

# 一种全线速动的配电线路保护方案

苏永智<sup>1,2</sup>, 潘贞存<sup>1</sup>, 孙磊<sup>2</sup>

(1. 山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061; 2. 济南供电公司, 山东 济南 250012)

**摘要:** 配电网结构日益复杂导致传统馈线速断电流保护的保护区大大缩小, 其危害性日益突出。为提高供电质量, 馈线保护应当实现全线速动。提出了一种基于通信的配电线路保护的方案。首先给出了一种实用的通信网络结构组网方案, 分析了通信的时延, 最后重点描述了复杂故障下保护的故障定位决策。理论证明该方案在馈线故障后, 故障隔离的延时可以控制在数十毫秒内, 故障区段判断的准确性高, 并且投资低, 实用性强。

**关键词:** 配电线路; 通信; 全线速动; 故障区段

**中图分类号:** TM773; TM73

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-4897(2005)16-0001-04

## 0 引言

配电网供电质量问题现在日益为人们所关注。而目前三段式过流为主的配电线路保护不能全线速动, 这已经成为提高供电质量的一个瓶颈。主要表现在:

1) 对供用电设备的损坏。电网供电能力的增强使得城市配电网线路的短路容量越来越大, 线路保护带有延时对用电设备的损害加大。比如造成供电变压器绕组变形、烧毁等, 甚至引发火灾。

2) 暂态电能质量和甩负荷问题。非纯电阻性的用电设备已经成为电力负荷的主要组成部分。这些设备一般对电压有敏感性。配电线路后段故障不能快速切除, 造成在变电站母线的电压跌落 (voltage sag)。该母线所供用户的电压敏感设备会自动退出运行, 甚至造成设备毁坏、产品报废等后果<sup>[1]</sup>。

3) 故障停电范围大和恢复送电时间长。线路上某一点甚至于大容量配变的低压故障都可能造成全线路停电。同时也造成故障点的查找范围大。再次恢复供电的时间长。降低了供电可靠性。

所以, 开发新型的, 特别是能够做到全线速动的配电线路保护, 是非常有必要的。

## 1 新型配网线路保护的研究现状

目前对新型配电线路保护的研究较多。文献[2,3]采用自适应保护 (Adaptive Protection) 的思想, 扩大了传统速断保护的保护区。文献[4,5]提出无通道保护的方案, 在多条配电线路串联时, 减少了近电源端线路过流保护的延时。文献[6]提出了一种与低压配变相配合的逻辑方案。这些方法改善了

保护的性能, 但还不是全线速动, 仍然存在电压跌落问题。

许多配电线路上设有分段或联络断路器, 如图1中的断路器1、2等, 这些断路器上安装了FTU (Feeder Terminal Unit), 这些FTU通过光纤等介质连接起来, 可以用来监控断路器的运行状态。这些断路器将配电线路分为多个供电区段, 例如图1中断路器1、2之间的线路是一个区段。文献[7,8]提出汇总各FTU所装通信台来定位故障所在的供电区段, 然后进行线路重构的方法。这种方法可以缩短配电线路停电的范围和时间, 但是等到传统保护切除全线后进行的, 没有提高故障切除的速度。

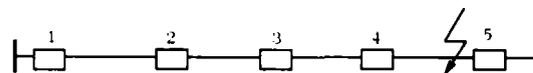


图1 配电线路的故障示意图

Fig. 1 Fault in a distributed feeder

## 2 全线速动的配电线路保护方案

从以上分析可见从继电保护角度来提高供电质量和可靠性, 对配电线路保护的要求应该是: 一方面, 全线速动, 线路上任何一处发生故障, 保护都能够无时限或极短时限 (典型的不大于 100 ms) 出口动作; 另一方面, 动作应当缩小停电范围, 最好是故障点所在区段 (图1中的断路器4和5之间的区段) 的断路器跳开, 并将故障点后面的用户由其它线路供电。当然本文考虑的这些断路器是可以直接切除故障电流的断路器, 而不包括负荷隔离刀闸。

因此, 本文考虑快速汇总FTU和TTU信息, 快速故障定位和遥控断路器。这样既做到了全线速动, 又避免了全线停电。最大可能地保证了供电可靠

靠性。具体一点讲,就是通信的时延控制在 100 ms 以下,并且整个保护的决策方案要可靠,起码不能低于传统保护方案的可靠性。

### 2.1 通信组网方案

综合考虑通信的可靠性和经济实用性,结合配网自动化改造,配电线路上 FTU 数据仍然通过光纤通信。

而对于数目众多的用户配变终端(TTU)的数据,采用光纤通信其安装以及维护的成本将增大,不仅因为需要增加数倍的光纤以及光终端设备,而且由于用户配电室的频繁新增及调整,光纤的剪接成本很高。近年来对中压电力线载波通信的研究已经日趋成熟进入实用阶段,因此本方案采用中压电力线载波完成对用户 TTU 通信。

