

基于双端量的串联补偿线路单相接地故障测距算法

张金虎,徐振宇,杨奇逊

(华北电力大学 新能源电力系统国家重点实验室,北京 102206)

摘要: 针对串联补偿装置位于线路中间的情况,给出了一种基于双端量的串联补偿线路单相接地故障测距方法。该算法计及了故障过程中金属氧化物变阻器(MOV)的动作情况对线路实际阻抗值的影响,在无需知道串联补偿装置的相关参数和其具体工作状态条件下,就能准确地实现串联补偿线路的故障测距。利用 EMTDC/PSCAD 和 MATLAB 软件进行了仿真实验,实验结果验证了算法的有效性。

关键词: 串联补偿线路; 故障测距; 单相接地故障; 金属氧化物变阻器; 故障分析; 接地; 双端量

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.04.018

0 引言

高压远距离传输线路中采用串联补偿电容装置不仅可以提高线路传输容量,提高系统暂态稳定性,还具有优化输电线路潮流和降低系统损耗的作用^[1-5]。但串联补偿电容的存在改变了输电线路的均匀性,且其过电压保护通常采用非线性伏安特性的金属氧化物变阻器(MOV),它们给传统故障定位算法带来了挑战,需要研究新的故障测距算法^[6-7]。

当前,串联补偿线路故障测距算法一般可以分为单端故障测距算法^[8-9]和双端故障测距算法^[10-15]两大类。与单端测距算法相比,双端故障测距算法在原理上不受故障电阻的影响,可以实现准确的故障定位。其中,文献[10]给出了一种基于微分方程的、采用线模分量进行串联补偿线路双端故障测距的算法。但该算法并未考虑 MOV 非线性影响,而仅将串联补偿电容作为常数处理。文献[11-12]首先通过利用 2 个模型参数误差来进行故障位置识别,进而实现串联补偿线路故障测距。由于其只采用故障后、MOV 导通之前的暂态过程信息进行故障位置识别,因而避免了故障过程中 MOV 动作情况对线路实际阻抗值的影响。文献[13-15]均考虑到非线性特性 MOV 对故障测距的影响,并给出相应的双端量故障测距算法,但它们需要通过搜索或迭代方法来求解非线性方程,而且需要计算排除伪根,计算较为复杂。

针对串联补偿装置位于线路中间的情况,本文给出了一种基于双端量的串联补偿线路单相接地故障测距方法(针对相间故障的测距参照文献[16])。该算法从原理上计及了故障过程中 MOV 动作情况对线路实际阻抗值的影响;而从算法具体实现过程上看,其不仅可以自动识别故障点相对串联补偿装置的位置,而且无需知道串联补偿装置的相关参数和其具体工作状态,就能简单准确地实现串联补偿

线路的故障测距。

1 串联补偿设备及其线性等值模型

典型固定串联补偿装置结构示意图如图 1 所示,其主要由固定串联电容(SC)、MOV 并联保护支路、放电间隙(Gap)以及电容器旁路并联保护支路 4 个部分组成。

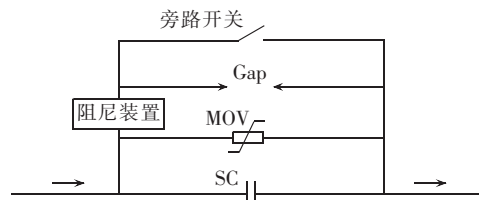


图 1 固定串联补偿装置结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of fixed series compensation device

