

大容量燃气轮发电机在起动过程中继电保护应采取的措施

刘志文¹, 赵斌¹, 沈燕华¹, 姚晴林²

(1. 许继电气有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230009)

摘要: 大容量燃气轮发电机几乎都采用变频起动方式, 在变频起动过程中是否应加装专门的低频过流保护以及某些子保护是否应被闭锁的问题, 当前在国内工程学术界有争论。详细分析了静止变频器 (SFC) 的起动步骤及起动过程中燃气发电机组的电压、电流、转速等参量随时间变化的特性以及逆功率保护、失磁保护等在起动过程中的特征, 对变频起动过程中某些子保护是否应被闭锁提出了自己的见解。同时也对变频起动过程中加装低频过流保护的必要性以及该保护的应用提出了见解。

关键词: 燃气轮发电机; 变频起动; 静止变频器 (SFC); 低频过流保护; 继电保护

中图分类号: TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2006)20-0016-04

0 引言

近几年, 我国陆续进口了不少大容量 (如每台 40 万 kW) 燃气轮发电机组, 几乎都采用变频起动方式, 其继电保护多数是进口的, 国产保护装置正逐步进入燃气轮发电机组领域。国内有些电力设计院的设计结论以及某些研讨会的会议纪要认为: 在燃气轮发电机组变频起动过程中, 逆功率保护、失磁保护、失步保护、低压过流保护、100% 定子接地保护、断路器失灵保护、误上电保护等多种保护都应被闭锁, 待发电机并网后再解除闭锁。此外, 还有一种观点认为: 在变频起动过程中如果发电机定子回路及其引出线发生相间短路, 由于变频起动装置 (SFC) 内部的可控硅作用, 能自动将输出电流减小, 因而发电机无需装设专门的“低频过流保护”。本文对上述诸问题有不同的见解, 以下详细分析。

为了分析机组在变频起动过程中保护的特性, 有必要首先论述机组变频起动的主要步骤及起动各阶段电压、电流、转速等参数的特点。

1 静止变频器 (SFC) 的起动步骤及起动过程中燃气发电机组的电压、电流、转速等参量随时间变化的特性

采用 SFC 变频起动的接线图见图 1。

图 1 中 SFC 变频电源装置, 输入三相 50 Hz 交流, 输出为变频的三相交流, 其频率自动随发电机转速的升高而同步地升高, 基本原理为“交流—直流—交流”, SFC 内有限流电抗器, 限制短路电流及削峰作用。各 DL 为断路器; LK 为励磁开关; 各 ZD 为闸刀 (隔离开关)。

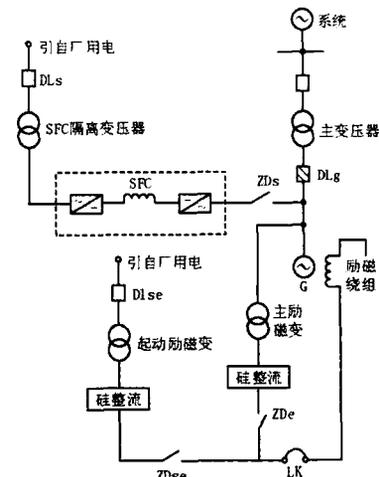


图 1 机组变频起动接线图

Fig 1 Connection of the generator & transformer unit frequency conversion start-up

机组变频起动的主要操作步骤 (按先后次序) 为:

