距离保护第Ⅲ段灵敏度配合的研究

湖南省益阳电业局　　皮洪琴

摘要

在电力系统继电保护设计中，作为后备保护的距离第Ⅲ段也应满足灵敏度互相配合的要求。但究竟如何计算、校验？许多有关继电保护专业方面的文献著作及技术期刊等均未作具体论述〔2、3、4〕。为此，作者首先推导出了多级（两级以上）后备保护其灵敏度的计算公式。接着，作者提出了两组判别式，亦即解决了怎样才能知道后备保护之间的灵敏度总是满足互相配合的要求。此外，本文还就如何达到灵敏度互相配合应满足要求的目的提出了几点作法。

一　引　言

众所周知，在后备保护之间只有当动作时限与灵敏度都互相配合时，才能切实保证保护动作的选择性。动作时限的互相配合较容易实现，这一点对于距离保护第Ⅲ段也毫不例外。

灵敏度互相配合的要求是：对同一故障点而言，要求越靠近故障点的保护应具有越高的灵敏度。在单侧电源的网络接线中，由于越靠近电源端时距离第Ⅲ段保护的动作阻抗整定值越小，而其测量阻抗越大。因此，上述灵敏度应互相配合的要求是自然能够满足的，但在复杂网络（多电源及环网）的保护中，并非这样。鉴于此，在电力系统继电保护设计中，关于校验距离Ⅲ段灵敏度是否满足互相配合的要求这一问题，本文首先研究了如何计算各后备保护对同一故障点的灵敏度，其次探讨了怎样才能保证后备保护之间的灵敏度在系统的任何运行方式下总是互相配合的。本文的这一研究成果已应用到我国某地110kV区域这一网络的继电保护设计中，受到了有关专家、学者的好评。

二　灵敏度的计算

依据灵敏度应互相配合的要求，在图1所示接线图中，当CD线路末端发生故障时，应当满足：

$K_{lm.3}>K_{lm.2}>K_{lm.1}$

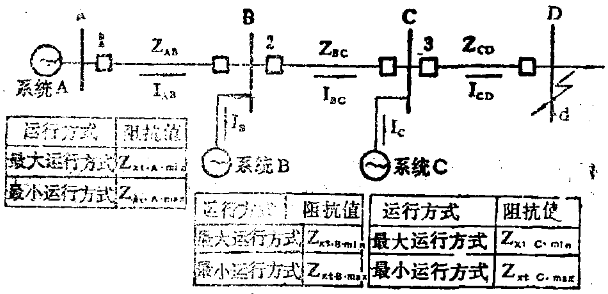

图1

据作者所知，对于灵敏度配合中需要校验而遇到的计算问题等，还没有这方面的文字报道，我国近几年来出版的几本高等院校教材也未曾论述它(2.3.4)。为此，作者在系统继电保护设计的实践中作了一些研究工作。其校验灵敏度配合中的计算原理和方法叙述如下：

当CD线路末端发生短路时，在保护1安装处的测量阻抗$Z_{1\cdot m}$为：

$$Z_{1\cdot m}=\frac{U_A}{I_{AB}}$$

$$=\frac{I_{AB}Z_{AB}+I_{BC}Z_{BC}+I_{CD}Z_{CD}}{I_{AB}}$$

$$=Z_{AB}+\frac{I_{BC}}{I_{BC}}Z_{BC}+\frac{I_{CD}}{I_{AB}}Z_{CD} \tag{1}$$

由文献〔1〕可知：

$$\frac{I_{BC}}{I_{AB}}\triangleq K^{(1)}_{fz\cdot 1} \tag{2}$$

$$\frac{I_{CD}}{I_{AB}}\triangleq K^{(2)}_{fz\cdot 1} \tag{3}$$

则（1）式可以写成：

$$Z_{1\cdot m}=Z_{AB}+K^{(1)}_{fz\cdot 1}Z_{BC}+K^{(2)}_{fz\cdot 1}Z_{CD} \tag{4}$$

由此可求得在系统任意运行方式下保护1的灵敏度：

$$K_{lm\cdot 1}=\frac{Z^{\mathrm{III}}_{dz\cdot 1}}{Z_{1\cdot m}}$$

$$=\frac{Z^{\mathrm{III}}_{dz\cdot 1}}{Z_{AB}+K^{(1)}_{fz\cdot 1}Z_{BC}+K^{(2)}_{fz\cdot 1}Z_{CD}} \tag{5}$$

