

参数识别原理在磁控型并联电抗器 保护中的应用

Application of parameter identification principle in the
protection of magnetic shunt reactor

行武, 郭晓, 王哲, 史博伦

XING Wu, GUO Xiao, WANG Zhe, SHI Bolun

(南京国电南自电网自动化有限公司, 南京 211151)

(Nanjing SAC Power Grid Automation Company Limited, Nanjing 211151, China)

摘要:磁控型并联电抗器具有容量连续可调的特点,在限制过电压和无功补偿方面有广阔的应用前景。目前,磁控型并联电抗器保护的算法均基于恒定的电抗器容量,在电抗器容量变化时灵敏度及可靠性下降,可能导致保护拒动、误动。将参数识别原理用于电抗器保护中,通过对电抗器阻抗参数的识别,对电抗器容量进行实时修正,使保护参数与电抗器运行工况相匹配。以某实际工程的参数为例,进行了定量分析,验证了该方法的有效性。该方法的应用将极大地提高磁控型并联电抗器保护的灵敏性,并提供更加可靠的保护。

关键词:参数识别原理;磁控型并联电抗器;继电保护;算例分析;阻抗;特高压技术

中图分类号:TM 774

文献标志码:B

文章编号:1674-1951(2020)06-0062-04

Abstract: Magnetic shunt reactors are of continuously adjustable capacity, and have wide application prospect in limiting over-voltage and reactive power compensation. At present, the protection of magnetic shunt reactors is based on constant reactor capacity, so that the sensitivity and reliability of the protection will decline if the reactor capacity changes, which might lead to the failure to operate or unwanted operation of the protection. Applying the parameter identification principle in reactor protection, by identifying the impedance parameters of the reactor, the protection parameters will match with the operating conditions of reactors. The feasibility of this method was improved by quantitative analysis on an engineering case. Application of this method will greatly improve the sensitivity of the magnetic reactor and provide more reliable protection.

Keywords: parameter identification principle; magnetic shunt reactor; relay protection; calculation case study; impedance; UHV

0 引言

随着特高压技术的发展及远距离大容量输电线路的增加,线路容性电流越来越大、过电压情况越来越严重,并联电抗器因具有限制过电压和无功补偿的作用在高压系统中得到广泛的应用^[1-3]。并联电抗器主要分为3类:固定容量电抗器,容量固定不可调节、结构简单、运行可靠;分级可控电抗器,容量只能分级调节,无法连续调节容量;磁控型并联电抗器,容量可在5%~100%之间连续调节。

高压系统一旦出现故障,将会对电网产生很大冲击,影响电网的稳定运行,因此,并联电抗器的安

全稳定运行极其重要,对其保护的可靠性也有较为严苛的要求。磁控型并联电抗器目前已在特高压系统中得到广泛应用。

1 磁控型并联电抗器工作原理及保护配置

磁控电抗器早在1999年就出现并开始应用,经过不断改进发展至今,学者们一直对其进行着研究和分析^[4-9]。文献[4-5]对磁控型并联电抗器的工作原理及过程进行了详细的介绍,同时对电抗器配备的保护也进行了描述。

1.1 磁控型并联电抗器工作原理

磁控型并联电抗器的基本结构和工作过程如图1所示。控制绕组1和2中通入大小相等、方向相反

收稿日期:2019-03-29;修回日期:2019-11-30

的直流电流,在电抗器铁心 1 和 2 中会产生等幅、反向的偏置磁通,使得 2 个芯柱在交流磁通的正、负半周内轮流饱和。通过改变直流电流的大小,可以改变主铁心的饱和程度,变相改变铁心磁导率,进而控制电抗器的电抗值和工作容量。

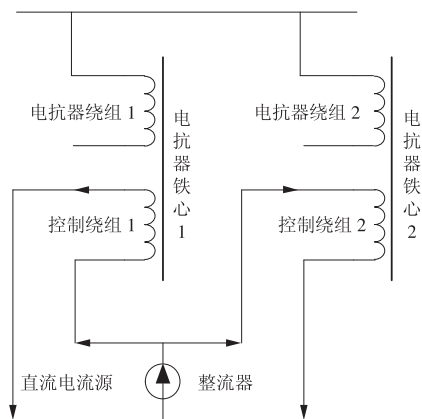


图 1 磁控型并联电抗器简化运行结构

Fig. 1 Simplified running structure of a magnetic shunt reactor

1.2 磁控型并联电抗器保护配置

磁控型并联电抗器的稳定工作关系到整个系统的安全运行,必须对其进行可靠地保护,DL/T 242—2012《高压并联电抗器保护装置通用技术条件》规定了相关的保护功能配置,如图 2 所示(图中:TV 为电压互感器;TA 为电流互感器)。