其中,非线性特性元件 MOV 用于 SC 的主保护,其伏安特性曲线可以用单指数模型来模拟;Gap 用于保护 MOV;旁路开关用于 MOV 的后备保护,同时对放电间隙进行保护,两者共同构成 SC 的后备保护。在串联补偿装置主保护情况下,串联补偿装置有 2 种具体的工作状态:MOV 不导通状态和 MOV 导通状态。

a. MOV 不导通工作状态。

当发生内部小电流故障或者外部故障时,流过串联补偿装置的故障电流较小,SC 两端电压小于其设计保护电压水平,MOV 不导通,仅 SC 位于故障回路中。此时,串联补偿装置等效阻抗为定常数的电容值。

b. MOV 导通工作状态。

对应内部故障电流较大故障,其中 MOV 起到 SC 主保护的作用。对于此种情况,Goldsworthy^[17]根据大量实验测试,首先提出了 MOV 导通情况下串联补偿装置可以用线性电阻和电容相串联等效的结论,如图 2 所示。

Goldsworthy 指出,当 $I_{pu} > 0.98$ p.u. 时, Z_{CMOV} 满足式

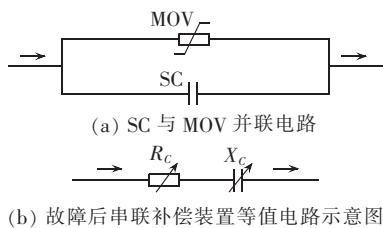


图 2 SC 与 MOV 并联电路及其故障后等值分析电路

Fig.2 Circuit with parallel SC and MOV, and its equivalent circuit for fault analysis

(1)所示的线性等值阻抗模型:

$$Z_{CMOV} = R_{CMOV} I_{pu} - jX_{CMOV} I_{pu} \quad (1)$$

其中, $I_{pu} = I / I_{max}$, I 为流过 MOV 并联电路的电流值, I_{max} 为使 Gap 闪络的电流值; Z_{CMOV} 为 SC 与 MOV 并联等值阻抗, R_{CMOV} 和 X_{CMOV} 分别为其等值的电阻和电抗值, 它们可分别由式(2)和(3)求得。

$$R_{CMOV} = X_c (0.0745 + 0.49 e^{-0.243 I_{pu}} - 35 e^{-5 I_{pu}} - 0.6 e^{-1.4 I_{pu}}) \quad (2)$$

$$X_{CMOV} = X_c (0.101 + 0.005749 I_{pu} + 2.088 e^{-0.8566 I_{pu}}) \quad (3)$$

串联补偿装置的等效阻抗标么值 Z_{pu} (以 X_c 为基准值) 与流过的故障电流之间的关系如图 3 所示。

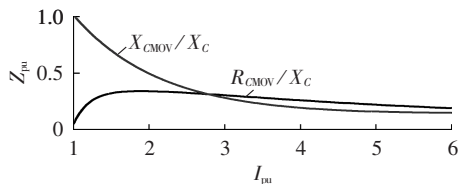


图 3 SC 与 MOV 并联等值基频阻抗

Fig.3 Equivalent fundamental impedance of circuit with parallel SC and MOV

从图 3 中可以直观地得知: 在 MOV 导通情况下, 对于某一特定的故障, 串联补偿装置的等效电阻和等效电容为确定的常数值。

2 基于双端量的串联补偿线路单相接地故障测距算法

由第 1 节分析可知, 在串联补偿装置主保护情况下, 故障后串联补偿装置可用线性的等值模型来分析, 且反映故障距离的线路正序电感参数始终不变。基于此, 本文以图 4 所示的串联补偿装置位于线路中间的情况为例, 给出基于双端量的单相接地故障测距算法。该算法实现原理和过程如下。

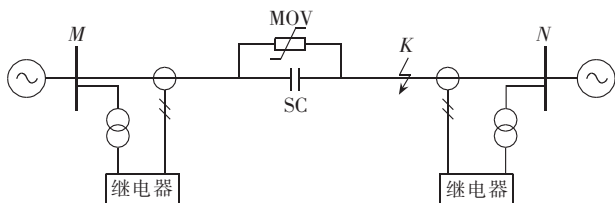


图 4 串联电容位于线路中间的两端电源系统模型示意图

Fig.4 System model with power source at two terminals and series capacitor in middle