同理，可求得在计算$K_{lm\cdot 1}$的运行方式下其保护2的灵敏度：

$$K_{lm\cdot 2}=\frac{Z^{\mathrm{III}}_{dz\cdot 2}}{Z_{BC}+K^{(1)}_{fz\cdot 2}Z_{CD}} \tag{6}$$

显然，保护3的灵敏度始终有：

$$K_{lm\cdot 3}=\frac{Z^{\mathrm{III}}_{dz\cdot 3}}{Z_{CD}} \tag{7}$$

（5）、（6）、（7）式中：

$Z^{\text{III}}_{dz.1}$、$Z^{\text{III}}_{dz.2}$、$Z^{\text{III}}_{dz.3}$——分别为保护1、2、3的第Ⅲ段动作阻抗的整定值。

同理，不难导出，当后备保护有n级（n≥2）时其任意运行方式下保护K的灵敏度$K_{lm.k}$计算的一般形势的表达方式为：

$$K_{lm.k}=\frac{Z^{\text{III}}_{dz.k}}{Z_{k(k+1)}+K^{(1)}_{fz.k}Z_{(k+1)(k+2)}+\cdots+K^{(m)}_{fz.k}Z_{(k+m)(k+m+1)}+\cdots+K^{(n-k)}_{fz.k}Z_{nn'}} \quad (8)$$

〔n＞2、k＝1、2……（n－1），m＝1、2、……（n－k－1）〕

式中：

$Z_{dz.k}$—保护k的第Ⅲ段动作阻抗的整定值。

$Z_{(k+m)(k+m+1)}$—保护（k＋m）至保护（k＋m＋1）之间线路的阻抗。

$Z_{nn'}$—保护第n段所在线路的阻抗。

$K^{(m)}_{fz.k}$—保护k的（k＋m）级保护与第（k＋m＋1）级保护之间线路阻抗的分支系数。

第n级保护（离故障点最近的那级保护）的灵敏度使终有：

$$K_{lm.n}=\frac{Z^{\text{III}}_{dz.n}}{Z_{nn'}} \quad (9)$$

文献〔1〕指出：对于某个保护而言，使所有故障阻抗的分支系数均具有最小(大)值的运行方式是同一运行方式。因此，从（5）式或（8）式可以得到这个保护的灵敏度的最大（小）值。由此可见，在系统的各种运行方式下，我们不难计算出每个保护的灵敏度（包括其最大值、最小值）。

三　满足灵敏度互相配合的判别式

上文所论述是对同一故障点而言各后备保护的灵敏度的计算原理和方法。接下来要讨论的是在系统的任何运行方式下怎样才能知道关系式$K_{lm.3}>K_{lm.2}>K_{lm.1}$是恒成立的。关于这个问题，我们不难发现：

当：
$$\left.\begin{aligned}&K_{lm.3}>K^{(1)\prime}_{lm.2}>K_{lm.1.max}\\&K_{lm.3}>K_{lm.2.max}>K^{(2)\prime}_{lm.1}\end{aligned}\right\} \quad (10)$$

和
$$\left.\begin{aligned}&K_{lm.3}>K^{(1)\prime\prime}_{lm.2}>K_{lm.1.min}\\&K_{lm.3}>K_{lm.2.min}>K^{(2)\prime\prime}_{lm.1}\end{aligned}\right\} \quad (11)$$

成立时，总有$K_{lm.3}>K_{lm.2}>K_{lm.1}$这一关系式成立。

（10）、（11）式中：

$K_{lm.1.max}$、$K_{lm.1.min}$——保护1的灵敏度的最大值、最小值。

$K_{lm.2.max}$、$K_{lm.2.min}$——保护2的灵敏度的最大值、最小值。

$K^{(1)\prime}_{lm.2}$、$K^{(1)\prime\prime}_{lm.2}$——是在分别计算$K_{lm.1.max}$、$K_{lm.1.min}$的运行方式下所求的保

护2的灵敏度。

$K^{(2)\prime}_{lm\cdot1}$、$K^{(2)\prime\prime}_{lm\cdot1}$——是在分别计算$K_{lm\cdot2\cdot max}$、$K_{lm\cdot2\cdot min}$的运行方式下所求的保护1的灵敏度。

