

工频变化量距离元件一些问题的探讨

姚旭¹, 何方明², 索南加乐², 焦在滨²

(1. 甘肃省电力公司调度通信中心, 甘肃 兰州 730050;

2. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 对工频变化量距离元件的特性进行了研究, 指出原理上其与自适应电流速断保护是一致的, 在实际的判据中, 浮动门槛下保护判据和固定门槛下保护判据都与自适应电流速断保护的判据是近似的。同时对沿线电压分布、电容电流对保护范围的影响进行了研究。理论分析了浮动门槛下区外金属性故障时保护的性能, 得到保护不会发生误动的结论。

关键词: 工频变化量; 距离保护; 自适应电流; 沿线电压分布; 电容电流

Some discussion on the fault component distance protection

YAO Xu¹, HE Fang-ming², SUONAN Jia-le², JIAO Zai-bin²

(1. Dispatching Center of Gansu Electric Power Company, Lanzhou 730050, China;

2. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The characteristics of the fault component distance protection are studied. It is pointed out that the fault component distance relay is the same as the adaptive instantaneous current protection essentially. And in practice, the criterions of the fault component distance protection based on whether fixed setting value or adaptive setting value are both similar to that of the adaptive instantaneous current protection. The influences of the distributed voltage and the capacitance current along the transmission line on the protection range are discussed too. Finally, by analyzing the performances of the fault component distance protection using adaptive setting value on external fault, it is concluded that the protection will not mal-operate in this situation.

Key words: fault component; distance protection; adaptive current protection; distributed voltage along the transmission line; capacitance current

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)16-0078-06

0 引言

工频变化量距离继电器的发展与应用是近十多年来电力系统继电保护领域的重大进展, 它不仅继承了传统距离保护的优点, 而且判据简单, 自身具有方向性没有死区, 不受振荡影响, 抗过渡电阻能力强^[1-3], 因此在高压输电线路得到了广泛的应用。但是对其性能和本质的研究却并不完善, 或未引起重视。

在现有的保护装置中, 工频变化量距离保护动作判据门槛的选择有两种形式, 一种是固定门槛, 一种是浮动门槛。文献[4]对固定门槛的工频变化量距离保护的判据进行了分析, 指出了固定门槛下其与自适应电流速断保护是相似的, 自适应电流速断保护保护范围受系统运行方式的影响同样也存在于工频变化量距离中, 同时固定门槛下的工频变化量距离保护又会受负荷的影响。但其并未研究浮动门

槛下保护的性能。本文将对浮动门槛下的工频变化量距离保护进行研究, 并在原理上进一步揭示其与自适应电流速断保护的关系。同时对沿线电压分布和电容电流对工频变化量距离保护保护范围的影响进行了分析。最后对浮动门槛下区外金属性故障时保护是否会发生误动的问题进行了理论分析。

1 工频变化量距离保护的性能分析

电力系统发生故障时, 我们可以应用叠加原理将其分解成正常运行网络和故障网络的叠加, 如图1所示。

在任何运行方式、运行状态下系统故障时, 保护安装处测量到的全电压 u_m 、全电流 i_m 可以看作是故障前状态下非故障分量电压 $u^{[0]}$ 、电流 $i^{[0]}$ 与故障分量电压 Δu 、电流 Δi 的叠加。即

$$\begin{cases} u_m = u^{[0]} + \Delta u \\ i_m = i^{[0]} + \Delta i \end{cases}$$

