附录 D (资料性附录) 变压器电容参数估算值	52
附录 E (规范性附录) 发电机若干异常运行状态的要求	53
附录 F (资料性附录) 系统联系电抗 X_{con} 的计算	54
附录 G (资料性附录) 大型汽轮发电机组对频率异常运行的要求	55
附录 H (资料性附录) 发电机变压器组保护的整定计算	56

前 言

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准自实施之日起代替 DL/T 684—1999《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》。

本标准与 DL/T 684—1999 的主要差别如下：

- 增加了发电机变斜率比率差动保护原理介绍及整定计算方法，差动保护相关原理图改为微机保护原理图（见 4.1.1.1 和 4.1.2）；
- 删除了标积制动式纵差保护、叠加直流式一点接地保护、测量励磁绕组对地导纳的一点接地保护；
- 增加了外加交流电源式 100%定子绕组单相接地保护原理介绍及整定计算方法（见 4.3.4）；
- 增加了双遮挡器原理的失步保护整定计算方法（见 4.7.3）；
- 增加了误上电保护、闪络保护、机端断路器（GCB）失灵保护介绍及整定计算方法（见 4.8.6、4.8.7 和 4.8.8）；
- 增加了启停机低频过流保护整定计算方法（见 4.8.5）；
- 将发电机变压器组保护的整定计算内容简化，从正文移至附录，参见附录 H。

本标准由电力行业继电保护标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位：南京南瑞继保电气有限公司、国电南京自动化股份有限公司、许继电气股份有限公司、北京四方继保自动化股份有限公司、华北电力科学研究院有限责任公司、清华大学、中国南方电网电力调度控制中心、国电常州发电有限公司、华北电力调度通信中心、广西电网电力调度控制中心。

本标准主要起草人：沈全荣、陈俊、刘万斌、王慧敏、郭宝甫、屠黎明、梁玉枝、桂林、文继锋、苏毅、李莉、陈朝晖、宋玲妹、刘蔚、何洪。

本标准在执行过程中的意见或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）。

大型发电机变压器继电保护整定计算导则

1 范围

本标准规定了大型发电机变压器继电保护的整定计算原则和方法，它是设计、科研、运行、调试和制造部门整定计算的依据。

本标准适用于 GB/T 14285—2006 所规定的发电机、变压器容量范围，重点规定了 300MW 及以上发电机与 220kV 及以上变压器的继电保护的整定计算原则和方法。

小容量发电机、低电压等级变压器的整定计算参考执行。

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 1208—2006 电流互感器（IEC 60044-1: 2003, MOD）

GB/T 7064—2008 隐极同步发电机技术要求（IEC 60034-3: 2007, MOD）

GB/T 14285—2006 继电保护和安全自动装置技术规程

DL/T 559—2007 220kV~750kV 电网继电保护装置运行整定规程

DL/T 671—2010 发电机变压器组保护装置通用技术条件

IEC 60044—1 Edition 1.2—2003 仪表用变压器 第 1 部分：电流互感器（Instrument transformers-Part 1: Current transformers）

IEC 61869—1—2007 仪表用变压器 第 1 部分：一般要求（Instrument transformers-Part 1: General requirement）

3 总则

3.1 本标准是大型发电机变压器继电保护整定计算的基本依据，设计、科研、运行、调试和制造部门应共同遵守（参见附录 A）。

3.2 发电机变压器继电保护整定计算的主要任务是：在工程设计阶段保护装置选型时，通过整定计算，确定保护装置的技术规范；对现场实际应用的保护装置，通过整定计算，确定其运行参数（给出定值）。从而使继电保护装置正确地发挥作用，防止事故扩大，维持电力系统的稳定运行。

3.3 发电机变压器继电保护装置的技术性能必须与本标准中提出的具体规定和要求相符合。

3.4 发电机变压器继电保护装置必须满足可靠性、选择性、速动性、灵敏性的基本要求，正确而合理的整定计算是实现上述要求的关键。

3.5 本标准不涉及发电机变压器继电保护的配置，不列举保护装置的具体型式，按不同原理的保护分类编制，整定计算方法适用于国内通用的主要保护原理，本标准所列原理之外的保护其整定计算方法可参考制造厂家技术说明书。

3.6 部分发电机变压器继电保护装置的動作时限是根据 GB/T 14285—2006 给出的；对于未给出動作时限的保护装置，其動作时限应根据设备条件及电力系统的具体情况决定。

3.7 为简化计算工作，可按下列假设条件计算短路电流：

3.7.1 可不计发电机、调相机、变压器、架空线路、电缆线路等阻抗参数中的电阻分量；可假设旋转发电机的负序阻抗与正序阻抗相等。

3.7.2 发电机及调相机的正序阻抗可采用次暂态电抗 X_d'' 的饱和值（参见附录 B）。

3.7.3 各发电机的等值电动势（标幺值）可假设为 1 且相位一致。仅在对失磁、失步、非全相等保护装置进行计算分析时，才考虑电动势之间的相角差问题。

3.7.4 只计算短路暂态电流中的周期分量，但在纵联差动保护装置（简称纵差保护）的整定计算中以非周期分量系数 K_{ap} 考虑非周期分量的影响。

3.7.5 发电机电压应采用额定电压值，系统侧电压可采用额定电压值或平均额定电压值，不考虑变压器电压分接头实际位置的变动。

3.7.6 不计故障点的相间和对地过渡电阻。

3.8 与电力系统运行方式有关的继电保护的整定计算，应以常见运行方式为计算用运行方式。常见运行方式是指正常运行方式和被保护设备相邻一回线或一个元件停运的正常检修方式。对于运行方式变化较大的系统，应由调度运行部门根据具体情况确定整定计算所依据的运行方式。

3.9 根据 GB/T 14285—2006 的规定，按照故障和异常运行方式性质的不同以及机组热力系统和调节系统的条件，本标准所列各项保护分别动作于：

- a) 停机：断开发电机或发电机变压器组（简称发—变组）断路器，灭磁，关闭原动机主汽门或导水叶，断开厂用分支断路器。
- b) 解列灭磁：断开发电机或发—变组断路器和厂用分支断路器，灭磁，原动机甩负荷。
- c) 解列：断开发电机或发—变组断路器，原动机甩负荷。
- d) 降低励磁。
- e) 减出力：将原动机出力减至给定值。
- f) 缩小故障范围（如断开母联或分段断路器）。
- g) 程序跳闸：一般应用于汽轮发电机，先关主汽门，待逆功率继电器动作后再断开发电机或发—变组断路器并灭磁。
- h) 切换厂用电源：由厂用工作电源供电切换到备用电源供电。
- i) 信号：发出声光信号。

3.10 除特殊说明外，本标准列出的计算公式，无论用有名值或标幺值进行计算，其计算结果（如电流、电压、阻抗等）应以二次侧有名值的形式给出。

3.11 电流整定值应高于微机保护的最小采样精度，不应低于 $0.05I_n$ （ I_n 为电流互感器二次额定电流，如 1A 或 5A）。

4 发电机保护的整定计算

4.1 定子绕组内部故障主保护

4.1.1 发电机比率制动式完全纵差保护

发电机的完全纵差保护反映发电机及其引出线的相间短路故障。

4.1.1.1 基本工作原理

图 1 a) 所示为发电机完全纵差保护接线， \dot{I}_{II} 为流出发电机的机端电流（相应的 TA 二次侧三相电流为 \dot{I}_{IIa} 、 \dot{I}_{IIb} 、 \dot{I}_{IIc} ）， \dot{I}_I 为从中性点 N 流入发电机的中性点电流（相应的 TA 二次侧三相电流为 \dot{I}_{Ia} 、 \dot{I}_{Ib} 、 \dot{I}_{Ic} ）。当 TA 的变比为 n_a 时，流入纵差保护差回路的动作电流 I_{op} 、纵差保护的制动电流 I_{res} 分别为：

$$\begin{cases} I_{op} = \frac{1}{n_a} |\dot{I}_I - \dot{I}_{II}| \\ I_{res} = \frac{1}{n_a} \frac{|\dot{I}_I + \dot{I}_{II}|}{2} \end{cases} \quad (1)$$

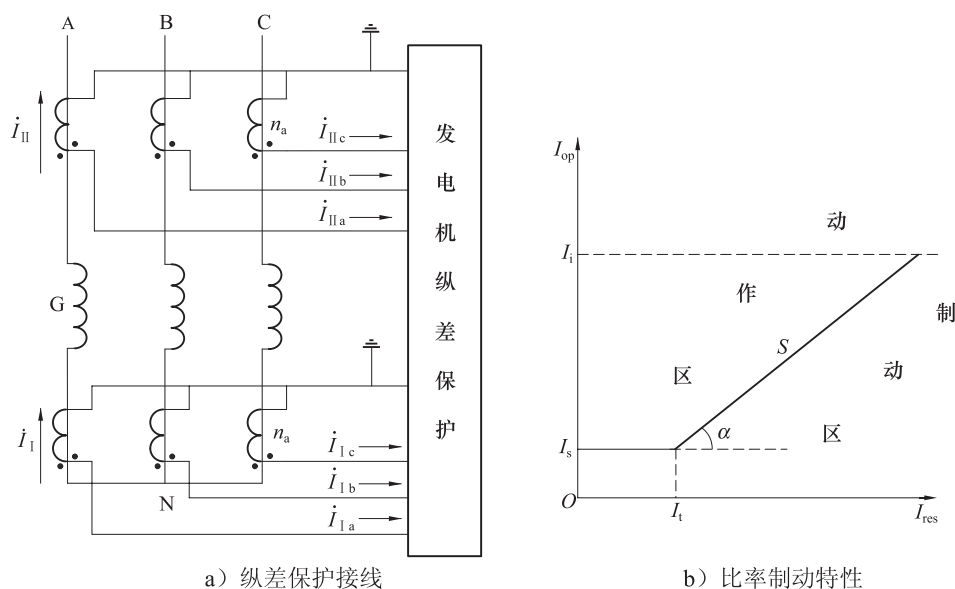


图 1 发电机纵差保护接线及其比率制动特性

4.1.1.2 制动特性与动作方程

图 1 b) 所示为发电机纵差保护的比率制动特性，其中 I_s 为最小动作电流， I_t 为拐点电流， S 为比率制动特性斜率 ($S = \tan \alpha$)。制动特性上方为动作区、下方为不动作区（也称制动区），图 1 b) 中 I_t 为差动速断动作电流。制动特性用动作方程来描述时，动作区的表达式为：

$$\begin{cases} I_{op} \geq I_s & (I_{res} \leq I_t) \\ I_{op} \geq I_s + S(I_{res} - I_t) & (I_{res} > I_t) \end{cases} \quad (2)$$

比率制动特性要整定的参数是 I_s 、 I_t 、 S 。

4.1.1.3 整定计算

a) 计算发电机二次额定电流。发电机的一次额定电流 I_{GN} 、二次额定电流 I_{gn} 的表达式为：

$$\begin{cases} I_{GN} = \frac{P_N}{\sqrt{3}U_N \cos \varphi} \\ I_{gn} = \frac{I_{GN}}{n_a} \end{cases} \quad (3)$$

式中：

P_N ——发电机的额定功率，MW；

U_N ——发电机的额定相间电压，kV；

$\cos \varphi$ ——发电机的额定功率因数。

b) 确定最小动作电流 I_s 。按躲过正常发电机额定负荷时的最大不平衡电流整定，即：

$$I_s \geq K_{rel}(K_{er} + \Delta m)I_{gn} \quad (4)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 1.5~2.0；

K_{er} ——TA 综合误差，取 0.1；

Δm ——装置通道调整误差引起的不平衡电流系数，可取 0.02。

当取 $K_{rel} = 2$ 时，得 $I_s \geq 0.24I_{gn}$ 。

在工程上，一般可取 $I_s \geq (0.2 \sim 0.3)I_{gn}$ 。对于正常工作时回路不平衡电流较大的情况，应查明原因。

c) 确定拐点电流 I_t 。拐点电流取：

$$I_t = (0.7 \sim 1.0)I_{gn} \quad (5)$$

d) 确定制动特性斜率 S 。按区外短路故障最大穿越性短路电流作用下可靠不误动条件整定，计算步骤如下：

1) 计算机端保护区外三相短路时通过发电机的最大三相短路电流 $I_{K,max}^{(3)}$ ，表达式为：

$$I_{K,max}^{(3)} = \frac{1}{X_d''} \frac{S_B}{\sqrt{3}U_N} \quad (6)$$

式中：

X_d'' ——折算到 S_B 容量的发电机直轴饱和次暂态同步电抗，标么值；

S_B ——基准容量，通常取 $S_B = 100\text{MVA}$ 或 1000MVA 。

2) 计算差动回路最大不平衡电流 $I_{unb,max}$ ，其表达式为：

$$I_{unb,max} = (K_{ap}K_{cc}K_{er} + \Delta m) \frac{I_{K,max}^{(3)}}{n_a} \quad (7)$$

式中：

K_{ap} ——非周期分量系数，取 $1.5 \sim 2.0$ ，TP 级 TA 取 1；

K_{cc} ——TA 同型系数，取 0.5。

因最大制动电流 $I_{res,max} = I_{K,max}^{(3)} / n_a$ ，所以制动特性斜率 S 应满足：

$$S \geq \frac{K_{rel}I_{unb,max} - I_s}{I_{res,max} - I_t} \quad (8)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，可取 $K_{rel} = 2$ 。

一般取 $S = 0.3 \sim 0.5$ 。

e) 灵敏度计算。按上述原则整定的比率制动特性，当发电机机端两相金属性短路时，差动保护的灵敏系数一定满足 $K_{sen} \geq 2.0$ 的要求，不必进行灵敏度校验。

f) 差动速断动作电流 I_i 。按躲过机组非同期合闸产生的最大不平衡电流整定。对大型机组，一般取 $I_i = (3 \sim 5)I_{gn}$ ，建议取 $4I_{gn}$ 。

发电机并网后，当系统处于最小运行方式时，机端保护区内两相短路时的灵敏度应不低于 1.2。

4.1.1.4 出口方式

动作于停机。

4.1.2 发电机变斜率完全纵差保护

4.1.2.1 基本工作原理

发电机变斜率完全纵差保护的基本工作原理与比率制动式完全纵差保护相同，只是制动特性是变斜率的。

4.1.2.2 制动特性与动作方程

图 2 所示为变斜率制动特性，动作电流 I_{op} 、制动电流 I_{res} 见式 (1)； I_s 为最小动作电流；当制动电流 $I_{res} \leq nI_{gn}$ 时，制动特性斜率随 I_{res} 的增大而增大（称变斜率），其中 S_1 为起始斜率；当制动电流 $I_{res} > nI_{gn}$ 时，制动特性斜率固定为最大斜率 S_2 ， n 为常数，具体值参见厂家技术说明书。制动特性上方为动作区，下方为制动区， I_i 为差动速断动作电流。制动特性的动作区可用下式表示：

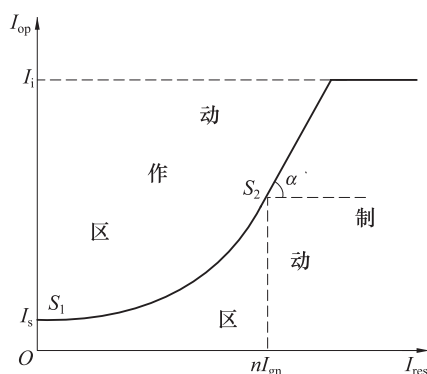


图2 变斜率制动特性

$$\begin{cases} I_{op} \geq I_s + \left(S_1 + S_{\Delta} \frac{I_{res}}{I_{gn}} \right) I_{res} & (I_{res} \leq nI_{gn} \text{时}) \\ I_{op} \geq I_s + (S_1 + nS_{\Delta})nI_{gn} + S_2(I_{res} - nI_{gn}) & (I_{res} > nI_{gn} \text{时}) \\ S_{\Delta} = \frac{S_2 - S_1}{2n} \end{cases} \quad (9)$$

式中：

S_{Δ} ——比率制动系数增量。

变斜率制动特性需要整定的参数是 I_s 、 S_1 、 S_2 。

4.1.2.3 整定计算

a) 计算发电机二次额定电流。参见式 (3)。

b) 确定起始斜率 S_1 。因不平衡电流由电流互感器相对误差确定，所以 S_1 应为：

$$S_1 = K_{rel} K_{cc} K_{er} \quad (10)$$

当 $K_{rel} = 2$ 、 $K_{cc} = 0.5$ 、 $K_{er} = 0.1$ 时， $S_1 = 0.1$ 。工程上可取 $S_1 = 0.05 \sim 0.10$ 。

c) 确定最小动作电流 I_s 。按躲过正常发电机额定负载时的最大不平衡电流整定，参见式 (4)。

在工程上，可取 $I_s = (0.2 \sim 0.3) I_{gn}$ 。对于正常工作情况下回路不平衡电流较大的情况，应查明原因。

d) 确定最大斜率 S_2 。按区外短路故障最大穿越性短路电流作用下可靠不误动条件整定，计算步骤如下：

1) 机端保护区外三相短路时通过发电机的最大三相短路电流 $I_{K, \max}^{(3)}$ ，见式 (6)。

2) 差动回路最大不平衡电流 $I_{unb, \max}$ ，见式 (7)。

3) 此时最大制动电流 $I_{res, \max} = I_{K, \max}^{(3)} / n_a$ ，所以应满足关系式：

$$I_s + (S_1 + nS_{\Delta})nI_{gn} + S_2(I_{res, \max} - nI_{gn}) \geq K_{rel} I_{unb, \max} \quad (11)$$

4) 计及 $S_{\Delta} = (S_2 - S_1) / 2n$ ，式 (11) 可简化为：

$$S_2 \geq \frac{K_{rel} I_{unb, \max} - \left(I_s + \frac{n}{2} S_1 I_{gn} \right)}{I_{res, \max} - \frac{n}{2} I_{gn}} \quad (12)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，一般取 $K_{rel} = 2$ 。在工程上，一般取 $S_2 = 0.3 \sim 0.7$ 。

e) 灵敏度计算。按上述计算设定的整定值， K_{sen} 总能满足要求，故不必进行灵敏度校验。

f) 差动速断动作电流 I_1 。见 4.1.1.3 f)。

4.1.2.4 出口方式

动作于停机。

4.1.3 故障分量比率制动式纵差保护

该保护只与发生短路后的故障分量（或称增量）有关，与短路前的穿越性负荷电流无关，故有提高纵差保护灵敏度的效果。本保护仅反应相间短路故障，具体整定方法以各厂家技术说明书为准。

4.1.4 不完全纵差保护

4.1.4.1 基本工作原理

本保护既反应相间和匝间短路，又兼顾分支开焊故障。其基本原理是利用定子各分支绕组间的互感，使未装设互感器的分支短路时，不完全纵差保护仍可能动作。

对于每相定子绕组为 a 分支的大型发电机，在构成不完全纵差保护时，中性点 TA 每相接入 N 个分支。以图 3 为例，每相定子绕组 6 分支，中性点每相接入 3 分支，机端 TA 取相电流（图 3 中的 TA3），中性点 TA 每相接入的分支为 2、4、6（图 3 中的 TA1）。

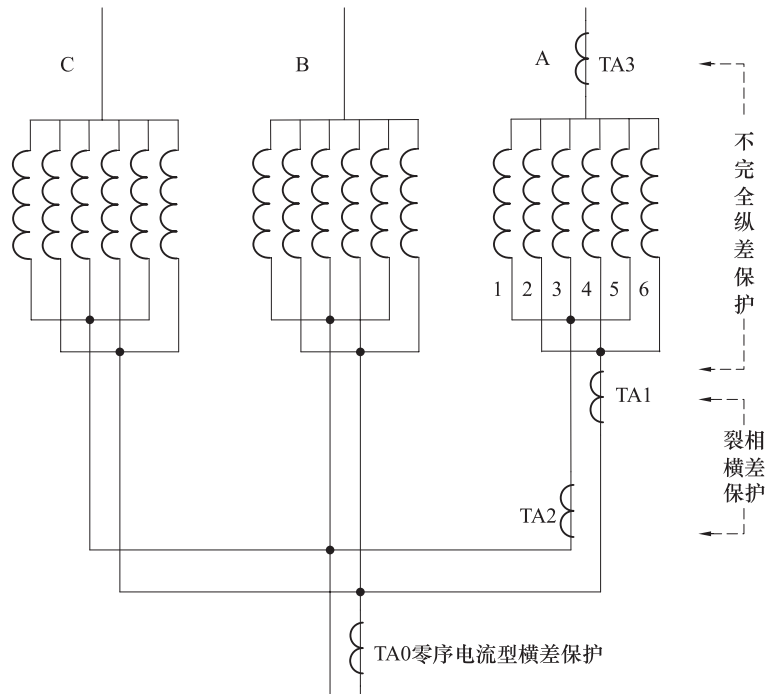


图 3 每相 6 个并联分支的发电机不完全纵差保护

4.1.4.2 制动特性和动作方程

不完全纵差保护的制动特性、动作方程与相应的完全纵差保护相同，但动作电流 I_{op} 、制动电流 I_{res} 有所区别。

对比率制动式不完全纵差保护、变斜率不完全纵差保护， I_{op} 、 I_{res} 的表达式为：

$$\begin{cases} I_{op} = |K_{br} \dot{I}_n - \dot{I}_t| \\ I_{res} = \frac{1}{2} |K_{br} \dot{I}_n + \dot{I}_t| \end{cases} \quad (13)$$

