

一种自适应的低频减载方案的设计

巫 柯, 李兴源, 李青芸

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 现行的低频减载方案都是事先制定好的, 没有充分考虑到实际系统的特征和拓扑结构, 也没有考虑到系统运行点已经具体故障的大小, 往往会造成过切或欠切现象, 因此很有必要设计出一种自适应的低频减载方案。提出了一种新的自适应的低频减载方案, 该方案基于对故障大小的估计和判断, 并根据故障大小的变化而改变。

关键词: 低频减载; 自适应; 频率滑差; 故障大小估算

Abstract: Currently the existing frequency load shedding plans are predetermined not taking the features and the topology of the actual system into account as well as the operating point and the magnitude of the disturbance. As a consequence under frequency load shedding (UFLS) very often disconnects more or less load than is required so there is a need for the development of an adaptive UFLS plan. A new adaptive UFLS plan based on the estimation of the magnitude of the disturbance is proposed.

Key words: under frequency load shedding (UFLS); self-adaptive; frequency slide difference; estimation of the magnitude of the disturbance

中图分类号: TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)02-0017-02

由于现代电网经济运行的需要, 系统备用容量偏低, 低频减载成为严守第三道防线^[1], 防止电力系统发生频率崩溃的低成本的紧急措施。当系统发生严重功率缺额时, 低频减载装置中的低频继电器向断路器发送断开信号, 通过断路器迅速断开相应数量的负荷, 使系统频率在不低于某一允许值的情况下, 达到有功功率的平衡, 防止事故的进一步扩大。

传统的低频减载采用“逐次逼近”式的方案, 这种方案预先估计系统的功率缺额, 在电力系统发生事故, 系统频率下降的过程中, 按照不同的频率整定值顺序切除负荷, 以达到稳定系统频率的目的。许多文献提到了传统 UFLS 方案的应用^[2~5]。但这种方法是根据系统最严重故障下的频率绝对值来整定, 虽然可以有效地阻止频率的下降, 但没有考虑到运行时的具体情况, 以及事故的不同等级, 往往会造成过切, 造成不必要的经济损失。并且减负荷装置必须等到频率降低到整定值以下才动作, 可能会错过最佳切除时间, 也会导致对继电器正确动作的依赖, 在伴随低电压等其他故障的时候, 继电器可能由于电压或电流低于正常工作值而被闭锁, 无法动作。

这里提出了一种新的自适应的低频减载方案, 该方案基于对故障大小的估计和判断, 可以根据故障大

小的变化而改变。

1 低频减载 (UFLS) 方案及原理

1.1 低频减载方案

现代电力系统通过建设大电站、大机组取得较高的发电经济效益的同时, 削弱了在大扰动下维持系统频率稳定性的能力, 极易发生恶性频率事故, 导致全系统的瓦解。北美和西欧等多处现代化电网的多次恶性频率事故所造成的重大经济损失更引起了各国电力系统运行与管理部门对电力系统频率稳定问题的普遍关注。

传统的低频减载是采用分级断开负荷功率并逐步修正的方法, 在电力系统发生事故, 系统频率下降的过程中, 按照不同频率整定值顺序切除负荷。也就是将接至低频减载装置的总功率分配在不同起动频率值来分批地切除, 以适应不同功率缺额的需要。这种方法只能反映系统功率缺额的大小, 并且带有一定的动作延时, 如果延时较长或出现较大功率缺额时, 就会影响抑制频率下降的效果^[6, 7, 8]。

随着计算机技术的高速发展, 出现了一些基于计算机在线应用的低频减载方法^[9]。

1) 用 $\frac{df}{dt}$ 的实时信息来判断是否应该加速切除负

基金项目: 国家重点基础研究专项经费资助项目 (2004CB217907); 国家科技支撑计划项目 (2008BAA13B01)

