

# 新型超高压输电线路保护方案的研究

马勇, 陈德树, 陈卫

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 介绍了一种基于 DSP 的新型超高压输电线路微机保护方案。它采用双主双后的配置, 重合闸相对独立。在保护原理方面采用了补偿电压突变量方向元件和双原理综合接地距离继电器等新方案, 并在软件流程方面采取了模块化设计, 从而大大提高了保护性能。该方案结构紧凑, 可靠性高, 人机界面友好, 通讯功能强大, 适用于各种超高压输电线路保护。

**关键词:** 数字信号处理器; 补偿电压突变量方向元件; 电抗型接地距离继电器;  $I_0$  极化接地距离继电器

**中图分类号:** TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)08-0005-03

## 1 引言

随着我国电力系统的不断发展, 电网的电压等级不断提高, 结构也日趋复杂。随着三峡工程的逐步完工, 国家大电网将以 500 kV 的电压等级从三峡辐射全国。因此, 对超高压线路保护方案提出了更高的要求。另外, 由于 VLSI 技术的不断进步, 特别是新一代的 DSP 芯片的不断出现, 其高速和并行处理能力越来越强, 以及价格越来越便宜的优点, 使得应用 DSP 替代原来的多 CPU 单片方式成为可能。

这种情况下, 研制新一代的超高压线路保护使传统保护得以升级换代, 成为比较迫切的任务。

## 2 方案的系统设计

本方案是适用于 220 ~ 500 kV 超高压输电线路的主、后备成套保护, 可以快速、可靠和有选择地切除各种类型的线路故障, 适用于短线、中长线、超长线、单端电源、双端电源以及弱电源的各种工况的超高压输电线路。

方案中包含交流模件、直流模件、DSP 模件、跳闸模件、信号模件、管理模件等 7 个模件。全部采用 6U 背插式结构, 各模件采用双插座连接方式, 使强、弱电回路相互隔离。DSP 单元以及管理单元核心部件均采用多层印制板和表面贴装技术, 抗干扰能力得到了很大的提高。

## 3 方案的硬件特点

本方案采用两个独立的数字信号处理(以 TI 公司的超高速浮点 DSP 为核心)模件, 实现双主双后的配置, 这样可以有效地防止由于某 DSP 单元故障而导致保护的误动或者拒动, DSP 模件主要完成保

护采样、逻辑、出口和事件记录功能。其强大的指令系统, 巨大的地址空间, 多总线系统结构, 高速的并行指令处理能力等硬件性能为实现本方案的强大功能提供了硬件基础。

管理模件基于以高性能、低成本而著称的微处理器, 完成保护方案整定与调试的人机接口、故障数据收集整理以及显示打印、实时时钟对时与广播、各 DSP 运行状态监视、通讯协议转换、本地通讯以及远程维护通讯等任务。其丰富的通讯接口包括以太网接口、RS422/485 口、RS232 口以及 CAN 总线接口, 可以适应工业现场的各种复杂要求。

## 4 方案的技术性能特点

### 4.1 保护方案的技术特点

方案在保护原理和算法方面采用了多种新技术, 从而大大提高了整套保护方案的性能。主保护包括由正序电压突变量、负序以及零序电压方向判别元件所构成的快速纵联保护、由自适应反时限过流保护构成的独立快速 I 段保护; 后备保护包括突变量距离保护、三段式相间和接地距离保护、二段式零序电流保护、反时限零序电流保护以及重合闸、故障测距等。另外考虑了非全相运行、系统振荡闭锁、PT 及 CT 断线闭锁、合闸于故障加速跳闸等特殊工况。

### 4.2 方案的主要保护原理

#### 4.2.1 主保护方向判别元件

方案的方向元件采用的是基于补偿电压的突变量方向判别元件<sup>[1]</sup>, 它是利用正、反方向故障时补偿电压突变量与母线电压突变量之间的关系而提出的新型故障方向判别原理。这种方向元件耐受过渡电阻的能力较强, 不受正、反方向外部故障切除时电压恢复的影响, 对系统振荡不敏感, 不受对侧故障以及

大电源侧电压灵敏度不足的影响,并且用模值比较方式实现,动作速度快。其基本原理如图1所示。

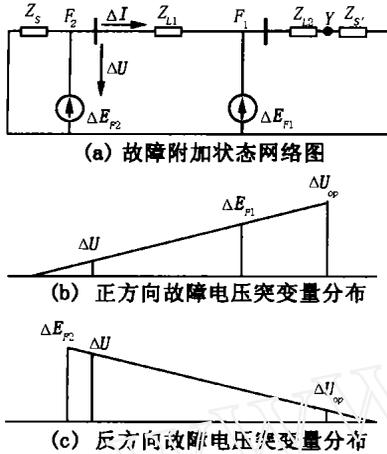


图1 正、反方向短路点金属性短路时的电压突变量分布

Fig.1 Fault superimposed network and its voltage variable distribution

文献[1]提出的具体原理如下:

当发生故障时,正方向元件  $D_+$  的动作条件可以写为:

$$D_+ \quad |U_{op}| - |U| - > 0$$

反方向元件  $D_-$  的动作条件可以写成:

$$D_- \quad |U_{op}| - |U| - < 0$$

式中:  $U_{op}$  为补偿电压突变量,  $U$  为保护安装处的电压突变量, 为裕度门坎。

本方案不经选相仅以故障电流最大相为参考相,直接求取正序电压突变量并构成保护正、反方向判据:

$$D_{1+} \quad |U_{1op}| - |U_1| - > 0 \quad (6)$$

$$D_{1-} \quad |U_{1op}| - |U_1| - < 0 \quad (7)$$

式中:  $U_{1op} = U_1 - I_1 \times Z_{1Y}$  为正序补偿电压突变量,  $U_1$  为正序电压突变量,  $I_1$  为正序电流突变量,  $Z_{1Y}$  为整定正序阻抗。

考虑到突变量只能在故障开始后有限的时间内获得,在故障进入稳态且无法准确获取突变量时,本方案采用负序电压补偿式方向元件,其基本原理同正序突变量方向类似,其判据如下:

$$D_{2+} \quad |U_{2op}| - |U_2| - > 0 \quad (8)$$

$$D_{2-} \quad |U_{2op}| - |U_2| - < 0 \quad (9)$$

式中:  $U_{2op}$  为负序补偿电压,  $U_2$  为负序电压。

为了提高线路保护对单相经高阻接地故障时的灵敏度,增加了零序方向元件,其判据如下:

$$D_{0+} \quad |U_{0op}| - |U_0| - > 0 \quad (10)$$

$$D_{0-} \quad |U_{0op}| - |U_0| - < 0 \quad (11)$$

式中:  $U_{0op}$  为零序补偿电压,  $U_0$  为零序电压。

另外,为了尽快切除近端、尤其是出口故障,本保护特设了不依靠通道的自适应反时限过流保护构成的独立快速 I 段保护。当本侧保护快速 I 段保护动作时,将同时向对侧发正方向信号,以使对侧能以最快的速度跳闸。

#### 4.2.2 电抗型接地距离和 $I_0$ 极化接地距离综合判别继电器

本方案的接地距离保护采用了传统的电抗型接地距离继电器和  $I_0$  极化接地距离继电器综合判别的新方案。它成功地克服了常规  $I_0$  极化接地距离继电器受端稳态超越问题和电抗型接地距离继电器送端超越问题。

$I_0$  极化接地距离继电器是以补偿后的零序电流为极化量的电抗型接地距离继电器,判据如下:

$$360^\circ > \arg \frac{U_0 - Z_{clzd}(I_0 + KI_0)}{I_0} > 180^\circ \quad (12)$$

其特点就是能耐受较大的过渡电阻和负荷的影响,但存在一个重要的问题就是应用于线路受端时,当过渡电阻增大到某个临界值时,会出现所谓的“同相”问题,当过渡电阻进一步增大时,会出现超越误动现象<sup>[2]</sup>。

电抗型接地距离继电器的判据如下:

$$360^\circ > \arg \frac{U_0 - Z_{clzd}(I_0 + KI_0)}{(I_0 + KI_0)} > 180^\circ \quad (13)$$

其特点就是测量阻抗包括了由于过渡电阻而产生的测量误差  $Z$ ,在线路送端的情况下,  $Z$  的角度为负,当其值大到某个值时,如果故障点在整定点不远处,则会出现超越动作。而在受端,则情况相反,过渡电阻可能引起继电器的拒动,从而缩小了动作范围。

经过仿真分析,把它们综合起来使用,互为补充,既提高了保护的抗过渡电阻能力又能防止超越。仿真结果如图2所示。其中横坐标为接地电阻大小(0~300),纵坐标是不同的短路点,50指线路全长,40是线路全长的80%,即保护的整定点;阴影和(b)中的曲线为动作区。

#### 4.2.3 保护程序流程的实现

由于本保护判据较多,加上重合闸逻辑以及非全相运行、振荡等多种工况,使得程序逻辑十分复杂。如果按照传统程序流程来编写程序,将使得程序可读性差,编程易于出错,调试不够灵活。为了解