式中：

\dot{I}_n 、 \dot{I}_t ——不完全纵差保护中性点 TA、机端 TA 的二次电流；

K_{br} ——中性点侧电流平衡系数（也称分支系数），等于机端 TA、中性点 TA 二次电流进入差动回路电流之比，即：

$$K_{br} = I_t / I_n \quad (14)$$

K_{br} 也可表示为:

$$K_{br} = \frac{a n_{TA1}}{N n_{TA3}} \quad (15)$$

式中:

n_{TA1} 、 n_{TA3} ——中性点 TA1、机端 TA3 的变比。

4.1.4.3 整定计算

不完全纵差保护的整定计算和出口方式与完全纵差保护相同, 当中性点 TA1、机端 TA3 不同型时, 互感器的同型系数 K_{cc} 应取 1, 最小动作电流取:

$$I_s = (0.3 \sim 0.4) I_{gn} \quad (16)$$

4.1.5 零序电流型横差保护

本保护反映匝间短路、分支开焊以及机内绕组相间短路。

为了减小动作电流和防止外部短路时误动, 在额定频率工况下, 该保护的三次谐波滤过比应大于 80。

a) 零序电流型横差保护高定值段。图 3 中, 接于发电机中性点连线的互感器 TA0 用于零序电流型横差保护。动作电流 $I_{op,H}$ 按躲过发电机外部不对称短路故障或发电机转子偏心产生的最大不平衡电流整定, 其表达式为:

$$I_{op,H} = (0.2 \sim 0.3) \frac{I_{GN}}{n_a} \quad (17)$$

式中:

n_a ——中性点连线上 TA 变比。

b) 零序电流型横差保护低定值段。低定值段具有防外部短路时误动的技术措施, 动作电流 $I_{op,L}$ 只需躲过正常运行时最大不平衡电流 $I_{umb,max}$, 可初设:

$$I_{op,L} = 0.05 I_{GN} / n_a \quad (18)$$

根据实测值进行校正, $I_{op,L} = K_{rel} I_{umb,max}$, 可靠系数一般取 1.5~2.0。

c) 零序电流型横差保护不设动作延时, 但当励磁回路一点接地后, 为防止励磁回路发生瞬时性第二点接地故障使横差保护误动, 应切换为带 0.5s~1.0s 延时动作于停机。

4.1.6 裂相横差保护

裂相横差保护就是将一台发电机的每相并联分支分为两个分支组, 各配以电流互感器。图 3 中, 1、3、5 分支的 TA2 与 2、4、6 分支的 TA1 构成裂相横差保护。

该保护采用比率制动特性, 可按式 (19)~式 (21) 整定最小动作电流 I_s 、制动系数 S 和拐点电流 I_t , 即:

$$I_s = (0.2 \sim 0.4) I_{gn} \quad (19)$$

$$S = 0.3 \sim 0.6 \quad (20)$$

$$I_t = (0.7 \sim 1.0) I_{gn} \quad (21)$$

其整定计算与比率制动式纵差保护相似, 但最小动作电流 I_s 和制动系数 S 均较大。

I_s 由负荷工况下最大不平衡电流决定, 它由两部分组成:

- 两组互感器在负荷工况下的比误差造成的不平衡电流;
- 由于定子与转子间气隙不同, 使各分支定子绕组电流也不相同, 由此产生不平衡电流。

因此, 裂相横差保护的 I_s 比纵差保护大。

4.1.7 纵向零序过电压保护

发电机定子绕组同分支匝间、同相不同分支间或不同相间短路时, 会出现纵向 (机端对中性点) 零

序电压，该电压由专用电压互感器（互感器一次中性点与发电机中性点相连，不接地）的开口三角绕组取得。

- a) 动作电压 $U_{0,op}$ 按躲过发电机正常运行时基波最大不平衡电压 $U_{unb,max}$ 整定，表达式为：

$$U_{0,op} = K_{rel} U_{unb,max} \quad (22)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 2.5。

当无实测值时，对应专用 TV 开口三角电压为 100V，可取 $U_{0,op} = (1.5 \sim 3)V$ 。

- b) 为防止外部短路时误动作，可增设负序方向闭锁元件。
 c) 三次谐波电压滤过比应大于 80。
 d) 该保护应有电压互感器断线闭锁元件。
 e) 动作时限按躲过专用 TV 一次侧断线的判定时间整定，可取 0.2s。
 f) 出口方式为停机。

4.1.8 故障分量负序方向保护

故障分量负序方向保护反映发电机定子绕组相间短路、匝间短路以及分支开焊故障。

利用故障分量负序电压和电流（ $\Delta \dot{U}_2$ 和 $\Delta \dot{I}_2$ ），构成故障分量负序方向保护，其动作判据为：

$$\Delta P_2 = \text{Re}(\Delta \dot{U}_2 \Delta \hat{I}_2 e^{j\varphi_{sen,2}}) \geq \varepsilon_{p,2} \quad (23)$$

式中：

$\Delta \hat{I}_2$ —— $\Delta \dot{I}_2$ 的共轭相量；

$\varphi_{sen,2}$ ——负序方向灵敏角，一般取 75° 。

故障分量负序方向元件，阈值 $\varepsilon_{p,2}$ 很小，具体数值由保护制造厂家供给，一般不作整定计算。

故障分量负序方向保护无需装设 TV 或 TA 的断线闭锁元件，但 TV 断线应发信号，保护较简单；当发电机未并网前，因 $\Delta I_2 = 0$ ，保护失效，因此应增设辅助判据，其原理和定值整定随各制造厂家而异，详见厂家技术说明书。

4.2 发电机复合电压过流保护

4.2.1 过电流保护

- a) 动作电流按发电机额定负荷下可靠返回的条件整定，即：

$$I_{op} = \frac{K_{rel} I_{GN}}{K_r n_a} \quad (24)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 1.3~1.5；

K_r ——返回系数，取 0.9~0.95。

- b) 灵敏系数校验。灵敏系数按主变压器高压侧母线两相短路的条件校验，即：

$$K_{sen} = \frac{I_{k,min}^{(2)}}{I_{op} n_a} \quad (25)$$

式中：

$I_{k,min}^{(2)}$ ——主变压器高压侧母线金属性两相短路时，流过保护的最小短路电流。

要求灵敏系数 $K_{sen} \geq 1.3$ 。

- c) 动作时限及出口方式。与主变压器后备保护的配合，动作于停机。
 d) 当发电机为自并励磁方式时，电流元件应具有记忆功能，记忆时间稍长于动作时限。

4.2.2 复合电压元件动作值

- a) 低电压元件接线电压，按躲过发电机失磁时最低机端电压整定。

对于汽轮发电机，取：

$$U_{op} = \frac{0.6U_N}{n_v} \quad (26)$$

式中：

n_v ——电压互感器变比。

对于水轮发电机，取：

$$U_{op} = \frac{0.7U_N}{n_v} \quad (27)$$

灵敏系数按主变压器高压侧母线三相短路的条件校验，即：

$$K_{sen} = \frac{U_{op} n_v}{U_k} \quad (28)$$

$$U_k = \frac{X_T}{X_T + X_d''} U_N$$

式中：

U_k ——主变压器高压侧出口三相短路时机端线电压；

X_d'' 、 X_T ——折算到同一容量下的发电机次暂态电抗、主变压器电抗值。

要求灵敏系数 $K_{sen} \geq 1.2$ 。

b) 负序电压元件接相电压或线电压，按躲过正常运行时的不平衡电压整定，一般取：

$$U_{op,2} = \frac{0.06 \sim 0.08}{n_v} U \quad (29)$$

式中：

U ——发电机的额定相电压或线电压，kV。

灵敏系数按主变压器高压侧母线两相短路的条件校验，即：

$$K_{sen} = \frac{U_{2,\min}}{U_{op,2} n_v} \quad (30)$$

式中：

$U_{2,\min}$ ——主变压器高压侧母线两相短路时，保护安装处的最小负序电压。

要求灵敏系数 $K_{sen} \geq 1.5$ 。

复合电压元件的灵敏系数不满足要求时，可在主变压器高压侧增设复合电压元件。

4.3 定子绕组单相接地保护

4.3.1 发电机中性点接地方式及对保护的要求

我国发电机中性点接地方式主要有以下三种：

- 不接地（含经单相电压互感器接地）；
- 经消弧线圈（欠补偿）接地；
- 经配电变压器高阻接地。

在发电机单相接地故障时，不同的中性点接地方式，将有不同的接地故障电流和动态过电压。发电机单相接地电流允许值见附录 C。

当机端单相金属性接地电容电流 I_C 小于允许值时，发电机中性点可不接地，单相接地保护可带时限动作于信号；当 I_C 大于允许值时，宜以消弧线圈（欠补偿）接地，补偿后的残余电流（容性）小于允许值时，保护可带时限动作于信号；当消弧线圈退出运行或由于其他原因使残余电流大于允许值时，保护应带时限动作于停机。

发电机中性点经配电变压器高阻接地时，接地故障电流大于电容电流。当故障电流大于允许值时，

保护应带时限动作于停机；当故障电流小于允许值时，保护可带时限动作于信号。

4.3.2 基波零序过电压保护

基波零序过电压保护定值可设低定值段和高定值段。

a) 低定值段的动作电压 $U_{0,op}$ 应按躲过正常运行时的最大不平衡基波零序电压 $U_{0,max}$ 整定，即：

$$U_{0,op} = K_{rel} U_{0,max} \quad (31)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 1.2~1.3；

$U_{0,max}$ ——机端或中性点实测不平衡基波零序电压，实测之前，可初设 $U_{0,op} = (5\% \sim 10\%)U_{0n}$ ， U_{0n} 为机端单相金属性接地时中性点或机端的零序电压（二次值）。

应校核系统高压侧接地短路时，通过升压变压器高、低压绕组间的相耦合电容 C_M 传递到发电机侧的零序电压 U_{g0} 大小。计算传递电压的近似简化电路如图 4 所示。

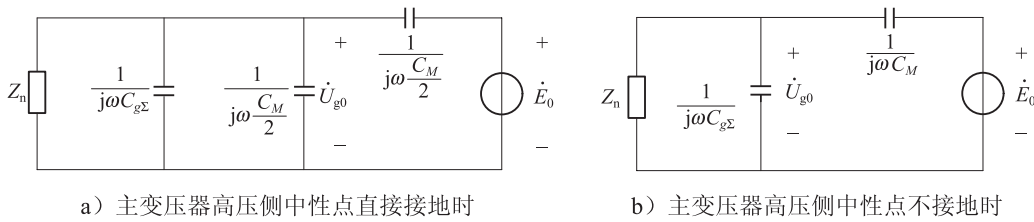


图 4 计算传递电压的近似简化电路

图 4 中， E_0 为系统侧接地短路时产生的基波零序电动势，由系统实际情况确定，一般可取 $E_0 \approx 0.6U_{Hn} / \sqrt{3}$ ， U_{Hn} 为系统额定线电压。 C_{gz} 为发电机及机端外接元件每相对地总电容。 C_M 为主变压器高、低压绕组间的相耦合电容（由变压器制造厂在设备手册或出厂实验报告中提供，如果变压器制造厂未提供，可参见附录 D）。 Z_n 为 3 倍发电机中性点对地基波阻抗。

由图 4 a) 可得，并联部分的等值阻抗 $Z_{con(a)} = \frac{Z_n}{j\omega\left(C_{gz} + \frac{C_M}{2}\right)Z_n + 1}$ ，则

$$\dot{U}_{g0} = \frac{Z_{con(a)}}{Z_{con(a)} + \frac{1}{j\omega\frac{C_M}{2}}} \dot{E}_0 \quad (32)$$

由图 4 b) 可得，并联部分的等值阻抗 $Z_{con(b)} = \frac{Z_n}{j\omega C_{gz} Z_n + 1}$ ，则

$$\dot{U}_{g0} = \frac{Z_{con(b)}}{Z_{con(b)} + \frac{1}{j\omega C_M}} \dot{E}_0 \quad (33)$$

U_{g0} 可能引起基波零序过电压保护误动作。因此，定子单相接地保护动作电压整定值或延时应与系统接地保护配合，可分三种情况：

- 1) 动作电压若已躲过主变压器高压侧耦合到机端的零序电压，在可能的情况下延时应尽量取短，可取 0.3s~1.0s；
- 2) 具有主变压器高压侧系统接地故障传递过电压防误动措施的保护装置，延时可取 0.3s~1.0s；
- 3) 动作电压若低于主变压器高压侧耦合到机端的零序电压，延时应与高压侧接地保护配合。

b) 高定值段的动作电压应可靠躲过传递过电压，可取 $(15\% \sim 25\%)U_{0n}$ ，延时可取 0.3s~1.0s。

4.3.3 三次谐波电压单相接地保护

对于 100MW 及以上的发电机，应装设无动作死区（100%动作区）单相接地保护。一般采用基波零序过电压保护与三次谐波电压保护共同组成的 100%单相接地保护。

设机端和中性点三次谐波电压分别为 \dot{U}_{3t} 和 \dot{U}_{3n} ，三次谐波电压单相接地保护可采用以下两种原理。

a) 原理一计算式为：

$$|\dot{U}_{3t}|/|\dot{U}_{3n}| > \alpha \quad (34)$$

实测发电机正常运行时的最大三次谐波电压比值设为 α_0 ，则取阈值 $\alpha = (1.2 \sim 1.5)\alpha_0$ 。

b) 原理二计算式为：

$$|\dot{U}_{3t} - K_p \dot{U}_{3n}| / \beta |\dot{U}_{3n}| > 1 \quad (35)$$

式中：

$|\dot{U}_{3t} - K_p \dot{U}_{3n}|$ ——动作量；

K_p ——调整系数，使发电机正常运行时动作量很小。

$\beta |\dot{U}_{3n}|$ ——制动量，其中， β 为制动系数，其取值参见各厂家技术说明书。

式（34）的动作判据较简单，但灵敏度较低；式（35）的动作判据较复杂，但灵敏度高。

三次谐波电压定子接地保护一般动作于信号。

4.3.4 外加交流电源式 100% 定子绕组单相接地保护

国内应用的外加交流电源式定子绕组单相接地保护有两种注入电源：20Hz 电源和 12.5Hz 电源。

应用较多的外加 20Hz 电源式定子接地保护原理接线图如图 5 所示。

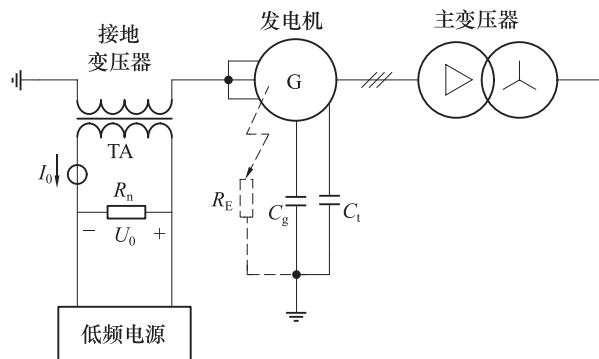


图 5 外加 20Hz 电源式定子接地保护原理接线图

图 5 中， R_E 为故障点的接地过渡电阻； C_g 为发电机定子绕组对地总电容； C_t 为发电机定子绕组外部连接设备对地总电容； R_n 为接地变压器负载电阻； U_0 为负载电阻两端电压； I_0 为电流互感器 TA 测量的电流值。保护装置通过测量 U_0 和 I_0 ，计算接地过渡电阻 R_E ，从而实现 100% 的定子接地保护。一般，接地电阻定值可取 $1\text{k}\Omega \sim 5\text{k}\Omega$ 。

采用外加交流电源式 100% 定子绕组单相接地保护，可在发电机静止状态下模拟中性点位置经过渡电阻的接地故障，根据实测结果确定电阻判据的定值。定值整定的原则是：能够可靠地反映接地过渡电阻值。定值可分为高定值段和低定值段，高定值段一般延时 $1\text{s} \sim 5\text{s}$ ，发告警信号；低定值段延时可取 $0.3\text{s} \sim 1.0\text{s}$ ，动作于停机。

接地零序电流判据反应的是流过发电机中性点接地连线上的电流，作为电阻判据的后备，其动作值按保护距发电机机端 80%~90% 范围的定子绕组接地故障的原则整定。以图 5 为例，动作电流为：

$$I_{0, \text{op}} > I_{\text{set}} = \left(\frac{\alpha U_{R_n}}{R_n} \right) / n_a \quad (36)$$

式中：

α ——取 10%~20%；

U_{R_n} ——发电机额定电压时，机端发生金属性接地故障，负载电阻 R_n 上的电压；

R_n ——发电机中性点接地变压器二次侧负载电阻。

需要校核系统接地故障传递过电压（参考图 4）对零序电流判据的影响。

接地零序电流判据动作时限取 0.3s~1.0s，动作于停机。

4.4 励磁回路接地保护

汽轮发电机通用技术条件规定：对于空冷及氢冷的汽轮发电机，励磁绕组的冷态绝缘电阻不小于 $1\text{M}\Omega$ ，直接水冷却的励磁绕组，其冷态绝缘电阻不小于 $2\text{k}\Omega$ 。水轮发电机通用技术条件规定：绕组的绝缘电阻在任何情况下都不应低于 $0.5\text{M}\Omega$ 。

励磁绕组及其相连的回路，当它发生一点绝缘损坏时（一点接地故障）并不产生严重后果，但是若继发第二点接地故障，则部分转子绕组被短路，可能烧伤转子本体，振动加剧，甚至可能发生轴系和汽轮机磁化，使机组修复困难、延长停机时间。为了大型发电机组的安全运行，无论水轮发电机或汽轮发电机，在励磁回路一点接地保护动作发出信号后，应立即转移负荷，实现平稳停机检修。

目前广泛应用的转子接地保护多采用乒乓式原理和注入式原理，其中注入式原理在未加励磁电压的情况下也能监视转子绝缘。

- a) 高定值段：对于水轮发电机、空冷及氢冷汽轮发电机，可整定为 $10\text{k}\Omega\sim 30\text{k}\Omega$ ；转子水冷机组可整定为 $5\text{k}\Omega\sim 15\text{k}\Omega$ ；一般动作于信号。
- b) 低定值段：对于水轮发电机、空冷及氢冷汽轮发电机，可整定为 $0.5\text{k}\Omega\sim 10\text{k}\Omega$ ；转子水冷机组可整定为 $0.5\text{k}\Omega\sim 2.5\text{k}\Omega$ ；可动作于信号或跳闸。
- c) 动作时限：一般可整定为 $5\text{s}\sim 10\text{s}$ 。

4.5 发电机过负荷保护

4.5.1 定子绕组对称过负荷保护

对于发电机因过负荷或外部故障引起的定子绕组过电流，装设定子绕组对称过负荷保护，通常由定时限过负荷及反时限过电流两部分组成。

- a) 定时限过负荷保护。动作电流按发电机长期允许的负荷电流下能可靠返回的条件整定，即：

$$I_{\text{op}} = \frac{K_{\text{rel}} I_{\text{GN}}}{K_r n_a} \quad (37)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 1.05；

I_{GN} ——发电机一次额定电流，A；

K_r ——返回系数，取 0.9~0.95，条件允许应取较大值；

n_a ——电流互感器变比。

保护延时（躲过后备保护的最大延时）动作于信号或动作于自动减负荷。

- b) 反时限过电流保护。反时限过电流保护的动作特性，即过电流倍数与相应的允许持续时间的关系，由制造厂家提供的定子绕组允许的过负荷能力确定。

发电机定子绕组承受的短时过电流倍数与允许持续时间的关系为：

$$t = \frac{K_{\text{tc}}}{I_*^2 - K_{\text{sr}}^2} \quad (38)$$

式中:

K_{tc} ——定子绕组热容量常数, 机组(空冷发电机除外)容量 $S_n \leq 1200\text{MVA}$ 时, $K_{tc} = 37.5$ (参见附录 E, 当有制造厂家提供的参数时, 以厂家参数为准);

I_* ——以定子额定电流为基准的标么值;

t ——允许的持续时间, s;

K_{sr} ——散热系数, 一般可取为 1.02~1.05。

定子绕组允许过电流曲线如图 6 所示。

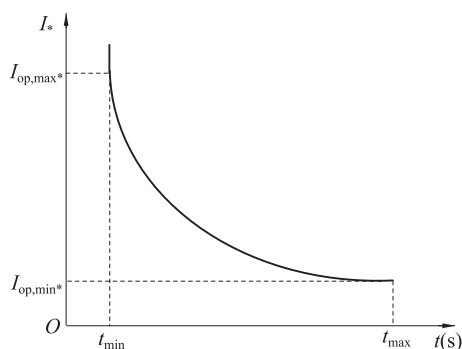


图 6 定子绕组允许过电流曲线(反时限过电流保护的动作特性)

