

# 提高电流保护灵敏性的在线整定技术

周步祥, 李烈忠

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

**【摘要】** 根据电流保护选择性和灵敏性的矛盾, 利用微机保护的特点, 提出了线路电流保护的在线整定技术, 在相同保护范围和选择性的基础上可以大大提高保护的灵敏度系数。不仅使得电流保护具有一定的自适应性, 而且实现技术简单可靠, 具有较大的实用价值。

**【关键词】** 电流保护; 灵敏性; 在线整定

## 1 概述

应用很广的传统电流保护的整定, 是按最大运行方式下的最大短路电流确定保护的选择性, 按最小运行方式下的最小短路电流考察保护系统的灵敏度。整定值固定不变。虽然这种方法可以保证保护不会错误地切除被保护的线路, 但在某些情况下系统的灵敏度达不到要求, 即在最小运行方式下或不利的短路条件下, 保护可能失效或性能严重变坏; 另外, 即使保护的灵敏度能够满足要求, 但在非最大运行方式的其它运行方式(可能是系统的主要运行方式), 其定值的整定不是最佳的。电网电流保护的这个问题, 在60年代就提出过一些解决办法, 如在二次回路中加非线性元件等, 但都没有形成“气候”。目前, 通过国内外大量的研究和尝试, 自适应继电保护技术的发展为解决这一问题提供了可能<sup>[2]</sup>, 但要做到真正的自适应, 在实时数据的来源和实时计算等方面还有许多工作要做。其实现的技术难度也比较大。本文在现有微机保护技术的基础上, 在保证保护的范围内的前提下, 通过在线整定提高保护的灵敏度, 实时改变整定值来改善保护的性能, 尽可能使保护工作于最佳状态, 并通过分析提高保护灵敏度的问题, 提出了相应的实现方法。本文提出的技术实现容易, 具有较大的实用价值。

## 2 基本原理

电流保护是反应于电流升高而动作的过量保护装置。电流速断、限时电流速断和过电流保护的整定原则分别为:

- 电流速断: 按照躲开某一点母线的最大短路电流来整定;
- 限时电流速断: 按照躲开前方相邻元件电流速断保护的动作电流整定;
- 过电流保护: 按照躲过最大负荷电流来整定。

由于限时电流速断躲开的是相邻元件电流速断保护的的动作电流, 因此也可以看成是躲开相邻线路的某一点的最大短路电流。所以, 电流保护的整定值可以统一用下式表示为:

$$I_{dz} = K I_{M.MAX} \quad (1)$$

式中:  $K$  为可靠性系数;

$I_{M.MAX}$  为某点  $M$  的最大短路电流或最大负荷电流。

其灵敏系数为:

$$K_{lm} = \frac{I_{M.MIN}}{I_{dz}} = \frac{I_{M.MIN}}{K I_{M.MAX}} \quad (2)$$

$I_{M.MIN}$  是最小运行方式下的最小电流。

图1给出了计算电流保护定值的等值电路。

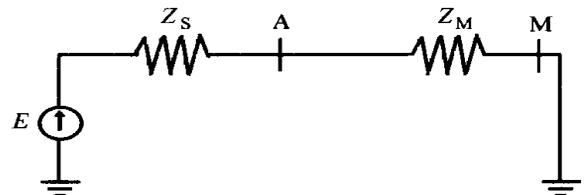


图1 计算电流保护定值的等值电路

图中:  $A$  点为保护安装点;  $E$  为系统等效电源的电势;  $Z_S$  为保护安装处到系统等效电源之间的阻抗;  $Z_M$  为  $M$  点至保护安装处之间的阻抗, 包含负荷阻抗。由此可得:

$$I_M = \frac{E}{Z_S + Z_M} \quad (3)$$

当  $M$  点一定, 在考察相同故障类型时, 影响  $I_M$  的是  $E$  和  $Z_S$ 。  $E$  越大,  $Z_S$  越小, 则  $I_M$  越大, 即大运行方式下的  $I_M$  大, 小运行方式下的  $I_M$  小。为了保证各种运行方式下, 电流保护的选择性, 躲过最大短路电流或最大负荷电流是指最大运行方式下的最大电流  $I_{M.MAX}$ 。为了保证在最不利的条件下保护的灵敏度, 通常是用最小运行方式下的最小电流  $I_{M.MIN}$  来校验的。因此, 有时为了保证灵敏度, 必须缩小保

护范围;保证了保护范围,有时灵敏度又不能满足要求。

事实上,系统实际运行时,任一时刻的运行方式只有一种,是最大运行方式,就不可能是最小运行方式(或其它运行方式)。因此,以上的定值整定和灵敏度校验是矛盾的。如果能使保护装置在线识别到系统的运行方式,将会有效地解决这一矛盾。