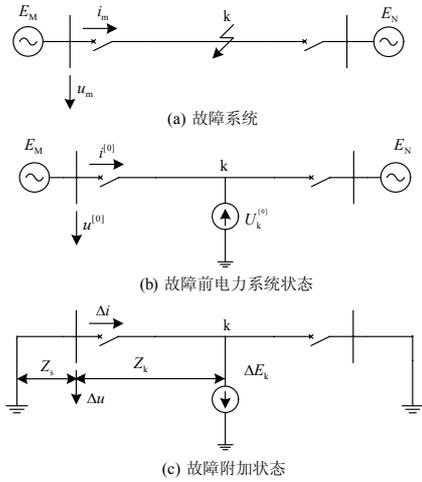


图1 故障系统及其等值网络

Fig.1 Fault component network

工频变化量距离保护是一种反应工频故障分量电压、电流而工作的距离保护, 它只需在故障分量网络中进行分析。其动作判据可以表示为^[3]

$$|\Delta \dot{U}_{op}| \geq U_k^{[0]} \quad (1)$$

对于接地故障有

$$\Delta \dot{U}_{op\phi} = \Delta \dot{U}_{\phi} - (\Delta \dot{I}_{\phi} + k3\dot{I}_0) \cdot Z_{zd}, \quad \phi \in a, b, c \quad (2)$$

对于相间故障有

$$\Delta \dot{U}_{op\phi\phi} = \Delta \dot{U}_{\phi\phi} - \Delta \dot{I}_{\phi\phi} \cdot Z_{zd}, \quad \phi \in a, b, c \quad (3)$$

其中: Z_{zd} 为整定阻抗, 一般取为线路正序阻抗的 80%~85%; K 为零序补偿系数, $K = (z_0 - z_1) / 3z_1$; z_1 、 z_0 分别线路单位长度的正序、零序阻抗; $\Delta \dot{U}_{op}$ 为保护范围末端电压的整定值; $U_k^{[0]}$ 为故障前电压的记忆量; $\Delta \dot{U}_{\phi}$ 、 $\Delta \dot{I}_{\phi}$ 、 $\Delta \dot{U}_{\phi\phi}$ 、 $\Delta \dot{I}_{\phi\phi}$ 为保护安装处的故障电压和故障电流。

在工频变化量距离保护的的实际应用中, 通常有两种阈值值的取值方法, 一种是固定阈值, $U_Z = k_{rel} U_N$ 。另一种是浮动阈值, 其动作判据如式 (4) 所示。

$$\Delta U_{op} > k_{rel} |\dot{U}_{zd}| \quad (4)$$

式中, \dot{U}_{zd} 为保护范围末端的故障前电压, 可以通过式 (5) 进行计算。

$$\dot{U}_{zd} = \dot{U}^{[0]} - \dot{I}^{[0]} \times Z_{zd} \quad (5)$$

式中, $\dot{U}^{[0]}$ 、 $\dot{I}^{[0]}$ 为保护安装处的故障前电压和故障前电流。

1.1 浮动阈值下保护和固定阈值下保护之间的关系

浮动阈值下动作判据可表示为

$$|\Delta \dot{U} - \Delta \dot{I} Z_{zd}| \geq k_{rel} U_{zd}$$

正方向故障时, $\Delta \dot{U} = -\Delta \dot{I} Z_s$, 即

$$|\Delta \dot{I}| |Z_s + Z_{zd}| \geq k_{rel} U_{zd}$$

令 $U_{zd} = a U_N$, 其中 a 与故障前状态有关, 将其带入上式, 可得

$$|\Delta \dot{I}| \geq \frac{k_{rel} a U_N}{|Z_s + Z_{zd}|} \quad (6)$$

由式 (6) 可知, 浮动阈值下保护判据与固定阈值下保护判据是相似的。在正方向发生故障时, 浮动阈值也会受系统阻抗、可靠系数和负荷的影响。由于 a 与故障前状态有关, 因此相对固定阈值来说, 浮动阈值下保护受负荷的影响将会降低。

