

高压输电线高可靠性纵联保护的研究

杨春明 王安定 葛耀中 西安交通大学 (710049)
毛锦庆 东北电管局 (110006)
赵剑秋 阿城继电器厂 (150302)

摘要 本文提出一种高压输电线可靠性纵联保护方案,本保护充分发挥方向比较式和相位比较式原理的各自优点,取长补短,并利用故障分量构成具有动作速度快,在各种运行方式和故障类型下保证可靠动作,具有自适应性能的纵联保护。本保护还具有按用户要求选用保护原理及通道的功能。

另外,在装置实现过程中,吸取国内微机保护硬件的研究经验,设计出具有线路保护通用、通道通用特点的微机保护硬件,在硬件设计中还特别考虑了实现高可靠性纵联保护的需要。

关键词 高压输电 纵联保护

引言

高压及超高压供电系统,由于电网的容量增加,而具有一个相当高的短路功率,因此在输电线故障情况下,为减轻对电网设备的冲击及对电网稳定性的影响,线路保护必须可靠地、有选择地、迅速地确定和排除危险的运行状态和故障。

目前,线路保护广泛应用方向比较原理和相位比较原理构成线路的主保护,但各自仍存在一些不足。方向比较原理虽可快速判别并切除电力线路首次发生的各种类型故障,然而在有些运行状态、复杂故障及振荡情况下仍存在一些不足,相位比较原理具有良好的动作特征,可防振荡过程中误动并具有只采用电流量构成保护的优点,只是其动作时间较长并且在有些情况下仍存在问题⁽¹⁾。基于上述两种原理各自存在的优缺点,我们提出一种由方向比较和相位比较原理相结合的高可靠性的线路纵联保护方案,它是基于微机基础实现的保护,从原理和硬件系统两方面而言,具有有选择性、快速、可靠切除故障的特点,并且硬件设计上具有通道的适应能力。从上述考虑我校同东北电管局合作研制,并且在装置加工上得到阿城继电器厂的大力支持,应电力系统的实际要求于1991年初开始研制该套保护。本套原理方案在自行设计的8098硬件系统中完成静态实验,待动模实验结束后,可即投入现场试用。

1 高可靠性纵联保护原理

线路纵联保护是当线路发生故障时使两侧或多侧(分支线)开关同时快速跳闸的一种保护装置,它以线路各侧某种电气量的特定关系作为判据,借助于通道把有用的信息传送到对侧,进而来判别区内或区外故障⁽²⁾,载波纵联保护主要特点是双侧的判别量以载波的方式把信息传送给对侧,通常载波方式有专用(音频 FM),电力线载波(习惯称高频 PLC),无线电(特高频或微波)或光纤通道(光信号)。根据选取的判别量不同,又分为方向比较,相位比较和电流差动三种方式。方向比较式以线路两端的功率方向的流向为动作的判据;相位比较式以线路两端电

本文1994年3月23日收稿

流的相位作为动作的判据；电流差动式则以双侧电流间的向量(相位和幅值)关系作为动作的判据。由于后者目前国内通道的限制应用很少，前二者广泛应用于电力系统高压和超高压的中、长线路上。就目前而言方向比较式根据判别量的不同，可分为方向阻抗、负序、零序、行波方向、及故障分量等方向元件构成保护；相位比较式采用 $I_1 + KI_2$ 量进行比较，在实际应用中，各种原理在一些运行状态下还各自存在一些不足^[1]。近年来微机技术的应用，使得在故障信息量的提取及判别和硬件自检提高可靠性方面的能力大大增强，从而为实现一种在原理及硬件装置两方面具有高可靠性的纵联保护提供了可能，下面概述本套系统保护的特点。

1.1 本保护适用于 220kV 以上超高压具有载波通道的输电线路，对于长输电线路需考虑分布电容对该保护的影响。

1.2 启运元件

启动元件的功能是区分系统处在正常运行状态还是故障状态，而在干扰及振荡情况下不应该误启动。启动元件可用电流、电压或阻抗继电器构成。

I) 本保护采用广泛应用的相电流突变量启动元件，其判据为：

$$\Delta I_{ph} > 1.125\Delta I_T + 0.2I_n$$

$0.2I_n$ 为固定门坎， I_n 为负荷电流

ΔI_T 是浮动门坎，取自不平衡输出

II) 附加系统发生振荡判别启动元件，保证在振荡情况下不误启动保护，克服以往保护中增加振荡闭锁回路。

该启动元件具有以下特点：

I) 能够反应各种类型的故障

II) 不受负荷电流的影响

III) 具有较强的抗干扰能力

IV) 能够区分系统处于振荡状态还是故障状态

1.3 选相元件

选相元件的功能是在单相接地短路时选出故障相实现单相跳闸，在多相故障情况选出多相故障类型经保护判别实现三相跳闸。目前广泛采用的有阻抗选相元件、对称分量选相元件和两相电流差突变量选相元件，理想的选相元件要求不受负荷及过渡电阻的影响、要求动作迅速、灵敏度高、简单可靠几方面综合考虑，虽然对称分量选相法最好，但缺乏实际的运行经验，故本保护还是采用了广泛应用的两相电流差突变量选相元件，两相电流差突变量选相元件是在系统发生故障时利用两相电流差突变量的幅值特征来区分各种类型的故障，三个两相电流差突变量 ΔI_{ab} 、 ΔI_{bc} 、 ΔI_{ca} 表示如下：(假定系统正序阻抗同负序阻抗相等)

