

# 易饱和电流互感器在母线保护测试中的应用

胡宝<sup>1</sup>, 朱军红<sup>1</sup>, 刘秋菊<sup>1</sup>, 张克元<sup>2</sup>

(1. 许继电气股份有限公司中试部, 河南 许昌 461000;

2 许继电气股份有限公司保护及自动化事业部, 河南 许昌 461000)

摘要: 电流互感器饱和一直是影响母线保护正确动作的主要问题, 现阶段对 CT饱和的测试主要在动模、数模进行, 针对这种情况, 通过特制易饱和 CT, 对其在不同情况下的饱和波形进行了分析, 并以母线保护为例提出了在设计过程中对 CT饱和进行测试的方法。

关键词: CT饱和; 母线保护; 测试

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2005)09-0070-03

## 0 引言

当母线发生区外故障时, 故障线路流过全部短路电流, 它的 CT很可能由于短时强大的短路电流以及较大的非周期分量进入深度饱和状态, 励磁阻抗可能很小。因而, 一次电流大部分流入励磁支路, 此时差动回路中的不平衡电流很大, 极易造成母线保护误动。随着电力系统电压等级的升高, 一次系统的时间常数也随之增大, 这使短路电流中的直流分量衰减更加缓慢, CT处于饱和状态的时间及饱和程度都将增加。因此, 电力系统发展要求母线保护具有更高的抗 CT饱和能力。为了尽早发现设计过程中 CT饱和判断存在的问题, 迫切需要在设计阶段就能对母线保护抗 CT饱和性能进行测试, 为此, 我们特制了易饱和 CT, 通过把经易饱和 CT后饱和的电流加入母线保护装置来考核母线保护的抗 CT饱和能力。

### 1 电流互感器的暂态工作过程<sup>[1,2]</sup>

为简化分析, 作如下假设:

a 由于电流互感器输入为电流源, 一次绕组漏抗不影响电流之传变, 可不予考虑; b 忽略铁心损耗, 认为励磁支路为纯电感支路; c 考虑到电流互感器的负载主要是控制电缆的电阻, 可忽略  $L_2$ , 把负载视为纯阻性。

电流互感器的简化等效电路图如图 1 所示 ( $I_1$  为折算到二次侧的电流)。

由等效电路列等值方程如下:

$$L_0 \frac{d\dot{i}_0}{dt} = \dot{i}_2 R_2$$

$$\dot{i}_1 = \dot{i}_0 + \dot{i}_2 = \dot{i}_0 + \frac{L_0}{R_2} \frac{d\dot{i}_0}{dt} = \dot{i}_0 + T_2 \frac{d\dot{i}_0}{dt}$$

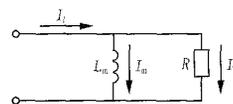


图 1 电流互感器简化等效电路图

Simplified equivalent circuit of current transformer

由于母线发生区外故障时, 在不考虑非故障线路或元件的 CT饱和时, 差动电流即为饱和 CT的励磁电流, 因此在这里我们只关注励磁电流的暂态过程。又由于短路电流中的非周期分量是引起铁芯饱和造成二次电流失真的主要因素, 因此按最严重情况考虑, 一次电流中含最大直流分量的情况,  $i_1 =$

$$I_m \cdot (e^{-t/T_1} - \cos t), \text{ 在铁心未饱和前,}$$
$$\dot{i}_m = -I_m \frac{T_1}{T_2 - T_1} e^{-t/T_1} + I_m \frac{T_1}{T_2 - T_1} e^{-t/T_2} - I_m \cos t \cdot \cos(t - )$$

$$\text{式中, } \cos = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_m^2}}$$

可以看出, 影响 CT饱和因素有以下几点:

a 故障起始时, 励磁电流中并无非周期分量, 而后非周期分量才逐渐增大, 使铁芯饱和, 进入饱和的时间和一次系统时间常数、CT二次时间常数和 CT二次负载有关。

b 一次电流中的非周期分量越大, 励磁电流中的非周期分量也越大, CT饱和越严重。

c 一次系统时间常数越大, 励磁电流中的非周期分量衰减也越慢, CT饱和时间也越长。

d CT的二次负载越大, 励磁电流中的周期分量也越大, 易使 CT不能脱离饱和状态。

虽然上述推导未计及铁芯剩磁的影响, 但不难推断, 当励磁电流的非周期分量对应的磁通与剩磁的方向相同时, 铁芯将更快更深地进入饱和。

## 2 利用动模试验测试母线保护抗饱和措施的不足

动模试验按照母线保护的现场运行环境建模,具有真实、系统性强的优点。但通过对动模试验录波,发现由于诸多因素的影响,动模试验对抗 CT饱和措施的考核并不太理想,存在以下不足:

动模试验难以捕捉到最严重情况下的暂态饱和。为使短路电流中的非周分量为最大,需控制短路电流初相角为  $90^\circ$ 。在动模试验中需要多次重复地试验以使起始角落在比较理想的位置。

动模试验不能灵活地改变非周期分量衰减时间常数。当一个动模系统搭建完成后,这个系统包括非周期分量衰减时间常数在内的系统参数都已固定。若要考核母线保护抗 CT饱和措施在各种衰减时间常数下的有效性,则需要通过计算、改变系统中各元件的参数来改变非周期分量衰减时间常数,这个过程比较麻烦,而且不易实现。

动模试验往往用增加二次负载的方法来加深 CT饱和程度,使模拟过程不太真实。增加二次负载时,CT励磁电流相应增大,因此 CT饱和程度也相应加深。但当 CT二次负载足够大时,CT对模拟系统呈现出较大的阻抗,改变了系统的物理特性。例如,在 CT线性区故障电流变得非常小,保护无法准确判定区内外故障造成保护误动作。

## 3 CT饱和模拟的新方法

### 3.1 试验方案

以单母线方式,母线上以三个连接元件为例(正常运行时 1#、3#为电流流出元件,2#为电流流入元件),利用博电公司继电保护测试仪的状态序列菜单,模拟 A相 1#元件区外故障时 CT饱和(1#元件 A相串接易饱和 CT),试验接线如图 2。

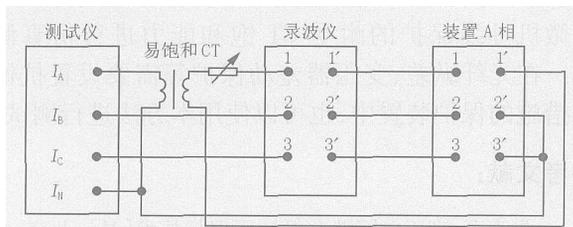


图 2 试验接线图

Fig 2 Connection diagram of the test

为了方便地模拟各种系统情况,在微机继电保护测试仪中专门开发了一个测试软件,利用测试软件可方便地修改故障起始角、非周期分量时间常数、

故障电流等各种参数。

### 3.2 易饱和 CT的特点

我们定做的易饱和 CT变比为 1:1,当负载合理,CT一次电流小于 8 A时,CT能正确地传变一次电流,且经过大量的试验验证,CT一次电流和二次电流的相位偏差非常小,可以忽略不计。在流经的一次稳态电流大于 8 A时二次电流开始失真,当一次稳态电流为 12 A时,二次电流波形的线性区就降到仅为 2.72 ms。

在试验过程中,由于特制 CT很容易达到较深程度的饱和,因此模拟稳态饱和时,只需改变一次电流的大小,便可方便地控制 CT饱和的程度;模拟暂态饱和时,也只需改变一次电流的大小、故障起始角、非周期分量衰减时间常数,便可方便地控制 CT饱和的程度。这样我们不必通过改变二次负载的大小来控制 CT饱和的程度,更符合实际情况。但需要注意的是,整个试验过程中必须录下所有波形,以掌握 CT的传变情况,且可以给设计人员提供赖以分析的依据。

### 3.3 模拟不同情况下 CT饱和

#### 3.3.1 模拟区外故障 CT暂态饱和

模拟一次系统时间常数 0.1 s,非周期分量 100%条件下的区外故障 CT暂态饱和,施加电流如表 1。

表 1 模拟区外故障 CT暂态饱和时电流施加情况

Tab 1 Test current of simulating external fault with CT transient saturation

	状态 1	状态 2
1#元件 A相	1 0 A 不叠加衰减分量	10 90 A 叠加衰减分量 时间常数 0.1 s
2#元件 A相	2 180 A 不叠加衰减分量	10 270 A 叠加衰减分量 时间常数 0.1 s
3#元件 A相	1 0 A 不叠加衰减分量	0 A
持续时间	5 s	2 s

录波仪记录的易饱和 CT一次侧、二次侧电流波形及运算出的差动电流波形如图 3。

由波形可见,在衰减直流分量作用下,CT饱和程度较深,二次电流波形严重缺损,幅值降低。在短路开始,由于励磁回路的电感不允许其电流有突变,二次电流基本能正确传变一次电流。其后由于非周期分量的增加,CT很快进入深度饱和,励磁阻抗大降低,二次感应电势下降为零,在相应一段时间内二次电流为零,当已全部成为励磁电流的一次电流瞬时值下降时,CT逐渐退出饱和,当它降到零,进而