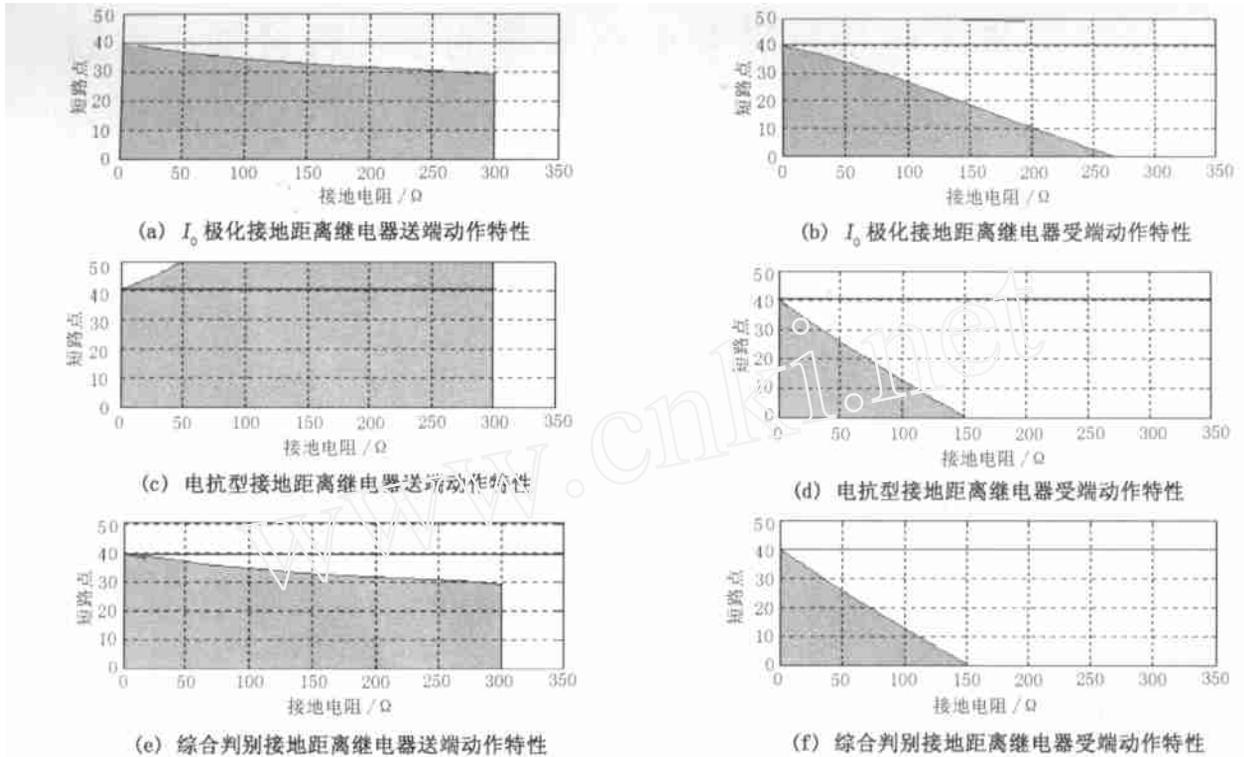


图 2  $I_0$  极化接地距离和电抗型接地距离以及综合判别继电器在送、受端的动作特性

Fig. 2 Characteristics of  $I_0$  polarized ground distance relay, reactance - grounded distance relay and synthesis analysis relay in sending and receiving ends

决这些问题,本方案特采用模块化设计。把中断程序分成三大模块如图 3 所示:计算模块、判据模块、逻辑模块。

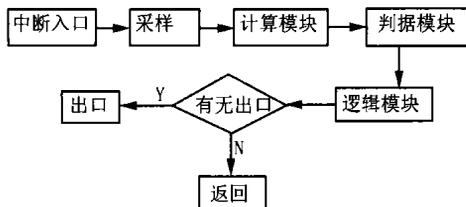


图 3 中断程序流程

Fig. 3 Flow of interrupt program

计算模块负责采样后所有的变量(基本量和中间量)计算;判据模块是在所有变量的基础上,计算所有的判据包括启动判据、故障处理判据、重合闸判据。逻辑模块,是按照整个保护的逻辑出口的要求,对所有的出口进行逻辑判断,决定是否跳闸或重合闸。

这种处理充分发挥了 DSP 强大的计算能力,并且根据用户的不同需求,更方便地修改跳闸逻辑(只需修改与之相关的逻辑模块),更易于调试保护功能和实现上层分析系统的跳闸逻辑分析功能。

## 5 结论

基于超高速浮点 DSP 的新型超高压线路保护方案由于其强大的数学运算能力和保护原理的设计,功能更趋强大。该方案结构紧凑,可靠性高,人机界面友好,通讯功能强大,适用于各种超高压输电线路保护。

## 参考文献:

- [1] 陈卫,尹项根,等.基于补偿电压的突变量方向判别原理[J].电力系统自动化,2002,26(14):49-51.
- [2] 彭华.全线相继速动微机距离保护装置研究[D].武汉:华中工学院,1988.