$$\Delta I_{ab} = (1 - a^2)\Delta I_1 + (1 - a)\Delta I_2$$

$$\Delta I_{bc} = (a^2 - a)\Delta I_1 + (a - a^2)\Delta I_2$$

$$\Delta I_{ca} = (a - 1)\Delta I_1 + (a^2 - 1)\Delta I_2$$

单相接地： $\Delta I_{ab} = 3\Delta I_1$

$$\Delta I_{bc} = 0$$

$$\Delta I_{ca} = -3\Delta I_1$$

其特征是两非故障相的电流差为零

二相短路：(如 BC 相)

$$\Delta I_{ab} = \sqrt{3} \quad \Delta I_1 \angle -90^\circ$$

$$\Delta I_{bo} = 2\sqrt{3} \quad \Delta I_1 \angle 90^\circ$$

$$\Delta I_{ca} = \sqrt{3} \quad \Delta I_1 \angle -90^\circ$$

其特征是与故障相相关的电流差值最大
二相接地短路本质上特性与二相短路相同。
三相短路的特征三个电流差值相近。
二相电流差突变量的判据为：

$$\Delta I_{ph} > 1.25\Delta I_{Tph} + m\Delta I_{Tphmax} + 0.2I_n$$

浮动门坎与启动元件配合选 $1.25\Delta I_{Tph}$

制动量 ΔI_{Tphmax} 取三个电流输出的最大值，防止单相故障时非故障相的误动，制动系数 m 考虑系统正、负序阻抗不等，而非故障相间可能产生的最大不平衡分量，同时保证二相经过渡电阻故障的最不利条件不漏选相⁽³⁾。

因而，选相方法是当三个相电流差突变量基本相等且大于上述定值时，判为三相短路。否则对 ΔI_{ab} 、 ΔI_{bc} 、 ΔI_{ca} 进行比较，如果一项幅值远小于另两相变化量时，判为非相关相单相接地。如在三者中可以找出一个最大者，则判相关相发生相间短路。

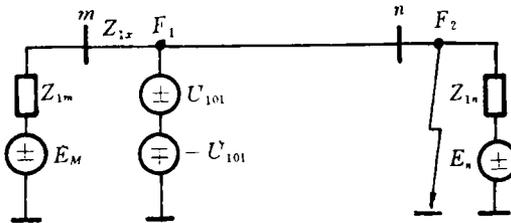


图 1 简单系统 F_1 故障的正序等效图

1.4 纵联保护的原理

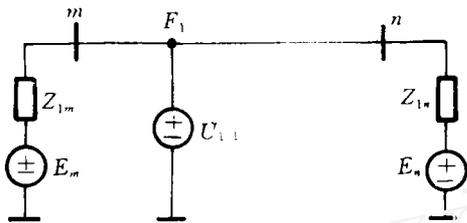


图 2 系统正常运行状态

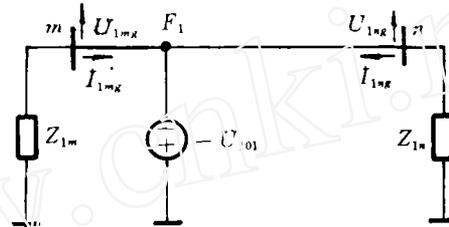


图 3 正序故障等效网络

1.4.1 方向比较式保护

a 基本原理

超高压输电线路通常可看做一线性网络，故可应用迭加原理进行分析，如图 1 所示简单系统发生故障时的正序等效网络，可分解为图 2 和图 3 的迭加，图 2 是系统正常运行的负荷状态，图 3 是正序故障等效网络。

图中 U_{101} 为故障点故障前的电压， L 为线路的长度。

对于内部故障 F_1 有：

$$\Delta U_{1gm} = -Z_{1m} \cdot \Delta I_{1gm}$$

$$\Delta U_{1gn} = -Z_{1n} \cdot \Delta I_{1gn}$$

(1)

对于外部故障 F_2 有：

$$\Delta U_{1gm} = (Z_{1n} + Z_{1x}) \cdot \Delta I_{1gm}$$

$$\Delta U_{1gn} = -Z_{1n} \cdot \Delta I_{1gn}$$

(2)