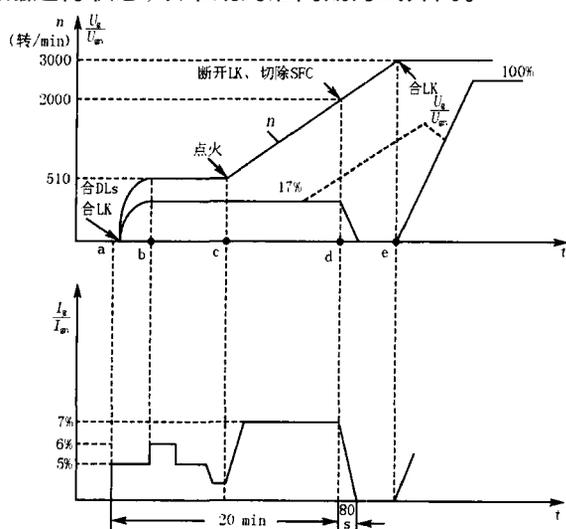
1) 合起动励磁变低压侧闸刀 ZD_{se} , 合起动励磁变高压侧断路器 DL_{se} , 合 SFC 输出端闸刀 ZD_s , 合 SFC 隔离变压器高压侧断路器 DL_s , 合励磁开关 LK, 机组相当于一个同步电动机以同步方式开始起动, 见图 2 的 a 点, 转速 n 上升, 于 b 点 $n = 510$ 转/分。电机机端电压 U_g (即 SFC 输出电压)、定子电流 I_g (即 SFC 输出电流)、转速 n 随时间变化的曲线见图 2 所示。

2) 当达到“c”点, 燃气轮机点火, 电机在 SFC (电力驱动) 及燃气轮机 (机械驱动) 的联合作用下转速急速上升。

3) 当转速达到 2000 转 / min, 见图 2 的 d 点, 断

开 LK,机组失去励磁,断开 DL_s,将 SFC 切除,电机单纯依靠燃气轮机驱动,成为发电机空载无励磁运行状态,因有剩磁, U_g 很小, I_g 为零,而转速 n 继续上升。紧跟着断开起动励磁变的 DL_{se},断开闸刀 ZD_{se},合上主励磁变闸刀 ZD_e。

4)当转速 n 接近(稍低于)3000 转/分时,合励磁开关 LK,见图 2 的 e 点,主励磁电源的电压开始加于发电机的励磁绕组,端电压 U_g 上升,定子电流仅为供给主励磁变回路的电流,机组成为发电机有励磁运行状态,以常规的准同期方式并网。



(图中 U_g 为机端电压, U_{gn} 为机端额定电压; I_g 为定子电流, I_{gn} 为定子额定电流)

图 2 大容量燃气发电机变频起动过程中转速、机端电压、定子电流随时间变化特性

Fig 2 Characteristic curve of the generator rev, the generator side voltage and stator current with the changing time during large scale gas turbine generator frequency conversion start-up

2 加装低频过流保护的必要性及保护的必要性

见图 1,在燃气轮发电机变频起动过程中,假若发电机定子绕组或引出线发生相间短路,由于 SFC 隔离变压器的容量很小,其阻抗很大,更由于 SFC 内部的限流电抗器作用,致使 SFC 隔离变压器高压侧的过流保护不会动作,而是依靠 SFC 内部可控硅的作用自动地较缓慢地将 SFC 输送到短路点的短路电流减小,保护 SFC 装置本身。可是,发电机输送到短路点的短路电流依然存在。起动过程中虽然发电机的电势小,仅为额定电势的 17%,但频率低,发电机的电抗也变小,因此发电机输送到短路点的低频短路电流仍相当

大。由于常规工频保护装置内的小变流器对低频电流传变效果差以及一些工频算法会出现较大误差,所以发电机的常规保护可能拒动,无法消除这个发电机输送到短路点的电流,会严重毁坏发电机本身。因此,必须加装低频过流保护,其电流继电器宜采用低频传变效果好的小变流器(铁芯具有特殊结构、环状、导磁率高),在软件上采用频率跟踪以及适用于低频的特殊算法等(此问题不在本文中论述);该低频过流保护出口快速动作跳开 SFC 隔离变压器高压侧断路器 DL_s,同时跳开励磁开关 LK,消除发电机输送到短路点的电流,有效地保护发电机安全。显然该低频过流保护端子电流应取自发电机中性点的电流互感器。低频过流保护框图见图 3,采用 SFC 输出端隔离开关 ZD_s 的辅助常开触点与过流元件组成“与”门出口,保证 SFC 投入时,低频过流保护投入运行,当 SFC 切除时保护立即退出。