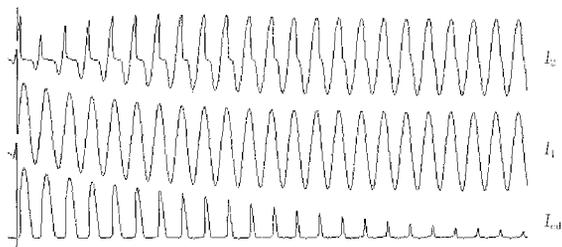


图 3 CT暂态饱和录波图(衰减时间常数 0.1 s)

Fig 3 Waveforms of CT transient saturation (time constant of the system attenuation is 0.10 s)

改变极性时,铁芯退出饱和,二次感应电势增大,又输出二次电流,几乎与一次电流相等(此时铁芯中有相当大的剩磁);当一次电流恢复初始极性又上升时,由于剩磁存在铁芯又很快饱和,二次电流又降为零。随着直流分量的衰减二次电流才逐渐增大。

由于在超高压电网中,特别是大容量电厂高压母线出口短路时,由发电机所供给的短路电流中的  $T_1$  可达 50~100 及以上,单独的 500 kV 线路本身的  $T_1$  也约为 10 及以上,大容量变压器的  $T_1$  达 40 及以上<sup>[2]</sup>。因此测试时需改变一次系统时间常数(也即衰减时间常数),来考核在短路电流暂态持续时间越来越长的情况下母差的抗 CT 饱和能力。

图 4 是一次系统时间常数为 0.15 s,非周期分量 100% 下的区外故障 CT 暂态饱和波形。

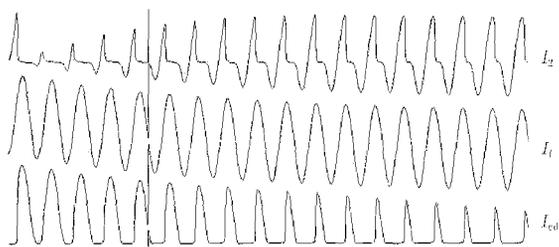


图 4 CT暂态饱和录波图(衰减时间常数 0.15 s)

Fig 4 Waveforms of CT transient saturation (time constant of the system is 0.15 s)

与图 4 对照可清楚地看出,由于非周期分量衰减时间增大,CT 饱和更加严重,二次电流线性段时间明显减小。

### 3.3.2 模拟区外故障 CT 稳态饱和

在稳态短路电流下,电流互感器一般不会饱和。出现饱和的原因可能是由于电流互感器选型不对,二次回路阻抗过大,以致于在短路电流幅值较大时不能正确传变。施加电流如表 2(第二个状态电流远大于易饱和 CT 正确传变电流)。

表 2 模拟区外故障 CT 稳态饱和时电流施加情况

Tab 2 Test current of simulating external fault with CT stable saturation

	状态 1	状态 2
1 元件 A 相	1 0 A 不叠加衰减分量	40 90 A 不叠加衰减分量
2 元件 A 相	2 180 A 不叠加衰减分量	40 270 A 不叠加衰减分量
3 元件 A 相	1 0 A 不叠加衰减分量	0 A
持续时间	5 s	2 s

录波仪记录的易饱和 CT 一次侧、二次侧波形及运算出的差动电流如图 5。

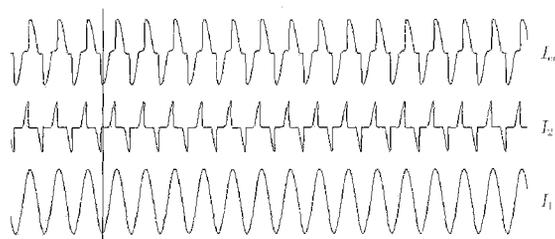


图 5 CT 稳态饱和录波图

Fig 5 Waveforms of CT stable saturation

由波形可见,由于励磁电流(也即区外故障差流中)的周期分量很大,正负半周铁芯均进入饱和,因此二次电流正半周的过零点均发生偏移。

### 3.3.3 模拟 CT 饱和的其它情况

母线保护抗 CT 饱和措施是否完善还体现在区内故障 CT 饱和、区外故障 CT 饱和转区内故障时,母线保护能否可靠动作。对这两种情况的考核仍是采用易饱和 CT 来进行,方法同上,测试过程不再详述。

## 4 结论

本文介绍了一种采用微机继电保护测试仪和特制易饱和 CT 在设计阶段对母线保护抗 CT 饱和能力进行验证的方法,此方法不需建模,输出的 CT 饱和波形真实有效。经大量试验证明,可准确方便地对微机母线保护的耐受 CT 饱和能力进行仿真测试。在光纤纵差、变压器差动保护等需要设置抗饱和措施的保护装置中,也可以使用本方法进行测试。

### 参考文献:

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.  
ZHU Sheng-shi Principle and Technology of Relaying Protection in HV Power Grid [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.