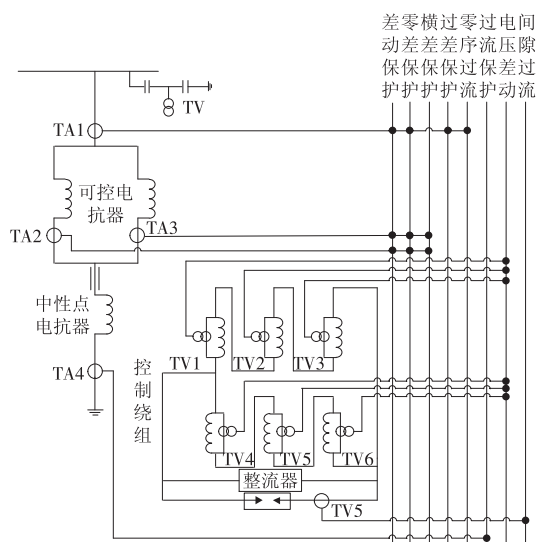


图2 磁控型并联电抗器保护配置

Fig.2 Configuration of a magnetic shunt reactor protection

磁控型并联电抗器保护主要分为3部分:第1部分为主电抗器的保护,分别配置了差动保护、零序差动保护;第2部分为中性点电抗器保护,配置了过流保护及过负荷保护;第3部分为电抗器控制绕组的保护,配置了电压差动保护及间隙过流保护。匝间保护为主保护,零序过流保护、相过流保护及过负

荷保护为后备保护。

目前,电抗器主保护中的差动保护及匝间保护、后备保护的参数都是以恒定容量、恒定额定电流为基准设定的。但由于磁控型电抗器的容量可调,当其容量变化较大时额定电流的变化也较大,如果保护参数依然以恒定电流为参考,会导致保护出现拒动或误动,影响电抗器的正常工作^[10]。为了改善磁控型电抗器保护的灵敏性及可靠性,本文提出了参数识别原理。

2 参数识别原理应用

参数识别原理在磁控型并联电抗器保护中的具体实现过程分为 2 部分:首先是对磁控型并联电抗器的阻抗参数进行识别,实时监测电抗器运行容量;然后利用电抗器的实时阻抗参数对保护参数进行修正,保证保护的灵敏性和可靠性。

2.1 阻抗参数识别

为了实时判定磁控电抗器的运行工况,必须对电抗器的阻抗参数进行实时监测:用图 2 中的 TV 获取电抗器的三相工作电压,用 TA1 获取流过可控电抗器首端的三相电流,利用获得的采样电流、电压量求取电流、电压的基波有效值,进而求取电抗器的阻抗参数。磁控型并联电抗器为饱和运行,可能会出现轻微的非对称性运行和零序电流流过中性点电抗器。为了真实反映出可控电抗器的阻抗参数,必须消除中性点电抗对可控电抗参数识别的影响。

$$Z_{CA,CB,CC} = \frac{U_{A,B,C} - (I_{1A,1B,1C})Z_g}{I_{1A,1B,1C}}, \quad (1)$$

(I_e)进行整定,即

$$I_{op} > kI_e. \quad (2)$$

若电抗器容量调节变化时保护动作电流值还是基于恒定的额定电流会引起保护灵敏度下降、保护拒动误动。

本文将参数识别方法应用到电抗器保护中,利用电抗器的运行电压及电流实时跟踪电抗器阻抗参数的变化,并根据电抗器阻抗参数的变化去修正电抗器保护参数,保证保护的灵敏性和可靠性。

同时为了避免在电抗器容量调节过程中频繁修正电抗器保护参数,增加了修正保护参数的修正阈值:只有当电抗器容量变化超过 5% 时,才对电抗器保护参数进行修正;其次,为避免故障引起的电抗器阻抗参数变化对保护参数进行的误修改,可利用保护的启动元件对保护参数修正逻辑进行闭锁,只有当保护未启动且电抗器容量变化达到阈值时,才对保护算法进行修正,电抗器保护参数修正流程如图 3 所示。

