

# 电流电压速断组合——一种自适应电流电压速断保护

孙伟,于哲,杨喜元

(鞍钢供电厂,辽宁鞍山 114003)

**摘要:** 论述了将电流速断、电流闭锁电压速断、电流电压联锁速断 3 种保护同时运行,组成电流电压速断组合的方法。解决了当由短线供电的变压器容量较大且系统运行方式的变化也较大时线路两段式电流保护第一段灵敏度不高的问题。同时介绍了电流电压速断组合与其它保护配合的问题。

**关键词:** 电流电压速断组合; 灵敏性; 综合保护范围

**中图分类号:** TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)07-0055-06

## 0 引言

35 ~ 66 kV 短线路通常采用两段式电流保护。用电流 I 段作为线路的主保护,按躲过由线路供电的变压器二次侧母线短路整定。当变压器(特别是线路 T 接变压器)的容量较大,而系统的运行方式变化也较大时,电流 I 段的灵敏性往往不能满足要求,即使加装了低电压元件也常常不能解决问题。因而出现了电流 I 段采用两套定值,按系统运行方式切换的方法,其弊端是不言而喻的。

经研究表明,上述问题可采用电流电压速断组合来解决。

## 1 电流电压速断组合的原理

所谓电流电压速断组合(以下简称速断组合或组合),就是同时投运 2 至 3 套电流电压速断保护,它们各自具有不同的整定值,分别在各自的灵敏性较高的运行方式下实现线路主保护的职能。因此速断组合必须满足以下两个条件:

1) 各套保护在所有运行方式下均能可靠地躲过由线路供电的变压器二次短路;

2) 在任何一种运行方式下线路末端短路时,速断组合中至少有一套保护的灵敏性应能满足规程规定的要求。

电流速断是按最大运行方式下躲过变压器二次短路整定的;其它运行方式下它的可靠性更高;而灵敏性在运行方式越大时越好。因此,电流速断宜作为大运行方式下的主保护,即组合的第 1 套保护。

电压速断是按最小运行方式下躲过变压器二次短路整定的,可靠性在其它运行方式下更高。它的灵敏性在运行方式越小时越高。因此,电压速断宜作为小运行方式的保护,即组合的第 2 套保护。

为了防止电压速断在电压回路断线,或者短路点不在本线路上,而保护安装处残压低于动作值时误动作,通常加装电流闭锁元件,构成电流闭锁电压速断(简称电压速断)。电流闭锁元件按最小运行方式下线路末端短路灵敏性足够时整定。

电流电压联锁速断(简称联锁速断)的特点是,按选定的中间运行方式下,电流元件躲过变压器二次短路,电压元件与电流元件保护范围相等的原则整定;在其它运行方式下,电流和电压元件互为闭锁元件。这时必有一种元件的保护范围缩短,可靠性提高,而灵敏性降低;同时另一元件的保护范围伸长,灵敏性提高,而可靠性降低。装置的可靠性由两种元件中可靠性较高的元件决定,灵敏性由两种元件中灵敏性最低的元件决定。因此,装置的可靠性提高了,而灵敏性降低了。可见,联锁速断宜作为中间运行方式保护,即组合的第 3 套保护。

综上所述,在一般情况下,可用电流速断、电流闭锁电压速断和电流电压联锁速断 3 套保护构成速断组合,以满足在所有运行方式下对灵敏性的要求。当然,在灵敏性满足的情况下,就不需要装设中间运行方式保护电流电压联锁速断了。

## 2 速断组合的灵敏特性

按照上述整定原则整定,速断组合在所有运行方式下的可靠性都能满足要求,因此组合的可靠性不再讨论。

### 2.1 电流元件的灵敏特性

线路主保护电流元件的灵敏性  $K_{L,i}$  按线路末端两相短路校验。

$$K_{L,i} = \frac{I_d^{(2)}}{I_{dz}} = \frac{\sqrt{3}}{2 I_{dz} (X_{xt} + X_L)} = \frac{\sqrt{3}}{2 I_{dz} X_L} \quad (1)$$