若系统当前的运行方式为 $(E_1, Z_{S1})$ ,此时的最大电流和最小电流分别为 $I_{M.max}$ 和 $I_{M.min}$ ,它们和最大运行方式下的最大电流 $I_{M.MAX}$ 以及最小运行方式下的最小电流 $I_{M.MIN}$ 之间的关系为:

$$\begin{cases} I_{M.max} & I_{M.MAX} \\ I_{M.min} & I_{M.MIN} \end{cases} \quad (4)$$

根据(1)和(2)式,在 $(E_1, Z_{S1})$ 运行方式下,电流保护动作的定值和灵敏系数分别为:

$$I_{dz1} = KI_{M.max} \quad (5)$$

$$K_{lm1} = \frac{I_{M.min}}{I_{dz1}} = \frac{I_{M.min}}{KI_{M.max}} \quad (6)$$

根据(4)式,对比(2)式和(6)式得:

$$K_{lm1} > K_{lm} \quad (7)$$

即当前的实时灵敏度系数一定大于整定计算值。

因此,由(7)式可见,当根据系统实际运行的运行方式,对电流保护进行在线整定时,在保护范围不变的情况下,保护的灵敏度将会大大地提高。

### 3 实现技术

为了实现对电流保护的在线整定,以提高保护的灵敏度,必须要解决数据测量问题,在得到实时数据以后必须能对系统的运行方式进行识别,确定了系统的运行方式,就可以完成对保护装置的实时在线整定。在目前微秒级的微机运算中,对毫秒级的保护要求,这是完全能够做到的。

#### 3.1 数据测量问题

常规的电流保护需要测量的数据是流过线路的短路电流,即保护关心的是出现短路情况时的电流。因此,通常的测量设备均是按测量短路电流的测量范围设计的,并且保护只是要判断当前的电流是否已超过保护整定值;如果超过则动作;否则不动。它并不需要得到一个准确的值。但如果要进行电流保护的在线整定,需要在线识别系统的运行方式,则必须能够准确地测量到相应的电气参数值。

根据前面的原理分析,必须实时测量的数据必须包括保护安装处的电压 $\dot{U}_A$ 和电流 $\dot{I}_A$ ,包括它们

的幅值和它们之间的角度。由于短路时电压降低,最小为0,因此电压的测量比较容易解决。但由于短路时电流有可能大幅度的增加,既要测量系统正常运行的电流,又要测量短路时的电流,测量比较困难。因此,这里的测量必须要解决两个问题:

- 测量的电气参数必须能给出准确的值;
- 测量元件必须适应正常运行的电流量程和短路时的电流量程。

目前,利用微机测量技术,给出电压、电流的实时值是比较容易实现的。主要是要解决测量元件对测量量程的适应问题,文献<sup>[3]</sup>提出了一种综合测量的反相补偿技术,它不仅适应正常运行和短路时的电流的大范围的变化,而且可以给出准确的数值。解决这个应用广泛的老大难问题,已是时机。

#### 3.2 运行方式的识别

根据图1,测量出保护安装处的电压、电流,就可以对保护安装处左侧的系统运行方式进行识别了,即识别出此时的系统等值电势和等值阻抗。系统正常运行时,若测得到的电压、电流为 $\dot{U}_A$ 和 $\dot{I}_A$ ,由图1可得:

$$\dot{U}_A = \dot{I}_A Z_M \quad (8)$$

$$\dot{U}_A = \dot{E} - \dot{I}_A Z_S \quad (9)$$

通过(8)式可以求出此时从A到M点的等值阻抗 $Z_M$ ,但如果要确定系统当前的运行方式,还必须确定 $(\dot{E}, Z_S)$ 。显然,(9)式一个方程无法求解两个未知量,要能确定 $(\dot{E}, Z_S)$ 则还必须再找到一个方程。

电力系统是一个动态变化的系统,系统正常运行时,系统的各种电气参数值遵照克氏电流电压的规律(KCL、KVL)保持一种动态平衡的关系。因此,在电力系统实时运行时,不同时刻的电气参数将有可能互不相同。

若 $t_1$ 时刻测量到的电压、电流值为 $\dot{U}_{A1}$ 和 $\dot{I}_{A1}$ , $t_2$ 时刻测量到的电压、电流值为 $\dot{U}_{A2}$ 和 $\dot{I}_{A2}$ ,因此有:

$$\begin{cases} \dot{U}_{A1} = \dot{I}_{A1} Z_{M1} \\ \dot{U}_{A2} = \dot{I}_{A2} Z_{M2} \\ \dot{U}_{A1} = \dot{E} - \dot{I}_{A1} Z_S \\ \dot{U}_{A2} = \dot{E} - \dot{I}_{A2} Z_S \end{cases} \quad (10)$$

