

# 配电变压器励磁涌流对 10kV 馈线保护的影响

吴崇进

(泰州供电公司姜堰县域检修分公司, 泰州 姜堰 225500)

**摘要:** 通过给出 10kV 馈供线路两段式电流保护原理及整定原则, 分析了配电变压器励磁涌流产生原因, 并结合励磁涌流造成 10kV 线路跳闸案例, 剖析馈线保护不能躲开涌流而误动作的原因, 并从提高动作值、增大时限、二次谐波制动三方面采取防范措施, 以避免空载线路投切过程中涌流造成的保护误动影响, 提高配电线路的安全稳定运行水平。

**关键词:** 继电保护; 配电线路; 励磁涌流; 谐波制动

## 0 引言

在配电网中, 10kV 馈供线路一般采用 A、C 两相瞬时电流速断、过电流保护及三相重合闸为基本配置方式的数字式成套线路保护测控装置。然而, 随着经济的迅速发展, 电力负荷密度的不断增大, 单一配电线路的供电容量越来越大, 它所带配电变压器的容量也越来越大, 常规使用的配变容量已经由 80~315kVA 提升到了 200~800kVA, 1500kVA、甚至 2000kVA 的配变也不鲜见。它们所产生的励磁涌流给线路保护所带来的影响越来越不容忽视。

## 1 两段式电流保护的原理

### 1.1 瞬时速断保护

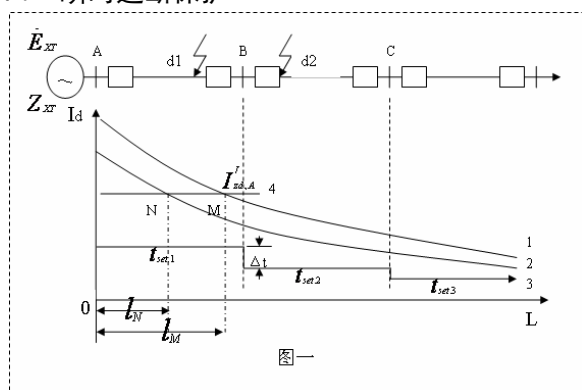


图 1 两段式电流保护的原理图

瞬时速断保护的動作首先要保證可靠性動作, 同時要兼顧選擇性, 即本條線路內發生故障時, 應快速動作, 而相鄰線路故障則不動作。在圖 1 中,

就變電站 A 的保護裝置而言, AB 段尾 d1 故障瞬時切除, BC 段頭 d2 故障不應切除。考慮: (1) 流變誤差、保護裝置採集誤差等造成實際動作值與整定值之間誤差; (2) 短路過程中因過渡電阻等複雜性造成非周期分量的影響; (3) 理論計算值與實際值之間誤差; (4) 必要的裕度量等原因, 一般以變電所 B 母線短路電流做參考, 其整定計算公式為:

$$I_{zd,A}^I = K_k^I \cdot I_{d,MAX,B} \quad (1)$$

其中:

$I_{dz,A}^I$ —變電所 A 線路 AB 的瞬時速斷保護整定值;

$K_k^I$ —可靠性係數, 一般取 1.2~1.3;

$I_{d,MAX,B}$ —變電所 B 母線短路時的最大短路電流。

對變電所 B 而言, 其最大短路電流  $I_{d,MAX,B}$  的計算與線路 AB 長度 L 和所處的運行方式有關。系統最大運行方式與系統容量 (即并網發電機台數)、線路網架結構有關, 對保護裝置來說, 指短路時流入保護裝置的短路電流最大時的運行方式; 就整定計算而言, 直接關係到  $\mathcal{E}_{XT}$ 、 $Z_{XT}$  大小。圖

