

WDH-825A 微机同步电动机保护装置

李嘉¹, 王雪¹, 姚晴林²

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

摘要: 介绍了最新研制成功的微机型同步电动机保护装置, 该装置针对市场对同步电动机保护产品灵敏度高、动作可靠的迫切需求开发出来, 在大量现场数据的基础上通过缜密的理论分析形成本装置独具特色的断电、失磁、失步三大保护判据。本保护装置采用了高可靠的硬件平台以及 VLD 开发技术, 具有完善的保护功能的同时还具有一定的测控功能, 不仅适用于同步电动机保护还适用于异步电动机保护, 是一款具有高品质、高性价比的保护测控一体化装置。

关键词: 同步电动机; 微机保护; 测控

WDH-825A microprocessor based motor protection

LI Jia¹, WANG Xue¹, YAO Qing-lin²

(1. XJ Electric Co. Ltd, Xuchang 461000, China; 2. Hefei Technical University, Hefei 230009, China)

Abstract: The paper introduces a successful digital synchronous motor protection which is produced recently. The protection meets market on the point that the digital synchronous motor protection must be sensitive and credible. It owns three characteristic protections, i.e. blackout protection, loss-of-field protection and out-of-step protection which are based on vast data and careful analysis. It adopts high reliable hardware platform and VLD exploitation technology. It has not only perfect protective function but also observable and controllable function. It adapts to synchronous motor and asynchronous motor. It is an integrative device which has high quality and capability/price ratio.

Key words: synchronous motor; microprocessor protection; observe and control

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)13-0075-05

0 引言

同步电动机和异步电动机相比具有以下特点: 稳态运行时, 转子转速与负载大小无关而始终保持为同步转速, 且其功率因数可以调节。因此同步电动机常用于恒速负载、需要调节功率因数的场合以及大型机械的拖动系统中。市场资料表明: 2002年12月国务院批准了《南水北调工程总体规划》。2005年, 国家专项投资支持的中部四省(湖北、湖南、安徽、江西)大型排涝泵站改造第一批项目业已启动。当前招投标情况显示, 每个泵站大约都有4~8台同步电动机, 容量一般在600 kW以上, 可见同步电动机面临着空前的大好市场, 随之而来市场对灵敏度高、动作可靠的同步电动机保护产品需求日益增强, 本保护测控装置针对市场的广泛需求研制开发出来。

1 保护装置的设计思想及特点

以用户的需求为目标, 努力让用户获得高性价

比产品。

本保护装置保护功能完善, 集成了同步电动机的常用保护, 包括: 电动机启动超时保护、定时限过流保护、反时限过流保护、负序过流保护、零序过流保护、过负荷保护、低电压保护、过电压保护、过热保护、差动速断保护、比率差动保护、差流越限告警、CT异常检测、断电保护、失磁保护、失步保护、非电量保护、PT异常检测、控制回路异常告警、弹簧未储能告警, 同时保护装置兼有一定的测控功能, 包括: 遥测、遥控、遥信、遥脉等四遥功能, 详见下文第3部分“测控功能”部分。保护装置适用于3~10 kV电压等级2 000 kW及以上的中高压大型同步电动机的保护及测控。

保护装置的硬件平台基于32位DSP技术的通用硬件平台; 软件平台采用ATI公司的RTOS系统Nucleus Plus, 保证了软件系统的高度可靠性。

保护装置的菜单结构模仿大众熟悉的WINDOWS操作菜单, 具有调试向导系统和一键完成定检功能, 使现场调试、维护、定检工作变得轻松。

保护装置的专利技术包括：VLD 开发技术：VLD 开发工具类似于“PLC”的开发环境，在该环境下所有的保护逻辑都是由不同可视化的柔性继电器组成，实现了业界用继电保护语言开发程序梦想。双连接器技术：采用后插拔双连接器的技术，实现了强弱电的彻底分离，提高了装置硬件电磁兼容能力。

保护装置的尺寸仅为 191.5×265.9×256.2 (220.0) mm，为用户节省大量的空间。

2 主要保护的原理分析

本装置除差动保护的电流取自机端和中性点 CT，其它保护的电流均取自机端 CT。要求 CT 极性端远离电动机，如图 1 所示。

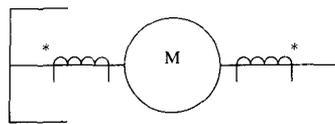


图 1 CT 的极性端
Fig.1 Polarity of CT

2.1 电动机起动超时保护

当电动机正常起动时，电流由零突然增大，超过正常运行时的最大负荷电流，随后电流将逐渐减小；在电动机起动时间内，电流将逐渐减小并小于最大负荷电流，电动机起动结束。最大负荷电流超过负荷定值，起动时间为电动机从起动到电动机转速达到额定转速的时间，考虑裕度，可整为最长起动时间的 1.2 倍。电动机起动结束后，电动机起动超时保护退出。

