

并联电抗器对模型识别纵联保护的影响分析

杨 钺, 索南加乐

(西安交通大学 电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 详细分析了两端带并联电抗器输电线路的内外部故障特征, 指出线路内部故障可等效为电感模型, 但外部故障不再满足电容模型。通过建立包含电抗器参数的故障模型, 在理论上可以精确等效外部故障, 但难以在目前的实际装置中应用。进一步理论分析指出, 用电容模型等效两端带并联电抗器线路的外部故障时, 模型误差主要由电压中的高频分量造成, 且频率越高、能量越大, 模型误差也越大。基于原始的电容模型、电感模型, 采用高可靠系数的模型识别保护判据, 可以有效降低外部故障电容模型不准的影响, 且大量 ATP 仿真实验表明, 该判据的灵敏度仍然很高, 能够在 15 ms 内切除各种区内故障。

关键词: 故障分量; 模型识别; 纵联保护; 参数识别

中图分类号: TM 773

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2011)03-0023-06

0 引言

随着特高压技术的发展和大量远距离输电线路的出现, 分布电容电流对保护可靠性、灵敏度的影响不容忽视^[1], 诸多学者对电容电流补偿技术^[2-3]和不受电容电流影响的保护新原理^[4-5]进行了大量研究。

另一方面, 现代电力系统规模越来越大, 稳定性问题日益突出, 而快速切除故障是保证暂态稳定最简单有效的措施。为进一步提高保护的動作速度, 突破传统工频量保护的局限, 各种利用包括故障暂态分量在内的故障信息的新原理^[6-9]日益受到重视。

文献[10]将输电线路的内部故障等效为电感模

型, 将外部故障等效为电容模型, 通过相模变换消除相间耦合后, 再基于参数识别^[11-17]的方法对线模量和零模量同时进行故障模型的识别, 从而区分内、外部故障。该原理采用全频域的信息进行故障判别, 理论上不受分布电容电流和暂态分量影响, 可靠性高, 基于时域中的短数据窗计算判据, 動作速度快, 可用于高压长线的全线速动保护。但该原理没有考虑高压并联电抗器的影响, 而并联电抗器却是防止过电压、补偿分布电容电流、消除单相重合闸潜供电流的有效措施, 在超、特高压输电线路中应用广泛^[18]。所以研究高压并联电抗器对模型识别原理的影响, 对于模型识别纵联保护整体方案的形成至关重要。

1 双端带并联电抗器的线路故障模型

1.1 线路模型识别纵联保护的基本原理

文献[10]指出输电线路的内部故障可等效为电感模型, 外部故障可等效为电容模型。

内部故障时:

$$\Delta u_{cd} = -R_{eq} \Delta i_{cd} - L_{eq} \frac{d\Delta i_{cd}}{dt} \quad (1)$$

收稿日期: 2010-06-08; 修回日期: 2010-11-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(50677051, 50877061); 教育部博士点基金(20070698057); 国家重点基础研究发展计划(2009CB219704)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(50677051, 50877061), the Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China(20070698057), the Major State Basic Research Development Program of China(2009CB219704)

外部故障时:

$$\Delta i_{cd} = C \frac{d\Delta u_{cd}}{dt} \quad (2)$$

其中, Δi_{cd} 、 Δu_{cd} 为突变量差动电流、差动电压; R_{eq} 、 L_{eq} 为线路两端系统的等效电阻参数和等效电感参数。

线路模型识别纵联保护,即将线路故障状态作为未知模式,利用参数识别的方法,计算真实的故障状态与 2 种故障模型之间的误差,内部故障模型误差远小于外部故障模型误差时,即判定为线路内部故障。下面给出模型误差的定义。

内部故障的电感模型误差:

$$\Delta E_L = \frac{\int_0^T \left| \Delta u_{cd} + R_{eq} \Delta i_{cd} + L_{eq} \frac{d\Delta i_{cd}}{dt} \right| dt}{\int_0^T \left(\left| \Delta u_{cd} \right| + \left| R_{eq} \Delta i_{cd} + L_{eq} \frac{d\Delta i_{cd}}{dt} \right| \right) dt} \quad (3)$$

