

一种新型低频减载方案的研究

贾腾飞

(宿迁供电公司, 江苏省宿迁市发展大道 58 号 223800)

摘 要: 低频减载作为保障电网安全稳定运行的最后一道防线, 其研究对于当前日益复杂的电力系统具有十分重要的意义。本文首先概括地总结出传统低频减载方案的主要缺陷, 创新地提出了一种新型智能压板的概念。接着论述了按轮次分组切负荷的概念及其逻辑实现, 最后提出一种基于小区域在线实时计算功率缺额的方法, 以达到优化传统减载方案的目的, 从而进一步筑牢电网安全稳定运行的保障防线。

关键词: 低频减载; 智能压板; 在线实时计算; 功率缺额

0 引言

目前, 电力系统中低频减载方案的整定值不随电网运行方式和故障类型的变化而变化, 本质上仍属于“离线整定、离线校核、在线匹配”的控制方式, 一旦发生失配, 很容易造成欠切或过切^[1]。此外还存在低频减载装置出口跳闸压板未投入的情况, 导致发生空切, 这些都将严重威胁电网的安全与稳定。

随着计算机技术与网络通信技术的飞速发展, 微机型低频减载装置已被广泛采用, 使得在线实时测量功率成为现实, 从而可实现对低频减载总计划容量的监测。若低频减载装置的某一跳闸出口压板未投入, 则该装置对该压板所对应的线路就失去了切除控制, 实际可控负荷量也就相应减少。但传统跳闸压板的投退状态及位置只能靠现场运行人员以人工方式进行检查确认, 无法进行在线监测, 而新型智能压板可以解决这一问题。

特高压电网的建设可能会使受端系统出现的功率缺额进一步加大, 多样化的功率短缺事故将成为现代联合电力系统的主要特点。由于电网运行方式的复杂性, 对省级区域的大电网而言, 要准确快速计算功率缺额并统一实施减负荷方案存在一定的困难。但根据网络的特点, 将区域大电网划分为若干个小区域, 当故障发生时, 分小区域快速计算功率缺额并实施减负荷方案, 可以在很大程度上改善现行低频减载方案的控制效果^[2]。

1 传统 UFLS 方案的主要缺陷

由于传统低频减载方案未能按系统的实时参数对系统的稳态状况做出预测, 各级减载量根据事先

假定的负荷额定功率来计算, 本质上仍属于“离线整定、离线校核、在线匹配”的控制方式。因此, 存在以下几点难以克服的缺陷:

(1) 减载速度慢: 由于传统减载方案的每一轮总是认为系统频率正好下降到本轮动作频率, 因此必须设多个轮次, 为防止越轮次动作, 每一轮都需增加一定的延时, 势必导致减载速度慢。

(2) 减载量不准确: 由于负荷随时变化且波动剧烈, 传统减载方案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; 此外, 部分低频减载装置控制的负荷与紧急拉路序位表中所控制的负荷重叠, 部分装置控制的负荷会被自动重合闸装置、备用电源自投装置再次投入, 造成事故情况下切负荷量不足^[3]。

(3) 频率恢复缓慢: 减载速度慢和减载量不准确都会导致频率恢复缓慢。

(4) 不具有实时性: 由于电网拓扑结构和参数的实时变化以及系统中各种动态元件的多样化, 传统减载没有及时做出相应的修正, 难以反映实际系统的动态响应和控制需求, 因此不具有实时性。

随着互联电网的日益壮大和复杂化以及电力市场化改革的发展, 电网运行经济性以及控制优化的综合优化思想越来越深入人心, 因此对传统 UFLS 方案进行优化设计, 尽可能地改善低频减载的控制效果, 显得尤为迫切和重要。

2 智能压板的基本原理与作用

众所周知, 控制理论和控制技术已经非常成熟, 一般控制系统的 I/O 量和控制核心已经完全闭环, 形成一个稳定的控制系统。变电站的继电保护、测

控系统完全微机化以后,也完成了主要部分的闭环控制实现过程。但因继电保护等设备的特殊性,在跳闸出口处,必须增加出口“压板”,形成明显的断开点,便于运行人员判断继电保护装置的跳闸、合闸电路,是否直接驱动开关(断路器),对检修、运行提供了极大的方便。因此,也使变电站的控制系统中,增加了一个不能完全闭环的断点。

