

# 国外 500 kV 变压器过励磁保护的分析

杨彪, 董建达, 金乃正

(绍兴电力局, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 根据国外过励磁保护在绍兴电力局 500kV 变电站的应用情况, 以 500kV 凤仪变 #3 主变 ABB 过励磁保护为例, 着重分析了其基本原理、与变压器过励磁特性曲线的配合、存在的保护死区以及整定调试等问题。

关键词: 变压器; 过励磁; 曲线; 保护; 整定; 调试; 死区

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2004)13-0071-03

## 0 引言

近年来, 随着华东地区 500 kV 电网的不断发展, 系统电压偏高问题逐渐显露, 变压器过励磁运行现象日益增多, 特别是在晚间低负荷以及节假日期间, 矛盾尤为突出, 有的 500 kV 变压器甚至因过励磁保护动作而跳闸。在系统电压偏高的情况下, 变压器处在过励磁运行中, 其铁心拉板温度将升高, 成为影响变压器过励磁能力的关键问题。若过励磁超过变压器允许的限度, 将使变压器铁心温度上升而损坏。但由于变压器发生过励磁时并非每次都造成设备的明显破坏, 所以往往容易被疏忽, 但是多次反复过励磁, 将因过热而使绝缘老化, 降低设备的使用寿命。

对 500 kV 系统来说, 正常运行时的频率  $f$  基本上是恒定的, 引起磁通密度增加的主要原因是系统电压的升高。在 500 kV 系统中可能引起电压升高, 使变压器过励磁的原因有多种。

目前的大型变压器设计中, 为了节省材料, 降低造价, 减少运输重量, 铁心的额定工作磁通密度都设计得较高, 约在 1.7~1.8 T, 接近饱和磁密(1.9~2 T), 因此在过电压情况下, 很容易产生过励磁。另因磁化曲线比较“硬”, 在过励磁时, 由于铁心饱和, 励磁阻抗下降, 励磁电流增加的很快, 当工作磁密达到正常磁密的 1.3~1.4 倍时, 励磁电流可达到额定电流水平。其次由于励磁电流是非正弦波, 含有许多高次谐波分量, 而铁心和其他金属构件的涡流损耗与频率的平方成正比, 可引起铁心、金属构件、绝缘材料的严重过热, 若过励磁倍数较高, 持续时间过长, 可能使变压器损坏。

装设变压器过励磁保护的目的是为了检测变压器的过励磁情况, 及时发出信号或动作于跳闸, 使变压器的过励磁不超过允许的限度, 防止变压器因过

励磁而损坏。

## 1 变压器的过励磁能力

变压器的空载电流、空载损耗与过励磁倍数  $n$  的关系

$$n = B / B_n = \frac{U / U_n}{f / f_n} = U^* / f^* \quad (1)$$

式中:  $U^*$ 、 $f^*$  为电压和频率的标么值。

经厂家测试数据表明, 当  $n$  增加时, 空载电流和空载损耗成非线性陡增关系, 变压器的空载损耗主要集中在铁心和金属构件的表面, 造成局部过热或烧伤。

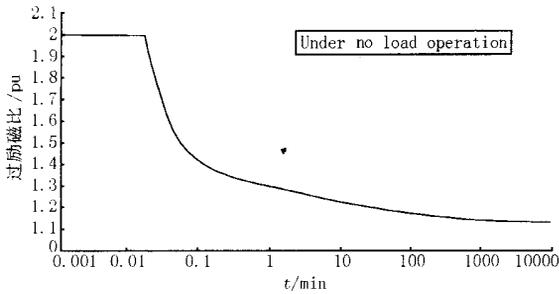
在同一过励磁倍数  $n$  下, 允许持续时间的长短, 与变压器的额定磁密、饱和磁密、磁化曲线的形状密切相关, 额定磁密越接近饱和磁密, 饱和后的磁化曲线斜率越小, 则在同一  $n$  下允许的过励磁持续时间就越短。

一般厂家应提供两条过励磁曲线, 一种是在变压器空载情况下的过励磁曲线, 另一种是在变压器满载情况下的过励磁曲线, 根据  $U = E - IZ$  可知, 变压器在负载运行时由于  $IZ$  的作用, 变压器的运行电压将降低, 过励磁曲线也将降低。继电器的过励磁曲线应按厂家提供的变压器满载情况下的过励磁曲线配合选择。

