

中小型电动机智能化综合保护

李晓华, 尹项根, 陈德树

(华中理工大学电力系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 文章介绍了一种中小型电动机智能化综合保护。保护采用更准确反映电动机温升过程的正负热积累模型,充分考虑了电动机的冷态和热态时允许的温升不同,分别用全电流热过载和负序热过载保护转子绕组和定子绕组。启动的在线检测和自适应过电流保护的相互配合提高了保护的性能。

关键词: 序电流; 继电保护; 电动机; 启动

中图分类号: TM32;TM774 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2000)08-0032-04

1 引言

电动机是数量最多的一种电气设备,它们可靠、安全运行,对生产和供电线路影响很大。现代电动机的设计制造采用“极限设计”,其热容量和耐热极限急剧下降。这样就对继电保护的性提出了更高的要求。但是电动机运行时,其电气量之间的关系比较复杂(电流在电动机内部流动时,存在趋肤效应、热效应),且电动机存在启动的问题。所以电动机保护与其他保护,除了有共同的一方面,更主要的是它有一些特殊考虑。

2 电动机保护配置

2.1 电动机保护的现状

目前,我国中小型异步电动机保护一般采用热继电器型的过流保护,如以GL型为代表的反时限过电流继电器或两段式定电流保护。这类保护主要以电流的增大作为故障判据,对于断相、不平衡运行等不对称故障不能及时有效地保护。由于速断保护的定值必须躲开电动机的自启动电流,而反时限和定时限的整定延时又必须电动机的自启动时间,因此反映故障的灵敏度低,切除故障的时间长,往往在保护动作后电动机已损坏严重。

自80年代以来,借鉴国外的经验研制了综合式电动机保护,该保护用较简单的正、负、零序反时限或定时限电流来实现短路、不平衡和接地保护,从原理和电路上则考虑了电动机的过热保护。但是保护装置由硬件电路实现,对保护整定不灵活:如电流速断保护的整定值在电动机启动完毕后自动下降一半,对不同类型的电动机灵敏度可能不能满足要求,而且定

值的整定是不连续的。另外没有考虑电动机运行时可能存在过电压或低电压,单纯的电流式保护已不能满足要求。

2.2 保护配置简介

根据对电动机各种故障情况进行分析,采用了更准确反映电动机温升过程的热积累模型,并对定子和转子绕组的发热产生原因和机理分别进行考虑,用全电流热过载来保护定子发热;而用负序不平衡热过载反映转子绕组中的由于涡流效应产生的发热。过负荷保护充分考虑了电动机的启动过程,冷态和热态时允许的温升不同,针对电动机所在的状态进行处理。此外还配置了反映相间短路的过流保护、反映单相间接地的零序过流保护和不平衡负序过流保护等。在此基础上,我们作了进一步改进:电动机运行时不允许长时间低电压运行,否则可能引起电动机过电流甚至堵转,烧坏电机。有时为保证电压恢复时重要电动机的自启动,不太重要的电动机也应装设欠电压保护。电动机运行时不允许长时间过电压运行,否则可

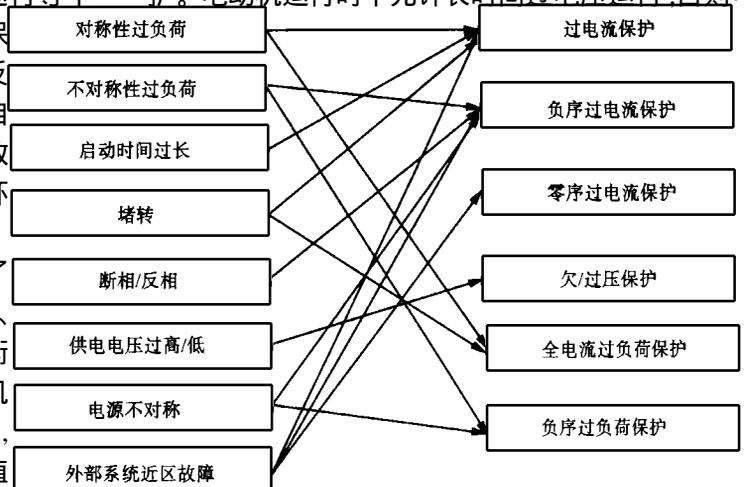


图1 电动机保护配合示意图

能引起电动机过电流,严重的甚至可能导致绝缘的击穿,电机烧坏。为保证电动机的正常工作,装设过电压保护。它们共同对电动机各种形式的故障做出准确的反映。保护相互配合关系如图 1 所示。

