

含有  $U_L$ -P 型转子低压失磁继电器失磁保护框图的优化田丰<sup>1</sup>, 李碧辉<sup>1</sup>, 王伟<sup>2</sup>

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 许继日立公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 整定值自动随有功功率  $P$  变化的转子低压失磁继电器 (简称为  $U_L$ -P 型继电器) 广泛应用于失磁保护, 国内各大继电器厂都生产含有  $U_L$ -P 型继电器的失磁保护装置。但在一些工程和文章中有少数失磁保护框图不妥或错误, 该文从理论上分析并予以优化, 提出新的保护框图方案, 避免静稳边界后发电机异步运行时由于  $U_L$ -P 发生抖动而引起保护出口抖动, 保证失磁保护出口能持续性地动作, 对失磁保护有一定的指导意义。

**关键词:** 发电机; 失磁保护; 转子低电压

Optimization of loss of field protection diagram based on  $U_L$ -PTIAN Feng<sup>1</sup>, LI Bi-hui<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. XJ Hitachi, Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** With setting automatic tuning of the changes in active power, rotor low-voltage loss of excitation relay ( $U_L$ -P-type relays) has been applied to loss of field protection, which has still a small number of deficiency or wrong in some works or papers. This paper analyzes theoretically and optimizes the protection diagram. A new diagram of the protection is proposed to avoid protection exports jitter caused by  $U_L$ -P protection exports jitter after static and stability boundary, and ensure the protection exports keep action. It is useful for under excitation loss of field protection.

**Key words:** generator; loss of field protection; rotor low-voltage

中图分类号: TM772 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)12-0049-03

## 0 引言

$U_L$ -P 转子低压失磁继电器 1984 年由合肥工业大学首创研制成功<sup>[1]</sup>, 二十多年来已在国内陆续地较广泛应用, 国内各大继电器厂都生产含有  $U_L$ -P 型继电器的失磁保护装置。 $U_L$ -P 失磁继电器与其它元件相互配合的失磁保护方案逻辑框图中有少数单元电路不妥或错误, 本文分析之并予以优化。

1  $U_L$ -P 的动作方程及基本特性

$U_L$ -P 继电器应用于凸极或隐极同步发电机的动作方程的通式<sup>[2]</sup>为:

$$U_L \leq K_{set}(P - P_t)$$

$$\text{式中: } K_{set} = \frac{P_n}{P_n - P_t} \cdot \frac{C_n(X_d + X_{st})U_{L0}}{U_{st}E_{d0}}$$

$K_{set}$  为整定系数, 即为  $U_L$ -P 继电器动作特性直线(见图 1) 的斜率, 单位为 “V/W”;  $p$  为发电机有功功

率, 随运行工况变化而变化, 在线值, 单位 “W”;  $U_L$  为发电机励磁电压, 随运行工况变化而变化, 在线值, 单位 “V”;  $P_n$  为发电机额定有功功率, 单位 “W”;  $P_t$  为发电机凸极功率, 单位 “W”;

$$P_t = \frac{U_{st}^2(X_d - X_q)}{2(X_d + X_{st})(X_q + X_{st})}$$

$X_d$ 、 $X_q$  为发电机纵轴、横轴同步电抗, 单位 “ $\Omega$ ”;  $X_{st}$  为发电机机端至无限大系统母线间的联系电抗, 单位 “ $\Omega$ ”;  $U_{st}$  为无限大系统母线电压归算到发电机机端的值, 单位 “V”;  $E_{d0}$  为发电机空载电势, 单位 “V”;  $U_{L0}$  为发电机空载励磁电压, 单位 “V”;  $C_n$  为额定有功功率条件下的修正系数;

$$C_n = -\frac{\cos 2\delta_{jn}}{\sin^3 \delta_{jn}}, \delta_{jn} \text{ 为发电机额定有功功率时的静稳极限功率角。}$$

