

团 体 标 准
电力系统自动高频切除发电机组技术规定
T / CSEE 0171 — 2020

*

中国电力出版社出版、印刷、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2020年1月第一版 2020年1月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 0.75印张 21千字

*

统一书号 155198·1954 定价 **19.00**元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.1954

ICS 29.240
K 00/09

团 体 标 准

T/CSEE 0171 — 2020

电力系统自动高频切除发电机组技术规定

Technical rules for power system automatic over-frequency tripping generators



2020-01-15发布

2020-03-15实施

中国电机工程学会 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 总则	2
5 装置配置整定的基本要求	2
6 装置的配置原则	2
7 定值的整定方法	3
7.1 整定计算的基本内容和目的	3
7.2 整定计算的基本条件和方法	3
8 高频切机与机组高频保护、超速保护协调配置	3
8.1 高频切机与机组高频保护的协调配置	3
8.2 高频切机与机组超速保护的协调配置	3
附录 A (资料性附录) 汽轮发电机频率异常允许运行时间	4
附录 B (资料性附录) 高频切机单机单负荷模型平均频率偏差理论推导	5

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》给出的规则起草。

本标准由中国电机工程学会提出。

本标准由中国电机工程学会电力系统专业委员会技术归口并解释。

本标准起草单位：中国电力科学研究院、国家电力调度控制中心、国家电网公司华中分部、国网四川省电力公司、国网河南省电力公司电力科学研究院、南京南瑞继保有限公司。

本标准主要起草人：许涛、马世英、唐晓骏、张志强、徐友平、李建、唐耀华、孙光辉、徐遐龄、王彪、陈得治、王青、吴丽华、宋云亭、郑超、马士聪。

本标准首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

电力系统自动高频切除发电机组技术规定

1 范围

本标准规定了电力系统自动高频切除发电机组（以下简称高频切机）装置配置整定的基本要求、配置原则，定值的整定方法，以及自动高频切机装置与机组高频保护、超速保护的协调配置原则。

本标准适用于大电网高频风险控制，以及事故后从主网解列的孤立电网高频风险控制。故障后存在“大机小网”问题的小规模孤网、含自备电厂的企业电网可以参照执行。

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/T 26399—2011 电力系统安全稳定控制技术导则

GB/T 31464—2015 电网运行准则

DL/T 428—2010 电力系统自动低频减负荷技术规定

DL/T 701—2012 火力发电厂热工自动化术语

DL 755—2001 电力系统安全稳定导则

DL/T 1234—2013 电力系统安全稳定计算技术规范

DL/T 1309—2013 大型发电机组涉网保护技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

负荷功率 load capacity

电力系统运行时的负荷大小（特指负荷有功功率）。

3.2

剩余发电功率 generation remaining

出现有功功率盈余后，电网中仍运行的发电功率总加。

3.3

发电机组涉网保护 grid-related generator protection

发电机组的保护和控制装置中，动作行为和参数设置与电网运行方式相关、或需要与电网中安全自动装置相协调的部分。

3.4

机组频率异常运行 frequency abnormally operation of generator

发电机组在系统频率超过规定的运行范围时，均认为运行频率异常，参见附录 A。

3.5

汽轮机超速保护控制 over-speed protection control; OPC

汽轮发电机组转速超过设定值或达到规定的限制条件时，自动快速关闭调节汽阀，在转速低于额定转速后自动开启调节汽阀，维持机组在额定转速下运行的一种控制。

3.6

一次调频 **primary frequency compensation**

机组调速系统根据电网频率的变化自动快速改变有功功率，以达到自动调节电网频率的目的。

3.7

二次调频 **secondary frequency control**

根据调度或操作员指令，由预先指定发电机组实现的对输入电网有功功率的协同控制。

3.8

自动发电控制 **automatic generation control; AGC**

根据电网调度中心负荷指令控制机组发电功率达到规定要求的控制。

3.9

超速跳闸保护 **over-speed protection trip; OPT**

当汽轮机转速上升到某一限值时，采取紧急停机措施，自动迅速地关闭主汽阀和调节汽阀，是汽轮机保护系统功能之一。

4 总则

4.1 电力系统自动高频切机措施属于电力系统稳定运行第三道防线范畴，应在电网发生严重故障、系统稳定破坏后，为防止系统频率大幅升高所采取的紧急措施。

4.2 当电力系统存在因有功功率过剩导致系统暂态频率过高且持续一定时间的风险时，应考虑配置高频切机装置。

4.3 电力系统高频切机方案配置过程中，应考虑不同类型发电机组组合、电网结构和运行方式等系统情况，且按预定高频切机方案分轮次实施后，应保证系统频率恢复至合理范围。

