

基于模型识别的并联电容器保护

康小宁, 张鹏, 索南加乐, 杜岩平, 田宏强

(西安交通大学电气工程学院, 710049, 西安)

摘要: 提出了一种基于模型识别的并联电容器保护方法. 该方法通过电容器模型方程对区内故障时电容器参数进行求解, 根据其主要特征离散度的不同来判断故障在区内或区外. 使用微分方程求解网络参数, 因而该方法不受非周期分量和高次谐波的影响. 这种故障判断方法可以作为电容器组的保护. 当区外相间故障时, 可靠闭锁; 当电容器连接线相间短路、内部元件击穿或电抗器匝间短路时, 可靠动作. 数值仿真结果表明, 该方法能够在 5 ms 的时间内判断出故障, 使保护的速动性和可靠性得到很大提高.

关键词: 故障分量; 模型识别; 离散度

中图分类号: TM773 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)12-1506-04

Shunt Capacitor Protection Based on Model Identification

KANG Xiaoning, ZHANG Peng, SUONAN Jiale, DU Yanping, TIAN Hongqiang

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

Abstract: A new shunt capacitor protection principle based on model identification is proposed compared the capacitance deviation of in-zone and out-zone faults calculated with the capacitor modal equation, the fault type can be determined. The method is immune from non-periodic component and high-frequency component due to the essential dependence on the differential algorithm on network parameter distinguishing. This judgement scheme can also be used as capacitors protection. When in-zone inter-phase faults or longitudinal faults occur, the protection works. Otherwise, it gets locked. ATP simulations show the scheme enables to determine fault direction within 5ms and enhance the rate and reliability greatly.

Keywords: fault-superimposed components; model identification; deviation

近年来, 微机保护原理得到广泛应用, 各高校和厂家都开发出了相应的电容器保护装置^[1-3]. 这些电容器微机保护装置能够满足国家标准 GB50227-95^[4]中要求的保护功能, 但仍有不足之处. 电容器组是受谐波影响较大的电气设备, 表现为谐波过负荷^[5]. 微机保护多使用全周傅氏算法求取工频分量, 从而进行保护判据比较. 这种工频量保护没有考虑故障暂态过程中非周期分量和高次谐波的影响, 不能满足高速动作的要求. 同时, 工频量保护忽视了谐波的作用, 当谐波过负荷时, 过电流保护可能拒动,

不能真正起到防止电容器过负荷的作用.

不同于工频量保护, 本文的模型识别方法是基于故障分量^[6]的, 通过微分方程对电容器参数进行求解, 因此不受非周期分量和高次谐波的影响. 经 ATP 仿真验证, 当电容器连接线相间短路、内部元件击穿或电抗器匝间短路时, 该方法能够实现快速、可靠的动作.

1 并联电容器故障类型

并联电容器一般装设在变电站的低压母线上,

式中： ΔU_m 是故障附加电压峰值； ω 是工频角频率； α 由故障时刻确定；故障附加电流周期分量的峰值 $\Delta I_m = \frac{\Delta U_m}{(R_s^2 + \omega^2 L_s^2)^{1/2}}$ ；阻抗角为 $\arctan\left(\frac{\omega L_s}{R_s}\right) = 80^\circ$ ；非周期分量初始值 $C_0 = -\Delta I_m \sin(\alpha - 80^\circ)$ ； $T_a = \frac{L_s}{R_s}$ 。

对区内故障，当使用电容器模型方程对 L 、 C 进行参数估计时， Δu 、 Δi 也满足式(1)。对式(1)求导

$$L \frac{d^2 \Delta i}{dt^2} + \frac{1}{C} \Delta i = \frac{d \Delta u}{dt} \tag{5}$$

将 Δu 、 Δi 代入式(5)，整理得到

$$C = (C_0 e^{-\frac{t}{T_a}} + \frac{1}{(R_s^2 + L_s^2)^{1/2}} \Delta U_m \sin(\omega t + \alpha - 80^\circ)) / (\omega \Delta U_m \sin(\omega t + \alpha - 90^\circ) + \frac{\omega^2 L}{(R_s^2 + L_s^2)^{1/2}} \Delta U_m \sin(\omega t + \alpha - 80^\circ)) \tag{6}$$

这样，参数估计得到的 L 、 C 应满足式(6)，其中除 L 和 C 外，其他量均已知。

由式(6)可以看出，由于非周期分量的存在， C 不可能为常数，所以内部故障时，电容器模型参数估计得到的电容值是离散的。

3 算法实现过程

(1)故障后两个周波内某一采样时刻的电流故障分量可表示为

$$\Delta i(k) = i(k) - i(k - 2N)$$

式中： $i(k)$ 为电流在故障后时刻 k 的采样值； N 为一个工频周期的采样点数。按同样方法，可以获得电压故障分量。

(2)利用相模变换求得模分量，使用模分量来求解微分方程。相模变换用到 clarke 变换^[6]，不考虑接地故障，只用到 1 模、2 模分量。

(3)为消去电容器初始电压 u_{c0} ，取间隔时间 $T = 2 \text{ ms}$ 的采样点方程相减，得

$$\Delta u_{t+T} - \Delta u_t = L \left(\frac{d \Delta i}{dt} \Big|_{t+T} - \frac{d \Delta i}{dt} \Big|_t \right) + \frac{1}{C} \int_t^{t+T} \Delta i dt \tag{7}$$

