

单电源短距离输电线微机距离保护的研究

陈曙玲, 温阳东

(合肥工业大学电气及自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 论述了在 110 kV 单侧电源短距离重要输电线路这一特殊应用背景下, 微机距离保护装置采用工频变化量距离保护原理的优越性和不足之处。详细分析了工频变化量距离继电器在单侧电源线路中的动作特性, 在原动作判据基础上增加了简单的工频变化方向判据, 并结合四边形特性距离继电器特性, 提出了一种可行性距离保护方案, 实现了微机距离保护的快速性和高可靠性。

关键词: 工频变化量; 故障分量网; 单侧电源; 距离继电器

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)02-0023-04

1 引言

距离保护因具有不受运行方式变化影响的特点, 在输电线路保护中广为应用, 在线路保护中占据着极为重要的地位^[1]。但是常规距离保护原理存在易受过渡电阻和系统振荡影响的不足之处, 且其动作判据复杂, 微机实现的算法复杂。

电流保护因动作判据简单, 便于实现, 一般是快速保护的首选。但是其受运行方式变化影响很大^[3], 尤其是在运行方式变化大的短距离输电线路中, 在满足选择性时, 只能保护到线路全长的 1/5, 有时甚至无保护范围。

而随着工频变化量距离保护原理的诞生, 这些问题得到了较好的解决。工频变化量距离保护原理是 80 年代中期提出的一种新的保护原理。其在双侧电源系统中能严格区分区内、外故障, 且不受系统振荡的影响, 具有自适应能力强, 判据简单便于微机实现等优良特性^[2-4]。

它不但继承了传统距离保护不受运行方式变化影响这一特点, 而且具有更高的灵敏性、可靠性、自适应性。可见若工频变化量距离继电器在单侧电源依然具有如此优良的特性, 毫无疑问它应是距离保护装置快速主保护原理的首选, 但笔者经过仔细的

分析, 发现其在单侧电源短距离输电线路的应用中存在一些不足。

2 工频变化量距离继电器在单侧电源线路中的动作性能分析

电力系统发生故障时, 故障系统可以看作是正常运行网与故障分量网的叠加, 如图 1 中所示。相应的故障电流、电压可看作是正常运行网中的工频分量和故障分量网中的工频分量和暂态分量的叠加。而由于微机保护中加入了数字滤波环节, 利用的是电流电压的工频分量。因此在分析时, 可将故障电流、电压量视作正常运行网中工频分量和故障分量网中的工频分量的叠加。故障分量网中的工频分量就是系统故障后产生的工频变化量。

其中: E_N 、 E_N 、 E_F 分别为系统电势和电势变化量以及故障点电势变化量;

I 、 I_N 、 I 分别为故障线路电流, 正常运行电流, 电流的工频变化量;

U 、 U_N 、 U 分别为故障线路电压, 正常运行电压, 电压的工频变化量。

工频变化量距离继电器反映的是工频的变化量的特性, 因此只需在故障分量网中进行相关的分析。工频变化量距离继电器的动作判据如公式(1):

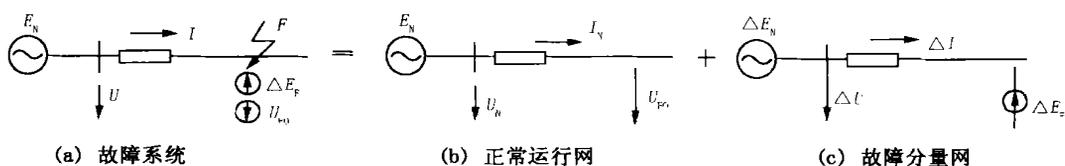


图 1 故障系统及其等值网

Fig. 1 fault system and its equal net

$$|U_{OP}| > U_Z \quad (1)$$

对相间距离有 $U_{OP\phi\phi} = U_{\phi\phi} - I_{\phi\phi} * Z_{zd}$

($\phi\phi$ 表示相间如 :ab、bc、ca)

对接地距离有 $U_{OP\phi} = U_{\phi} - (I_{\phi} + k3I_0) * Z_{zd}$

(ϕ 表示单相如 :a、b、c)

