

# 异步电动机故障电流分析及保护

蔡泽祥 王振浩 王 乡 东北电力学院 (132012)

谷俊和 通辽发电总厂 (028000)

**摘要** 本文简要地分析了三相异步电动机故障情况下电流的各序分量,在此基础上,提出了一种以反映故障电流序分量为原理的异步电动机保护新方法,并研制出 MR-1 型异步电动机综合保护装置,该装置能够有效判别各种故障类型及故障程度,可实现对电动机运行的有效保护。

**关键词** 异步电动机 对称分量法 保护装置

## 1 概述

三相异步电动机是国民经济各部分应用最广泛的动力设备,因电动机烧损带来的直接和间接经济损失是巨大的。

传统的电动机保护主要是热继电器和感应型过流继电器,这类保护的整定配合及动作的可靠性较差,往往等到保护动作时,电动机已损坏,起不到保护作用。

近十几年来,迅速发展起来的各类电子型电动机保护器以功能强,性能价格比高等优点显示出很大的潜力。

目前已投入应用的各类电子型电动机保护器虽功能各异,实现方式不尽相同,但其基本原理一般包含两个方面:一是检测电流值反映过载、短路及堵转等以过流为特征的故障,二是通过检测电动机电压或电流是否缺相来反映断相故障。以过流为目标的保护器从原理上分析存在以下问题:

(1) 各类不对称故障及不平衡运行,虽然一般也会出现非故障过流,但这与对称故障或过载引起电动机损害的原因是完全不同的,因不平衡运行或不对称故障会出现负序电流分量,由此所引起的负序效应会导致电动机过热,转子振动等一系列问题<sup>[2]</sup>。因此若仍以过流为目标构成的保护器难以实现对电动机的监测保护。

(2) 各类电动机内部绕组故障,如匝间短路,单相(两相)接地等,这类故障一般是由于环境较差,长期运行不当等原因引起的,起初这类故障往往是局部的,并不出现过流,但若不及时处理会导致事故扩大,等到故障大到出现足够大的过流信息时,电动机已损坏,保护失去意义。

根据对称分量法,当电动机出现各类不对称故障时,各相电流将会出现负序和零序分量。因此,若基于检测电流序分量来判别故障类型和程度及检测微小隐含故障,将可能较好地解决以上两个问题。

本文首先针对电动机常见故障进行了电流各序分量分析,指出了在各种故障下存在的各序分量,在此基础上,提出了以检测序分量电流为基本原理的保护方案,研制了 MR-1 型异步电动机综合保护装置,该装置具有高的选择性和可靠性。

## 2 异步电动机故障电流分析

异步电动机常见的故障可分为对称和不对称两类。

对称故障包括:对称过载,堵转,对称稳态短路,这类故障对电动机的损害基本可以通过过

流来反映,是大多数保护器设计的立足点。

不对称故障包括:断相,相间不对称短路等,这类故障将会在各相电流中出现很大的负序分量,而单相接地短路,两相接地短路,将在各相电流中出现零序分量,同时一般也会出现一定程度的过流。

以下应用对称分量法,着重分析相间不对称故障和接地短路两类故障,说明各类故障中电流各序分量的分布。

### 2.1 相间不对称短路及断相

异步电动机在正常运行时,若电网电源完全对称,在各相电流中无负序分量,当发生不对称相间短路及断相时,相当于三相异步电动机在不对称电压下运行,将在各相电流中产生很大的负序电流,为方便叙述,以断相为例进行分析。

设电动机进线 a 相断线(内部绕组断线显然相同),见图 1

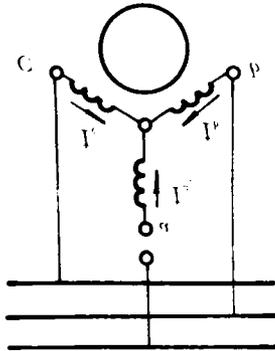


图 1 一相断开

断相故障时各相电流:

$$\begin{cases} I_a = 0 \\ I_b = -I_c \end{cases}$$

应用对称分量法,各序分量为:

$$\begin{cases} I_{a0} = 0 \\ I_{a1} = I_{a2} \end{cases}$$

流入 b 相电流:

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} = a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} = (a^2 - a) \cdot I_{a1}$$

自点 b 至点 c 的电压降为:

$$\begin{aligned} U_{bc} &= U_b - U_c = U_{b1} + U_{b2} - U_{c1} - U_{c2} \\ &= I_{b1} \cdot Z_1 + I_{b2} \cdot Z_2 - I_{c1} \cdot Z_1 - I_{c2} \cdot Z_2 \end{aligned}$$

整理得:  $U_{bc} = (a^2 - a) \cdot I_{a1} \cdot (Z_1 + Z_2)$

由此可求得:  $I_b$  为断相电流,

$$I_b = \frac{U_{bc}}{Z_1 + Z_2}$$

其中:  $Z_1$  为异步电动机的正序阻抗。

$$Z_1 = r_1 + jX_1 + \frac{(r_m + jX_m) \cdot (\frac{r_2'}{s} + jX_2')}{(r_m + jX_m) + (\frac{r_2'}{s} + jX_2')}$$

$Z_2$  为异步电动机的负序阻抗。

$$Z_2 = r_1 + jX_1 + \frac{(r_m + jX_m) \cdot (\frac{r_2'}{2-s} + jX_2)}{(r_m + jX_m) + (\frac{r_2'}{2-s} + jX_2)}$$

忽略激磁电流,近似可求出:

$$I_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_{bc}}{(2r + \frac{r_2'}{s} + \frac{r_2'}{2-s})^2 + (2X_1 + 2X_2')^2}$$

由此可见,正在运行的三相异步电动机,当发生一相断线时,未断相绕组的电流急剧增大,并出现较大的负序电流,且转速下降,当发生这种现象又未能及时察觉,电机绕组将因过热而烧毁。实际上,三相电动机的损坏,大部分都是由此造成的。因此利用负序电流大幅值出现作

为断相判别的依据具有很好的可靠性及选择性。

电动机相间不对称短路分析与上类似,也会出现较大的负序分量,根据短路时的边界条件,利用对称分量法,即可求出负序分量的大小,由于篇幅有限,不再赘述。

## 2.2 接地短路故障

由于电机绕组的绝缘下降,电机受潮,转子刮壳等原因,使电动机极易发生接地短路,若接地是非金属性的,将不会出现大的电流,因此不会反映成各相电流的过流,现有各类保护器很难检测到这类故障,然而,这类局部故障若不及时处理,将会使故障扩大,等到出现大的相电流时,电动机实际已损坏,保护失去意义。

异步电动机一般不接中线,根据对称分量法,在正常运行时,无零序分量。一但出现接地故障,不论该故障是金属性的,还是非金属性的,均在相电流中出现零序电流,利用零序电流互感器检测电动机的零序分量,即可对电动机的接地故障实现保护。以单相接地短路为例分析:

设电动机 A 相端子经电阻  $r$  接地(如电动机因绝缘损坏绕组刮壳),等值分析电路如图 2。

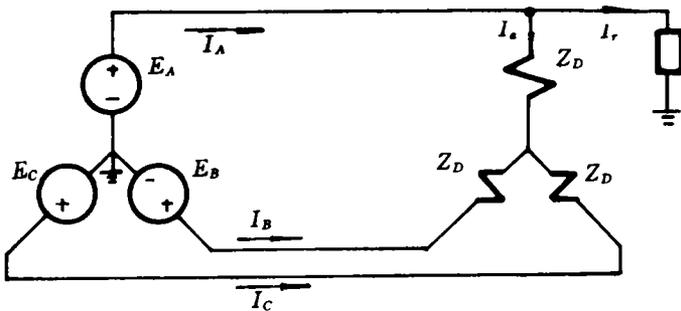


图 2 单相接地短路

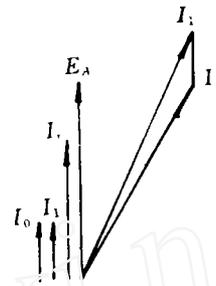


图 3 单相接地短路向量图

$$\begin{cases} I_A = E_A/Z_D + E_A/r = I_A + I_r \\ I_B = E_B/Z_D \\ I_C = E_C/Z_D \end{cases}$$

