

11 61-65

同步电动机失步保护与重整步技术

A Technique of Protection and Self-Restoration of Synchronization After Synchronous Motors Being out of Step

黄席榭 邓仁明 郑文军
Huang Xiyue Deng Renming Zheng Wenjun

(重庆大学电子信息工程学院, 重庆, 630044)

TM 341
TM 921.47

摘要 在对同步电动机失步的危害性及电机失步后的运行特征进行认真分析的基础上,利用微机作信息处理手段,提出了一些失步保护措施,使电机能在失步后不停机而自动进行带载重整步以保证生产中工艺流程的连续性。

关键词 同步电动机; 运行; 计算机控制

中国图书资料分类法分类号 TM921.47; TP391

失步保护, 重整步

ABSTRACT Based on an analyses to the characteristics of operation of synchronous motor being out of step, and its harmfulness with the help of computers. Some protection measures have been presented here. These protecting measures to be taken can make a motor continually running with load while the motor is out of step, at the same time the synchronization of the moter can be restored itself. This can not only avoid harms because of motor being out of step but also guarante the continuity of production procedure.

KEYWORDS synchronous motors; operation; computer control

0 引 言

电机在失步状态下运行,将遭受强烈的脉振作用或大电流的冲击,这对电机来说是不可承受的,因此必须对电机进行有效的失步保护。根据造成同步电动机失步原因的不同,失步事故可分为三类:

1) 断电失步 “断电”并非指电机电源的永久消失,而是同步电机的供电电源短时中断,此后,同步电机转子自然堕走,当电源重新恢复瞬间,电机很可能已脱离同步,从而使电机遭受强烈的难以承受的非同期冲击。此类故障称为断电失步。

2) 带励失步 定子旋转磁场正常,转子也带有正常或接近正常的直流励磁,而转子磁场和定子磁场又不同步,电机的这种带励异步运行状态,称为带励失步。由于定、转子磁场不同步,引起相互冲撞,使电机受到较长时间(几秒~几十秒以上)的脉振转矩的反复作用,产生疲劳效应,并可能引起电气或机械共振,使电机遭受巨大损伤,因此要求保护在2~3 s内

动作。

3) 失磁失步 同步电机的励磁绕组失去励磁或严重欠励磁, 转子磁场按指数规律消失, 导致同步电动机反电势 E_v 按同样规律消失。同步电机经过过渡过程后, 滑出同步, 转变为异步运行, 这种失步状态称为失磁失步。

同步电动机的失步保护可根据多种原理来构成^[1,2], 一般均为继电器型式, 结构较为复杂, 失步状态的测定基本上是采用间接的手段, 而对电机稳定运行的直接指标功角 δ 却没有进行监视。间接的测量方法, 不可避免地导致测量中的不准确, 进而导致保护动作的一些失误。本文在剖析同步电机自身所特有的失步特征基础上, 吸取前人的研究成果和经验教训, 提出了适合微机控制技术用的失步保护的实现方法。

失步保护必须解决两个关键问题: 准确及时地监测出同步电动机的失步状态; 进行合理的善后处理。

1 失步状态的特征分析与监测

同步电动机有着各不相同的失步特征, 因此, 它们的监测方法也应该不同。

1.1 断电失步

同步电机在电流突然中断后, 将由电动机运行工况变为发电机运行工况维持母线电压, 这一电压的频率随同步电机转速的下降而逐渐降低。同时, 作为发电机则由原来吸收有功功率变为输出有功功率。由断电后的行为特征可以看出, 断电失步的主要标志为:

