

DOI: 10.7667/PSPC170583

励磁调节器低励限制整定原则和整定方法研究

解兵, 徐珂, 刘建坤, 周前, 汪成根

(国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211102)

摘要: 为解决当前常见的两种不同低励限制整定原则存在的问题, 提出根据不同低励限制动作特性, 以动作值接近机组实测进相能力的低励限制整定原则。该整定原则以实测的机组进相能力为依据, 解决了基于静稳极限低励限制整定原则中低励限制与失磁保护因误差配合困难的问题, 还解决了进相能力范围内整定低励限制原则中低励限制提前机组进相能力不利于机组进相能力发挥的问题。最后以当前常见的励磁调节器为例, 设计优化的低励限制整定方法, 使得整定后低励限制动作值尽可能接近机组实测的进相能力, 充分发挥机组进相能力并确保机组运行安全。

关键词: 励磁调节器; 低励限制; 整定原则; 低励动作特性; 整定方法

Study on the principle and setting method of low excitation limit setting for excitation regulator

XIE Bing, XU Ke, LIU Jiankun, ZHOU Qian, WANG Chenggen

(State Grid Jiangsu Electric Power Co.Ltd. Research Institute, Nanjing 211102, China)

Abstract: In order to solve the problems of the current two different excitation regulator low excitation limit setting principles, this paper puts forward the low excitation limit setting principle that the action values of low excitation limit are as close as possible to the measured leading phase capacity according to the different action characteristics of low excitation limit. This principle is based on the measured leading phase capability of the unit, and solves the problem that the low excitation limit setting principle of static stability limit is difficult to match the low excitation limit and loss of field protection because of the existing error of two devices, and can't give full play to leading phase capacity. At last, this paper designs an optimized low excitation limit setting method based on current several different excitation regulators, which makes low excitation limit action value as close as possible to the measured leading phase capacity, gives full play to leading phase capacity and ensures the safe operation of the unit.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 521001160005) "Technical Measurement Research and Demonstration Application for Improving Support Capacity of Large-scale Urban Power Grid Voltage".

Key words: excitation regulator; low excitation limit; setting principle; action characteristic of low excitation limit; setting method

0 引言

低励限制又称欠励限制, 是励磁调节器的重要辅助环节, 其主要作用是防止发电机进相过深引起机组失稳或励磁水平过低引起失磁保护动作^[1-4]。低励限制如果设置不合理, 可能引起失磁保护误动作或者限制机组进相能力的发挥, 还干扰电力系统稳

定器(Power System Stabilizer, PSS)的特性, 给系统稳定造成不利影响。澳大利亚 Mungarra 电站某机组曾因低励限制与 PSS 协调配合不当, 出现机组有功功率、无功功率和电压等电气量持续振荡^[5-6], 因此低励限制整定变得极其重要。

低励限制整定目前主要有两种原则: 1) 文献[7-8]提出, 低励限制动作曲线应按发电机不同有功功率静稳极限及发热条件确定, 并注意与失磁保护的配合, 大量文献^[9-16]在此原则下, 对低励限制与失磁保护的配合问题开展了大量的研究; 2) 而进相

基金项目: 国家电网科技项目资助(521001160005)“改善大型城市电网电压支撑能力技术措施研究与示范应用”

试验导则^[17-18]认为, 低励限制曲线应起到避免机组过度进相的作用, 因此低励限制应在实测的进相能力范围内整定低励限制定值。两种原则标准均有其合理性, 但以此开展低励限制整定的结果相差较大。

本文分析两种低励限制整定原则的出发点以及实际整定时的难易程度。从机组运行中低励限制的实际情况出发, 提出更为合理的整定原则, 并根据不同类型励磁调节器低励限制参数的特点, 按照新的低励限制整定原则设计合理的低励限制整定方法, 为工程上低励限制整定提供参考。

1 低励限制整定原则分析

1.1 早期低励限制整定原则分析

低励限制早在二十世纪八十年代开始设计并成为励磁调节器重要辅助环节。设计时要求当励磁电流过小或失磁时, 低励限制首先动作, 低励限制失效后才由失磁保护判断后动作停机, 由此可确定低励限制应该在失磁保护动作前动作。