外部故障的电容模型误差:

$$\Delta E_C = \frac{\int_0^T \left| \Delta i_{cd} - C \frac{d\Delta u_{cd}}{dt} \right| dt}{\int_0^T \left(\left| \Delta i_{cd} \right| + \left| C \frac{d\Delta u_{cd}}{dt} \right| \right) dt} \quad (4)$$

其中, T 为模型识别的数据窗长,常取为 10 ms。

保护的基本动作判据如下:

$$\Delta E_C > \Delta E_L \quad \text{延时 5 ms} \quad (5)$$

上述故障模型的建立并没有考虑高压并联电抗器的影响,以下针对双端带并联电抗器的线路故障模型进行分析。

1.2 双端带并联电抗器线路的外部故障模型

图 1 为带并联电抗器线路外部故障时,故障附加状态网络图,线路采用 Π 模型等值电路。图中 E 为等效故障分量电源, C 为线路等效电容集中参数, L 为并联电抗器的电感参数,则有

$$\Delta i'_m = \Delta i_m - C \frac{d\Delta u_m}{dt} - \frac{1}{L} \int \Delta u_m dt \quad (6)$$

$$\Delta i'_n = \Delta i_n - C \frac{d\Delta u_n}{dt} - \frac{1}{L} \int \Delta u_n dt \quad (7)$$

$$\Delta i'_m + \Delta i'_n = 0 \quad (8)$$

则输电线路区外故障时电路方程:

$$\Delta i_{cd} = C \frac{d\Delta u_{cd}}{dt} + \frac{1}{L} \int \Delta u_{cd} dt \quad (9)$$

其中,差动电流 $\Delta i_{cd} = \Delta i'_m + \Delta i'_n$,差动电压 $\Delta u_{cd} = \Delta u_m + \Delta u_n$ 。由式(9)知,由于并联电抗器的存在,线路外部故障不再等效为电容模型。

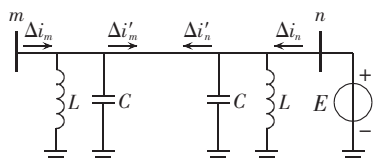


图 1 外部故障时故障附加状态网络

1.3 双端带并联电抗器线路的内部故障模型

图 2 为带并联电抗器线路内部故障时的故障附加状态网络图。其中, R_{sm} 、 L_{sm} 、 R_{sn} 、 L_{sn} 分别为 m 侧和 n 侧的等效系统阻抗参数。

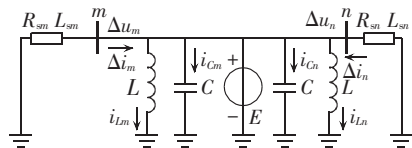


图 2 线路区内故障时故障状态附加网络

Fig.2 Network with added component of internal fault

由于系统阻抗通常只有几十欧姆,而线路容抗却有上千欧姆,当线路内部故障时,在故障点处看来线路容抗相当于被系统阻抗短路,保护安装处测得突变量电流主要流入故障支路,分布电容电流很小,考虑到并联电抗器又欠补偿了部分电容电流,电抗器电流与分布电容电流的合电流更小,即有

$$i_{Cm} + i_{Lm} \ll \Delta i_m, \quad i_{Cn} + i_{Ln} \ll \Delta i_n \quad (10)$$

为了抓住主要矛盾分析故障特征,本文分析推导中假设忽略故障时的分布电容电流 i_{Cm} 、 i_{Cn} 与电抗器电流 i_{Lm} 、 i_{Ln} ,并假设两侧电流分配系数 k_m 、 k_n 为实数,则

$$\Delta u_{cd} = -R_{eq} \Delta i_{cd} - L_{eq} \frac{d\Delta i_{cd}}{dt} \quad (11)$$