图 6 中, $I_{op,min}^*$ 为反时限动作特性的下限电流标么值, $I_{op,max}^*$ 为反时限动作特性的上限电流标么值, 均以发电机额定电流为基准。

设反时限过电流保护的跳闸特性与定子绕组允许过电流曲线相同。按此条件进行保护定值的整定计算。

反时限跳闸特性的上限电流 $I_{op,max}$ 按机端金属性三相短路的条件整定:

$$I_{op,max} = \frac{I_{GN}}{X_d'' n_a} \quad (39)$$

式中:

X_d'' ——发电机次暂态电抗(饱和值), 标么值。

当短路电流小于上限电流时, 保护按反时限动作特性动作。上限最小延时应与出线快速保护动作时限配合。

反时限动作特性的下限电流 $I_{op,min}$ 按与过负荷保护配合的条件整定:

$$I_{op,min} = K_{co} I_{op} = K_{co} K_{rel} \frac{I_{GN}}{K_r n_a} \quad (40)$$

式中:

K_{co} ——配合系数, 取 1.0~1.05。

保护动作于解列或程序跳闸。

4.5.2 励磁绕组过负荷保护

励磁绕组的过负荷保护由定时限和反时限两部分组成。

a) 定时限过负荷保护。动作电流按正常运行的额定励磁电流下能可靠返回的条件整定。当保护配置在交流侧时, 其动作时限及动作电流的整定计算同 4.5.1 a) (额定励磁电流 I_{fdN} 应变换至交流侧的有效值 I_{\sim} , 对于三相全桥整流的情况, $I_{\sim} = 0.816 I_{fdN}$)。

保护带时限动作于信号, 有条件的动作于降低励磁电流或切换励磁。

- b) 反时限过电流保护。反时限过电流倍数与相应允许持续时间的关系曲线由制造厂家提供的转子绕组允许的过热条件决定。整定计算时，设反时限过电流保护的動作特性与转子绕组允许的过热特性相同，如图 7 所示，其表达式为：

$$t = \frac{C}{I_{fd}^{*2} - 1} \quad (41)$$

式中：

C —— 转子绕组过热常数；

I_{fd}^{*} —— 强行励磁倍数。

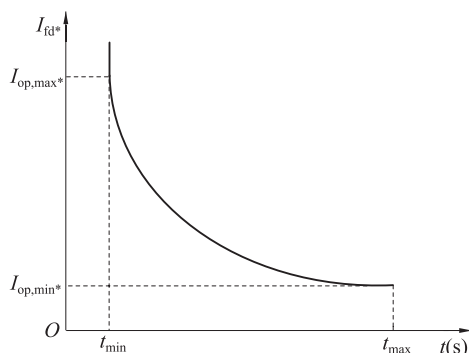


图 7 转子绕组反时限过电流保护跳闸特性

图 7 中， $I_{op,min}^{*}$ 为反时限动作特性的下限电流标幺值， $I_{op,max}^{*}$ 为反时限动作特性的上限电流标幺值，均以发电机额定励磁电流为基准。

最大动作时间对应的最小动作电流，按与定时限过负荷保护配合的条件整定。

反时限动作特性的上限动作电流与强励顶值倍数匹配。如果强励倍数为 2 倍，则在 2 倍额定励磁电流下的持续时间达到允许的持续时间时，保护动作于跳闸。当小于强励顶值而大于过负荷允许的电流时，保护按反时限特性动作。

对于无刷励磁系统，在整定计算时，应根据发电机的励磁电压与励磁机励磁电流的关系曲线，将发电机的额定励磁电压及强励顶值电压分别折算到励磁机的励磁电流侧，再进行相应的计算。

保护动作于解列灭磁。

4.5.3 转子表层负序过负荷保护

针对发电机的不对称过负荷、非全相运行以及外部不对称故障引起的负序过电流，其保护通常由定时限过负荷和反时限过电流两部分组成。

- a) 负序定时限过负荷保护。保护的動作电流按发电机长期允许的负序电流 $I_{2\infty}$ 下能可靠返回的条件整定，即：

$$I_{2,op} = \frac{K_{rel} I_{2\infty} I_{GN}}{K_r n_a} \quad (42)$$

式中：

K_{rel} —— 可靠系数，取 1.2；

K_r —— 返回系数，取 0.9~0.95，条件允许应取较大值；

$I_{2\infty}$ —— 发电机长期允许的负序电流，标幺值。

保护延时需躲过发—变组后备保护最长动作时限，动作于信号。

- b) 负序反时限过电流保护。负序反时限过电流保护的動作特性，由制造厂家提供的转子表层允许

的负序过负荷能力确定。

GB/T 7064—2008 规定的不同容量机组的转子负序过热允许值见附录 E。

发电机短时承受负序过电流倍数与允许持续时间的关系为：

$$t = \frac{A}{I_{2*}^2 - I_{2\infty}^2} \quad (43)$$

式中：

I_{2*} ——发电机负序电流标么值；

$I_{2\infty}$ ——发电机长期允许负序电流标么值；

A ——转子表层承受负序电流能力的常数（ $A = I_2^2 t$ ，附录 E 表 E1）。

发电机允许的负序电流特性曲线如图 8 所示。

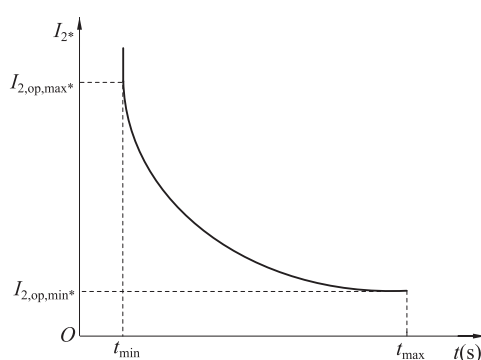


图 8 发电机允许的负序电流特性（即保护的動作特性）

图 8 中， $I_{2,op,min*}$ 为负序反时限动作特性的下限电流标么值， $I_{2,op,max*}$ 为负序反时限动作特性的上限电流标么值，均以发电机额定电流为基准。

整定计算时，设负序反时限过电流保护的動作特性与发电机允许的负序电流特性相同。

反时限保护动作特性的上限电流，按主变压器高压侧两相短路的条件计算，即：

$$I_{2,op,max} = \frac{I_{GN}}{(X_d'' + X_2 + 2X_t)n_a} \quad (44)$$

式中：

X_2 ——发电机负序电抗，标么值。

当负序电流小于上限电流时，按反时限特性动作。

上限最小延时应与快速主保护配合。

反时限动作特性的下限电流 $I_{2,op,min}$ 按照与定时限动作电流配合的原则整定，即：

$$I_{2,op,min} = K_{co} I_{2,op} \quad (45)$$

式中：

K_{co} ——配合系数，可取 1.05~1.10。

下限动作延时按式（43）计算，同时需参考保护装置所能提供的最大延时。

在灵敏度和动作时限方面不必与相邻元件或线路的相间短路保护配合，保护动作于解列或程序跳闸。

4.6 发电机低励失磁保护

4.6.1 低励失磁保护主判据

a) 低电压判据：

- 1) 系统低电压;
- 2) 机端低电压。
- b) 定子侧阻抗判据:
 - 1) 异步边界阻抗圆;
 - 2) 静稳极限阻抗圆。
- c) 转子侧判据:
 - 1) 转子低电压判据;
 - 2) 变励磁电压判据。

4.6.2 低电压判据

- a) 系统低电压。

本判据主要用于防止由发电机低励失磁故障引发无功储备不足的系统电压崩溃,造成大面积停电,三相同时低电压的动作电压 $U_{op,3ph}$ 为:

$$U_{op,3ph} = (0.85 \sim 0.95) U_{H,min} \quad (46)$$

式中:

$U_{H,min}$ —— 高压母线最低正常运行电压。

- b) 机端低电压。

机端低电压动作值按不破坏厂用电安全和躲过强励启动电压条件整定,可取:

$$U_{op,G} = (0.85 \sim 0.90) U_N \quad (47)$$

4.6.3 异步边界阻抗圆

失磁发电机的机端阻抗最终轨迹一定进入图 9 的圆 1 中,圆 1 称为异步边界阻抗圆,其整定值为:

$$X_a = -\frac{X'_d U_N^2 n_a}{2 S_N n_v} \quad (48)$$

$$X_b = -X_d \frac{U_N^2 n_a}{S_N n_v} \quad (49)$$

式中:

X'_d —— 发电机暂态电抗(不饱和值),标么值;

X_d —— 发电机同步电抗(不饱和值),标么值;

U_N —— 发电机额定电压, kV;

S_N —— 发电机额定视在功率, MVA。

异步边界阻抗圆动作判据主要用于与系统联系紧密的发电机失磁故障检测,它能反应失磁发电机机端的最终阻抗,但动作可能较晚。

4.6.4 静稳极限阻抗圆

- a) 汽轮发电机。如图 9 中的圆 2,其整定值为:

$$X_c = X_{con} \frac{U_N^2 n_a}{S_N n_v} \quad (50)$$

式中:

X_{con} —— 发电机与系统间的联系电抗(包括升压变压器阻抗,系统处于最小运行方式)标么值(以发电机额定容量为基准),参见附录 F。

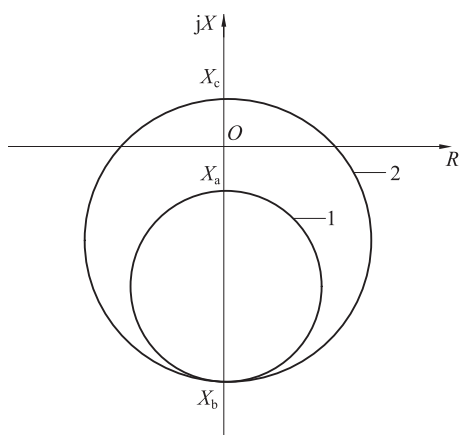


图9 阻抗动作特性

1—异步边界圆；2—汽轮发电机静稳边界圆

X_b 由式 (49) 决定。

b) 水轮发电机的 $X_d \neq X_q$ ，在低励失磁故障时，其静稳极限的机端阻抗轨迹是图 10 中的滴状曲线。

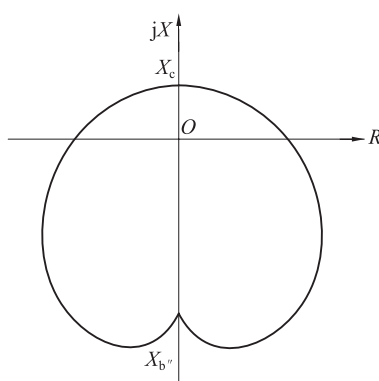


图10 失磁保护滴状曲线静稳极限阻抗图

X_c 由式 (50) 决定。

其下边界 $X_{b'}$ 整定值为：

$$X_{b'} = -X_q \frac{U_N^2 \frac{n_a}{S_N n_v}}{\quad} \quad (51)$$

式中：

X_q ——发电机 q 轴同步电抗（不饱和值），标么值。

4.6.5 转子低电压判据

转子低电压表达式为：

$$U_{fd,op} = K_{rel} U_{fd0} \quad (52)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，可取 0.80；

U_{fd0} ——发电机空载励磁电压。

对于水轮发电机和中小型汽轮发电机，式 (52) 比较合适。对于大型汽轮发电机，式 (52) 的 $U_{fd,op}$ 定值偏大，当进相运行时可能励磁电压 $U_{fd} < U_{fd,op}$ ，励磁低电压辅助判据会处于动作状态，失磁保护失去了辅助判据的闭锁作用，此时宜用变励磁电压判据。

4.6.6 变励磁电压判据

与系统并联运行的发电机对应某一有功功率 P 时, 将有为维持静态稳定极限所必需的励磁电压 U_{fd} 。也就是说, 按照静稳极限条件 (如汽轮发电机的功角 $\delta=90^\circ$), 输送一定的有功功率 P , 应有相应的励磁电压 U_{fd} 。 P 值不同, 静稳极限条件下的 U_{fd} 也不同。

动作判据为:

$$U_{fd, op} \leq K_{set}(P - P_t) \quad (53)$$

K_{set} 为整定系数, 即图 11 中的变励磁电压判据的动作特性直线斜率, 计算式为:

$$K_{set} = \frac{P_n}{P_n - P_t} \times \frac{C_n(X_d + X_{con})U_{fd0}}{U_s E_{d0}} \quad (54)$$

式中:

U_{fd0} —— 发电机空载励磁电压, kV;

E_{d0} —— 发电机空载电动势, kV;

U_s —— 归算到发电机机端的无穷大系统母线电压值, kV;

X_d 、 X_{con} —— 发电机同步电抗、系统联络阻抗值, Ω ;

C_n —— 修正系数, 以 $K_n = P_n/P_t$ 值查 $K_n - C_n$ 表 (表 1) 或 $K_n - C_n$ 曲线 (图 12) 得到 (对于隐极机, $C_n = 1$);

P_n —— 发电机额定功率, MW;

P_t —— 发电机凸极功率 (对于隐极机, $P_t = 0$), 计算式为:

$$P_t = \frac{U_s^2(X_d - X_q)}{2(X_d + X_{con})(X_q + X_{con})} \quad (55)$$

式中:

X_q —— 发电机 q 轴同步电抗, Ω 。

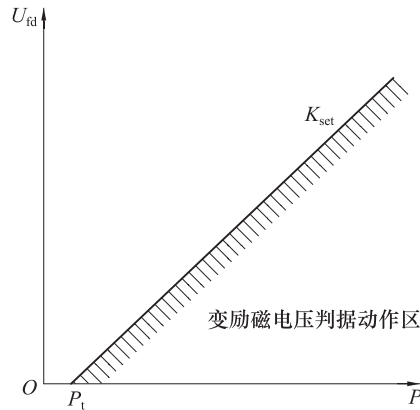
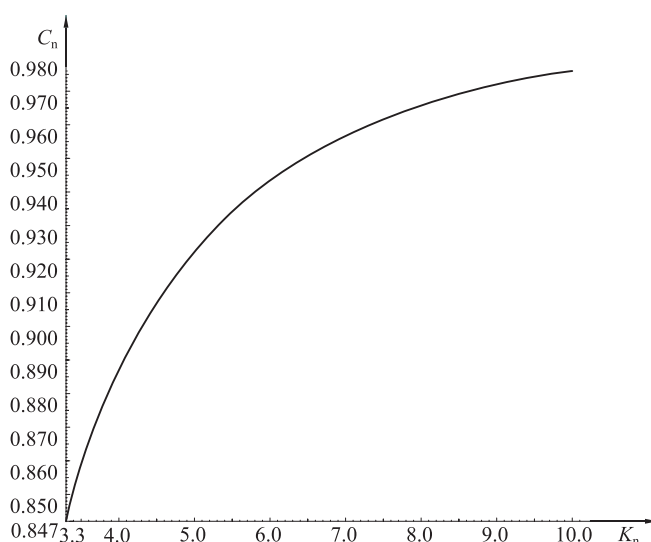


图 11 水轮发电机变励磁电压动作特性

表 1 变励磁电压判据 $K_n - C_n$ 表

K_n	C_n	K_n	C_n	K_n	C_n
3.3	0.847	5.6	0.941	7.7	0.968
3.6	0.869	6.0	0.948	8.0	0.970
4.0	0.891	6.3	0.953	8.3	0.972
4.3	0.904	6.6	0.957	8.7	0.975
4.7	0.919	6.8	0.959	9.0	0.976
5.0	0.927	7.1	0.962	9.5	0.979
5.3	0.935	7.4	0.965	10.0	0.981

图 12 变励磁电压判据 K_n-C_n 曲线

4.6.7 低励失磁保护的辅助判据

a) 负序电压元件（闭锁失磁保护）。动作电压为：

$$U_{op} = (0.05 \sim 0.06) U_N / n_v \quad (56)$$

b) 负序电流元件（闭锁失磁保护）。动作电流为：

$$I_{op} = (1.2 \sim 1.4) I_{2\infty} I_{GN} / n_a \quad (57)$$

式中：

$I_{2\infty}$ ——发电机长期允许负序电流，标么值。

由负序电流元件构成的闭锁元件，在出现负序电压或电流大于 U_{op} 或 I_{op} 时，瞬时启动闭锁失磁保护，经 8s~10s 自动返回，解除闭锁。

这些辅助判据元件与主判据元件“与门”输出，防止非失磁故障状态下主判据元件误出口。

4.6.8 延时元件

失磁阻抗判据应校核不抢先于励磁低励限制动作。

动作于跳开发电机的延时元件，其延时应防止系统振荡时保护的误动作。振荡周期由电网主管部门提供，按躲振荡所需的时间整定。对于不允许发电机失磁运行的系统，其延时一般取 0.5s~1.0s。

动作于励磁切换及发电机减出力的时间元件，其延时由设备的允许条件整定。

4.7 发电机失步保护

4.7.1 失步保护原理要求及出口方式

各种原理的失步保护均应满足：

——正确区分系统短路与振荡；

——正确判定失步振荡与稳定振荡（同步摇摆）。

失步保护应在失步振荡情况下动作。失步保护动作后，一般只发信号，当振荡中心位于发一变组内部或失步振荡持续时间过长、对发电机安全构成威胁时，才作用于跳闸，而且应在两侧电动势相位差小于 90° 的条件下使断路器跳开，以免断路器的断开容量过大。

4.7.2 三元件失步保护

其特性由三部分组成，如图 13 所示。

第一部分是透镜特性，见图 13 中①，它把阻抗平面分成透镜内的部分 I 和透镜外的部分 A 。

第二部分是遮挡器特性，见图 13 中②，它平分透镜并把阻抗平面分为左半部分 L 和右半部分 R 。

两种特性的结合，把阻抗平面分为四个区，根据其测量阻抗在四个区内的停留时间作为是否发生失步的判据。

第三部分特性是电抗线，见图 13 中③，它把动作区一分为二，电抗线以下为 I 段 (D)，电抗线以上为 II 段 (U)。

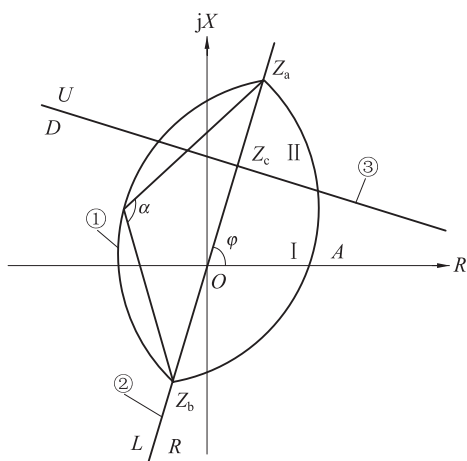


图 13 三元件式失步保护特性

以下阻抗全部折算到发电机额定容量下，保护整定计算的主要内容为：

a) 遮挡器特性整定。决定遮挡器特性的参数是 Z_a 、 Z_b 、 φ 。如果失步保护装在机端，则：

$$Z_a = X_{\text{con}} = X_s + X_T \quad (58)$$

$$Z_b = X'_d \quad (59)$$

$$\varphi = 80^\circ \sim 85^\circ \quad (60)$$

式中：

X_s ——最大运行方式下的系统电抗， Ω ；

X_T ——主变压器电抗， Ω ；

φ ——系统阻抗角。

b) α 角的整定及透镜结构的确定如图 14 所示。对于某一给定的 $Z_a + Z_b$ ，透镜内角 α （即两侧电动势摆开角）决定了透镜在复平面上横轴方向的宽度。确定透镜结构的步骤如下：

