

# 同杆并架双回线保护选相实用算法的研究

冬大龙<sup>1</sup>, 李新儒<sup>2</sup>, 张文<sup>1</sup>

(1.唐山供电公司,河北唐山 063000;2.北京电力公司,北京 100031)

**摘要:**对高压同杆并架双回线保护现状进行分析,阐述了不同类型保护在双回线故障时的判别情况,总结出传统保护算法的优缺点,研究了同杆并架双回线故障特点及选相的原理,提出了一种实用的故障稳态量选相算法。以一次220 kV同杆并架双回线路跨线故障为例,对故障进行分析,分析结果与实际故障情况一致,验证了算法的可行性。

**关键词:**同杆并架双回线;继电保护;跨线故障;故障选相

**中图分类号:**TM744

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2011)02-0045-04

同杆并架双回线具有出线走廊窄、输送容量大、投资少、见效快、可提高供电可靠性和运行维护简单等优点,在系统中得到了越来越多的应用。由于同杆双回线运行方式复杂、存在线间互感及跨线故障,所以在单回线上广泛应用的零序电流保护、距离保护等难以满足同杆并架双回线的要求。此外,为提高供电可靠性、减少停电损失,在重要的同杆并架双回联络线上发生故障时,要求只切除故障相而非故障相保留下来继续运行,实行按相重合闸。鉴于永久性故障时重合线路给系统稳定运行和电力设备所带来的极大危害,就要求重合闸装置具有良好的故障判别能力(区分瞬时性故障和永久性故障)和跨线故障选相能力,实现对单线及跨线故障的正确判断,并按综重或单重要求正确动作。

## 1 同杆并架双回线保护配置现状

### 1.1 双回线故障类型对保护的影响

同杆并架双回线路的故障种类很复杂。单回线路的简单故障只有11种,同杆并架双回线路的故障多达120种,包括单回线故障22种、跨线故障98种。在这些故障中,接地故障种类占52.5%,跨线故障种类约占全部故障种类的82%。其中,单回线发生故障的机率在80%以上。

由于同回线路相间存在互感,而双回线路中线间亦存在较大互感,在并架双回线单回线运行、同时运行、准三相运行、非全相运行(双回或单回)等多种运行方式下,双回线互感均发生变化。当发生接地故障时,双回线母线压降不仅取决于本线电流,同时受邻线零序电流影响,从而使与零序电流和接地阻抗有关的保护均受到影响。

### 1.2 超高压双回线保护的配置现状

超高压同杆并架双回线目前配置的保护装置主要包括:分相电流差动保护、横联差动保护、高频

纵联保护(纵联距离和纵联方向)和平衡保护等。

#### 1.2.1 分相电流差动保护

分相电流差动保护按相来进行两侧电流幅值及相位的比较,线路两侧同时按相切除故障相的保护类型。对于同杆并架双回线的跨线故障,分相电流差动保护能够实现正确选相并跳闸。由于保护具备跨线故障选相的能力,并具有交换两侧信息的功能,因此分相顺序重合、远故障侧先重合、跨线故障同名相优先重合、多相故障线路优先重合等自适应功能得以实现。

#### 1.2.2 横联差动保护

在中、低电压等级并架双回线路上,横联差动保护得到了广泛应用。横联差动保护的优点是不需要通道及运行维护简单,缺点是存在相继动作区和死区(对于有记忆功能的功率方向元件则能消除死区),单回线运行时保护需退出运行(通常反措采用保护直流电源经双回线断路器辅助接点串联闭锁)。横联差动保护可分为横联方向差动保护和电流平衡保护。它们共同的缺点是在双回线发生同名相跨线短路时拒动。

#### 1.2.3 高频纵联保护

纵联距离保护主要是为了解决双回线装设传统距离保护的情况下,在线路末端发生两非同名相跨线故障时两回线保护均判断为相间故障而同时切除三相的问题。纵联距离保护受同杆并架双回线零序互感的影响,容易造成保护超范围拒动或误动。纵联方向保护同样易受同杆双回线零序互感的影响,造成保护的误动。但使用变化量方向元件的纵联方向保护则不受影响,主要是因为变化量方向元件部反映系统零序分量的变化。

