

变频器对电动机差动保护的影响及解决措施

李健¹, 韩宇², 戴建根¹, 陆舒屏¹, 覃兆安¹

(1.浙江省嘉兴电力局, 浙江嘉兴 314033; 2.徐州供电公司, 江苏徐州 221005)

摘要:火力发电厂重要辅机采用变频调速,对电动机差动保护产生了重大影响。分析了应用高压变频器后电动机差动保护的装设范围,研究了变频器输出侧频率宽范围变化对常规相量差动保护的影响。同时,针对变频运行时电动机主保护缺失问题,提出采用采样值差动保护作为变频电动机主保护的解决方案。通过适当地选择 S 值,采样值差动保护对电流互感器(TA)饱和的影响具有一定的抵御能力,在工程实际中具有良好的应用前景。

关键词:电动机保护;高压变频器;采样值差动保护

中图分类号:TM722

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2011)01-0062-04

厂用电率是考核发电厂运行水平的关键指标之一。目前,造成厂用电率居高不下的一个重要原因就是厂用电动机系统调节方式落后^[1]。对发电厂机组进行高压变频技术改造,将其调节方式从机械节流改为变频调速,无疑是降低厂用电率行之有效的手段。目前,越来越多的电厂进行高压电动机采用变频器调速的技术改造。

虽然火电厂重要辅机采用高压变频调速节能降耗、实现软启动和减少磨损,但对于发电厂而言,设备运行的可靠性绝对是第一位的。变频器节能降耗所产生的效益,与因厂用辅机故障停机而导致发电机组减负荷甚至非正常停机、锅炉熄火等事故所造成的损失是无法相提并论的。高压变频调速系统的继电保护是保障系统安全运行的核心和基础。迄今,继电保护主要针对的是系统中电力电子器件的保护,功能相对薄弱,尚难以满足高压变频系统的实际应用要求。因此,研究电厂应用高压变频器对电动机继电保护,尤其是主保护的影响以及相应的解决措施,具有重要的现实意义和广阔的应用前景。

1 高压变频改造后相量差动保护应用问题

1.1 改造对差动保护范围的影响

相量差动保护原理基于基尔霍夫电流定律,被保护设备两侧电流频率一致是构成相量差动的基本条件。变频改造前、后电机差动保护装设范围如图1所示,变频改造前,电动机的保护范围1为由 a 处到 c 处区间。变频改造后,由于附加了变频器装置, a 处和 c 处电流在频率和相位上没有必然的联系。如仍按原保护范围进行差动配置,即使在系统正常工作时,也会出现一定量的差流,可能使保护误动,所以不应将变频器纳入差动保护范围。改造

后, b 处和 c 处电流在频率以及相位上仍然保持一致,因此可在保护范围2内单独构成电动机保护。

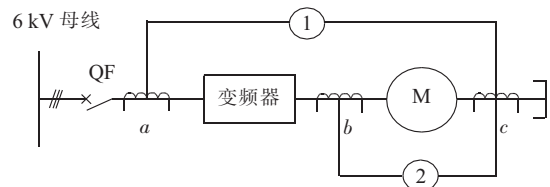


图1 变频改造前、后电机差动保护装设范围

1.2 改造后常规相量差动应用难点研究

电动机改造后,变频器输出侧 b 处电流的频率将根据现场运行情况不断调整和变化。下面分析频率宽范围变化对保持采样率不变和进行频率跟踪2种方案的影响。

1.2.1 频率变化对保持采样率不变方案的影响

假定被采样的信号为:

$$i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \\ = \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (1)$$

式中: I_n 和 φ_n 分别为 n 次谐波的幅值和初相角; ω 为基频分量的角频率。

通过数学运算得到离散形式的 n 次谐波分量的余弦系数 a_n 和正弦系数 b_n ,为:

$$a_n = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ i(k) \cos\left(\frac{2\pi n}{N} k\right) \right\} \\ b_n = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ i(k) \sin\left(\frac{2\pi n}{N} k\right) \right\} \quad (2)$$