3 电动机状态在线检测和启动的判别

电动机作为一种单独的电器元件,有其特殊的运行情况——存在启动问题。启动前电动机处于停运状态,电动机无发热,处于冷态;启动时有较大的启动电流,电动机处于升温过程;启动结束后,电动机正常运行,其发热与散热处于动态平衡,温度是一个较稳定的值。准确而可靠地对电动机启动过程进行判断,直接关系到电动机保护的性能。以前的一些保护之所以灵敏度和可靠性不高的原因主要是对于电动机的实时状态没有很好的检测。本装置充分利用微机强大的计算和处理能力,做到了电动机状态在线检测——实时判断电动机的运行状态;是停运、启动还是正常运行。这样可以大大地提高电动机过热保护的可靠性,充分发挥电动机的潜力;提高过流保护的灵敏度——在启动时取高定值(I_{high}),只须躲开大的启动电流,正常运行时取低整定值(I_{low}),需考虑躲开正常运行时最大的负荷电流,这样无论电动机是在启动还是正常运行发生故障,过流保护都可以可靠地切除。

考虑到电动机启动是一个电流发生突变的过程,由录波装置分析动模试验时电动机启动过程知:电动机由停运状态的小电流,突增到启动时的大电流,然后再降至稳定运行时的工作电流。在这个过程中电流的变化趋势是电流的幅值由小变大,另一方面电流存在突变。于是我们从两个方面对是否启动进行判别。从电流发生突变的角度考虑,电动机启动时电流会发生突变。当我们检测到:

$$\left| \frac{i(k) - i(k - N)}{2N} \right| < I_{qd} \quad (1)$$

其中 i 为 电流的采样值; k 指当前采样点; N 是一周采样点数,这里取 $N = 12$; I_{qd} 是电流启动门槛。认为电流发生了突变。如果电动机在此前处于停运状态,则可以认为此时发生电动机启动;否则可能是电动机外部发生断路故障或电动机所带的负荷发生了变化。当检测到电动机启动,启动计数器开始计数,达到启动时间后,置电动机正常运行。具体的流程如图 2 所示。

另一方面,对于某些特殊的电动机启动过程中电流变化量比较小,可能达不到启动电流门槛,此时我

们可以通过对电流幅值大小的定时检测,来判断电动机当前的运行状态。如图 3 所示。

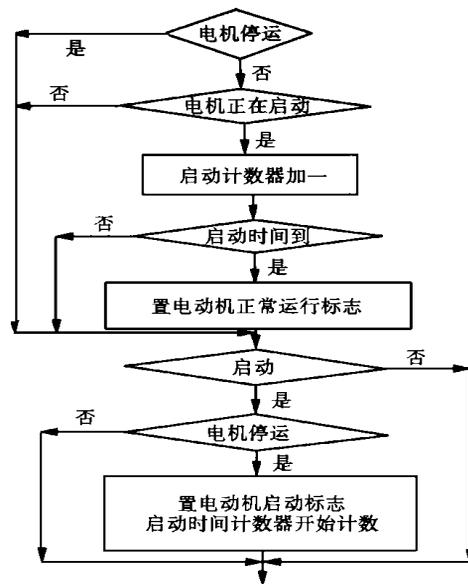


图 2 突变量检测启动流程图

以上两种方法都可以检测电动机的运行状态。突变量检测启动是在 1.667ms 中断一次的 A/D 中断中进行判断的,具有较高的定时精度,但是这种方法当启动电流门槛取的不当时,对于某些特殊的电动机启动过程中电流变化量比较小,可能无法正确判断。稳态量检测启动对于任何电动机都可以可靠地检测,但它是在定时中断(25ms)中进行判断的,其延时精度比前者要差。装置中将两者结合起来——以突变量检测启动为主,以稳态量检测启动为辅,使得启动检测在时间和幅值两个方面都可以满足精度要求。

准确地对电动机状态进行判断,有利于电动机保护性能的提高,除了以上提到的优点以外,还可以对电动机频繁启动进行保护。

4 自适应过电流保护

传统的电动机过流保护为了躲开大的启动电流,整定值往往较大,在运行时灵敏度不太理想。本装置则采用整定值自适应提高的方法:在规定的启动时间内取高整定值(I_{high}),以躲开大的启动电流;启动后取低整定值(I_{low}),此时只需考虑躲开正常运行时最大的负荷电流。并且这两个定值可以分别整定,而不必使过流保护的整定值在电动机启动完毕后固定的下降一半,这样可以适应各种电动机不同的启动电流,使得保护有较高的灵敏度。