以母线 M 端继电器为例分析, 假设串联补偿设备包含在 M 端故障回路中, 且从 M 端继电器看, 故障距离所占整条线路的百分数为 x 时, 根据基本电路关系可得式(4)。

$$\begin{cases} u_f(t) = u_M(t) - x R_1 i_M(t) - x L_1 \frac{di_M(t)}{dt} - \\ R_{cm} i_M(t) - \frac{1}{C_{cm}} \int i_M(t) dt \\ u_f(t) = u_N(t) - (1-x) R_1 i_N(t) - (1-x) L_1 \frac{di_N(t)}{dt} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $u_f(t)$ 为故障点处电压; $u_M(t)$ 、 $u_N(t)$ 分别为 M 端、 N 端母线电压; $i_M(t)$ 、 $i_N(t)$ 分别为 M 端、 N 端继电器测得的电流瞬时值; R_{cm} 和 C_{cm} 分别为串联补偿装置等效电阻和等效电容值; R_1 和 L_1 分别为整个线路的电阻值和正序电感值。上式两端消去 $u_f(t)$ 并整理可得式(5):

$$\begin{aligned} u_M(t) - u_N(t) + R_1 i_N(t) + L_1 \frac{di_N(t)}{dt} = \\ x \left[R_1 (i_N(t) + i_M(t)) + L_1 \left(\frac{di_N(t)}{dt} + \frac{di_M(t)}{dt} \right) \right] + \\ R_{cm} i_M(t) - \frac{1}{C_{cm}} \int i_M(t) dt \end{aligned} \quad (5)$$

考虑单相接地短路零序补偿电流, 并进行微分运算处理后, 可得式(6):

$$\begin{aligned} \frac{du_M}{dt} - \frac{du_N}{dt} + R_1 \frac{d(i_{N\varphi} + 3k_{r0} i_{0N})}{dt} + L_1 \frac{d^2(i_{N\varphi} + 3k_{x0} i_{0N})}{dt^2} = \\ x \left\{ R_1 \left[\frac{d(i_{N\varphi} + 3k_{r0} i_{0N})}{dt} + \frac{d(i_{M\varphi} + 3k_{r0} i_{0M})}{dt} \right] + \right. \\ \left. L_1 \left[\frac{d^2(i_{N\varphi} + 3k_{x0} i_{0N})}{dt^2} + \frac{d^2(i_{M\varphi} + 3k_{x0} i_{0M})}{dt^2} \right] \right\} + \\ R_{cm} \frac{di_{M\varphi}}{dt} - \frac{1}{C_{cm}} i_{M\varphi}(t) \end{aligned} \quad (6)$$

其中, i_{0M} 、 $i_{M\varphi}$ 分别为 M 端继电器测得的零序电流采样值和故障相电流采样值; i_{0N} 、 $i_{N\varphi}$ 分别为 N 端继电器测得的零序电流采样值和故障相电流采样值; φ 为故障相; k_{r0} 和 k_{x0} 分别为电阻和电感的零序耦合系数。

采用下面的简记, 令:

$$\begin{aligned} i_{M\varphi}(t) &= i_{M\varphi}(n), \quad \frac{di_{M\varphi}(t)}{dt} = i_{M\varphi\Delta}(n) \\ \frac{du_M(t)}{dt} &= u_{M\varphi\Delta}(n), \quad \frac{du_N(t)}{dt} = u_{N\varphi\Delta}(n) \\ \frac{d(i_{M\varphi}(t) + 3k_{r0} i_{0M}(t))}{dt} &= i_{M\varphi kr\Delta}(n) \\ \frac{d(i_{N\varphi}(t) + 3k_{r0} i_{0N}(t))}{dt} &= i_{N\varphi kr\Delta}(n) \\ \frac{d^2(i_{M\varphi}(t) + 3k_{x0} i_{0M}(t))}{dt^2} &= i_{M\varphi kx\Delta\Delta}(n) \\ \frac{d^2(i_{N\varphi}(t) + 3k_{x0} i_{0N}(t))}{dt^2} &= i_{N\varphi kx\Delta\Delta}(n) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{kMN}(n) &= R_1(i_{N\varphi k\Delta}(n) + i_{M\varphi k\Delta}(n)) + \\ &L_1(i_{N\varphi k\Delta\Delta}(n) + i_{M\varphi k\Delta\Delta}(n)) \\ u_{kMN}(n) &= u_{M\varphi\Delta}(n) - u_{N\varphi\Delta}(n) + \\ &R_1 i_{N\varphi k\Delta}(n) + L_1 i_{N\varphi k\Delta\Delta}(n) \end{aligned}$$