通信的组网方案如图 2(b),图中,IED(Intelligent Electronic Device)是在变电站设有针对所有出线的保护的单元。

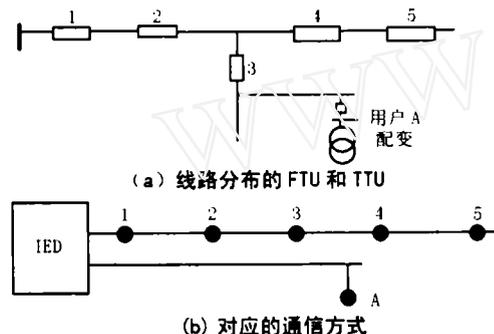


图 2 一条线路的通信方式

Fig. 2 Communication path of a feeder

如图 2,对于用户的 TTU 配有一个载波发送装置,直接连接到线路,在变电站设有载波接收装置,连接到 IED 保护单元。而对于线路上的 FTU 之间,采用光纤连接,最后也接入 IED 保护单元。显然,TTU 和 FTU 之间没有直接通信,这样可以不必在 FTU 上增加载波接收装置,也不必载波与光数据的转换,从而降低了复杂度,减少了投资。

变电站的一个 IED 设备接入同一段母线上的所有配电线路,而不必对应每条线路一个 IED 设备。所以组网方式为以 IED 为中心的星型拓扑结构。

### 2.2 通信延时的估计

FTU 信息的传输可以采用以太网的逻辑结构通信。以太网的带宽高达 100 Mbps 以上。以太网的一个冲突域可支持 1 024 个节点,节点数小于 100 时 10 M 以太网即使负载达到 50% (500 kbps),响应

时间也小于 10 ms。配电线路故障时,发信的 FTU 总数远小于 100,所以 FTU 的通信可以满足配电系统继电保护信号传输的实时性要求。

TTU 的故障信息传递的延时,可以估算如下。

在 IEC834-2 标准中,建议的闭锁信号误码率应低于  $10^{-4(9)}$ 。即传送 1bit 数据,需要  $\log_2(10^4) = 14$  bits 的校验码。应用到这里,从实质上将它其实主要传送一位信息,即闭锁变电站出口断路器速断保护的信息,这个信息用 14 位校验码即可,这 14 位校验码也可以理解成故障信息帧的特征码,只有具有这 14 位校验码的信息才被认为是有效信息。保护信息帧其他内容用作附加判断,也必须有一定的校验码。

对于 TTU 过流信息帧必须包含以下几个内容,TTU 地址 ID,过流相别以及附加冗余码。一条配电线路,其中压用户配电室一般由几个到几十个,所以用户地址 ID 可以用 10 位二进制码 ( $2^{10} = 1024$ ) 表示足够,其校验码采用 1 位数字验证,电流的信息用 3 位(每相用一位)表示,因为用于与主站比相,所以为稳妥起见用 3 位校验码验证,这样一帧数据共需要  $14 + 10 + 1 + 3 + 3 = 31$  位。常见的载波 modem 的调制速率有 9.6 kbps,19.2 kbps 等。以 9 600 bps 的 modem 为例,传送一帧共需要  $31/9\ 600 = 3.2$  ms,加上通道冲突延时重发,约 4 ms 时间即可以发出闭锁信号。

考虑到发生复杂的短路故障时,可能出现一些断路器过流状态的变化,IED 保护单元可以设置一定的延时比如 20 ms 来等待所有信息,然后再决策。综上所述,通信的延时完全满足快速保护的要求。

### 2.3 IED 保护单元的决策方案

分布在配电线路上的断路器都设有简单的电流保护,变电站的 IED 保护单元在收到所有信息后,进行综合决策,来控制这些电流保护的動作行为。

IED 保护单元首先必须存有每条线路的拓扑数据,并根据 FTU 的断路器位置信息自适应地进行调整。从图 2 中看出,显然线路的拓扑形式是不能由 FTU 和 TTU 的编号来确定的,比如 FTU3 与 FTU2、FTU4 之间的关系。当故障发生时,IED 保护就根据线路的拓扑结构,利用 FTU 的信息判断故障的区段,利用 TTU 的信息确认是否为用户内部的故障。