4.4 电力系统高频切机方案应由调度部门负责制定并监督其执行；调度部门应定期，以及当系统条件有重大变动时，对其进行重新审定。为了积累经验，应做好每次重大有功功率过剩事件或事故后的分析总结工作。

5 装置配置整定的基本要求

5.1 配置高频切机装置的电力系统发生频率异常升高情况时，应能及时切除相应容量的发电机组，使系统频率能迅速恢复到 50.5 Hz 以内运行，同时兼顾防止低频减负荷装置动作。

5.2 高频切机装置配置整定计算过程中，应避免机组的超速跳闸保护和低频减负荷装置动作。

5.3 高频切机方案的机组应根据发电机组类型、发电机组容量、事故后潮流转移及电网电压支撑等因素综合考虑后进行选取，避免出现线路过载等衍生事故，宜优先考虑切除水电机组和新能源机组。若新能源机组容量占比较高，应避免出现因新能源机组大规模脱网引起低频减负荷动作的情况。

5.4 电力系统自动高频切机方案中的被切机组与第二道防线稳定控制的被切机组不宜重叠布置。

5.5 当系统暂态最高频率不超过 50.5 Hz 时，自动高频切机装置不应动作，且应避免因系统短路故障、直流系统短时功率波动（换相失败、直流再启动等）等引起的自动高频切机装置的误动作。

6 装置的配置原则

6.1 电力系统自动高频切机装置配置时，应考虑故障发生概率进行故障设防。

6.2 电力系统自动高频切机装置应能适应系统各典型运行方式，且应考虑系统可能发生的严重系统频率异常升高情况。

6.3 高频切机装置应先于汽轮机超速保护（OPC）和发电机高频保护动作，OPC 和高频保护定值应根据实际情况进行调整。

6.4 电力系统自动高频切机装置的基本轮可为 3 轮~6 轮，也可考虑配置长延时的特殊动作轮，使系

统运行频率不致长期悬浮于 50.5 Hz 以上。或采用手动或自动发电控制装置，使频率恢复至满足稳态频率运行要求。

6.5 高频切机第一轮频率启动阈值应满足 5.5 的要求，一般不低于 50.6 Hz。

6.6 高频切机各轮次间的频率阈值级差和延时设置应避免出现误动或超调情况，频率阈值级差宜选用 0.2 Hz~0.3 Hz，延时宜选用 0.3 s~0.5 s。

6.7 高频切机每轮次切机量，可按照单轮次切机容量被切除后（切除前系统功率已趋于平衡状态）引起的频率降低不致使系统低频自动减负荷装置动作来设置单轮次切机量最大值。

6.8 高频切机装置可在前几轮分配给较大切机量，且留有一定裕度，以保持切机总量满足方案要求。

6.9 高频切机装置的机组选取，应适应于联网或孤网的不同运行方式，按不引起衍生事故的原则轮流切除。

6.10 高频切机装置应采用性能优良的微机型高频切机装置，宜独立配置。

7 定值的整定方法

7.1 整定计算的基本内容和目的

考虑电力系统各种运行方式，针对引起有功功率过剩的各种故障开展整定计算，依据系统暂态过程的频率特性，制定高频切机配置方案。

7.2 整定计算的基本条件和方法

7.2.1 电力系统高频切机装置的整定方法宜先采用单机单负荷模型快速确定最小切机容量、各轮次间级差和延时等基本参数（具体方法参见附录 B），再采用大电网全模型来校核和调整装置的各项参数。

7.2.2 单机单负荷模型计算只考虑系统平均频率变化，系统各机组间的频率偏差可在大电网全模型校核计算中考虑。

7.2.3 单机单负荷模型计算可不考虑系统电压变化对频率特性的影响，系统负荷的电压特性可在大电网全模型校核计算中考虑。

7.2.4 电力系统高频切机装置整定时，有功负荷的频率调节系数宜采用实测参数，系统频率调节系数一般为 1~3；若无实测参数，可选 1.5~2.5；系统规模较小时，可选 2 以上。

7.2.5 电力系统高频切机装置整定时，机组的调速器模型参数宜采用实测值。

8 高频切机与机组高频保护、超速保护协调配置

8.1 高频切机与机组高频保护的协调配置

高频切机与机组高频保护的协调配置应满足以下要求：

- a) 机组高频保护是为保护发电机组本身的安全，其动作应滞后于高频切机装置。
- b) 水电机组、火电机组的高频保护定值可设置为高于高频切机方案最后一轮的动作定值，若无法调整机组高频保护定值，则在整定高频切机方案时，应计及机组的高频保护动作影响。
- c) 新能源机组的高频保护定值宜高于高频切机方案第一轮的动作定值，在整定高频切机方案时，应计及新能源机组高频保护动作的影响。