其中, $R_{eq} = k_m R_{sm} + k_n R_{sn}$, $L_{eq} = k_m L_{sm} + k_n L_{sn}$,具体推导可参考文献[10]。由式(11)可知,带并联电抗器的线路内部故障仍可等效为电感模型。

2 双端带并联电抗器的线路模型识别纵联保护方案

由第 1 节的分析可知,对于双端带并联电抗器的线路,其内部故障仍可等效为电感模型,即内部故障时的电感模型误差近似为零,远小于电容模型误差;而线路外部故障则不再等效电容模型,要完全消除并联电抗器的影响,则必须依据新的外部故障模型来实现模型识别保护。

2.1 采用改进模型的模型识别纵联保护方案

对于双端带并联电抗器的线路,外部故障恒有式(9)成立,则可将式(9)定义为新的外部故障模型,故障模型误差如下:

$$\Delta E_{C1} = \frac{\int_0^T \left| \Delta i_{cd} - C \frac{d\Delta u_{cd}}{dt} - \frac{1}{L} \int \Delta u_{cd} dt \right| dt}{\int_0^T \left(\left| \Delta i_{cd} \right| + \left| C \frac{d\Delta u_{cd}}{dt} + \frac{1}{L} \int \Delta u_{cd} dt \right| \right) dt} \quad (12)$$

或

$$\Delta E_{C2} = \frac{\int_0^T \left| \frac{d\Delta i_{cd}}{dt} - C \frac{d^2\Delta u_{cd}}{dt^2} - \frac{\Delta u_{cd}}{L} \right| dt}{\int_0^T \left(\left| \frac{d\Delta i_{cd}}{dt} \right| + \left| C \frac{d^2\Delta u_{cd}}{dt^2} + \frac{\Delta u_{cd}}{L} \right| \right) dt} \quad (13)$$

进一步,得到适用于带并联电抗器的线路模型识别纵联保护动作新判据:

Fig.1 Network with added component of external fault

$$\Delta E_{C1} > \Delta E_L \text{ 或 } \Delta E_{C2} > \Delta E_L \text{ 延时 } 5 \text{ ms} \quad (14)$$

理论上,式(12)(13)所定义的外部故障模型误差都可以很好地表征外部故障,然而计算式(12)的模型误差需确定积分时限,这依赖于故障启动元件的快速灵敏动作,实际由于装置固有离散度而无法准确界定故障时刻,从而影响模型识别保护的性能。计算式(13)的外部故障模型误差则无需确定故障时刻,但要进行二阶微分运算,这对传感器的传变特性以及采样保持通道的性能要求很高,否则暂态过程中的数值误差将极大地影响模型识别的效果。

2.2 采用原始模型的模型识别纵联保护方案

2.1 节的分析表明,采用新模型的模型识别纵联保护方案在理论上是可行的,但很难用于目前的保护装置。而式(2)表征的外部故障等效电容模型仅含有一个模型参数 C ,只需进行一阶微分运算,理论分析和仿真实验都已证明了基于此故障模型的纵联保护在不带并联电抗器的线路上有着优异性能。因此,分析高压并联电抗器对外部故障的原始电容模型误差的影响将更有实际意义。

当双端带并联电抗器的线路外部故障时,差动电压、电流满足式(9),若按原始的电容模型识别模型参数 $\bar{C}$,则有

$$\bar{C} = \frac{\Delta i_{cd}}{\frac{d\Delta u_{cd}}{dt}} = C + \frac{\Delta u_{cd}}{L \frac{d^2\Delta u_{cd}}{dt^2}} \quad (15)$$

假设并联电抗器的补偿度为 p ($p < 1$),即

$$\frac{1}{\omega_0 L} = p\omega_0 C \quad (16)$$

其中, ω_0 为工频角频率。

将式(16)代入式(15)可得:

$$\bar{C} = C(1 + p\omega_0^2 \frac{\Delta u_{cd}}{\frac{d^2\Delta u_{cd}}{dt^2}}) \quad (17)$$