## 1.3 重合闸的故障判别

### 1.3.1 重合闸的故障判别

同杆并架双回线重合闸不仅需要区分瞬时和永久性故障,还要正确选出故障相别。一回线有电流检

测方式是当双回线路其中一回发生故障跳闸后,通过检查另一回线是否有负荷电流来决定是否重合闸。该方式在双回线分列运行及单回线运行时不能使用,而且要躲过线路的电容电流。通常该方式和其他方式配合使用。

当双回线运行发生跨线故障、两回线路保护均正确动作时,为防止两回线均重合于故障线路造成对发电机组短时间内的两次冲击,通常要求两回线重合具有适当的时间差,即若两回线均为单相故障,人为规定一回线先重合,另一回线后重合,而且先重合线路重合于故障,后重合线路不再重合。

### 1.3.2 故障选相

目前主要采用的故障选相包括突变量选相、阻抗选相和序分量选相。

相电流差突变量选相是利用不同故障时两相工频电流差的变化量的幅值特征选相,附加鉴别有无零序分量区分两相短路和两相短路接地<sup>[1]</sup>。该方法在故障初期灵敏度高,不受负荷电流和过渡电阻影响。但是当保护位于弱电源侧或发生转换性故障时灵敏度不足甚至会导致误选相。当应用于同杆双回线时,往往不能正确区分跨线故障。

阻抗选相主要依据阻抗测量元件的测量结果来确认故障相,在大多数简单故障下能正确选择故障相,但它受系统运行方式、故障点过渡电阻的影响较大,选相结果往往不理想。应用于同杆并架双回线时需要同时对6个阻抗测量元件计算来判断故障相。

序分量选相分为零、负序电流选相和零、负序电压选相。前者按零、负序电流相对相位相区划分方法,辅以相间阻抗排除法实现选相,具有很强的耐过渡电阻的能力。但对于单相接地故障,其相区的裕度较小,可能由于计算误差或较为特殊的扰动而使单相接地时的相位移出相应相区,从而误选为相间接地故障。后者首先根据故障后的功率方向自动采用不同判据,送端判据或受端判据,然后由接地故障时负序和零序电压的相位关系实现相区划分。在重叠相区内,由正序电压、零序电压的相位关系区分具体故障常作为保护的后续故障选相元件。序电压选相采用电压序分量的相对相位关系的选相原理,具有零序负序电流选相的优点,同时消除了前者在线路出口及背后发生转换性故障时不能选出相间故障的缺陷,但它同样具有需要解决长线路远处故障及远处带过渡电阻接地故障时的灵敏度问题,缺点是用于同杆并架双回线系统时无法区别区内相间故障和跨线故障。

## 2 同杆并架双回线保护及选相原理

### 2.1 基于故障电压比较故障相电流相位判别的新的综合选相元件原理

通常情况下,同杆并架双回线跨线故障具有如下的特点:单相跨单相或跨多相的跨线故障,含单故障相的线路故障相电流与本线非故障相(邻线同名故障相)电流的相位差,近故障侧一般小于 $90^\circ$ ,远故障侧大于 $90^\circ$ ,极端情况是跨线不接地故障,相位差分别约等于 $0^\circ$ 和 $180^\circ$ ;含多相故障的线路,其故障相电流之间的相位差一般大于 $90^\circ$ 。利用这些特点,可以构造一种新的选相元件:(1)首先判断3个相间电压大小,以电压值最小者作为跨线故障相;(2)判别本线此两相电流之间的相位差,如不大于,认为本线是含单故障相的线路,并确定电流大者为故障相;若大于,认为本线发生相间故障。这种综合选相元件<sup>[3]</sup>与相电流差突变量、负序零序电流选相元件一起构成同杆并架双回线保护的选相元件。

### 2.2 跨线故障识别及综合常规量逻辑比较选相元件

#### 2.2.1 跨线不接地故障

总体来说,跨线不接地故障对于近端保护来说具有零序电流而无零序电压。对于长线路远端故障,由于保护安装处可能也检测不到零序电流,仅反映出相间故障的特征。因此本文所提出的新的选相方案仅考虑近故障侧保护。

跨线不接地故障的相电压虽有所降低,但与接地故障相比其相电压幅值仍然较高,而跨线的两故障相之间的相间电压会很低,尤其是线路出口故障。若本线仅发生单相跨邻线的故障,相间电压低的回路的两相电流幅值相差较大。在短线路的小电源侧发生跨线故障,有可能两相电流幅值是接近的,但此时两相电流相位也接近同相,本线非故障相与邻线故障相相电流方向为反相,这和单回线相间故障是完全不同的。