式中:  $I_d^{(2)}$  为线路末端两相短路电流;  $I_{dz}$  为电流元件

动作电流;  $X_{xt}$ 、 $X_L$  为校验运行方式电抗(即线路始端综合电抗)和线路电抗;  $X_L = X_{xt} + X_L$ (本文公式的电抗、电流、电压均采用标么值,故略去表示标么值的下标“\*”)。

### 2.2 电压元件灵敏特性

线路主保护电压元件的灵敏系数  $K_{L,u}$ 按线路末端两相短路时保护安装处的残余电压  $U_{cy}$ 校验。

$$K_{L,u} = \frac{U_{dz}}{U_{cy}} = \frac{X_L}{X_L} U_{dz} = \frac{X_{xt} + X_L}{X_L} U_{dz} \quad (2)$$

式中:  $U_{dz}$ 为电压元件动作电压。

### 2.3 组合的灵敏特性

图1以由3套保护构成(简称3套式组合)组合为例,图中  $K_{L,i1}$ 、 $K_{L,i2}$ 、 $K_{L,i3}$ 为组合第1、2、3套保护电流元件灵敏特性,  $K_{u,i2}$ 、 $K_{u,i3}$ 为组合第2、3套保护电压元件灵敏特性。如图1所示,组合灵敏性呈波浪形,随着系统电抗的增大,自动地调整装置的灵敏性,使它始终保持在一定的范围,从而达到规程的要求。

由图1可知,对3套式组合,在中间运行方式有两个灵敏性最低点。在整定计算时,这两点的灵敏性需要校验。对两套式组合,中间运行方式有一个灵敏性最低点,该点的灵敏性系数应满足要求。否则就加装联锁速断,构成3套式组合。

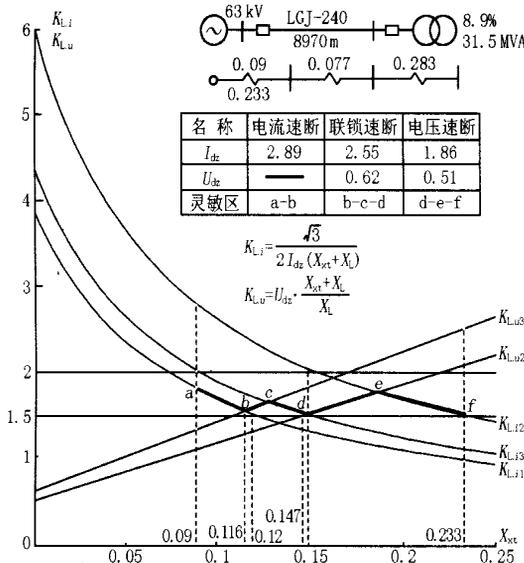


图1 速断组合的灵敏特性(计算实例线路2)

Fig. 1 Sensitive characteristic of quick-break protection combination (calculation case in line 2)

## 3 速断组合的构成原则

速断组合由机电型继电器构成时,要求各套保

护具有独立完整的接线。应分别装设各套保护的信号继电器和总出口的信号继电器。因为在线路短路时,组合往往两套保护同时动作。

速断组合由微机保护构成更为简便。按三段式电流电压保护构成的微机线路保护,只要将软、硬件稍加修改,使各段都具有瞬动和延时动作功能,并且每段电压都能单独整定,就能实现两套式速断组合。若再增加一套电流电压保护,就可实现3套式速断组合,而且不影响装置的原有功能。

## 4 整定计算

### 4.1 计算方法

先计算在大运行方式和小运行方式下保护的整定值,校验灵敏性,确定是否需要中间运行方式保护,然后计算中间运行方式保护的整定值,最后校验灵敏性。

#### 1) 大运行方式保护——电流速断

按躲过本线路供电的变压器二次短路,并且与相邻电流速断配合整定。动作电流取计算值中的较大者。

$$I_{dz} = K_K \cdot I_{d,max}^{(3)} \quad (3)$$

$$I_{dz} = K_P \cdot I_{dz} \quad (4)$$

式中:  $I_{dz}$ 为相邻速断动作电流;  $I_{d,max}^{(3)}$ 为变压器二次最大三相短路电流,可靠系数  $K_K$ 取1.3~1.4;配合系数  $K_P$ 取1.1。