式中: Z_{zd} 为线路整定阻抗,一段取 $0.8 \sim 0.85 Z_1$ (保护线路阻抗); U_Z 为整定门坎,取故障前工作电压的记忆量,如图 1 中的 U_{F0} ; U_{OP} 为故障分量网末端电压的整定值; k 为零序补偿系数; $U_{\phi\phi}$ 、 U_{ϕ} 、 $I_{\phi\phi}$ 、 I_{ϕ} 、 I_0 分别为相间和相电压、电流、零序电流。

以下就系统发生区内区外短路故障情形和系统空载合闸,重合闸动作时的特殊情形下,对此动作判据的动作特性分别进行了分析。

2.1 短路故障分析

2.1.1 金属性短路故障

在电力系统故障分析中,通常假设系统电势不变,所以在故障分量网中,电势的变化量为零,如图 2 故障分量网短路计算图中所示。图 3、图 5、图 4 分别为正方向区内、区外以及反方向区外发生金属性短路故障时的电压分布情况。通过电压分布图,可以简洁直观地得出动作判据的动作特性。

由图 3、图 5 的电压分布情况可以得到如下结论:

由图 3 的电压分布情况可知:系统在发生正方向区内金属性短路故障时,有

$$|U_{OP}| > E_{F1} = U_Z$$

满足动作方程(1),保护能够可靠动作。

由图 5 的电压分布情况可知:系统发生正方向区外金属性短路故障时,有

$$|U_{OP}| < E_{F3} = U_Z$$

不满足动作方程(1),保护可靠不动作。

由图 4 的电压分布情况可知,系统发生反方向区外短路故障时,与双侧电源线路不同,对侧无助增电源即无零电势点,因此有

$$|U_{OP}| = E_{F2} = U_Z$$

处于动作边界,不能满足保护可靠不动作。

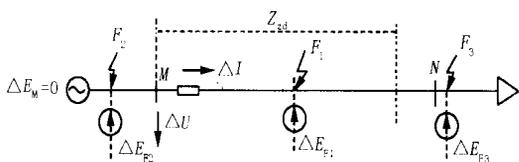


图 2 故障分量网短路计算图

Fig. 2 fault component net for short circuit fault calculation

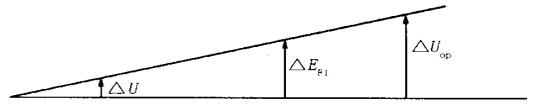


图 3 正方向区内故障电压分布图

Fig. 3 voltage distributing of positive direction inner fault

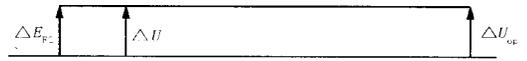


图 4 反方向区外故障电压分布图

Fig. 4 voltage distributing of negative direction outer fault

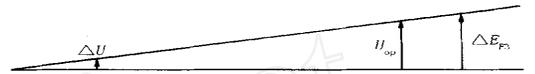


图 5 正方向区外故障电压分布图

Fig. 5 voltage distributing of positive direction outer fault

2.1.2 非金属性短路故障分析

正方向故障

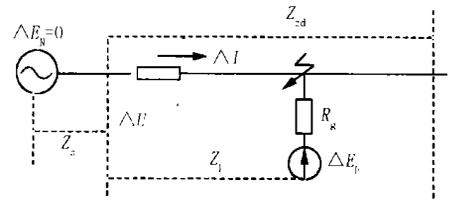


图 6 正方向故障计算用图

Fig. 6 positive direction fault calculation

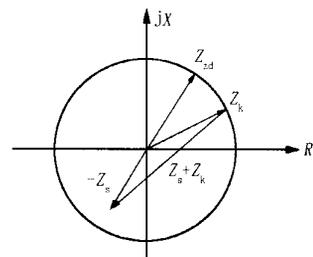


图 7 正方向阻抗特性圆

Fig. 7 positive direction impedance characteristic

图中: Z_S 为系统阻抗, Z_K 为故障测量阻抗, Z_{zd} 为整定阻抗, R_g 为过渡电阻。

根据公式(1)中的定义有

$$U_Z = |E_F| \quad (2)$$

又由图 6 可知

$$E_F = - I(Z_S + Z_K) \quad (3)$$

$$U_{OP} = - I(Z_S + Z_{zd}) \quad (3)$$