## 2 过励磁保护的选配原则

由于系统电压升高和频率降低对变压器过励磁具有同样的影响, 因此过励磁保护是普通原理的过电压保护不能替代的。

过励磁保护类型的选择, 应充分考虑继电器反时限特性曲线与变压器允许的过励磁曲线相配合, 如图 2 所示, 当继电器特性曲线紧随变压器励磁曲线下时, 继电器能够有效地保护变压器的过励磁。



$$\text{过励磁比} = \frac{\text{工作电压}}{\text{一次额定电压}} \times \frac{\text{额定频率}}{\text{工作频率}}$$

图1 日本东芝 500 kV 变压器空载过励磁电流曲线

Fig. 1 Overexcitation current curve under no-load operation of transformer

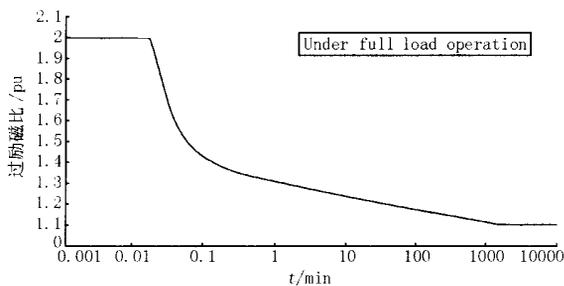


图2 日本东芝 500 kV 变压器满载过励磁电流曲线

Fig. 2 Overexcitation current curve under full-load operation of transformer

如出现继电器反时限特性曲线与变压器过励磁曲线相交时,就说明配合得不够理想,当变压器过励磁值小于相交点时,继电器动作时间大于变压器容许运行时间,即当还未等到继电器动作时,变压器可能已受到损坏。

目前浙江省内新设计的 500 kV 变压器过励磁保护有两套,一套是 ABB 公司的 RET-521 微机型继电器,另一套是 RAL K-2H 型集成元件型继电器。两套继电器都具有定时限和反时限功能。保护反应  $V/f$  值,这个比值与变压器磁通成正比,用来反应变压器的过励磁。文章第 4 节对 RET-521 和 RAL K-2H 型过励磁继电器基本原理进行分析,RET-521 和 RAL K-2H 型过励磁继电器基本上能够满足保护变压器过励磁的要求,但有时也可能出现继电器特性不能很好地与变压器过励磁曲线相配合的情况,即保护存在死区现象。

### 3 变压器过励磁保护的基本原理

变压器铁心的工作磁密与  $U/f$  成正比,过励磁保护就是根据这一原理构成的<sup>[1,2]</sup>。其工作原理

是:继电器的电压一次线圈 YH 接到母线电压互感器的二次侧,反应加到变压器上的电压和频率。YH 的二次侧为一 RC 分压电路,在电容器 C 两端的电压为

$$U = \frac{U}{\sqrt{(2fRC)^2 + 1}} \quad (2)$$

当  $2fRC \gg 1$  时,  $U_c = KU/f$ 。

可见,电容器 C 上的电压  $U_c$  显然反应了系统  $V/f$  的比值,如果  $U$ 、 $f$  分别为加到变压器端子上的电压和频率,  $U_c$  便与变压器的磁密成正比。

反时限跳闸:当变压器过励磁值达到反时限启动值时,经反时限延时动作跳开主变压器各侧开关,反时限动作时间由式(3)决定:

$$T_2 = 0.18 \times K / (M - 1)^2 \quad (3)$$

其中:  $M = (U/f) / (U/f)_{\text{start}}$

由式(3)可知,  $K$  值越大,  $T_2$  越大。其中  $K$  为整定时间倍数。

$V/f$  启动:反时限过励磁跳闸启动值。当继电器过励磁值  $V/f$  大于比值时,反时限回路开始工作,经式(3)求出的时间后动作跳闸。

当  $K$  取不同值时,式(3)描述了一簇曲线(图3),对某一确定的变压器可选用适当的  $K$  值及  $M$  值,改变  $K$  值、 $M$  值,能使曲线给出的时间能与变压器过励磁允许运行的时间很好地配合。

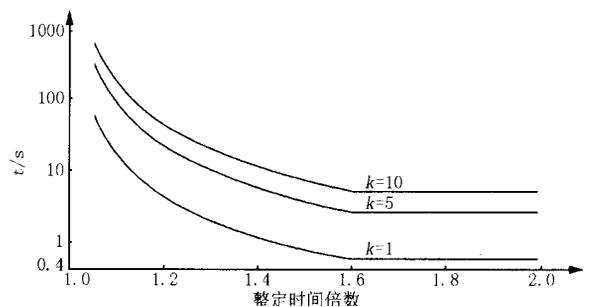


图3 取不同  $K$  值时的时间曲线图

Fig. 3 Time curves with different  $K$

### 4 变压器过励磁保护的整定计算及调试分析

过励磁保护应按变压器厂家提供的变压器满载情况下的过励磁曲线整定,其整定原则为尽量使所调整的励磁保护继电器的励磁曲线在变压器过励磁曲线的下方,即变压器运行在过励磁条件下时,励磁保护继电器应能以比它所能承受的更短时间可靠跳开主变各侧断路器。同时,应该保证在正常运行条件下,变压器应有一定的耐受过励磁强度的水平,所以励磁保护继电器的启动值一般整定到略大于正常的