失磁保护一般由异步阻抗圆或静稳极限阻抗圆组成, 其中异步阻抗圆以失磁故障发电机的机端异步阻抗为唯一整定原则, 不涉及静稳极限; 静稳极限阻抗圆则以发电机达到静稳极限为整定原则, 通常静稳边界阻抗圆要比异步阻抗圆大, 也就是说在发电机失磁过程中, 先进入静稳极限阻抗圆, 然后再进入异步阻抗圆。

文献[7-8]均提出低励限制动作曲线应根据发电机静稳极限及发热条件确定, 跟失磁保护中静稳极限圆整定原则基本一致, 根据同一个原则确定的低励限制定值和失磁保护定值并不能确保低励限制提前失磁保护动作。

为保证低励限制与失磁保护配合合理, 国内不少学者开展了大量的研究工作。大部分原理是将 R-X 平面的失磁保护阻抗圆和 P-Q 平面的低励限制通过计算, 统一画在 R-X 平面或 P-Q 平面, 从 R-X 平面上确定低励限制曲线在失磁保护阻抗圆外或者在 P-Q 平面上确定低励限制曲线在失磁保护曲线上, 以此来校核两者定值的合理性。

但两者的计算均是在机端电压为额定电压的基础上开展的, 根据现场运行经验, 当无功下降逼近低励限制或失磁保护动作曲线时, 必然伴随机端电压的下降。机端电压下降使得低励限制和失磁保护的实际行动值均提前于实际定值, 而且两者随着机端电压的下降, 变化的幅度并不相同, 因此即使是在同一个平面验证了低励限制定值与失磁保护定值的合理性, 也可能出现失磁保护先动作跳机的情况。

另外, 根据一起失磁保护动作时的 P 、 Q 和 U

的运行数据, 计算出失磁保护动作时的阻抗标幺值。 $R=1.211$ p.u., $X=-0.875$ p.u., 投影到失磁保护阻抗圆所处的 R-X 平面上, 如图 1 所示。可以看出, 失磁保护动作点在圆外, 计算出该点到圆心 $O(0, -j1.415)$ p.u. 的距离为 1.326 p.u., 是异步阻抗圆半径的 1.057 倍, 可见该失磁保护装置本身有大约 5.7% 的误差。

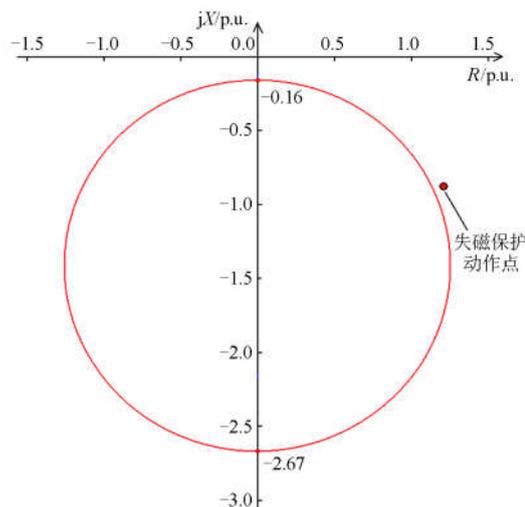


图 1 R-X 平面上失磁动作点及阻抗圆

Fig. 1 Loss of excitation protection action point and impedance circle in the R-X reference frame

一方面, 失磁保护动作值随着机端电压变化, 而且失磁保护本身有一定的误差; 另一方面, 低励限制动作值也随着机端电压甚至其他运行参数变化, 而且低励限制本身也有一定的误差。因此, 仅仅将低励限制定值设定在失磁保护定值之上并不能确保机组实际运行时低励限制先于失磁保护动作。

1.2 当前的低励限制整定原则分析

2012 年, 在结合多年来进相试验经验和低励限制功能的思考后, 国网公司颁布了 Q/GDW746-2012 企业标准, 并于 2016 年修订成行业标准 DL/T 1523-2016, 提出低励限制整定是进相试验的一部分, 且低励限制应在实测的进相能力范围内整定。