荷或是应该进行闭锁。

2) 自动识别频率“悬停”现象,并按各自的阶梯曲线逐步调节定值。这种方式具有动态调节定值的自适应能力和较高的安全性与可靠性。

1.2 低频减载方案整定的内容和要求

UFLS 方案的整定包括对基本轮和特殊轮各轮频率定值、延时、功率切除量的确定。基本轮的任务就是在不过切的情况下尽快制止频率下降,尽可能地使频率恢复到接近正常频率。基本轮应快速动作,为了防止在系统振荡或电压急剧下降时误动作,一般可带 0.2~0.5 s 的时限。基本轮一般按频率等距分级,每级切负荷量分别确定;特殊轮的任务是在防止基本轮动作后,避免频率长时间悬停在某一不允许的较低值或防止频率缓慢降低,特殊轮经一定时延动作,使频率值尽快恢复至 49.5~50 Hz。特殊轮通常按时间分级。

一个好的 UFLS 方案应能满足下列要求^[10]。

- 1) 在各种运行条件和过负荷条件下均能有效防止系统频率下降到危险点以下;
- 2) 在较短时间内使频率恢复到正常值,不出现超调或悬停;
- 3) 切除的总负荷尽可能小;
- 4) 整个 UFLS 方案的投资费用尽可能低。

1.3 UFLS 工作原理

如图 1 所示是一种典型的系统发生功率缺额,传统通用型低频减载装置实现按频率逐级减载(基本段和后备段),系统的频率变化轨迹图,此处暂不考虑按频率加速连切负荷的措施及其一些相关辅助判据。

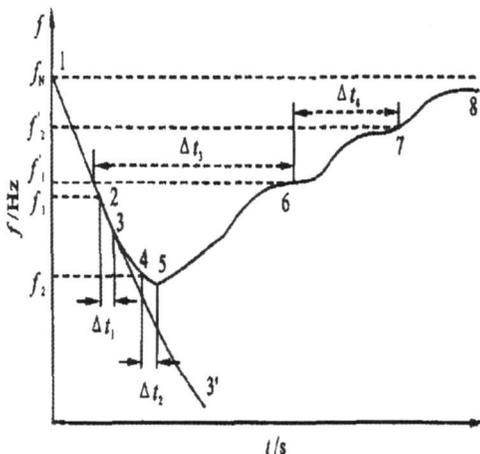


图 1 系统频率的变化过程图

如图 1 所示,在故障发生前系统频率稳定在额定值 f_n ,假如在点 1 系统发生了大量的有功缺额,系统频率将急剧下降。当频率下降到 f_1 时,第一轮低频继电器启动,延时 Δt_1 后,切除一部分负荷。如果功率缺额比较大,第一轮减载后,系统频率还会继续下降。考虑到第一轮减载的作用,系统频率按照 3-4 的曲线下降,而不是按照 3-3' 的轨迹下降。当频率下降到 f_2 时,第二轮低频继电器启动,延时 Δt_2 后,又切除一部分负荷。此时系统频率开始回升,但由于系统频率长时间悬浮于 f_1 之下,时间超过整定值 Δt_1 后,后备段减载第一轮;由于系统频率仍然低于后备段第二轮频率整定值 f_2 ,时间达到第二轮动作整定值后,动作后备段第二轮减载,之后系统频率慢慢恢复至正常工况。

然而,传统的 UFLS 经常造成过切或者欠切,这将会对系统带来不必要的损害,所以,急切需要设计出一种自适应的 UFLS 的方案。

2 自适应的 UFLS 方法

根据文献 [11],写出某台发电机摆动方程,表述如下。

$$\Delta p = 2 \frac{df}{dt} \frac{H}{f} \quad (1)$$

其中, Δp 表示该台发电机的不平衡功率, $\frac{df}{dt}$ 表示频率 f 的变化率,即频率滑差, H 表示其惯性常数, f 表示其瞬时频率, f_n 表示其额定频率。

由式 (1) 可知,对于整个系统来说,总的功率不平衡功率可表示为

$$\Delta P = \sum_{m=1}^N \Delta P_m = 2 \frac{dF}{dt} \frac{\sum_{m=1}^N H_m}{f_n} = 2\alpha \frac{dF}{dt} \quad (2)$$

其中,

$$F = \frac{\sum_{m=1}^N H_m f_n}{\sum_{m=1}^N H_m} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\sum_{m=1}^N H_m}{f_n} \quad (4)$$

以上两个参数可以事先计算出来。

(下转第 72 页)