则由式(6)可得式(7):

$$u_{kMN}(n) = xz_{kMN}(n) + R_{cM}i_{M\varphi\Delta}(n) - \frac{1}{C_{cM}}i_{M\varphi}(n) \quad (7)$$

式(7)包含 3 个未知数,可通过任意 3 个采样点构建的方程求解,如式(8)所示。

$$\begin{cases} u_{kMN}(1) = xz_{kMN}(1) + R_{cM}i_{M\varphi\Delta}(1) - \frac{1}{C_{cM}}i_{M\varphi}(1) \\ u_{kMN}(2) = xz_{kMN}(2) + R_{cM}i_{M\varphi\Delta}(2) - \frac{1}{C_{cM}}i_{M\varphi}(2) \\ u_{kMN}(3) = xz_{kMN}(3) + R_{cM}i_{M\varphi\Delta}(3) - \frac{1}{C_{cM}}i_{M\varphi}(3) \end{cases} \quad (8)$$

通过方程式(8)可解得,故障距离 l 和电容计算值 X_C 如下。

$$l = xL_{en} =$$

$$\begin{aligned} &L_{en}(u_{kMN}(1)i_{M\varphi\Delta}(2)i_{M\varphi}(3) + i_{M\varphi\Delta}(1)i_{M\varphi}(2)u_{kMN}(3) + \\ &i_{M\varphi}(1)u_{kMN}(2)i_{M\varphi\Delta}(3) - i_{M\varphi}(1)i_{M\varphi\Delta}(2)u_{kMN}(3) - \\ &i_{M\varphi\Delta}(1)u_{kMN}(2)i_{M\varphi}(3) - u_{kMN}(1)i_{M\varphi}(2)i_{M\varphi\Delta}(3)) \div \\ &(z_{kMN}(1)i_{M\varphi\Delta}(2)i_{M\varphi}(3) + i_{M\varphi\Delta}(1)i_{M\varphi}(2)z_{kMN}(3) + \\ &i_{M\varphi}(1)z_{kMN}(2)i_{M\varphi\Delta}(3) - i_{M\varphi}(1)i_{M\varphi\Delta}(2)z_{kMN}(3) - \\ &z_{kMN}(1)i_{M\varphi}(2)i_{M\varphi\Delta}(3) - i_{M\varphi\Delta}(1)z_{kMN}(2)i_{M\varphi}(3)) \end{aligned}$$

$$X_C =$$

$$\begin{aligned} &\frac{1}{\omega}(z_{kMN}(1)i_{M\varphi\Delta}(2)u_{kMN}(3) + i_{M\varphi\Delta}(1)u_{kMN}(2)z_{kMN}(3) + \\ &u_{kMN}(1)z_{kMN}(2)i_{M\varphi\Delta}(3) - u_{kMN}(1)i_{M\varphi\Delta}(2)z_{kMN}(3) - \\ &i_{M\varphi\Delta}(1)z_{kMN}(2)u_{kMN}(3) - z_{kMN}(1)u_{kMN}(2)i_{M\varphi\Delta}(3)) \div \\ &(z_{kMN}(1)i_{M\varphi\Delta}(2)i_{M\varphi}(3) + i_{M\varphi\Delta}(1)i_{M\varphi}(2)z_{kMN}(3) + \\ &i_{M\varphi}(1)z_{kMN}(2)i_{M\varphi\Delta}(3) - i_{M\varphi}(1)i_{M\varphi\Delta}(2)z_{kMN}(3) - \\ &z_{kMN}(1)i_{M\varphi}(2)i_{M\varphi\Delta}(3) - i_{M\varphi\Delta}(1)z_{kMN}(2)i_{M\varphi}(3)) \end{aligned}$$