1 中, 曲線 1 表示最大運行方式下的三相短路電流沿線路長度的分布, 曲線 2 表示最小運行方式下的

两相短路电流沿线路长度的分布。显然，从可靠性角度应以三相短路电流作为计算：

$$I_d^{(3)} = \frac{E_{XT}}{Z_{XT} + Z_d} \quad (2)$$

式中：

$E_{XT}$ —系统电源的相电势；

$Z_{XT}$ —保护安装处到电源之间的的系统等效电抗；

$Z_d$ —保护安装处到故障点的正序阻抗，设  $Z_1$  为每公里的正序阻抗， $L$  为故障距离，则

$$Z_d = Z_1 \cdot L \quad (3)$$

所以变电所 A 瞬时速段保护电流整定值为：

$$I_{zd,A}^I = K_k^I \frac{E_{XT}}{Z_{XT} + Z_1 \cdot L_{AB}}$$

## 1.2 定时限过电流保护

过电流保护只须考虑正常运行时，过流保护不应该动作，其动作电流应躲开正常运行时通过保护装置的最大负荷电流。即  $I_{zd,A}^{III} \geq I_{fh, MAX}$

考虑故障切除后过流保护应可靠返回，取返回系数  $K_f$ ，一般取常数 0.85。

考虑电动机自启动等因数，取自启动系数  $K_{zq}$ ，它由负荷性质和网络结构决定，在 1~3 之间，正常取常数 2。

考虑计算不准确、实际动作值与整定值之间误差等，取可靠性系数  $K_k^{III}$ ，正常在 1.15~1.25 之间，取常数 1.2。

所以变电所 A 过电流保护电流整定值为：

$$I_{zd,A}^{III} = \frac{K_k^{III} \cdot K_{zq}}{K_f} \cdot I_{fh, MAX}$$

（正常整定为 2.8 倍的  $I_{fh, MAX}$ ）

图 1 中，曲线 3 给出另外单电源馈供线路的时

限配合关系，变电所 A 和变电所 B 通过  $\Delta t$  的时限级差实现配合。

## 2 励磁涌流产生机理

励磁涌流是变压器运行中的特有问题，在变压器正常运行时，此电流很小，仅占额定电流的 3%~5%，在外部故障时，由于电压降低，励磁电流也很小。

但是，当变压器空载投入或外部故障切除后电压恢复时，则可能出现很大的励磁涌流。图 2 分析了极限情况下涌流产生的机理。

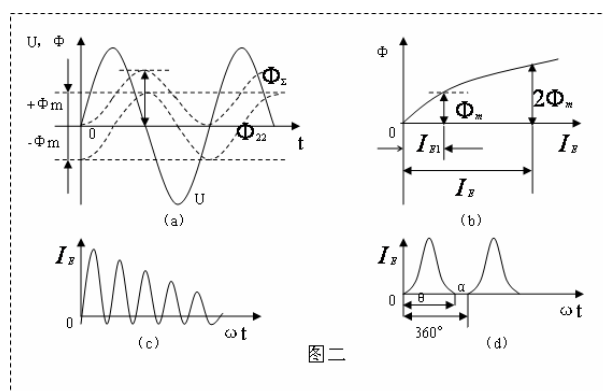


图 2 极限情况下涌流产生的机理图

当稳定工作时，铁芯中的磁通应滞后于外加电压  $90^\circ$ 。空载合闸时，如果电压瞬时值  $u=0$  时接通电路，则铁芯中应该具有磁通  $-\Phi_m$ 。但是由于铁芯中磁通不能突变，因此将出现一个非周期分量的磁通，其幅值为  $+\Phi_m$ 。这样经过半个周期后，铁芯中磁通就达到  $2\Phi_m$ ，如图 2（a）所示。此时变

压器铁芯会严重饱和，励磁电流  $I_E$  剧烈增大，如图 2（b）所示。此励磁电流就称为变压器的励磁涌流，它包含有大量的非周期分量和高次谐波，如图 2（c）所示。通过电流高频采样和实践理论分析可知，励磁涌流有如下特点：

- (1) 最大值可达额定电流的 6~8 倍。对于较小容量变压器倍数较大，大容量变压器倍数反而较小。
- (2) 励磁涌流中含有大量的高次谐波分量，其中以二次谐波为主。
- (3) 励磁涌流在最初瞬间的特性曲线几乎全部