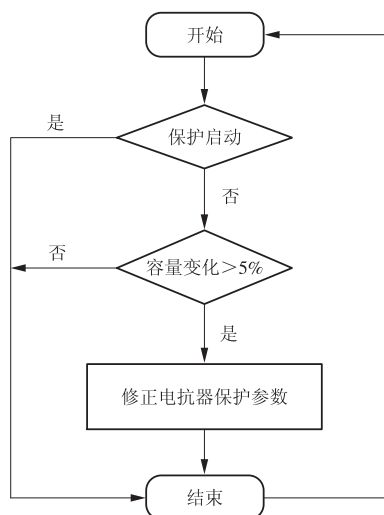


图 3 电抗器保护参数修正流程

Fig. 3 Flow chart of reactor protection parameter correction

通过增设 2 种修正逻辑投入门槛,可以保证修正逻辑的可靠运行,同时不会过多增加保护装置的计算负担,避免电抗器运行状态未稳定及故障时进行保护参数修正引起的保护装置运行异常,提高了修正算法的实用性和可靠性,切实改善了磁控型并联电抗器保护的灵敏性和可靠性,保证了对电抗器保护的高可靠性及灵敏性。

3 算例分析

以实际工程中投运的某磁控型并联电抗器保护装置的保护算法为算例,对前述分析和结论进行验证。BKDFZT-110000/750 型单相磁控式可控并联电抗器额定容量为 110.0 MV·A,容量调节范围为

5.5 ~ 110.0 MV·A,频率为 50 Hz,网侧绕组额定电压为 800 kV,最高运行电压为 800 kV,网侧绕组额定电流为 238.2 A,联结组标号(三相)为 YNyn0-ynd11。

以 A 相为例,分析该电抗器主保护差动保护及后备保护动作特性,

$$I_{da} = \left| \sum_{i=1}^n I_{ai} \right|, \quad (3)$$

$$I_{ra} = \max_{i=1}^n (|k_i I_{ai}|), \quad (4)$$

式中: I_{da} 为 A 相差流有效值; I_{ra} 为 A 相制动电流有效值; I_{ai} 为 A 相 i 侧电流向量; k_i 为 i 侧电流平衡系数。

比例制动曲线为 2 折段,如图 4 所示,折线以上为动作区域,折线以下为制动区域,采用如下动作方程,

$$\begin{cases} I_d \geq I_{opmin}, I_r < I_e \\ I_d \geq I_{opmin} + (I_r - I_e)k_1, I_r \geq I_e \end{cases}, \quad (5)$$

式中: I_{opmin} 为差动启动定值, $I_{opmin} = 0.3I_e$; I_r 为制动电流有效值; I_d 为差动电流有效值; k_1 为制动曲线斜率,如图 4 所示。

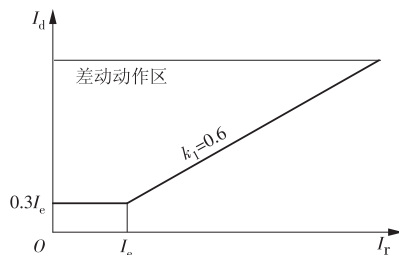


图 4 差动保护动作特性

Fig. 4 The differential protection characteristic

后备过流保护动作特性见式(2),其中常数 k 取 1.5。

根据磁控型并联电抗器工程实际参数及投运保护装置的保护算法进行计算分析,修正容量后电抗器运行容量在 5% ~ 100% 间变化时,不同故障情况下差动保护及后备过流保护动作特性及计算分析结果见表 1,故障简化电路如图 5 所示,其中 $R\%$ 为故障匝数百分比。

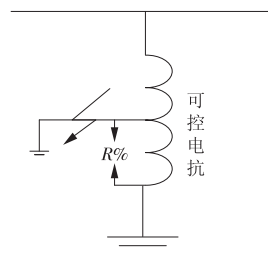


图 5 电抗器故障简化电路

Fig. 5 Simplified reactor fault circuit

表 1 修正容量(S_n)前、后保护动作特性分析
Tab.1 Characteristics analysis on protection before and after taking corrected capacity(S_n)

