

泵站 10kV 异步电动机启动压降计算及继电保护设置分析

海端

(宁夏水投中宁水务有限公司 宁夏 中卫 755100)

摘要: 基于 10kV 异步电动机的启动特性, 分析了电机在异步运行时的机械特性。在这种运行方式下, 将 10kV 异步电动机的两组定子绕组分别指定为功率绕组时, 两组定子绕组均具有与常规异步电动机相似的特性及相应的极对。然后针对电机特性进行有限元分析仿真, 最后, 基于上述结论, 提出了一种适用于 10kV 异步电动机的异步软起动方法。

关键词: 异步电动机; 启动压降; 继电保护

0 引言

泵站 10 kV 异步电动机起动时, 如不采用起动装置, 可直接对定子绕组施加额定电压起动电动机。起动电流可达额定电流的 4 ~ 7 倍, 并能在短时间内使电动机的转速由零上升至额定转速。与此同时, 三相异步电动机的启动转矩影响很大, 一般可达额定转矩的两倍以上。电动机起动时的大电流会对电网造成严重影响, 造成压降过大, 降低电能质量, 影响其它设备的正常运行。另外, 过大的转矩冲击会引起机械应力的冲击, 从而影响电机的使用寿命。当交流电动机全电压启动时, 起动电流可达额定电流的 4-8 倍。速度从零飙升到额定速度, 对于大容量电动机来说, 这个启动过程会产生很大的冲击, 随后会对诸如传输设施之类的负载造成严重的摩擦或损坏。启动时的大电流也会造成电网电压的下降, 从而妨碍其他设备的运行, 损害电机的绝缘, 降低电机的寿命。巨大的电流还会对定子绕组和转子鼠笼条产生很大的冲击, 造成松动、线圈变形、鼠笼条断裂等故障。这就需要进行电动机启动检查, 以确保电力系统在规定的参数下安全运行。为此, 需要计算泵站电机启动时的电压骤降, 选择合适的电机启动方式, 保证供电系统的正常运行。

1 电动机启动压降控制技术概述

由于各种有效的转子结构的提出, 10kV 异步电动机近年来得到了很大的发展 [1]-[2]。据报道, 它有许多优点, 其中最重要的是没有刷和滑环。结果表明, 该机结构可靠, 维修费用极低。此外, 与双馈感应电机 (DFIM) 一样, 10kV 异步电动机所需的变换器额定值也是分数值。因此, 10kV 异步电动机在变频调速和变速恒频发电领域具有广阔的应用前景。10kV 异步电动机的启动是指电机从静止转速到自然同步转速的全过程。然而, 当 10kV 异步电动机作为电机运行时, 由于变频器容量的减小, 使得电机的启动存在问题。10kV 异步电动机有两种软启动方式, 即同步启动和异步启动。10kV 异步电动机软启动时, 控制绕组频率必须从 -50Hz 变化。如果 10kV 异步电动机采用同步启动方式, 则控制绕组的频率与启动瞬间接入电网的功率绕组的频率相同。从文献 [2] 可以看出, 在忽略电机损耗的情况下, 控制绕组的功率和功率绕组的功率是近似相等的。在这种情况下, 控制绕组需要配备全功率的逆变器, 以实现 10kV 异步电动机的同步软启动。然而, 为了充分发挥 10kV 异步电动机

变频调速的优点, 10kV 异步电动机只需在接近自然同步转速的条件下运行, 而控制 10kV 异步电动机只需配备一些功率变频器, 这与同步启动的要求明显不符。因此, 对于 10kV 异步电动机来说, 异步启动非常重要。电动机启动有三种类型: 单台最大容量电动机自启动、串联自启动和群联自启动。所有这些情况都会导致母线电压显著下降。根据技术规程, 在最大容量电动机启动时, 母线电压通常不应低于额定电压的 80%; 易启动电动机的端电压不应低于额定电压的 70%。为保证工字型电动机顺利自启动, 应检查成组电动机自启动时的母线电压。在自启动时, 母线电压不应低于规定的启动电压。高压母线的自启动电压为额定电压的 65% ~ 70%, 低压母线的自启动、高压母线的自启动和低压、高压母线的顺序自启动电压为额定电压的 55%。对于辅助电源来说, 只考虑损耗电压自启动是合适的。本文采用 ETAP 模拟了机组的启动过程。进行电机启动检查, 找出影响电机电压降的因素, 深入研究大容量电机启动对电力系统的影响, 并提出解决方案。目前使用的 90% 的负载电动机是异步电动机, 而同步电动机只用于发电。由于直流电动机主要用于直流负载的稀缺情况, 因此本文仅着眼于异步电动机, 而忽略了其他类型电动机的启动。