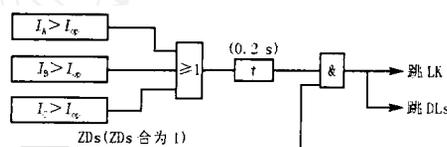


图 3 低频过流保护框图

Fig 3 Logic block diagram of low frequency overcurrent protection

低频过流保护动作电流的整定值 I_{op} 为:

$$I_{op} = \frac{K_K}{N_{TA}} I_{SFC \cdot \max} \quad (1)$$

式中: I_{SFC · max} 为机组起动过程中 SFC 输出的最大电流,见图 2; I_{SFC · max} = 0.07 I_{gn}, I_{gn} 为发电机的额定电流; K_K 为可靠系数,取 1.2 ~ 1.3; N_{TA} 为燃气发电机中性点电流互感器变比。

该低频过流保护实质上为低频电流速断保护,故式(1)中无返回系数。

3 燃气轮发电机在变频起动过程中各主要子保护是否需闭锁

在燃气轮发电机变频起动过程中凡是不闭锁也不会误动的保护就不必闭锁,这是原则。如果无理地无谓地以断路器辅助触点来实现在机组起动过程中将保护闭锁而并网后又解除闭锁,如此多次往复倒动,反而引起保护及操作回路出现问题,是不可取的。

3.1 逆功率保护

在机组变频起动过程中 SFC 投入的阶段内,燃气轮电机是吸取有功功率的,相当于同步电动机以同步方式起动,所以燃气轮发电机的逆功率保护会

误动。为防止误动,该保护在机组起动过程中应被闭锁,发电机并网后(或SFC切除后)该保护才投入运行;依靠发电机出口断路器DL_g的辅助常开触点(或图1中ZD_s闸刀的辅助常开触点)来达到逆功率保护上述闭锁、解除闭锁的目的。

3.2 失磁保护

常规的汽轮或水轮发电机在并网前机组起动过程中,主汽门已打开有转速而励磁开关LK尚未闭合的阶段内,发电机的电压很小 $U_g \approx 0$, 电流 $I_g = 0$ 。在试验室对失磁阻抗继电器作静态或动态试验时会出现 $U_g = 0, I_g = 0, Z_j = \text{不定值}$ 的情况,失磁阻抗继电器可能误动或抖动。所以常规的汽轮或水轮发电机失磁保护装置内设计有一个过流元件与失磁阻抗继电器 ZKJ 组成“与”门,见图4所示,该过流元件的门坎 I_{op} 很小,约为发电机额定电流 I_{gn} 的 0.03 ~ 0.06 倍,由厂家在装置内部固定,无需用户整定,专门保证在 $U_g = 0, I_g = 0$ 情况下,ZKJ 虽可能误动但“与”门可靠地不动作。过流元件若以过电压元件代替也可以,过电压元件的门坎 U_{op} 很小,随意定死一个小电压即可,例如为发电机额定电压 U_{gn} 的 0.05 倍,无需大于 SFC 投入过程中的机端电压 $0.17U_{gn}$ 。

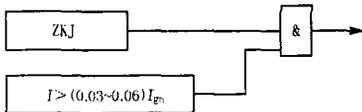


图4 常规汽轮(水轮)发电机为防止在 $Z_j = \frac{0}{0}$ 情况下失磁保护误动的措施

Fig 4 Scheme of preventing the loss of field protection of routine steamer (or turbine) generator from trip mistakenly when $Z_j = \frac{0}{0}$