1) 确定发电机最小负荷阻抗，一般取：

$$R_{L, \min} = 0.9 \times \frac{U_N / n_v}{\sqrt{3} I_{\text{gn}}} \quad (61)$$

2) 确定 Z_r ，一般取：

$$Z_r \leq \frac{1}{1.3} R_{L, \min} \quad (62)$$

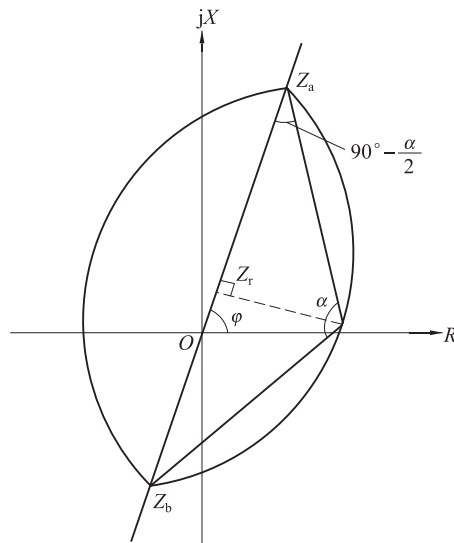


图 14 三元件失步保护特性的整定

3) 确定内角 α ，由 $Z_r = \frac{Z_a + Z_b}{2} \tan\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)$ 得：

$$\alpha = 180^\circ - 2 \arctan \frac{2Z_r}{Z_a + Z_b} \quad (63)$$

α 值一般可取 $90^\circ \sim 120^\circ$ 。

c) 电抗线 Z_c 的整定。一般 Z_c 选定为变压器阻抗 Z_t 的 90%，即 $Z_c = 0.9Z_t$ 。图 14 中过 Z_c 做 $Z_a Z_b$ 的垂线，即为失步保护的电抗线。电抗线是 I 段和 II 段的分界线，失步振荡在 I 段还是在 II 段取决于阻抗轨迹与遮挡器相交的位置，在透镜内且低于电抗线为 I 段，高于电抗线为 II 段。

d) 滑极次数整定。振荡中心在发一变组区外时，滑极次数整定 2 次~15 次，动作于信号。振荡中心在发变组区内时，滑极次数整定 1 次~2 次，动作于跳闸或发信。

e) 跳闸允许电流整定。其判据为 $I_{op} < I_{off}$ ，当 $I_{op} < I_{off}$ 时允许跳闸出口。 I_{off} 按断路器允许遮断电流 I_{brk} 计算，断路器（在系统两侧电势相差达 180° 时）允许遮断电流 I_{brk} 需由断路器制造厂提供，如无提供值，可按 25%~50% 的断路器额定遮断电流 $I_{brk.n}$ 考虑。

跳闸允许电流整定值按下式计算：

$$I_{off} = K_{rel} I_{brk} \quad (64)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 0.85~0.90。

4.7.3 双遮挡器原理失步保护

双遮挡器原理失步保护装在机端，其动作特性如图 15 所示。

由图 15 可以看出：电阻线 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 及电抗线 X_1 将阻抗复平面分成 5 个区。发电机失步后，机端测量阻抗缓慢从 $+R$ 向 $-R$ 方向变化，且依次穿过 0 区~IV 区，判断为加速失步过程；测量阻抗由 $-R$ 向 $+R$ 方向变化，依次穿过各区时，判断为减速失步。测量阻抗依次穿过五个区后记录一次滑极，滑极次数累计达到整定值，便发信或跳闸。

以下阻抗全部折算到发电机额定容量下，其中：

$$X_B = X_s + X_T \quad (65)$$

$$X_A = -(1.8 \sim 2.6) X'_d \quad (66)$$

式中：

X_s ——最大运行方式下的系统电抗， Ω ；

X_T ——主变压器电抗， Ω ；

X'_d ——发电机暂态电抗（取不饱和值）， Ω 。

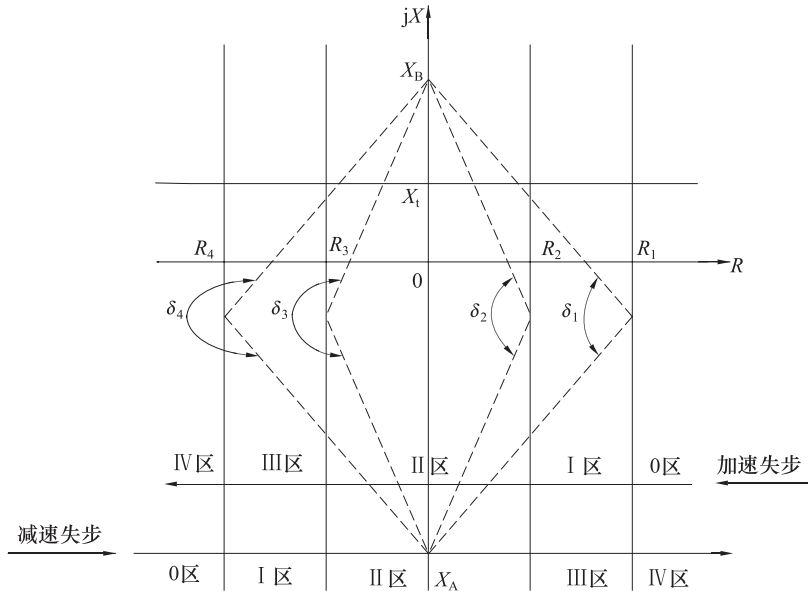


图 15 双遮挡器原理失步保护特性

双遮挡器特性整定。决定遮挡器特性的参数是遮挡器电阻值 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 和 I 区~IV 区测量阻抗停留时间 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 。

- a) 电抗定值 X_t (二次有名值)。电抗 X_t 定值，应使系统振荡时（即振荡中心落在发电厂系统母线之外）保护能可靠不动。因此

$$X_t = X_T \quad (67)$$

- b) 阻抗边界 R_1 (二次有名值)。为给断路器创造良好的断开条件，取 $\delta_4 = 240^\circ$ ， $\delta_1 = 120^\circ$ ，则 R_1 按下式计算：

$$R_1 = \frac{1}{2}(|X_A| + X_B) \cot \frac{\delta_1}{2} \quad (68)$$

- c) 阻抗边界 R_2 。 R_2 按下式计算：

$$R_2 = \frac{1}{2} R_1 \quad (69)$$

- d) 阻抗边界 R_3 (负值)。 R_3 按下式计算：

$$R_3 = -R_2 \quad (70)$$

- e) 阻抗边界 R_4 (负值)。 R_4 按下式计算：

$$R_4 = -R_1 \quad (71)$$

- f) 测量阻抗在各区停留时间 T_1 、 T_2 、 T_3 及 T_4 的整定。 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 应使保护在系统短路故障时不误动，失步运行时保护能可靠动作。一般 T_1 、 T_2 、 T_3 及 T_4 应小于最小振荡周期下测量阻抗在各区内的实际停留时间。

设系统振荡时最小的振荡周期为 T_{us} （具体值由调度给出，一般为0.5s~1.5s），并在系统振荡时，发电机功角 δ 的变化是匀速的，则测量阻抗在I区内的停留时间为 $T_{us} \frac{\delta_2 - \delta_1}{360}$ ，其中 $\delta_2 = 2 \arctan \frac{R_2}{\frac{1}{2}(|X_A| + X_B)}$ 。

T_1 可按式整定：

$$T_1 = 0.5 T_{us} \frac{\delta_2 - \delta_1}{360^\circ} \quad (72)$$

系统振荡时测量阻抗在II区停留时间为 $2T_{us} \frac{180^\circ - \delta_2}{360^\circ}$ 。

T_2 可按式整定：

$$T_2 = 0.5 \times 2T_{us} \frac{180^\circ - \delta_2}{360^\circ} \quad (73)$$

T_3 应小于系统振荡时测量阻抗在III区停留时间，可按式整定：

$$T_3 = T_1 \quad (74)$$

T_4 应小于系统振荡时测量阻抗在IV区停留时间， T_4 可在0s与 T_3 之间选取。

g) 失步启动电流 I_g 。对于需进相运行的水轮机，设置一个启动电流，一般为：

$$I_g = (0.1 \sim 0.3) I_{gn} \quad (75)$$

h) 滑极次数整定。一般整定为1次~2次，动作于发信或跳闸。

4.8 发电机异常运行保护

4.8.1 定子铁芯过励磁保护

发电机或变压器过励磁运行时，铁芯发热，漏磁增加，电流波形畸变，严重损害发电机或变压器安全。对于大容量机组，必须装设过励磁保护，整定值按发电机或变压器过励磁能力较低的要求整定。当发电机与主变压器之间有断路器时，应分别为发电机和变压器配置过励磁保护。

过励磁倍数 N 为：

$$N = \frac{B}{B_n} = \frac{U/U_N}{f/f_N} = \frac{U_*}{f_*} \quad (76)$$

式中：

U 、 f ——运行电压及频率；

U_N 、 f_N ——发电机额定电压及频率；

U_* 、 f_* ——电压和频率的标么值；

B 、 B_n ——磁通量及额定磁通量。

a) 定时限过励磁保护的过励磁倍数 N 设二段定值二段时限。

低定值按躲过系统正常运行的最大过励磁倍数整定。

高定值部分为：

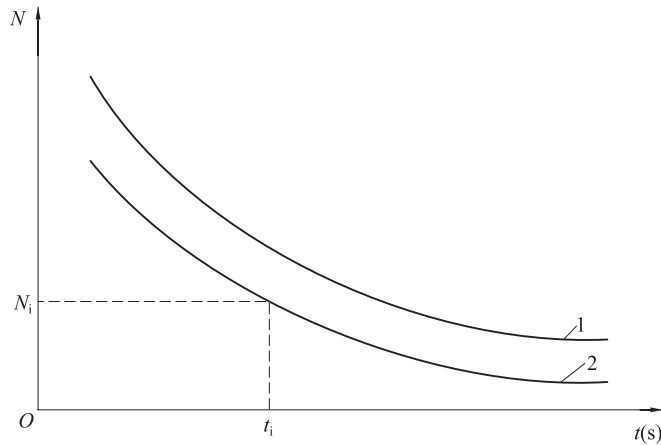
$$N = \frac{B}{B_n} = 1.3 \quad (\text{或以电机制造厂数据为准}) \quad (77)$$

动作时限根据厂家提供的设备过励磁特性决定。

低定值部分带时限动作于信号和降低发电机励磁电流，高定值部分动作于解列灭磁或程序跳闸。

当发电机及变压器间有断路器时，其定值按发电机与变压器过励磁特性不同分别整定。

b) 反时限过励磁保护按发电机、变压器制造厂家提供的反时限过励磁特性曲线（参数）整定。反时限过励磁保护动作整定曲线如图16所示。



1—厂家提供的发电机或变压器允许的过励磁能力曲线；
2—反时限过励磁保护动作整定曲线

图 16 反时限过励磁保护动作整定曲线

过励磁反时限动作曲线 2 一般不易用一个数学表达式来精确表达,而是用分段式内插法来确定 $N(t)$ 的关系,拟合曲线 2。一般在曲线 2 上自由设定 8 个~10 个分点 (N_i, t_i) , $i=1, 2, 3, \dots$ 。原则是曲率大处,分点设的密一些。设分点顺序要求:

$$N_i > N_{i+1}, \quad t_i < t_{i+1} \quad (78)$$

或

$$N_i < N_{i+1}, \quad t_i > t_{i+1} \quad (79)$$

反时限过励磁保护定值整定过程中,宜考虑一定的裕度,可以从动作时间和动作定值上考虑裕度(两者取其一):从动作时间考虑时,可以考虑整定时间为曲线 1 时间的 60%~80%;从动作定值考虑时,可以考虑整定定值为曲线 1 的值除以 1.05,最小定值应与定时限低定值配合。

4.8.2 发电机频率异常保护

300MW 及以上的汽轮机,运行中允许其频率变化的范围为 48.5Hz~50.5Hz。

低于 48.5Hz 或高于 50.5Hz 时,累计允许运行时间和每次允许的持续运行时间应综合考虑发电机组和电力系统的要求,并根据制造厂家提供的技术参数确定。大型汽轮发电机组对频率异常运行的要求可参考附录 G。

保护动作于信号,并有累计时间显示。

当频率异常保护需要动作于发电机解列时,其低频段的动作频率和延时应注意与电力系统的低频减负荷装置进行协调。一般情况下,应通过低频减负荷装置减负荷,使系统频率及时恢复,以保证机组的安全;仅在低频减负荷装置动作后频率仍未恢复,从而危及机组安全时才进行机组的解列。因此,要求在电力系统减负荷过程中频率异常保护不应解列发电机,防止出现频率连锁恶化的情况。

4.8.3 发电机逆功率保护

300MW 及以上发电机逆功率运行时,在 $P-Q$ 平面上,如图 17 所示,设反向有功功率的最小值为 $P_{\min} = OA$ 。逆功率保护的動作特性用一条平行于 Q 轴的直线 1 表示,其動作判据为:

$$P \leq -P_{\text{op}} \quad (80)$$

式中:

P ——发电机有功功率,输出有功功率为正,输入有功功率为负;

P_{op} ——逆功率继电器的動作功率。

a) 動作功率。動作功率 P_{op} 的计算公式为:

$$P_{\text{op}} = K_{\text{rel}}(P_1 + P_2) \quad (81)$$

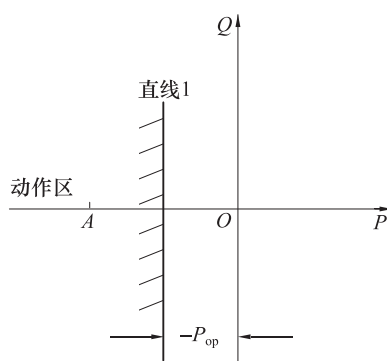


图 17 逆功率继电器动作特性曲线

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 0.5~0.8；

P_1 ——汽轮机在逆功率运行时的最小损耗，一般取额定功率的 1%~4%；

P_2 ——发电机在逆功率运行时的最小损耗，一般取 $P_2 \approx (1-\eta)P_{gn}$ ，其中， η 为发电机效率，一般取 98.6%~98.7%（分别对应 300MW 及 600MW）， P_{gn} 为发电机额定功率。

所以，逆功率保护动作功率定值 P_{op} 一般整定为 $(0.5\% \sim 2\%)P_{gn}$ ，并应根据主汽门关闭时保护装置的实测逆功率值进行校核。

在过负荷、过励磁、失磁等异常运行方式下，用于程序跳闸的逆功率继电器作为闭锁元件，其定值整定原则同上。

b) 动作时限。经主汽门触点时，延时 1.0s~1.5s 动作于解列，不经主汽门触点时，延时 15s 动作于信号；根据汽轮机允许的逆功率运行时间，动作于解列时一般取 1min~3min。

燃气轮机也有装设逆功率保护的需要，目的在于防止未燃尽物质有爆炸和着火的风险，定值可根据机组制造厂提供的技术数据整定。

4.8.4 发电机定子过电压保护

定子过电压保护的整定值，应根据电机制造厂提供的允许过电压能力或定子绕组的绝缘状况决定。

a) 对于 300MW 及以上汽轮发电机， U_{op} 按下式计算：

$$U_{op} = \frac{1.3U_N}{n_v} \quad (82)$$

式中：

U_N ——定子额定电压；

n_v ——电压互感器变比。

动作时限取 0.5s，动作于解列灭磁。

b) 对于水轮发电机， U_{op} 按下式计算：

$$U_{op} = \frac{1.5U_N}{n_v} \quad (83)$$

动作时限取 0.5s，动作于解列灭磁。

c) 对于采用可控硅励磁的水轮发电机， U_{op} 按下式计算：

$$U_{op} = \frac{1.3U_N}{n_v} \quad (84)$$

动作时限取 0.3s，动作于解列灭磁。

4.8.5 启停机保护

启停机保护用于反应发电机低转速运行时的定子接地及相间短路故障，采用对频率变化不敏感的保

护算法。

- a) 启停机定子接地保护，由装于机端或其中性点零序过电压保护构成，不要求滤过三次谐波，其定值一般不超过 $10\%U_{0n}$ （ U_{0n} 为机端单相金属性接地时机端或中性点的零序电压二次值）。
- b) 启停机差动保护，反应相间故障的保护，其定值按在额定频率下，大于满负荷运行时差动回路中的不平衡电流整定，即：

$$I_{op} = K_{rel} I_{unb} \quad (85)$$

式中：

I_{unb} ——额定频率下，满负荷运行时差动回路中电流；

K_{rel} ——可靠系数，取 1.3~1.5。

- c) 低频过流保护，在燃气、抽水蓄能机组变频启动过程中，作为发电电动机和启动母线相间短路故障的保护，其定值应可靠躲过低频工况下的最大负荷电流，可靠系数一般取 1.3~1.5。

启停机保护仅作为发电机低频工况下的辅助保护。工频条件下正常运行时，由断路器的动断触点或低频继电器的输出触点连锁退出；低频元件的整定值选取额定频率的 80%~90%。

保护动作于停机。

4.8.6 误上电保护

发电机盘车或转子静止时突然并入电网，定子电流（正序）在气隙产生旋转磁场会在转子本体中感应工频或者接近工频的电流，其影响与发电机并网运行时定子负序电流相似，会造成转子过热损伤，特别是机组容量越大，相对承受过热的能力越弱。目前 500kV 系统中广泛采用的 3/2 断路器接线也增加了误上电的几率。

发电机误上电保护作为发电机停机状态、盘车状态及并网前机组启动过程中误合断路器时的保护。保护装在机端或主变压器高压侧，瞬时动作于解列灭磁。根据保护厂家原理不同，误上电保护的整定方法包括全阻抗特性整定、偏移阻抗特性整定、低频低压过流特性整定三种。

- a) 全阻抗特性整定。

- 1) 过流元件整定。过流元件动作值 I_{op} 按发电机停机或盘车状态下误合闸时流过发电机的电流来整定，即：

$$I_{op} = K_{rel} \frac{I_{GN}}{(X_{s,max} + X_d'' + X_T)n_a} \quad (86)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 0.5；

$X_{s,max}$ ——最小运行方式下系统联系电抗，以发电机容量为基准的标么值；

X_d'' 、 X_T ——发电机的次暂态电抗（不饱和值）、主变压器电抗，均为以发电机容量为基准的标么值。

过流元件在机组正常并网后即自动退出。

- 2) 全阻抗元件整定。全阻抗元件的动作圆半径 Z_{op} 按发电机正常并网时刻发电机输出最大电流（考虑一定裕度，取 $0.3I_{GN}$ ）时保证低阻抗元件不动作为原则来整定，即：

$$Z_{op} = \frac{K_{rel} U_N n_a}{\sqrt{3} \times 0.3 I_{GN} n_v} \quad (87)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 0.8。

全阻抗元件动作特性如图 18 所示。

图 18 中，电阻动作值 R_{op} 按防止发电机正常并网时系统同时发生冲击导致全阻抗元件误动来整定，即：

$$R_{op} = 0.85 Z_{op} = 0.85 \times \frac{K_{rel} U_N n_a}{\sqrt{3} \times 0.3 I_{GN} n_v} \quad (88)$$

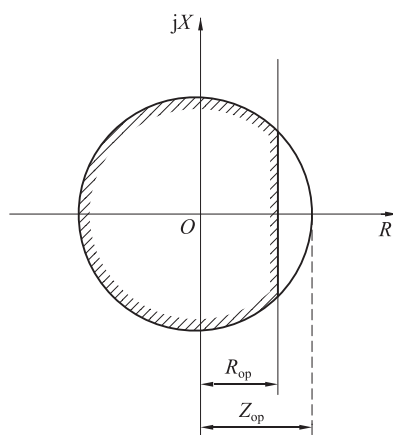


图 18 全阻抗特性动作特性

保护也可装设主变压器高压侧，整定原则不变，全阻抗元件的动作圆半径 Z_{op} 可按 0.3 倍的变压器额定电流来整定。全阻抗元件在机组正常并网后即自动退出。

3) 出口延时 t 的整定。一般可整定为 0.1s~0.2s。

b) 偏移阻抗特性整定。

1) 动作电流 I_g 的整定。以误上电时应可靠启动为条件来整定，定值应为误上电最小电流的 50%。或以误上电电流长期存在不损坏发电机为条件来整定，一般发电机负序电流长期允许值为 (5%~10%) I_{gn} ，因此误上电电流可取 (10%~20%) I_{gn} 。

2) 正向阻抗 Z_B 和反向阻抗 Z_F 的整定。在阻抗复平面上，阻抗判据动作特性为一偏移阻抗圆，如图 19 所示。

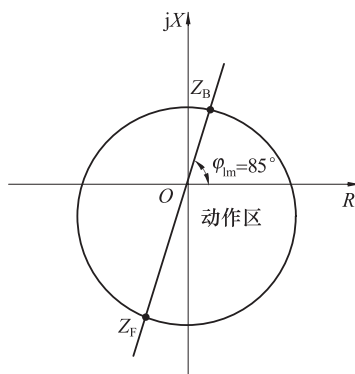


图 19 非同期合闸阻抗元件的动作特性

若阻抗判据引入主变压器高压侧电流电压，为确保误上电后的不稳定振荡过程中阻抗判据能可靠动作，反向整定阻抗和正向整定阻抗可近似按下式整定：

$$\begin{cases} Z_F = K_{rel}(X_T + X'_d) \\ Z_B = (5\% \sim 15\%)Z_F \end{cases} \quad (89)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 1.2~1.3；

X_T ——折算到发电机容量下的主变压器电抗， Ω ；

X'_d ——发电机暂态电抗， Ω 。

若阻抗判据中引入的是机端电压和电流，则：

$$\begin{cases} Z_F = K_{rel}X'_d \\ Z_B = (5\% \sim 15\%)Z_F \end{cases} \quad (90)$$

式中:

K_{rel} ——可靠系数, 取 1.2~1.3;