2 10 kV 异步电动机启动压降计算案例分析

2.1 电动机启动时母线电压的计算

电动机正常启动时母线电压的计算公式为:

$$U_m = \frac{U_0}{1 + SX}$$

其中 U_0 表示空载总线电压。有关数值设置如下: 电抗器: 1, 无励磁调节变压器: 1.05, 有载调节变压器: 1.1。S 是由此产生的负载, X 是变压器或电抗器的电抗。对于变压器有:

$$X = 1.1 \times \frac{U_d\%}{100} \times \frac{S_{2B}}{S_B}$$

其中 $U_d\%$ 为变压器的阻抗电压百分比; 对于分裂绕组变压器, $U_d\%$ 为基于高伏特绕组额定容量 (即半通阻抗) 的阻抗电压百分比。是变压器额定容量, S_{2B} 是分裂绕组变压器的支路额定容量。

$$S = S_1 + S_q$$

以 S_1 作为预启动母线负荷, 以 S_q 作为电机启动容量:

$$S_q = \frac{K_q \sum P_{ed}}{S_{2B} \eta \cos \varphi}$$

其中 k_q 为电机锁定转子电流因数, p_{ed} 为电机额定功率, η 为电机额定效率, $\cos \varphi$ 为功率因数。

电动机起动端电压为:

$$U_{stM} = \frac{S_{st}}{S_{stM}} \times \frac{S_{km} + Q_{fh}}{S_{km} + Q_{fh} + S_{st}}$$

其中, S_{st} 为电动机额定起动电路输入功率, S_{sm} 为电动机额定起动容量, S_{km} 为变压器低压母线的短路容量, Q_{fh} 为连接到变压器的其他负载的无功功率。

$$S_{st} = \frac{1}{1/S_{stM} + Z_l/U_m^2}$$

其中 Z_l 是电路阻抗。

$$S_{stM} = S_{rM} \times k_{st}$$

其中, S_{rM} 为电机额定功率, k_{st} 表示电机起动电流系数。

$$S_{km} = \frac{S_{rT}}{X_T + (S_{rT}/S_k)}$$

其中, S_{rT} 表示变压器容量, X_T 表示变压器电抗, S_k 表示系统短路容量。

上述方程表明, 电动机闭锁转子电流系数和辅助负载对电压降的影响最大。而对于电力机组, 一旦确定了容量, 负荷也就确定和固定了, 因此影响电压降的主要因素是锁定转子电流因数。

2.2 电动机启动检查

在电动机起动过程中, 起动电机类似于连接母线的小阻抗负载, 从系统中汲取大电流, 约为电动机额定电流的 6 倍, 造成系统电压下降大, 干扰其他负载的运行。由于加速转矩是由电机端电压决定的, 大多数时候, 由于端电压低, 起动电机不会立即达到额定转速。电动机起动分析的目的有两个: 一是研究起动电动机在运行条件下是否能够成功起动, 二是研究起动电动机是否会严重影响系统其他负载的正常运行。静态电机起动仿真通常用来表示电机起动过程。在加速过程中, 利用锁定转子启动电机, 模拟电机正常运行时受到的最大冲击。本文研究的风机额定功率为 9300KW、10KV、605.8 A, 功率因数为 93.41%。从结果中可以分析得出, 影响电机起动的主要参数是锁定转子电流因数。起动电流变化结果表明, 起动电流系数在可接受的范围内。母线电压变化结果表明, 母线电压总体保持在 80% 以上。当母线电压下降到 80%-85% 以下时, 满载电机不再能够驱动负载, 导致跳闸。此外, 大多数电气设备和自动控制设备对高稳定性的要求也越来越高。例如, 变频控制装置、UPS、PLC 等都要求输入功率电压达到 85% 以上, 如果不能满足这一要求, 保护装置就会以功率损耗为由停止系统运行。因此, 虽然规则规定常用大容量电动机的起动母线电压应达到 85% 以上, 少用母线的起动母线电压应达到 80% 以上, 但从保证电气设备正常运行的角度来看, 母线电压应达到 85% 以上。因此, 将转子电流锁定系数设置在 5 或 5 以上是不合适的, 这将妨碍其他高精度设备的运行。可以看出,

在辅助电力系统中, 锁定转子电流要求电机的初始参数设计非常精确。

辅助动力系统的电动机类型应根据具体情况来选择。对于小功率、易于启动的机器, 普通的异步电动机是可以接受的。对于大容量电机, 在设计时必须考虑电机的起动问题。如有必要, 工程师可以向电机制造商订购定制电机。在这样做的时候, 他们应该确保锁定转子电流尽可能小, 虽然这需要较高的成本, 但是系统的启动安全是有保证的。

