

# 关于高压电动机保护的几点思考 及同步机失步保护

卢英昭 马鞍山钢铁股份有限公司动力厂(243000)

**【摘要】** 高压电动机保护问题一直困扰着继电保护人员,特别是同步电动机并未引起生产厂家的足够重视。本文结合现场运行情况,对近期厂家开发的集成型保护装置,提出几点看法,并提出了反时限低电压保护作为电动机保护的重要保护对供电系统的稳定和影响所起的作用。

**【关键词】** 电动机 失步 保护 反时限低电压

## 概述

在现代工业生产中,工矿企业高压电动机的使用非常广泛,并且容量已越来越大。电动机的保护问题并未得到完善的解决,长期以来给继电保护专业人员和运行人员带来了很大的困难。由于电动机保护不完善而造成电机损坏的事故时有发生,并由此影响到供电系统的稳定。本文从电动机保护存在的问题和现场反映的情况及近期研制开发的新型电动机保护装置,谈有关这方面的问题。

## 1 同步电动机的失步保护

失步保护是同步电动机正常运行时由于动态稳定或静态稳定破坏而导致的失步运行状态。电源短时中断或电压严重降低,负荷大幅度波动及外部短路等一系列外部故障均可导致同步机滑出同步,出现失步,所以对同步机的失步保护应予以足够的重视。

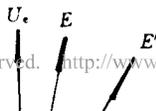
### 1.1 运行特性及稳定界限

电源电压、频率及励磁电流在保持恒定不变的关系下,电机能保持正常运行。当电源电压、频率及励磁电流发生变化,同步机会失去同步出现复杂的暂态过程。

根据同步机电磁转矩公式:

$$P = M = \frac{U_s E}{X_d} \sin \delta$$

式中,  $U_s$  —— 电源电压;



从电磁转矩公式得出同步机功角特性曲线,如图 2。开始时,电磁力矩的大小随着功角的增加而增加,达到最大值后,开始下降。在  $U_e$ 、 $E$  与  $X_d$  一定的情况下,电磁力矩的最大值为:

$$P_{\max} = \frac{U_e \cdot E}{X_d}$$

上式表明,电机的理想电磁力矩,只有在电机的力矩  $P = M = \frac{U_e \cdot E}{X_d} \sin \delta < P_{\max} = \frac{U_e \cdot E}{X_d}$  时,同步机才能保持稳定状态运行。在图 2 中,设  $P_0$  为电机的负载功率,  $\delta_a$  为起始分离角,则在  $a$  点,电机的动态稳定才是可能的,而在曲线下降部分的  $b$  点,电机的运行情况是不稳定的,电机是不能在  $b$  点处长期运行的,显见要达到同步机的稳定运行必须满足以下二

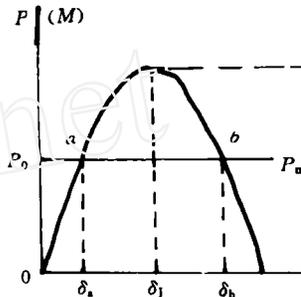


图 2 同步机功角特性曲线

a. 分离角:  $\delta < 90^\circ$

b. 转差率:  $S = 0$

电机失去同步后,电机的负载功率引起具有制动特性的转矩出现,分离角  $\delta$  随着  $\delta$  的增大电机的功率继续下降,引起  $\delta$  更大范围的增大,当  $\delta$  达到一定值后,即恢复正常,电机亦不能恢复同步运行,这个极限值称为极限分离角  $\delta_l$ 。同步机失去同步如下。

a. 分离角变化范围:  $90^\circ \leq \delta < 180^\circ$

b. 转差率:  $S \neq 0$

## 1.2 几种失步状态

同步电动机的失步可分为:断电失步、带励失步和失磁失步三大类,因后一失步与电压无直接之关系,故本文不涉及失磁失步。

### 1.2.1 断电失步

供电系统中 BZT 或 ZCH 动作,以及由于人为的倒闸操作切换电源或检修保护动作等原因,使电源短时中断而引起的失步。

电源短时中断,同步机失步的极限时间  $t_l$  可根据图 2 稳定条件  $\delta < 90^\circ$  求得。(略。)

$$t_l = \sqrt{\frac{H_J(\delta_l - \delta_a)}{9000P_0}}$$

式中:  $H_J$  —— 机组的惯性时间常数,秒。

发生三相金属性短路时,残压一俟接近于零,电路实际上已相当断电,但是此时其它负荷及短路点输送功率,电机失步将比单纯断电失步得更快,因此,这是更步。它对电机所造成危害主要在于脉动转矩较长时间(几秒~十几秒以上)的反机组产生疲劳效应,可能损坏电机。