收稿日期: 2003-03-18

作者简介:

马勇(1977-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护;

陈德树(1930-),男,教授,博士生导师,IEEE高级会员,主要从事电力系统继电保护及安全稳定控制等领域的研究;

陈卫(1970-),男,博士研究生,研究方向为电力系统继电保护与故障分析。(下转第 14 页)

的谐波测量算法应该从简单的函数分析方法向复杂的数值分析和信号处理方向发展,同时这些算法应该是智能化的。传统功率理论体系中,单相电路与三相电路的功率定义往往互相独立,其定义的物理意义也很不明确,因此急需建立一套能将传统功率理论包括在内、物理意义明确的通用功率理论,并将新理论应用于谐波测量中,使谐波测量在实时性和精度方面取得突破。

#### 参考文献:

- [1] 吴竟昌,孙树勤,宋文南,等. 供电系统谐波[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [2] 王兆安,杨君,刘近军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [3] 夏道止,沈赞. 高压直流输电系统的谐波分析及滤波[M]. 北京:水利电力出版社,1994.
- [4] 张伏生,耿中行,葛耀中. 电力系统谐波分析的高精度FFT算法[J]. 中国电机工程学报,1999,19(3):63-66.
- [5] 马仁政,陈明凯. 减少频谱泄漏的一种自适应采样算法[J]. 电力系统自动化,2002,26(7):55-58.
- [6] Alessandro Ferreero. High accuracy Fourier analysis based on synchronous sampling techniques [J]. IEEE Trans on IM, 1992,41(6):780-785.
- [7] 王兆安,李民,卓放. 三相电路瞬时无功功率理论的研究[J]. 电工技术学报,1992,7(3):55-59.
- [8] 杨君,王兆安,邱关源. 单相电路谐波及无功电流的一种检测方法[J]. 电工技术学报,1996,11(3):42-46.
- [9] 薛蕙,杨仁刚. 改进的瞬时无功和谐波电流检测理论[J]. 电力系统及其自动化学报,2002,14(2):8-11.
- [10] 王建贇,冉启文,纪延超,等. 谐波检测中小波变换频域特性分析[J]. 电力系统自动化,1998,22(7):40-43.
- [11] 周文晖,林丽莉,周兆经. 基于小波变换的谐波检测法[J]. 仪器仪表学报,2001,22(3):5-7.
- [12] 王建贇,冉启文,纪延超,等. 基于小波变换的时变谐波检测[J]. 电力系统自动化,1998,22(8):52-55.
- [13] 杨桦,任震,唐卓尧. 基于小波变换检测谐波的新方法[J]. 电力系统自动化,1997,21(10):39-41.
- [14] 危韧勇,李志勇. 基于人工神经网络的电力系统谐波测量方法[J]. 电网技术,1999,23(12):20-23.
- [15] 王群,周维,吴宁. 一种基于神经网络的自适应谐波电流检测法[J]. 重庆大学学报(自然科学版),1997,20(5):6-11.

收稿日期: 2002-12-04

作者简介:

金雄飞(1976-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统监控及配网自动化;

乐秀璠(1952-),男,副教授,研究方向为电力系统监控及继电保护。

### A survey on measuring method for harmonic of network

JIN Xiong-fei, LE Xiufan

(Department of Electrical Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Harmonic measurement plays an important part in power system. This paper analyzed and summarized the recent methods of harmonic measurement presented by lots of scholars in and out of our country. The principle, performance and application situation of the method were pointed out, and relative merits of them were compared. Finally some opinions on the developing and study trend of harmonic measurement were also put forward.

**Key words:** harmonic measurement; Fourier Transform method; instantaneous reactive power; wavelet analysis; neural network

(上接第7页)

### Development of a novel UHV transmission line protection system

MA Yong, CHEN De-shu, CHEN Wei

(The Institute of Electric & Electronic Engineering, Huazhong University of Sci. & Tech., Wuhan 430074, China)

**Abstract:** A novel UHV transmission line protection system based on digital signal processor (DSP) is introduced. It has two DSPs each of which includes primary protection, backup protection and independent switch recloser. In the principles of protection, directional protective relay based on fault component of compensation voltage and double principles ground distance relay are applied. In addition, module design is applied in software programming. All these improved capability of protection. The protection device has compact structure, high reliability, friendly man-machine interface, powerful communicating function and can be used in all kinds of UHV transmission line protection system.

**Key words:** digital signal processor (DSP); directional protective relay based on fault component of compensation voltage; reactance-grounded distance relay;  $I_0$  polarized ground distance relay