由于实测的进相能力在发电机组进相试验中已经综合考虑发电机静稳极限、失磁保护、温升以及厂用电压等情况, 在发电机组进相能力范围内能确保发电机组安全运行。在进相能力范围内整定低励限制定值, 能够使得机组在达到机组进相能力前提前动作, 避免机组运行到进相能力外的不安全区域, 确保了机组进相运行安全。

2016 年春节期间的江苏电网有电厂反映机组进相运行时未达到机组进相深度低励限制便提前动作, 影响了机组进相能力的发挥, 还造成电厂母线

电压长期越上限运行,给电网安全运行带来不利影响。通过分析得出,低励限制提前动作主要是由低励限制整定值与动作值存在偏差引起的,同时定值整定环节的偏差也降低了部分机组进相能力。随着超高压长距离线路的大量投入,电网在低负荷期间的无功形势越来越严峻,需要机组在低负荷期间尽可能发挥进相能力,以减缓电网无功过剩的问题。

由此可见,当前的低励限制整定原则能够确保机组进相运行的安全,但由于机端电压下降等因素,低励限制提前于整定值动作,造成机组不能充分发挥其应有的进相能力,不利于电网低负荷期间吸收电网过剩无功,甚至引起电压越上限运行,给电网的安全运行带来不利影响。

1.3 优化的低励限制整定原则

根据实际发电机组进相运行经验,在开展进相试验后,尽管随着电网电压的上升,发电机组实际能够进相的最大深度加深,但实际进相运行时不会超出试验给定的机组进相能力。从机组进相运行管理角度看,试验给定的机组进相能力是要求发电厂在实际进相运行中应该达到的进相深度。可见,当前发电机组进相需求是能进相至机组进相能力,但不超出进相能力外。

低励限制如果设置较低,可能出现失磁保护先动作的情况,使得低励限制功能失效;如果设置过高,则可能出现低励限制提前动作,限制机组进相能力的发挥。所以,低励限制设计的功能应该满足发电机组进相运行需求,使得机组运行能够达到机组进相能力又不超过机组进相能力。

根据低励限制实际功能需求,低励限制整定应以低励限制动作值逼近机组实测进相能力为整定原则,既能避免与失磁保护配合困难的问题,又能充分发挥机组进相能力。

2 不同励磁调节器低励限制整定方法

从多种型号励磁调节器低励限制动作特性看,大部分励磁调节器实际动作值与整定值存在偏差,且偏差随机组运行工况变化而变化。要满足低励限制动作值与机组进相能力尽可能接近,需研究不同励磁调节器的动作特性,并制定对应的优化整定方法。本文针对江苏电网常见的几种类型励磁调节器,设计优化的低励限制整定方法,为工程上励磁调节器低励限制整定方法提供参考。

2.1 多点组合式低励限制整定方法

目前,大部分励磁调节器都采用几组有功、无功定值组成低励限制曲线,包括 ABB、南瑞电控、南瑞继保、南自和 GE 等大部分厂家。其中 ABB、

GE 励磁调节器低励限制的有功定值固定,只能设置无功定值;国内南瑞电控、南瑞继保、南自的有功定值也能修改,而且低励限制的动作特性也不相同,需要根据具体低励限制动作特性优化整定方法。下面以 ABB、南瑞电控、南瑞继保三家励磁调节器为例,说明优化的低励限制整定方法,其他励磁调节器在研究动作特性后也可参照以上方法执行。

2.1.1 ABB 励磁调节器低励限制整定方法

ABB UNITROLL 系列励磁调节器最常见的有 UNITROLL 5000 和 UNITROLL 6000 两种型号,其低励限制定值分别由五组、六组有功和无功组成,所有定值采用百分比形式,以额定容量为基准。整定低励限制参数时,只能改变无功部分数值,有功部分是 0 至 1 平均分配的五组或六组数据,无法修改。

对于 ABB UNITROLL 系列励磁调节器,动作值与整定值的偏差与机端电压、有功和无功等多个因素相关,不同型号甚至不同软件版本的励磁调节器的低励限制动作值的偏差情况也不相同。本文以新版本 UNITROLL5000 型励磁调节器为例,说明优化的低励限制整定方法。