1.2 工频变化量距离保护原理与自适应电流速断保护原理之间的关系

工频变化量距离保护的原理表示为

$$|\Delta \dot{U} - \Delta \dot{I} \times Z_{zd}| \geq \Delta E_k \quad (7)$$

式中, ΔE_k 为故障前短路点电压。

正方向故障时, 考虑到 $\Delta \dot{U} = -\Delta \dot{I} \times Z_s$, 可得

$$|\Delta \dot{I}| \geq \frac{\Delta E_k}{|Z_s + Z_{zd}|} \quad (8)$$

令 $h = E / \Delta E_k$, 给方程两边同乘以 h , 并由 $\Delta \dot{I} \times h = \Delta E_k / (Z_s + Z_m) \times h = \dot{I}_k$, 可得

$$|\dot{I}_k| \geq \frac{E}{|Z_s + Z_{zd}|} \quad (9)$$

式中, E 为电源的等效电动势。

反方向故障时, $\Delta \dot{U} = \Delta \dot{I} Z'_s$, Z'_s 为从保护安装处到对侧系统中性点的等值阻抗, 由此可得

$$|\Delta \dot{I}| \geq \frac{\Delta E_k}{|-Z'_s + Z_{zd}|} \quad (10)$$

令 $h = E / \Delta E_k$, 给方程两边同乘以 h , 并由 $\Delta \dot{I} \times h = \Delta E_k / (Z'_s + Z_m) \times h = \dot{I}_k$, 可得

$$|\dot{I}_k| \geq \frac{E}{|-Z'_s + Z_{zd}|} \quad (11)$$

由式 (9)、(11) 可知, 工频变化量距离保护与自适应电流速断保护原理上是完全一致的。对于工频变化量距离保护的两种判据, 其分别采用额定电压 U_N 和保护范围末端故障前电压 U_{zd} 对 ΔE_k 进行替代, 由以上分析可知, 在相同的可靠系数 k_{rel} 下, 这种替代将会导致其判据与自适应电流速断保护的不同, 但其形式还是近似的。由此可知其性能和自适应电流速断保护是相似的。

1.3 区内故障时, 沿线电压分布对工频变化量距离保护的影响

文献[4]在对工频变化量距离保护的性能分析中, 未说明线路沿线电压分布的影响。以下对其进行说明。

1) 送电端保护

通常情况下工频变化量距离保护假设线路上各点的电压相同,以保护范围末端的电压为基准,当考虑一定的裕度系数,其保护范围为 a ,然而实际中线路各点电压都不相等,由图 2 可知,在这种情况下实际保护范围为 a_1 ,比 a 要略大。

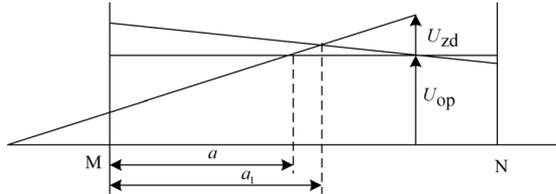


图 2 送电端 M 侧工频变化量距离保护

Fig.2 Voltage distribution of the transmission line on the source terminal

2) 受电端保护

如图 3 所示,受电端工频变化量距离保护以保护范围末端的电压为基准,考虑一定的裕度,其保护范围为 a ,然而实际中线路各点电压并不相等,此时其保护范围为 a_1 ,比 a 略小。

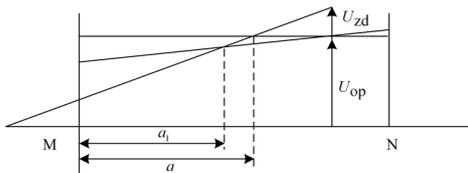


图 3 受电端 M 侧工频变化量距离保护

Fig.2 Voltage distribution of the transmission line on the load terminal

综上所述,沿线电压分布将会对工频变化量距离保护的保护区产生影响。由以上分析可知,对于送电端,内部故障时,沿线电压会对缓解保护区的减小有一定的作用。

1.4 分布电容对工频变化量距离保护的影响

在超高压长线路上,由于分布电容很大,保护安装处电流互感器测得的电流与线路上流过的电流是不相等的,因而电容电流也会对工频变化量距离保护产生影响。对图 4 所示故障网络,故障发生在整定点处时,线路上流过的故障分量电流可以看成电流互感器上流过的电流 i_L 和沿线分布电容中流过的电流 i_C 的叠加,即