X'_d ——折算到主变压器容量下的发电机暂态电抗, Ω 。

3) 出口延时 t 的整定。应按躲过可拉入同步的非同期合闸来整定, 一般取 1s。

c) 低频低压过流原理的误上电保护。

1) 动作电流 I_g 的整定。以误上电时应可靠启动为条件来整定, 定值应为误上电最小电流的 50%, 一般可整定为 $(0.3 \sim 0.8)I_{\text{gn}}$ 。

2) 低频元件的整定。低频元件的整定值一般选取额定频率的 90%~96%。

3) 低压元件的整定。一般可整定为 $(0.2 \sim 0.8)U_N/n_v$ 。

4) 出口延时 t 的整定。一般可整定为 0.1s~0.2s。

4.8.7 断路器闪络保护

发一变组接入 220kV 及以上系统时应配置高压侧断路器断口闪络保护。断口闪络保护动作的条件是断路器处于断开位置但有负序电流出现。

负序电流 $I_{2,\text{op}}$ 的整定应躲过正常运行时高压侧最大不平衡电流, 一般可取:

$$I_{2,\text{op}} = 10\% \frac{I_{\text{Tn}}}{n_a} \quad (91)$$

式中:

I_{Tn} ——变压器高压侧额定电流。

断口闪络保护延时需躲过断路器合闸三相不一致时间, 一般整定为 0.1s~0.2s。当机端有断路器时, 动作于机端断路器跳闸; 当机端没有断路器时, 动作于灭磁同时启动断路器失灵保护。

4.8.8 机端断路器 (GCB) 失灵保护

300MW 及以上并且机端有断路器的机组, 应装设机端断路器失灵保护。当发电机保护动作于机端断路器跳闸但断路器失灵时, 跳开主变压器高压侧断路器并启动厂用电切换。机端断路器失灵保护由发电机保护出口触点和能快速返回的相电流、负序电流判别元件组成。

a) 相电流元件 I_{op} 应可靠躲过发电机额定电流, 即:

$$I_{\text{op}} = \frac{K_{\text{rel}} I_{\text{GN}}}{K_r n_a} \quad (92)$$

式中:

K_{rel} ——可靠系数, 取 1.1~1.3;

K_r ——返回系数, 取 0.9~0.95。

b) 负序电流 $I_{2,\text{op}}$ 应躲过发电机正常运行时最大不平衡电流, 一般可取:

$$I_{2,\text{op}} = (0.1 \sim 0.2) \frac{I_{\text{GN}}}{n_a} \quad (93)$$

c) 动作延时躲开断路器跳闸时间, 取 0.3s~0.5s。

5 变压器保护的整定计算

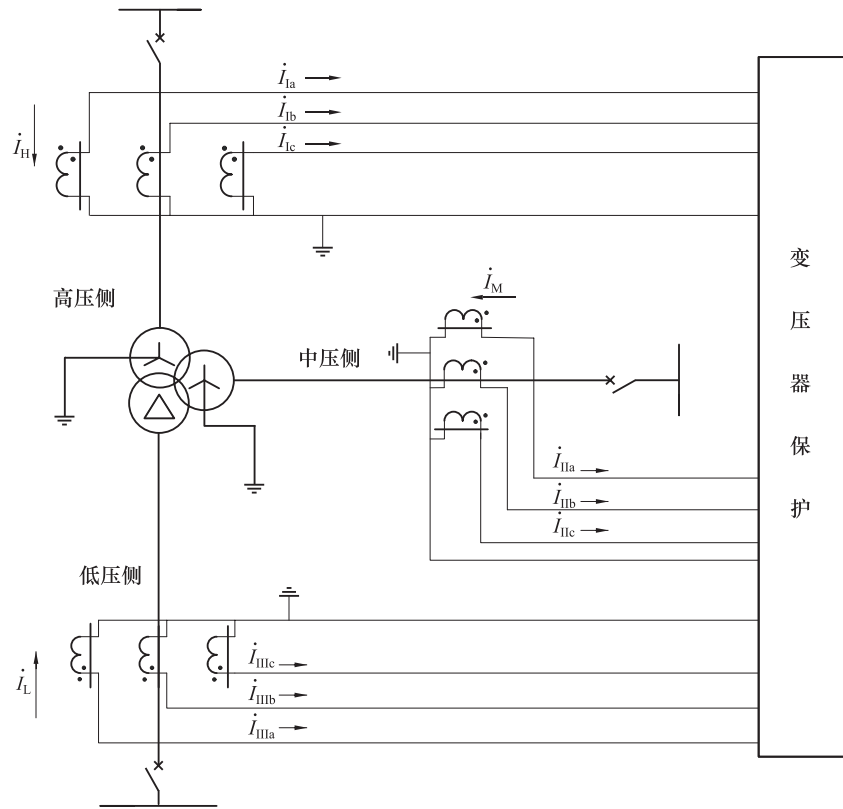
5.1 变压器纵差保护

5.1.1 纵差保护的设置目的

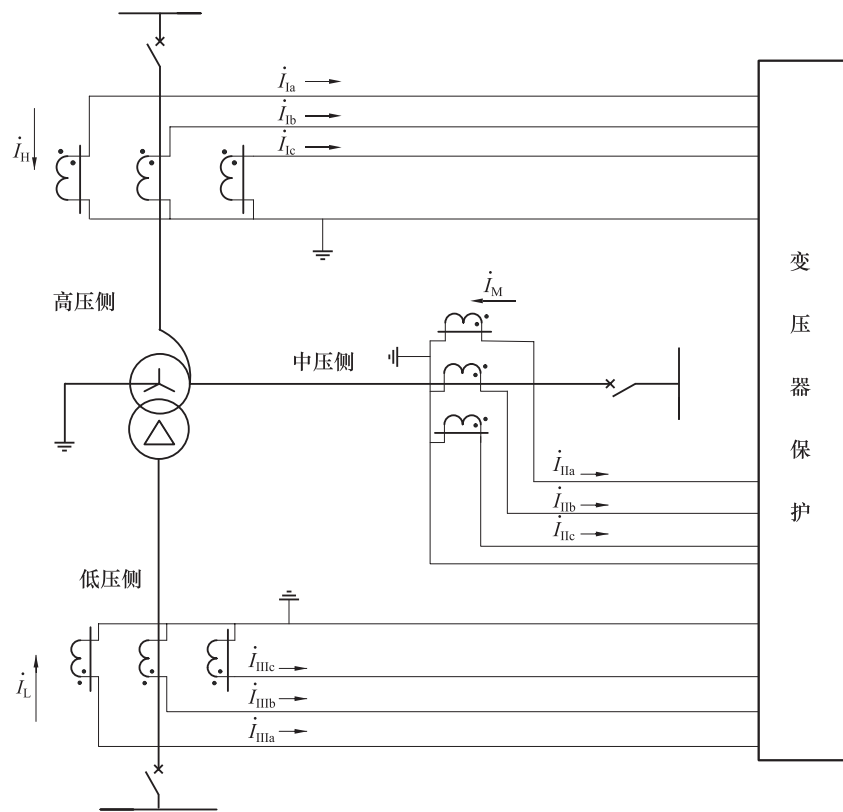
纵差保护是变压器内部故障的主保护, 主要反映变压器绕组内部、套管和引出线的相间和接地短路故障, 以及绕组的匝间短路故障。

5.1.2 220kV~750kV 变压器纵差保护的技术要求

对 220kV~750kV 变压器纵差保护的技术要求应遵循 GB/T 14285—2006 的要求。变压器纵差保护原理接线示意图如图 20 所示。



a) 220kV及以下三绕组变压器纵差保护



b) 330kV及以上自耦变压器纵差保护

图 20 变压器纵差保护原理接线示意图

5.1.3 纵差保护整定计算内容

- 与纵差保护有关的变压器参数，包括变压器的额定容量、各侧额定电压、电流互感器变比等。
- 短路电流计算。
- 纵差保护动作特性参数的整定。
- 纵差保护灵敏系数的校验。
- 其他定值的推荐，如谐波制动比（对谐波制动原理的差动保护）、波形对称度（对波形对称原理的差动保护）和闭锁角（对间断角原理的差动保护）的推荐。

5.1.4 纵差保护的整定计算

5.1.4.1 变压器参数计算

变压器保护装置应能通过额定容量、各侧额定电压、电流互感器变比等参数自动计算出各侧二次额定电流、差动保护计算用平衡系数等相关参数。

与纵差保护有关的变压器参数计算，可按表 2 所列的公式和步骤进行。在表 2 中作了如下设定：双绕组变压器；额定容量为 S_N ；绕组接法为 YNd11。

表 2 变压器参数计算表（以高、低压侧为示例）

序号	名称	高压侧	低压侧
1	一次额定电压	U_{Nh}	U_{Nl}
2	一次额定电流	$\frac{S_N}{\sqrt{3}U_{Nh}}$	$\frac{S_N}{\sqrt{3}U_{Nl}}$
3	各侧绕组接线方式	Y	D
4	电流互感器一次值	I_{h1n}	I_{l1n}
5	电流互感器二次值	I_{h2n}	I_{l2n}
6	二次额定电流	$I_{ch} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{Nh}} \frac{I_{h1n}}{I_{h2n}}$	$I_{cl} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{Nl}} \frac{I_{l1n}}{I_{l2n}}$
7	平衡系数	$k_h = 1$	$k_l = \frac{k_h I_{ch}}{I_{cl}}$

注 1：对于通过软件实现电流相位和幅值补偿的微机型保护，各侧电流互感器二次均按 Y 接线。
 注 2：比例差动保护的具体整定方式应参考装置的说明书。
 注 3：基准侧的选取及平衡系数的计算方法与装置的具体实现有关，以上仅是以高压侧为基准侧作为示例进行平衡系数计算的，其中平衡系数和二次额定电流满足 $k_h I_{ch} = k_l I_{cl}$ 。

5.1.4.2 短路电流计算

整定变压器纵差保护，一般需做两种运行方式下的短路电流计算：一种是在系统最大运行方式下变压器外部短路时，计算通过变压器的最大穿越性短路电流（通常是三相短路电流），其目的是为计算差动保护的最大不平衡电流和最大制动电流；另一种是在系统最小运行方式下，计算纵差保护区内最小短路电流（两相或单相短路电流），其目的是为计算差动保护的最小灵敏系数。

计算短路电流所采用的系统最大和最小运行方式，用于整定定值方面的，应由调度部门提供；用于保护和互感器选型的，应由设计单位提供。

5.1.4.3 纵差保护动作特性参数的计算

纵差保护动作特性中的拐点、斜率等定值宜由生产厂家在装置内固化，在校验纵差保护灵敏度时需按照纵差保护实际动作特性进行计算，以下以单折线特性为示例进行说明。

带比率制动特性的纵差保护的動作特性，通常用直角坐标系上的折线表示。该坐标系纵轴为保护的

动作电流 I_{op} ；横轴为制动电流 I_{res} ，如图 21 所示。折线 ACD 的左上方为保护的动区，折线右下方为保护的制动区。

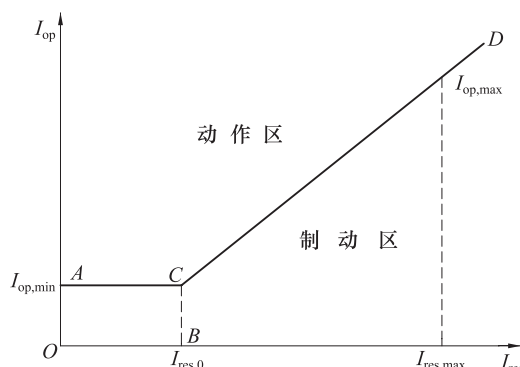


图 21 纵差保护动作特性曲线图

这一动作特性曲线由纵坐标 OA 、拐点的横坐标 OB 、折线 CD 的斜率 S 3 个参数所确定。 OA 表示无制动状态下的动作电流，即保护的最小动作电流 $I_{op,min}$ 。 OB 表示起始制动电流 $I_{res,0}$ 。

目前工程实用上有两种整定计算方法来确定动作特性的 3 个参数，现分述如下。

- a) 第一种整定法。折线上任一点动作电流 I_{op} 与制动电流 I_{res} 之比 $I_{op}/I_{res} = K_{res}$ 称为纵差保护的制动系数。由图 21 中各参数之间的关系可导出，制动系数 K_{res} 与折线斜率 S 之间的关系如下式：

$$S = \frac{K_{res} - I_{op,min}/I_{res}}{1 - I_{res,0}/I_{res}} \quad (94)$$

$$K_{res} = S(1 - I_{res,0}/I_{res}) + I_{op,min}/I_{res} \quad (95)$$

由图 21 可知，对于动作特性具有一个折点的纵差保护，折线的斜率 S 是一个常数，而制动系数 K_{res} 则是随制动电流 I_{res} 而变化的。在实际应用中，保护装置一般通过直接整定折线的斜率来满足制动系数的要求。

- 1) 纵差保护最小动作电流的整定。最小动作电流应大于变压器正常运行时的差动不平衡电流，即：

$$I_{op,min} = K_{rel}(K_{er} + \Delta U + \Delta m)I_e \quad (96)$$

式中：

I_e ——变压器基准侧二次额定电流（经平衡系数调整后的变压器二次额定电流）；

K_{rel} ——可靠系数，取 1.3~1.5；

K_{er} ——电流互感器的比误差，10P 型取 0.03×2，5P 型和 TP 型取 0.01×2；

ΔU ——变压器调压引起的误差，取调压范围中偏离额定值的最大值（百分值）；

Δm ——由于电流互感器变比未完全匹配产生的误差，初设时取 0.05。

注：当差动保护以标幺值形式整定时， I_e 仅为单位，不需代入计算其具体数值；当差动保护以有名值方式整定时， I_e 为基准侧额定电流，需要代入计算其具体数值。例如，经过计算 $K_{rel}(K_{er} + \Delta U + \Delta m)$ 为 0.5，当差动保护以标幺值形式整定时，整定值取 0.5；当差动保护以有名值方式整定时（设保护装置有名值以高压侧为准，数值为 0.8A），则整定值取 $0.5 \times 0.8 = 0.4A$ 。

在工程实用整定计算中可选取 $I_{op,min} = (0.3 \sim 0.6)I_e$ 。

根据实际情况（现场实测不平衡电流）确有必要时，最小动作定值也可大于 $0.6I_e$ 。

- 2) 起始制动电流 $I_{res,0}$ 的整定。起始制动电流的整定需结合纵差保护动作特性，可取 $I_{res,0} = (0.4 \sim 1.0)I_e$ 。

- 3) 动作特性折线斜率 S 的整定。纵差保护的動作电流应大于外部短路时流过差动回路的不平衡电流。变压器种类不同, 不平衡电流计算也有较大差别, 下面给出普通双绕组和三绕组变压器差动保护回路最大不平衡电流 $I_{\text{unb, max}}$ 计算公式。

双绕组变压器:

$$I_{\text{unb, max}} = (K_{\text{ap}} K_{\text{cc}} K_{\text{er}} + \Delta U + \Delta m) I_{\text{k, max}} / n_{\text{a}} \quad (97)$$

式中:

K_{er} 、 ΔU 、 Δm 、 n_{a} 的含义同式 (96), 但 $K_{\text{er}}=0.1$;

K_{cc} —— 电流互感器的同型系数, $K_{\text{cc}}=1.0$;

$I_{\text{k, max}}$ —— 外部短路时, 最大穿越短路电流周期分量;

K_{ap} —— 非周期分量系数, 两侧同为 TP 级电流互感器取 1.0, 两侧同为 P 级电流互感器取 1.5~2.0。

三绕组变压器 (以低压侧外部短路为例说明):

$$I_{\text{unb, max}} = K_{\text{ap}} K_{\text{cc}} K_{\text{er}} I_{\text{k, max}} / n_{\text{a}} + \Delta U_{\text{h}} I_{\text{k, h, max}} / n_{\text{a, h}} + \Delta U_{\text{m}} I_{\text{k, m, max}} / n_{\text{a, m}} + \Delta m_{\text{I}} I_{\text{k, I, max}} / n_{\text{a, h}} + \Delta m_{\text{II}} I_{\text{k, II, max}} / n_{\text{a, m}} \quad (98)$$

式中:

K_{ap} 、 K_{cc} 、 K_{er} 含义同式 (97);

ΔU_{h} 、 ΔU_{m} —— 变压器高、中压侧调压引起的相对误差 (对 U_{n} 而言) 取调压范围中偏离额定值的最大值;

$I_{\text{k, max}}$ —— 低压侧外部短路时, 流过靠近故障侧电流互感器的最大短路电流周期分量;

$I_{\text{k, h, max}}$ 、 $I_{\text{k, m, max}}$ —— 在所计算的外部短路时, 流过高、中压侧电流互感器电流的周期分量;

$I_{\text{k, I, max}}$ 、 $I_{\text{k, II, max}}$ —— 在所计算的外部短路时, 相应地流过非靠近故障点两侧电流互感器电流的周期分量;

n_{a} 、 $n_{\text{a, h}}$ 、 $n_{\text{a, m}}$ —— 各侧电流互感器的变比;

Δm_{I} 、 Δm_{II} —— 由于电流互感器的变比未完全匹配而产生的误差。

差动保护的動作电流:

$$I_{\text{op, max}} = K_{\text{rel}} I_{\text{unb, max}} \quad (99)$$

最大制动系数:

$$K_{\text{res, max}} = \frac{I_{\text{op, max}}}{I_{\text{res, max}}} \quad (100)$$

式 (100) 中最大制动电流 $I_{\text{res, max}}$ 的选取, 在实际工程计算时应根据差动保护制动原理的不同以及制动电流的选择方式不同而会有较大差别。制动电流的选择原则应使外部故障时制动电流较大, 而内部故障时制动电流较小。如果需要接入的电流支路数超过微机保护允许的最大支路数, 则可将多个无源侧电流合并后接入某个支路, 但不应将多个有源侧电流合并接入某个支路。

根据 $I_{\text{op, min}}$ 、 $I_{\text{res, 0}}$ 、 $I_{\text{res, max}}$ 、 $K_{\text{res, max}}$ 按式 (94) 可计算出差动保护动作特性曲线中折线的斜率 S , 当 $I_{\text{res, max}} = I_{\text{k, max}}$ 时有:

$$S = \frac{I_{\text{op, max}} - I_{\text{op, min}}}{\frac{I_{\text{k, max}}}{n_{\text{a}}} - I_{\text{res, 0}}} \quad (101)$$

- b) 第二种整定法。此法不考虑负荷状态和外部短路时电流互感器误差 K_{er} 的不同, 使不平衡电流完全与穿越性电流成正比变化, 如图 22 所示, 比率制动特性 CD 通过原点, 从而制动系数 K_{res} 为常数; 当 K_{res} 和 $I_{\text{res, 0}}$ 确定后, $I_{\text{op, min}}$ 随之确定, 不必另作计算。此法计算简单, 安全可靠, 但偏于保守。

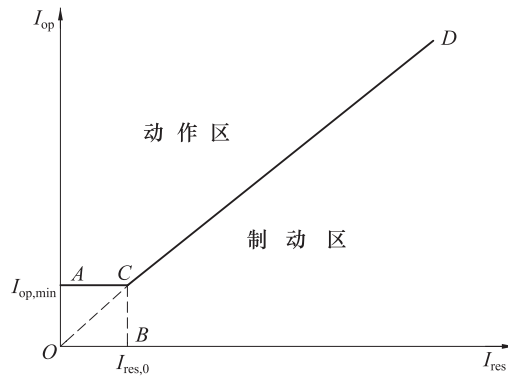


图 22 第二种整定法纵差保护动作特性曲线图

1) 按下式计算制动系数 K_{res} ，即：

$$K_{res} = K_{rel}(K_{ap}K_{cc}K_{er} + \Delta U + \Delta m) = S \quad (102)$$

式中：

K_{rel} 、 K_{ap} 、 K_{cc} 、 K_{er} 、 ΔU 、 Δm 的含义及取值同式 (97) 但 $K_{er}=0.1$ 。

2) 画一条通过坐标原点斜率为 K_{res} 的直线 OD (如图 22 所示)，在横坐标上取 $OB = (0.4 \sim 1.0)I_e$ ，此即起始制动电流 $I_{res,0}$ 。

3) 在直线 OD 上对应 $I_{res,0}$ 的 C 点纵坐标值 OA 为最小动作电流 $I_{op,min}$ 。折线 ACD 即为差动保护的動作特性曲线。

上述两种整定方法中，如果 $I_{op,min}$ 和折线 CD 斜率 S 的整定不是连续调节的，则 $I_{op,min}$ 和 S 的整定值应取继电器能整定的，并略大于计算值的数值。