#### 2.2.2 双回线跨线接地故障

接地故障和不接地的跨线故障不同,零序电流不再是环流量,保护安装处将出现零序电压。但双回线发生跨线接地故障后总是伴随着出现两相(或者三相)相电压降低,线路出口或者近端故障相电压将降得很低。同跨线不接地故障一样,本线若是单相故障,对于近端来说本线故障相和非故障相(邻线故障相)之间电流幅值相差较大,且本线非故障相(邻线故障相)相电流方向为反相。因此,当双回线发生接地故障时可利用故障相电压和电流幅值、电流方向进行判别是否发生了跨线故障。

#### 2.2.3 双回线跨多相故障

由于双回线跨多相故障类型繁多,本文以I回线在先为例列举几种较为常见的类型,例如①

IBCIC, ②IBIIBC, ③IAIIBC, ④IBIAC, ⑤IAIABC 等。其中,①可看成 IBC 和 IBIC 两种短路故障叠加而成,各侧电流分布如图 1 所示。②可看成 IIBC 和 IBIC 两种短路故障的合成,但不能简单地认为①,②就是 IBIC 或 ICIB 的故障中,C 相或 B 相简单的分流故障电流的一半,方向仍为近故障侧同相,根据实际录波数据,发生在同一回线路上的两相短路的二相这里即 B,C 相反相位,电流分布如图 2 所示。③,④,⑤视为对称性故障,分析较为简单,不再赘述。

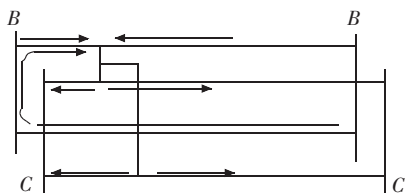


图 1 IBCIC 故障电流流向图

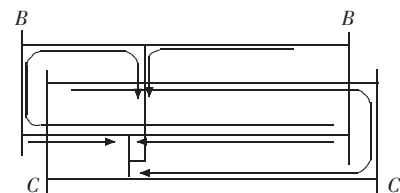


图 2 IBIIBC 故障电流流向图

### 3 双回线跨线故障识别及选相算法

因为采用纵联保护作为主保护,经过通道可以交换信息,故本文只讨论近故障侧的情况,另一侧闭锁由近故障侧停信解除。算法流程以 I 线为例,故障以典型的 IBIIC,IBIIBC 和 IBIICG 为例分析。具体流程算法如图 3 所示。

上述故障识别算法与选相流程是基于双回线其中一回所提供的稳态数据量所做出的。如果允许提供另一回线路的电流数据,选相方法可有所变化,如图 4 所示。

### 4 跨线故障算法验证

2000 年 7 月 27 日唐山地区 220 kV 主网发生过一起 220 kV 线路相继故障的重大安全事故。其中 220 kV 洼里变电站和吕家坨变电站相继失去主电源,造成重大停电事故。

事故起因是 7 月 27 日的雷雨天气,导致陡洼双回中的陡洼 II 线 B 相故障接地,陡洼 II 线洼里侧 2211 开关跳 B 相,0.5 s 后重合 B 相,重合成功。随后,陡洼 I 线 A 相和陡洼 II 线 C 向相继故障,陡洼 I 线洼里侧 2212 纵联方向保护动作跳 A 相,陡洼 II 线洼里侧 2212 纵联方向保护动作跳三相,之后相隔