由(10)式可以看出,在不同时刻A点的电压、电流 $\dot{U}_A$ 和 $\dot{I}_A$ 的不同是由于其等值阻抗 $Z_M$ 的变化引起的;通过(10)式中的后两个方程式可以求解未知量 $\dot{E}$ 和 $Z_S$ ,即确定当前的运行方式 $(\dot{E}$ 和 $Z_S)$ 。

在实际系统的运行中,根据系统的特点,系统正

常运行时,其电气参数的变化有时可能比较大,有时可能比较小,显然为了得到(10)式的准确、合理的解,应该尽可能地选择变化比较大的情况尽心求解。通常,系统的电压变化比较小,而电流随着负荷的变化而变化的范围比较大。因此通常是通过考察电流  $\dot{I}_{A1}$  和  $\dot{I}_{A2}$  的变化来确定参数  $(\dot{U}_{A1}, \dot{I}_{A1})$  和  $(\dot{U}_{A2}, \dot{I}_{A2})$  的变化,图2给出了识别系统运行方式的程序框图。

由图2可以看出,由于电力系统是一种动态变化的系统,任一时刻的状态都有可能和其它状态不同。对每一时刻的系统的运行方式都进行校验不仅工作量很大,而且也没有必要。因此,保护装置每隔一定的时间  $T$  对系统的运行方式识别一次,对系统的运行方式进行校验;如果测量到电压、电流的变化比较明显,超出一定的范围,则自动对系统的运行方式进行识别。

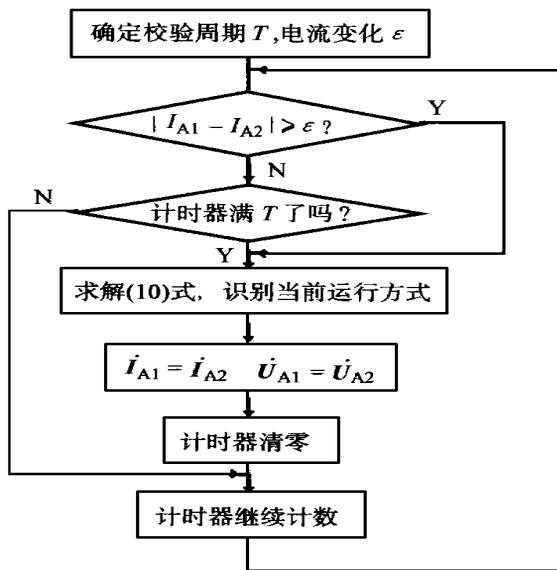


图2 在线识别运行方式的框图

图2中“求解(10)式,在线识别运行方式”框,在实际处理的过程中,必须注意运行方式的准确性。由于数据测量的误差或在运行方式的切换过程中( $\dot{U}_{A1}$ 、 $\dot{I}_{A1}$ 的取值是第一种运行方式,而 $\dot{U}_{A2}$ 、 $\dot{I}_{A2}$ 的取值则是第二种运行方式),有可能产生错误的识别结果。解决的方法,是采用  $n$  次冗余识别法,即识别  $n$  次,结果相同(或相近)才认为运行方式发生了变化。一般  $n$  取值为2~3。

### 3.3 在线整定

根据在线识别得到的系统当前的运行方式,对电流保护进行在线整定,必须计算在此运行方式下的最大短路电流,这有一定的难度。为简化保护的在线整定过程,这里采用查表在线整定的方式。

首先,离线计算运行方式——整定值表,其结构如表1所示。

表1 运行方式——整定值表

运行方式		整定值
$\dot{E}_1$	$Z_{S1}$	$I_{dz1}$
$\dot{E}_2$	$Z_{S2}$	$I_{dz2}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\dot{E}_n$	$Z_{Sn}$	$I_{dzn}$

由于微机型的继电保护装置具有数据存储和记忆功能,并具有良好的数据接口,因此,表1所示的运行方式——整定值表,可以由用户根据系统情况,置于保护装置中。对于实际电力系统,通常主要的运行方式并不十分多。表1中的  $n$  值并不大。即保护装置要存储的数据并不多,常用的微机保护的资源完全可以满足要求。从系统整定精度来看,  $n$  值越大,反映的运行方式越多,在线整定的精度也将越高。具体  $n$  值的确定可以根据实际的系统情况来定。另外,从表1中可以看出,这里在线整定的是保护动作的动作电流值。对于定时限保护的阶梯性时限的配合,没有必要在线整定,时限还是用常规的方法根据电流保护的速断、限时速断和过电流用软件设置来进行整定。