见图2,燃气轮发电机在变频起动过程中的“bd”阶段内是同步电动机正常励磁(即过励)运行,电机吸取有功,发出电感性无功,机端阻抗 Z_j 的相位指向 R-X 坐标平面的第二象限(见图5)。按标么值计算 Z_j 的幅值: $U_g = 0.17$, 最大电流 $I_{SFC, max}$, 最小机端阻抗 $Z_{j, min} = 0.17/0.07 = 2.43$ 很大。而失磁阻抗继电器的动作区在第三、四象限,所以在“bd”阶段内 $Z_{j, min}$ 必落于失磁阻抗继电器动作圆之外,失磁保护可靠地不动作。同理,在机组刚开始起动的“ab”阶段内,也是同步电动机正常励磁运行状态, Z_j 也指向第二象限,失磁保护同样可靠地不动作。在“de”阶段内(LK打开、SFC切除),电机为发电机空载无励磁运行状态, $U_g \approx 0, I_g = 0, Z_j = \text{不定值}$, ZKJ 不会误动,即使 $U_g = 0, I_g = 0, Z_j = 0/0 = \text{不定值}$,失磁阻抗

继电器 ZKJ 可能误动,但图4的“与”门不动作,保护不误出口。

小结:燃气轮发电机失磁保护的整定值完全按常规的汽轮发电机的整定方法整定,在变频起动过程中失磁保护不必退出。

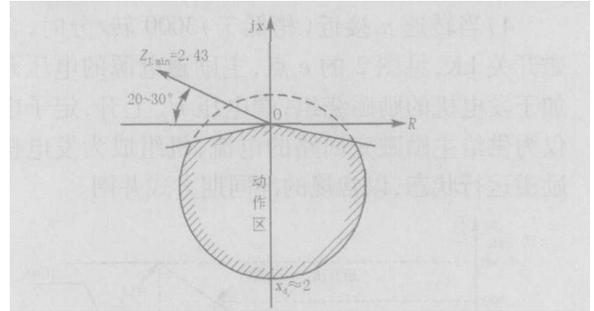


图5 燃气发电机变频起动过程中机端 Z_j 与失磁继电器动作区关系图

Fig 5 Relation diagram of the generator side impedance Z_j and the loss of field relay action area during large scale gas turbine generator frequency conversion start-up

3.3 失步保护

以单透镜失步保护为例,透镜的边界线是以躲开发电机并网运行后的最小负荷阻抗 $Z_{th, min}$ (对应最大负荷电流及最小工作电压)整定的,以标么值计算

$$Z_{th, min} = \frac{0.9U_{gn}}{1.1I_{gn}} = 0.82$$

在燃气轮发电机起动过程中 SFC 投入的阶段内(图2中的 a-d)机端最小阻抗 $Z_{j, min} = 2.43$ 且其相位在第二象限, $Z_{j, min}$ 必落于透镜之外,见图6,失步保护可靠地不误动。

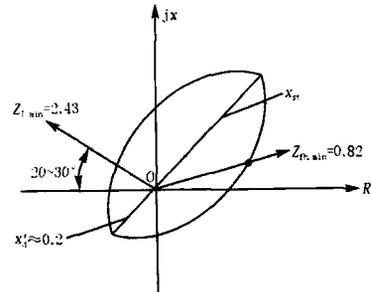


图6 燃气发电机变频起动过程中机端 Z_j 与失步保护动作特性关系图

Fig 6 Relation diagram of the generator side impedance Z_j and the out of step protection characteristic curve during large scale gas turbine generator frequency conversion start-up

在图2燃气发电机起动过程的“de”阶段内,即使 $U_g = 0, I_g = 0, Z_j = \text{不定值}$, Z_j 可能落于透镜内,也无关系, Z_j 不会滑过整个透镜且历时大于 50 ms,