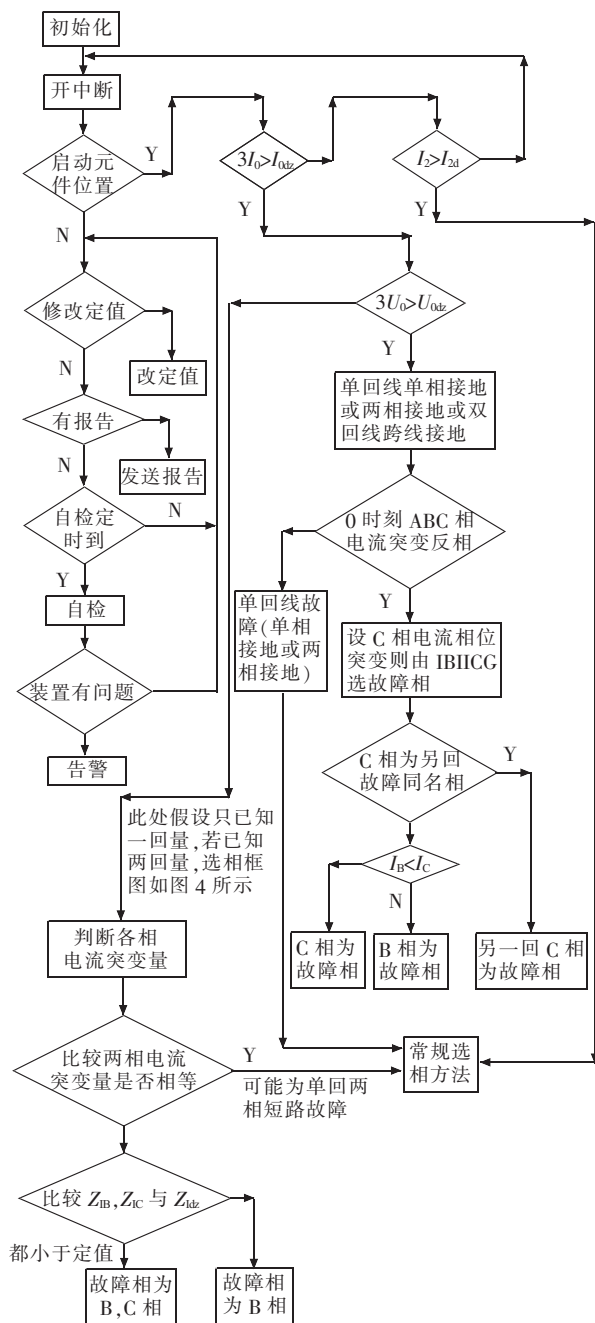


图 3 双回线跨线故障识别与选相流程图 1

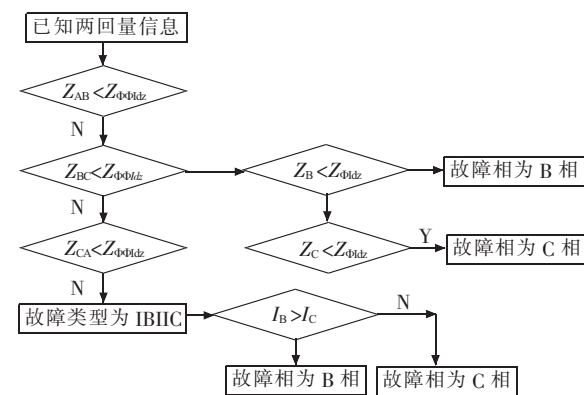


图 4 双回线跨线故障识别与选相流程图 2

4 ms, 陡洼 I 线洼里侧 2212 纵联方向保护动作跳 B,C 相。

陡洼 I, II 回线路故障录波图如图 5、图 6、图 7、图 8 所示。(注:二次电压电流 220 V 16 A, 时间单位 ms。录波图中的横轴 1~9 号轴分别代表 A, B, C 相母线电压, 母线零序电压  $3U_0$ , A, B, C 相电流, 零序电流  $3I_0$ , 线路本侧方向高频。另动作信号 1-3 为方向 TA, TB, TC, 6-8 为微机 TA, TB, TC, 11-13 为出口 TA, TB, TC)通过对故障录波图的分析, 陡洼 II 回的 B 相接地为瞬时故障, 跳开后重合成功, 随后的陡洼 I 线 A 相故障接地闪络造成相邻同杆并架陡洼 II 线 C 相故障接地, 二者故障时间仅差 10 ms<sup>[4]</sup>, 但由于 LFP-901 保护并不具备双回线跨线故障选相功能, 所以陡洼 I, II 线相继跳开三相, 而不是系统要求的准全相运行, 这样致使洼里变电站失去 220 kV 主电源, 导致大面积停电。如果采用自适应的跨线故障选相元件, 则可保持准同期运行即与主电源保持弱联系, 为事故处理赢得时间。