运行情况		5% S_n		30% S_n		70% S_n		100% S_n	
		修正前	修正后	修正前	修正后	修正前	修正后	修正前	修正后
保护用额定电流	额定电流/A	238.20	11.90	238.20	71.50	238.20	166.70	238.20	238.20
	差动启动定值/A	71.46	3.57	71.46	21.45	71.46	50.01	71.46	71.46
	过流保护定值/A	357.30	17.80	357.30	107.30	357.30	250.00	357.30	357.30
$R\% = 35\%$	差动电流/A	18.30	18.30	110.00	110.00	256.50	256.50	366.50	366.50
	差动特性	拒动	动作	动作	动作	动作	动作	动作	动作
	过流特性	拒动	动作	拒动	动作	拒动	动作	动作	动作
$R\% = 60\%$	差动电流/A	29.80	29.80	178.80	178.80	416.80	416.80	595.50	595.50
	差动特性	拒动	动作	动作	动作	动作	动作	动作	动作
	过流特性	拒动	动作	拒动	动作	动作	动作	动作	动作
$R\% = 85\%$	差动电流/A	79.30	79.30	476.70	476.70	1111.30	1111.30	1588.00	1588.00
	差动特性	动作	动作	动作	动作	动作	动作	动作	动作
	过流特性	拒动	动作	动作	动作	动作	动作	动作	动作

通过表 1 的算例分析结果可以看出:在不进行电抗器容量补偿的情况下,电抗器在小容量运行时出现区内接地故障时保护会出现拒动的情况,无法切除故障,这可能导致故障进一步发展,损坏一次设备,影响电网安全稳定运行;在进行电抗器容量补偿后,电抗器运行在各种容量下都不会出现保护拒动的情况,保护都能够正确动作切除故障,保护一次设备的安全运行。

4 结论

磁控型并联电抗器应用于超高压及特高压系统中,对其进行可靠地保护尤为重要。目前工程中应用的所有保护装置都是采用固定容量的保护算法,在电抗器容量变化较大时,发生故障保护有可能出现保护拒动及误动的情况,引发事故。

本文将参数识别原理运用到磁控型并联电抗器保护中,通过对电抗器阻抗参数的实时识别,确定电抗器的运行工况,实时跟踪电抗器容量的变化,对保护参数进行实时修正,保证保护的灵敏性。为了保证保护的可靠性,引入了修正容量及阻抗参数计算的门槛值,保证了电抗器容量调节时阻抗参数识别的准确性。

参数识别原理的引入大大改善了电抗器保护的可靠性及灵敏性,对电抗器能够进行更加完善的保护,保证电网更加可靠安全的运行。

参考文献:

[1]熊小伏,王婧,陈星田. 一种基于电流比变化量的变压器
匝间短路保护方法[J]. 电力系统保护与控制,2013,41

(9):112 – 115.
XIONG Xiaofu, WANG Qiang, CHEN Xingtian. A protec tion
method of transformer inter-turn short circuit based on the
variation of current ratio[J]. Power System Protection and
Control,2013,41(9):112 – 115.
[2]宋萌,曹昆南,王达达,等. 220 V 磁饱和式可控电抗器分
析[J]. 云南电力技术,2013,41(5):1 – 4.
SONG Meng, CAO Kunnan, WANG Dada, et al. Analysis on
a 220 V magnetically saturation controllable reactor [J].
Yunnan Electric Power, 2013,41(5):1 – 4.
[3]索南加乐,田宏强,谢雯洁,等. 基于参数识别的并联电
抗器保护[J]. 电力系统自动化,2008,32(22):47 – 52.
SUONAN Jiale, TIAN Hongqiang, XIE Wenjie, et al. Shunt
reactor protection based on the parameter identification[J].
Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (22) :
47 – 52.
[4]郑涛,赵彦杰,金颖,等. 磁控式并联电抗器控制绕组匝
间故障分析及保护方案[J]. 电力系统自动化,2014,38
(10):95 – 99.
ZHANG Tao, ZHAO Yanjie, JIN Ying, et al. Analysis on and
protective schemes against control winding turn-to-turn fault
of magnetic controllable shunt reactors[J]. Automation of E-
lectric Power Systems, 2014, 38(10):95 – 99.
[5]郑涛,赵彦杰. 超/特高压可控并联电抗器关键技术综述
[J]. 电力系统自动化,2014,38(7):127 – 135.
ZHANG Tao, ZHAO Yanjie. Overview of key techniques of
EHV/UHV controllable shunt reactor[J]. Automation of E-
lectric Power Systems, 2014, 38(7):127 – 135.
[6]熊蕙,程骁,文继锋,等. 超高压输电系统中磁可控电抗器
保护配置与实现[J]. 江苏电机工程,2014,33(2):37 – 39.
XIONG Hui, CHENG Xiao, WEN Jifeng, et al. Magnetically
controlled reactor protection in HVAC transmission system
[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014, (下转第 71 页)