3 10kV 异步电动机继电保护装置设计

传统的 10kV 异步电动机异步起动方式考虑了进一步的调速要求, 仍采用极对少的绕组作为直接接入电网的功率绕组, 另一绕组作为控制绕组直接短路或串联电阻。对于小功率 10kV 异步电动机, 可以通过控制绕组短路来实现 10kV 异步电动机的异步起动, 如图 1 所示, 但这种方法存在起动电流过大的问题。为了降低电动机起动时的起动电流, 提高起动转矩, 还可以在控制绕组侧连接一系列频率敏感电阻或可变电阻, 无需励磁电源。这种方法适用于 10kV 异步电动机在大功率应用中的应用。虽然上述两种方法都可以实现 10kV 异步电动机的软起动, 但使用短接触器或串电阻无疑会增加系统成本和器件体积。

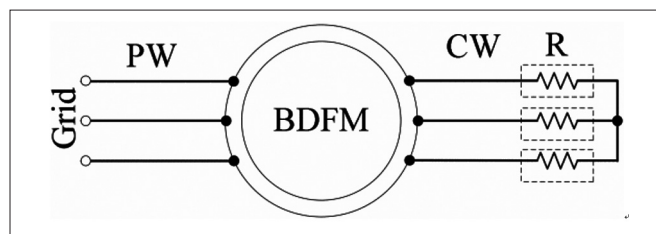


图 1 双馈异步操作接线图

针对上述软起动方法在起动过程中存在的不足, 为了获得更大的起动转矩以满足不同的应用要求, 本文还提出了一种新的 10kV 异步电动机软起动控制策略。该启动方法不需要增加额外的设备, 有效地降低了设备成本和体积。起动装置的电路结构如图 2 所示。

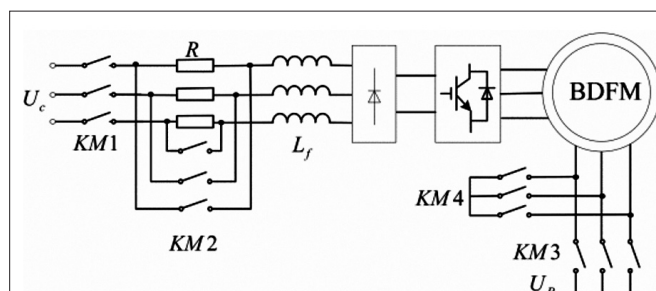


图 2 10kV 异步电动机起动器电路图

首先, 当 KM2 和 KM3 都断开时, 关闭 KM1, 然后检测直流母线电压。在直流母线电压达到预定范围后, 关闭 KM2, 完成逆变器的软起动; 其次, 关闭电源绕组侧的短路接触器 KM4, 短路电源绕组, 控制绕组侧逆变器正常供电, 调整逆变器侧控制逆变器的输出, 实现 10kV 异步电动机的软起动。最后, 当电机转速接近同步速度时, 断开电源绕组

侧的短路接触器 KM4, BDFM 切换到电源绕组提供励磁相。此时, 功率绕组侧感应电势几乎为零。为了减小功率绕组在电网中干扰时的励磁涌流, 采用了基于 10kV 异步电动机功率绕组磁链定向的矢量控制策略。通过调节控制绕组电流的 dq 轴分量, 调节功率绕组感应电压的幅值和相位, 使电网电压同步。当功率绕组感应电压与电网电压同步后, 功率绕组重新并入电网。此时, 电动机由控制绕组侧的单励磁转变为控制绕组和功率绕组同时供电的同步运行状态。当电机进入同步运行模式时, 对逆变器进行控制, 使其输出频率逐渐降低到 0。此时, 10kV 异步电动机以自然同步速度运行, 完成了 10kV 异步电动机的软启动。仿真结果表明, 电机启动后, 控制绕组电流和功率绕组电流的幅值分别控制在 30A 和 20A 左右, 几乎相当于空载电流的大小。当功率绕组并入电网时, 通过功率绕组磁链定向的矢量控制策略控制功率绕组感应电动势的幅值和相位, 有效地降低了功率绕组并网时对电流的影响。整个启动过程非常稳定, 控制绕组励磁和功率绕组励磁切换只有轻微的波动。

为了验证功率绕组的短路运行特性和控制绕组的软启动控制策略, 在 Matlab/Simulink 环境下建立了异步启动仿真模型。仿真结果如图所示:

图 3 显示 10kV 异步电动机控制绕组直接短路时两组定子绕组的电流波形。从图 3 可以看出, 在电动机启动过程中, 功率绕组的峰值电流约为 120A, 是空载电流的 5-6 倍, 控制绕组的电流约为 100A。如此大的电流会影响电源供应, 同时会在线路和电机内部产生热量。因此, 需要对电机进行软启动。

图 4 显示了无刷双馈电源线圈短路和控制线圈变频软

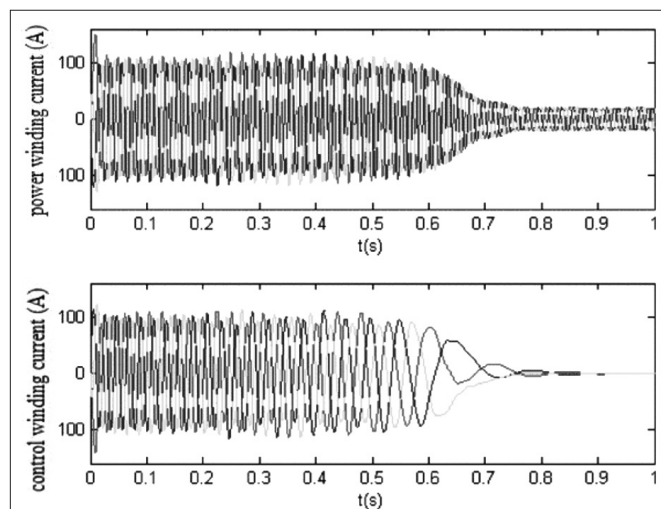


图 3 直接短路定子绕组电流波形

启动的仿真波形。仿真结果表明, 电机启动后, 控制绕组电流和功率绕组电流的幅值分别控制在 30A 和 20A 左右, 几乎相当于空载电流的大小。当功率绕组并入电网时, 通过功率绕组磁链定向的矢量控制策略控制功率绕组感应电动势的幅值和相位, 有效地降低了功率绕组并网时对电流的影响。整个启动过程非常稳定, 控制绕组励磁和功率绕组励磁切换只有轻微的波动。

一般的 10kV 异步电动机, 保护方式及其整定原则可根

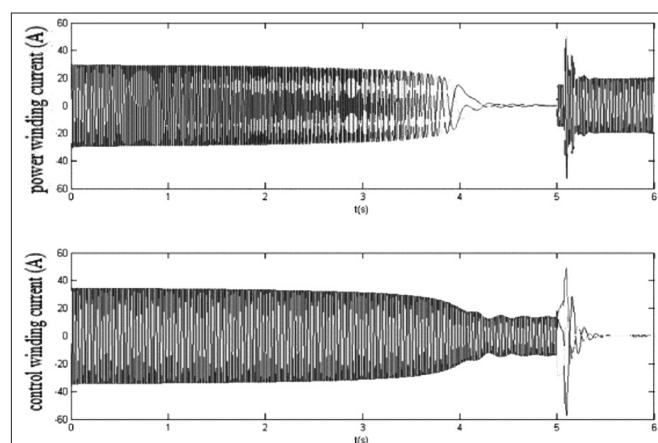


图 4 无刷双馈变频软定子绕组电流波形

据设备的额定容量作相应的选择。电动机保护整定计算。异步电动机继电保护方式选择: 一般电压为 3 ~ 10kV, 额定功率大于 150kW、小于 2000kW 的电动机, 应装设电流速断保护, 当电流速断保护的灵敏性不能满足要求时, 需装设纵差动保护。除此以外还需要考虑过负荷保护、低电压保护、零序电流速断保护 (单相接地保护) 和转子堵转保护。

4 结束语

本文提出的软启动方法可以大大减小 10kV 异步电动机启动时的功率绕组和控制绕组电流。该方法明显提高了 10kV 异步电动机的启动性能, 同时实现了 10kV 异步电动机的软启动, 有效地降低了控制设备的成本和体积。

参考文献:

- [1] 贾婷婷. 10kV 供配电系统增容改造及能耗监控系统设计研究 [D]. 兰州理工大学, 2020.
- [2] 董廷杰, 熊小华. 大型空压机组微机继电保护方案的应用 [J]. 世界, 2020, 61(05): 51-55.
- [3] 王俊傢. 托卡马克核聚变装置配网负荷分析及其稳定性机理研究 [D]. 中国科学技术大学, 2020.
- [4] 李海明. ORC 异步发电机至并网点距离对发电安全的影响分析 [J]. 电气传动自动化, 2019, 41(04): 56-58.