首先通过励磁调节器低励限制 PID 模块推导出 PID 输出公式,然后在不同工况开展低励限制功能验证试验,确定低励限制动作的逻辑。UNITROLL5000 低励限制 PID 输出公式如式(1)所示。

$$PID_{out} = (U^2 \times Q_0 - I_Q) \times \frac{\frac{U}{X_q} + I_Q}{\sqrt{I_p^2 + (\frac{U}{X_q} + I_Q)^2}} \times Gain \quad (1)$$

式中: Q_0 为低励限制定值; Gain 为低励限制器的增益; I_p 为当前有功电流分量; I_Q 为当前无功电流分量。

该系列软件低励限制动作特性是:当 PID_{out} 等于 0.4%, PQ 限制器动作,动作后,无功无明显回调过程。可见,该励磁调节器动作值跟机端电压、有功、无功、定值 Q_0 以及增益设置有关。

一般机组开展进相试验时,有功工况分别为额定有功的 50%、75%和 100%,而 UNITROLL 5000 的低励限制的有功定值是视在功率的 0、25%、50%、75%和 100%,与试验有功不一致,需要通过插值计算出最接近机组进相能力的低励限制动作值。假设进相试验时,机组在额定有功的 50%、75%和 100%时的进相能力分别为 $Q_{50\%P}$ 、 $Q_{75\%P}$ 、 $Q_{100\%P}$,低励限制在视在功率的 0、25%、50%、75%和 100%时的动作值分别为 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 、 Q_5 。首先根据

试验工况中 $75\%P_N$ 和 $100\%P_N$ 时进相能力曲线计算 $75\%S_N$ 和 $100\%S_N$ 下的动作值, 如式(2)、式(3)所示。

$$Q_4 = \frac{(0.75 \times S_N - 0.75 \times P_N)(Q_{100\%P} - Q_{75\%P})}{P_N - 0.75 \times P_N} + Q_{75\%P} \quad (2)$$

$$Q_5 = \frac{(S_N - 0.75 \times P_N)(Q_{100\%P} - Q_{75\%P})}{P_N - 0.75 \times P_N} + Q_{75\%P} \quad (3)$$

然后根据 $75\%P_N$ 和 $25\%P_N$ 时进相能力计算 $25\%S_N$ 和 $50\%S_N$ 下的动作值, 如式(4)、式(5)所示。0 工况下的动作值设置成跟 $25\%S_N$ 时动作值一致, 即: $Q_1 = Q_2$ 。

$$Q_2 = \frac{(0.25 \times S_N - 0.5 \times P_N)(Q_{75\%P} - Q_{50\%P})}{0.75 \times P_N - 0.5 \times P_N} + Q_{50\%P} \quad (4)$$

$$Q_3 = \frac{(0.5 \times S_N - 0.5 \times P_N)(Q_{75\%P} - Q_{50\%P})}{0.75 \times P_N - 0.5 \times P_N} + Q_{50\%P} \quad (5)$$

图 2 是某 1 000 MW 机组试验获得的进相能力及通过上述公式计算出的低励限制动作曲线。

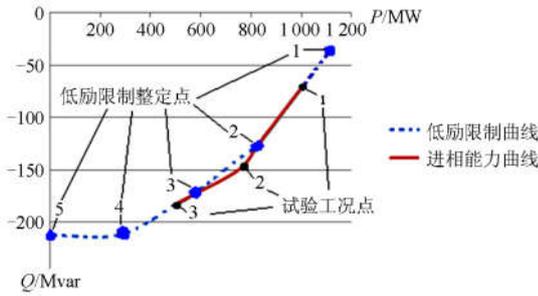


图 2 进相能力和低励限制动作曲线图

Fig. 2 Curves of leading phase capacity and low excitation limiter action

算出五个不同有功下低励限制的动作值后, 需要根据不同励磁调节器动作特性转化成低励限制定值, 转换公式可通过式(1)反推回来, 如式(6)所示。

$$Q' = \frac{\text{PID}_{\text{out}} \cdot \sqrt{I_p^2 + \left(\frac{U}{X_q} + I_Q\right)^2}}{U^2 \cdot \text{Gain} \cdot \left(\frac{U}{X_q} + I_Q\right)} + \frac{I_Q}{U^2} \quad (6)$$