由式(17)可见,带并联电抗器线路外部故障的电容模型误差主要由故障分量电压决定。高压电网故障时,故障分量电压中几乎没有非周期分量,而以工频分量和高频分量为主。

对于工频分量:

$$\bar{C} = (1-p)C \quad (18)$$

对于 k 次谐波:

$$\bar{C} = (1-p/k^2)C \quad (19)$$

由式(18)(19)可知,故障信号中不同频率分量将识别出不等的模型参数,参数差异越大则模型误差越大。不带并联电抗器的线路外部故障时,故障信号中所有频率分量均满足电容模型;而带并联电抗器的线路外部故障时,高频分量将不满足工频量所对应的电容模型,从而产生模型误差。基于式(18)(19),可知工频量与 k 次谐波的模型参数相对误差如下:

$$\delta = \left| \frac{1-p-(1-p/k^2)}{1-p} \right| = \frac{1-1/k^2}{1/p-1} \quad (20)$$

由式(20)可知,并联电抗器补偿度 p 越大, δ 越大,电容模型误差越大。当 $p=0$ 即无并联电抗器时, $\delta=0$,各频率的故障分量都对应相同的模型参数,模型误差为零;当 $p=1$ 即完全补偿时, δ 趋于无穷,等效于没有电容,电容模型肯定不成立;另一方面, k 越大则 δ 越大,即高次谐波的频率越高、能量越大,电容模型误差越大。

以下利用 ATP 仿真工具进行各种条件下线路外部故障的仿真实验。图 3(a)为 500 kV 的 350 km 长线(并联电抗器补偿度 70%)不同时刻故障,电容模型的误差比较。由图 3(a)可见,故障时刻电压越高,则突变电压越大,高频分量的能量也越大,电容模型误差更大。图 3(b)给出了 500 kV 的 350 km 长线不同补偿度时(30%和 70%),外部故障的模型误差计算结果,可见电抗器补偿度越高,电容模型误差越大。图 3(c)针对不同长度的线路进行了故障实验,长线路的高频分量能量更大,但频率却较低,所以带并联电抗器线路的电容模型误差受线路长度影响较小,这也与理论分析结果一致。

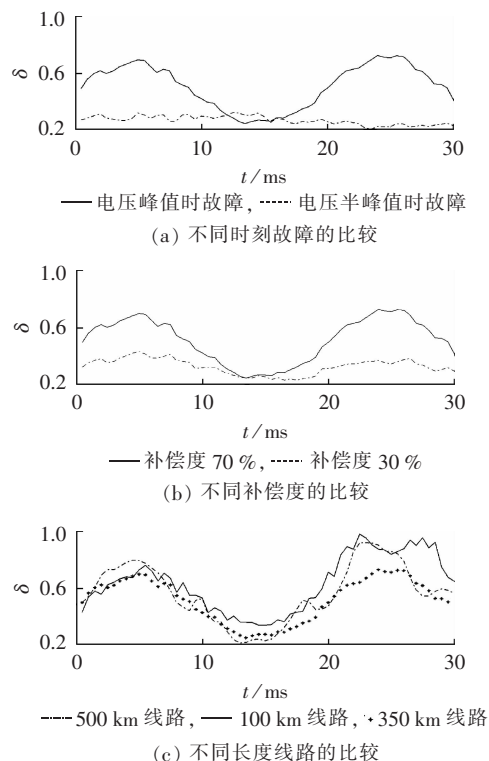


图3 各种条件下外部故障仿真结果

Fig.3 Simulative results of external fault for different situations

由上述理论分析和实验结果可知,带并联电抗器线路的外部故障电容模型误差,主要由故障电压中的高频分量所决定,频率越高、能量越大则对电容模型误差的影响越大。考虑到实际高压电网故障时,高频分量能量并不大,且由于集肤效应和大地导电