代入式(1)得到

$$|I(Z_S + Z_{zd})| > |I(Z_S + Z_K)| \quad (4)$$

$$|Z_S + Z_{zd}| > |Z_S + Z_K| \quad (4)$$

因此可以根据式(4)得到正方向阻抗圆特性如图7。显然在动作特性圆内保护可靠动作,区外可靠不动作,而且由图7还可以看出此动作判据具有很好的抗过渡电阻能力。

反方向故障

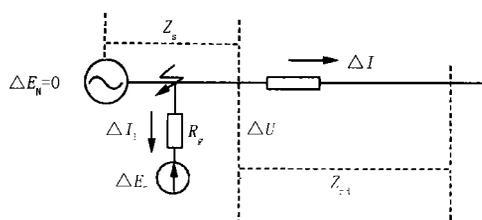


图8 反方向故障计算用图

Fig. 8 negative direction fault calculation

图8中符号定义与图6中相同。 I_1 为保护背侧电流的工频变化量值。

由于是单侧电源背侧发生故障,在故障系统中保护侧电流为零,电压为短路点电压,因此在故障分量网中,电流的工频变化量为正常运行电流的负值,电压的工频变化量为短路点电压的工频变化量。此外因测量阻抗无法确定,故而无法如双侧电源线路一样得到相应阻抗特性圆。具体分析如下:

假设 I_N 、 U_N 为保护侧正常运行的电流、电压:

$$\text{则有 } I = -I_N \quad U = E_F - I_1 \cdot R_g \quad (5)$$

根据公式(1)中定义有 $U_Z = |E_F|$

$$U_{OP} = U - I \cdot Z_{zd}$$

根据公式(5)得到

$$U_{OP} = E_F - I_1 \cdot R_g + I_N \cdot Z_{zd} \quad (6)$$

代入公式(1)

$$|E_F - I_1 \cdot R_g + I_N \cdot Z_{zd}| > |E_F| \quad (7)$$

又因为

$$E_F \quad U_N \gg I_N \cdot Z_{zd} \quad 0.05 U_N \quad (8)$$

$$\text{而 } 0 \quad I_1 \cdot R_g \quad E_F \quad (9)$$

因为 $I_1 \cdot R_g$ 是不确定因素,随过渡电阻和背侧工频电流变化量而不断变化,所以当其大于0.05倍正常运行电压时保护不动作,而当其小于等于0.05倍正常运行电压时保护将会动作。

由此可知在发生反方向区外非金属性短路故障时,保护有可能误动作。

2.2 系统空载合闸和重合闸动作

当系统空载合闸时或保护背侧断路器合闸时,保护侧的电压、电流由零变化为正常运行电压、电流值。即保护侧电压工频变化量为正常运行时电压的负值,电流工频变化量为正常运行时电流的正值。

此时若取变化前的记忆量作比较,保护一定会满足公式(1),如下式(10),从而误动作。

$$|U_{OP}| = |-U_N - I_N \cdot Z_{zd}| > U_Z = 0 \quad (10)$$

当保护侧重合闸动作时,保护侧电压工频变化量可视为零,电流工频变化量为正常运行电流的正值。保护不会满足动作方程,如式(11)

$$|U_{OP}| = |0 - I_N \cdot Z_{zd}| \ll U_Z = U_N \quad (11)$$

综上所述,工频变化量距离继电器在单侧电源线路中的动作特性如下:

在系统发生正方向短路故障时,具有严格区分区内外故障的良好特性,且具有良好的抗过渡电阻能力。

在系统发生反方向故障时,处于动作边界状态,保护可能会误动。

在系统空载合闸或线路保护背侧断路器合闸时,保护会误动。

3 防止保护误动的策略

由上面的分析可知,工频变化量距离保护原理在单侧电源线路中应用时,必须要采取必要措施防止系统发生反方向故障和系统空载合闸或保护背侧断路器合闸时的两种误动情况,如此才能有效发挥此原理的优良特性。