校验最小运行方式下线路末端两相短路灵敏系数,若灵敏系数小于1.5,需装设小运行方式保护。

#### 2) 小运行方式保护——电流闭锁电压速断

电流元件按最小方式下线路末端两相短路灵敏系数不小于1.5整定:

$$I_{dz} = \frac{I_{d,min}^{(2)}}{1.5} \quad (5)$$

式中:  $I_{d,min}^{(2)}$ 为最小运行方式下线路末端两相短路电流。

电压元件按躲过最小运行方式变压器二次短路保护安装处最低残压  $U_{cy,min}$ 整定,取  $K_K = 1.2 \sim 1.3$ 。动作电压为

$$U_{dz} = \frac{U_{cy,min}}{K_K} \quad (6)$$

为了提高灵敏性增大电压速断的保护范围,同时提高3套式速断组合中间运行方式第2个灵敏性最低点的灵敏性,当最小运行方式变压器二次短路电流小于电流元件动作电流时,电压元件可按躲过变压器二次短路并与电流元件相互闭锁的条件整

定<sup>[2]</sup>。

$$U_{dz} = \frac{I_{dz}(X_L + X_B)}{K_K} \quad (6)$$

电流速断与电压速断(电压元件)特性曲线在中间运行方式的交点,  $K_{L.i} = K_{L.u}$ 即:

$$\frac{\sqrt{3}}{2 I_{dz}(X_{xt} + X_L)} = \frac{X_{xt} + X_L}{X_L} U_{dz}$$

解之得:

$$X_{xt} = \frac{1}{2} (-2X_L + \sqrt{\frac{2\sqrt{3}X_L}{I_{dz1}U_{dz2}}}) \quad (7)$$

式中:  $I_{dz1}$ 为电流速断动作电流;  $U_{dz2}$ 为电压速断动作电压。

校验在该运行方式下的灵敏系数,若  $K_L$  小于 1.5,需装设中间运行方式保护。

### 3) 中间运行方式保护——电流电压联锁速断

以式(7)求得的系统电抗或接近于实际中间运行方式的电抗作为计算系统电抗。按计算运行方式下电流元件躲过变压器二次短路,电压元件与电流元件保护范围相等整定。

$$I_{dz} = K_K \cdot I_{dB}^{(3)} \quad (8)$$

$$U_{dz} = 1 - I_{dz} \cdot X_{xt} \quad (9)$$

式中:  $I_{dz}$ 为动作电流;  $I_{dB}^{(3)}$ 为计算运行方式下变压器二次三相短路电流;  $U_{dz}$ 为动作电压;  $X_{xt}$ 为计算运行方式电抗。

### 4) 灵敏性校验(3套式组合)

先校验中间运行方式灵敏性最低点,如灵敏性不够,应校验实际中间运行方式。如果中间运行方式第2个灵敏性最低点灵敏性不够,还要校验最小运行方式下电流闭锁电压速断电压元件的灵敏性。

由式(7)可知,中间运行方式第1、第2两个灵敏性最低点的系统电抗  $X_{xt.1}$ 和  $X_{xt.2}$ 可由下式求得

$$X_{xt.1} = \frac{1}{2} (-2X_L + \sqrt{\frac{2\sqrt{3}X_L}{I_{dz1}U_{dz3}}}) \quad (10)$$

$$X_{xt.2} = \frac{1}{2} (-2X_L + \sqrt{\frac{2\sqrt{3}X_L}{I_{dz3}U_{dz2}}}) \quad (11)$$