失步保护不会误动,所以失步保护的透镜阻抗继电器无需像图 4 那样有一个过流元件组成“与”门。当然,失步保护像图 4 那样有一个过流元件也可以。

小结:燃气轮发电机失步保护的整定完全按常规的汽轮发电机的整定方法整定,在变频起动过程中失步保护不必退出。

3.4 误上电保护

误上电保护包含有过流元件及阻抗元件。过流元件的整定值 $I_{op} = 0.2 I_{gn}$,而燃气轮发电机变频起动过程中的最大电流 $I_{g\max} = 0.07 I_{gn}$,所以在起动过程中过流元件不误动;阻抗元件为一个全阻抗继电器,其半径 R_{set} (PT、CT一次侧值)按下式整定能保证燃气轮发电机变频起动过程中阻抗元件不误动:

$$R_{set} = \frac{0.8 U_{g\text{线}}}{\sqrt{3} \times 0.45 I_{gn}} \quad (2)$$

上式以标么值表达式为

$$R_{set} = \frac{0.8 U_{gn}}{0.45 I_{gn}} = 1.78$$

式中:“ $U_{g\text{线}}$ ”为燃气发电机额定线电压、“ U_{gn} ”为额定相电压。

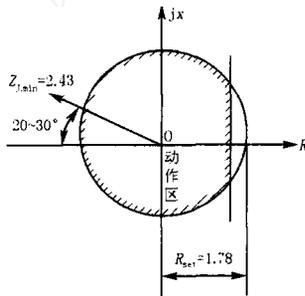


图 7 燃气发电机变频起动过程中机端 Z_j 与误上电保护动作区关系图

Fig 7 Relation diagram of the generator side impedance Z_j and the mistaken closing of circuit breaker protection action area during large scale gas turbine generator frequency conversion start-up

燃气发电机变频起动过程中 SFC 投入阶段的机端最小测量阻抗 $Z_{j,\min} = 2.43$,必落于误上电保护阻抗元件动作圆之外,阻抗元件不误动,不误动的可靠性为 $2.43/1.78 = 1.37$,见图 7。

顺便指出,常规汽轮(水轮)发电机误上电保护 R_{set} 的整定公式为

$$R_{set} = \frac{0.8 U_{g\text{线}}}{\sqrt{3} \times 0.3 I_{gn}} \quad (3)$$

比较式(2)、式(3),燃气发电机的 R_{set} 稍小些,但仍能保证误上电时保护可靠地动作。按式(2)整定,燃气发电机变频起动过程中误上电保护不必退出。其他子保护在变频起动过程中都不必退出,本文不再赘述。

结论:燃气轮发电机在变频起动过程中需加装低频过流保护。在起动过程中只逆功率保护需退出,其他所有保护均不必退出。只误上电保护整定值中的一个系数与常规的汽轮发电机相应的系数稍有不同,其他保护的整定值完全按常规的汽轮发电机的整定方法整定。

参考文献:

- [1] Mitsubishi Electric. SFC (Static Frequency Converter) Mode[Z].
- [2] 陈海龙,姚晴林. 发电机新型误上电保护的研究. 中国电机工程学会主设备继电保护学术年会论文集. 2004.

收稿日期: 2005-10-17

作者简介:

刘志文(1978-),男,大学本科,工程师,主要从事继电保护装置研究与开发;E-mail: baofug@xjgc.com

赵斌(1973-),男,硕士,高级工程师,主要从事继电保护装置研究与开发;

姚晴林(1931-),男,教授,主要从事电力系统继电保护领域的研究。

Relay protection measures adopted by large scale gas turbine generator during its start-up

LIU Zhi-wen¹, ZHAO Bin¹, SHEN Yan-hua¹, YAO Qing-lin²

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. Hefei Technical University, Hefei 230009, China)

Abstract: The start-up styles of gas turbine generators adopt frequency conversion almost, whether configure special low frequency over current protection and whether some sub-protections should be locked during large scale gas turbine generator frequency conversion start-up. For these questions, there are many arguments in China currently. Detailed analysis aims at the dissertation and some new views are presented in this paper. This paper analyzes the start-up step and the characteristics of voltage, current and rotate speed varied with times, and the characteristics of some protection such as reverse power and loss of field protections. It proposes its own opinion for some sub-protections whether should be locked or not. The necessity and the application of over current protection during start-up course are discussed.

Key words: gas turbine generator; start-up with varied frequency; SFC; overcurrent with protection low frequency; relay protection