偏在时间轴一侧且逐渐衰减。对于较小容量变压器因时间常数较小衰减较快，而大容量变压器因时间常数较大衰减较慢。

(4) 励磁涌流波形间有明显的间断，如图 2(d) 所示，在一个周期内间断角为  $\alpha$ 。

汇总综合两段式电流保护原理和励磁涌流产生机理，我们可以发现：瞬时速断保护和作为定时限过流保护作为低压馈电线路配置的主要保护类型，它们相配合和补充，可以实现线路故障后的速动性和选择性，也能保护线路全长且作为相邻线路的后备保护；但是在继电保护设计和整定原理上，瞬时速断保护和作为定时限过流保护均未考虑到大容量配变、长距离线路投切过程中可能会产生的励磁涌流，一旦涌流数值达到保护动作的定值与时限，即能引起保护的误动。

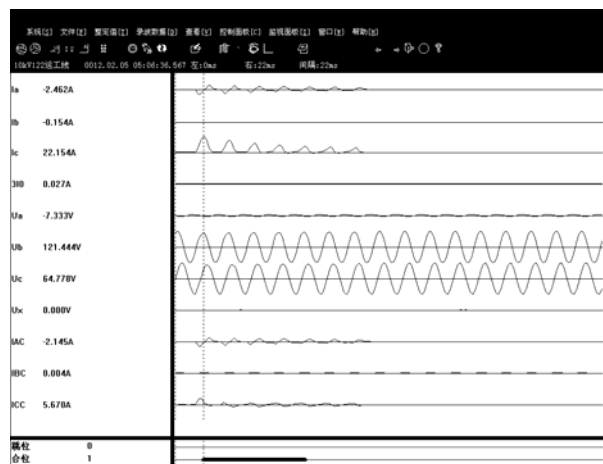
### 3 案例分析

2012 年 2 月 5 日清晨 5:06 时，某 110kV 变电站出现 10kV 母线 A 相单相接地故障。监控人员在拉路寻找过程中，发现运工线 122 开关与单相接地故障无关后，122 开关遥合后又跳开，并报过流 I 段动作，于是监控人员根据流程通知线路运维单位巡线，查找故障点；7:18 时，线路运维人员在未能查找到故障的情况下，根据线路上供参考的故障指示器亮灯情况，隔离了一段他们认为可能有故障的线路，并再次试送电。然而开关再次跳开并报过流 I 段动作。9:04 时和 11:29 时，运维人员先后再巡线并进一步扩大隔离范围后，开关均未能送电，所报故障信息与上述类似。直至下午 15:10 时，运维人员切除线路上所有配电变压器后，线路方送电成功，然后运维人员逐一投入配变，直至整条线路送电。

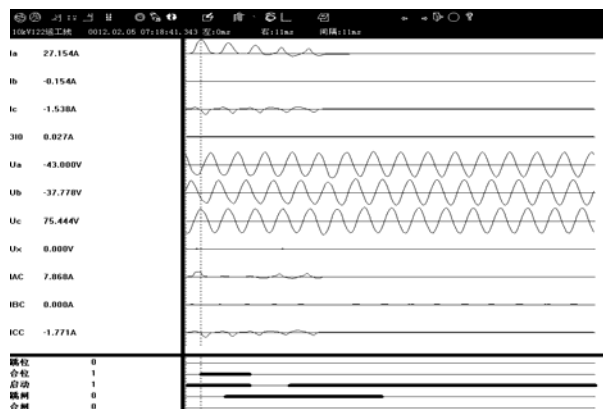
资料显示，该线路总长 5.78km，带配电变压器 43 台，总容量 10400kVA，最大配变 1100kVA，正常负荷 2000kVA，故障时线路负载只有 500kVA 左右。开关流变 600/5，过流 I 段整定为 900A/0s，过流 III 段 516A/0.3s。事情发生后，我们通过厂家提供的调试分析软件对后台监控机上的录波数据进行调阅，如图 3 所示。

从录波的电流波形可以看出，三次故障录波的波形具有明显的涌流特性：含有很大的直流和非周期分量；偏在时间轴一边；涌流逐渐衰减，大约 4-8 个周波后，趋于稳定；涌流数值较大，超过了保护