隐极发电机的  $X_d = X_q$ 、 $P_t = 0$ 、 $\delta_{jn} = 90^\circ$ 、 $C_n = 1$ ，则  $U_L$ -P 继电器应用于隐极发电机时的动作方程为：

$$U_L \leq k_{set} P$$

$$\text{式中： } K_{set} = \frac{(X_d + X_{st}) U_{L0}}{U_{st} E_{d0}}$$

$U_L$ -P 继电器应用于凸极发电机时的动作特性见图 1(a) 应用于隐极发电机时的动作特性见图 1(b)。

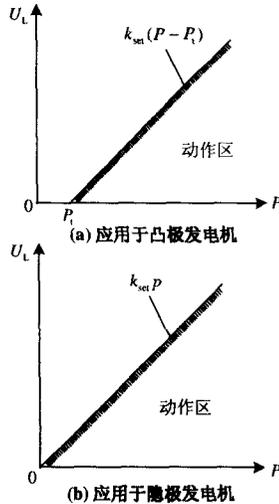


图 1  $U_L$ -P 失磁继电器的动作特性  
Fig.1 Action characteristics of  $U_L$ -P

凡是能导致失步的失磁， $U_L$ -P 都能在失磁的初始瞬间快速动作，在一般工况下比传统的静稳边界原理的阻抗继电器大约提前 2~3 s 动作，这有利于失磁保护出口首先作用机组压出力或切换励磁，不必立即跳闸。 $U_L$ -P 失磁继电器动作快，有预测失磁失步的功能，这是它的主要特点和优点。

$U_L$ -P 继电器也有缺点：电力系统某点短路等大干扰引起系统振荡时（称为高励磁振荡、滑差  $S$  较小）或者某发电机失磁失步导致失磁发电机与系统间振荡时（称为低励磁振荡、滑差  $S$  较大），在这两种振荡过程中由于发电机输出的有功  $P$  随时间波动使  $U_L$ -P 继电器的定值（图 1 中直线的纵坐标）随时间波动，又励磁电压  $U_L$  也随时间波动，因而  $U_L$ -P 继电器会抖动，即  $U_L$ -P 的输出会周而复始地循环动作又返回，见图 2 波形，脉冲波的波峰宽  $t_{ab}$  为  $U_L$ -P 动作状态，波谷宽  $t_{bc}$  为  $U_L$ -P 返回状态， $t_{ab}$  及  $t_{bc}$  的历时不是常数，它们是难以估量无法计算预测的变数，其值与机组参数、系统参数、系统结构以及引起振荡等因素有关，失磁失步引起振荡的  $t_{ab}$ 、 $t_{bc}$  值与大干扰引起振荡的  $t_{ab}$ 、 $t_{bc}$  值有显著差别。大干扰引起的系统振荡， $U_L$ -P 继电器抖动，要求保护的出

口可靠不动作；而发电机失磁所导致的低励磁振荡时， $U_L$ -P 继电器也抖动，要求保护的出口能持续地可靠动作，不抖动。这两种情况，同样是  $U_L$ -P 抖动，但对保护的出口却有截然相反的要求；要满足这两个要求只能在保护框图中的辅助元件与  $U_L$ -P 之间的逻辑关系上下功夫。

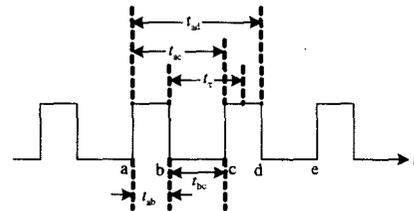


图 2 系统振荡或发电机失磁失步后  $U_L$ -P 继电器输出端波形示意图

Fig.2 Waveform of  $U_L$ -P output with system oscillation or generator loss of excitation