ΔU_{1gm} 、 ΔU_{1gn} 为保护安装处的正序电压故障分量

$\Delta I_{1gm}, \Delta I_{1gn}$ 为保护安装处的正序电流故障分量

$Z_{1m, 1n}$ 两端的系统正序阻抗, Z_1 为单位长度线路的正序阻抗

由 1、2 式可见, 由于系统及线路参数均有较大的阻抗角, 因而方向元件检测到的电压及电流关系具有明确的方向性。从而利用可以反应各种故障的正序故障分量构成正序故障方向元件 W_{1g} , 快速可靠地切除线路为发生了首次发生各种类型故障。

考虑到 CT、PT 的暂态产生的误差及其它等误差影响, 选用下述动作判据(4):

正向动作判据:

$$-180^\circ + \theta(\arg U_{1g(t)} / I_{1g(t)}) < -\theta \quad (3)$$

反向动作判据:

$$\theta < \arg U_{1g(t)} / I_{1g(t)} < 180^\circ - \theta \quad (4)$$

考虑实际情况, 取 $0^\circ < \theta < 30^\circ$ 。

该方向元件有如下特点:

- (1) 内外部发生各种类型故障有明确的方向性;
- (2) 不存在“死区”, 越靠近出口处故障动作灵敏度越高;
- (3) 过渡电阻及负荷对方向的判断没有影响。

b 方向元件的实现

(1) 正序分量的提取方法

目前提取序分量的方法很多, 其算法的要求是在短时间内精确地计算出序分量来。如根据时差与移相算法⁽³⁾所得到的提序方法, 简单方便, 计算量少, 但所需的数据窗略宽。这里我们采用两点数据窗提取序分量的方法⁽⁴⁾(以 A 相为基准):

$$3U_{1k} = U_{AK} - 1/2(U_{BK} + U_{CK}) + \sqrt{3}/2 \cdot [(U_{BK} \cdot \cos\Phi - U_{B(K-1)})/\sin\Phi - (U_{CK} \cdot \cos\Phi - U_{C(K-1)})/\sin\Phi]$$

Φ 为与采样间隔 Δt 有关的常数 $\Phi = W \cdot \Delta t$ 。 (5)

(2) 正序故障分量的提取方法

由于微机保护具有记忆功能, 因而获取故障分量十分简单:

$$U_{1g(k)} = U_{1(k)} - U_{1(k-n) \cdot N}$$

其中: N ——每周期合成正序点数

n ——变化量比较的基波间隔数

K ——采样点合成正序时刻顺序数

这里应考虑故障时的机电变化过程, 因而有意义的故障分量存在较短。

(3) 方向的判别方法

对任一端的测量量 U_{1g}, I_{1g} , 假设它们之间的相角差为 \odot , 则可推得:

$$U_{1g(k)} \cdot I_{1g(k)} \cdot \sin\odot = (U_{1g(k-1)} \cdot I_{1g(k)} - U_{1g(k)} \cdot I_{1g(k-1)})/\sin(w \cdot \Delta t) \quad (6)$$

其中: $U_{1g(k)}, I_{1g(k)}, U_{1g(k-1)}, I_{1g(k-1)}$ 为在 k 及 $k-1$ 采样时刻的瞬时值。

$w \cdot \Delta t$ 是一常数, 并且 $\sin(w \cdot \Delta t) > 0$, 所以只需计算 $U_{1g(k-1)} \cdot I_{1g(k)} - U_{1g(k)} \cdot I_{1g(k-1)}$ 就可根据动作判据 3、4 判别故障发生的方向。

1.4.2 相位比较保护

a 基本原理

故障分量的选取同上分析, 考虑正序故障分量的存在时间较短, 并且为使在不对称故障情况下提高动作的灵敏性, 故又加上 KI_2 分量(K 为可靠系数), 从而构成 $I_{1g} + KI_2$ 故障分量作为

操作量的相位比较保护。

该相位比较元件有如下特点:

- (1)能反应区内各种类型故障,并且具有很高的灵敏度。
- (2)能够反应振荡中再发生的各种对称及不对称故障。
- (3)不受过渡电阻及负荷的影响。

b 相位比较保护的实现

(1) $I_{1g}+KI_2$ 操作量的提取

序分量的提取在前面已经介绍过,在实现时已存储在相应的缓冲区内,因而可以直接相减得到。

(2)比相元件

闭锁式情况下,相位比较元件采用一个半周波比相。

允许式情况下,方向比较元件采用两个半周波比相。

两种情况,均符合“四统一”要求的二次比相原理可靠地判别故障。

1.4.3 在线路发生首次各种类型故障时,采用正序故障方向元件在启动元件每启动一次(启动元件实时投入)投入 30ms 后退出判别,然后退出方向元件,投入相位比较元件,操作量为 I_2 。防止环网中区外故障切除、功率倒向时的误动。然后根据网络状态自适应地切换到其它保护判别元件。