图 5 陡洼 I 线 B 相接地故障录波图

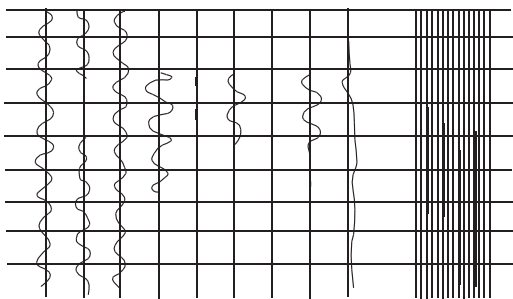


图 6 陡洼 II 线在 I 线 B 相接地故障时录波图

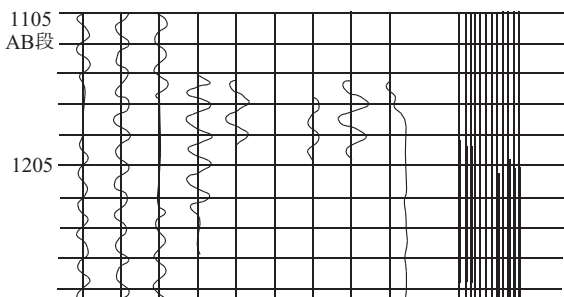


图 7 陡洼双回 A 相和 C 相跨线故障 I 线录波图

采用本文设计的流程图进行事故分析, 故障初始时刻  $33\dot{U}_0$  均大于不平衡量的门槛值, 故流程转入单相接地或跨线接地故障流程。通过对录波图细

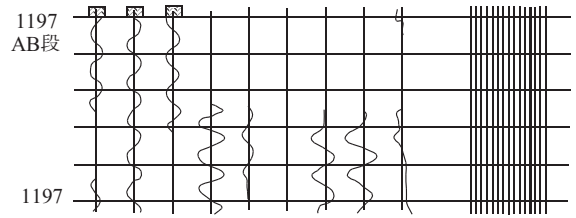


图 8 陡洼双回 A 相和 C 相跨线故障 II 线录波图

致分析可知正常电流滞后该相电压约  $90^\circ$ , C 相故障电流相角滞后正常电流, 相位接近相反, 而单相接地是不会出现这种情况的, 故可判为跨线接地故障。同时由故障录波图知  $|\Delta I_A|$ 、 $|\Delta I_C|$  突变, 知故障相为 A, C。通过对  $|I_A|$  和  $|I_C|$  的大小确定可知  $|I_A| > |I_C|$ , 故判定 A 相为 I 回故障相, C 为邻线故障相 (因为 A 相为对侧电源提供的电流加本侧短路电流之和, 而 C 相只有对侧提供的短路电流)。利用该选相方法所选结果与实际故障相别结果一致。

目前已与保护生产厂家进行联系, 对现有老的保护装置进行改进, 加入的新算法将有助于对跨线故障的识别。

## 5 结束语

同杆并架双回线的不正确动作, 往往是由于综合性常规原理的保护对跨线故障缺乏准确的判断能力, 没有根据双回线跨线故障的独有特征设计其程序算法, 致使选相元件错误动作, 导致保护误动或拒动。本文提出的故障识别算法及选相流程利用系统稳态分量和本回线的特征量较有针对性地解决了上述问题, 具有一定的实用性。希望能抛砖引玉, 为双回线跨线故障识别及选相研究这一课题的完善起到积极的作用。

## 参考文献:

- [1] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [2] 杨奇逊, 黄少锋. 微机继电保护基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [3] 俞波, 杨奇逊. 同杆并架双回线保护选相元件研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(4): 38-42, 76.
- [4] 南瑞继电保护公司. LFP-901A 超高压线路成套快速保护装置技术说明书[Z].

## 作者简介:

冬大龙(1973-), 男, 河北唐山人, 工程师, 从事继电保护及自动化的维护与管理工作;

李新儒(1973-), 男, 宁夏中卫人, 高级工程师, 从事电力安全监察与管理工作;

张文(1965-), 男, 山西大同人, 工程师, 从事直流系统维护与管理工作。

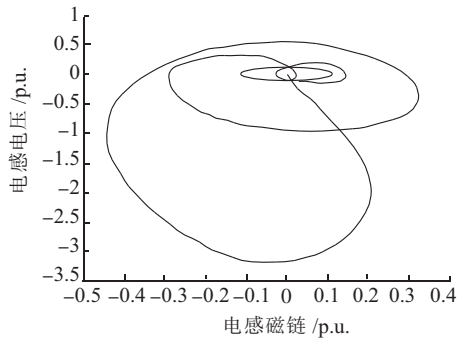


图2 电路稳态相图

#### 4 结束语

本文根据惟一稳态消谐法基本思想,利用矩阵测度,分析了消除中性点接地电力系统的铁磁谐振的参数条件,得到了相应的消谐条件。同时通过数值模拟进行验证,表明结果正确,同时也说明惟一稳态消谐法有效性。