其中, L_{en} 为线路的总长度,当其用线路正序电感值 L_1 代替时,则可得到故障感抗值 X 。

根据串联电容计算值 X_C 可以识别故障相对于串联补偿位置。当判断故障发生在串联补偿电容后时,则可采用上述计算公式来得到故障测距结果 l 。

3 仿真验证

仿真采用图 4 所示的双端电源系统模型,其电压等级为 500 kV,线路采用 Bergeron 模型,全长 300 km,补偿度为 45%;MOV 采用单指数模型。系统参数值为: M 端正、负阻抗为 $60 \angle 85.5^\circ \Omega$, M 端零序阻抗为 $60 \angle 80^\circ \Omega$; N 端正、负阻抗为 $10 \angle 85.5^\circ \Omega$, N 端零序阻抗为 $10 \angle 80^\circ \Omega$; M 端超前 N 端 30° 。线路参数值为:正/负序参数 $R = 0.022 \Omega/\text{km}$, $X_L = 0.28 \Omega/\text{km}$, $X_C = 0.24114 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$;零序参数 $R_0 = 0.1828 \Omega/\text{km}$, $X_{L0} = 0.86 \Omega/\text{km}$, $X_{C0} = 0.57875 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$ 。MOV 模型的非线性函数为 $i_{\text{MOV}} = 1000 \times (u_{\text{MOV}}/180000)^{40}$ 。假设

单相接地故障(A-G)发生在 0.4 s,故障持续时间 1 s,系统的采样间隔为 0.25 ms。仿真的原始数据采用 PSCAD 模型生成的数据,通过 MATLAB 程序对数据进行处理并最终实现对算法的验证;其中,数据处理时选用 Butterworth 低通滤波器进行滤波处理,滤波器的截止频率设置为 120 Hz。

a. 故障位置识别结果。

故障发生在距 M 端母线 20 km 处和 180 km 处时,电容 C 的容抗值计算结果分别如图 5 和图 6 所示。由图 5、6 可见,利用电容 C 的容抗值能够很好地区别故障相对于串联补偿装置的位置。

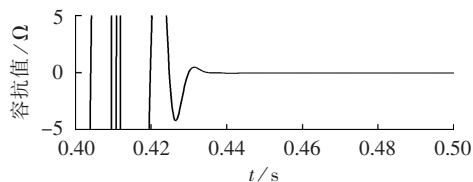


图 5 距离 M 端母线 20 km 处故障时,电容 C 计算值

Fig.5 Calculated capacitance when fault occurs at 20 km from M -side bus

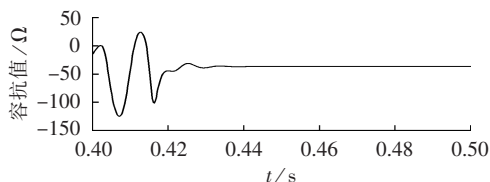


图 6 距离 M 端母线 180 km 处故障时,电容 C 的计算值

Fig.6 Calculated capacitance when fault occurs at 180 km from M -side bus

b. 故障测距结果。

当距离 M 端母线 170 km 处故障时,根据改变过渡电阻 R_f 可以得到 MOV 导通(以 $R_f = 0$ 为例)和 MOV 不导通(以 $R_f = 100 \Omega$ 为例)2 种情况,它们的仿真计算结果分别如图 7 和图 8 所示。仿真结果表明,本文算法在 2 种 MOV 动作情况下均能获得很好的测距效果。