- [8] 章良利,李敏,周晓蒙,等. 深度调峰下燃煤机组运行方式对能耗的影响[J]. 中国电力,2017,50(7):85-89.
ZHANG Liangli, LI Min, ZHOU Xiaomeng, et al. Impact of the running modes of coal-fired units on energy consumption in in-depth peak load cycling[J]. Electric Power, 2017, 50(7):85-89.
- [9] 张陆,陈健. 供热供电煤耗的计算方法[J]. 热力发电, 2001(1):22-23.
ZHANG Lu, CHENG Jian. Calculation method of coal consumption rate for heat and electricity supply[J]. Thermal Power Generation, 2001(1):22-23.
- [10] 李海浩,李会军,高明朗. 600 MW 燃煤机组并网前投入脱硝系统的技术实践[J]. 华电技术,2018,40(10):63-64,68.
LI Haihao, LI Hujun, GAO Minglang. Technical practice of denitration system for 600 MW coal-fired unit before grid-connection[J]. Huadian Technology, 2001(1):22-23.
- [11] 关祥丰,焦裕龙,吴小明. 2 × 670 MW 火电机组脱硝全工况改造分析及应用[J]. 华电技术,2017,39(1):68-

(上接第65页)33(2):37-39.

- [7] 郑涛,赵彦杰,金颖,等. 晶闸管控制变压器式可控高抗本体保护方案[J]. 电网技术,2014,38(9):2538-2543.
ZHANG Tao, ZHAO Yanjie, JIN Ying, et al. Research on protection scheme for thyristor controlled transformer controllable shunt reactor[J]. Power System Technology, 2014, 38(9):2538-2543.
- [8] 郑涛,赵彦杰,金颖. 特高压磁控式并联电抗器保护配置方案及其性能分析[J]. 电网技术,2014,38(5):1396-1401.
ZHANG Tao, ZHAO Yanjie, JIN Ying. Research on protective configuration for a UHV magnetically controlled shunt reactor[J]. Power System Technology, 2014, 38(5):1396-1401.
- [9] 陈松林,王志鸿,郑玉平,等. 新型微机电抗器保护的研制与开发[J]. 电力系统自动化,2003,27(24):70-73.
CHEN Songlin, WANG Zhihong, ZHENG Yuping, et al. Research and development of a new digital shunt reactor protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(24):70-73.
- [10] 刘小华,黄彦全,李晓玉,等. 应用谐波电流比的并联电抗器补偿装置电抗器匝间短路保护[J]. 电力系统及其

70,72.

- GUAN Yufeng, JIAO Yulong, WU Xiaoming. 2 × 670 MW thermal power station denitration system overall working conditions improvement analysis and application[J]. Huadian Technology, 2017, 39(1):68-70,72.
- [12] 曲立涛,李超,于红梅,等. 燃煤机组深度调峰对环保设施的影响分析及对策[J]. 东北电力技术,2016,37(10):38-44.
QU Litao, LI Chao, YU Hongmei, et al. Impact analysis and countermeasures on coal fired units in-depth peak regulation of environmental protection facilities[J]. Northeast Electric Power Technology, 2016, 37(10):38-44.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

吴思明(1985—),男,浙江宁波人,工程师,工程硕士,从事火电厂锅炉本体优化和节能减排方面的工作(E-mail:173399706@qq.com)。

自动化学报,2016,28(7):112-116.

- LIU Xiaohua, HUANG Yanquan, LI Xiaoyu, et al. Protection of reactor on shunt capacitance compensator against inter-turn fault based on harmonic current ratio[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2016, 28(7):112-116.

(本文责编:陆华)

作者简介:

行武(1988—),男,陕西渭南人,工程师,工学硕士,从事电力系统继电保护的研究工作(E-mail:wu-xing@sac-china.com)。

郭晓(1982—),男,山东淄博人,正高级工程师,工学硕士,从事电力系统继电保护的研究工作(E-mail:xiao-guo@sac-china.com)。

王哲(1990—),男,江苏南京人,工程师,工学硕士,从事电力系统继电保护的研究工作(E-mail:zhe-wang@sac-china.com)。

史博伦(1992—),男,河南许昌人,工程师,工学硕士,从事电力系统继电保护的研究工作(E-mail:bolun-shi@sac-china.com)。