1.4.4 非全运行过程中,如健全相发生故障,由健全相电流差突变量元件启动,投入两健全相相位比较元件,如 A 相故障跳 A 后,启用 ΔI_{bc} 操作量进行相位比较来判别区内、外故障。

1.4.5 在手投线路故障和重合到永久故障时,保护设置了判别故障和正常线路的元件,如合到故障相,投入相位比较元件,判定区内故障加速跳三相。

1.4.6 在 PT 断线情况下,检出侧退出方向比较元件,自适应地投入相位比较保护,利用通道信息使对侧切换到相同保护原理与之配合,如此时线路发生故障,延时启动相位比较保护进行判别。

1.4.7 系统产生振荡情况下,投入相位比较保护判别故障。

1.4.8 在单电源或弱电源线路上,保护加入 I_{1g} 、 U_{1g} 判别元件,保证应用到该种线路发生故障可靠切除。

1.4.9 可由控制字的选择允许式或闭锁式。

1.4.10 采用两套主保护并列运行方式。共用一个通道、提高线路保护的可靠性。

装置硬件系统

2.1 采用多单片机并行工作的硬件结构,装置设置了四个硬件完全相同的 CPU 插件,这种结构具有以下优点:

I)提高硬件的冗余度,四个插件中如有一个损坏,不影响其它保护的工作。

II)采用多 CPU 并列运行结构,利用各 CPU 自检及对 CPU 巡检相结合,可以使各部位电器件有故障方便地定位到达插件,各 CPU 硬件相同,从而缩短硬件故障的处理时间。

III)各插件间尽管减少联系,提高了抗干扰的性能。

IV)两个主保护插件设计中,采取措施保证采样同步。

V)各保护原理可在这种结构下,并行工作提高保护动作速度。

2.2 采用电压—频率变换原理(VFC)构成数据采集单元,具有工作稳定、精度高、抗干扰能力

强、调试方便等优点。

2.3 在硬件设计中,考虑到将来的需要适用于其它新原理线路保护的开(在此装置上只须更换软件即可)。

2.4 硬件设计有通道接口,可适用于载波、微波、及光纤通道的线路。

2.5 跳闸出口回路采用了三取二工作方式,提高了整套保护装置的可靠性。

2.6 采用液晶显示、菜单操作,使人机对话简单方便,可不借助于打印机。

2.7 具有 RS232 接口,与本厂的接口装置配合,可将全站微机保护就地联网。

参考文献

- 1 葛耀中. 高压输电线路高频保护. 北京:水利出版社,1987年9月
- 2 王梅义等. 高压电网继电保护运行技术. 北京:水利出版社,1984年10月
- 3 陈德树. 计算机继电保护原理与技术. 北京:水利出版社,1992年11月
- 4 王安定、葛耀中. 反应正序故障分量的方向元件研究及计算机仿真试验结果. 西安交大科技报告,1985年12月,85~564

《爆炸性环境电气防爆技术》1995年征订通知

《爆炸性环境电气防爆技术》是经国家科委批准全国公开发行的防爆电气技术刊物,本刊聘请了国内防爆学术界的知名专家、教授、高级工程师为顾问和特约撰稿人,以确保刊物质量不断提高。国内统一刊号:CN41-1176/TM,国际标准刊号:ISSN1004-9118。

本刊设置的栏目有:专述、产品介绍、产品检测、读者园地、国内外标准、使用与维修、国外防爆技术、信息等,旨在宣传防爆电气技术方面的国家政策;报道国内外防爆电气技术领域科学研究成果;交流和研讨防爆电气产品设计、制造、检测、使用、维修等方面的经验体会;普及防爆电气技术知识,传递技术信息。它是防爆电气产品的科研、设计、制造、安装、使用和教学等方面各类有关人员的必备读物。本刊为季刊,全年订价14元(含邮挂费)。

订阅者注意:

一、单位订阅请尽量从银行信汇至河南省南阳市机械部南阳防爆电气研究所;开户行:工商银行南阳市支行;帐号:100040004-38(请注明“刊物预订款”)。

二、本订单共分三联,请准确填写。第一联(代收据)与汇款单据一并作为报销凭证,请勿寄来。其余两联和投寄标签请随信汇单一起寄来。

三、个人订阅可邮局汇款至南阳防爆电气研究所刊物编辑部收(请注明“刊物款”及预订份数)。“发行存根”和“财务凭证”请另函寄来。

四、单位订阅请注明收件人姓名,以便投寄无误。

机械工业部南阳防爆电气研究所《爆炸性环境电气防爆技术》编辑部

1994年8月