式中: N 为周期采样次数; $i(k)$ 为第 k 次采样值。

此时周波采样点数 N 随电流频率变化。保护需要实时检测当前频率 f ,计算周波采样点数 N ,进而算出当前频率下的余弦系数 a_n 和正弦系数 b_n ,同时检测电流过零点,算出过零点后周波内采样电流相

量的实部和虚部。

这种实现方法理论可行,但面临着以下的问题:

(1) 对运算速度要求很高。通常的差动保护是算好了正、余弦系数保存为定值直接取用的,实时计算量不大,比较容易实现。而此方案则需要实时计算每个采样点的正、余弦系数,并且该计算是超越函数运算,计算量较大,难以满足继电保护快速实时计算的要求。(2) 存在计算精度问题。当采样率不变而频率变化时,很难保证算出的周波采样点数 N 是整数,这样就必须通过某种方式对 N 取整得到 $[N]$ 。根据 $[N]$ 计算每个采样点的傅立叶系数时,不可避免地存在偏差,难免会影响保护性能。

1.2.2 频率变化对频率跟踪方案的影响

频率跟踪是始终保持周波采样点数 N 恒定,采样率 f_s 随基波频率的变化而变化的采样方式。这种方法需要实时测频来调整采样率,优点是进行离散傅立叶计算时每个采样点的正、余弦系数是固定的,计算量较小。但存在着如下问题:当电流频率处于高频段时,应用该方案会对测量精度产生较大影响。

变频器的输出信号中含有高频成分,而差动保护只需要使用基波信号。为了不对微机保护的硬件系统提出过高要求,一般对输入信号先进行模拟低通滤波,滤除其最高频率,从而可以选择较低的采样频率。

根据采样定理,低通滤波器的截止频率 f_c 应该小于采样率 f_s 的一半,即应满足 $f_s > 2f_c$ 。频率跟踪时满足 $N=f_s/f_1$ 关系,其中 f_1 为基波频率。当电动机工作在低频段时 f_1 较小,为保持周波采样点数 N 不变,采样率 f_s 相应很小。截止频率 f_c 在满足采样定理的条件下应该小于采样率 f_s 的一半,因而截止频率 f_c 很低。为适应所有情况,低通滤波器的截止频率 f_c 应根据采样率 f_s 的下限值设计。当系统工作在较高频率时,电流中的高次谐波成分被全部滤除,采样电流的幅值降低较多,严重影响计算精度,进而影响差动保护的灵敏度。

基于以上问题,目前国内高压变频电动机保护的现状是,不论容量大小均以电流速断保护作为主保护。但这不符合继电保护和安全自动装置技术规程^[2]的规定,对于原本需要配置差动保护的高压电动机来说灵敏度是不够的。因此,目前高压变频电动机保护配置不足,需要采用适应频率宽范围变化的保护方案。

2 磁平衡式差动保护解决方案的探讨

针对电动机变频运行方式下保护配置不足这个问题,文献[3]提出采用磁平衡式纵差保护作为解决

措施,具体接线如图2和图3所示。电动机每相绕组的始端和终端引线分别穿过磁平衡式电流互感器(TA)一次。在电动机正常运行或外部短路时,各相始端和终端电流一进一出,互感器一次安匝数为0,二次侧无电流输出,保护不动作。该方案的优点是可以克服传统的电流平衡式纵差保护在电动机启动和外部短路时,由于电动机两侧的TA暂态特性不一致造成的误动作。