$$i_{seq} = i_L + i_C \quad (12)$$

整定点的工作电压可表示为

$$\dot{U}_m = \Delta\dot{U} + (i_L + i_C) \times Z_{zd} \quad (13)$$

整理可得,

$$\Delta\dot{U}_{op} = \dot{U}_m - i_C \times Z_{zd} \quad (14)$$

通常线路上两端的电压角度相差不大,即可认为 $i_C = j\omega C\dot{U}_m$, 带入式 (14), 可得

$$\Delta\dot{U}_{op} = \dot{U}_m + \Delta\dot{U}, \Delta\dot{U} = \dot{U}_m \times \omega^2 L_{zd} C \quad (15)$$

由式 (15) 可知, $\Delta\dot{U}$ 与 \dot{U}_m 的相位一致,推算到整定点的工频变化量电压将会增大。

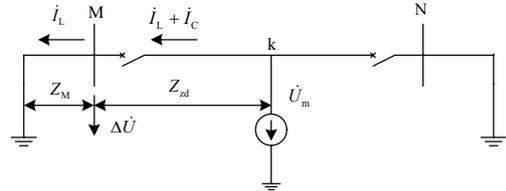


图 4 故障分量网络

Fig.4 Fault component network

当线路两端加装并联电抗器后,整定点的工作电压可表示为

$$\dot{U}_m = \Delta\dot{U} + (i_L + i_C + i_b) \times Z_{zd} \quad (16)$$

式中, i_b 为并联电抗上流过的电流。

整理可得:

$$\Delta\dot{U}_{op} = \dot{U}_m - (i_C + i_b) \times Z_{zd} \quad (17)$$

通常线路上两端的电压角度相差不大,因此可认为 i_b 与 i_C 反向,即在高压线路中安装并联电抗器后,其增大的程度大大减小。

由此可知,电容电流将会使推算到整定点处的工频变化量电压增大。当高压线路中安装并联电抗器后,其增大的程度大大减小。

2 正方向区外故障时,采取浮动门槛的工频变化量距离保护的性能分析

双端电源的系统模型如图 5 所示。

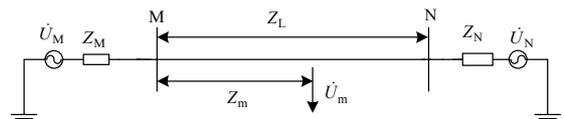


图 5 双端电源的系统模型

Fig.5 System model of double sources

1) 正方向区外故障时,送电端工频变化量距离保护动作性能分析

当 M 侧为送电端,阻抗中心处位于 N 侧,正常运行时,沿线的电压分布情况如图 6 所示。

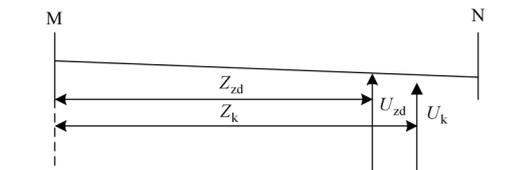


图 6 M 侧为送电端、阻抗中心位于 N 侧时沿线电压分布情况

Fig.6 Voltage distribution of transmission line when impedance center exist in N terminal in situation of source terminal

保护判据采用式 (4), 且令可靠系数 $k_{rel}=1$ 。

由图 3 可知, 在 Z_k 处发生故障时, $\Delta U_{op}=U_k|(Z_M+Z_{zd})/(Z_M+Z_k)|<U_k<U_{zd}$ 。即在此情况下, 区外故障时, 保护可靠不动作。