8.2 高频切机与机组超速保护的协调配置

高频切机整定方案配置宜使得系统频率波动过程中最高频率不超过 51.5 Hz。若方案配置难以实现，应建议发电企业适当调整机组超速保护的定值，防止机组超速保护反复动作引发系统振荡。

附录 A
(资料性附录)

汽轮发电机频率异常允许运行时间

汽轮发电机频率异常允许运行时间见表 A.1。

表 A.1 汽轮发电机频率异常允许运行时间

频率范围 Hz	累计允许运行时间 min	每次允许运行时间 s
51.0 以上~51.5	>30	>30
50.5 以上~51.0	>180	>180
48.5~50.5	连续运行	
48.5 以下~48.0	>300	>300
48.0 以下~47.5	>60	>60
47.5 以下~47.0	>10	>20
47.0 以下~46.5	>2	>5

附录 B
(资料性附录)

高频切机单机单负荷模型平均频率偏差理论推导

B.1 系统不考虑旋转备用情况

电力系统的转子运行方程为

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_e = \frac{P_m}{\omega} - \frac{P_e}{\omega} \approx \frac{P_m}{\omega} - \frac{P_L}{\omega} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

J ——系统的转动惯量;

ω ——同步角速度;

T_m ——机械转矩;

T_e ——电磁转矩;

P_m ——发电机机械功率;

P_e ——发电机电磁功率;

P_L ——负荷电功率, 略去有功网损时, 发电机电磁功率近似等于负荷功率, 即 $P_e \approx P_L$ 。

不考虑发电机组备用容量的情况, 发电机组的 P_m 将保持为恒定值, 令为 P_{m0} 。负荷电功率是母线电压的函数, 也是系统频率的函数, 但很难估计系统电压变化对全系统负荷功率变化的综合影响, 所以简化计算中认为母线电压不变, 则负荷功率可用 $P_L = P_{L0} f^{K_L}$ 表示, K_L 为负荷的频率调节系数。由公式 (B.1) 得系统运行特性方程为

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{P_m}{\omega} - \frac{P_{L0}}{(2\pi)^{K_L}} \omega^{K_L-1} \dots\dots\dots (B.2)$$

令事故瞬间转速为 ω_0 , P_{L0} 为负荷功率初始值, 事故后 $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$, $T_m = T_{m0} + \Delta T_m$, $T_e = T_{e0} + \Delta T_e$, 取系统的惯性常数 $M = J\omega_0$, 则有

$$T_m = T_{m0} + \Delta T_m = \frac{P_{m0}}{\omega_0} + \left. \frac{dT_m}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0} \cdot \Delta\omega = \frac{P_{m0}}{\omega_0} - \frac{P_{m0}}{\omega_0} \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \dots\dots\dots (B.3)$$

$$T_e = T_{e0} + \Delta T_e = \frac{P_{L0}}{\omega_0} + \left. \frac{dT_e}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0} \cdot \Delta\omega = \frac{P_{L0}}{\omega_0} + (K_L - 1) \frac{P_{L0}}{\omega_0} \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \dots\dots\dots (B.4)$$

根据公式 (B.1) 可得

$$M \frac{d}{dt} \frac{\Delta\omega}{\omega_0} + \left[\frac{P_{m0}}{\omega_0} + (K_L - 1) \frac{P_{L0}}{\omega_0} \right] \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{P_{m0}}{\omega_0} - \frac{P_{L0}}{\omega_0} \dots\dots\dots (B.5)$$

公式 (B.5) 的时域解析解为

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{P_{m0} - P_{L0}}{P_{m0} + (K_L - 1)P_{L0}} \left[1 - e^{-\frac{P_{m0} + (K_L - 1)P_{L0}}{\omega_0 M} t} \right] \dots\dots\dots (B.6)$$

定义系统发电出力过剩量标幺值 K 为

$$K = \frac{\text{剩余发电容量} - \text{负荷容量}}{\text{负荷容量}}$$

即

$$P_{m0} = (1 + K)P_{L0} \dots\dots\dots (B.7)$$

根据公式 (B.6) 和公式 (B.7) 可得最终频率 f_∞ 为

$$f_\infty = \left[1 + \frac{1}{1 + (K_L / K)} \right] f_0 \dots\dots\dots (B.8)$$

从公式 (B.8) 可以初步推论, 系统最终稳态频率随着 K 的增大而增大, 并随着 K_L 的减小而增大。说明负荷频率调节系数越小, 抑制系统频率升高的能力越弱。