## 2 几种不妥或错误的失磁保护框图

不妥或错误的含有  $U_L$ -P 继电器的失磁保护框图几个实例见图 3、4、5（这些实例曾在实际保护中采用过或曾有同志提出过）。

### 2.1 实例 1

见图 3，图中的 ZKJ 为静稳边界原理的阻抗继电器。

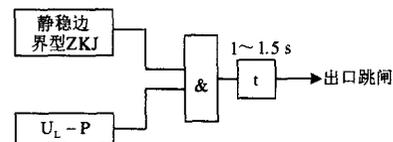


图 3 失磁保护框图 1（此框图错误）

Fig.3 The false diagram of loss of field protection 1

电力系统大干扰引起振荡时，ZKJ 及  $U_L$ -P 虽然都抖动，但由于  $t=1\sim 1.5$  s 长延时，故保护出口不会误跳闸。

发电机强行减磁时， $U_L$ -P 虽然可能误动作，但 ZKJ 不动作，故保护出口不会误跳闸。

发电机发生能导致失步的失磁故障初始瞬间  $U_L$ -P 就动作，到达静稳边界时 ZKJ 动作，“&”门动作启动时间元件  $t$ 。由于在静稳边界后、 $1\sim 1.5$  s 延时元件  $t$  出口动作以前  $U_L$  及  $P$  都已随时间波动致使  $U_L$ -P 继电器输出端抖动（循环地动作又返回），而 ZKJ 继电器在静稳边界后一直持续性地动作不会返回，所以“&”门的输出端也按  $U_L$ -P 的抖动规律而抖动，可以肯定其波形的动作宽度（图 2 中的  $t_{ab}$ ）肯定小于  $1\sim 1.5$  s，致使延时元件  $t$  的输出端拒动，失磁保护不能跳闸。因此，图 3 框图是错误的。

### 2.2 实例 2

见图 4。

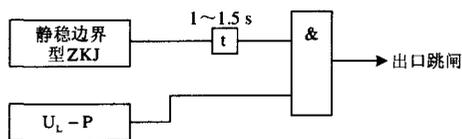


图 4 失磁保护框图 2 (此框图错误)

Fig.4 The false diagram of loss of field protection 2

如同图 3, 电力系统大干扰引起振荡时以及发电机强行减磁时, 保护出口不会误动作。

发电机发生能导致失步的失磁故障初始瞬间  $U_L-P$  就动作, 到达静稳边界时 ZKJ 动作并在以后 ZKJ 一直持续性动作不抖动, 静稳边界以后  $U_L-P$  输出端抖动, 所以静稳边界后 1~1.5 s 保护出口动作的波形是抖动的, 抖动的规律同与  $U_L-P$  输出端的抖动规律, 即保护出口周而复始地动作又返回, 这不能可靠作用于跳闸, 也无法可靠地作用于发电机电压出力或切换励磁。因此, 图 4 框图也是错误的。

### 2.3 实例 3

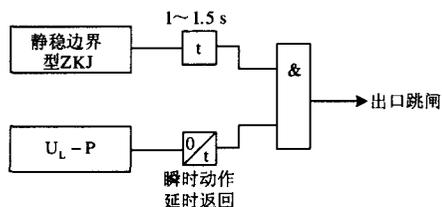


图 5 失磁保护框图 3 (此框图不妥)

Fig.5 The false diagram of loss of field protection 3

见图 5, 图中  $0/t$  为瞬时动作延时返回的时间元件 (即展宽电路)。

如同图 3, 电力系统大干扰引起振荡时以及发电机强行减磁时, 保护出口不会误跳闸。

发电机发生能导致失步的失磁故障初始瞬间  $U_L-P$  动作,  $0/t$  元件立即动作, 失磁达静稳边界时 ZKJ 动作并在以后 ZKJ 一直连续性动作不抖动, 静稳边界后延时 1~1.5 s 动作。又静稳边界后发电机异步运行,  $U_L-P$  开始抖动,  $U_L-P$  的输出端 (即  $0/t$  元件的输入端) 波形为脉冲波, 为了使  $0/t$  元件的输出端为持续性动作, 达到波形展宽的目的, 见图 2, 则要求  $0/t$  元件延时返回的时间  $t_r$  的整定值应满足式 (1)。

$$(t_{ac} - t_{ab}) < t_r < (t_{ad} - t_{ab}) \quad (1)$$

式 (1) 只是理论上的公式。发电机失磁失步后异步运行中, 滑差  $S$  的瞬时值随时间波动而且  $S$  的平均值也随时间逐渐增加, 有功  $P$  及励磁电压  $U$  随  $S$  (即随时间) 波动越来越剧烈, 因此  $U_L-P$  继电器的抖动波形及抖动周期并非不变, 图 2 中  $t_{ab}$ 、 $t_{bc}$ 、