2.2 定时限过流保护

定时限过流保护反映电动机的定子绕组或引线的相间短路。电动机起动过程中，保护速断定值自动升为速断整定电流值的整定倍数（菜单整定）躲过电动机的起动电流；当电动机起动结束后，保护速断定值恢复原整定电流值。这样可有效防止起动过程中因起动电流过大而引起误动，同时还能保证运行中保护有较高的灵敏度。

2.3 反时限过流保护

在电动机起动过程中，反时限基准值自动升为整定电流值的整定倍数（菜单整定），以躲过电动机的起动电流；当电动机起动结束后，保护定值恢复原整定电流值。保护由控制字选取曲线。

反时限过流保护由以下三条曲线组成：

一般反时限：

$$t = \frac{0.14}{(I/I_p)^{0.02} - 1} T_p$$

非常反时限：

$$t = \frac{13.5}{(I/I_p) - 1} T_p$$

极端反时限：

$$t = \frac{80}{(I/I_p)^2 - 1} T_p$$

式中： I 为故障电流； I_p 为反时限基准值； T_p 为反时限时间常数； t 为动作时间。

2.4 负序过流保护

当电动机三相电流有较大不对称时定子中会出现较大的负序电流，此时负序电流将在转子中产生 2 倍工频的电流，大大增加转子的附加发热给电动机的安全运行带来危害。装置设置一段定时限和一段反时限负序过流保护。其中，负序定时限过流为负序速断保护，为不平衡保护的主保护，只动作于跳闸。负序定时限过流定值的推荐整定范围为 $0.6 \sim 1.2I_e$ (I_e 为电动机额定电流)，典型的定值取 I_e 比较合适。负序过流 I 段时间按躲过开关不同期合闸的时间整定，推荐整定范围为 $0.05 \sim 0.1$ s，一般可取 0.05 s。

负序反时限过流保护的公式如下：

$$t = \frac{80}{(I/I_p)^2 - 1} T_p$$

式中： I 为负序电流； I_p 为负序反时限基准值； T_p 为负序时间常数。负序过流反时限时间常数用于 FC 回路时，推荐取大一些；用于断路器回路时，推荐取小一些。

2.5 零序过流保护

装置设有零序过流保护功能，装置配置零序互感器测量零序电流 $3I_0$ 。零序电流 $3I_0$ 输入除可用作零序电流保护，又可用作小电流接地选线的输入。应用于小电流接地系统时，零序动作电流的整定应躲过本电动机外部（指机端电流互感器以外）该电压等级电网中任一点单相接地时的三倍零序电流；当应用于大电流接地系统时，零序动作电流的整定应躲过电动机正常运行及起动过程中由于三相电流不完全对称而出现的零序不平衡电流。

2.6 低电压保护

当电源电压短时降低或短中断时，为保证重要电动机自起动，要断开次要电动机，就需要配低电压保护。跳位或 PT 断线闭锁本保护。当三相相间电压同时小于电压定值并且没有跳位或 PT 断线闭

锁信号时保护动作。

2.7 过热保护

为了防止电动机过热, 因此在装置中设置一个模拟电动机发热的模型, 综合电动机正序电流 I_1 和负序电流 I_2 的热效应, 引入了等值发热电流 I_{eq} :

$$I_{eq}^2 = K_1 * I_1^2 + K_{fxfr} * I_2^2$$

式中: $K_1=0.5$ (起动过程中, 防止电动机正常起动中保护误动), $K_1=1.0$ (起动结束后); $K_{fxfr}=3\sim 10$, 模拟 I_2^2 的增强发热效应, 一般可取为 6。

当 $I_{eq} > 1.05 * I_e$ 时, 进行热累加, 过热保护方程为:

$$t = \frac{T_{fr}}{\frac{I_{eq}^2}{I_e^2} - 1.05^2}$$

当 $I_{eq} < 1.05 * I_e$ 时, 进行散热, 散热保护方程为:

$$t = \frac{T_{sr}}{-\left(\frac{I_{eq}^2}{I_e^2} - 1.05^2\right)}$$

式中: $T_{sr}=T_{fr} * K_{sr}$; 其中: I_e 为电动机额定电流; I_{eq} 为等值发热电流; T_{fr} 为过热时间常数; K_{sr} 为散热系数(软件已固化 3); T 为动作时间。