（10）、(11)式所描述的是在每个保护的灵敏度分别为最大值和最小值时，亦即系统在极限运行方式下（对灵敏度配合最不利的情况）的关系式。倘若成立，也就是说在这些极限运行方式下后备保护之间的灵敏度是满足互相配合这一要求的。那么，当系统在其它任意运行方式下运行时，各后备保护就会自然而然地满足灵敏度应互相配合的要求。此外，我们进一步通过观察可以看出，在（10）式中，若$K_{lm\cdot3}>K^{(1)\prime}_{lm\cdot2}>K_{lm\cdot1\cdot max}$成立，则$K_{lm\cdot2\cdot max}>K^{(2)\prime}_{lm\cdot1}$一定成立。当（10）式成立时，那么（11）式便只需检验$K^{(1)\prime\prime}_{lm\cdot2}>K_{lm\cdot1\cdot min}$和$K_{lm\cdot2\cdot min}>K^{(2)\prime\prime}_{lm\cdot1}$是否成立。既然如此，检验灵敏度是否满足互相配合的判别式（10）、（11）式便可转化为：

$$\left.\begin{aligned}&K_{lm\cdot3}>K^{(1)\prime}_{lm\cdot2}>K_{lm\cdot1\cdot max}\\&K_{lm\cdot3}>K_{lm\cdot2\cdot max}\end{aligned}\right\}\qquad(12)$$

和

$$\left.\begin{aligned}&K^{(1)\prime\prime}_{lm\cdot2}>K_{lm\cdot1\cdot min}\\&K_{lm\cdot2\cdot min}>K^{(2)\prime\prime}_{lm\cdot1}\end{aligned}\right\}\qquad(13)$$

以上论述的是后备保护为3级的情形，当然，这也是最常见的。当后备保护有更多级数时，同理可导出其灵敏度应互相配合的判别式。即从离故障点最近的保护的上一级保护开始计算出每一级保护的最大灵敏度（最小灵敏度），与此同时（即在求那一级保护的最大灵敏度或最小灵敏度的运行方式下）求出其它保护的灵敏度。然后，再观察类似于（10）、（11）式之形式的判别式是否成立。

四　灵敏度不能配合时的调整方法

当后备保护之间的灵敏度不能使判别式成立时，亦即后备保护之间的灵敏度应互相配合的要求不能满足时，作者认为不妨依据判别式对个别保护装置进行适当调整。目前，我国的距离保护装置多采用方向阻抗继电器。因此，调整的方法是改变保护的动作阻抗整定值，或者选用其它特性的阻抗继电器。其具体作法：

（1）当为了减小某个保护灵敏度的值时，一般将其定值减小。不过，此时一定要使调整后的保护当在本线路末端和相邻线路末端短路时的灵敏度仍要满足其要求（分别大于1、5和1、2）。

（2）当为了增大某个保护灵敏度的值时，可以将保护装置换为具有四边形特性的阻抗继电器（加大其整定值）；若保护采用的是全阻抗继电器，那么，一般把保护装置换为方向阻抗继电器（对应为整定值要加大）。但是，此时为了增大灵敏度，绝不能简单地将原保护装置中的阻抗继电器的整定值加大。根据距离保护的工作原理，这是不允许的。

五　设计实例

本实例取自文献〔5〕。图2为某地110kV电力系统等值网络图，图中的数值均为阻抗的标幺值。（在计算中，取$U_j=U_a=115kV$、$S_j=100MVA$）

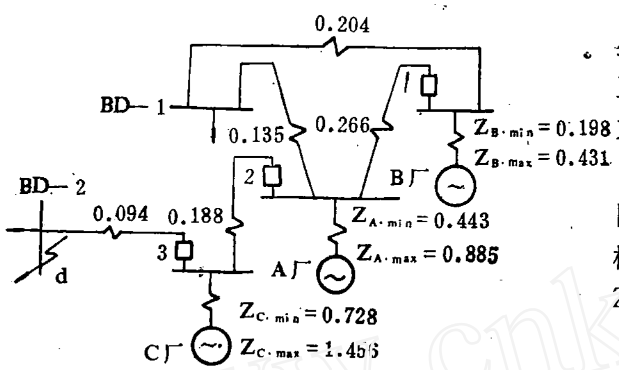

图2

图2中，当在BD—2母线上发生短路时，应保证后备保护灵敏度的互相配合满足要求。即要校验$K_{lm\cdot3}>K_{lm\cdot2}>K_{lm\cdot1}$是否成立。