其中:  $Z_D$  为异步电动机每相的等值阻抗

应用对称分量法,各序分量为:

$$\begin{cases} I_1 = \frac{1}{3}(I_A + a \cdot I_B + a^2 \cdot I_C) = I_A + \frac{1}{3}I_r \\ I_2 = \frac{1}{3}(I_A + a^2 \cdot I_B + a \cdot I_C) = \frac{1}{3}I_r \\ I_0 = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C) = \frac{1}{3}I_r \end{cases}$$

单相接地短路时的向量图如图 2 所示。根据以上分析,发生单相接地短路时会出现零序分量,其值大小主要决定于故障程度。并且,故障相电流也增大,变化的大小取决于  $r$  值,若  $r$  值越大,  $I_r$  越小,反应在故障相中电流增大的就越小,即三相电流差别不大,这正是反应相电流分量的电动机保护无法检测漏电,非金属接地的原因,而利用零序分量检测接地故障,则无上述问题。

通过以上两种典型故障的分析可见,异步电动机当出现相间不对称短路,断相故障时,在相电流中含有很大的负序分量;当出现接地短路时,在相电流中含有零序分量,利用检测相电流中的负序,零序分量,即可反映电动机的各种不对称故障;为了能反应对称故障及对称过负

荷,再附加上相分量,从而可基本覆盖电动机常见故障,实现电动机的综合保护。

### 3 反映序分量的新型电动机保护

本文在分析电动机故障电流的基础上,提出了基于检测电流序分量为原理的新型保护方案,并研制成 MR-1 型电动机综合保护装置。该装置的原理框图如图 4 所示。

该装置分为三部分:

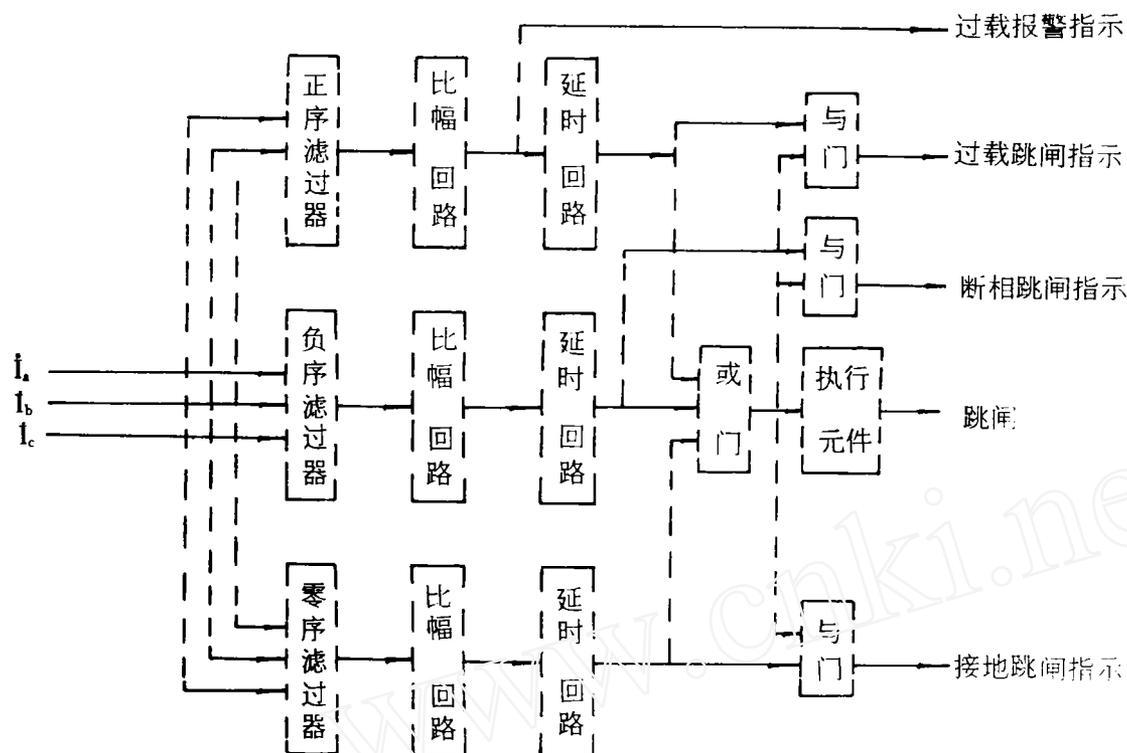


图 4 保护原理框图

- (1)正序分量检测过载,堵转,三相短路等对称故障。
- (2)负序分量检测相同不对称短路及断相故障。
- (3)零序分量检测接地故障。

以上三部分回路相对独立,各部分的门坎值及延时可根据电动机实际运行工况进行整定,互不影响,并且在发出跳闸命令的同时给出故障信息指示,方便运行人员检修。

该装置的特点;一是保护功能全,对电动机常见故障均能实现保护作用,也可实现电动机的绝缘监视,二是该装置为集成电路型电动机保护,成本低,性能价格比高,完全可为用户接受,三是整定方便,对于正、负序部分的门坎值和延时,用户可根据电动机的实际运行工况进行现场整定,零序部分无需整定;四是可给出故障类别的信息。

有关正序,负序及零序滤波器的构成方法在文献<sup>[3]</sup>有详细叙述,比幅回路及延时回路的实现,限于篇幅,容不叙述。

### 4 结论

异步电动机烧损的大部分故障并不只是因过载引起的,这是当前大多数过负荷型电动机

保护器不能正确动作的重要原因。

本文分析了异步电动机在两种典型故障下的电流量分布及大小,提出了基于检测电流量分布为原理的新保护方案,研制成 MR-1 型异步电动机综合保护装置,该装置已通过静态和动态实验,性能完全满足要求,且具有保护功能全,整定方便,动作可靠性高等特点,目前在内蒙通辽发电总厂的辅助电机上试运,取得了满意的效果。

#### 参考文献

- 1 贺益康. 交流电机的计算机仿真. 科学出版社, 1990 年
- 2 罗建业. 浅谈中压电动机的故障及保护. 电工技术杂志, 1991 年, 第 2 期
- 3 马长贵. 继电保护基础. 北京: 水电出版社, 1986 年 6 月

## ● 欢迎订阅

### 社会综合性双月刊 社会学与社会调查

《社会学与社会调查》杂志系国家正式批准的国内外公开发行的 16 开本双月刊杂志。国际标准刊号: ISSN1002-3187, 国内统一刊号: CN11-2563/C。

《社会学与社会调查》主要栏目: “诸子论坛”、“域外风情”、“部、省、市、县长一席座”、“长镜头”、“改革潮”、“华夏风采”、“江海风”、“显微镜”、“企业家风采”、“厂长经理改革坛”、“世界经济窗”、“社会曝光”、“信息与供求”、“中外交流”、“社会学文摘”、“文艺之光”、“畅春园夜话”等等。

#### 订阅办法:

一、《社会学与社会调查》杂志为双月刊(逢双月下旬出版), 国内每期定价 4.80 元, 全年价 28.80 元(含邮资在内); 国外定价每期 2 美元, 全年价 12 美元(含航空邮资)。订阅费请从邮局汇款。多订不限。

二、来函即寄订单, 可破季订阅。

三、收款单位: 《社会学与社会调查》发行部(北京海淀畅春园一号 2 楼), 邮编: 100080

电话: (01)2571135

《社会学与社会调查》发行部

编辑部面向全国招聘通讯员, 凡有志于写作, 开展社会调查的朋友, 均可报名。报名后由我部另行寄发通知细则, 报名地址: 北京海淀畅春园一号二楼《社会调查》编辑部收即可。邮编: 100080 联系人: 欧阳雪

《社会学与社会调查》编辑部