针对反方向故障保护误动情形,我们可以看到在发生反方向故障时,工频电流变化方向是减小方向,即负方向,而发生正方向故障时,工频电流变化方向是增大方向,即正方向。因此,可以增加工频电流变化方向动作判据,如式(12)。当工频电流变化方向为负方向时闭锁工频距离保护,当工频电流变化方向为正方向时开放工频距离保护,从而实现了防止反方向故障误动。

$$I = I_N - I > 0 \quad (12)$$

式中: I 为工频电流变化量, I_N 为正常运行的工频电流, I 为故障后的工频电流。

针对空载合闸和保护背侧断路器合闸时的误动情形,可以有多种解决办法。

软件延时。避免在合闸瞬间,记忆量为零时启动保护。

采用固定电压记忆量,且取值较大。此方法有可能造成正方向故障判别灵敏性降低。

采用工频电压变化方向判据,具体分析方法与工频电流变化方向一致。结果与其恰好相反,因为故障时工频电压变化为负方向,而合闸时工频电压变化为正方向。其动作判据如式(13)。

$$U = U_N - U < 0 \quad (13)$$

式中: U 为工频电压变化量, U_N 为正常运行的工频电压, U 为故障后的工频电压。

本文距离保护设计采用了在原动作判据基础上增加工频电压、电流变化方向判据的方案。因为在微机具体实现时,在计算 U_{OP} 时,必须先计算 U 、 I ,因此虽然在原理上增加了方向判据,但在微机具体实现时,只需要增加简单的判别语句而已,并没有增加计算量。因此在单侧电源线路中,在原来工频距离判据基础上增加了工频变化量方向判据后,保护依然能实现在双侧电源线路中的优良特性。

4 微机距离保护在单侧电源短线路中的实现方案

工频变化量距离保护原理的最大特点是快速可靠,且不受运行方式改变的影响,作为距离快速保护优势明显。但在发生缓慢发展性故障时,由于电流、电压的工频变化量较小,不是其特长所在。宜采用运行经验丰富,抗过渡电阻能力较强的四边形特性的距离继电器,以便增强整套保护的可靠性^[6]。

如下给出设计的微机距离保护装置的实现方案。

4.1 启动元件

采用电流突变量启动判据,并配以零序电流越界辅助判据。前者对严重故障反映快速,而后的优势在于反映高阻接地故障,二者相互配合,相得益彰。

4.2 距离保护

采用了增加工频变化方向判据的工频变化量距离继电器作为距离快速保护一段,保证动作的快速、可靠。对于二、三段,由于时间足够充裕,选择相对

较复杂的四边形特性距离继电器,保证动作的高可靠性。

此外为提高系统供电可靠性,应根据具体要求设定三相重合闸保护及后加速保护,后加速保护依然采用工频变化量距离保护原理实现。

5 结束语

本文详细论证了工频距离保护原理在单电源短距离输电线路中应用的可行性问题,并提出了采用工频变化方向判据来提高保护可靠性的策略,具有一定的理论价值。最后提出了一种快速而可靠的微机距离保护的配置方案,对实践具有指导意义。

参考文献:

- [1] 段玉倩,贺家李.基于人工神经网络的距离保护[J].中国电机工程学报,1999,19(5):67-71.
- [2] 戴学安.综论工频变化量继电器[J].电力系统自动化,1995,19(1):41-47.
- [3] 周步祥,李烈忠.提高电流保护灵敏性的在线整定技术[J].继电器,1999,27(4):18-21.
- [4] 沈国荣,隋凤海,陈涛,等.LFP-901超高压线路成套快速保护装置[J].电力系统自动化,1993,17(6):52-56.
- [5] 刘一江.距离保护的快速算法、误差补偿和网络实现[J].湖南大学学报,2000,27(4):66-71.
- [6] 李松涛,田维,陈录.微机工频变化量距离保护校验方法分析[J].黑龙江电力技术,1999,21(5):31-33.

收稿日期: 2002-07-03; 修回日期: 2002-11-20

作者简介:

陈曙玲(1977-),女,硕士,研究方向为电力系统监控与微机保护;

温阳东(1955-),男,教授,硕士生导师,主要从事继电保护,计算机控制技术,现场总线技术方面的研究。

Study of the microcomputer distance protection in single source and short distance transmission line

CHEN Shu-ling, WEN Yang-dong

(Electrical and automatic Engineering institute, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The paper discusses the advantage and the disadvantage of the microcomputer distance protection device based on the power frequency variation principle which will be applied in the background of 110kV short distance transmission line with single source. Then it analyses the characteristic of power frequency variation distance relay applied in the background. A simple direction formula is added to the original formula as a subsidiary condition. Finally, with combination to the distance relay with quadrangular characteristic, A feasible protection scheme is brought forward, which makes the distance protection more quickly and more reliable.

Key words: power frequency variation; fault component net; single side source; distance relay