最高运行值。

以下以凤仪变 # 3 主变配置的 ABB 公司 RAL K-2H 型继电器为例进行整定及调试的分析。

#### 4.1 反时限过励磁保护

从图 2 可知,当变压器过励磁小于或等于 1.10 时,变压器允许长期连续运行,选取继电器的启动值  $n_{op} = 1.10$ ,即当  $f = f_n$ 、过电压 1.10 倍时保护开始启动,按互感器变比  $N = 500 \text{ kV}/100 \text{ V}$ ,因凤仪变 # 3 主变的一次额定电压为 510 kV,因此  $U/f$  的二次启动值为:

$$510/500 \times 110 \text{ V}/50 \text{ Hz} = 2.24 (\text{V}/\text{Hz})$$

试选  $K = 5$ ,由式(3)可计算出保护动作时间  $T_2$ 。校核  $n = 1.20$  时  $T_2 = 22.5 \text{ s}$ ,小于允许的持续时间 1800 s(见表 1),因  $T_2$  时间远小于允许持续时间,所以试选  $K = 10$ ,再校核  $n = 1.20$ ,  $T_2 = 45 \text{ s}$ ,可见仍远小于允许的持续时间 1800 s。因凤仪变 # 3 主变为日本东芝公司产品,过励磁曲线比较高,过励磁能力比较大,所以整定  $K$  为最大值 10 时仍能满足它的过励磁能力,保护动作时间远小于其允许时间,且有较大的余度。一般过励磁曲线比较低的情况下,试选的  $K$  值可适当小一些。

过励磁继电器的反时限定值特性的调试较为烦琐,有时需要反复调试多次,直到满足变压器满载过励磁曲线的要求,一般调试前应根据变压器满载过励磁曲线先确定过励磁继电器的启动值,然后通过试算确定  $K$  值。为了超高压变压器的运行安全,首先应从厂家取得变压器的满载过励磁曲线,使过励磁保护的整定有一个实际的依据,然后再按现场实际调试值确定整定值。

表 1 按实际情况整定的凤仪变 # 3 主变反时限跳闸特性

Tab. 1 Inverse-time tripping characteristics of main transformer

$f = f_n$ 时输入电压值/V	过励磁倍数 $n$	动作时间/s	期望时间/s
112.20	1.10	启动(不动作)	无穷大
118.32	1.16	641.50	6000
122.40	1.20	232.40	1800
124.40	1.22	161.80	900
128.50	1.26	89.10	200
132.60	1.30	57.10	60
138.70	1.36	33.33	12

#### 4.2 定时限过励磁保护

根据表 1 可知,若过励磁倍数  $n > 1.30$  时,实际整定的反时限特性曲线与图 2 的变压器过励磁曲线有交叉点,此时完全靠反时限过励磁保护则偏于保守。所以按实际需要还配置了定时限过励磁保护

以弥补反时限保护的这一缺陷。从表 1 可知,当  $n = 1.3$  倍时,变压器过励磁期望时间可达 60 s,但考虑到系统电压达到 1.3 倍额定电压时,系统肯定有较大的问题出现,一般常见的是系统小的扰动,而且时间不会持续很长,定时限时间不宜太长,故整定为  $n = 1.30$  倍,  $t = 5 \text{ s}$  时,就可达到保护变压器的目的。

表 2 按实际情况整定的凤仪变 # 3 主变定时限跳闸特性  
Tab. 2 Definite-time tripping characteristic of main transformer

$f = f_n$ 时输入电压值/V	过励磁倍数 $n$	动作时间/s	期望时间/s
132.6	1.30	5	60

## 5 结语

1) ABB 公司生产的 RET-521 和 RAL K-2H 型过励磁继电器基本上能够满足保护变压器过励磁的要求,但有时也可能出现继电器特性不能很好地与变压器过励磁曲线相配合的情况,即保护存在死区现象,特别用于国产变压器,因国产变压器负载过励磁曲线比较低,保护死区现象可能较突出,这就降低了 RET-521 和 RAL K-2H 的性能。