保护装置实时运行时,将根据在线识别的系统的运行方式,通过查找运行方式——整定值表来完成在线整定电流保护动作电流的工作。这里必须注意的是,在查表时,实时识别的运行方式不一定在运行方式——整定值表中可以直接查到。为了保证保护的选择性,应该尽量向大运行方式的方向靠。即,若当前运行方式的电源等值阻抗为  $Z_S$ ,如果在运行方式——整定值表中没有与之相等的运行方式,则选择  $Z_{Srt}$  运行方式进行在线整定,且  $Z_{Srt}$  应满足:

$$Z_{Srt} = \max \{ Z_{Si} \mid Z_{Si} < Z_S, i = (1, n) \} \quad (11)$$

综合以上的分析,应用在线整定技术的电流保护的整定和工作过程为:

- 建立运行方式——整定值表;
- 确定运行方式校验周期  $T$  和电流变化范围;
- 在线识别运行方式;
- 在线整定。

## 4 结论

电流保护的在线整定技术,可以实时地跟踪系

统的运行方式,使得保护工作在较优化的工作状态,在保证保护的选择性的前提下,可以大大提高系统的灵敏度系数。这里提出的在线整定技术,没有考虑电流保护和其它保护的配合问题,如果考虑和其它保护的配合,将使得这种技术更加完善。

#### [参考文献]

- [1] 贺家李等. 电力系统继电保护原理. 北京:水电出版社, 1984.

- [2] 葛耀中. 自适应继电保护及其前景展望. 电力系统自动化, 1997, 21(9).  
[3] 周步祥等. 综合监控系统的测量反相补偿技术. 继电器, 1998, 26(4).

收稿日期:1998—11—18

作者简介:周步祥(1965-),男,副教授,研究方向为电力系统自动化及计算机应用技术;李烈忠(1928-),男,副教授,研究方向为电力系统继电保护及远动技术。

### THE ON-LINE SETTING TECHNOLOGY FOR IMPROVING THE SENSITIVITY OF CURRENT PROTECTION

ZHOU Bu-xiang, LI Lie-zhong

(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract** According to the contradiction between the selectivity and the sensitivity with current protection, the on-line setting technology based on the micro-computer relays is presented in this paper. The sensitivity is obviously improved for the same protecting zone by this technology. It is not only self-adaptive for current relaying protection on different operation modes, but also simple and reliable. It has practical values.

**Keywords** current protection; sensitivity; on-line setting

#### (上接第5页)

- [14] J M Haner, T D Laughlin, C W Taylor. Experience With the R-Rdot Out-of-Step Relay. IEEE Trans On Power Systems, 1986, PWRD-1(2).
- [15] Willian R, Roemish Edward T Wall. A New Synchronous Generator Out-of-Step Relay Scheme (Part I and II). IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1985, PAS-104(3).
- [16] V Centeno, A Gphadhe, etc. An Adaptive Out-of-Step Relay. IEEE Trans on Power Delivery, 1997, 12(1).
- [17] Y Morioka, K Tomiyama, etc. System Separation Equipment To Minimize Power System Instability Using Generator's Angular-Velocity Measurements. IEEE Trans on Power Delivery, 1993, 8(3).
- [18] Y Ohura, M Suzuki, etc. A Predictive Out-of-step Protection System Based on Observation of the Phase Difference Between Substations. IEEE Trans on Power Delivery, 1990, 5(4).
- [19] M Takhashi, K Matsuzawa, etc. Fast Generation Shedding Equipment Based on the Observation of Swings of Generators. IEEE Trans on Power Systems, 1988, 3(2).
- [20] Burnett R O. Synchronized Phasor Measurements of a Power System Event. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(3).
- [21] CIGRE 34. 01 WG Report, Protection Against Out-of-step Operation of Large Synchronous Machines. Electra, 1977, (50).
- [22] CIGRE SC11 Report, Draft Guidelines on Some of the Synchronous Generator Abnormal Operation Conditions. CIGRE Paper, 1980, :11~13.

收稿日期:1998—12—28

作者简介:张毅刚(1970-),男,硕士,现从事发电机失步预测的研究;张保会(1953-),男,教授,博士生导师,IEEE高级会员,主要研究方向为电力系统稳定性及其紧急控制、电力系统继电保护、变电站综合自动化和配电网自动化等。

### OVERVIEW OF GENERATOR OUT-OF-STEP PREDICTION AND PROTECTION

ZHANG Yi-gang, ZHANG Bao-hui

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract** This paper summarizes and evaluates various schemes on generator out-of-step prediction and protection. According to the theories used in the devices, these schemes can be divided into three types: schemes reflecting the generator angle indirectly, schemes based on measuring the generator angle or angular-velocity and schemes based on the energy principle. The advantage and disadvantage of the schemes in application are also pointed out. At last, some suggestions on designing the out-of-step relay are presented.

**Keywords** generator; out-of-step prediction; out-of-step protection