带励失步的极限时间计算较为复杂,一般地,同步机在过励运行时,功率因数特性时间常数越大,负载转矩越低则稳定性越好。

### 1.3 失步保护的现状

目前国内一般采用具有反时限特性的 GL 型继电器作为短路、过负荷保护的失步保护。其实这种保护方式是不完善的,它不能可靠地保证电机在各种失步运行,反而存在着与供电系统 BZT 和 ZCH 装置的配合矛盾,对断电失步引起的本起不到保护作用,更不能使电机在保障安全的前提下,保持连续运行。

对带励失步,由于振荡转矩造成的危害,此种保护方式对较大的同步机如风敏度是不够的,对如轧钢机组等较小的同步机,一般还可以动作。但即使动作,由的脉动,其峰值大于继电器整定值,使继电器起动,低谷又使继电器返回,如此反延长了跳闸时间,由于时限的延长,电机易遭受损伤或暗伤,因此,起不到保护电

## 2 保护与系统中自动装置的配合

### 2.1 与 BZT 装置的配合

企业变配电所 BZT 的启动方式一般为低电压启动,但是当接有大型同步机,然断电时,电机将以发电机状态向母线供电。如果励磁电源取自同一段母线,则耗的能量实际上就是机组本身的动能,电机的直流励磁以及母线电压都将随着降而降低。这时,由低电压启动的 BZT 动作时间可达数秒,直到电机转速下降到才启动 BZT 装置的时间继电器,再经一定的延时,合上备用电源。其实,经过这么步并带励和负载的同步机,一般来说是不能自动恢复同步运行的。因此即使自投是无法连续运行,结果以切机了事。

母线上其它异步机,也将因 BZT 动作速度太慢而影响自动。所以在电动机保断电后又恢复电源,如果不能防止非同期冲击,BZT 装置是不宜采用的,它不能续性,相反,甚至还可能造成更为严重的电机损坏事故。

### 2.2 与 ZCH 装置的配合

供电线路的电源侧 ZCH 装置是不带检测对方无压环节,当系统中接有大型电源由断期间的 ZCH 投合时间(可达 1~3 秒)内,电机已严重失步,电机变为发

电压切除本段上所有的电机,见图 3。存在的问题是,当一段上接有多台同、异步电机时,不能根据电机的特性、负载情况、生产工况以不同的电压值和时限来切除电机。BZT 动作后,会导致另一段负荷急剧增大,直接影响到另一段电压的稳定,甚至引起大幅度电压突降,不利于另一段上电机的稳定运行。同时,因不能以不同时限有选择地切除部分电机,也不利于电压的恢复。如果能根据系统残压变化情况,以不同的时限,选择性地切除电机,无疑于更为合理。

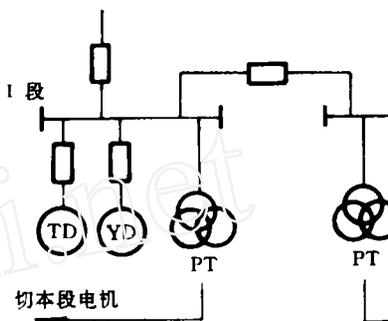


图 3 PT 切机示意图

当然,大型特大型同、异步机均装设有单独的低电压保护并兼作其它用途。但线上的中小型电机,采用同一低电压值和时限去切机对系统的稳定是极为不利的。机均改用单只低电压继电器和时间继电器的组合方式,其改动工作量太大,且屏面的位置可供装设。

### 3.2 不能反映母线是否失压和断电

根据同步机失步行为特征和系统断电后,母线电压并不立即消失,而母线电压,一般的可能情况是系统某处发生短路故障所致,在断路器未跳闸前,供电电源不断,故以失压来判别断电,用低电压继电器检测母线是否失压与客观事实不符,难电压的真实情况。

同理,它也不能作为同步机失步判据,尤其是在机组群惰走阶段,在轧钢电机起起的带励失步,低电压保护也是不能反映的。

## 4 国内近期研制的电动机保护装置

机械工业部曾将电动机保护列为“八五”重点攻关项目,全国近几年研制与生保护装置品种已达 50 多种。笔者近期索取了部分集成电路和微型机电动机保护装置,了解了相关研制和生产电动机保护的厂家,认为其保护方式与理论大多仍沿袭现有方法和方法,保护功能并不能满足电机在实际运行中的需要,用户也难以挑选出一种能对电机提供完善的保护功能以满足系统和生产对保护的要求。特别是对于 200 大中小型电机,仍感到存在很多不足。

### 对失步保护的考虑

鉴于上述对失步保护的论述,大中型同步机应装设失步保护而电动机综合保

况、运行方式有关,但都依据故障点的不同和系统阻抗特性提供短路电流。见下例如图 4。参数如下:

电机功率:  $P_e = 2500\text{kW}$

额定电流:  $I_e = 278\text{A}$

额定电压:  $U_e = 6.3\text{kV}$

纵轴超瞬变电抗  $X_d'' = 0.087$  (以电机容量为基准的标么值),

电缆线路阻抗  $X_x = 0.01316$  (归算至电机容量的标么值)。

a.  $d_1$  点短路从同步机送出的短路电流

$$I_d^{(3)} = \frac{I_{e-D}}{X_d'' + X_x} = \frac{278}{0.087 + 0.01} =$$

2.775kA

b.  $d_2$  点短路从同步机送出的短路电流

$$I_d^{(3)} = \frac{I_{e-D}}{X_d''} = \frac{278}{0.087} = 3.195\text{kA}$$

( $d_1$ 、 $d_2$  点短路时残压计算略。)

从上例看出,在不同的短路点,2500kW 电机送出的最大短路电流达 3kA 以上。由于生产中的同步机容量已越来越大,电机越大,外部短路时送出的短路电流亦越大。线上接有多台同步机或机组群,在最恶劣情况下,送出的短路电流是可观的。企业大容量、重负荷、短距离供电网络,线路呈小阻抗特性,故在电机近处系统发生三相短路时,电机送出的逆功率对系统的影响已到了不容忽视的地步。

此电流对系统的危害远大于对电机本身的危害。故障时,供电电源和电机共同提供短路电流,会加剧故障设备的损坏,引发更大范围的故障,直接影响到系统的稳定运行。

逆功率保护还有一个重要的作用,在同步机电源中断时,利用其有功功率方向可作为非同步冲击保护。显见,综合电动机保护装置应具有逆功率保护,便于用实际情况进行选择。

### 4.3 低电压保护方式

很多综合型电动机保护没有单独设置低电压保护,如果用户对低电压保护另有要求,可在盘面加装继电器,组成低电压保护。这对于单母线段结构变配电站的电动机保护,合适的,无法满足生产的需要,也不利于系统的稳定。对于新型的综合功能电动机

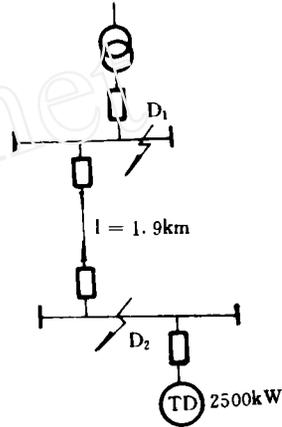


图 4 短路计算示意图

从电机运行特性和自起动条件及继电保护要求看,在电机附近,系统发生三电压保护应与瞬动保护相配合,在瞬动保护动作切除故障后,低电压保护应可BZT动作,保证自起动。如果瞬动保护拒动,电机不允许自起动或同步机又没有低电压应动作,将电机切除。按此要求,当残压为零时,低电压的动作时限不应大压越低,切机越快,残压越高,可适当延长切机时限,BZT动作后,系统电压的恢原则,故低电压保护的时限特性应是反时限特性。从同步机运行稳定特性看,当死时,极限时间与残压的关系也应是反时限特性。因此,低电压保护的时限特性取更符合实际运行情况的。

低电压保护的时限特性应由二部分组成,即定时限的基本时限与反时限部分,见图5。总时限特性定为时限特性与反时限特性之和,同时为了满足实际整定时的不同要求,两部分时限应能分别调整。

低电压保护采用反时限特性后,可依据系统电压波动的速率分别切除部分不重要的电机,BZT动作后,也可以切除未故障段上的不重要电机,加速系统电压恢复,更有利于断电后机群组电机的顺利起动。同时,对母线断电的检测也将更加符合实际情况。

### 5.2 低电压保护装置应突破现有的保护模式

综上所述,低电压保护装置采用现有的方式已满足不了现代生产的需要。应从改进,同时采取大中型电机单独设置低电压保护以不同的电压值、不同的时限切对电机本身还是对系统的稳定运行都是极为有利的。

### 5.3 新型的电动机保护装置应具备的功能

作为能对电动机提供完善的保护功能的新型保护装置,应具有失步保护、逆功率的低电压保护。可是,现有的保护装置均没有注意这至关重要的几点。

### 5.4 加装相位检测功能

对带有差动保护的复合型保护装置,应具备相位检测功能。电动机不同于变护,电机是旋转电器,不允许随意解除差动保护,在起动过程中或起动后,差动保以判断是电机本身存有的故障还是因一次接线或二次接线错误导致的保护动作就曾发生一次由电缆接线错误(包括每年由电缆试验后接线)和CT二次接线错误(

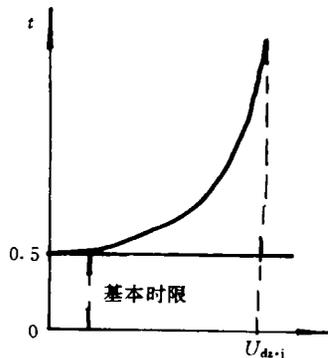


图5 低电压反时限特性

