

高压变频系统电动机保护方案研究

杨青松,李玉平,张玮,康丰,李进

(南京国电南自电网自动化有限公司,南京 211100)

摘要:针对高压变频电动机改造的特点,采用基于频率跟踪的相量差动和采样值差动的双重判据构成差动保护。介绍了变频电动机保护的配置方案,阐述了过零点检测算法和傅氏算法相结合的频率跟踪方法。对研制的保护装置进行仿真实验,实验结果表明该装置能够在不同频率下对变频电动机提供快速可靠的保护。

关键词:高压变频电动机;保护;频率跟踪;采样值差动;过零点检测

中图分类号:TM 774 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2016)12-0006-03

0 引言

随着厂网分家、竞价上网等政策的逐步实施,发电厂降低厂用电率势在必行。变频调速以其优异的调速、启动和制动性能,在发电厂的风机类和泵类负载中得到广泛应用^[1]。对发电厂辅机进行高压变频改造,能够实现电机软启动,减小电机启动电流,减少对电机定子绕组绝缘层的冲击和机械磨损^[2];同时,传统的机械节流调节方式经济性较差,将其改为变频调速,能够有效降低厂用电率,提高系统电机效率^[3]。

相对于变频改造带来的经济效益,保证辅机设备安全可靠运行也是发电厂重点关注的问题。不论何种形式的变频器,在运行中均会产生不同程度的谐波电压和电流,使电动机在非正弦电压、电流下运行^[4],给电动机带来发热等问题,对设备的长期运行产生一定的影响。在以往的高压变频调速系统中,变频工况下的继电保护主要针对的是变频器的电力电子器件,对电动机的保护相对薄弱^[5],因此研究变频电动机保护装置具有非常重要的工程价值。

本文研究的保护装置能够实现电动机变频运行时的差动及后备保护,同时实现工频运行时的差动保护。装置采用电流跟踪频率方式,实时检测电动机的运行频率并调整采样频率,保证每周波采样点数不变。差动保护采用基于频率跟踪的相量差动和采样值差动相“与”的动作判据,后备保护的配置包括过电流、负序、电过负荷和热过负荷等。本文介绍了变频电动机保护在高压变频系统的应用方法,详细阐述了频率跟踪以及差动保护算法。研制了变频电动机保护样机,样机软硬件调试成功后利用实时数字仿真仪(RTDS)进行了仿真实验。

1 变频电动机保护工作原理

为了确保变频器发生故障时不影响高压电动机的运行,变频改造基本采用变频器加工频旁路的结构。高压变频系统主要包括移相变压器、变频器和旁路柜3部分(如图1所示),其中移相变压器起到系统隔离的作用,变频器将工频电源变换成另一频率的电源,旁路柜用于变频/工频运行方式的切换。电动机工频运行时,旁路开关GD3闭合,GD1, GD2断开;变频运行时,旁路开关GD3断开,GD1, GD2闭合。在进行切换控制的过程中,变频器输出端绝对不允许与电源直接相连,即GD2和GD3之间形成了互锁操作。装置通过识别GD2, GD3的开入位置,判别电动机的运行状态,自动切换保护功能。

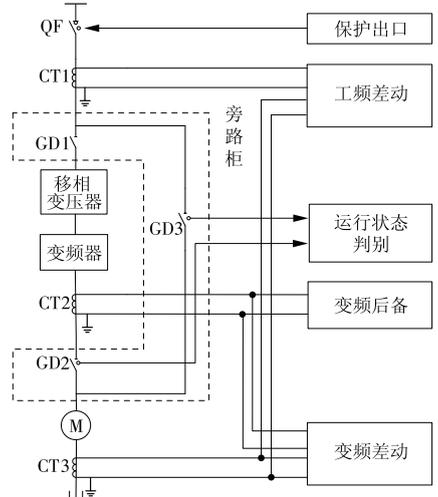


图1 高压变频系统电动机保护配置示意

常规的工频差动保护是在断路器的电动机侧以及电动机的中性点处安装一次电流互感器(CT),计算两侧构成的差流,判断电动机的内部故障。电动机加装变频器后,CT1, CT3采集到的电流频率不一致,无法形成差动回路,此时可在变频器的输出端和

电动机中性点处增加能够适应宽频变化的差动保护。传统的一次 CT 在低频时的故障电流达到 20 倍额定电流,很容易出现饱和现象,不能在宽频范围内正确变换电流。为了正确获得变频运行时电动机的机端和中性点电流,CT2,CT3 必须选用专门的宽频 CT,且需满足 TA 箱内空间小、结构紧凑等要求。为了判别变频运行时电机的各种故障,可根据 CT2 检测的电流配置过电流、负序、电过负荷和热过负荷等后备保护。

2 频率跟踪

电动机在变频工况下的实际运行频率一般为 15 ~ 50 Hz,按照行业标准,电动机保护的频率范围为 10 ~ 70 Hz^[6]。装置通过频率跟踪和变频采样方式实现宽频范围的保护,首先要准确检测电动机的运行频率。由于变频器输出端一般不装设一次电压互感器(PT),选择变频器输出端和电动机中性点处的三相电流作为频率测量信号。电流跟踪频率方式的主要技术难点在于采样电流频率不确定且含有大量的谐波分量。