发热时间常数 T_{fr} 由电动机厂家提供, 如果厂家没有提供, 可考虑按下述方法整定:

$$\tau = \frac{\theta_e \times K^2 \times T_{qd}}{\theta_0}$$

式中: θ_e 为电动机的额定温升, K 为起动电流倍数, θ_0 为电动机的起动时温升, T_{qd} 为电动机起动时间 T (定值)。求出一组 τ 后取较小的值作为 T_{fr} 。

散热系数 K_{sr} 可取 1.5~4.5, 具体数值视环境条件而定。散热条件较差时, 应适当增大散热系数的整定值, 过热预告警水平 K_{rgj} 一般取 80%。

2.8 比率差动保护

装置采用常规比率差动原理, 其动作方程如下:

当 $I_{res} \leq I_{dz}$ 时, $I_{op} \geq I_{dz}$; 当 $I_{res} \geq I_{dz}$ 时, $I_{op} \geq I_{dz} + K_{zd} * (I_{res} - I_{dz})$ 。

满足上述两个方程, 差动组件动作。式中: I_{op} 为差动电流, I_{dz} 为差动最小动作电流整定值, I_{res} 为制动电流, I_{dz} 为最小制动电流整定值, K_{zd} 为比率制动系数。

动作电流: $I_{op} = |I_T + I_N|$

制动电流: $I_{res} = |(I_T - I_N) / 2|$

式中: I_T 、 I_N 分别为机端、中性点电流互感器的二次侧电流。

在电动机起动过程中, 保护通过控制字增加延时 120 ms 保护出口, 通过控制字退出本保护或通过控制字把起动时的比率改为 0.8, 以躲过电动机起动过程中瞬时暂态峰值电流, 提高保护可靠性。

比率差动保护能保证外部短路不动作, 内部故障时有较高的灵敏度, 其差动动作曲线如图 2 所示。

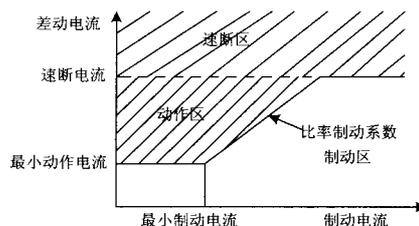


图 2 差动动作曲线

Fig.2 Action curve of differential protection

2.9 断电保护

断电后的同步电动机一般在失去电源 0.2 s 后出现失步, 断电后的同步电动机处于发电运行状态, 如果此时恢复供电, 由于没有检同期措施, 非同期合闸引起异步冲击的电流可达额定电流的十几倍, 非同期转矩可达电机额定转矩的 20~30 倍。这样巨大的冲击电流和冲击转矩将损坏电动机。所以, 同步电动机需配置断电保护。断电保护原理框图如图 3 所示。

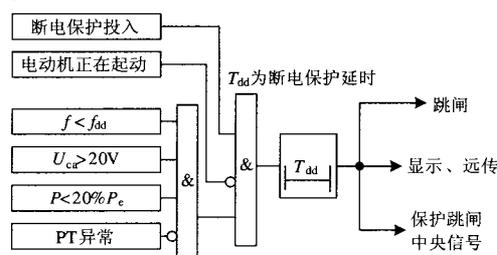


图 3 断电保护原理框图

Fig.3 Block diagram of blackout protection

1) 低频判据 $f < f_{dd}$ (f_{dd} 为频率定值)。

母线失去电源时, 同步电动机的转速会马上下降, 导致失电母线的频率随之下降。通常情况下, 电机的负载越重, 频率下降速度越快。但对负载较轻或负载变化较大的电动机, 频率下降速度相对较慢。

频率定值一般为 48.5~49 Hz 之间, 超出此范围, 可能误动作或动作较慢。

2) 电压门槛 $U_{ab} > 20 V$ 。

由于母线电压过低时, 检测频率误差增大。为使频率判据可靠动作, 采用 $U_{ab} > 20 V$ 条件, 防止频率保护误出口。

3) 功率闭锁 $P < 20\%P_e$ 。

正常时，同步电动机吸收有功为正值。当同步电动机吸收有功较小 ($0 \leq P \leq 20\%P_e$)，或者向外发出有功 ($P < 0$) 时，同步电动机有可能面临母线电源断电情况。