5.1.4.4 灵敏系数的计算

纵差保护的灵敏系数应按最小运行方式下差动保护区内变压器引出线上两相金属性短路计算。图 23 为纵差保护灵敏系数计算说明图。根据计算最小短路电流 $I_{k,min}$ 和相应的制动电流 I_{res} ，在动作特性曲线上查得对应的动作电流 I'_{op} ，则灵敏系数为：

$$K_{sen} = \frac{I_{k,min}}{I'_{op}} \quad (103)$$

要求 $K_{sen} \geq 1.5$ 。

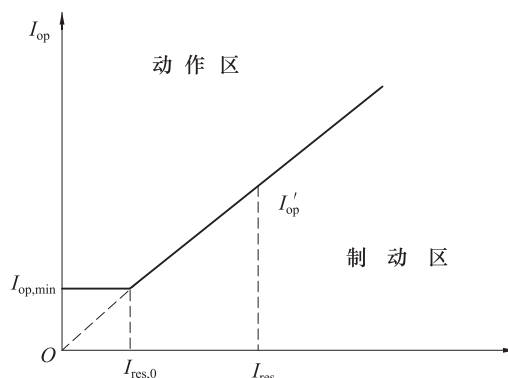


图 23 纵差保护灵敏系数计算说明图

5.1.4.5 纵差保护的其他辅助整定计算及经验数据的推荐

a) 差动速断保护的整定。对 220kV~500kV 变压器，差动速断保护是纵差保护的一个辅助保护。当内部故障电流很大时，防止由于电流互感器饱和和判据可能引起纵差保护延迟动作。差动速断保护

的整定值应按躲过变压器可能产生的最大励磁涌流或外部短路最大不平衡电流整定，一般取：

$$I_{op} = KI_e \quad (104)$$

式中：

I_{op} —— 差动速断保护的动作电流；

I_e —— 变压器的基准侧二次额定电流；

K —— 倍数，视变压器容量和系统电抗大小， K 推荐值如下：

6300kVA 及以下	7~12；
6300kVA~31 500kVA	4.5~7.0；
40 000kVA~120 000kVA	3.0~6.0；
120 000kVA 及以上	2.0~5.0；

容量越大，系统电抗越大， K 取值越小。

按正常运行方式保护安装处电源侧两相短路计算灵敏系数， $K_{sen} \geq 1.2$ 。

注：差动保护以标幺值形式整定时， I_e 仅为单位，不需计算其值；差动保护以有名值方式整定时， I_e 为基准侧二次额定电流，需要计算其具体数值。

- b) 二次谐波制动系数的整定。利用二次谐波制动来防止励磁涌流误动的纵差保护中，整定值指差动电流中的二次谐波分量与基波分量的比值，通常称这一比值为二次谐波制动系数。根据经验，二次谐波制动系数可整定为 15%~20%，一般推荐整定为 15%。
- c) 涌流间断角的推荐值。按鉴别涌流间断角原理构成的变压器差动保护，根据运行经验，闭锁角可取为 $60^\circ \sim 70^\circ$ 。有时还采用涌流导数的最小间断角 θ_d 和最大波宽 θ_w ，其闭锁条件为：

$$\theta_d \geq 65^\circ ; \theta_w \leq 140^\circ$$

5.2 变压器分侧差动保护

5.2.1 分侧差动保护的设置目的

分侧差动保护是将自耦变压器的高、中、公共绕组侧作为被保护对象，按相实现差动保护，并无须考虑励磁涌流、过励磁、调压等影响。分侧差动保护宜通过比率制动方式构成，其动作特性曲线为折线型。

5.2.2 最小动作电流 $I_{op,min}$ 的计算

整定原则为：躲过分侧差动回路中正常运行情况下最大的不平衡电流，即：

$$I_{op,min} = K_{rel} I_{unb,0} \quad (105)$$

一般可以直接根据电流互感器的二次额定值来计算最大不平衡电流，即：

$$I_{op,min} = K_{rel} \times 2 \times 0.03 I_n \quad (106)$$

也可以根据变压器对应侧绕组额定电流（差动参与侧的额定电流最大侧）来计算最大不平衡电流，即：

$$I_{op,min} = K_{rel} (K_{ap} K_{cc} K_{er} + \Delta m) I_e \quad (107)$$

式中：

I_e —— 变压器基准侧二次额定电流；

K_{rel} —— 可靠系数，取 1.3~1.5；

K_{ap} —— 非周期分量系数，取 1.5~2.0；

K_{cc} —— 互感器同型系数，同型号取 0.5，不同型号取 1；

K_{er} —— 电流互感器的比误差，取 0.1；

Δm —— 由于电流互感器变比未完全匹配产生的误差，取 0.05；

I_n —— 电流互感器的二次额定电流。

工程中一般取 $I_{op,min} = (0.2 \sim 0.5) I_n$ ，根据实际情况（现场实测不平衡电流）确有必要时，最小动作定值也可大于 $0.5 I_n$ 。

5.2.3 起始制动电流 $I_{res,0}$ 的整定

整定原则为：

$$I_{res,0} = (0.5 \sim 1.0)I_n \quad (108)$$

5.2.4 动作特性折线斜率 S 的整定

首先计算最大制动系数 $K_{res,max}$ ，即：

$$K_{res,max} = K_{rel} K_{ap} K_{cc} K_{er} \quad (109)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 1.5；

K_{ap} ——非周期分量系数，TP 级电流互感器取 1.0，P 级电流互感器取 1.5~2.0；

K_{cc} ——同型系数，取 0.5；

K_{er} ——电流互感器比误差，取 0.1。

按式 (94) 或式 (101) 计算 S 值，工程中推荐使用 $S=0.3 \sim 0.5$ 。

5.2.5 灵敏系数计算

按最小运行方式下变压器绕组引出端两相金属性短路，灵敏系数 $K_{sen} \geq 2$ 校验，即：

$$K_{sen} = \frac{I_{k,min}}{I'_{op} n_a} \quad (110)$$

式中：

$I_{k,min}$ ——最小运行方式下，绕组引出端两相金属性短路的短路电流值；

I'_{op} ——根据 $I_{k,min}$ 在动作特性曲线上查得的动作电流。

5.3 变压器零序差动保护

5.3.1 零序保护的设置目的

220kV~500kV 变压器，单相接地短路是主要故障形式之一，特别是分相变压器，变压器油箱内部的相间短路不会发生。变压器零序差动保护在反映单相接地短路时有较高的灵敏度。

5.3.2 零差保护的接线方式

零序差动保护主要有以下 3 种接线方式，分别如图 24~图 26 所示。

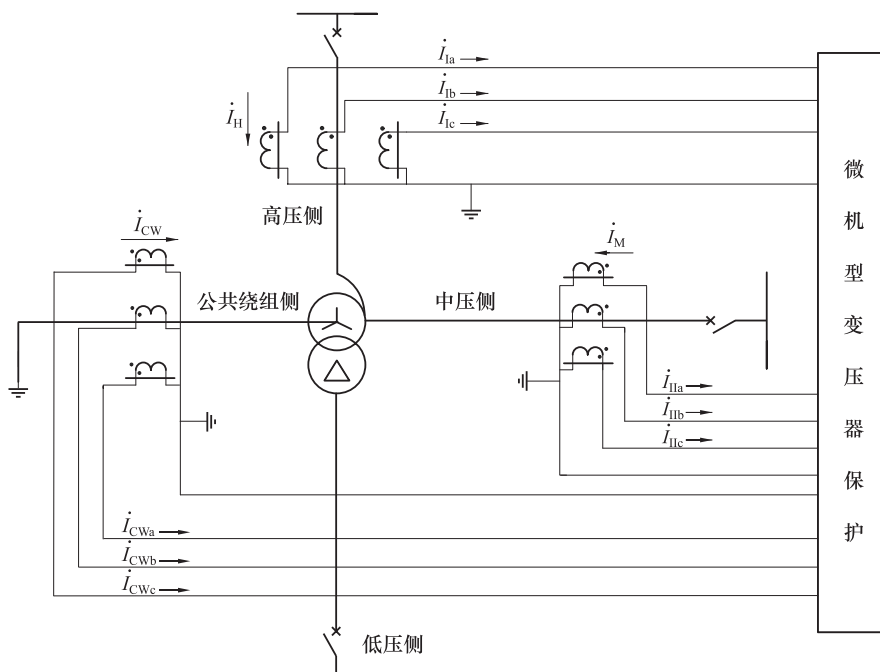


图 24 自耦变压器零序差动（分侧差）保护接线

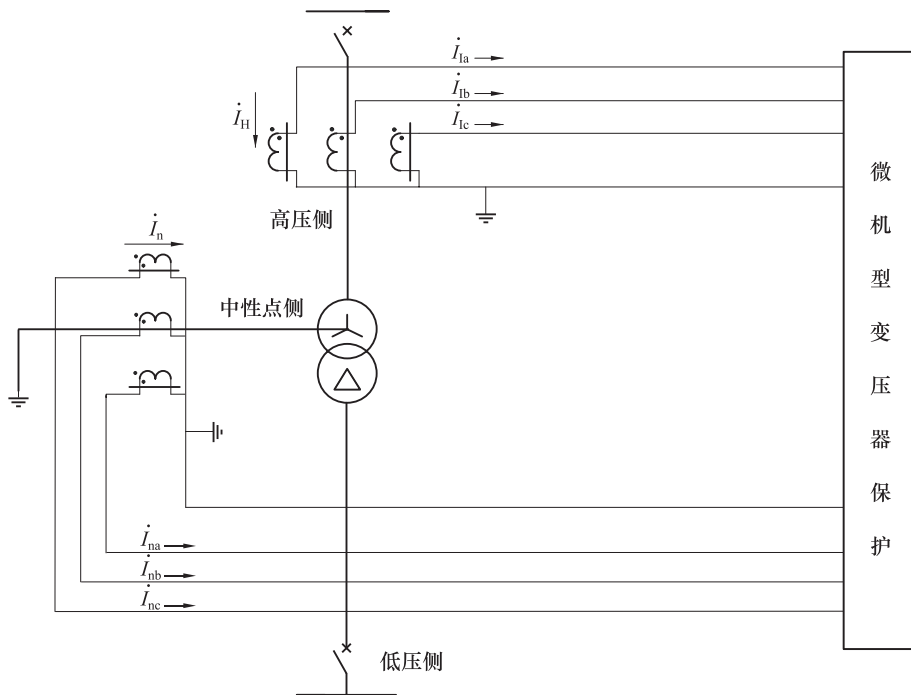


图 25 双绕组变压器零序差动保护接线 1

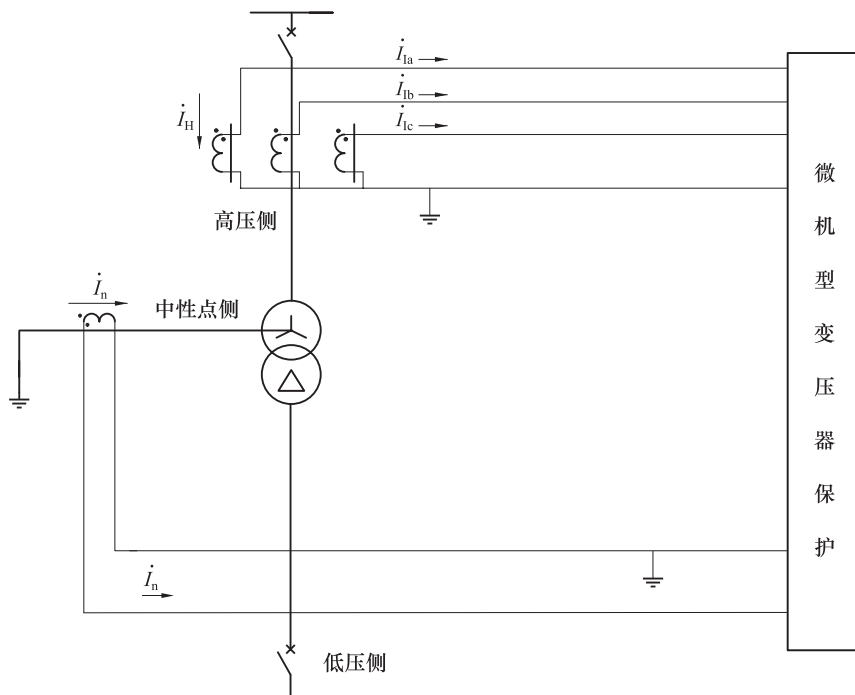


图 26 双绕组变压器零序差动保护接线 2

5.3.3 零序保护整定计算

a) 最小动作电流的整定。应躲过零序差动回路中正常运行情况下最大的不平衡电流，即：

$$I_{op, \min} = K_{rel} I_{unb, 0} \quad (111)$$

一般可以直接根据电流互感器的二次额定值来计算最大不平衡电流，可取

$$I_{op, min} = K_{rel} \times 2 \times 0.1 I_n \quad (112)$$

也可以根据变压器对应侧绕组额定电流（差动参与侧的额定电流最大侧）来计算最大不平衡电流，计算公式如下：

$$I_{op, min} = K_{rel} (K_{ap} K_{cc} K_{er} + \Delta m) I_e \quad (113)$$

式中：

- I_e ——变压器基准侧二次额定电流；
- K_{rel} ——可靠系数，取 1.3~1.5；
- K_{ap} ——非周期分量系数，取 1.5~2.0；
- K_{cc} ——互感器同型系数，同型号取 0.5，不同型号取 1；
- K_{er} ——电流互感器的比误差，取 0.1；
- Δm ——由于电流互感器变比未完全匹配产生的误差，取 0.05；
- I_n ——电流互感器的二次额定电流。

在工程实用整定计算中可选取 $I_{op, min} = (0.3 \sim 0.5) I_n$ 。根据实际情况（现场实测不平衡电流）确有必要时，最小动作定值也可大于 $0.5 I_n$ 。

- b) 制动系数定值。制动系数定值在工程实用整定计算中可取 0.4~0.5。
- c) 灵敏系数校验。按零序差动保护区内发生金属性接地短路校验灵敏系数，要求不小于 1.2。500kV 系统变压器中性点直接接地或经小电抗接地。
- d) 零差保护中性点电流互感器。零差保护中性点侧电流宜采用三相电流互感器；如果采用外接中性点电流互感器，则中性点电流互感器应具备良好的暂态特性而适合零差保护使用。

5.4 变压器瓦斯保护

瓦斯保护是反映变压器油箱内各种故障的主保护。当油箱内故障产生轻微瓦斯或油面下降时，瓦斯保护应瞬时动作于信号；当产生大量瓦斯时，应瞬时动作于断开变压器各侧断路器。

瓦斯保护动作于信号的轻瓦斯部分，通常按产生气体的容积整定。

瓦斯保护动作于跳闸的重瓦斯部分，通常按通过气体继电器的油流流速整定。流速的整定与变压器的容量、接气体继电器的导管直径、变压器冷却方式、气体继电器的型式等有关。

5.5 变压器相间短路后备保护

5.5.1 复合电压启动的过电流保护

复合电压启动的过电流保护宜用于升压变压器、系统联络变压器和过电流保护不能满足灵敏度要求的降压变压器。

- a) 电流继电器的整定计算。电流继电器的动作电流应按躲过变压器的额定电流整定，即：

$$I_{op} = \frac{K_{rel}}{K_r} I_e \quad (114)$$

式中：

- K_{rel} ——可靠系数，取 1.2~1.3；
- K_r ——返回系数，取 0.85~0.95；
- I_e ——变压器的二次额定电流。

- b) 接在相间电压上的低电压继电器动作电压整定计算。该低电压继电器应按躲过电动机自启动条件计算，即：

$$U_{op} = (0.5 \sim 0.6) U_n \quad (115)$$

对发电厂中的升压变压器，当电压互感器取自发电机侧时，还应考虑躲过发电机失磁运行时出现的低电压，取：

$$U_{op} = (0.6 \sim 0.7) U_n \quad (116)$$

- c) 负序电压继电器的动作电压整定计算。负序电压继电器应按躲过正常运行时出现的不平衡电压整定，不平衡电压值可通过实测确定。无实测值时，如果装置的负序电压定值为相电压：

$$U_{op,2} = (0.06 \sim 0.08) \frac{U_n}{\sqrt{3}} \quad (117)$$

如果装置的负序电压定值为相间电压时：

$$U_{op,2} = (0.06 \sim 0.08) U_n \quad (118)$$

式中：

U_n ——电压互感器二次额定相间电压。

- d) 灵敏系数校验。电流继电器的灵敏系数校验为：

$$K_{sen} = \frac{I_{k,min}^{(2)}}{I_{op} n_a} \quad (119)$$

式中：

$I_{k,min}^{(2)}$ ——后备保护区末端两相金属短路时流过保护的最小短路电流。

要求 $K_{sen} \geq 1.3$ (近后备) 或 1.2 (远后备)。

相间低电压灵敏系数校验：

$$K_{sen} = \frac{U_{op}}{U_{r,max} / n_v} \quad (120)$$

式中：

$U_{r,max}$ ——计算运行方式下，灵敏系数校验点发生金属性相间短路时，保护安装处的最高电压。要求 $K_{sen} \geq 1.3$ (近后备) 或 1.2 (远后备)。

负序电压继电器的灵敏系数：

$$K_{sen} = \frac{U_{k,2,min}}{U_{op,2} n_v} \quad (121)$$

式中：

$U_{k,2,min}$ ——后备保护区末端两相金属性短路时，保护安装处的最小负序电压值。

要求 $K_{sen} \geq 2.0$ (近后备) 或 1.5 (远后备)。

5.5.2 相间故障后备保护方向元件的整定

- a) 三侧有电源的三绕组升压变压器，相间故障后备保护为了满足选择性要求，在高压侧或中压侧可设置过流方向元件，其方向通常指向本侧母线。
- b) 高压及中压侧有电源或三侧均有电源的三绕组降压变压器和联络变压器，相间故障后备保护为了满足选择性要求，在高压或中压侧可设置过流方向元件，其方向通常指向变压器，也可指向本侧母线。

5.5.3 相间故障后备保护动作时间的整定

变压器宜各侧均配置相间故障后备保护，变压器后备保护动作切除的原则为尽量缩小被切除的范围，一般为先断开分段、母联断路器，再断开本侧（对侧）断路器，最后断开其他各侧断路器。如果不满足稳定要求或者配合原则时，可以考虑先断开本侧（对侧）断路器，再断开其他各侧断路器，或者仅断开本侧断路器。

当相间后备保护方向指向母线时，可以 $t_1 = t_0 + \Delta t$ (t_0 为与之配合的线路保护动作时间， Δt 为时间级差) 跳开本侧分段、母联断路器，再以 $t_2 = t_1 + \Delta t$ 跳开本侧断路器，最后以 $t_3 = t_2 + \Delta t$ 跳开变压器各侧断路器。

当相间后备保护方向指向变压器时，可以以 $t_1 = t_0 + \Delta t$ (t_0 为与之配合的线路保护动作时间， Δt 为

时间级差)跳开对侧分段、母联断路器,再以 $t_2 = t_1 + \Delta t$ 跳开对侧断路器,最后以 $t_3 = t_2 + \Delta t$ 跳开变压器各侧断路器。

当相间后备保护不带方向时,可以以 $t_1 = t_0 + \Delta t$ (t_0 为与之配合的线路保护动作时间, Δt 为时间级差)跳开本侧断路器,再以 $t_2 = t_1 + \Delta t$ 跳开其他各侧断路器。

实际应用过程中还应考虑各地区的后备保护配合原则,用以决定后备保护的段数和时限数,以及方向的指向。

5.5.4 阻抗保护

5.5.4.1 阻抗保护定义

当电流、电压保护不能满足灵敏度要求或根据网络保护间配合的要求,变压器的相间故障后备保护可采用阻抗保护,阻抗保护一般作为安装侧系统的后备保护。阻抗保护通常用于330kV~750kV大型变压器,作为变压器引线、母线相间故障后备保护。阻抗保护的配置及阻抗继电器特性的不同,其整定计算的方法也不相同。

5.5.4.2 作为本侧系统后备保护时的整定

a) 作为本侧系统后备保护时,阻抗保护的方向指向母线,其动作定值整定原则为:

1) 正方向阻抗继电器的动作值与本侧母线上与之配合的引出线阻抗保护段相配合,其值按下式计算:

$$Z_{op} = K_{rel} K_{inf} Z \quad (122)$$

式中:

K_{inf} ——助增系数,取各种方式下的最小值;

Z ——与之配合的本侧引出线路距离保护段动作阻抗;

K_{rel} ——可靠系数,取0.8。

2) 反向阻抗为正方向阻抗的3%~10%,反向阻抗的整定值不伸出变压器其他侧母线。

b) 作为本侧系统后备保护时,阻抗保护方向指向变压器,通过反方向阻抗作为本侧后备:

1) 正向阻抗不伸出变压器其他侧母线,按躲过本变压器对侧母线故障整定:

$$Z_{Fop,I} = K_{rel} Z_t \quad (123)$$

式中:

K_{rel} ——可靠系数,取0.7;

Z_t ——变压器高、中压侧阻抗和。

2) 反方向阻抗整定原则为:按正向阻抗的3%~5%整定:

$$Z_{Bop,I} = (3\% \sim 5\%) Z_{Fop,I} \quad (124)$$

或按与本侧出线I段(或II段)、纵联保护配合整定:

$$Z_{Bop,I} = K_{rel} K_{inf} Z_L \quad (125)$$

式中:

K_{rel} ——可靠系数,取0.8;

K_{inf} ——助增系数,取各种运行方式下的最小值;

Z_L ——本侧出线阻抗保护I段(或II段)动作阻抗、线路阻抗(与纵联保护配合时)。

5.5.4.3 作为对侧系统后备保护时的整定

作为对侧系统后备保护时,阻抗保护的方向指向变压器,其动作定值整定原则为:

a) 正向阻抗穿过变压器,整定原则如下。

1) 按对侧母线故障有灵敏度整定:

$$Z_{Fop,II} \geq K_{sen} Z_t \quad (126)$$

2) 按与对侧出线阻抗保护 I 段 (或 II 段)、纵联保护配合整定:

$$Z_{\text{Fop, II}} \leq 0.7Z_t + 0.8K_{\text{inf}}Z_{\text{dz}} \quad (127)$$

式中:

Z_t —— 变压器高、中压侧阻抗和;

K_{sen} —— 灵敏系数, $K_{\text{sen}} \geq 1.3$;

K_{inf} —— 助增系数, 取各种运行方式下的最小值;

Z_{dz} —— 对侧出线阻抗保护 I 段 (或 II 段) 动作阻抗、线路阻抗 (与纵联保护配合时)。

b) 反方向阻抗整定原则。

1) 按正向阻抗的 3%~5% 整定:

$$Z_{\text{Bop, II}} = (3\% \sim 5\%)Z_{\text{Fop, II}} \quad (128)$$

2) 按与本侧出线 I 段 (或 II 段)、纵联保护配合整定:

$$Z_{\text{Bop, II}} \leq 0.8K_{\text{inf}}Z_L \quad (129)$$

式中:

K_{inf} 、 Z_L 的含义与式 (125) 相同。

5.5.4.4 阻抗保护动作时间的整定

当阻抗保护作为本侧系统后备时, 可以以 $t_1 = t_0 + \Delta t$ (t_0 为与之配合的线路保护动作时间, Δt 为时间级差) 跳开本侧分段、母联断路器, 再以 $t_2 = t_1 + \Delta t$ 跳开本侧断路器, 最后以 $t_3 = t_2 + \Delta t$ 跳开变压器各侧断路器。

当阻抗保护作为对侧系统后备时, 可以以 $t_1 = t_0 + \Delta t$ (t_0 为与之配合的线路保护动作时间, Δt 为时间级差) 跳开对侧分段、母联断路器, 再以 $t_2 = t_1 + \Delta t$ 跳开对侧断路器, 最后以 $t_3 = t_2 + \Delta t$ 跳开变压器各侧断路器。

当阻抗保护未装设振荡闭锁装置时, 上述各段动作时间均应保证在振荡过程中不误动作, 最小选用 1.5s 延时, 或者退出本时限保护。

实际应用过程中还需考虑各地区的后备保护配合原则, 来决定阻抗保护的段数和时限数, 及方向的指向。

5.5.5 阻抗保护启动元件的整定

阻抗保护启动元件宜由保护装置自动设定, 当保护装置需要整定阻抗保护启动元件时, 其说明书应给出推荐的整定原则以供参考。

5.6 变压器接地故障后备保护

5.6.1 变压器接地故障后备保护整定原则

变压器接地侧宜配置接地故障后备保护, 保护动作切除的原则为尽量缩小被切除的范围, 一般为先断开分段、母联断路器, 再断开本侧断路器, 最后断开其他各侧断路器, 如果不满足稳定要求或者配合原则时, 可以考虑先断开本侧断路器, 再断开其他各侧断路器, 或者仅断开本侧断路器。

当接地后备保护方向指向本侧系统时, 可以以 $t_1 = t_0 + \Delta t$ (t_0 为与之配合的线路保护动作时间, Δt 为时间级差) 跳开本侧分段、母联断路器, 再以 $t_2 = t_1 + \Delta t$ 跳开本侧断路器, 最后以 $t_3 = t_2 + \Delta t$ 跳开变压器各侧断路器。

当接地后备保护方向指向对侧系统时, 可以以 $t_1 = t_0 + \Delta t$ (t_0 为与之配合的线路保护动作时间, Δt 为时间级差) 跳开对侧分段、母联断路器, 再以 $t_2 = t_1 + \Delta t$ 跳开对侧断路器, 最后以 $t_3 = t_2 + \Delta t$ 跳开变压器各侧断路器。

当接地后备保护不带方向时, 可以以 $t_1 = t_0 + \Delta t$ (t_0 为与之配合的馈线保护动作时间, Δt 为时间级差) 跳开本侧断路器, 再以 $t_2 = t_1 + \Delta t$ 跳开各侧断路器。

实际应用过程中还需考虑各地区的后备保护配合原则, 来决定后备保护的段数和时限数, 及方向的

指向。

变压器装设接地故障后备保护作为变压器绕组、引线、相邻元件接地故障的后备保护。变压器接地保护方式及其整定值的计算与变压器的型式、中性点接地方式及所连接系统的中性点接地方式密切相关。变压器接地保护要与线路的接地保护在灵敏度和动作时间上相配合。

5.6.2 中性点直接接地的普通变压器接地保护

中性点直接接地的普通变压器接地保护可由两段式零序过电流保护构成，三绕组普通变压器零序过电流可采用外接中性点电流或自产零序电流，接地保护原理图如图 27 所示。

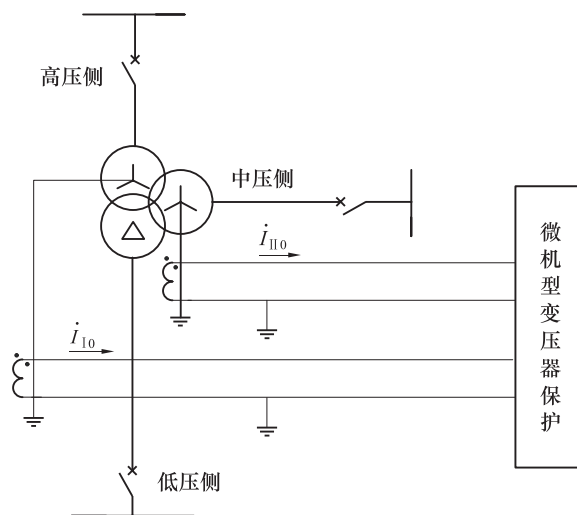


图 27 中性点直接接地变压器的接地保护原理图

对于高、中压侧均直接接地的三绕组变压器，高、中压侧均应装设零序方向过电流保护。

5.6.2.1 零序电流继电器的整定

a) I 段零序过电流继电器的动作电流应与对应配合的零序过电流保护第 I 段或第 II 段或快速主保护相配合，计算式如下：

$$I_{op,0,I} = K_{rel} K_{br,I} I_{op,0,II} \quad (130)$$

式中：

$I_{op,0,I}$ —— I 段零序过电流保护动作电流；

$K_{br,I}$ —— 零序电流分支系数，取各种运行方式的最大值；

K_{rel} —— 可靠系数，取 1.1；

$I_{op,0,II}$ —— 与之相配合的零序过电流保护相关段动作电流。

当 I 段零序过流保护指向变压器时，还需要满足：

1) 对侧母线接地故障有灵敏度：

$$I_{op,0,I} \leq 3I_{0,min} / K_{sen} \quad (131)$$

式中：

$3I_{0,min}$ —— 对侧母线接地故障时流过本保护的最小零序电流；

K_{sen} —— 灵敏系数， $K_{sen} \geq 1.3$ 。

2) 按躲过高、中压侧出线非全相时流过本保护的最大零序电流整定：

$$I_{op,0,I} \geq K_{rel} 3I_{0,F,max} \quad (132)$$

式中：

K_{rel} —— 可靠系数，取 1.2；

$3I_{0,F,\max}$ ——高、中压侧出线非全相时流过本保护的最大零序电流。

b) II段零序过电流继电器的动作电流应与对应配合的零序过电流保护的后备段相配合, 即:

$$I_{\text{op},0,\text{II}} = K_{\text{rel}} K_{\text{br,II}} I_{\text{op},0,\text{III}} \quad (133)$$

式中:

$I_{\text{op},0,\text{II}}$ ——II段零序过电流保护动作电流;

K_{rel} ——可靠系数, 取 1.1;

$K_{\text{br,II}}$ ——零序电流分支系数, 取各种运行方式的最大值;

$I_{\text{op},0,\text{III}}$ ——与之配合的零序过电流保护后备段的动作电流。

II段零序过电流保护需满足母线接地故障 $K_{\text{sen}} \geq 1.5$ 的要求, 为此动作电流可不与线路接地距离后备段的动作阻抗相配合, 但在时间上必须互相配合。

5.6.2.2 灵敏系数校验

灵敏系数按下式校验:

$$K_{\text{sen}} = \frac{3I_{\text{k},0,\text{min}}}{I_{\text{op},0} n_a} \quad (134)$$

式中:

$I_{\text{k},0,\text{min}}$ ——I段(或II段)对端母线接地短路时流过保护安装处的最小零序电流;

$I_{\text{op},0}$ ——I段(或II段)零序过电流保护的整定电流。

要求 $K_{\text{sen}} \geq 1.5$ 。

5.6.3 中性点可能接地或不接地运行变压器的接地保护

中性点可能接地或不接地运行的变压器应配置两种接地保护:

- a) 接地保护用于变压器中性点接地运行状态, 通常采用两段式零序过流保护, 其整定值及灵敏系数计算与 5.6.2 所述完全相同。
- b) 接地保护用于变压器中性点不接地运行状态, 这种保护的配置、整定值计算、动作时间等与变压器的中性点绝缘水平、过电压保护方式以及并联运行的变压器台数有关, 分述如下:
 - 1) 中性点全绝缘变压器。这种变压器的接地保护, 除了两段零序过电流保护外, 还应增设零序过电压保护, 用于变压器中性点不接地时, 所连接的系统发生单相接地故障同时又失去接地中性点的情况。发生此种故障将对中性点直接接地系统的电气设备绝缘构成威胁。此时需要通过零序过电压保护切除故障。其原理图如图 28 所示。

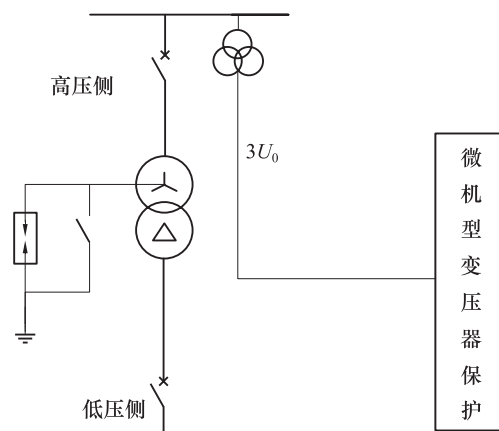


图 28 中性点可能接地或不接地变压器（全绝缘）的接地保护原理图

零序过电压保护动作值按下式整定:

$$U_{0, \max} < U_{\text{op}, 0} \leq U_{\text{sat}} \quad (135)$$

式中：

$U_{\text{op}, 0}$ ——零序过电压保护动作值；

$U_{0, \max}$ ——在部分中性点接地的电网中发生单相接地时，保护安装处可能出现的最大零序电压；

U_{sat} ——用于中性点直接接地系统的电压互感器，在失去接地中性点时发生单相接地，开口三角绕组可能出现的最低电压。

考虑到中性点直接接地系统 $X_{0\Sigma} / X_{1\Sigma} \leq 3$ ，建议 $U_{\text{op}, 0} = 180\text{V}$ （电压互感器开口三角绕组每相额定电压 100V）。

在电网发生单相接地，中性点接地的变压器已全部断开的情况下，零序过电压保护不需再与其他接地保护相配合，故其动作时间只需躲过暂态过电压的时间，可取 0.3s。

- 2) 分级绝缘且中性点装设放电间隙的变压器。此类变压器除了装设两段零序过电流保护用于变压器中性点直接接地运行情况以外，还应增设反映零序电压和间隙放电电流的间隙保护，作为变压器中性点经放电间隙接地时的接地保护。其原理图如图 29 所示。

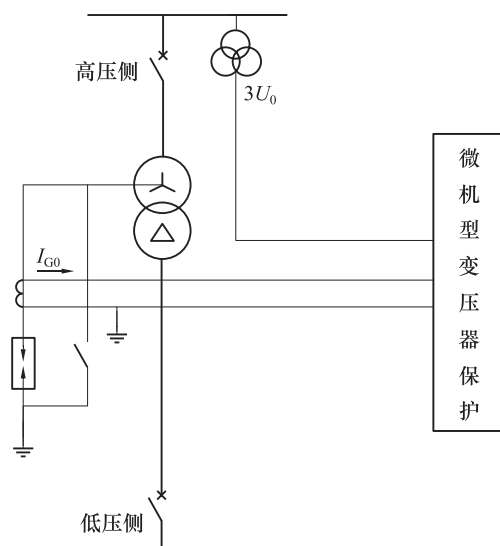


图 29 中性点经放电间隙接地的分级绝缘变压器接地保护原理图

装设在中性点直接接地回路的两段零序过电流保护的整定计算及灵敏系数校验与 5.6.2 所述相同。

装设在放电间隙回路的零序过电流保护的動作电流与变压器的零序阻抗、间隙放电的电弧电阻等因素有关，较难准确计算。根据工程经验，间隙电流保护的一次动作电流可取 100A。

零序过电压继电器的整定同式 (135)。

用于中性点经放电间隙接地的间隙电流、零序电压保护动作后经一较短延时（躲过暂态过电压时间）断开变压器各侧断路器。

间隙零序电压保护延时可取 0.3s~0.5s。

间隙零序过流保护延时可取 0.3s~0.5s，也可考虑与出线接地后备保护时间配合。

仅配置间隙零序电压和间隙零序过流相互保持时，可考虑与出线接地后备保护时间配合。

- 3) 分级绝缘且中性点不装设放电间隙的变压器。此类变压器装设两段零序过电流保护用于中性点直接接地运行情况。电流继电器的动作电流整定及灵敏系数的校验同 5.6.2 所述情况。

5.6.4 自耦变压器的接地保护

5.6.4.1 自耦变压器的接地保护配置原则

自耦变压器高、中压侧有共同的接地中性点，并直接接地。当系统发生单相接地短路时，零序电流

可在高、中压电网间流动，而流经接地中性点的零序电流数值及相位，随系统的运行方式不同会有较大变化。故自耦变压器的零序过电流保护应分别在高压及中压侧配置，宜采用高、中压侧电流互感器的自产零序电流。自耦变压器中性点回路装设的一段式零序过电流保护，只在高压或中压侧断开、内部发生单相接地短路且未断开侧零序过电流保护的灵敏度不够时才适于使用。

由于在高、中压侧电网发生接地故障时，零序电流可在自耦变压器的高、中压侧间流动，为满足选择性的要求，高压侧和中压侧的零序过电流保护可装设方向元件，其方向指向本侧母线。此外还应装设不带方向的零序过电流保护。

5.6.4.2 高、中压侧的方向零序过电流保护整定计算

高压侧和中压侧的方向零序过电流保护通常设两段。

第一段动作电流与本侧母线出线的零序过电流保护的第一段或快速主保护相配合，动作电流的计算公式同式（132）。

第二段动作电流与本侧母线出线的零序过电流保护或接地距离保护的后备段配合，动作电流的计算公式同式（133）。

I、II段方向零序过电流保护的灵敏系数按式（134）计算。

5.6.4.3 不带方向的高、中压侧零序过电流保护整定计算

零序过电流保护（不带方向）的动作电流与本侧及对侧母线上线路的零序过电流保护及接地距离保护后备段相配合，必须满足母线接地短路的灵敏系数不小于 1.5。当灵敏系数不满足要求时，动作电流可不与接地距离保护后备段配合，但动作时间必须配合。动作时间应大于变压器高、中压侧方向零序过电流保护的動作时间。

作为变压器引出线的后备保护，当对侧的零序过电流保护不满足灵敏系数要求时，可校核由本侧母线电源供给本侧零序过电流保护灵敏系数是否达到 1.5。

5.6.4.4 自耦变压器中性点零序过电流保护整定计算

当低压侧为△接线的自耦变压器高压侧或中压侧断开时，该自耦变压器就变成为一台高压侧（或中压侧）中性点直接接地的 YNd 接线的普通双绕组变压器。考虑到在未断开侧的出线端装有零序过电流保护，可以完成线路及母线接地故障的后备保护，故此时中性点过电流保护的作用只是作为变压器内部接地故障的后备。保护的動作电流 $I_{op,0}$ 按下式整定：

$$I_{op,0} = K_{rel} I_{unb,0} / n_a \quad (136)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，取 1.5~2；

$I_{unb,0}$ ——正常运行情况（包括最大负荷时）可能在零序回路出现的最大不平衡电流。

灵敏系数 K_{sen} 按下式计算：

$$K_{sen} = \frac{3I_{k,0,\min}}{I_{op,0} n_a} \quad (137)$$

式中：

$I_{k,0,\min}$ ——自耦变压器断开侧出线端单相接地短路，流过变压器中性点的最小零序电流。

保护的動作时间为：

$$t = t_t + \Delta t \quad (138)$$

式中：

t_t ——自耦变压器各侧零序过电流保护動作时间中的最长者。

5.6.5 反时限零序过流保护的整定

- a) 正常反时限特性方程。500kV 变压器可在高压侧、公共绕组侧设置反时限零序过流保护，不带方向，动作于断开变压器各侧断路器。反时限零序过流保护宜采用外接零序电流，推荐采用 IEC

标准中的正常反时限特性方程为：

$$t(I_0) = \frac{0.14}{\left(\frac{3I_0}{I_p}\right)^{0.02} - 1} T_p \quad (139)$$

b) 高压侧反时限零序过流保护整定。

1) 基准电流 I_p 。根据工程经验，基准电流 I_p 的一次值取 300A。

2) 时间常数 T_p 。与 500kV 线路反时限零序过流保护配合，可取 $T_p=1.2s$ 。

c) 公共绕组侧反时限零序过流保护。

1) 基准电流 I_p 。根据工程经验，基准电流 I_p 的一次值取 300A。

2) 时间常数 T_p 。与高压侧反时限零序过流保护配合，可取 $T_p=1.5s$ 。

5.7 变压器过负荷保护

变压器各侧绕组及自耦变压器的公共绕组应设置过负荷报警功能。

过负荷保护的動作电流应按躲过各侧绕组的额定电流整定，按下式计算：

$$I_{\text{alarm}} = \frac{K_{\text{rel}}}{K_r} I_e \quad (140)$$

式中：

K_{rel} ——可靠系数，采用 1.05；

K_r ——返回系数，0.85~0.95；

I_e ——根据各侧额定容量计算出的对应二次额定电流。

过负荷保护作用于信号，其延时应与变压器允许的过负荷时间相配合，同时应大于相间及接地故障后备保护的最大动作时间。

5.8 变压器过励磁保护

5.8.1 过励磁保护的设置目的

变压器过励磁保护是为了防御变压器因过励磁损坏而装设的，包括定时限过励磁保护和反时限过励磁保护。变压器过励磁保护应根据变压器制造厂提供的变压器允许的过励磁能力曲线整定。

5.8.2 定时限变压器过励磁保护

定时限过励磁保护可设置两段，第一段为报警段，第二段为跳闸段，建议定时限只使用报警段。整定方法以图 30 为例，图中过励磁能曲线应由变压器制造厂提供。

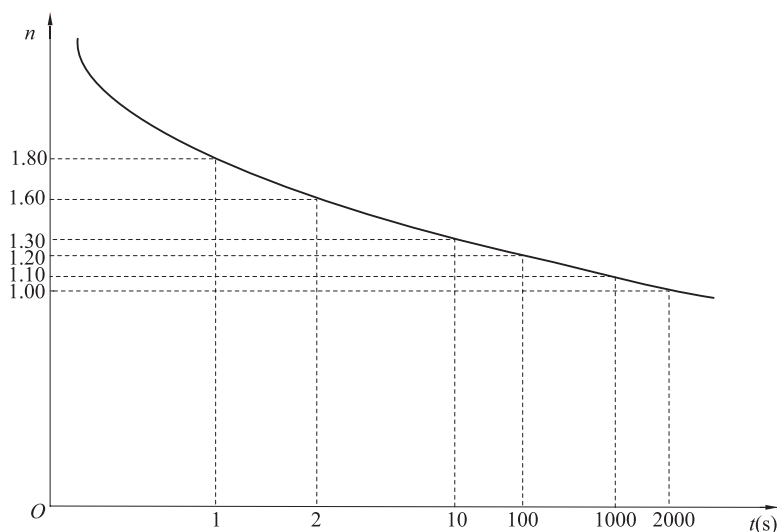


图 30 变压器制造厂提供的允许过励磁曲线

过励磁保护的第一段动作值 N 一般可取为变压器额定励磁的 1.1 倍~1.2 倍。 N 的含义如下式：

$$N = \frac{B}{B_N} = \frac{U}{f} \bigg/ \frac{U_N}{f_N} \quad (141)$$

式中：

N ——过励磁倍数；

B 、 B_N ——变压器铁芯磁通密度的实际值和额定值；

U 、 U_N ——加在变压器绕组的实际电压和额定电压；

f 、 f_N ——实际频率和额定频率。

第一段的动作时间可根据允许的过励磁能力适当整定。例如，设 $N=1.1$ ，从曲线上查得对应的允许时间约为 1000s (A 点)，第一段的时间可整定为 200s (A' 点)，考虑从发信号到允许时间还有 800s，使运行人员有足够时间处理变压器的过励磁。信号段的动作时间不宜太短，防止在变压器短时过励磁时不必要的发信号。