为了评估方法的有效性,仿真测试中采用与当前输电线路广泛应用的阻抗测距算法加以对比。对于单相接地故障,传统阻抗测距算法计算公式如式(9)所示^①。

$$Z_\varphi = U_\varphi / (I_\varphi + 3K_0I_0) \quad (9)$$

其中, Z_φ 为故障相阻抗值; U_φ 为故障相电压相量; I_φ 为故障相电流相量; I_0 为零序电流相量; K_0 为零序电流补偿系数。

表 1 给出了在系统重载(M 端超前 N 端 30°)情况下,串联补偿设备后每隔 20 km 处故障且在各种过渡电阻情况下 2 种算法的误差计算结果,计算比较值采用 0.5~0.6 s 间计算值的平均值;为了便于比

① 北京四方继保自动化股份有限公司. CSC101 操作说明, 2011.

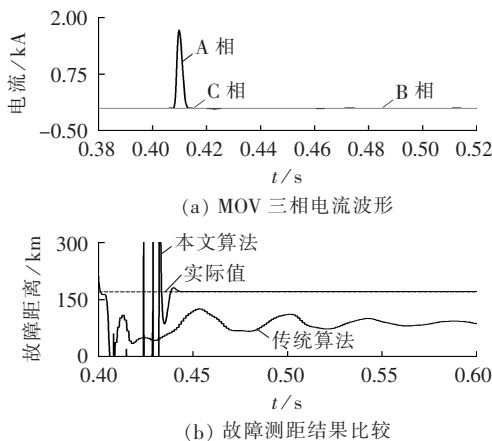


图 7 MOV 导通情况下仿真计算结果
Fig.7 Simulative results when MOV is in conducting state

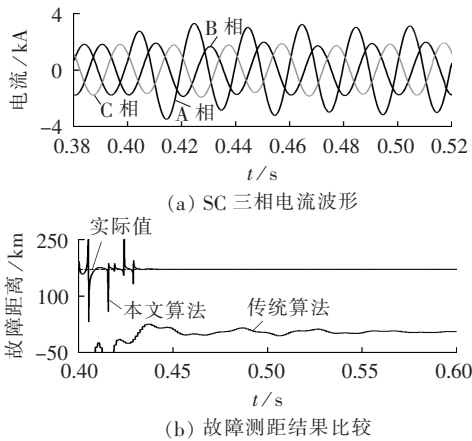


图 8 MOV 不导通情况下仿真计算结果
Fig.8 Simulative results when MOV is in non-conducting state

表 1 传统算法与本文算法的误差比较

Table 1 Comparison of error between traditional and proposed algorithms

算法	L_t/km	误差/%						
		$R_g=0$	$R_g=10\ \Omega$	$R_g=20\ \Omega$	$R_g=50\ \Omega$	$R_g=100\ \Omega$	$R_g=150\ \Omega$	$R_g=200\ \Omega$
传统 算法	170	-47.6908	-56.0652	-63.1800	-79.5838	-97.2751	-108.5751	-116.4029
	190	-43.3436	-52.4275	-60.1147	-77.5564	-95.8041	-107.1571	-114.8920
	210	-39.9228	-50.0837	-58.5923	-77.3584	-96.1430	-107.4085	-114.9088
	230	-37.1741	-48.9962	-58.6549	-79.0450	-98.2446	-109.2181	-116.3137
	250	-35.0276	-49.5297	-60.8227	-83.0913	-102.3008	-112.5918	-119.0004
	270	-33.5669	-52.7446	-66.4311	-90.6897	-109.1509	-118.2368	-123.6399
	290	-33.2665	-60.0482	-76.4196	-101.0577	-116.7979	-123.7584	-127.6793
本文 算法	170	0.1152	0.3077	0.3302	0.3718	0.1352	0.0355	-0.0186
	190	0.4943	0.5470	0.3118	0.4157	0.1419	0.0467	-0.0027
	210	0.6053	0.4715	0.1714	0.2769	0.0919	0.0191	-0.0136
	230	0.9842	0.5799	0.3235	0.3046	0.0957	0.0293	0.0025
	250	0.8097	0.4876	0.3341	0.2150	0.0339	-0.0132	-0.0369
	270	0.8282	0.2769	0.4441	0.2683	0.1289	-0.1695	-0.0253
	290	0.7677	0.3345	0.1718	0.1155	-0.1974	-0.0776	0.0516