率的下降^[19],高频分量衰减很快。因此,可仍基于原始的电容模型进行模型识别,而选用较大的可靠系数以降低外部故障模型不准的影响,保护判据如下:

$$\Delta E_C > k_{\text{rel}} \Delta E_L \quad \text{延时 } 5 \text{ ms} \quad (21)$$

在本文仿真实验中,可靠系数 k_{rel} 整定为3。

3 仿真实验

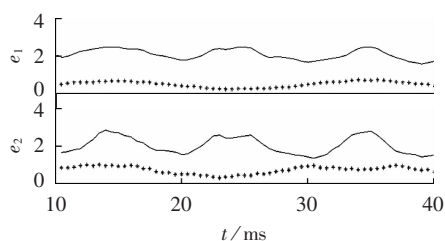
以下采用重庆万县至龙泉 358 km 的 500 kV 双端带并联电抗器(补偿度 70%)长线为原型,利用 ATP 建立相应模型,仿真验证采用高可靠系数后的模型识别纵联保护在带并联电抗器线路上的动作特性。

图 4 给出了最不利条件下的各种外部故障时,保护判据式(21)的动作结果(星线为 ΔE_C ,实线为 $k_{\text{rel}} \Delta E_L$; e_1 、 e_2 分别为线模、零模模型误差;图 5 同)。可以看出,采用高可靠性系数后,原始的基于模量的模型识别纵联保护能够可靠抵御各种外部故障。

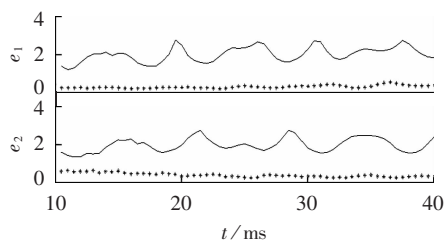
图 5 则给出了各种内部故障时保护判据式(21)的动作结果。

由理论分析和图 5 的实验结果可以看出以下几点。

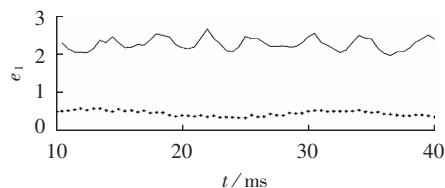
a. 模型识别纵联保护的灵敏度取决于模型误



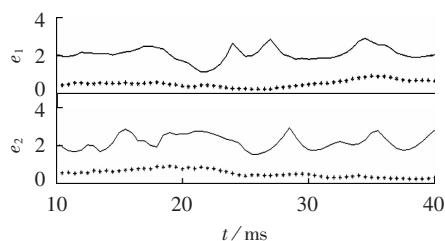
(a) 外部单相金属性接地



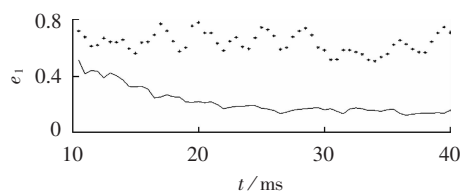
(b) 外部单相高阻(400 Ω)接地



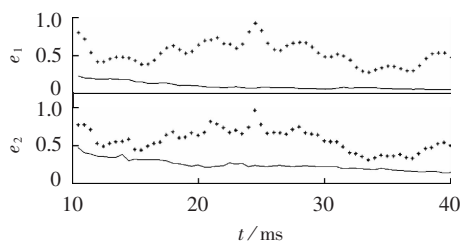
(c) 外部三相短路故障



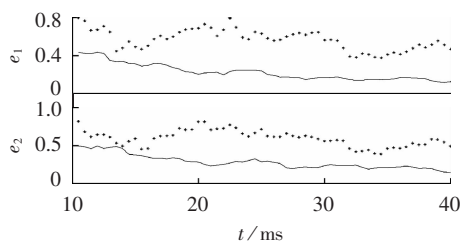
(d) 外部两相短路接地(过渡电阻 50 Ω)