继电保护跳闸压板处于特殊的位置,正常运行时,是不能带电的。而压板的投退全凭人工操作,压板的位置(连通、断开)只能通过人工方式检查确认,故在实际运行中,因压板投退不当,造成保护系统不能正确行为的现象时有发生。智能压板解决了这一问题。

2.1 智能压板的基本原理

使用非电气接触原理,实现对压板位置状态的在线实时监视。当压板连通或断开时,继电保护装置可以把压板的位置信息读回去,从而把开环系统变成完整的闭环系统,实现变电站控制技术的进一步完善。也可以建立独立的压板运行系统,通过后台机建立实时运行的数据库。可根据低频减载装置的具体配置,通过专家系统判断压板投退是否正确,对于不正确的运行方式及时报警,避免出现事故,提高电网运行的安全性。

2.2 智能压板的作用

传统压板退出时,其位置无法在线监测,对应线路的实际负荷是切不掉的,从而影响低频减载总计划容量。智能压板完善了对低频减载实际可控负荷的监测,对于确保实际可切负荷总量具有重要作用。当压板退出时,其位置无法在线监测,若实施低频减载,则发生空切,未安排其它备用可切负荷补充,频率下降,导致后轮较重要负荷被切。因此,智能压板的应用对于保证较重要的负荷具有重要意义。

通过对跳闸压板位置状态的在线实时监测,动态优化切负荷的多少,确保切除有效负荷,因此,对于现代互联电网中加强第三道防线意义重大。

3 按轮次分组切负荷的含义及逻辑实现

3.1 按轮次分组切负荷的含义

按照《电力系统安全稳定导则》的要求,电力系统必须合理安排自动低频减负荷的顺序及所切负荷数量。减负荷的先后顺序,应按负荷的重要性进行安排,遵循“次要的先切,较重要的后切”这一原

则,同时保证每轮所切负荷的数量。由于运行方式、设备检修以及用户用电等原因,各轮次的负荷量变化较大,为了保证各轮次所切除的负荷数量与电网低频减负荷方案一致,可以将各轮次的负荷分成组,并按负荷的重要性对组负荷进行排序^[4]。

按轮次分组切负荷可以理解为两层含义:

(1)按轮次对负荷分组。即对低频减负荷方案中的各轮次的负荷量进行分组,所分的组数应根据负荷数量、负荷性质等具体情况加以确定。

(2)分组切负荷。按轮次对负荷分组后,所切负荷即无轮次的概念,只是当电网频率下降时,低频减负荷根据系统的功率缺额按负荷重要性的顺序切除对应的组负荷,因此,分组切负荷有效避免了负荷过切的情况。

3.2 按轮次分组切负荷的逻辑实现

3.2.1 按轮次对负荷分组

假定将某个小区域电网的所切负荷分为 n 个轮次,每个轮次分为不同的组 b_1, b_2, \dots, b_n ,则低频减负荷的总组数为 $N = b_1 + b_2 + \dots + b_n$ 。针对该小区域(为方便起见,标号为小区域1)的减负荷方案,其第 x 轮次第 y 组负荷量表示为 $\sum P_{1-xy}$,则各个轮次的负荷分组为:

(1) 第1轮次的负荷分组有 $\sum P_{1-11}, \sum P_{1-12}, \dots, \sum P_{1-1b_1}$;

(2) 第2轮次的负荷分组有 $\sum P_{1-21}, \sum P_{1-22}, \dots, \sum P_{1-2b_2}$;

(3) 依次类推,第 n 轮次的负荷分组有 $\sum P_{1-n1}, \sum P_{1-n2}, \dots, \sum P_{1-nb_n}$ 。

3.2.2 分组负荷量的计算

为了便于进行分组切负荷的逻辑实现,低频减负荷方案需要对前 y 组的负荷量分别进行计算。前 y 组的负荷量为:

$$P_{Ly} = P_{L(y-1)} + \sum P_{1-xy} \quad (1)$$

由于组负荷是按负荷的重要性进行排序的,即同一组的负荷同时切除,($y-1$)组的负荷优于 y 组负荷先切除,则第1组的负荷量为 $P_{L1} = \sum P_{1-11}$,前两组的负荷量为 $P_{L2} = P_{L1} + \sum P_{1-12}$,前三组的负荷量为 $P_{L3} = P_{L2} + \sum P_{1-13}$,依次递推,前 b_1 组的负荷量为