式中:  $I_{dz1}$ 、 $I_{dz3}$ 为组合第1、3套保护电流元件动作电流;  $U_{dz2}$ 、 $U_{dz3}$ 为组合第2、3套保护动作电压。

灵敏性校验也可参照图1绘出的速断组合的灵敏特性曲线求得。

校验结果如果灵敏性不够,可根据实际中间运行方式电抗重新选择整定计算系统电抗,修改定值。

## 4.2 速断组合与相邻保护的配合

### 4.2.1 配合原则

速断组合与相邻保护之间,必须同时在灵敏性和动作时间两方面相互配合。时间的配合按时限速断时间配合原则配合。这里只着重分析灵敏性的配合。

灵敏性的配合就是综合保护范围(即保护范围末端综合电抗)的配合。要求下级保护(用上标“ ”表示,以下同)的综合保护范围必须大于上级保护。

$$X_{bh} = K_P X_{bh} \quad (12)$$

式中:  $X_{bh}$ 、 $X_{bh}$ 分别为上、下级保护的配合系数,不小于1.1。

在保护范围末端短路时,电流元件的动作电流等于短路电流,电压元件的动作电压等于保护安装处的残余电压。

因此

$$X_{bh.i} = \frac{1}{I_{dz}}, \quad X_{bh.i}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2 I_{dz}} \quad (13)$$

$$X_{bh.u} = \frac{X_{xt}}{1 - U_{dz}} \quad (14)$$

式中:  $X_{bh.i}$ 、 $X_{bh.i}^{(2)}$ 为电流元件三相和两相短路综合保护范围;  $X_{bh.u}$ 为电压元件综合保护范围。为保证相互配合,整定计算通常由下级保护开始。

### 1) 电流元件的配合

电流元件的三相短路综合保护范围  $X_{bh.i} = \frac{1}{I_{dz}}$ (见注),所以

$$I_{dz} = K_P I_{dz} \quad (15)$$

(注:两相短路时两级电流元件综合保护范围都下降0.866倍,故  $K_P$  不变)可见,电流元件可采用综合保护范围法,也可用传统的动作电流配合法,  $K_P$  相同,但关系式相反。

### 2) 电压元件的配合

电压元件的综合保护范围  $X_{bh.u} = \frac{X_{xt}}{1 - U_{dz}}$ 。对下级电压元件其系统电抗  $X_{xt} = X_{xt} + X_L$ ,  $X_L$ 为上、下级保护安装处之间的线路电抗。因此

$$\frac{X_{xt} + X_L}{1 - U_{dz}} = \frac{K_P X_{xt}}{1 - U_{dz}} \quad (16)$$

上式表明,电压元件的配合关系随着系统电抗的变化而变化,不能用电压元件动作值的比值来配合。

由式(16)可得配合系数为  $K_P$  的系统电抗为:

$$X_{xt.P} = \frac{X_L}{\frac{1 - U_{dz}}{1 - U_{dz}} K_P - 1} \quad (17)$$



时  $K_L$  2, 组合的保护范围总是小于纵差。

当下级线路保护为纵差或横差时, 上级线路不能采用速断配合。因为速断组合要求在上级线路末端短路时  $K_L$  1.5, 保护范围可能伸过下级线路末端, 因而与下级线路的后备保护不配合。