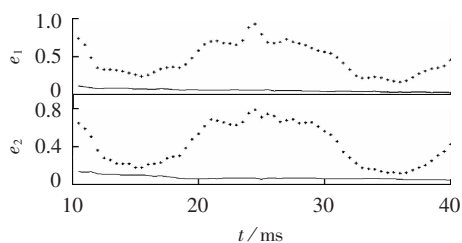
(a) 首端出口三相短路



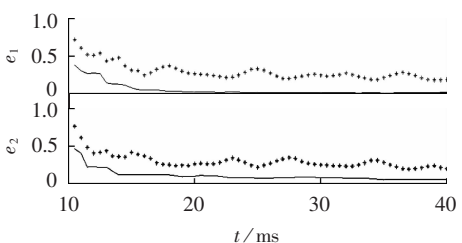
(b) 首端单相金属性接地



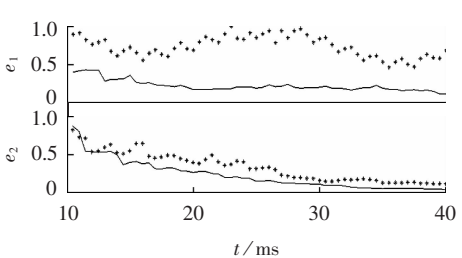
(c) 中点单相金属性接地



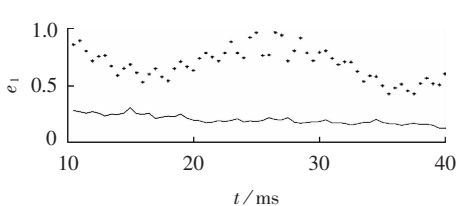
(d) 线路末端单相金属性接地



(e) 线路中点单相高阻接地(过渡电阻 400 Ω)



(f) 线路中点两相短路接地(过渡电阻 50 Ω)



(g) 线路中点两相短路

图 4 外部故障仿真结果

Fig.4 Simulative results of different external faults

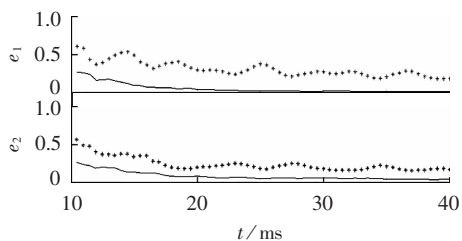
(h) 线路末端单相高阻接地(过渡电阻 400 Ω)

图5 内部故障仿真结果

Fig.5 Simulative results of different internal faults

差的大小。区内故障时,电感模型为匹配模型,模型误差很小;而电容模型不匹配,模型误差很大。本文的大量仿真实验也说明,区内故障时的电感模型误差远小于电容模型误差,即使取了较大的可靠系数,模型识别保护仍具有很高的灵敏度,可在 15 ms 内切除全线故障。

b. 不论在区内何处故障,等效故障模型均为电感模型,所以电感模型误差理论上为零,保护快速动作。实际上由于线路阻抗角与系统阻抗角的差异,电感模型只是近似成立,随着故障位置的不同,阻抗角差异带来的影响也不同,但因为高压电网的有功损耗很小,线路阻抗角与系统阻抗角差异并不大,所以不论线路何处故障,电感模型误差依旧很小,且随着不满足电感模型的高频分量的快速衰减,电感模型误差也快速衰减。电容模型误差则一直较大且不断波动,波动周期与工频一致。

c. 模型识别纵联保护基于故障分量原理,理论上不受过渡电阻影响,仿真实验也说明了不论金属性还是高阻接地故障,保护均灵敏快速动作。实际由于过渡电阻的阻尼作用,暂态分量和高频分量衰减迅速,所以高阻接地时的电感、电容模型误差均明显小于金属性故障,且快速衰减,但过渡电阻的阻尼不会改变电感、电容模型误差的相对大小,所以并不影响模型识别纵联保护的灵敏度。

d. 由于线模参数远较零模参数可靠稳定,线模量模型识别的效果明显好于零模量,考虑到零模量对接地故障非常灵敏且可以长期获得,所以模型识别保护采用 2 种模量进行识别,或门出口动作。