2) RET-521 为微型保护,在调试上比 RAL K-2H 集成型保护更为方便,且其曲线的柔性较好,更容易贴近变压器的过励磁曲线。

3) 目前我国国内尚无国产的过励磁保护,使用的都为进口产品,但这些产品在设计原理上存在着一些缺陷,在运行中也存在着一些问题,因此研制和开发适用于各种大型变压器的过励磁保护是专业厂家面临的任务。

## 参考文献:

- [1] 王维俭(WANG Wei-jian). 发电机变压器继电保护应用(Application of Transformer Relay Protection of Generator) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1998.
- [2] 许实章(XU Shi-zhang). 电机学(上册)(Electromechanics, Part One) [M]. 北京:机械工业出版社(Beijing:China Machine Press),1982.

收稿日期: 2004-02-25; 修回日期: 2004-03-21

作者简介:

杨彪(1961-),男,大学,主管继电保护技术监督,整定计算;

董建达(1962-),男,大学,从事电机学、生产管理。

(下转第 81 页 continued on page 81)

#### 4 采取的继保反事故措施和办法

针对以上分析,技术人员即采取了以下对应技术措施:

1) 向该系列保护生产厂家通报了以上存在的问题和分析,希望在设计、生产中改进,避免今后同类情况发生;

2) 针对该装置信号回路没有自检、监视和告警的功能,马上组织人员对运行中同系列的保护装置进行检查,采取临时措施:解除所有本体重瓦斯、有载分接开关油流继电器等跳闸输入回路上并联的信号回路,避免了出现同类问题的可能;

3) 最终确定了反事故措施,即在装置外部加装3个中间继电器,使本体重瓦斯、有载油流继电器、压力释放阀等本体触点分别对应中间继电器,再利用中间继电器的重动触点分别启动装置的跳闸回路和信号回路,即把跳闸、信号回路的输入部分进行电气上的

隔离,彻底处理了该设备缺陷,避免事故的再次发生。

4) 组织人员对保护二次回路的接地情况和变电站地网情况进行了检查,结果均满足运行要求。对于二极管击穿的问题,技术人员认为要厂家注重元件质量,同时必须加强变电站二次弱电设备防雷技术研究。

#### 5 结论

通过此次主变本体保护装置误动事故的分析和处理,及时发现了该CSR系列本体保护装置本身存在的设计缺陷,采取了继保反事故措施,避免今后变电运行中重复性事故的发生。

收稿日期: 2003-09-24; 修回日期: 2003-12-21

作者简介:

徐忠伟(1965-),男,硕士研究生,高级工程师,从事电力系统生产技术管理; E-mail: qyd2002@yahoo.com.cn

张步涵(1950-),男,教授,从事电力系统技术研究。

#### Analysis of a maloperation of main transformer's protection

XU Zhongwei, ZHANG Buhuan

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** A maloperation of transformer protection caused by inner diode breakdown is expatiated. Based on the fault analysis, this paper puts forward the improved methods to electrically disconnect tripping circuit and signal circuit, which avoids the maloperation repeatedly.

**Key words:** transformer; protection; fault

(上接第 73 页 continued from page 73)

#### Analysis of imported overexcitation protection in 500 kV power transformer

YANG Biao, DONG Jianda, JIN Naizheng

(Shaoxing Power Supply Bureau, Shaoxing 312000, China)

**Abstract:** The application of imported overexcitation protection in Shaoxing 500 kV substation is introduced. Taking overexcitation protection from ABB employed in Fengyi 500 kV No. 3 transformer as an example, the paper focuses on the principle of overexcitation protection, its cooperation with overexcitation characteristic curves, its protection dead zone, and relevant debugging.

**Key words:** power transformer; overexcitation; curves; protection; coordination; debugging; dead zone

(上接第 79 页 continued from page 79)

[5] DL/T 5136-2001,火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程(Technical Code for Designing of Electrical Secondary Wiring in Fossil Fuel Power Plants and Substations[S].

收稿日期: 2003-05-26;

作者简介:

曾健(1972-),男,工程师,从事电力工程设计工作。

#### Brief discussion on the earthing of shielded cable in HV substation

ZENG Jian

(Shaanxi Electric Power Design Institute, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The proper earthing of the shielded layer of cable in HV substation plays an important part in reducing electromagnetic interference to the microcomputer-based secondary facilities. This paper makes brief discussion on the mechanism of the electromagnetic field screening by means of single-point and two-point grounding of the shielded layer of cable and proposes some problems that have to be paid attention to in two-point grounding.

**Key words:** electromagnetic interference; single-point grounding; two-point grounding