电动机启动时电流的变化曲线近似如图 4 所示。

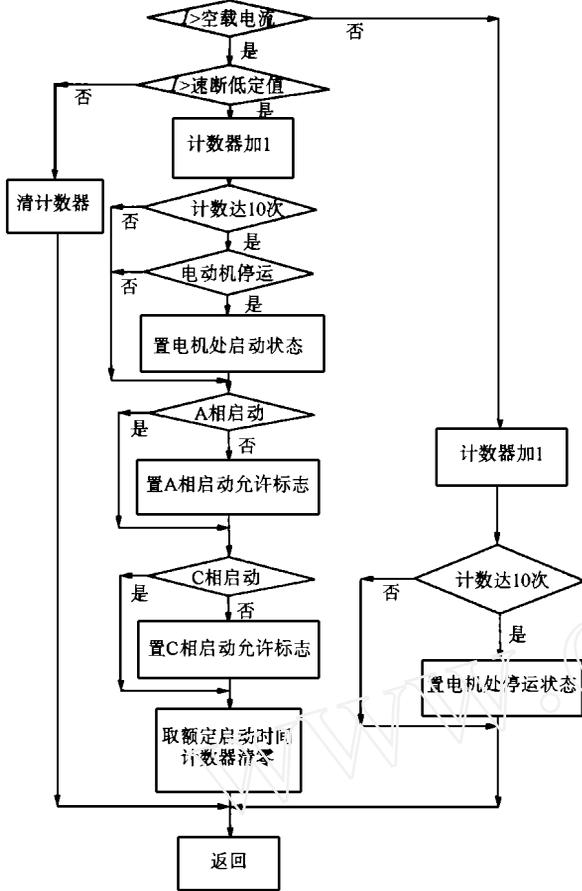


图3 稳态呈检测启动流程图

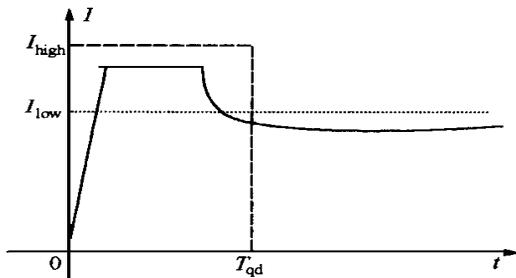


图4 过电流速断保护定值示意图

可以取过流高定值 I_{high} 略大于启动电流的最大值,此时主要考虑电动机启动时的冲击电流,不同的电动机类型和容量取值不同;而取过流低定值 I_{low} 略大于启动结束正常运行(启动后经过启动时间 T_{qd} 即认为是正常运行)电流的最大值,即电动机正常运行时的最大的负荷电流,随电动机的实际运行工况而变化。

5 反映热平衡关系的过负荷保护

电动机的过载与输电线路或其它设备不同,电动机过载将导致电动机过热,但低倍过载,又允许一定

的时限。由于电动机的过负荷特性呈现的是反时限特性,因此为了更好地保护电动机,应配置与其过负荷特性相匹配,充分发挥电动机的潜力。另外,还应具有模拟和记忆电动机热积累的功能,因为电动机过载分热态过载和冷态过载,两者在动作时间上有较大的差别。为了充分利用电动机冷态过载时间较长的特点,电动机保护应能区分热态和冷态。

下面以反时限过负荷(热过载)保护为例说明。通常的反时限特性如图5所示。

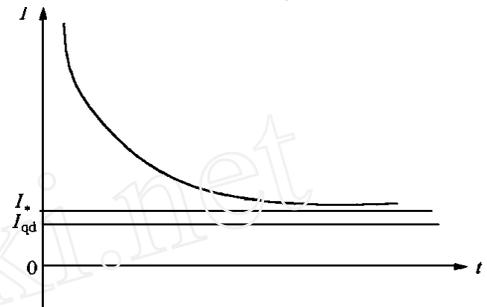


图5 电流反时限特性示意图

该动作特性通常离散化,表达式为:

$$\begin{cases} Q(t) > Q_{set} \\ Q(t) = T_c [I_{eq}^2(t) - I_*^2], \text{当 } I_{eq}(t) > I_* \text{ 时} \end{cases}$$

式中: $Q(t)$ ——当前 t 时刻热积累值;

Q_{set} ——热积累值定值;

T_c ——计算周期,在装置中为常数;

I_{qd} ——热积累门槛电流;

I_* ——热积累基准电流;

$I_{eq}(t)$ ——当前 t 时刻等效电流,

$$I_{eq}(t) = K * I(t);$$

$I(t)$ ——当前 t 时刻实测电流;