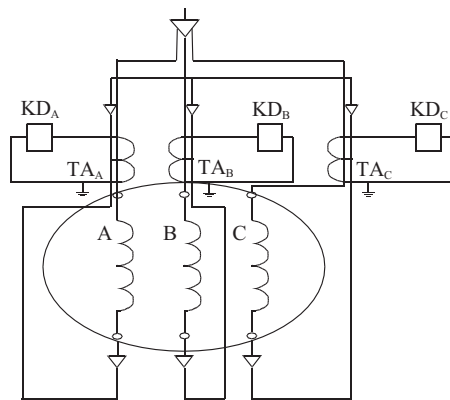


图2 磁平衡式纵差保护三相接线

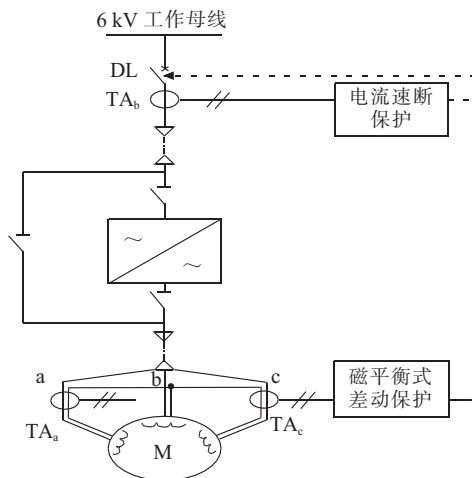


图3 电动机磁平衡式纵差保护示意图

该保护方案存在以下问题:(1) 该方案只适用于2 MW及以上中性点具有分相引线的电动机,且需要安装磁平衡式TA,存在需对电动机本体结构改造的问题,现场实施存在一定困难。(2) 变频器输出侧电流存在一定谐波分量,尤其在低频段工作时,谐波分量更高,而输出电流高次谐波分量对电机磁场有一定影响,电机运行中在磁路不对称情况下会引起漏磁通不一致,进而导致在TA内产生不平衡电流,严重影响差动保护动作的准确性。

可见,磁平衡式差动保护并不能很好地解决变频电动机保护配置不足问题,该问题的解决需要采用其他形式的差动保护。

3 应用采样值差动保护原因分析

常规相量差动保护由于频率宽范围变化而无法

应用,文中采用与频率无关的采样值差动保护作为电动机的主保护。

根据基尔霍夫电流定律,当被保护设备内没有发生短路故障时,微机保护在同一时刻采得的各支路电流采样值之和为0;当发生横向短路故障时,原来各支路电流的采样值之和等于新增故障支路电流的采样值。采样值差动保护就是利用电流采样的瞬时值来实现基于相量的常规电流差动保护动作判据^[4,5]。同相量差动相比,采样值差动不需要计算采样电流的有效值,故不需要经过傅氏计算,只是根据各个采样点瞬时值满足差动判据的情况来决定动作与否,因此可作为变频电动机的主保护。

为了提高保护灵敏度和选择性,采样值差动保护可以带有制动特性,动作曲线如图4所示(以两折线为例)。

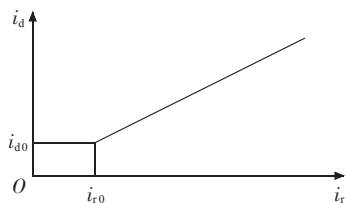


图4 采样值差动动作特性

采样值差动的动作判据一般为:

$$\begin{cases} i_d(k) \geq i_{d0} & 0 < i_r(k) < i_{r0} \\ i_d(k) \geq i_{d0} + K[i_r(k) - i_{r0}] & i_{r0} < i_r(k) \end{cases} \quad (3)$$

动作电流为:

$$i_d(k) = |i_M(k) + i_N(k)| \quad (4)$$

式中: k 为采样时刻; i_{d0} 为最小动作电流; K 为制动系数; i_M, i_N 为差动回路电流(以两端差动为例,均以流入为正方向)。

制动方式以和差制动为例,制动电流为:

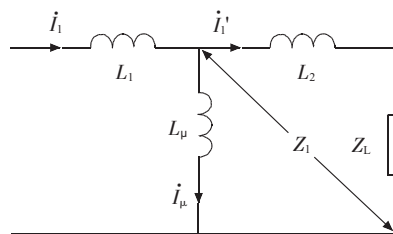
$$i_r(k) = 0.5 |i_M(k) - i_N(k)| \quad (5)$$

为防止短时干扰下采样值差动保护误动作,不容许仅凭1个采样值的判别结果马上作出跳闸判别,而是采用重复多次判断的方法,具体说就是连续 R 次采样判决中有 S 次及以上符合动作条件则判决输出动作信号。文献^[6]从确保采样值差动保护的制动性能不低于常规相量差动保护的角度分析得出, R 和 S 的选取应该满足:

$$\begin{cases} R \geq S + 2 \\ S > 0.27N \end{cases} \quad (6)$$

4 采样值差动保护抗TA饱和原理分析

TA的等效电路如图5所示。图5中, Z_1 包括了TA的漏抗和二次负载阻抗,一般情况下,电阻分量



L_μ 为励磁回路等效电感; i_μ 为励磁电流;
 Z_L 为二次负载的等效阻抗

图5 TA等效电路

占优,在定性分析时可以作为纯电阻处理^[7]。TA的励磁电流为:

$$i_\mu = \frac{Z_1}{j\omega L_\mu + Z_1} i_1 = \frac{1}{j\frac{\omega L_\mu}{Z_1} + 1} i_1 \quad (7)$$

由式(7)可知,当变频器输出的电流频率越低,铁芯越容易饱和。因此需要重点考虑当变频电动机运行在低频段时TA的饱和问题。

TA饱和会造成TA波形畸变不一致,如图6所示。考虑严重情况,假设两侧TA一个出现饱和而存在波形畸变,如 i_2 波形,另一个无失真传变,如 i_1 波形,则会因为TA传变误差在二次侧得到一个差流 i_d ,当其超过整定值时会导致差动保护装置误动。

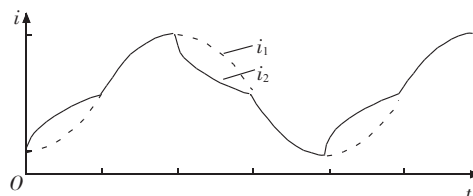


图6 TA饱和时的二次侧电流波形

理论和试验都证明,无论TA饱和有多严重,在饱和之前和每次电流过零点后总有一段时间的线性区,一般TA在故障发生后的1/4周期内还没有进入饱和。如图7所示,差流在过零点附近会出现间断,不平衡电流 i_d 宽度 φ 短于1/2周期,若 S 值对应的角度不小于 π ,必能躲开TA饱和时产生的差流。

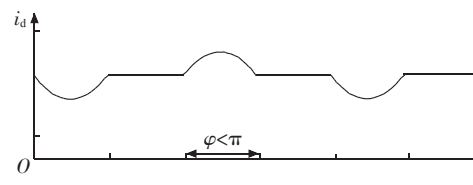


图7 TA饱和时的不平衡电流波形

5 结束语

目前,高压变频器已逐步在电厂推广运用。文中对电动机变频改造给差动保护带来的影响做了初步分析,并得出如下结论。

(1) 对于使用变频器的电动机来说,因为变频

器的输入和输出电流在相位上没有必然的联系,所以不应将变频器纳入差动保护范围,而只单独保护电动机。

(2)电动机变频运行时,常规相量差动保护由于不能正确、可靠地保护电动机而退出运行,造成主保护缺失。采样值差动保护因为实现过程与频率无关可以得到应用。采样值差动保护动作判据中最小动作电流、斜率、拐点电流的确定借鉴常规比率差动定制整定,使得整定有据可依且简单易行。

(3)当变频器输出的电流频率很低时,铁芯容易饱和。为保证采样值差动保护能够克服TA饱和的影响,可适当加大判别数据窗。

参考文献:

- [1] 赵家荣.“十一五”十大重点节能工程实施意见读本[M].北京:中国发展出版社,2007.
[2] GB 14285—2006,继电保护和自动装置技术规程[S].