母线未失去电源时，由于同步电动机所在区域有功缺乏，可能导致电网频率普遍降低现象。但此时 P 通常大于 $20\%P_e$ ，本保护被可靠闭锁。

2.10 失磁保护

电动机励磁系统故障使励磁降低或全部失磁，从而导致电动机与系统间失步，对机组本身及电力系统的安全造成重大危害，因此要装设失磁保护。电动机发生低励、失磁故障后，机端视在阻抗先通过静稳边界，进而异步运行、稳态异步运行。据此，失磁保护由两个阻抗圆构成，一为静稳边界阻抗圆 Z_1 ，另一为稳态异步边界阻抗圆 Z_2 。为保证在电动机出口两相经过渡电阻短路时失磁保护不误动，静稳阻抗动作区切除了 R 坐标轴下 $10^\circ \sim 15^\circ$ 的区域。一次系统图如图 4 所示，低励失磁保护阻抗动作特性如图 5 所示，低励失磁保护原理框图如图 6 所示。（注：该保护采用发电机模型，在图 1 的前提下通过软件将电流相位较实际输入量更改 180° ，机端测量阻抗 Z_j 在此前提下计算得出。）

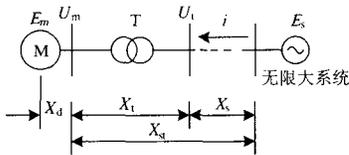


图 4 一次系统

Fig.4 Primary system

图中： X_{st} 为系统电抗； X_d 为同步电动机同步电抗； X_d' 为同步电动机暂态电抗。

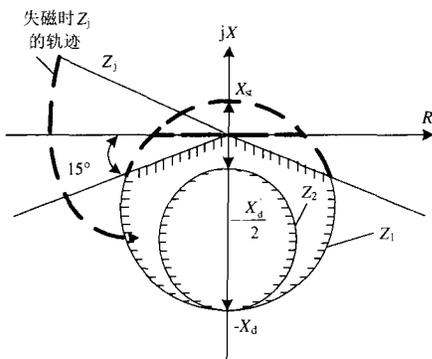


图 5 失磁保护阻抗动作特性

Fig.5 Action property of impedance in loss-of-field protection

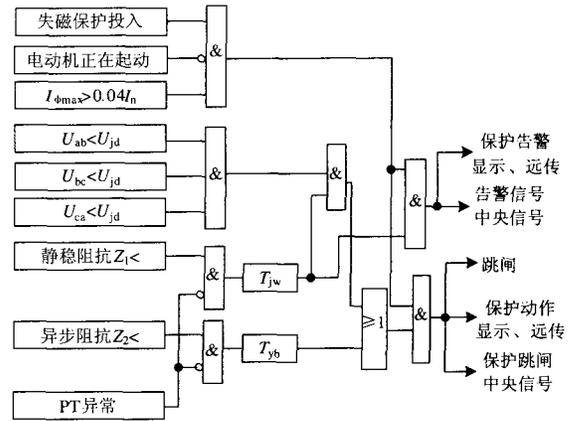


图 6 失磁保护原理框图

Fig.6 Block diagram of loss-of-field protection

图 6 中： T_{jw} 为静稳延时，建议整定为大于等于 $1 \sim 1.5$ s； T_{yb} 为异步延时，建议整定为大于等于 $1 \sim 1.5$ s。

2.11 失步保护

失步保护反应除失磁失步外由其它各种情况引起的电动机失步。失步保护采用透镜型阻抗继电器为主判据，通过机端测量阻抗随时间变化的轨迹特征来检测滑极次数，进行失步判别。失步保护阻抗动作特性图如图 7 所示。（注：该保护采用发电机模型，在图 1 的前提下通过软件将电流相位较实际输入量更改 180° ，机端测量阻抗 Z_j 在此前提下计算得出。）

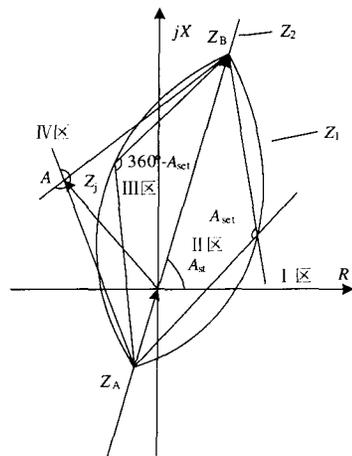


图 7 失步保护阻抗动作特性

Fig.7 Action property of impedance in out-of-step protection

图 7 中： $Z_A = X_d'$ 为同步电动机暂态电抗； $Z_B = X_{st}$ 为系统电抗； Z_1 为透镜特性阻抗组件； Z_2 为阻挡器直线阻抗组件； Z_j 为机端测量阻抗； A_{set} 为功角整定值（软件固化化为 120° ）； A_{st} 为系统阻抗角（软件固