(下转第 77 页 continued on page 77)

终端侧 110 kV 线路保护,检终端站母线无压重合。

## 2) 各装置定值的配合整定

解列装置定值:考虑到故障跳闸后小电源的失步过程,借鉴相关整定规程,低频动作值取 48 Hz,低压动作值取  $60\% U_0$ ,动作时限取 1.5 s。

大网侧 110 kV 线路保护重合闸时限:按躲解列装置动作时限及适当的延时整定 ( $T_{CH1} = T_{JL} + T + T$ )。

终端侧 110 kV 线路保护重合闸时限:按躲大网侧 110 kV 线路保护重合闸时限整定 ( $T_{CH2} = T_{CH1} + T$ )。

## 5 实施后的效果

本局 5 个 110 kV 终端变电站装设以上解列装置后,运行至今,凡 110 kV 联络线的瞬间故障,均能实现故障后的成功重合,有效地保证了终端变电站各侧母线及本地负荷的供电可靠性。

## 6 存在的问题

1) 若故障后小电源足够强,致使终端变的电压

及频率均未降低或未能降至整定值,使解列装置不起作用,线路重合闸无法实现。

2) 在终端变的某些特殊运行方式下,解列装置可能误动,例如:终端变与大网解网运行,改由地方电源供电时,如无功补偿不足,将导致终端变一次电压降至整定值,出现误动。此种情况下应及时将解列装置退出运行。

## 参考文献:

- [1] DL/T-584-1995, 3 ~ 110 kV 电网继电保护装置运行整定规程 [S].  
DL/T-584-1995, Operational and Setting Code for Relay Protection of 3 ~ 110 kV Electrical Power Networks [S].
- [2] DL 428-91, 电力系统自动低频减负荷技术规定 [S].  
DL 428-91, The Electrical Power System is Automatic Low Frequency Reduces the Load Technology Stipulation [S].

收稿日期: 2004-09-01; 修回日期: 2004-11-15

作者简介:

李波 (1975 - ), 男, 工程师, 从事继电保护运行及管理工作。E-mail: wzb@sina.com

## Power supply reliability analysis and improvement of 110 kV terminal substation with local resources

LI Bo

(Wuzhou Power Supply Bureau, Wuzhou 543002, China)

**Abstract:** This paper employs the method of low frequency and low voltage separation reclosure. With the method, 110 kV link lines will reclose after instantaneous fault. Consequently, power supply reliability can be ensured.

**Key words:** 110 kV terminal substation; instantaneous fault; separation; reclosure

(上接第 72 页 continued from page 72)

[2] 王梅义. 电网继电保护应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.

WANG Mei-yi. Relaying Protection Application in Power Grid [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.

收稿日期: 2004-08-11; 修回日期: 2005-02-23

作者简介:

胡宝 (1963 - ), 男, 高级工程师, 主要从事继电保护

及自动化产品的测试技术、测试方法的研究和科研产品的测试工作;

朱军红 (1978 - ), 女, 助理工程师, 主要从事继电保护及自动化产品的测试技术、测试方法的研究和科研产品的测试工作; E-mail: junhongzh@xjgc.com

刘秋菊 (1978 - ), 女, 助理工程师, 主要从事继电保护及自动化产品的测试技术、测试方法的研究和科研产品的测试工作。

## Application of the saturable CT in the test of busbar protection

HU Bao<sup>1</sup>, ZHU Jun-hong<sup>1</sup>, LU Qiu-ju<sup>1</sup>, ZHANG Ke-yuan<sup>2</sup>

(1. Intermediate Test Dept of XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China;

2. Protection & Automation Dept of XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** Saturation of the current transformer is a major factor of affecting the correct operation of busbar protection. At present, tests to CT saturation mainly focus on dynamic module and digital module. A special CT which is easy to saturate is put forward, through which saturation waves under different conditions are analyzed. Taking busbar protection devices as an example, the test methods of CT saturation during the design process are provided.

**Key words:** CT saturation; busbar protection; test