2) 正方向区外故障时, 受电端工频变化量距离保护动作性能分析

当 M 侧为受电端, 阻抗中心处位于 M 侧, 正常情况下, 沿线的电压分布情况如图 7 所示。

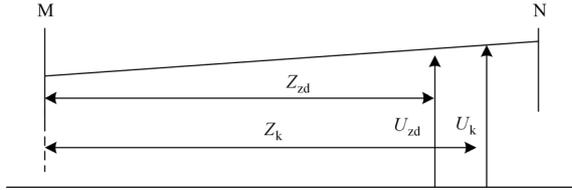


图 7 M 侧为受电端、阻抗中心位于 M 侧时
沿线电压分布情况

Fig.7 Voltage distribution of transmission line when impedance center exist in N terminal in situation of load terminal

由图 4 可知, k 处发生故障时, $\Delta U_{op}=U_k|(Z_M+Z_{zd})/(Z_M+Z_k)|$, 此时 $U_k>U_{zd}$, $|(Z_M+Z_{zd})/(Z_M+Z_k)|<1$, 因此需进一步说明 ΔU_{op} 与 U_{zd} 之间的关系。

对于图 5 所示的双端电源系统模型, 设 M 侧和 N 侧的电压幅值相等, $\dot{E}_N=\dot{E}_M e^{j(-\theta)}$ 线路上 Z_m 处的电压为 $U_m=\gamma E_M$, 其中 γ 为 A 和 θ 的函数^[4]

$$\gamma(A, \theta)=\sqrt{A^2+2(1-A)A\cos\theta+(1-A)^2} \quad (18)$$

其中, $A=(Z_M+Z_m)/(Z_M+Z_L+Z_N)$ 。

区外故障时, 设 $Z_k=Z_{zd}+\Delta Z$, 令 $\Delta Z/(Z_M+Z_L+Z_N)=\sigma$, $(Z_M+Z_{zd})/(Z_M+Z_L+Z_N)=A_{zd}$, 可得故障点处的故障前电压如式 (19) 所示, 整定点的推算电压如式 (20) 所示。

$$U_k=\gamma(A_{zd}+\sigma, \theta)\times E_M \quad (19)$$

$$\frac{\Delta U_{op}}{U_k\times A_{zd}/(A_{zd}+\sigma)}=|(Z_M+Z_{zd})/(Z_M+Z_k)| \quad (12)$$

门槛值如式 (21) 所示。

$$U_{zd}=\gamma(A_{zd}, \theta)\times E_M \quad (20)$$

由此可以比较 ΔU_{op} 与 U_{zd} 的大小, 如下所示。

$$\begin{aligned} & \frac{(U_{zd}^2-\Delta U_{op}^2)/E_M^2}{\frac{\sigma}{(A_{zd}+\sigma)^2}[2A_{zd}+\sigma-2A_{zd}(A_{zd}+\sigma)(1-\cos\theta)]}> \\ & \frac{\sigma}{(A_{zd}+\sigma)^2}[2A_{zd}+\sigma-2A_{zd}(A_{zd}+\sigma)] \quad (\theta\in[0, \pi/2])= \\ & \frac{\sigma}{(A+\sigma)^2}[2A(1-A-\sigma)+\sigma]>0 \end{aligned}$$

当考虑两端电源电压不一致时, 设 $E_N/E_M=k$, k 在 1 附近。

此时需对式 (18) 进行修正, 得

$$\gamma=\sqrt{A^2k^2+k\cdot 2(1-A)A\cos\theta+(1-A)^2} \quad (22)$$

由此可知

$$\begin{aligned} & \frac{(U_{zd}^2-\Delta U_{op}^2)/E_M^2}{\frac{\sigma}{(A_{zd}+\sigma)^2}[2A_{zd}+\sigma-2A_{zd}(A_{zd}+\sigma)(1-k\cos\theta)]}> \\ & \frac{\sigma}{(A_{zd}+\sigma)^2}[2A_{zd}(1-A_{zd}-\sigma)+\sigma]>0 \quad (\theta\in[0, \pi/2]) \end{aligned}$$