K ——等效系数,电动机在启动时取0.5,正常运行时取1。

整定时热积累基准电流 I_* 和热积累门槛电流 I_{qd} 可以取一样,为了减小计算误差,提高灵敏度,可以取 I_{qd} 为 $(0.95, 1) I_*$ 。等效系数 K ,电动机在启动和正常运行时取值不同,充分考虑了电动机冷态发热温升的裕度。

以上判据采用逐次累加的方式,能很好地反应电动机的发热过程,并能按给定发热特性曲线动作。对于以上判据,当检测到的电流短时间越出反时限动作区后,在其它段判据尚未动作之前又返回到反时限动作区时,则该判据会忽略以前电动机的发热效应,而重新计算发热效应,这显然是不科学的。另外,该判据未考虑电动机的散热效应。另一方面电动机可能

短时间重复多次过载,但每次过载时间均小于允许时间,此时电动机由于热积累可能烧损。因此保护应具有模拟和记忆电动机热积累的功能,才能适宜电动机各种工作方式。

在同一坐标图上绘出发电机转子发热和散热特性曲线示意图如图 6 所示。

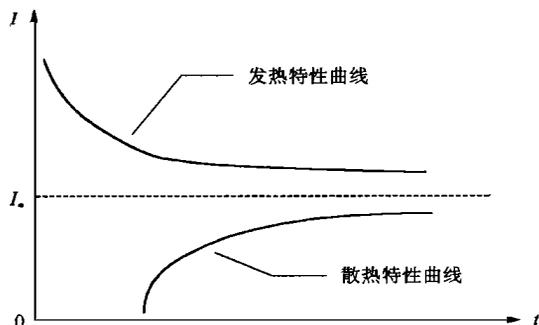


图 6 电动机发热和散热特性曲线

当电流大于 I^* 时,认为电动机为发热过程;当电流小于 I^* 时,认为电动机为散热过程。将判据改为:

$Q(t)$ 判据改为: $Q(t)$ 的表达式如下:

$$Q(t) = \begin{cases} Q(t-1) + T_c * [I_{eq}^2(t) - I^{*2}], & I_{eq}(t) > I^* \\ \text{Max}\{Q(t-1) + T_c * [I_{eq}^2(t) - I^{*2}], 0\}, & I_{eq}(t) < I^* \end{cases}$$

这样当电动机实际允许电流的等效电流 I_{eq} 小于热积累门槛电流 I_{qd} 时,电动机热积累值 Q 按二次曲线进行衰减。过载动作后,电动机温升逐渐下降,经过一定的时限,保护自动复位,复位时间根据电动机动作时记录的热积累值自动调整。

本装置为电动机反时限过负荷配置的保护有两种:反时限全电流过负荷(热过载)保护和反时限不平衡(负序)过负荷保护。全电流过负荷(热过载)保

护利用积累式反时限特性来更好地适应电动机定子绕组发热过程,兼顾电动机转子绕组发热过程。而专门的负序过负荷保护主要是针对电动机转子表层过热进行保护,即将负序电流对异步电动机转子槽所产生的显著的集肤效应的发热影响进行单独考虑。

6 结论

保护采用更准确反映电动机温升过程的热积累模型,并对定子和转子绕组的发热产生原因和机理分别进行考虑,并且充分考虑了电动机的启动过程,冷态和热态时允许的温升不同,分别用全电流热过载和负序热过载保护转子绕组和定子绕组。准确地启动检测和自适应过电流保护的相互配合大大提高了保护的智能化,并且改善了一些综合保护(如启动时间过长保护和堵转保护)的可靠性。

本保护可以作为中小型电动机的主保护,也可以作为大型电动机的后备保护,它与差动保护一起构成完整保护。

参考文献:

[1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用. 北京:中国电力出版社,1998.

收稿日期: 2000-01-30

作者简介: 李晓华(1975-),女,在读博士生,主要从事电力系统继电保护的研究; 陈德树(1930-),男,教授,博士生导师,中国电机工程学会常务理事,IEEE 高级会员; 尹项根(1954-),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统及继电保护的研究。

Intelligentized integrated micromidi electromotor protection

LI Xiao-hua, YIN Xiang-gen, CHEN De-shu,

(Huazhong Science & Technology University, Wuhan 430074, China)

Abstract: The article presents a kind of intelligentized integrated micromidi electromotor protection. The protection adopts positive and negative heat accumulating models which reflect electromotors' temperature rising more exactly. The allowed rising temperature makes the difference when the electromotor is hot or cool into account. It applies complete current and negative sequence current heat accumulation respectively to protect rotor and stator winding. The mutual cooperation of in time startup inspecting and self-adaptability of overcurrent protection improves the relay performance.

Key words: sequence current; relay protection; electromotor; startup