### 4.3 整定计算实例

如图 5 所示, 已知变压器装设差动保护, 线路 1、2 主保护动作时限分别为 0.5 s 和 0 s。计算线路 1、2 主保护定值。

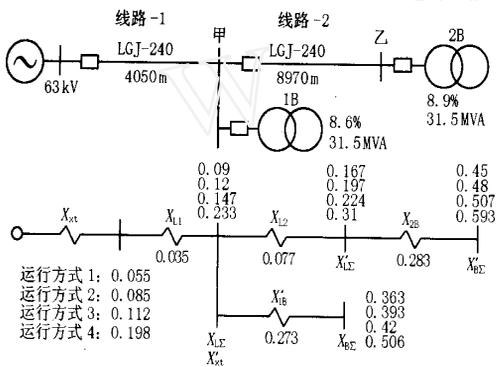


图 5 整定计算实例

Fig. 5 Setting calculation cases

#### 1) 线路 2 主保护

$$\text{电流速断: } I_{dz} = \frac{1.3}{0.45} = 2.89$$

$$K_{L.i} = \frac{0.866}{0.31 \times 2.89} = 0.97 < 1.5$$

需装电压速断。

$$\text{电压速断: } I_{dz} = \frac{0.866}{1.5 \times 0.31} = 1.86$$

$$U_{dz} = \frac{0.0077 + 0.283}{1.2 \times 0.593} = 0.51$$

灵敏性最低点:

$$X_{xt} = \frac{1}{2} \left( -2 \times 0.077 + \sqrt{2 \times 3 \times 0.077} \right) = 0.116$$

137

$$K_{L.i} = \frac{0.866}{(0.137 + 0.077) \times 2.89} = 1.4 < 1.5$$

$$K_{L.u} = \frac{0.51 \times (0.137 + 0.077)}{0.077} = 1.41 < 1.5$$

需装联锁速断。

联锁速断: 取  $X_{xt} = 0.15$  (接近实际值 0.

147)

$$I_{dz} = \frac{1.3}{0.15 + 0.077 + 0.283} = 2.55$$

$$U_{dz} = 1 - 2.55 \times 0.15 = 0.62$$

灵敏性最低点 1:

$$X_{xt.1} = \frac{1}{2} \left( -2 \times 0.077 + \sqrt{2 \times 3 \times 0.077} \right) = 0.116$$

实际值  $X_{xt} = 0.12 > 0.116$ , 在联锁速断保护范围:

$$K_{L.u2} = \frac{0.62 \times (0.12 + 0.077)}{0.077} = 1.59 > 1.5$$

$$K_{L.i2} = \frac{0.866}{(0.12 + 0.077) \times 2.55} = 1.72$$

在  $X_{xt} = 0.116$  点:

$$K_{L.i1} = \frac{0.866}{(0.116 + 0.077) \times 2.89} = 1.55 > 1.5$$

$$K_{L.u2} = \frac{0.62 \times (0.116 + 0.077)}{0.077} = 1.55 > 1.5$$

灵敏性最低点 2

$$X_{xt.2} = \frac{1}{2} \left( -0.154 + \sqrt{2 \times 3 \times 0.077} \right) = 0.15$$

$$K_{L.i2} = \frac{0.866}{(0.15 + 0.077) \times 2.55} = 1.5$$

$$K_{L.u3} = \frac{0.51 \times (0.15 + 0.077)}{0.077} = 1.5$$

在  $X_{xt} = 0.147$  点:

$$K_{L.i2} = \frac{0.866}{(0.147 + 0.077) \times 2.55} = 1.52 > 1.5$$

$$K_{L.u2} = \frac{0.62 \times (0.147 + 0.077)}{0.077} = 1.8$$

线路 2 灵敏性曲线见图 1。

#### 2) 线路 1 主保护

$$\text{电流速断: } I_{dz} = \frac{1.3}{0.363} = 3.58$$

与线路 2 配合:

$$K_P = \frac{3.58}{2.89} = 1.24 > 1.1$$

$$K_{L.i} = \frac{0.866}{0.233 \times 3.58} = 1.04 < 1.5, \text{ 需装电压速}$$

断。

电压速断:

$$I_{dz} = \frac{0.866}{1.5 \times 0.233} = 2.48$$

与线路 2 配合:

$$K_P = \frac{2.48}{1.86} = 1.33$$

$$U_{dz} = \frac{0.035 + 0.273}{1.2 \times 0.506} = 0.51$$

与线路 2 配合

$$K_P = \frac{0.233}{1 - 0.51} \times \frac{1 - 0.51}{0.198} = 1.18 > 1.1$$

灵敏性最低点:

$$X_{xt} = \frac{1}{2} \left( 2 \times 0.035 + \sqrt{2 \times 3 \times 0.035} \right) = 0.094$$

$$K_{L.i} = \frac{0.866}{(0.094 + 0.035) \times 3.58} = 1.88 > 1.5$$

$$K_{L.u2} = \frac{0.51 \times (0.094 + 0.035)}{0.035} = 1.88 > 1.5$$

不需装中间运行方式保护。

### 3) 两级速断组合的配合

因为上级组合为 2 套式, 下级组合为 3 套式, 不必校验中间运行方式的配合。两级电流速断之间, 电压速断之间的配合系数, 在上级组合计算时已校验合格。故两级组合配合合格。