- 1) 电动机转为发电机运行, 功角 δ 由滞后变为超前, 电机发送有功功率。
- 2) 电机转速和定子电压频率同步下降。

功角由正常运行时的滞后状态逐渐减小, 直至跨越零度, 进入超前状态, 是电动机断电后的一显著特征; 转速及频率的降低在电机负重载时反应快, 负轻载时反应慢; 有功功率的逆向反应灵敏, 但当电机负载过重时, 可能由于断电后电机制动过快而不能有所反应。所以在系统中, 选择功角减小过零作为断电失步保护的启动元件, 并以有功功率逆向及转速过低作为闭锁; 考虑到电机可能由于不足以引起失步的较小干扰使电机发生迅速衰减的同步振荡, 而侵入保护动作范围; 另外, 同步振荡在保护动作区内停留的时间不会大于同步振荡的振荡半周期, 振荡周期对于每台同步电机来说是固定不变的, 一般不大于 $0.2 \sim 0.4$ s。因此为防止保护误动, 还要在保护中加入一段延时, 只要该延时整定合理, 就能避免误动。同时, 这一延时也是必须的, 因为电源中断的时间如果非常短, 电机并不会脱落失步, 故在电源恢复时就没有必要对电机进行失步保护。

1.2 带励失步

带励失步的过程实际上就是电机的动态稳定被破坏的过程。图 1 示出了二条功角曲线, 分别对应于不同的电网电压幅值。假设电机开始运行于曲线 1 上的 A 点, 由于负载转矩 M_c 与电机的电磁转矩 M 平衡, 故电机处于同步稳定运行状态。此时如果电网电压因某种原因有所降低, 即电机的功角特性由曲线 1 改为曲线 2 运行, 而此时, 由于转速不能突变, 功角 δ 在最初瞬间仍为 δ_s , 故运行点由 A 点降为 A' 点。这样 $M_c > M$, 使转子开始减速, 致使 δ 角开始增大, 当到达 B' 点时, 功率达到了平衡, 但由于转子转速已低于同步速, 故 δ 角继续增加,

在 B' 点右侧。由于 $M > M_c$, 又使转子加速, 直到 $\delta = \delta_b$ (即不稳定的功率平衡点) 时, 转子所得到的加速动能仍不能补偿 A' 到 B' 间的减速能量, 电机的转速仍低于同步转速, 所以 δ 角还要增大, 而当 δ 角一旦越过 $\delta D'$, 又使得 $M < M_c$, 则电机又受到制动转矩的作用, 于是转子又不断减速, 便不能维持同步运行, 这种情况就形成了带励失步, 它实际上是由于种种原因造成电机带载能力降低而引起的。

上述分析表明: 带励失步最重要的参量就是 δ 角, 因此可选用电机的功角 δ 作为带励失步的监测量。检测到 $\delta > 180^\circ$ 时, 启动带励失步保护, 并在保护动作前加一定延时, 以防保护误动。

1.3 失磁失步

电机失磁后功角逐渐增大, 直至滑出同步后, 即相当于异步电机运行于小滑差的情形。转子励磁绕组中的电流由定子旋转磁场切割转子绕组感应出来的感应电流供给, 励磁绕组中是正负交变的感应电流, 因此, 是否出现反向电流即为电机是否失磁的一个主要特征。故此, 以 $\delta > 90^\circ$ 作为失磁失步的启动元件, 并在励磁回路中加入一比较器回路, 以监测是否有反向电流流过, 进行保护闭锁。当检测到失磁失步后, 同样要经过一定的延时, 以防止误动。

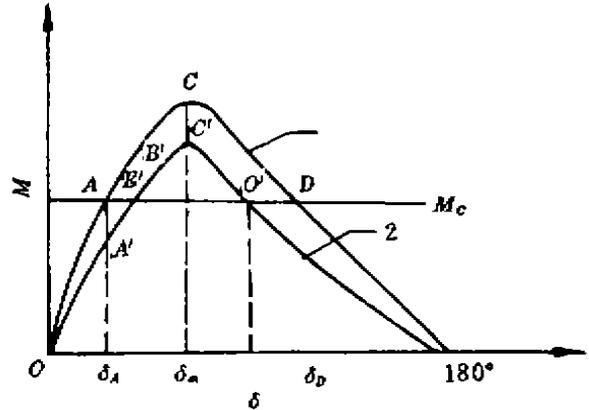


图 1 同步电动机的动态稳定示意图

2 电机失步后的重整步

失步的根源在于定子旋转磁场和转子励磁磁场之间的相互冲突, 如果将其中之一及时熄灭掉, 就可以消除这种冲突, 使电机免受损伤。因此完全有条件在导致电机失步的扰动消失后使电机自动进行重整步, 重新恢复同步运行。如果能够使同步电动机失步后不动作于跳闸停机, 而是首先动作于熄灭转子磁场, 以平衡定子、转子磁场间的强烈冲突; 然后等待外界扰动过去后, 再使电机自动进行带载再整步, 将电机重又拖入同步运行。这样, 既保证了电机免受失步带来的危害, 同时又维持了工业生产的连续性及安全性。早在 50 年代后期就有人提出过: “已失步的同步电机在一定条件下有可能再整步” 这一概念。