式(6)中, PID_{out} 取 0.4%, U 、 I_p 、 I_Q 取进相试验时实际测量值, 通过替代计算, 可使得低励限制动作值尽可能与机组进相能力接近。

2.1.2 南瑞电控励磁调节器低励限制整定方法

南瑞电控 NES5100 和 NES6100 型励磁调节器的低励限制定值由五组、六组有功和无功组成, 与 ABB 励磁调节器不同的是有功、无功定值均可修改, 因此可以通过修改有功、无功定值, 使得低励限制定值完全与发电机进相能力曲线一致。

根据最初低励限制设计要求, 低励限制动作曲

线应与机端电压相关, 因为发电机电压下降, 稳定裕度也降低, 现在根据发电机实测的进相能力设定低励限制动作曲线, 由于在实测的进相试验中已经考虑了机端电压下降的影响, 因此理想情况应是低励动作曲线不受机端电压的影响, 与实际机组进相能力完全一致。

这两个励磁调节器低励限制动作曲线也设计成与机端电压相关, 但可以通过一个选项取消与机端电压的关联, 取消关联后通过实测, 低励限制动作值与整定值完全一致。因此对于南瑞电控这两种类型低励限制, 定值整定成与实测的机组进相能力一致, 并取消与机端电压的关联, 即可保证低励限制动作线与进相能力完全一致的结果。

2.1.3 南瑞继保励磁调节器低励限制整定方法

南瑞继保较常见励磁调节器型号为 PCS-9400, 与南瑞电控一致的是低励限制定值是由几组可修改的有功、无功定值组成, 但其动作曲线的设计是按照最初低励限制功能设计, 与机端电压相关, 且在调节器内部是硬连接, 无法取消。低励限制动作曲线与整定值的关系如式(7)所示。

$$Q_i = \left(\frac{U}{U_N}\right)^2 \cdot Q'_i \quad (7)$$

式中: Q_i 为低励动作值; Q'_i 为低励限制整定值; U 为实际机端电压; U_N 为额定机端电压。将 Q_i 设定成与有功 P_i 时实测进相能力一致, 则此时低励定值可按式(8)整定。

$$Q'_i = \left(\frac{U_N}{U}\right)^2 \cdot Q_i \quad (8)$$

另外早期的低励限制在动作后, 无功大都都有一个上抬过程, 这是因为早期低励限制定值是参照静稳极限设置, 与失磁保护比较近, 一旦低励限制动作意味着发电机运行在静稳边界, 需要抬高无功使机组远离这个区域。而现在低励限制根据机组进相能力整定, 已经保留了足够的裕度, 需要在动作曲线附近长期运行, 此时的无功上抬反而降低了机组应有的进相能力。因此, 针对这一类型的励磁调节器, 应该将低励限制动作后稳定运行的无功与机组进相能力设定成一致, 而不是低励动作点的无功与机组进相能力设定成一致。对于南瑞继保 PCS-9400 型数字调节器, 动作后的无功如式(9)所示。

$$Q''_i = \left(\frac{U}{U_N}\right)^2 \cdot Q'_i + \Delta Q \quad (9)$$

式中: Q''_i 为低励动作后无功; Q'_i 为低励限制整定值; U 为实际机端电压; U_N 为额定机端电压。将 Q''_i 设定成与有功 P_i 时实测进相能力一致, 则此时低励

定值可按式(10)整定。

$$Q'_i = \left(\frac{U_N}{U}\right)^2 \cdot (Q_i'' - \Delta Q) \quad (10)$$

2.2 两点式低励限制整定方法

两点式低励限制主要出现在早期的励磁调节器中，如南瑞电控的 SAVR2000 型励磁调节器、哈尔滨电机厂的 HWLT-4 型励磁调节器和南自早期的 PSVR100 型励磁调节器等。这种低励限制大部分定值无法修改，HWLT-4 的低励限制只能修改 $P=0$ MW 时的无功定值，SAVR2000、PSVR100 型励磁调节器能够修改两个点的无功定值。但由于点数较少，低励限制曲线无法跟机组进相能力一致，为确保所有有功下机组进相运行安全，不得不牺牲部分有功下机组进相能力。如图 3 所示，机组进相曲线大部分在低励限制曲线之下，只有一个点与低励限制曲线重合。