4 结论

本文详细分析了两端带并联电抗器的线路故障模型,通过理论分析和仿真试验得到以下结论:

a. 两端带并联电抗器线路的内部故障模型仍然是电感模型,但外部故障模型不再精确满足电容模型;

b. 通过建立包含电抗器参数的线路外部故障模型,在理论上可以很好地表征外部故障,但难以在实际装置中应用;

c. 理论分析指出,用电容模型等效两端带并联电抗器的线路外部故障时,电压中的高频分量将会造成模型误差,且高频分量能量越大、频率越高,模

型误差越大;

d. 基于原始的电容模型、电感模型,采用高可靠系数的模型识别纵联保护判据,能够可靠抵御外部故障,且灵敏度几乎不受影响,大量仿真实验表明,模型识别纵联保护可在 15 ms 内切除各种区内故障。

参考文献:

- [1] 李清波,刘沛. 光纤纵差保护的应用及灵敏度的提高[J]. 电力自动化设备,2002,22(4):21-24.
LI Qingbo,LIU Pei. Applications of fiber differential protection and sensitivity improvement[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(4):21-24.
- [2] 伍叶凯,邹东霞. 电容电流对差动保护的影响及补偿方案[J]. 继电器,1997,25(4):4-8.
WU Yekai,ZOU Dongxia. The influence of capacitance current to differential protection and its compensation scheme[J]. Relay, 1997,25(4):4-8.
- [3] 吴通华,邓玉平,朱晓彤. 基于暂态电容电流补偿的线路差动保护[J]. 电力系统自动化,2005,29(12):61-67.
WU Tonghua,DENG Yuping,ZHU Xiaotong. Current differential protection based on transient capacitance current compensation [J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(12):61-67.
- [4] 索南加乐,张烽宁,齐军. Π 模型时域电容电流补偿的电流差动保护研究[J]. 中国电机工程学报,2006,26(5):12-18.
SUONAN Jiale,ZHANG Yining,QI Jun. Study of current differential protection using time-domain capacitive current compensating algorithm on Π -model[J]. Proceedings of the CSEE, 2006,26(5):12-18.
- [5] 索南加乐,刘凯,栗小华,等. 输电线路综合阻抗纵联保护新原理[J]. 电力系统自动化,2008,32(3):36-41.
SUONAN Jiale,LIU Kai,SU Xiaohua,et al. Novel transmission line pilot protection based on integrated impedance[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(3):36-41.
- [6] 张保会,哈恒旭,吕志来. 利用单端量实现超高压输电线路全线速动保护新原理研究(一)——故障暂态过程分析及实现单端暂态量保护的可行性[J]. 电力自动化设备,2001,21(6):1-5.
ZHANG Baohui,HA Hengxu,LÜ Zhilai. Study of non-unit transient-based whole-line high speed protection for ehv transmission line,part 1:fault transient analysis and the feasibility of non-unit transient protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001,21(6):1-5.
- [7] 张保会,哈恒旭,吕志来. 利用单端量实现超高压输电线路全线速动保护新原理研究(二)——保护判据的研究[J]. 电力自动化设备,2001,21(7):1-6.
ZHANG Baohui,HA Hengxu,LÜ Zhilai. Study of non-unit transient-based whole-line high speed protection for EHV transmission line,part 2:protection criteria[J]. Electric Power Automation Equipment,2001,21(7):1-6.
- [8] 张保会,哈恒旭,吕志来. 利用单端量实现超高压输电线路全线速动保护新原理研究(三)——故障选相和尚需研究的问题[J]. 电力自动化设备,2001,21(8):1-4.
ZHANG Baohui,HA Hengxu,LÜ Zhilai. Study of non-unit transient-based whole-line high speed protection for EHV transmission line,part 3:fault phase selection and problems to be studied[J]. Electric Power Automation Equipment,2001,21(8):1-4.
- [9] 陈平,牛燕雄,徐丙垠,等. 现代行波故障测距系统的研制[J]. 电力系统自动化,2003,27(12):81-85.
CHEN Ping,NIU Yanxiong,XU Bingyin,et al. Development of modern travelling wave based fault locating system[J]. Automa-