化为 75°); A 为电动机电势超前无穷大系统电势的相角。

图 7 中, 两个阻抗组件 Z_1 、 Z_2 将阻抗平面分为四个区: I, IV 为透镜外区域, II, III 为透镜内区域。电动机失步后机端视在阻抗的轨迹会依次穿过 IV、III、II、I 区, 并返回 IV 区。

由于发生失步后阻抗轨迹的变化比短路时慢得多。据此特征, 计及阻抗轨迹穿过透镜所需的时间以区分短路与失步。只有当机端视在阻抗依次穿过 IV、III、II、I 区, 并返回 IV 区, 并且穿越透镜内所需的时间大于 50 ms, 才判定为一次滑极。

为了避免在振荡电流低谷的时间内, 过流判据 $I_{\phi_{\max}} > I_{qd}$ 返回致使保护拒动, 故增设过流判据保持 2 s。

设电动机电势超前无穷大系统电势的相角为 A , 因为振荡电流是随 A 变化的, 当 $A=180^\circ$ 时, 振荡电流比三相短路还大, 当振荡电流大于断路器遮断容量时, 断路器跳闸有损坏的危险, 为避免在 $A=180^\circ$ 附近的严重条件下断路器跳闸, 失步保护应在 $0^\circ < A < 110^\circ$ 期间发出跳闸脉冲。

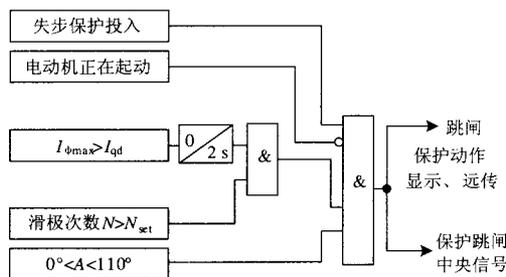


图 8 失步保护原理框图

Fig.8 Block diagram of out-of-step protection

图 8 中: $I_{qd} = \frac{K_k K_{zq}}{K_h N_{CT}} I_{fhmax}$; K_k 为可靠系数,

取 1.2; K_{zq} 为电动机自起动系数, 取 $K_{zq} > 1$; K_h 为返回系数, 取 $K_h = 0.93$; I_{fhmax} 为该电动机最大负荷电流; N_{CT} 为电动机机端电流互感器变比。

2.12 非电量保护

装置设有四路非电量保护功能, 可投退。同时

由控制字可任意选择跳闸或告警。

3 测控功能

遥测: 装置的测量回路有独立的交流输入接仪表 CT, 与保护回路的交流输入分开。测量 I_A 、 I_C 、 P 、 Q 、 $\cos\phi$ 等;

遥信: 各种保护动作信号及断路器位置遥信、开入遥信等;

遥控: 远方控制跳、合闸, 压板投退、修改定值等;

遥脉: 累计电度表的脉冲。

4 结论

本文所述微机电动机保护测控装置不仅适用于同步电动机保护, 同样也适用于异步电动机保护, 具有高品质、高性价比, 拥有广阔的市场前景。

参考文献

- [1] 杨智德,曹炳彦,姚晴林.WDH-120 系列微机电动机成套保护装置[J].继电器, 2003,31(9):52-55.
YANG Zhi-de, CAO Bing-yan, YAO Qing-lin. WDH-120 Microprocessor Based Motor Protection[J].Relay, 2003, 31(9):52-55.
- [2] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护原理(第三版)[M].北京:中国电力出版社, 1994.
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principle of Protective Relays in Electric System,Third Edition[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [3] 沈全荣,谢苏琨.微机型同步电动机成套保护装置[J].继电器,1998,26(5):30-33,39.
SHEN Quan-rong, XIE Su-kun. A Digital Synchronous Motor Protection[J]. Relay, 1998, 26(5):30-33,39.

收稿日期: 2008-08-06; 修回日期: 2008-11-20

作者简介:

李嘉(1984-),男,本科,助理工程师,主要从事继电保护装置研究与开发工作;E-mail: lijia198402@126.com

王雪(1982-),男,本科,助理工程师,主要从事继电保护装置研究与开发工作;

姚晴林(1932-),男,教授,从事电力系统继电保护与自动化的研究。