采用 3 点微分公式计算电流的微分值，采用梯形积分公式计算电流的积分值。

(4)对式(7)采用最小二乘法计算电容器电容。

(5)由于采用小电流接地系统进行仿真，分布参数线路很短，分布电容可以忽略，未考虑系统 R - L

模型的适用频带，也就未采用任何滤波器。

4 仿真分析

4.1 相间故障的仿真分析

ATP 仿真模型如图 3 所示。线路采用分布参数模型，电压等级为 11 kV，线路 $L_1 \sim L_4$ 长度为 5~30 km 不等，负荷用 100 Ω 电阻模拟。一组并补电容器，容量为 9 MV·A，串联电抗器的电抗率为 6%。区外故障点选线路或母线相间，区内故障点选电容器连接线路相间。由上述数据可以算出电容器电容 $C_1 = 0.287 \text{ mF}$ 。

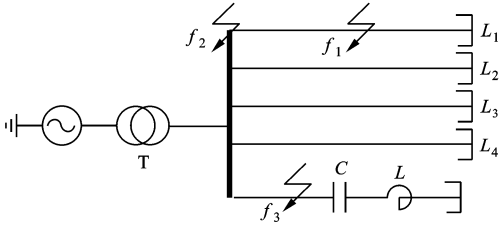


图 3 仿真模型图

仿真采样率为 100 点/周波。采用电容器模型方程进行最小二乘计算的数据窗长度为 2 ms(10 个采样点)，依次往后推。离散度计算的数据窗长度为 5 ms(25 个采样点)，依次往后推，并取故障后两个周波的数据作比较。仿真计算结果如表 1 所示(f_1 、 f_2 点取两周波内最大值， f_3 点取最小值)。

表 1 相间故障时计算的离散度

故障类型	$D(C)$		
	f_1	f_2	f_3
AB 相间	0.001 9	0.000 66	1.14
BC 相间	0.001 2	0.000 66	30.04
CA 相间	0.005 5	0.000 66	33.30
ABC 三相	0.001 2	0.000 66	30.04

由表 1 可以看出，区外故障时，两周波内取离散度最大值都满足 $D(C) < 10\%$ ，区内故障时，取最小值都满足 $D(C) > 10\%$ ，所以这个方法是可靠的。又因为离散度数据窗取 5 ms，仅 1/4 周波，所以这个方法是快速的。因此，模型识别的方法能够快速、可靠地作出判断。

4.2 内部故障的仿真分析

区内纵向故障包括电容器元件击穿和电抗器匝间短路。本文选取一定的故障率 F ，仿真和计算方法

同相间故障,仿真计算结果如表 2 所示(离散度取两周波内最小值)。

表 2 不同故障率下的纵向故障时的离散度

故障类型	$D(C)$		
	$F=1\%$	$F=3\%$	$F=5\%$
单相电容器击穿	0.905 5	0.971 1	0.941 3
单相电抗器匝间短路	0.931 3	0.849 0	0.938 8

由表 2 可以看出,取两周波内离散度最小值都满足 $D(C)>10\%$,所以纵向故障同样可靠判出。又因为离散度数据窗也取 5 ms,仅 1/4 周波,所以同样快速判出。因此,模型识别的方法对纵向故障同样适用。

应该指出,在使用 ATP 和 MATLAB 的仿真计算中,因为计算的精度较高,所以极少的电容元件击穿和电抗器匝间短路都能用上述判据判出。对于实际现场而言,内部纵向故障判断对电压电流互感器,微机保护的模数转换、计算机字长、浮点运算精度无疑会提出更高的要求。

5 结 论

本文提出了一种新的电容器保护的方法。该方法使用模型识别的原理,能够快速可靠的判断出电容器区内、区外故障,从而可作为区内故障的保护。ATP 仿真验证了该方法的正确性,在并联电容器保护领域做出了有益的探索。

参考文献:

[1] 黄益庄,张传利,吕文哲. TH-C 型通用微机电容器保护装置的设计[J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(20):140-143.
HUANG Yizhuang, ZHANG Chuanli, LÜ Wenzhe. Study of microcomputer based universal capacitor pro-

tection system TH-C[J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18(20):140-143.
[2] 范红疆,朴爱淑,郭彦东,等. 电力牵引变电所微机型电容器保护装置的研制[J]. 继电器, 1999,27(2):35-36.
FAN Hongjiang, PIAO Aishu, GUO Yandong, et al. Development of microprocessor based capacitor protection for traction power substation[J]. Relay,1999,27(2):35-36.
[3] 陈艳霞,尹项根,郭琳云. 新型并联电容器组微机保护[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(7):32-34.
CHEN Yanxia, YIN Xianggen, GUO Linyun. New microprocessor based protection for shunting capacitors [J]. Electric Power Automation Equipment, 2002,22(7):32-34.
[4] 中华人民共和国电力部. GB50227-95 并联电容器装置设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1995.
[5] 程浩忠. 电网谐波对并联电容器的影响[J]. 电力电容器, 1996, 26(3): 17-20.
CHENG Haozhong. Harmonic influences upon shunting capacitors[J]. Power Capacitor,1996, 26(3): 17-20.
[6] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,1996.
[7] 杨昌兴,华水荣. 关于并联电容器用串联电抗器的保护问题[J]. 电力电容器,2000(1):19-22.
YANG Changxing, HUA Shuirong. The protection of series reactors for shunting capacitors[J]. Power Capacitor, 2000(1):19-22.
[8] 索南加乐,陈福峰,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.

(编辑 杜秀杰)