实现带载再整步, 必须解决两个问题: 判断出电机失步后, 立即熄灭转子励磁磁场; 灭磁完成后, 电机重又进入异步启动行程。由于失步时电机所带负载是随机的, 因此必须保证电机在任何负载情况下均能顺利地牵入同步。

后一个问题实际上是让电机再作一次异步启动, 只要电机的励磁系统能保证电机具有良好的起动性能, 这一问题也就迎刃而解了。那么问题的关键就变为怎样在电机失步后快速熄灭励磁磁场。以前电机灭磁是由灭磁开关动作投入灭磁电阻的动态灭磁方式, 随着静态灭磁方式逐渐为人们所接受, 通过静止控制的方法将转子励磁绕组中贮藏的磁场能量转移到电阻吸能回路或交流电网中, 这样在灭磁回路中就不需要动态灭磁开关。灭磁过程中也不产生电弧, 没有开关触点磨损和维修等问题, 因此静止灭磁和动态比较, 有结构简单、可靠性

高、动作快速等一系列优点。静止灭磁方式可分为静止电阻灭磁和静止逆变灭磁。

逆变灭磁时间比放电电阻灭磁要长,电机失步时,电网不可避免地有些波动,这将进一步促使逆变灭磁时间加长,甚至可能导致逆变失败,而且灭磁时间较长,难以满足失步后迅速熄灭转子励磁磁场的要求。故此采用静止电阻灭磁。

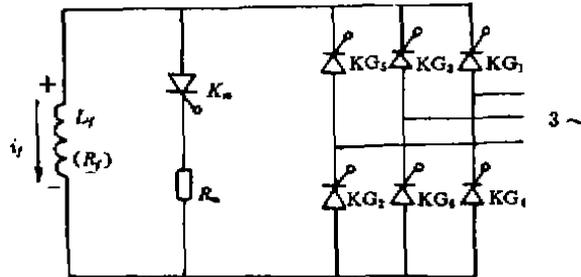


图 2 静态电阻灭磁原理图

静止电阻灭磁的原理如图 2 所示,灭磁回路由可控硅元件 K_a 和灭磁电阻 R 组成,灭磁的工作过程是:取消可控硅桥的全部触发脉冲;触发可控硅 K_a 使 R 投入工作。 R 投入后,转子励磁绕组两端电压 U_f 和转子励磁绕组中的电流 i_f 成正比,其最大值发生在接入灭磁电阻的初始瞬间,此时 $U_{fm} = \alpha U_{fn}$, 式中 U_{fm}, U_{fn} 分别为转子绕组两端电压的最大值和初始值。由公式可见,为了使 U_{fm} 不超过容许值, α 值不能选择过大,通常为 3~5 倍。这时一般能保证在小于 0.2~0.3 s 的时间内,使励磁电动势下降到额定值的约 36.7%, 满足了电动机失步后的灭磁要求。

图 2 中,还存在一个确保可控硅桥路彻底关断的问题。可控硅桥路的触发脉冲被取消后,桥路并没有立即被关断,桥的两臂仍维持导通状态,要等到桥的交流侧电压反向时才有可能被关断。可控硅桥关断的条件是:

$$U_{max} \geq i_{fo} R_m$$

式中 U_{max} —整流桥交流侧反向电压的幅值

i_{fo} —转子励磁电流的初始值

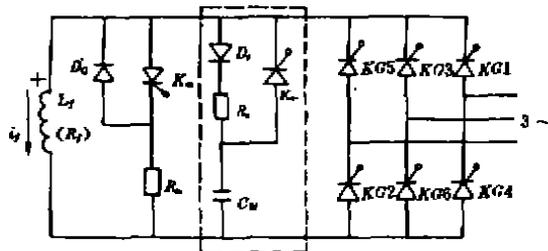


图 3 具有附加关断元件的静止电阻灭磁接线图

在系统电压波动,或 i_{fo} 过大等情况下,均可能造成桥路关不断。在此情形下,可控硅 K_a 虽被导通,转子励磁电流仍沿桥的两臂构成回路,灭磁电阻不起作用,转子励磁电流则按转子绕组本身的时间常数自然衰减,速度很慢。为了克服上述缺点,在图 2 的基础上增加了一个附加关断元件,如图 3 中虚线部分所示。其工作原理简述如下:

电机在启动过程及正常运行时,关断元件不动作,电容器 C_u 通过二极管 D_c 和 R_c 充电至电压峰值,并维持在这个水平上;当灭磁信号发来触发信号送至 K_c 控制端,使 K_c 导通;电容器 C_u 同时对整流桥回路与转子励磁绕组放电,整流桥中电流逐渐减小,直至两个可控硅桥臂关断为止;其后转子励磁绕组电流迅速向 C_u 反向充电,这一过程只维持 L_f-C_u 回路自由振荡周期的 $1/4$,当电容反向充满电,流经 C_u 的电流降为零,这时可控硅 K_c 自动关断;与此同时,当微机检测到励磁回路中 B 点电位高于 A 点电位时,立即触发可控硅 K_a ,于是转子励磁绕组电流经过 R_a 迅速灭磁,至此灭磁工作顺利完成。

3 控制的具体实现

前面已指出,各种失步状态的监测参量分别为:断电失步为功角 δ ,定子电压频率,及电机有功功率的方向;带励失步功角 δ ;失磁失步为功角 δ 及励磁绕组中是否流过逆向电流。据此,失步保护利用 8098 单片机的三个高速输入口 HSI. 0、HSI. 2、HSI. 3 及外中断口 EXTINT 进行如下信号的检测:

- 1) 电机转子位置信号 V_z 经过零比较器转化为脉冲数字信号作为 HSI. 0 的输入;
 - 2) 与 U_z 相应的定子相电压 U_x 经过零比较器转化为脉冲数字信号作为 HSI. 2 的输入;
 - 3) 与 U_x 相应的定子相电流 I_x 经过零比较器转化为脉冲数字信号作为 HSI. 3 的输入;
 - a) 根据 I_x 两次过零点的时差求得定子侧交流电的频率 f ;
 - b) 根据 U_x 和 I_x 过零点的时差求得两者的夹角 ϕ ,当 ϕ 在 $(90^\circ \sim 270^\circ)$ 区间时即表示电动机的有功功率 $P = 3U_x I_x \cos\phi$ 反向。
 - c) 根据 U_z 与 U_x 过零点的时差即可求出电机的功角 δ 。
 - 4) 由于在励磁回路只有 R_a 和 D_c 成逆向回路,故可取 R_a 两端电压经电压比较器取得其逆向电压信号,送入 EXTINT 口以标志励磁绕组中是否有逆向电流通过。
- 在求出上述检测参量后,可作失步判断与处理,程序框图见文献[4]。

4 结束语

本文在剖析同步电动机失步后运行特征的基础上,对电机失步特征的提取及信号处理、失步保护、扰动过后电机再整步的可能性等问题作了较深入的探讨。提出了基于功角检测为失步特征的方法,用迅速熄灭励磁磁场的失步保护途径,使电机失步后可以不停机,不卸载进行自动再整步,保证电机免受失步的危害。

参 考 文 献

- 1 福本纪文男,加藤之敏. 最近の大型电动机たみめ瞬時电压低下・瞬時停电対策,电气杂志 OHM, 65 (11), 52~56
- 2 Robert J, Wood dall, Bruc I. Goyle. The Application of Solid-State logic to the Control of synchronous Motors With Collectwr Rings and Brushes for Separati Excitation, IEEE. Vol. IA-10, No. 1974
- 3 蒋宗道. 同步电动机失步保护机理及合理保护的途径. 冶金自动化, 1979, (5), 54~63
- 4 郑文军. 同步电动机智能励磁控制系统, 重庆大学硕士论文, 1994, 66~68