电力系统频率测量的方法主要分为硬件测频法和软件测频法。硬件测频一般采用过零比较器、方波形成电路及捕获口模块,该方法对信号滤波要求比较高,且占用硬件资源,增加硬件成本。目前,软件测频法理论比较成熟,过零点检测算法、最小二乘算法、卡尔曼滤波算法、傅氏算法、三点测频法等已被广泛应用于电力系统频率的测量和计算^[7]。本装置采用过零点检测算法和傅氏测频算法相结合的算法,快速准确地跟踪电动机的运行频率。

过零点检测算法通过记录过零点的时刻来计算相邻两个过零点的时间间隔,从而得到信号的半个周期。对信号进行采样处理后,未必能检测到采样值为零的时刻^[8],通常在过零点附近做斜率处理,即判断前一点采样值小于零、当前点采样值大于等于零或前一点采样值大于等于零、当前点采样值小于零,经过这两个点做一条斜线,确定过零点的准确时刻。该算法易于实现,计算量小,在半个周波内即可得到信号的瞬时频率,适合用于频率的快速跟踪。但是变频器的输出电流富含谐波,过零点附近采样值的波动将影响其测频精度。基于傅氏算法的测频方法能够有效抑制谐波及直流分量的影响,计算精度较高。因此,可以通过零点检测算法快速跟踪频率,待电动机以稳定的频率运行后,再采用傅氏测频算法准确测得频率。

装置采用全波傅氏算法计算变频器输出端三相电流的正序分量,其递归形式如下

$$I_1^{\text{new}} = \begin{cases} I_R^{\text{new}} = I_R^{\text{old}} + (i(n) - i(n - N)) \times \\ \sin(2\pi n/N) \\ I_1^{\text{old}} + (i(n) - i(n - N)) \cos(2\pi n/N) \end{cases},$$

式中: $i(n)$ 为当前最新采样值; $i(n - N)$ 为 1 个周波前的采样值; $I_R^{\text{new}}, I_1^{\text{new}}$ 为基于当前点的一周波采样值经傅氏变换求得的基波电流相量的实部、虚部; $I_R^{\text{old}}, I_1^{\text{old}}$ 为基于前一点的一周波采样值求得的基波电流相量的实部、虚部。

当电动机的频率不发生变化时,正序电流的相位保持初始相位不变;当电动机的频率发生 Δf 变化时,则每个周波会产生 $2\pi\Delta f$ 的相位差。通过测量正序电流相位的变化量,计算出频率的变化量,准确测得电动机运行频率,进一步调整保护装置的采样频率,提高电机稳定运行时保护的精度。

3 差动保护

差动保护是大型高压电气设备广泛采用的一种保护方式。根据国家继电保护规程的规定,2 MW 及以上的电动机均应设差动保护,2 MW 以下且速断保护灵敏度较低的电动机也应装设差动保护^[9]。传统的电动差动保护采用工频相量差动检测电动机的内部短路故障,其原理是采用某种算法(如傅氏算法)计算出电动机机端和中性点电流若干个采样值的相应基频分量的幅值/相位或实部/虚部,然后求出两侧电流的相量和作为差动电流,再根据采用的动作特性判据构成差动保护。

变频运行后,电动机的两侧电流非工频信号,此时可用基于频率跟踪的相量差动代替工频相量差动。装置实时跟踪电动机的运行频率并调整采样频率,频率变化时保持每周波采样点数不变,因此每个采样点的傅氏系数仍是固定的。在此基础上,用差分半波傅氏算法进行差动电流与制动电流的相量计算,再按照比率制动特性进行相量的比较。差分半波傅氏算法能够有效抑制直流分量和谐波分量,同时兼顾相量差动的计算精度和动作速度。

实际情况下,相量计算的结果一定程度上会受到电流频率宽频率变化的影响^[10]。为防止频率突变时相量差动产生较大的差流而导致保护误动,装置增加了采样值差动判据。根据基尔霍夫电流定律,直接对同一时刻电动机机端和中性点电流的采样值进行差动判别,再由多次判别的结果决定是否发出跳闸动作。采样值差动采用非线性的制动特性,以躲过电动机启动过程中或正常运行时的不平衡电流,表达如下

$$\begin{cases} |i_m| + |i_n| \geq K_1 I_{\text{dset}} \\ |i_m + i_n| \geq K_2 (|i_m| + |i_n|) \end{cases},$$

式中: i_m 为电动机首端电流的采样值; i_n 为相同时刻电动机中性点电流的采样值; K_1 为采样值差动制动电流门槛与相量差动动作电流门槛的比例系数; K_2 为采样值差动制动系数。