第二段为跳闸段，可整定 $N=1.25$ 倍~1.35 倍。例如，取 $N=1.3$ ，从曲线上查得允许的过励磁时间约为 10s，跳闸时间可整定为 8s，即为保障变压器的安全，取跳闸时间适当小于实际允许的时间。

5.8.3 反时限变压器过励磁保护

反时限变压器过励磁保护的整定特性应与变压器的允许过励磁能力相配合，如图 31 所示。

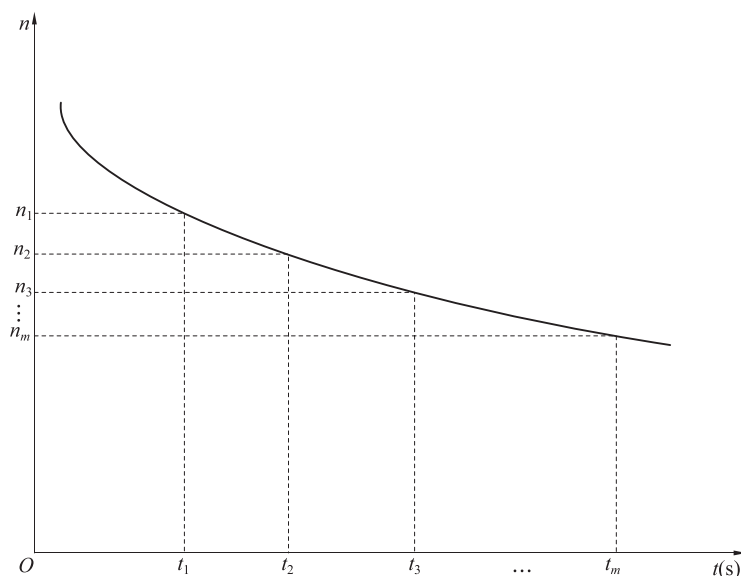


图 31 反时限变压器过励磁保护整定图例

微机保护中的反时限过励磁保护一般采用分段线性化的方法实现，整定时需要输入 (n_1, t_1) 、 (n_2, t_2) 、 \dots 、 (n_m, t_m) 等若干组定值来模拟反时限曲线，一般取 $m \leq 10$ 。整定时可以从制造厂家提供的变压器过励磁曲线图中提取相应数量的点，将其对应的 (n, t) 作为整定定值。可按照曲线斜率较大处，取点宜稀疏；曲线斜率较小处，取点宜密集的原则。

反时限过励磁保护定值整定过程中，宜考虑一定的裕度，可以从动作时间和动作定值上考虑裕度（两者只取其一）。从时间上考虑时，可以考虑整定时间为曲线时间的 60%~80%；从动作定值考虑时，可以考虑整定定值为曲线定值除以 1.05，最小定值应可以躲过系统正常运行的最大电压。

5.9 失灵启动和非全相保护

5.9.1 失灵启动

变压器电量保护动作应启动 220kV 侧及以上断路器失灵保护，变压器非电量保护跳闸不启动断路器

失灵保护。断路器失灵判别元件宜与变压器保护独立，宜采用变压器保护动作触点结合电流判据启动失灵。电流判据可包括过电流判据，或零序电流判据，或负序电流判据。

- a) 过电流判据应考虑最小运行方式下的各侧三相短路故障灵敏度，并尽量躲过变压器正常运行时的最大负荷电流，宜取：

$$I = I_{k, \min} / K_{\text{sen}} \quad (142)$$

式中：

K_{sen} ——取 1.5~2。

或取：

$$I = K_{\text{rel}} I_e \quad (143)$$

式中：

K_{rel} ——取 1.1~1.2；

I_e ——变压器二次额定电流。

仅采用过电流判据时，过电流判据应考虑最小运行方式下的各侧短路故障灵敏度。

- b) 零序或负序电流判据应躲过变压器正常运行时可能产生的最大不平衡电流，宜取：

$$I_0 = K_{\text{rel}, 0} I_e \quad (144)$$

式中：

$K_{\text{rel}, 0}$ ——取 0.15~0.25。

$$I_2 = K_{\text{rel}, 2} I_e \quad (145)$$

式中：

$K_{\text{rel}, 2}$ ——取 0.15~0.25；

I_e ——变压器二次额定电流。

- c) 时间整定。失灵启动延时与失灵保护延时的总和应可靠躲过断路器跳开时间，一般为 0.15s~0.3s。

5.9.2 非全相保护

变压器非全相保护反映断路器非全相运行状态，宜通过断路器三相不一致触点结合电流判据来实现。电流判据可包括零序电流判据，或负序电流判据。

- a) 零序或负序电流判据应躲过变压器正常运行时可能产生的最大不平衡电流，宜取：

$$I_0 = K_{\text{rel}, 0} I_e \quad (146)$$

式中：

$K_{\text{rel}, 0}$ ——取 0.15~0.25。

$$I_2 = K_{\text{rel}, 2} I_e \quad (147)$$

式中：

$K_{\text{rel}, 2}$ ——取 0.15~0.25；

I_e ——变压器额定电流。

- b) 非全相保护动作延时应可靠躲过断路器不同期合闸的最长时间，一般取 0.3s~0.5s。

附录 A
(规范性附录)
本标准用语说明

A.1 表示条文执行严格程度的用词

A.1.1 表示很严格，非这样不可的用词

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

A.1.2 表示严格，在正常情况下都应这样做的用词

正面词采用“应”，反面词采用“不应”、“不得”或“不允许”。

A.1.3 表示允许稍有选择，在条件允许时首先应这样做的用词

正面词采用“宜”或“可”、“允许”，反面词采用“不宜”。

A.2 连词用法

“和”、“与”字，一般用于两个类型相同的词和词组的连接，表示并列关系。“及”字，一般用于前后不能颠倒过来的两个词或词组的连接。

附录 B (资料性附录)

大型发电机变压器继电保护整定计算导则有关文字符号

B.1 基本元件

发电机 G	变压器 T
电流互感器 TA	电压互感器 TV
线路 L	断路器 QF
继电器 K	

B.2 电流 I

发电机一次额定电流 I_{GN}	发电机二次额定电流 I_{gn}
电流互感器二次额定电流 I_n	变压器二次额定电流 I_e
短路电流 I_k	动作电流 I_{op} (operation)
制动电流 I_{res} (restrain)	不平衡电流 I_{umb} (unbalance)
负荷电流 I_L (load)	差动电流 I_d (differential)
正、负、零序电流 I_1 、 I_2 、 I_0	返回电流 I_r (release)

B.3 电压 U 、电动势 E

额定电压 U_N 或 U_n	动作电压 U_{op}
励磁电压 U_{fd}	机端三次谐波电压 U_{3t}
中性点三次电压 U_{3n}	

B.4 电阻 R 、电感 L 、电容 C

过渡电阻 R_E	绝缘电阻 R_{ins} (insulant)
------------	---------------------------

B.5 电抗 X 、阻抗 Z

发电机同步电抗 X_d	发电机暂态电抗 X'_d
发电机次暂态电抗 X''_d	系统电抗 X_s (system)
变压器阻抗 (电抗) Z_T (X_T)	联系电抗 X_{con} (connection)
负荷阻抗 Z_L (电阻 R_L) (load)	导线阻抗 Z_L

B.6 功率 P

视在功率 S	有功功率 P
动作功率 P_{op}	无功功率 Q

B.7 系数 K

可靠系数 K_{rel} (reliability)	灵敏系数 K_{sen} (sensitivity)
制动系数 K_{res} (restrain)	助增系数 K_{inf} (infeed)
返回系数 K_r (release)	配合系数 K_{co} (cooperate)
TA 同型系数 K_{cc} (coherent coefficient)	误差系数 K_{er} (error)

DL/T 684 — 2012

非周期分量系数 K_{ap} (aperodic)
热容量常数 K_{tc}

分支系数 K_{br} (branch)

B.8 转速 n , 过励磁倍数 N , 中性点 N

B.9 频率 f , 周期 T , 机端 T

B.10 时间 t 、时间阶段 Δt 、时间常数 T

B.11 磁密 B

B.12 变比 n

TA 变比 n_a

TV 变比 n_v

B.13 误差

B.14 运行状态

空载 0
最大 max
平均 av (average)

额定 N
最小 min

B.15 其他

直流 DC
整定 set
标幺 PU (*)
滤过比 K
过负荷修正系数 α

交流 AC
差动 d (D)
接地 E
斜率 S
相 ph (phase)

附 录 C
(规范性附录)

发电机定子绕组对地电容、机端单相接地电容电流及单相接地电流允许值

国产汽轮发电机定子对地电容及单相接地电容电流值见表 C1。

表 C1 国产汽轮发电机定子对地电容及单相接地电容电流值

容量 MW	电压 kV	每相对地电容 μF	单相接地电容电流 A
50	10.5	0.25	1.43
60	10.5	0.296	1.69
100	10.5	0.16	0.914
135	13.8	0.376	2.822
200	15.75	0.20	1.715
300	18.0	0.2~0.3	1.957~2.937
600	20.0	0.213	2.317
1000M	27.0	0.284	4.17

发电机定子绕组单相接地故障电流允许值见表 C2。

表 C2 发电机定子绕组单相接地故障电流允许值

发电机额定电压 kV	发电机额定容量 MW		故障电流允许值 A
6.3	≤ 50		4
10.5	汽轮发电机	50~100	3
	水轮发电机	10~100	
13.8~15.75	汽轮发电机	125~200	2 ^{a)}
	水轮发电机	40~225	
18 及以上	300 及以上		1

^{a)} 对于氢冷发电机为 2.5A。

附录 D
(资料性附录)
变压器电容参数估算值

在发电机定子绕组单相接地保护的整定计算工作中，为了校核高压系统发生接地短路时发电机机端的传递电压大小，防止定子绕组单相接地保护误动作，必须知道变压器每相高低压绕组间的耦合电容 C_M 和变压器低压绕组每相对地电容 C_t 。

如果变压器制造厂没有提供 C_M 和 C_t 的数值，可由图 D1 和 D2 查得 C_M 和 C_t 的估算值。也可从下式计算得到：

$$C_M = K_{M0} \sqrt{S_n} \times 10^{-4} \text{ (}\mu\text{F/ph)} \quad (\text{D1})$$

式中：

K_{M0} ——与额定电压 U_n 有关，如图 D3 所示；

S_n ——变压器三相额定容量，MVA。

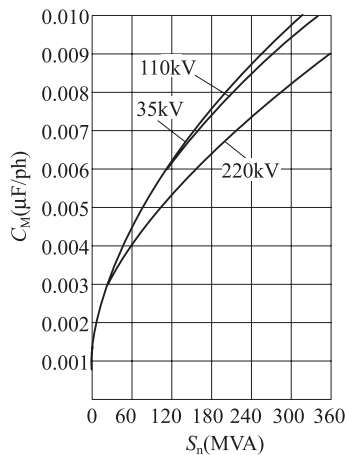


图 D1 变压器高、低压侧绕组之间的电容值 C_M 与 S_n 的关系曲线

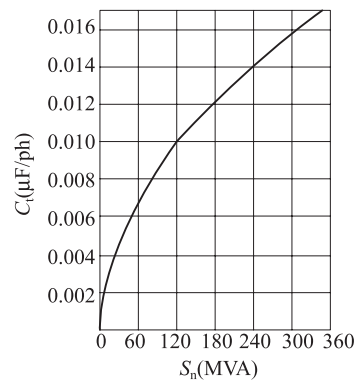


图 D2 变压器低压绕组一相对地的电容值 C_t 与变压器容量 S_n 的关系曲线

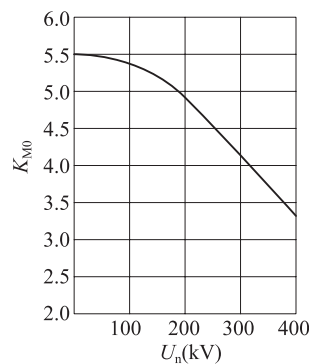


图 D3 系数 K_{M0} 与变压器额定电压的关系曲线

附录 E
(规范性附录)

发电机若干异常运行状态的要求

E.1 发电机定子绕组承受短时过电流运行的要求：额定容量在 1200MVA 及以下的发电机，应能承受 $1.5I_{gn}$ 、历时 30s 的过电流，不发生有害变形及损伤，但每年不超过 2 次。允许过电流倍数及过电流时间按下式计算：

$$K = (I_*^2 - 1)t \quad (E1)$$

式中：

I_* ——以发电机额定电流为基值的标么值；

t ——过电流持续时间，适用范围为 10s~60s。

当发电机额定容量在 1200MVA 及以下时， $K=37.5$ 。

E.2 汽轮发电机三相负荷不对称且每相电流均不超过额定电流 (I_{gn}) 时，负序电流 (I_2) 与额定电流之比 (I_2/I_{gn}) 符合表 E1 规定时，应能连续运行。发生不对称故障时，故障运行时最大的 $(I_2/I_{gn})^2$ 和时间 $t(s)$ 的乘积，应符合表 E1 的规定。

表 E1 汽轮发电机连续运行时 I_2/I_{gn} 最大值及故障运行时 $(I_2/I_{gn})^2 t$ 最大值

转子直接冷却的发电机功率 MVA	连续运行时的 I_2/I_{gn} 最大值	故障运行时的 $(I_2/I_{gn})^2 t$ 最大值
≤350	0.08	8
>350~900	$0.08 - \frac{S_{gn} - 350}{3 \times 10^4}$	$8 - 0.00544 \times (S_{gn} - 350)$
>900~1250	$0.08 - \frac{S_{gn} - 350}{3 \times 10^4}$	5
>1250~1600	0.05	5

注： S_{gn} 为发电机额定视在功率，MVA。

E.3 内冷发电机的励磁绕组，规定的承受短时过电压能力见表 E2。

表 E2 内冷发电机励磁绕组承受短时过电压能力

时间 s	10	30	60	120
励磁电压 %	208	146	125	112

实际应用时，可以近似认为励磁绕组的过电流特性与过电压能力相同。

E.4 部分进口机组 $(I_2/I_{gn})^2 t$ 值见表 E3。

表 E3 部分进口机组 $(I_2/I_{gn})^2 t$ 值

产地	前苏联	意大利	法国		日本	美国	捷克
容量 MW	500	320	330	600	350	350	500
$(I_2/I_{gn})^2 t$	8	10	≤10	6	≤10	10	8

附录 F

(资料性附录)

系统联系电抗 X_{con} 的计算

在对发电机的失磁保护、失步保护等进行整定计算时，均需应用到所整定机组对系统的联系电抗 X_{con} ，其计算方法简介如下。

设某电厂具有同容量的 n 台机，均呈发电机变压器组接线，在高压侧并联运行。电力系统归算至该厂高压母线的系统等值电抗为 X_s ，其接线及等值电路如图 F1 所示。由图 F1 可知，2 号~ n 号发电机变压器组的并联电抗 $X_{2n} = \frac{X_s(X_g + X_t)}{X_s(n-1) + X_g + X_t}$ ，则系统联系电抗 X_{con} 为：

$$X_{\text{con}} = X_{t1} + X_{2n} = X_t + \frac{X_s(X_g + X_t)}{X_s(n-1) + X_g + X_t} \quad (\text{F1})$$

$$X_{t1} = X_{t2} = \dots = X_{tn} = X_t \quad X_{g1} = X_{g2} = \dots = X_{gn} = X_g \quad (\text{F2})$$

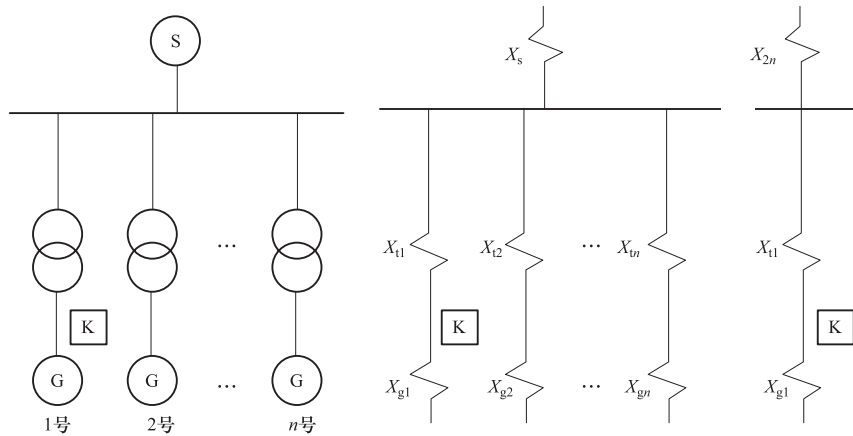


图 F1 电厂主接线及其等值电路

附录 G
(资料性附录)

大型汽轮发电机组对频率异常运行的要求

大型汽轮发电机组对电力系统频率偏离值有严格的要求，在电力系统发生事故期间，系统频率必须限制在允许的范围内，以免损坏机组（主要是汽轮机叶片）。

根据国内已投入运行的 300MW 及以上部分大型汽轮发电机组允许的频率偏移范围的调查结果，提出“大机组频率异常运行允许时间建议值”见表 G1。

表 G1 大机组频率异常运行允许时间建议值

频率 Hz	允许运行时间		频率 Hz	允许运行时间	
	累计 min	每次 s		累计 min	每次 s
51.5	30	30	48.0	300	300
51.0	180	180	47.5	60	60
48.5~50.5	连续运行		47.0	10	10

表 G1 所列发电机允许频率偏离范围，以及允许的持续和累计时间，可以用来作为对新机组基本性能的要求，也可作为频率继电器制造厂家确定其产品的定值范围的依据。

附 录 H (资料性附录)

发电机变压器组保护的整定计算

H.1 概述

发一变组的保护与发电机和变压器单独工作时的保护类型选择及整定计算基本相同。但由于发一变组是一个单元，所以，其保护与发电机、变压器单独工作时的保护相比，又有某些不同的特点。某些保护可以合并，例如，发一变组公共差动保护、相间后备保护、过负荷保护等。

发一变组的保护对象，除了发电机、变压器之外，还包括高压厂用变压器、励磁变压器等厂用分支。

为避免重复，在第 4 章和第 5 章中已经叙述过的内容，在本附录中不再赘述。本附录仅叙述发一变组保护整定计算的特点。

H.2 纵差动保护

- a) 根据 GB/T 14285—2006 的规定：对于 100MW 以下的发一变组，当发电机与变压器之间有断路器时，发电机与变压器宜分别装设单独的纵差动保护；对 100MW 及以上发一变组，应装设双重主保护，每一套保护宜具有发电机纵差动保护和变压器纵差动保护。
- b) 对于发一变组共用的完全纵差动保护（简称发一变组纵差动保护），可有两种做法：一种是将高压厂用变压器接入差动保护，即将高压厂用变压器低压侧电流接入差动回路，这种方法虽可将保护范围扩大到高压厂用变压器，同时也可省去高压厂用变压器高压侧大变比电流互感器，但是当高压厂用变压器低压侧保护区内两相短路时，往往没有灵敏度，此外，差动保护各侧的电流平衡系数之比有时超出装置允许范围，需要增设辅助变流器或作特殊处理；另一种是高压厂用变压器不接入差动保护，即将高压厂用变压器高压侧电流接入差动回路，此时在高压厂用变压器高压侧需设大变比电流互感器，实质上，此时的发一变组纵差动保护与变压器纵差动保护的整定方法相同。

H.3 相间故障后备保护

设置发一变组相间故障后备保护时，应将发一变组视为一个整体，所以应将发电机和变压器的反映相间故障的后备保护合并为一套。通常，取发电机的反映相间短路故障的后备保护作发一变组的后备保护。

H.4 接地故障后备保护

发一变组的接地故障后备保护包括升压变压器高压侧接地保护，发电机电压回路接地保护和支接高压厂用变压器低压侧接地保护。

升压变压器高压侧接地保护的整定计算见 5.6。

发电机电压回路接地保护见 4.3。

高压厂用变压器低压侧的接地保护方式与厂用变压器低压侧中性点接地方式有关。当中性点经中阻抗接地时，厂用变压器低压侧应装两段式零序过电流保护，一段跳厂用变压器低压侧断路器，二段动作于全停。