$t_{cd}$ 、 $t_{de}$ ...等值千变万化,  $t_{ab} \neq t_{cd}$ , 估量这些值困难, 较准确知道它们更难, 所以想按式 (1) 整定  $t_r$  是不可能的。实际上图 5 中展宽电路  $0/t$  的延时  $t_r$  秒返回的  $t_r$  是无法整定的。

假若  $t_r$  的整定值不满足式 (1) 的要求, 而是  $t_r < (t_{ac} - t_{ab})$  或  $t_r > (t_{ad} - t_{ab})$ , 则必然导致  $0/t$  元件输出端返回的瞬时落在图 2 的波谷  $t_{bc}$  的时间段内或落在波谷  $t_{de}$  的时间段内, 波谷时间段内  $U_L-P$  继电器处于返回状态, 这势必造成  $0/t$  元件输出端的波形也为脉冲波, 抖动, 达不到展宽的目的, 致使图 5 失磁保护出口也为脉冲波, 周而复始地动作又返回, 不能可靠地跳闸, 也不能可靠作用于发电机电压出力或切换励磁。因此, 图 5 框图也是错误的至少是不妥的。

### 3 含有 $U_L-P$ 的失磁保护框图的优化

前述的框图 3、4 错误, 图 5 不妥, 对其加以改正, 正确的框图见图 6。

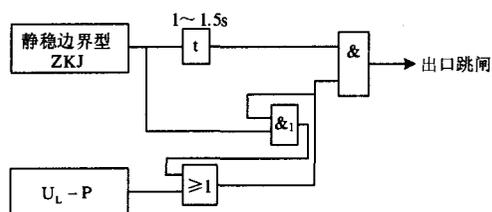


图 6 优化的失磁保护框图 (此框图正确)

Fig.6 The optimized loss of field protection

图 6 中 “&<sub>1</sub>” 与门及 “≥1” 或门组成自保持电路, 依靠 ZKJ 在静稳边界时动作且动作后不抖动的特性来激发保持电路完成保持效果, 从而达到失磁保护出口能持续性地动作不抖动的目的。详述如下:

发电机发生能导致失步的失磁初始瞬间  $U_L-P$  继电器动作, 在静稳边界前 ZKJ 不动作, 保护出口不动作。静稳边界时, ZKJ 动作, 并在静稳边界后的异步运行中 ZKJ 一直持续性地动作, 不会返回, 即 ZKJ 不抖动。利用 ZKJ 的这种特性使发电机失磁后异步运行过程中 “&<sub>1</sub>” 与门的输出端以及或门的输出端一直为持续性地动作状态不抖动。待静稳边界后 1~1.5 s 动作, 保护出口动作并且为持续性地动作不抖动, 保证能可靠地跳闸, 或者可靠地作用于发电机电压出力、切换励磁。

当系统大干扰引起电力系统振荡时,  $U_L-P$  及 ZKJ 都能周而复始地动作又返回, 都抖动, 或门的输出端虽然可能也处于一直持续性地动作的状态不抖

- WANG Xue-chao. Dynamic Geographic Information System in Distribution Automation[J]. Power System Technology, 1999,23(8):58-60.
- [9] 刘博, 王倩. 基于 WebGIS 的电铁枢纽站场设备管理系统研究[J]. 电工技术杂志, 2004, (8): 36-39.
- LIU Bo, WANG Qian. The Analysis of the Management System in the Railway Automation Equipments of Railway Hinge Based on WebGIS[J]. Electro Technical Journal, 2004, (8): 36-39.
- [10] 乐秀璠, 沈琴. WebGIS 在配电网管理系统中的应用[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(5):47-48,51.
- LE Xiu-fan, SHEN Qin. The Application of Web GIS in Distribution Management System[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(5):47-48,51.