由于电动机运行频率变化时每周波的采样点数不变,可固定按照连续的 R 点中有 S 点满足采样值差动判据,则采样值差动满足动作条件。采样值差动不涉及傅氏计算,频率发生突变时不会影响其判别精度,抗干扰能力强。本装置用基于频率跟踪的相量差动和采样值差动相“与”作为动作条件,大大提高了电动机差动保护的可靠性。此外,保护装置对电流采样信号进行基于工频设计的滤波处理,需根据测量频率对采样点幅值进行软件补偿。

4 实验研究

本装置采用 MPC8247 的硬件核心以及 Vx-Works 的嵌入式操作系统。MPC8247 为双核结构,包括 PowerPC 603e 内核和 32 位精简指令集 (RISC) 的通信处理模块 (CPM), CPM 和内核通过双口随机存取存储器 (RAM) 互通信息。由于 CPM 分担了嵌入式 PowerPC 核的低级外围工作任务,可以使内核专注于更高级的处理任务。VxWorks 操作系统提供多任务调度、中断管理、实时的系统资源以及任务间通信,可快速实时处理大容量的信息。

为验证装置变频运行工况下差动保护的可靠性,搭建仿真模型进行了 RTDS 实验验证。图 2 为变频电动机在 25 Hz 运行时发生单相故障的电流波形,故障发生约 45 ms 后保护装置切除故障。图 3 为 60 Hz 时发生单相故障的电流波形,差动保护切除故障的时间为故障发生约 35 ms 后。经过多次试验,保护未出现误动或拒动现象。可见,采用双重判据后,差动保护能够快速可靠地切除不同频率下的故障。对装置的其他保护功能进行校验,动作时间和精度均能满足要求。

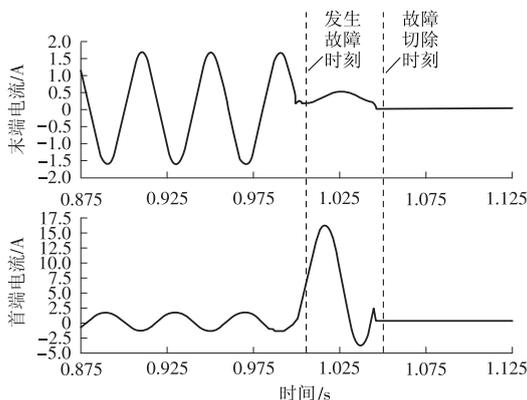


图 2 变频电机在 25 Hz 下发生单相故障时的电流波形

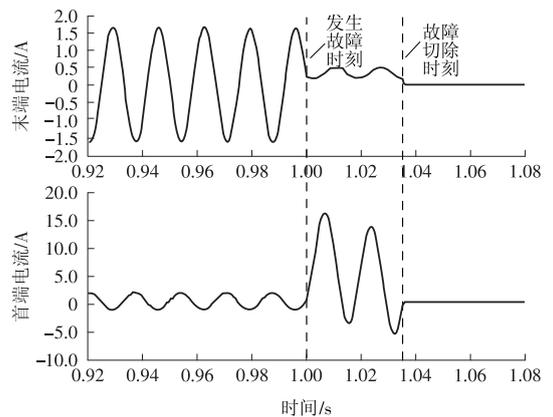


图 3 变频电机在 60 Hz 下发生单相故障时的电流波形

5 结论

传统的工频相量差动不适用于高压变频系统,本文采用基于频率跟踪的相量差动和采样值差动构成双重动作判据,实现变频电动机的差动保护。实验证明,该保护装置可为变频电动机提供快速可靠的保护,相信经过进一步完善,能够在电厂中得到推广使用。

参考文献:

- [1] 张本昌. 变频器在火力发电厂中的应用[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(5): 136-138.
- [2] 冯晓媛. 高压异步电动机变频改造中出现的问题及处理[J]. 冶金动力, 2009(4): 10-11.
- [3] 张超, 张艳艳, 黄生春. 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.
- [4] 聂娟红, 焦斌, 张玲华. 变频电动机运行现状及装设变频保护的必要性[C]//中国水力发电工程学会继电保护专业委员会. 中国水力发电工程学会继电保护专业委员会 2011 年年会暨学术研讨会论文集, 2011: 88-92.
- [5] 丁宁, 张洁, 仲伟. 高压变频电动机保护配置[J]. 电子科技, 2011, 24(8): 114-115, 118.
- [6] 电动机保护装置通用技术条件: DL/T 744—2012 [S].
- [7] 方存洋, 陈玉兰, 潘汉广. 一种实用的软件测频算法[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(12): 36-39.
- [8] 孔辉, 叶菲, 王杰贵. 一种改进的过零检测分析方法[J]. 航天电子对抗, 2007, 23(4): 50-52.
- [9] 继电保护和安全自动技术装置规程: GB/T 14285—2006 [S].
- [10] 李建, 朱彪, 梅兴虎, 等. 应用高压变频器后电动机继电保护新问题[J]. 江苏电器, 2008(10): 21-23.

(本文责编: 刘芳)

作者简介:

杨青松(1990—),男,江苏盐城人,助理工程师,工学硕士,从事电力系统继电保护(E-mail: qingsong-yang@sac-china.com)。