4 结束语

从上述分析情况来看,关于特高压换流站直流开关场母线的选择上,主要受地面合成电场强度和机械强度的影响,而机械强度可以通过调整支撑点的数量进行调节,而工作电流、离子电流密度以及地面磁场强度对直流场管母线的截面和距地高度不起决定性作用。

通过上述论述表面,对于 ±800 kV、5 000~6 400

MW 的特高压直流输电工程,选择 Φ250 管母线、距地面 15 m 左右就可满足要求,但直流场母线设计是一个复杂的工作,还需结合直流场 ±800 kV 母线支柱绝缘子的特性,进行管母线截面和距地高度的进一步优化设计工作,最终确定直流场母线的截面和距地高度。

目前,云广特高压直流工程换流站直流场工程实施方案中,极母线选择 Φ250 管母线,距地高度为 16 m 左右。

(收稿日期: 2009-01-04)

(上接第 18 页)

在完成对各发电机的 f 和频率滑差 $\frac{df}{dt}$ 以及惯性常数的估算之后,未知量 ΔP 就能从式 (2) 中得到。进一步,可以得到要切除的负荷量:

$$\sum P_{LS} = \Delta P - K_L \Delta f_s \quad (5)$$

式中: $\sum P_{LS}$ 为总减负荷功率; ΔP 为系统总的不平衡功率; K_L 为负荷调节效应系数。

如果考虑到充分发挥系统旋转备用容量 (SR spinning reserve capacity) 的作用,那么减负荷总量为:

$$\sum P_{LS} = \Delta P - K_L \Delta f_s - SR \quad (6)$$

3 小结

前面提出了一种新的自适应的低频减载方案,该方案基于对故障大小的估计和判断,并根据故障大小的变化而改变。该方案的准确性有赖于对 f 和频率滑差 $\frac{df}{dt}$ 的准确测量,这将是下一步所关注的问题。

参考文献

[1] 方勇杰. 电力系统的自适应解列控制 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(20): 41-44.

[2] SMAHA, D. W. et al.: 'Coordination of load conservation with turbine-r underfrequency protection', IEEE Trans Power Appar Syst 1980, 99, pp 1137-1150.

[3] PRASETIJO, D. et al.: 'A new load shedding scheme for limiting under-frequency', IEEE Trans Power Syst, 1994, 9, (3), pp 1371-1378.

[4] HUANG, S. J., and HUANG, C. C.: 'An adaptive load shedding method with time-based design for isolated pow-

er systems', Electr Power Energy Syst, 2000, 22, (1), pp 51-58.

[5] [苏] БЕЖИКОВ В. А. 电力系统过渡状态控制 [M]. 杨笑石, 张金镔, 译. 北京: 科学出版社, 1989.

[6] P. Harrison: 'Restoring system stability by under frequency load shedding in circumstances of sudden supply deficiency. In: Proceedings of the IFAC Symposium on Automatic Control of Power Generation Distribution and Protection Pretoria (Republic of South Africa); 1980. 15-19.

[7] Kalanishwamy K. A. et al.: 'Optimal Load Shedding Taking into Account of Voltage and Frequency Characteristics of Loads', IEEE Trans on PAS Vol 104, No 6, June 1985.

[8] 高元楷, 王漪, 郑定海. 东北电力系统低频控制 [C]. 中国电机工程学会稳定控制装置研讨会资料, 湖北武汉, 1989.

[9] 秦明亮. 在频率紧急控制装置中扩充 $\frac{df}{dt}$ 应用的探讨 [J]. 电网技术. 1998, (6), 39-41.

[10] Delfino B, Massucco S, Morini A, Scalerà P, Silvestro F.: 'Implementation and comparison of different under frequency load-shedding schemes', Power Engineering Society Summer Meeting 2001, (1).

[11] ANDERSON, P. M., and FOUAD, A. A.: 'Power system control and stability' (The Iowa Press Ames 1977).

作者简介:

巫 柯 (1983-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统稳定和控制等方面的研究工作;

李兴源 (1945-), 男, 教授, 博士生导师, 中国电机工程学会理事, IEEE 高级会员, 从事电力系统稳定和控制等方面的研究工作;

李青芸 (1982-), 女, 硕士研究生, 从事电力系统稳定和控制等方面的研究工作。

(收稿日期: 2009-01-09)