$P_{Lb1} = P_{L(b1-1)} + \sum P_{1-b1}$ ，前 (b_1+1) 组的负荷量为
 为 $P_{L(b1+1)} = P_{Lb1} + \sum P_{1-21}$ ，前 N 组的负荷量为
 $P_{LN} = P_{L(N-1)} + \sum P_{1-nbn}$ 。

3.2.3 分组切负荷的逻辑实现

假设低频减负荷整定方案中各个轮次所切除的负荷量分别为 $P_{LS1}, P_{LS2}, \dots, P_{LSn}$ 。

电力系统在大扰动下电网频率降低时，低频减负荷对所切负荷量的判定依据为： $F \leq F_{LSx}$ 时，

$$P_x = \sum_{k=1}^x P_{LSk} = P_{LS1} + P_{LS2} + \dots + P_{LSx}$$

低频减负荷所切负荷量同负荷轮次之间的关系为： $P_{Ly} \geq P_x > P_{L(y-1)}$ ，则 $t = T_{LSx}$ 时刻切除前 y 组的负荷量(前 y 组的负荷量必为前 x 轮负荷)。

如果整定方案所切负荷线路的功率小于投运功率且断路器在分闸位置时，系统判定该负荷线路未投运，不执行切负荷逻辑。还有一种情况是：断路器在合闸位置，而低频减载装置的出口跳闸压板未投入，此时可通过上位机对智能压板的位置实施在线监测，并告知运行人员某个出口压板未投入，因此在这种情况下低频减载装置就对该压板所对应的线路失去了切除控制，故也不执行切负荷逻辑。