线路的 FTU 内的保护装置采用允许式,收到 IED 的允许动作信号后才动作;变电站的出口断路器的速断保护是闭锁式的,靠 IED 来闭锁,如果由于某种原因导致通信失灵,可以保证出口断路器的

快速动作。

当线路发生故障时,IED 收到数个 FTU 的信息,但没有 TTU 的信息,则立即发出遥控命令允许对应区段的电源侧断路器过流保护动作跳开。在重合闸失败后,跳开该区段所有断路器,由配网自动化单元完成故障区段后健康区段的供电。

由于可以确定故障的区段,变电站出口断路器的速断保护定值可以整定得很低,从而保证了保护的灵敏度。

当用户内部故障时,IED 收到 TTU 发出其进线断路器过流的载波通信数据,则闭锁线路在变电站出口断路器的速断保护,防止区外故障保护越级动作。

如果只采用 FTU 只与相邻 FTU 交换信息的方法得到故障位置。其缺点是在个别通信出现错误时,造成保护不正确动作的几率大。例如图 2 中,在断路器 5 后的故障,断路器 1,2,4,5 的 FTU 都将发送过流信息。此时如果 2 断路器的 FTU 由于某种原因,其过流信息未发出或者丢失,则造成断路器 1 和 3 的同时跳闸,扩大了停电面积。

而对于本文所提出的信息汇总的思路,是将所有信息进行辨识。具体的针对各类故障下判别概率算法将另文论述。本文只定性分析。在上例中,该方案的决策为最可能断路器 2 的通信失灵,故障在断路器 5 后,IED 发出允许断路器 5 过流保护动作命令。可见信息汇总的办法可以大大避免个别信息的错误。

### 3 复杂短路故障下的保护决策举例

保护的绩效分析,关键是在不同故障下,保护的决策是否正确。常见的配电线路的复杂短路故障主要包括以下几种情况:

1) 一条线路两处发生不同相的单相接地。或同一电压下连通的两条线路发生不同相的单相接地。一般是在线路单相接地期间,由于健全相对地电压的升高,绝缘水平低的地点就可能出现第二点接地。

2) 两相断线并短路,主要由于雷电或人为等原因造成线路断线后搭接或接地。

3) 一条多处同时发生相间短路,主要由于线路多处遭受雷击。

下面做出简要的分析。

#### 3.1 两点接地故障

一条线路的不同两点故障,如图 3,区段 23 之

间发生 A 相接地,区段 45 之间发生 B 相接地。断路器 2 的 FTU 信息为 A 相过流,断路器 4 的 FTU 信息为 B 相过流,断路器 1 的 FTU 信息为 AB 相过流。变电站 IED 判断为两点接地。根据负荷重要性不同,首先快速隔离重要性低的区段,这样线路变为一点接地。可以继续运行一点时间,这时候可以将该区段重要用户调出,最后再将该区段停电。

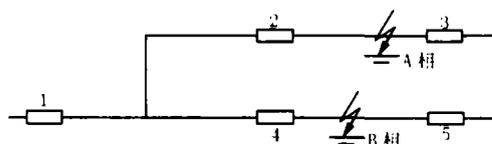


图3 一条线路两不同点异相接地

Fig. 3 Different phase-earth faults in two spots of a feeder

在同一母线上不同线路的两点不同相接地与上面情况类似,由于该母线上所有线路的 FTU 及 TTU 信息都传递到一个 IED 单元中,所以可以进行相似的决策。

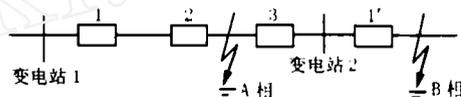


图4 串联供电的配电线路两点接地

Fig. 4 Different phase-earth faults in series power supplying feeders

而对于串联供电的配电线路,如图 4,假如变电站 1 为电源侧。当发生图中两点接地故障时,位于变电站 1 的 IED 单元接收到的信息为,断路器 1 和断路器 2 为 AB 相过流,断路器 3(变电站 2 的进线断路器)为 B 相过流。决策为 A 相区内,B 相区外故障,没有区内的相间短路,闭锁位于变电站 1 的出口断路器速断保护。位于变电站 2 的 IED 单元判断为 A 相区内故障。所以这种情况该方案则总是快速切除下一级线路的接地区段。