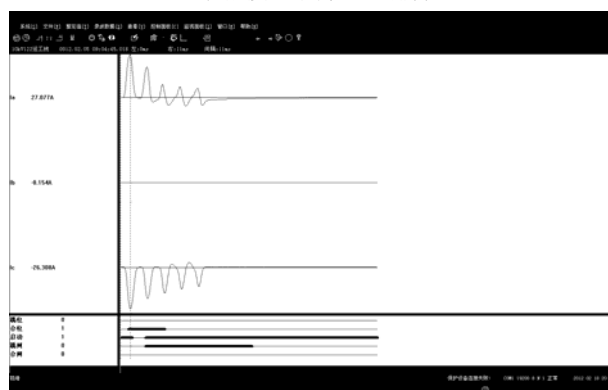
速断的整定值 7.5A，故瞬时速断保护动作。



(a) 第一次合闸时的电流电压波形  
(当时单相接地故障仍然存在)



(b) 第二次合闸时的电流电压波形  
(单相接地故障已经排除)



(d) 第三次合闸时的放大一倍后的电流波形图  
(第四次与第三次类似)

图 3 故障录波图

### 4 防范措施

励磁涌流引起的 10kV 馈供线路保护动作现象具有很强的隐蔽性，无论是监控值班员或是保护

专业人员均无法从动作信息上加以判断,它需要综合自动化装置附带录波功能,且厂家结合专业的软件进行分析才可判断。更重要的是线路运维人员会浪费很大精力在线路巡线上且劳而无功,在线路试送电过程中,难以避免再次发生跳闸现象,给人以“事故原因不清,电网再次受冲击”的假象,同时会造成线路长时间停电,严重影响用户停电时间和供电可靠性。事后,我们从三方面进行了预防和改进:

#### 4.1 适当提高线路的速断定值

此举会引起速断保护范围缩短,在10kV馈线网架结构分支较多,且所带配变较多的情况下,难以准确计算线路速断保护的範圍。在仔细核对定值中有关线路和系统参数后,仅将可靠性系数按照上限数值设定,固然对躲避涌流产生一定好处,但涌流最大值仍然在速断定值范围内。

#### 4.2 适当增大速断的动作时限

将其由0s改成了0.1s,效果比较明显,可以避免大多数情况下涌流造成的误动。但是这是以牺牲设备可靠性为代价的,尤其对于10kV母线短路容量较大、电缆出线的变电所,当电缆出口近区发生短路时,0.1s是致命的,电力电缆终端、隔离闸刀等很可能会烧毁。所以,修改此定值前一定要仔细计算核对动稳定、热稳定电流。

#### 4.3 引入二次谐波制动原理

变压器励磁涌流的波形偏向时间轴一侧,且含有大量的谐波分量,而短路电流中的二次谐波分量却很小。因此将涌流中的二次谐波分量选频放大,作为制动分量将基波分量作为过流动作分量,将二者结合,可以很好的实现二次谐波制动的过流保护。二次谐波制动原理在主变压器保护装置中应用已经非常普遍了,只是目前10kV馈线保护装置并不具

备此功能。但是在数字式线路保护装置全面覆盖的今天,保护装置的微处理器具备极强的数据处理、逻辑运算和信息存储能力,面对并不复杂的馈线保护要求,通过改善微处理器性能、适当修改软件程序,完全可以实现馈线保护中励磁涌流二次谐波制动的过流I、II、III段保护功能。

## 5 结束语

随着经济的迅速发展,大容量配变和粗线径导线的使用,单一配电线路的供电容量范围会更大,线路空载投切遇到励磁涌流现象将会越来越普遍。所以,采取有效措施抑制涌流对10kV馈线保护装置的干扰,或者采用具备二次谐波制动原理的10kV馈线保护装置,才能真正消除涌流对电网的威胁。面对电网中不断出现的新问题及隐患,只有不断学习、加强管理,仔细加以分析、研究,大胆采用新技术设备,才能更加有效地保证电网安全稳定运行。

#### 参考文献:

- [1] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社, 2000.
- [2] 丁书文,黄训诚,胡启宙,等. 变电站综合自动化原理及应用[M].北京:中国电力出版社, 2000.

#### 作者简介:

吴崇进(1974—),男,江苏海安人,电力工程技术高级工程师,从事输变电设备运行、检修工作。