(上接第 51 页 continued from page 51)

动,但因时间元件不动作,故保护出口不会跳闸。待系统振荡平息,恢复正常运行,ZKJ 及  $U_L$ -P 都持续性地处于返回状态,图 6 中的各元件都复原到常态。

发电机强行减磁,  $U_L$ -P 可能动作,但 ZKJ 不会动作,保护出口不会误跳闸。

顺便指出,图 6 及前述的图 3、4、5 诸保护框图都是静稳阻抗型失磁主判据 ZKJ 与转子低压型失磁主判据  $U_L$ -P 构成“&”与门出口跳闸。这是因为一个主判据单独出口跳闸较危险,可能发生误跳闸。为了提高保护出口的可靠性,才采用两个失磁主判据组成“&”与门出口的电路。

#### 4 结论

通过对几种不妥的或者错误的含有  $U_L$ -P 继电器的失磁保护框图的实例分析,提出了含有  $U_L$ -P 继电器失磁保护框图的优化方案,采用自保持方式,避免静稳边界后发电机异步运行时由于  $U_L$ -P 发生抖动而引起保护出口抖动,保证失磁保护出口能持续性地动作。

(上接第 63 页 continued from page 63)

- [6] IEC61850-9-2:2003, Communication Networks and Systems in Substations Part 9-2 Specific Communication Service Mapping (SCSM) Sampled Values over ISO/IEC8802-3 Link: 14-14[S].
- [7] IEC61850-9-1:2003, Communication Networks and Systems in Substations Part 9-1 Specific Communication Service Mapping (SCSM) Sampled Values Over Serial Unidirectional Multidrop Point to Point Link: 22-23[S].
- [8] IEEE Std 1646, IEEE Standard Communication Delivery Time Performance Requirements for Electric Power Substation Automation: 8-9[S].
- [9] 辛建波, 段献忠. 基于优先级标签的变电站过程层交换式以太网的信息传输方案[J]. 电网技术, 2004, 28(11): 26-30.
- XIN Jian-bo, DUAN Xian-zhong. A Transfer Scheme Based on Priority-tag in Switched Ethernet for Substation Process-evel[J]. Power System Technology, 2004, 28(11): 26-30.

#### 参考文献

- [1] 赵建国, 姚晴林. 整定值自动随有功功率变化的转子低压失磁继电器的研究 [J]. 电力系统自动化, 1984, 16(4):49-57.
- ZHAO Jian-guo, YAO Qing-lin. Under Voltage Loss-of-Excitation Relay Provided by a New Design Method[J]. Automation of Electric Power Systems, 1984,16(4):49-57.
- [2] 姚晴林, 张学深, 张项安. 微机  $U_L$ -P 型转子低压失磁继电器动作方程及整定计算的研究——与《大型发电机变压器继电器保护整定计算导则》商榷[J]. 继电器, 2000, 28(7):31-34.
- YAO Qing-lin, ZHANG Xue-shen, ZHANG Xiang-an. Study on the Setting Calculation and Operation Equation of Microprocessor Based  $U_L$ -P Totro LV Loss of Excitation Relay[J]. Relay, 2000,28(7):31-34.

收稿日期: 2007-04-17

作者简介:

田 丰 (1988-), 男, 在读本科生, 研究方向为电力系统稳定、分析与控制等; E-mail: spykerfeng@yahoo.com.cn

李碧辉 (1986-), 女, 在读本科生, 研究方向为电力系统稳定、分析与控制等;

王 伟 (1978-), 女, 助理工程师, 主要从事电力系统继电保护方面研究。

收稿日期: 2007-08-08; 修回日期: 2008-03-04

作者简介:

曹津平 (1977-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事继电保护研发工作。E-mail: caojinping@sf-auto.com