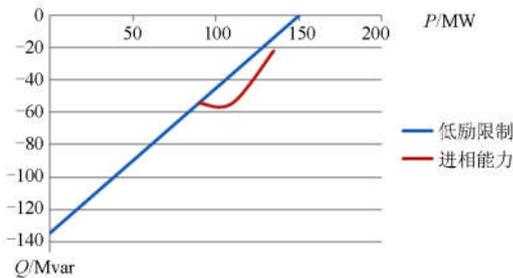


图 3 进相能力和两点式低励限制曲线图

Fig. 3 Curves of leading phase capacity and two-point low excitation limiter action

此外对于动作曲线与机端电压关联关系以及无功上抬情况，可以参照南瑞继保 PCS-9400 型励磁调节器整定方法处理。

2.3 功角型低励限制整定方法

功角型低励限制比较少见，在江苏电网只有奥地利 ELIN 公司 GMR3 系列励磁调节器。该调节器的低励限制整定定值由功角和励磁电流两个数据组成，考虑到机组空载状态时励磁电流较小，为避免修改励磁电流引起机组启动问题，低励限制整定不建议修改励磁电流定值。

对于功角，一般来讲有功越大，功角越大。为保证所有低励限制曲线在进相能力曲线以内，整定功角参数时，选择不同有功下最深进相工况时较小功角，一般以最小有功最深进相深度时的功角为准。但由于该励磁调节器低励限制动作时是以励磁调节器的计算功角为准，而计算功角跟实际功角有一定的偏差，且该偏差值随着机端电压的变化而变化。因此，针对该型低励限制定值整定，首先应获得励

磁调节器功角计算方法，并按照该计算方法分别计算不同有功下最深进相工况时的功角，最终定值设置成较小功角值。

3 结论

通过分析静稳极限和端部温升的低励限制整定原则，提出由于低励限制本身误差和失磁保护本身误差情况，难以确保低励限制和失磁保护的合理配合的缺陷；分析进相试验导则中在实测进相范围内整定低励限制曲线的原则，提出该整定原则牺牲了机组进相能力，不利于其进相能力的充分发挥；提出以低励限制动作值接近机组进相能力为目标，低励限制整定原则，并根据当前常用励磁调节器动作特性，设计优化的低励限制整定方法，使得整定后低励限制动作值尽可能接近机组实测的进相能力，充分发挥机组进相能力并确保机组安全运行。

此外，本文提出的低励限制整定原则主要是基于实测的发电机进相能力上的，而实际开展进相试验时的有功在正常运行范围内，对于有功在试验范围外的低励限制整定仍要注意与失磁保护的配合。

参考文献

- [1] 竺士章. 发电机励磁系统试验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 徐业荣, 包明磊, 李玉平, 等. 大型汽轮发电机失磁保护定值整定探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 154-159.
XU Yerong, BAO Minglei, LI Yuping, et al. Discussion on setting calculation of large steam turbine generator loss-of-excitation protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 154-159.
- [3] 徐业荣, 包明磊, 李玉平, 等. 大型汽轮发电机失磁保护定值整定探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 154-159.
XU Yerong, BAO Minglei, LI Yuping, et al. Discussion on setting calculation of large steam turbine generator loss-of-excitation protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 154-159.
- [4] 丁建顺, 王青, 马世英, 等. 发电机叠加型低励限制对电力系统动态稳定影响机制[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(8): 78-84.
DING Jianshun, WANG Qing, MA Shiyong, et al. Influence mechanism of superimposed type of under excitation limiter in generators on power system dynamic stability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(8): 78-84.
- [5] CHOI S S, LARKIN R, BASTICK M T, et al. Effects of under excitation limiters on operation of remote generating