注： L_f 为故障距离； R_g 为接地电阻。

较,在整个比较区间内将 Gap 能量设置为始终不导通。采用的误差计算公式如式(10)所示:

$$E=\frac{X-X_{\text{real}}}{X_{\text{real}}}\times 100\%$$
 (10)

其中, X_{real} 为线路故障感抗的实际值; X 为继电器计算得到的故障感抗值。

表 1 计算结果表明,与传统的故障测距算法相比,本文所提出的故障测距算法能够获得很高的测距精度,能很好地满足实际工程中的测距要求。

4 结论

与单端故障测距算法相比,由于单相接地故障一般通过过渡电阻接地,因此串联补偿线路单相接地故障测距更适合采用双端故障测距算法。本文针对串联补偿装置位于线路中间的情况,给出了一种新的基于双端量的串联补偿线路单相接地故障测距方法。该算法不仅考虑了故障过程中 MOV 动作情况对线路实际阻抗值的影响,且在无需知道串

联补偿装置的相关参数和其具体工作状态条件下,就能简单准确地实现串联补偿线路的故障测距。EMTDC/PSCAD 和 MATLAB 软件仿真结果显示,该算法较传统算法具有误差小、可靠性高、动作速度快以及稳定性好的优势。

参考文献:

[1] JANCKE G,FAHLEN N,NERF O. Series capacitors in power systems[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1975,94(3):915-925.

[2] GRUNBAUM R,SAMUELSSON J. Series capacitors facilitate long distance AC power transmission[C]// IEEE Russia Power Tech. Saint Petersburg,Russia:IEEE,2005:1-6.

[3] 郁惟镛,吴小建,高翔,等. 阳城—淮阴 500 kV 串补电容线路对继电保护影响的研究[J]. 电力自动化设备,1998,18(2):1-6.

YU Weiyong,WU Xiaojian,GAO Xiang,et al. A study on the effects of Yangcheng-Huaiyin 500 kV series compensation circuit on protection relaying[J]. Electric Power Automation Equipment, 1998,18(2):1-6.

[4] 李可军,赵建国,高洪霞. 可控串联补偿阻抗控制策略研究[J].