已知距离保护1、2、3的动作阻抗整定值（为了便于计算，在此用标幺值表示）分别为：$Z^{II}_{dz\cdot1}=1.792$、$Z^{II}_{dz\cdot2}=2.049$、$Z^{II}_{dz\cdot3}=2.885$

1．检验（12）式是否成立

无论系统为哪种运行方式，均有：

$$K_{lm\cdot3}=\frac{2.885}{0.094}=30.69$$

（a）$K_{lm\cdot1}$为最大值的运行方式是：B厂至BD—1线路断开，B厂为最大运行方式，A、C厂为最小运行方式。

$$K_{lm\cdot1\cdot max}=\frac{1.792}{0.266+1.52\times0.183+2.034\times0.094}$$
$$=2.41$$

$$K^{(1)\prime}_{lm\cdot2}=\frac{2.049}{0.188+1.338\times0.094}=6.53$$

显然，满足：$K_{lm\cdot3}>K^{(1)\prime}_{lm\cdot2}>K_{lm\cdot1\cdot max}$

（b）$K_{lm\cdot2}$为最大值的运行方式是：A、B厂均为最大运行方式，C厂为最小运行方式。

$$K_{lm\cdot2\cdot max}=\frac{2.049}{0.188+1.263\times0.094}=6.68$$

显然，满足：$K_{lm\cdot3}>K_{lm\cdot2\cdot max}$

2．检验（13）式是否成立。

（a）$K_{lm\cdot1}$为最小值的运行方式是：B厂为最小运行方式，A、C厂均为最大运行方式。

$$K_{lm\cdot1\cdot min}=\frac{1.792}{0.266+4.122\times0.188+6.597\times0.094}=1.079$$

$$K_{lm\cdot 2}^{(1)''}=\frac{2.049}{0.188+1.603\times 0.094}=6.05$$

显然，满足$K_{lm\cdot 2}^{(1)''}>K_{lm\ 1\ min}$.

（b）$K_{lm\cdot 2}$为最小值的运行方式是：A、B厂均为最小运行方式，C厂为最大运行方式，A厂至BD—1的线路或B厂至BD—1的线路断开。

$$K_{lm\cdot 2\cdot min}=\frac{2.049}{0.188+1.794\times 0.094}=5.745$$

$$K_{lm\cdot 1}^{(2)''}=\frac{1.792}{0.266+1.788\times 0.188+3.207\times 0.094}=1.983$$

显然，满足$K_{lm\cdot 2 min}>K_{lm\cdot 1}^{(2)''}$

由上述计算可知，保护1、2、3的灵敏度配合是满足要求的。亦即在任何运行方式下发生短路故障时总有$K_{lm\cdot 3}>K_{lm\cdot 2}>K_{lm\cdot 1}$这一关系式成立。

六 结 束 语

本文为距离Ⅲ段保护之间检验灵敏度的配合是否满足要求和怎样才能达到满足要求的目的提供了分析、计算和解决问题的方法。并推导出了当后备保护有n级时（$n\geqslant 2$）其灵敏度的计算公式。本文提出的判别式是考虑到系统出现对灵敏度配合最不利的运行方式时所应满足的关系式，因此，当它成立时，那么在其它任何运行方式下必定成立。亦即后备保护之间总会满足灵敏度应互相配合这一要求的。

本文结论使得距离保护整定计算理论更趋完善，同时对于检验电流Ⅲ段，零序Ⅲ段是否满足灵敏度的互相配合也有其值得借鉴的地方，这已超出本文的范围，应作专门研究。

本文承蒙武汉水利电力学院张哲教授审阅，在此谨致谢意！

参考文献

1．距离保护第Ⅱ段动作阻抗整定计算的研究　皮洪琴　继电器　1989　2

2．电力系统继电保护设计原理　吕继绍主编　水利电力出版社　1986

3．电力系统继电保护原理（第二版）　贺家李　宋从矩编　水利电力出版社　1985

4．电力系统继电保护原理与运行　华中工学院编　水利电力出版社　1985

5．某地110kV电力系统继电保护设计　皮洪琴　武汉水利电力学院　1987