保护同样可靠不动作。

综上所述, 采用浮动门槛, 系统正常运行时工频变化量距离保护是不会发生误动的。实际中可靠系数 k_{rel} 通常是大于 1 的, 这样工频变化量距离保护就更不可能发生误动了。若系统发生振荡, 即两侧电源的相角差 θ 有可能大于 90° , 其可能会发生误动。以上分析仅限于金属性短路。

3 仿真验证

针对上述几种理论分析, 采用 ATP 仿真软件, 参考京津唐 500 kV 超高压输电线路, 按照分布参数建立了一条 300 km 长的线路, 如图 8 所示。

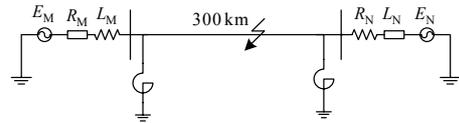


图 8 仿真模型

Fig.8 Simulation model

元件参数如下:

1) 线路分布参数:

$$\begin{aligned} r_1 &= 0.02083 \Omega/\text{km}; \quad l_1 = 0.8948 \text{ mH}/\text{km}; \\ c_1 &= 0.0129 \mu\text{F}/\text{km}; \\ r_0 &= 0.1148 \Omega/\text{km}; \quad l_0 = 2.2886 \text{ mH}/\text{km}; \\ c_0 &= 0.00523 \mu\text{F}/\text{km}; \end{aligned}$$

2) M 侧系统参数:

$$\begin{aligned} E_M &= 525\angle 0^\circ; \\ R_{M1} &= 1.0515 \Omega; \quad L_{M1} = 0.13743 \text{ H}; \\ R_{M0} &= 0.6 \Omega; \quad L_{M0} = 0.0926 \text{ H}; \end{aligned}$$

3) N 侧系统参数:

$$\begin{aligned} E_N &= 500\angle -30^\circ; \quad R_{N1} = 26 \Omega; \quad L_{N1} = 0.14298 \text{ H}; \\ R_{N0} &= 20 \Omega; \quad L_{N0} = 0.11927 \text{ H}; \end{aligned}$$

输电线路两侧的并联电抗器按 70% 来整定,

$L_L=7.4803 \text{ H}$, 中性点小电抗按并联电抗器的 1/3 原则来选取, $L_N=2.4934 \text{ H}$ 。固定门槛的保护判据为 $|\Delta U_{op}|\geq 1.2U_N$, 浮动门槛的保护判据为 $|\Delta U_{op}|\geq 1.2U_{zd}$, I 段保护范围按线路全长的 80% 整定, 即 240 km。故障均为 A 相金属性接地。

3.1 负荷大小及沿线电压分布对工频变化量距离保护的影响

保护判据按全波傅氏算法进行整定计算，取故障后 6 个周波以后的数据。图 9、10 分别为浮动门槛和固定门槛下保护范围随负荷的变化情况。

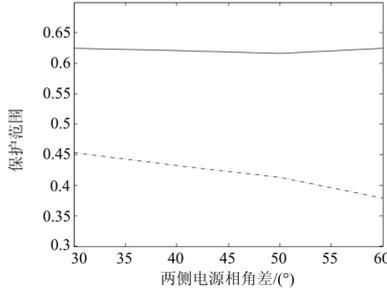


图 9 浮动门槛下保护范围随负荷变化的情况

Fig.9 Protection zone with the load in situation of adaptive setting value

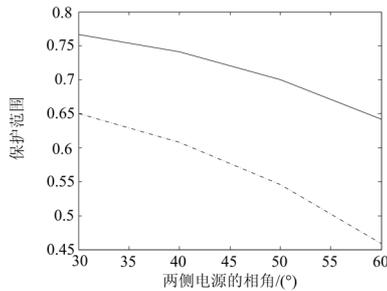


图 10 固定门槛下保护范围随负荷的变化情况

Fig.10 Protection zone with the load in situation of fixed setting value

图中，实线、虚线分别对应 $Z_s = Z_{zd}$ 、 $Z_s = 2Z_{zd}$ 的情况下，由图 9、10 比较可知，在浮动门槛下，保护范围受负荷大小的变化情况将会有一定的减小。