- [3] 张超,张艳艳,黄生睿.大容量变频器对电动机继电保护的影响[J].继电器,2007,35(17):9-11,54.
[4] 袁荣湘,陈德树,马天皓,等.采样值电流差动保护原理的研究[J].电力自动化设备,2000,20(1):1-3.
[5] 陈德树,马天皓,刘沛,等.采样值电流差动微机保护的一些问题[J].电力自动化设备,1996,16(4):3-8.
[6] 杨经超,尹项根,陈德树,等.采样值差动保护动作特性的研究[J].中国电机工程学报,2003,23(9):71-77.
[7] 张保会,尹项根,索南加乐,等.电力系统继电保护[M].北京:中国电力出版社,2005.

作者简介:

- 李 健(1983-),男,安徽宿州人,硕士,从事变电运行工作;
韩 宇(1986-),男,江苏徐州人,技师,从事电网调度工作;
戴建根(1973-),男,浙江嘉兴人,技师,从事变电运行管理工作;
陆舒屏(1967-),男,浙江嘉兴人,技师,从事变电运行管理工作;
覃兆安(1982-),男,湖北荆州人,本科,从事变电运行管理工作。

Solutions to the Problems of Influences on Motor Differential Protection after Applying Frequency Converter

LI Jian¹, HAN Yu², DAI Jian-gen¹, LU Shu-ping¹, TAN Zhao-an¹

(1. Jiaxing Electric Power Bureau, Jiaxing 314033, China; 2. XuZhou Power Supply Company, XuZhou 221005, China)

Abstract: It makes great impacts to the traditional motor differential protection when the high-voltage converter is applied in important auxiliary generators of coal-fired power plants. This paper analyzes the installation scope of motor differential protection after applying high-voltage converter and studies the influences on traditional motor differential protection due to the converter side frequency fluctuation of a wide range. Sampling value differential protection can be adopted as main protection for motor when it works in frequency-conversion mode. Sampling value differential protection can guard against TA saturation by selecting appropriate value of S , and it has a well application value in engineering.

Key words: motor protection; high-voltage frequency converter; sampling value based differential protection

(上接第 61 页)

Power Frequency Withstand Test System for GIS Based on Optimum Design of Compensation Reactor

WU Jian-min¹, WU Xiao-chun¹, WEI Li-xin², ZHANG Zhi-ying²

(1. Shanghai Extra High Voltage Power Transmission of SMEPC, Shanghai 200063, China;

2. Siyuan Electric Co. Ltd., Shanghai 201108, China)

Abstract: In view of present situation of power frequency withstand test for underground GIS equipment, this paper proposed a new small test system of power frequency withstand and partial discharge test for 500 kV GIS based on the optimum design of compensation reactor and SF₆ insulation. The partial discharge of the test system only is 3.2 pC. Besides, the test system has already been applied successfully in 500 kV GIS transformer substation. It is proved that the system can fully meet the test requirements and improve the accuracy of partial discharge test.

Key words: 500 kV GIS; power frequency voltage withstand; compensation reactor; optimum design

电磁骚扰是指什么?

电磁骚扰是指任何可能引起设备、装备或系统性能降低或者对有生命或者无生命物质产生损害作用的电磁现象。电磁骚扰可引起设备、传输通道或系统性能下降。它的主要要素有自然和人为的骚扰源、通过公共地线阻抗/内阻的耦合、沿电源线传导的电磁骚扰和辐射干扰等。电子系统受干扰的路径为:经过电源,通过信号线或控制电缆、场渗透,经过天线直接进入;通过电缆耦合,从其他设备来的传导干扰;电子系统内部场耦合;其他设备的辐射干扰;电子设备外部耦合到内部场;宽带发射机天线系统;外部环境场等。