- station[J]. IEE PROCEEDINGS-C, 1991, 138(6): 560-566.
- [6] HE Jinghan, LIU Lin, LI Wenli, et al. Development and research on integrated protection system based on redundant information analysis[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1):108-120. DOI 10.1186/s41601-016-0024-y.
- [7] 国家能源局. 大型汽轮发电机自并励静止励磁系统技术条件: DL/T650—1998[S]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
National Energy Administration. Specification for potential source static exciter systems for large turbine generators: DL/T650—1998[S]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.
- [8] 国家能源局. 大型汽轮发电机励磁系统技术条件: DL/T 843—2010[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
National Energy Administration. Specification for excitation system for large turbine generators: DL/T 843—2010[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [9] 王青, 刘肇旭, 孙华东, 等. 发电机低励限制功能的设置原则[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(6): 55-60.
WANG Qing, LIU Zhaoxu, SUN Huadong, et al. General principle of generator under excitation limiter settings[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(6): 55-60.
- [10] 李辉, 鲁功强, 王育学, 等. 大型水轮发电机失磁保护与低励限制配合问题的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 68-72.
LI Hui, LU Gongqiang, WANG Yuxue, et al. Discussion on coordination between loss of excitation protection and under excitation limit control for large hydro-generator[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(5): 68-72.
- [11] 郭春平, 余振, 殷修涛. 发电机低励限制与失磁保护的配合整定计算[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(28): 129-132.
GUO Chunping, YU Zhen, YIN Xiutao. Coordinative setting calculation of minimum-excitation limit and loss-of excitation protection for generator[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(28): 129-132.
- [12] 丁傲, 谢欢, 刘平, 等. 发电机励磁调节器低励限制协调控制分析[J]. 电网技术, 2012, 36(8): 193-198.
DING Ao, XIE Huan, LIU Ping, et al. Analysis on coordinated control of under-excitation limiter of generator excitation regulator[J]. Power System Technology, 2012, 36(8): 193-198.
- [13] 郑涛, 余青蔚, 詹荣荣, 等. 调相机接入对发电机失磁保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(4): 50-56.
ZHENG Tao, YU Qingwei, ZHAN Rongrong, et al. Impact of synchronous condenser access on generator loss of excitation protection[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(4): 50-56.
- [14] 刘伟良, 荀吉辉, 薛伟. 发电机失磁保护与低励限制的整定配合[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(18): 77-80.
LIU Weiliang, XUN Jihui, XUE Wei. Matching setting of loss-of-excitation protection and low exciting limit for generator[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(18): 77-80.
- [15] 汪静, 余高旺. 华东电网并网机组涉网保护相关标准及核查问题分析[J]. 电力工程技术, 2017, 36(5): 66-70.
WANG Jing, YU Gaowang. Analysis of related standards and verification problems of grid-related generator protection in State Grid East China Branch[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(5): 66-70.
- [16] 鲜霄, 寻志伟, 周道军. 大型发电机运行与无功控制[J]. 电工技术学报, 2015, 30(5): 99-105.
XIAN Xiao, XUN Zhiwei, ZHOU Daojun. Operation and reactive power control of large turbine-generators[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(5): 99-105.
- [17] 戴申华. 一起励磁系统通道异常导致的故障分析[J]. 电力工程技术, 2017, 36(1): 106-108.
DAI Shenhua. Analysis of the tip cause by abnormal channel of excitation system[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(1): 106-108.
- [18] 国家电网公司. 同步发电机进相试验导则: Q/GDW746—2012 [S]. 北京: 国家电网公司, 2012.
- [19] 国家能源局. 同步发电机进相试验导则: DL/T 1523—2016[S]. 北京: 中国电力出版社, 2016.
National Energy Administration. Guide on leading power factor operation test of synchronous generator: DL/T 1523—2016[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2016.

收稿日期: 2017-04-21; 修回日期: 2018-03-25

作者简介:

解兵(1979—), 男, 通信作者, 硕士, 高级工程师, 研究方向为源网协调技术研究等; E-mail: xbcquhv@163.com

徐珂(1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为源网协调技术研究等; E-mail: neuwander@163.com

刘建坤(1980—), 男, 硕士, 研究员级工程师, 研究方向为主要方向为电力系统稳定分析等。E-mail: jiankun-liu@163.com

(编辑 魏小丽)