由文献[4]可知，可靠系数 k_{rel} 取 1.2 时，对于固定门槛，故障前短路点电压每减小 0.01 pu， $Z_s = Z_{zd}$ 时保护范围缩小 1.67%。 $Z_s = Z_{zd}$ 时，对两端电源电压相角 θ_{MN} 从 30° 到 90° 进行了仿真，得到了保护范围末端（240 km）处电压变化为 0.054 5 pu，保护范围变化为 12.5%，即每减小 0.01 pu，保护范围降低 2.29%，与理论分析的结果相差较大，这是由于之前的理论分析都是忽略沿线电压分布的影响。图 11 为 $Z_s = Z_{zd}$ ， Z_N 不变情况下线路沿线电压分布。由图可知，当保护范围减小时， ΔE_k 也在减小，造成保护范围的进一步降低。而保护范围降低时，其故障前电压的变化范围会增大。

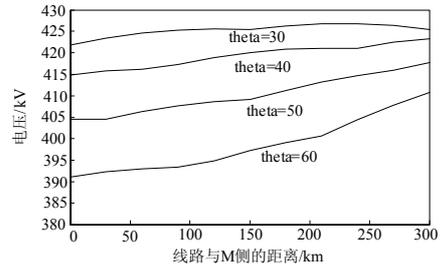


图 11 $Z_M = Z_{zd}$ ， Z_N 不变情况下线路沿线电压分布
Fig.11 Voltage distribution of transmission line when Z_n is constant and Z_m is equal to Z_{zd}

此时采用保护范围末端的电压就会造成误差。 $K=1$ 时，最大保护范围处的电压变化 0.072 7 pu，由此得到该仿真下，最大保护范围处电压每减小 0.01 pu，保护范围减少 1.72%，与理论分析的结果相差不大。可见，沿线电压分布对工频变化量距离保护的保护区也会产生影响。

3.2 分布电容对工频变化量距离保护的影响

仿真模型如图 12 所示。

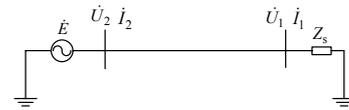


图 12 仿真模型

Fig.12 Simulation model

图中： $E = 500$ kV；线路参数与图 8 仿真模型中的相同。表 1 为电压真实值与推算值的比较。

表 1 整定点电压真实值与推算值的比较

Tab.1 Measurement voltage and the calculation voltage

| $\frac{Z_s}{Z_{zd}}$ | 相对真实值的误差/% | |
|----------------------|---------------|--------------|
| | 两端未加 并联电抗器 | 两端加 并联电抗器 |
| 0 | 1.87 | 1.87 |
| 1 | 3.45 | 1.80 |
| 2 | 4.07 | 1.78 |
| 3 | 4.41 | 1.76 |
| 4 | 4.61 | 1.76 |
| 5 | 4.75 | 1.75 |

由此可见，电容电流将会使保护安装处推算到整定点处的电压增大，当线路两端加装并联电抗器时，电容电流对工频变化量电压的影响就会减小。而整定点的推算电压的增大会引起保护范围的增大。

4 结论

1) 工频变化量距离保护与自适应电流速断保护原理上是完全一致的。对于工频变化量距离保护的两种判据, 其分别采用额定电压 U_N 和保护范围末端故障前电压 U_{zd} 对短路点故障前电压 ΔE_k 进行替代, 与自适应电流速断保护的判据是近似的, 因此其都会受系统阻抗, 可靠系数的影响。与自适应电流速断保护不同的是工频变化量距离保护还会受负荷的影响, 浮动门槛下保护受负荷的影响将会降低。