- 电力自动化设备,2009,29(5):52-56.
- LI Kejun,ZHAO Jianguo,GAO Hongxia. Impedance control strategy of thyristor controlled series capacitor[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(5):52-56.
- [5] 姚磊,钱滢锋,梅军,等. 基于铁芯控制的串联补偿型故障限流器[J]. 电力自动化设备,2014,34(10):169-173.
- YAO Lei,QIAN Yingfeng,MEI Jun,et al. Series-compensation-type FCL based on core control[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(10):169-173.
- [6] NOVOSEL D,PHADKE A,SAHA M M,et al. Problems and solutions for microprocessor protection of series compensated lines[C]//Sixth International Conference on Developments in Power System Protection. Nottingham,UK:IET,1997:18-23.
- [7] ALTUVE H J,MOONEY J B,ALEXANDER G E. Advances in series-compensated line protection[C]//62nd Annual Conference for Protective Relay Engineers. Austin,TX,USA:IEEE,2009:263-275.
- [8] NOVOSEL D,BACHMANN B,HART D,et al. Algorithms for locating faults on series compensated lines using neural network and deterministic methods[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,1996,11(4):1728-1736.
- [9] SAHA M M,IZYKOWSKI J,ROSOLOWSKI E,et al. A new accurate fault locating algorithm for series compensated lines[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,1999,14(3):789-797.
- [10] 陈允平,肖文峰,龚庆武,等. 一种基于微分方程法的串补线路精确故障测距算法[J]. 电力系统自动化,2004,28(17):45-48.
- CHEN Yunping,XIAO Wenfeng,GONG Qingwu,et al. Accurate fault locating algorithm for series compensated transmission line based on the differential equation method[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(17):45-48.
- [11] 索南加乐,陈福锋,齐军,等. 串补线路故障点位置的模型识别方法[J]. 中国电机工程学报,2005,25(1):66-72.
- SUONAN Jiale,CHEN Fufeng,QI Jun,et al. New method for identifying the fault location on series compensated lines based on different fault models[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(1):66-72.
- [12] 康小宁,宁荣,齐军,等. 基于双端电气量的串补线路故障测距新算法[J]. 电力自动化设备,2014,34(8):47-51.
- KANG Xiaoning,NING Rong,QI Jun,et al. Fault location based on dual-terminal electrical variables for line with series compensation[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(8):47-51.
- [13] 韩彦华,施围. 串补输电线路的精确故障定位算法[J]. 中国电机工程学报,2002,22(5):75-77.
- HAN Yanhua,SHI Wei. Accurate fault location algorithm for series compensated transmission lines[J]. Proceedings of the CSEE,2002,22(5):75-77.
- [14] 陈铮,董新洲,罗承沐. 带串联电容补偿装置的高压输电线路两端故障测距新算法[J]. 中国电机工程学报,2003,23(1):11-15.
- CHEN Zheng,DONG Xinzhou,LUO Chengmu. A new accurate two-terminal locating algorithm for series compensated line[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(1):11-15.
- [15] 卢斌先,郭丽军,王泽忠,等. 基于节点导纳方程的串联补偿线路两端故障测距算法[J]. 电网技术,2005,29(5):61-66.
- LU Binxian,GUO Lijun,WANG Zezhong,et al. A two-terminal fault location algorithm for series compensated lines based on nodal admittance equation[J]. Power System Technology,2005,29(5):61-66.
- [16] XU Zhenyu,SU Zhipeng,ZHANG Jinhu,et al. An interphase distance relaying algorithm for series-compensated transmission lines[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2014,29(2):834-841.
- [17] GOLDSWORTHY D L. A linearized model for MOV-protected series capacitors[J]. IEEE Transactions on Power Systems,1987,2(4):953-958.

作者简介:



张金虎

张金虎(1984—),男,河北承德人,博士研究生,主要研究方向为高压输电线路继电保护与控制(E-mail:jinhui212@163.com);

徐振宇(1963—),男,宁夏吴忠人,教授,博士,主要研究方向为高压输电线路继电保护(E-mail:xuzhenyu@sf-auto.com);

杨奇逊(1937—),男,上海人,教授,博士研究生导师,中国工程院院士,博士,主要研究方向为电力系统保护与控制、变电站综合自动化。

Single-phase grounding fault location algorithm based on dual terminal variables for line with series compensation

ZHANG Jinhu,XU Zhenyu,YANG Qixun

(State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources,
North China Electric Power University,Beijing 102206,China)

Abstract: A single-phase grounding fault location algorithm based on dual terminal variables is proposed for the line with series compensation device installed in the middle,which considers the effect of MOV (Metal Oxide Varistor) on the actual line impedance during the fault and precisely locates the fault without the relevant parameters and operating state of series compensation device. The validity of the proposed algorithm is verified by the results of simulation with EMTDC/PSCAD and MATLAB.

Key words: line with series compensation; fault location; single-phase grounding fault; MOV; failure analysis; electric grounding; dual terminal variables