## 5 对速断组合的评价

众所周知, 电流、电压速断保护只适用于某一范围的运行方式, 其他运行方式下灵敏性低。其中, 电流速断适用于大运行方式, 电流闭锁电压速断适用于小运行方式, 而电流电压联锁速断则适用于中间运行方式。因此, 当系统运行方式变化较大时, 就可能遇到采用上述 3 种保护中的任何一种都不能满足灵敏性要求的情况。

电流电压速断组合将上述 3 种保护组合成一个统一的整体, 3 种保护同时运行。因而集中了 3 种保护各自的优点, 使保护装置具有波浪形的灵敏特性曲线, 在各种运行方式下都具有较高的灵敏性。对系统运行方式的变化具有自适应功能。运行中不需要切换, 安全方便。组合的各套保护同时使用, 它们的灵敏特性曲线相互重叠, 线路故障时, 往往 2 套保护同时动作, 可靠性高。速断组合仍属于简单保护, 容易掌握。特别是 2 套式组合, 整定计算很简便。使电流电压保护的应用范围得到很大扩展。鞍

钢电网已有几条线路采用速断组合十多年。经几次短路故障考验运行正常。微机型线路保护容易实现速断组合的功能, 且整定调试简便, 为速断组合推广应用创造了有利条件。

但是, 电流、电压元件在中间运行方式下灵敏性不理想, 使速断组合在原理上仍有局限性, 通常只用于短线路。

### 参考文献:

- [1] DL400 - 91, 继电保护和安全自动装置技术规程 (Technical Regulations on Relay Protection and Safe Automation Devices) [S].
- [2] 山东工学院, 山东省电力局 (Shandong Institute of Technology and Shandong Power Bureau). 电力系统继电保护 (Power System Relay Protection) [M]. 北京: 水利电力出版社 (Beijing: Hydraulic and Electric Power Press), 1979.
- [3] 许敬贤, 张道民 (XU Jing-xian, ZHANG Dao-min). 电力系统继电保护 (Power System Relay Protection) [M]. 北京: 中国工业出版社 (Beijing: China Industry Publishing House), 1963.
- [4] DL T 584-95, 3110 kV 电网继电保护装置运行整定规程 (Setting Regulations on Operation of Relay Protection Devices in 3110 kV Power Network) [S].

收稿日期: 2003-05-30; 修回日期: 2003-10-30

作者简介:

孙伟 (1965 - ), 男, 高级工程师, 长期从事继电保护工作;

于哲 (1972 - ), 女, 工程师, 从事继电保护工作;

杨喜元 (1934 - ), 男, 高级工程师, 长期从事电力系统继电保护工作。

## Combinations of current-voltage quick-break protection — an adaptive current-voltage quick-break protection

SUN Wei, YU Zhe, YANG Xi-yuan

(Angang Power Supply Bureau, Anshan 114003, China)

**Abstract:** This paper mainly discusses the way to form current-voltage quick-break protection. The combinations of current quick-break protection, current blocked-voltage quick-break protection and current-voltage interlocking quick-break protection can reach this goal when they work simultaneously. Such a way can solve the problem of low sensibility of step in two-step current protection, which usually appears when both the capacity of transformer powered by shorter line and the change of system operating modes are comparatively large. Also, this paper concerns the matching between current-voltage quick-break protection combination and other protections.

**Key words:** current-voltage quick-break protection combination; sensitivity; integrated protection range