2) 工频变化量距离保护的保护区受线路沿线电压分布的影响。

3) 分布电容会使推算到整定点处的电压较其真实值增大, 进而会引起其保护区的变化, 但其一般将会使保护区增大, 对保护的性能是有利的。

4) 理论证明了正常运行时发生区外故障金属性短路, 采取浮动门槛的工频变化量距离保护不会发生误动。

参考文献

- [1] 沈国荣. 工频变化量距离继电器的研究[C]. //中国电机工程学会第四次全国继电保护及安全自动装置学术会议, 烟台, 1986.
SHEN Guo-rong. A new distance relay based on the variation of power frequency components[C]. // Proceedings of the 4th conference on relay protection of CSEE. Yantai: 1986.
- [2] 戴学安. 继电保护原理的重大突破—综论工频变化量继电器[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(1): 41-47.
DAI Xue-an. A brief discussion on the protection relay based on power frequency variation principle[J]. Automation of Electric Power System, 1995, 19(1): 41-47.
- [3] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005
ZHANG Bao-hui, YIN Xiang-gen. Protective relaying of power system[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [4] 索南加乐, 何方明, 焦在滨, 等. 工频变化量距离保护特性的研究[C]. //中国高等学校电力系统及其自动化专业第25届学术年会. 长沙: 2009.
SUONAN Jia-le, HE Fang-ming, JIAO Zai-bin, et al. Research on characteristics of fault component distance protection[C]. //Proceedings of the 25th Conference on Power System and Its Automation of Chinese Universities. Changsha: 2009.
- [5] 葛耀中. 对自适应电流速断保护的评价[J]. 电力自动化设备, 2000, 20(6): 1-5.
GE Yao-zhong. Evaluation of adaptive current instantaneous trip protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20(6): 1-5.
- [6] 涂轶昀. 自适应电流保护[J]. 上海电力学院学报, 2005, 21(1): 32-36.
TU Yi-yun. Adaptive current protection[J]. Journal of Shanghai Institute & Electric Power, 2005, 21(1): 32-36.
- [7] 金福德, 黄乐. 傅氏算法的滤波特性分析[J]. 继电器, 2005, 33(21): 45-50.
JIN Fu-de, HUANG Le. Filter characteristic analysis of Fourier algorithm[J]. Relay, 2005, 33(21): 45-50.
- [8] 李永丽, 陈超英, 贺家李. 一种基于半波傅氏算法的继电保护快速算法[J]. 电网技术, 1996, 20(1): 52-55.
LI Yong-li, CHEN Chao-ying, HE Jia-li. A fast algorithm based on half-cycle fourier algorithm for protective relaying[J]. Power System Technology, 1996, 20(1): 52-55.
- [9] 李斌, 李永丽, 贺家李. 一种提取基波分量的高精度快速滤波算法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(10): 39-43.
LIN Bin, LI Yong-li, HE Jia-li. Accurate and fast filtering algorithm for fundamental component[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(10): 39-43.
- [10] 陈德树, 张哲, 尹项根. 微机继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
CHEN De-shu, ZHANG Zhe, YIN Xiang-gen. Microprocessor based protective relaying[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.
- [11] 李晋民, 翟吉, 郭彪. 微机保护算法分析[J]. 电力学报, 1995, 10(1): 34-38.
LI Jin-min, ZHAI Ji, GUO Biao. The analysis of calculus in microprocessor based protection[J]. Journal of Electric Power, 1995, 10(1): 34-38.
- [12] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理和技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007.
GE Yao-zhong. New types of protective relaying and fault location their theory and techniques[M]. Xi'an : Xi'an Jiaotong University Press, 2007.

收稿日期: 2010-07-19

作者简介:

姚旭(1960-), 男, 高级工程师, 从事电力系统继电保护和自动装置工作; Email: yxjdbh@163.com

何方明(1987-), 男, 硕士, 研究方向为电力系统继电保护;

索南加乐(1960-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事电力系统继电保护的科学与科研工作。