#### 3.2 两相断线并接地

当接地端在负荷侧时,线路上不会出现过电流;接地端在电源侧时,保护动作行为等同于两相短路。

#### 3.3 多处同时发生相间短路

以图 1 为例,区段 4、5 之间的相间故障发展为区段 3、4 之间的相间故障,断路器 4 的过流继电器会返回,对应 FTU 会停止发信。IED 有一段延时等待信息,延时过后,IED 根据这些信息,包括变化了的信息,仍然可以判断出离电源较近的故障点,综合判断应当隔离哪些区段,防止用其他线路恢复送电时误送至故障区段。

## 4 结论

本文提出了一种能实现全线速动配电线路保护的方案,该方案综合了各个 FTU 及 TTU 的信息,可以实现故障区段的准确隔离,大大提高了供电可靠性。同时该方案的通信通道与配电网自动化和自动抄表相切合,使得经济成本降低,可行性较高。

### 参考文献:

- [1] 王宾,潘贞存,徐丙垠. 配电系统电压跌落问题的分析[J]. 电网技术, 2004, 28(2): 56-59.  
WANG Bin, PAN Zhen-cun, XU Bing-yin. Analysis of Voltage Sags in Distribution System [J]. Power System Technology, 2004, 28(2): 56-59.
- [2] Brahma S M, Girgis A A. Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution Systems with High Generation of Distributed Generation [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19(1): 56-63.
- [3] 欧阳兵,吕艳萍,等. 配电网网络式自适应电流保护研究[J]. 电网技术, 2003, 27(7): 52-55.  
OUYANG Bing, LU Yan-ping, et al. Research on Network-based Adaptive Current Protection Principle for Distribution Network [J]. Power System Technology, 2003, 27(7): 52-55.
- [4] 施慎行,董新洲. 配电线路无通道保护研究[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(6): 31-34.  
SHI Shen-xing, DONG Xin-zhou. Non-communication Protection for Power Lines in Distribution System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(6): 31-34.
- [5] 刘建凯,董新洲. 有分支配电线路无通道保护研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(1): 37-41.  
LIU Jian-kai, DONG Xin-zhou. Non-communication Protection for Distribution Systems with the Tapped-load [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(1): 37-41.
- [6] 俞波. 低压配电系统微机逻辑闭锁保护的原理与设计[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(1): 35-37.  
YU bo. Principle & Design of Digital Logic Blocking Protection for Low Voltage Distribution System [J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(1): 35-37.
- [7] 马军,焦邵华,鲍喜. 基于二维节点控制的馈线保护原理[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(19): 48-51.  
MA Jun, JIAO Shao-hua, BAO Xi. A New Feeder Protection Scheme Based on Two Dimension Control Node [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(19): 48-51.
- [8] 焦邵华,刘万顺. 配电网线路故障时的载波通信衰减分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(9): 35-37.  
JIAO Shao-hua, LIU Wan-shun. Analysis on Attenuation of Distribution Line Carrier Communication When Faults Occur [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(9): 35-37.
- [9] Edmund O, Schweitzer III, Behrendt K, et al. Digital Communications for Power System Protection: Security, Availability and Speed [EB/OL]. www.selinc.com/techpprs/6083.pdf.

收稿日期: 2004-12-06; 修回日期: 2005-01-27

作者简介:

苏永智(1973-),男,工程师,博士研究生,研究方向为继电保护;E-mail: wangdashu002@sina.com

潘贞存(1962-),男,教授,博士生导师,研究方向为继电保护;

孙磊(1973-),男,工程师,从事电力系统运行方式研究;

### New quick-trip based feeder protection scheme

SU Yong-zhi<sup>1,2</sup>, PAN Zhen-cun<sup>1</sup>, SUN Lei<sup>2</sup>

(1. School of Electric Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Jinan Power Supply Co., Jinan 250012, China)

**Abstract:** The increasingly complicated power distribution network structure makes the protective range of traditional feeder instantaneous overcurrent protection become shorter. Feeder's fault is more likely to be isolated with time delay. It often leads to serious consequence. To improve the power quality, a new feeder protective scheme was put forward, which can clear any fault in feeder without delaying. This paper proposed a new feeder protection scheme based on communication. The communication network configuration and the communication delay was put forward and analysed respectively. The fault location decision system was detailed. Theoretically, with this scheme, after a fault occurs, the isolated delaying time is limited in less than 100ms, the fault location accuracy is high. In addition, this scheme has lower cost and better practicability.

**Key words:** transmission feeder; communication; quick-trip; fault section