#### 参考文献:

- [1] 解广润. 电力系统过电压[M].北京:水利电力出版社,1985.
- [2] 张纬钺,高玉明. 电力系统过电压与绝缘配合[M].北京:清华大学出版社,1988.
- [3] 郑盛琼,陈维贤,鲁铁成. 110~220 kV 变电所中互感器引起的铁磁谐振及吸能消谐[J].高压电器,1996,18(6):26-30.
- [4] HENRIKSEN T. How to Avoid Unstable Time Domain Respo-

- nses Caused by Transformer Models[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2002, 17(2):516-522.
- [5] 李兴斌,王晨新. 断路器均压电容引起的铁磁谐振分析[J]. 东北电力技术,1994,24(9):39-43.
- [6] 贾红琴. 电磁式 TA 所致铁磁谐振过电压分析及抑制[J]. 高电压技术,2000,43(1):69-70.
- [7] 石峰. 110~220 kV 变电站空母线铁磁谐振的分析[J]. 湖南电力,2001,15(1):14-16.
- [8] LI Y G, SHI W A Systematical Method for Suppressing Ferroresonance at Neutral-Grounded Substations [J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2003,18(3):1009-1014.
- [9] 冯平,王尔智.中性点接地电力系统三相铁磁谐振理论分析[J].电工技术学报,2004,23(4):35-39.
- [10] 尤秉礼常微分方程补充教程[M].北京:人民教育出版社,1981.
- [11] 冯平.一种混沌分析与抑制方法及其在电力系统铁磁谐振中的应用[D].沈阳工业大学博士论文,2010.
- [12] 杨开宇.矩阵分析[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1988.

#### 作者简介:

冯平(1961-),男,四川内江人,副教授,从事电路理论及高压电器理论研究工作;

王尔智(1936-),男,辽宁沈阳人,教授,从事高压电器理论研究和高压断路器开断特性的数值模拟工作。

### Application of Matrix Measure for Ferroresonance Elimination

FENG Ping<sup>1,2</sup>, WANG Er-zhi<sup>2</sup>, WANG Wei-jun<sup>1</sup>

(1. Dept of Mechanical and Electrical Engineering, PLA Logistics Engineering Inst., Chongqing 401311, China;

2. School of Electrical Engineering Shenyang Univ of Technology Shenyang Liaoning 110178, China )

**Abstract:** Unique steady state elimination method is a new method for eliminating resonance in nonlinear system presented recently. Its basic idea is that if there is a normal (non-resonance) solution for the system, and the steady state of system is unique, then the corresponding conditions are the conditions for eliminating resonance. In this paper, this new method is applied to analyze the eliminating of ferroresonance in neutral grounding power system. Based upon Matrix measure technology, the conditions for eliminating this ferroresonance are obtained, which can be determined by the measure of a matrix. The conclusions of this article are proved correct by numerical simulation, and it shows the effectiveness of unique steady state elimination method.

**Key words:** power system; ferroresonance; neutral grounding power system; nonlinear system; unique steady state elimination method

(上接第 48 页)

### Research on Fault Phase Selection Method of Protective Relay for Double Circuit Lines on the Same Tower

DONG Da-long<sup>1</sup>, LI Xin-ru<sup>2</sup>, ZHANG Wen<sup>1</sup>

(1. Tangshan Power Supply Company, Tangshan 063000, China; 2. Beijing Power Distribution Company, Beijing 100031, China)

**Abstract:** The paper analyzes the current situation about the protective relay of double circuit lines on the same tower, and elaborates the judge of different types of protection when faults happen. The advantages and disadvantages of the traditional protection are summed up. And the characteristics of faults and the principle of fault phase selection are studied. Then a practical fault phase selection method is presented. The fault phase selection of a 220 kV double circuit lines on the same tower is carried out using this method. The results of fault analysis, which is the same as the actual fault, verify the feasibility of the proposed method.

**Key words:** double circuit lines on the same tower; protective relay; cross country fault; fault phase selection