4 系统稳态功率缺额的实时计算

电力系统稳定状态下的功率缺额是与低频减载相关的重要参数之一。因此，通过获取稳态功率缺额可以为低频减载作出重要的决策。

基于以下两点对各节点的功率进行计算：

- (1) 节点的功率易于测量；
- (2) 节点的功率的变化超前于频率变化，与节点稳态频率相比较，节点稳态功率缺额能较快地获取。

以5节点的系统为例测量动态过程中联络线的功率变化过程，系统接线图如图1所示。

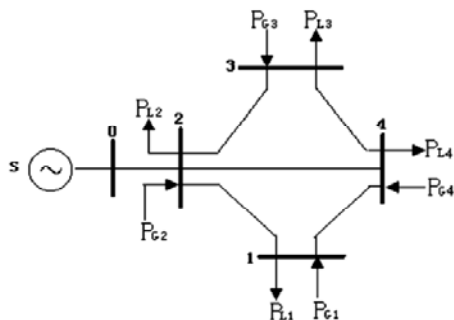


图1 5节点系统接线图

图1中各元件的参数取值如下：

(1) 节点功率

$$P_{L1} = 0.25, P_{L2} = 0.175,$$

$$P_{L3} = 0.15, P_{L4} = 0.26;$$

$$P_{G1} = 0.2, P_{G2} = 0.1, P_{G3} = 0.1, P_{G4} = 0.2。$$

(2) 输电线路阻抗

$$X_{02} = 0.015, X_{12} = 0.0758, X_{14} = 0.0606;$$

$$X_{23} = 0.0606, X_{24} = 0.1212, X_{34} = 0.0909。$$

当联络线02因事故断开时，采用电力系统仿真软件PSCAD，考虑故障后的电磁暂态过程，对各联络线上的功率变化进行仿真，动态仿真图如图2所示。

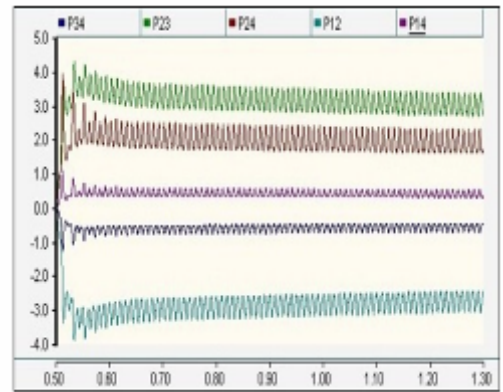


图2 联络线功率动态变化过程仿真图

由图2可见，虽然各联络线功率呈现不断振荡下降的趋势，但它有一个功率振荡中心，这个功率中心就是稳态功率。

对联络线功率进行滤波，其平均值曲线如图3所示。

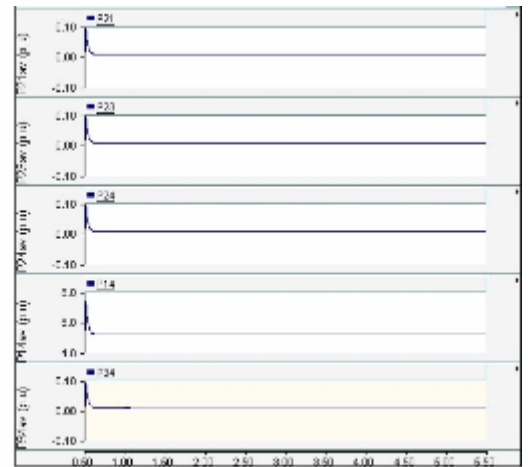


图3 联络线功率平均值变化曲线

由图3可以看出，各联络线功率的平均功率能够很快地进入稳态值，一般不大于0.2s。

因此,我们可以用联络线平均功率近似求出联络线功率稳态值,从而预测出系统的实时功率缺额。

因变电站的联络线的功率值很容易实时测量,设系统在正常运行状态下变电站联络线的功率为

$P_{\text{正常稳态}}$,系统发生故障时,变电站联络线平均功率变化曲线如图 3,由图可得联络线的稳态功率值

$P_{\text{故障稳态}}$,从而可得到该变电站的功率缺额 $\Delta P_{\text{缺额}}$,

即 $\Delta P_{\text{缺额}} = P_{\text{正常稳态}} - P_{\text{故障稳态}}$ 。因此,我们可以通

过实时计算联络线平均功率以近似求得联络线功率的稳态值,从而计算出变电站实时的功率缺额,做出减载决策。

基于实时判断联络线稳定功率的减载方案与传统 UFLS 方案比较有以下优点:

(1)减载量准确、切负荷迅速;

(2)频率恢复时间短;

(3)最低频率值高;

(4)不受系统实时功率变化的影响;

(5)仅需实时测量取直接与各变电站相连支路的运行参数,在工程上易于实现。

5 结束语

随着特高压输电工程的建设以及智能电网建设规划的出台,社会经济发展对电能质量的要求不断提高。低频减载作为维持电力系统稳定运行的最后一道防线,如何有效地提高系统在遭受大功率冲击后的稳定控制水平至关重要^[5]。目前,低频减载技术在理论研究方面已得到极大发展;特别是各种新技术在低频减载中的应用研究也得到了国内外学者

的极大关注。但另一方面,低频减载实用技术的发展又相对缓慢,各种新技术、新方案对于实际运行系统控制的有效性和可行性还有待于深入分析。本文通过提出在线监视低频减载装置跳闸压板位置以及基于小区域在线实时计算功率缺额的方法,优化了传统的低频减载方案^[6]。在实际应用中,鉴于电力系统的复杂性,如何利用更加先进的技术实现和发挥智能压板在电力系统低频减载应用中的优势,仍需作进一步研究与验证,以实现 UFLS 实用技术的长足发展。相信在不远的将来,将会实现基于网络的智能型低频减载控制系统。

参考文献:

- [1] DL428—1991 电力系统自动低频减载技术规定[S].
- [2] 秦明亮,杨秀朝.减少低频减载方案过切的措施研究[J]. 电网技术, 2002, 26(3): 83-86.
- [3] 徐泰山,李碧君,鲍颜红,等.考虑暂态安全性的低频低压减载量的全局优化[J].电力系统自动化, 2003, 27(22): 12-15.
- [4] 李秀卿,蔡泽祥.电力系统低频减载控制优化算法[J]. 电力系统自动化,1998,22(10): 23-25.
- [5] 杨博,解大,陈陈,高芳.电力系统低频减载的现状和应用[J].华东电力,2002(4).
- [6] Pasand. M. , Sanaye. Seyedi, H.. New Centralized Adaptive Under Frequency Load Shedding Algorithms. 2007 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering. 10-12 Oct. 2007 Page(s):44-48.

作者简介:

贾腾飞(1983-),男,河南信阳人,工程师,从事 110kV 及以下二次系统检修工作, E-mail: jtf1002@126.com。