- tion of Electric Power Systems, 2003, 27(12): 81-85.
- [10] 索南加乐, 杨铨, 邵文权. 基于模量的线路模型识别纵联保护新原理[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(10): 21-25.
- SUONAN Jiale, YANG Cheng, SHAO Wenquan. Model recognition longitudinal protection based on modules for transmission lines[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(10): 21-25.
- [11] SUONAN Jiale, QI Jun. An accurate fault location algorithm for transmission line based on $R-L$ model parameter identification[J]. Electric Power Systems Research, 2005, 76(1-3): 17-24.
- [12] 康小宁, 索南加乐. 基于参数识别的单端电气量频域法故障测距原理[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(2): 22-27.
- KANG Xiaoning, SUONAN Jiale. Frequency domain method of fault location based on parameter identification-using one terminal data[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(2): 22-27.
- [13] 索南加乐, 王向兵, 孟祥来, 等. 基于 $R-L$ 模型的参数识别快速方向元件[J]. 西安交通大学学报, 2006, 40(6): 689-693.
- SUONAN Jiale, WANG Xiangbing, MENG Xianglai, et al. Quick directional element based on $R-L$ model parameter identification[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2006, 40(6): 689-693.
- [14] 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.
- [15] 索南加乐, 张超, 王树刚. 基于模型参数识别法的小电流接地故障选线研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(19): 65-70.
- SUONAN Jiale, ZHANG Chao, WANG Shugang. Fault line selection in the non-solid earthed network based on the model identification method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(19): 65-70.
- [16] 索南加乐, 康小宁, 宋国兵, 等. 基于参数识别的继电保护原理初探[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19(1): 14-20.
- SUONAN Jiale, KANG Xiaoning, SONG Guobing, et al. Survey on relay protection using parameter identification[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2007, 19(1): 14-20.
- [17] 康小宁, 杜岩平, 索南加乐, 等. 基于模型误差的自适应方向元件[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(5): 43-47.
- KANG Xiaoning, DU Yanping, SUONAN Jiale, et al. Adaptive directional element based on model error[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(5): 43-47.
- [18] 张丽, 徐玉琴. 并联电抗器在超(特)高压电网中应用及发展[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(4): 75-78.
- ZHANG Li, XU Yuqin. Application and developmen of shunt reactors in EHV & UHV transmission lines[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(4): 75-78.
- [19] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 3版. 北京: 中国电力出版社, 2005: 240-241.

(编辑: 李 玲)

作者简介:

杨 铨(1983-), 男, 安徽铜陵人, 博士研究生, 研究方向为电力系统输电线路保护(E-mail: xjtu_cyang@yeah.net);

索南加乐(1960-), 男, 藏族, 新疆乌鲁木齐人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事电力系统继电保护科研和教学工作(E-mail: suonan@263.net)。

Influence of shunt reactors on model recognition pilot protection

YANG Cheng, SUONAN Jiale

(Academy of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The features of internal and external faults of the transmission line with shunt reactors at two terminals are analyzed and it is indicated that, the internal fault is equal to the inductor model while the external fault is not equal to the capacitor model. The fault model including the parameters of shunt reactors is established, which is accurately equal to external fault in principle, but hardly applied to current real devices. Further theoretic analysis indicates that, when the capacitor model is equivalent to the external fault of transmission line with shunt reactors, the model error is induced by the high-frequency components of voltage. The higher the frequency is or the bigger the energy is, the larger the model error is. A model recognition protection criterion with high reliability factor based on original inductor and capacitor models is introduced to effectively lower the error. Results of ATP simulations demonstrate that, the sensitivity of introduced criterion is high enough to trip within 15 ms for different internal faults.

Key words: fault component; model recognition; pilot protection; parameter identification