B.2 系统考虑旋转备用情况

电力系统通常会留有一定容量的旋转备用, 可以定义调差系数 R 的倒数为稳定后的发电机机械功率增量标幺值 $\Delta P_m / P_{m0}$ 对转速增量标幺值 $\Delta\omega / \omega_0$ 之比, 且存在负数关系, 即转速增量为负数时, 机械功率增量为正值。考虑 ΔP_m 滞后于 $\Delta\omega$ 变化, 一般可用一阶惯性环节传递函数 $\beta(t)$ 表示为

$$\frac{\Delta P_m}{P_{m0}} = -\frac{1}{R} \beta(t) \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = -\frac{1}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \dots\dots\dots (B.9)$$

式中:

T ——调速器动作时间常数。

可得出有备用容量时系统频率变化方程如下

$$M \frac{d \Delta\omega}{dt} + \left[\frac{1}{R} \beta(t) \frac{P_{m0}}{\omega_0} + \frac{P_{m0}}{\omega_0} + (K_L - 1) \frac{P_{L0}}{\omega_0} \right] \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{P_{m0}}{\omega_0} - \frac{P_{L0}}{\omega_0} \dots\dots\dots (B.10)$$

由于公式 (B.10) 中存在自然对数的指数函数, 直接求取时域解析解较难, 可以采用频域法来求解解析解。为简单估算, 将运行机组的综合调速特性用一阶惯性环节函数表示时, $\Delta\omega / \Delta P_e$ 的传递函数框图如图 B.1 所示。图中 M 为系统惯性常数, s 为运算子符号, D_T 为阻尼系数, T 为综合调速器时间常数, $\Delta P_e(s)$ 为电磁功率差值。

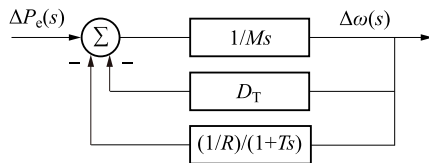


图 B.1 考虑调速器作用的 $\Delta\omega(s) / \Delta P_e$ 传递函数框图

从而求得

$$\frac{\Delta\omega(s)}{\Delta P_e(s)} = \frac{1 + Ts}{MTs^2 + (D_T T + M)s + (D_T + 1/R)} \dots\dots\dots (B.11)$$

根据公式 (B.7), 有 $\Delta P_e(s) = K / s$, 则

$$\Delta\omega(s) = \frac{K(1 + Ts)}{s \left[MTs^2 + (D_T T + M)s + \left(D_T + \frac{1}{R} \right) \right]} = \frac{K}{D_T + \frac{1}{R}} \cdot \left[\frac{1}{s} + \frac{-s + \left(\frac{1}{MR} - \frac{1}{T} \right)}{\left(s + \frac{D_T T + M}{2MT} \right)^2 + \left[\frac{D_T + \frac{1}{R}}{MT} - \frac{1}{4} \left(\frac{D_T}{M} + \frac{1}{T} \right)^2 \right]} \right] \dots\dots\dots (B.12)$$

令

$$a = \frac{D_T T + M}{2MT}$$

$$b = \sqrt{\frac{D_T + \frac{1}{R}}{MT} - \frac{1}{4} \left(\frac{D_T}{M} + \frac{1}{T} \right)^2}$$

$$c = \frac{1}{MR} - \frac{1}{T}$$

由公式 (B.12) 可求得标么 $\Delta\omega(t)$ 为

$$\Delta\omega(t) = \frac{K}{D_T + \frac{1}{R}} \left[1 - \left(\cos bt - \frac{a+c}{b} \sin bt \right) e^{-at} \right] \dots\dots\dots (B.13)$$

从而, $\Delta f(t)$ 的有名值为

$$\Delta f(t) = \frac{50K}{D_T + \frac{1}{R}} \cdot \left[1 - \sqrt{1 + \left(\frac{a+c}{b} \right)^2} \cos \left(bt + \arctan \frac{a+c}{b} \right) e^{-at} \right] \dots\dots\dots (B.14)$$

至此, 得到频率变化 $\Delta f(t)$ 的时域解析表达式。对公式 (B.14) 求极值, 可知 $\Delta f(t)$ 取最大值 Δf_{\max} 的 t_{\max} 需满足公式 (B.15), 即

$$t = \frac{\arctan \left(-\frac{a}{b} \right) - \arctan \left(\frac{a+c}{b} \right) + k\pi}{b} \dots\dots\dots (B.15)$$

式中, k 为正整数, $k=0, 1, 2, \dots$ 。

稳态情况下, 得到频率偏差绝对值为

$$\Delta f_{\infty} = \frac{50K}{D_T + \frac{1}{R}} \dots\dots\dots (B.16)$$

