

(5) 消除装置内部切换产生的干扰

三极管的负载是继电器时,为防止三极管由导通变截止时,继电器线圈上的反电势导致三极管损坏,继电器线圈上应并联开关二极管或稳压管。

(6) 在装置的安装和配线方面提高抗干扰的措施

① 电流、电压互感器及电抗器尽可能与灵敏电路远离,以避免其漏磁通可能对灵敏电路产生影响。

② 灵敏电路的对地电容要尽可能减至最小以避免共模干扰电压通过该电路与地构成环路。

③ 各个电路版的相互连接线应尽可能短,同时应使引出与引回的导线靠近在一起以避免形成感应环路。

④ 不同电路接线交叉的地方必须成直角交叉

⑤ 逻辑电路与外界电路连系时,应通过中间继电器隔离,以避免外界的干扰信号传入到保护回路中。

⑥ 当出口采用可控硅时,可控硅的触发电路应经隔离变压器控制。

四、一点看法

由于晶体管保护具有体积小、动作快、消耗功率小、调试维护方便等优点,并且能获得比机电型保护更理想的特性,因此是发展的方向。

目前晶体管保护存在的问题是可靠性不高,而可靠性不高又主要表现在元件及产品质量不高和易于受干扰影响两方面。有关元件及产品质量问题,各制造厂已充分重视,采取了一系列提高元件及产品质量可靠性的有效措施,保护的可靠性已大大提高。至于易受干扰影响问题,以南京自动化研究所为主的抗干扰研究小组和各地区已对干扰进行了大量的实测和研究,对干扰问题已开始由必然王国走向自由王国,已掌握了消除干扰对保护影响的各种措施。实践证明,比较多的晶体管保护,由于在装置中采取了一定的抗干扰措施,运行中未出现过由于干扰引起误动作的情况。为了进一步提高晶体管保护的可靠性,建议水电部和一机部联合组织有关人员,尽快提出晶体管保护抗干扰试验标准,来作为产品出厂检验的标准之一。

浅谈零序功率方向元件的应用

山东工学院 桑在中

随着祖国电力工业的迅速发展,110千伏至220千伏高压输电线路逐步伸进了县和公社一级单位。作为大电流接地系统接地故障主保护或后备保护的方向零序过电流保护的应用范围亦随之扩大。由于使用单位对零序功率方向元件不熟悉以及厂家与设计部门图纸的不统一,使得一部份零序功率方向元件的方向接反。这是一种很危险的现象,它除了背后故障引起保护误动给国家造成损失外,当正向故障时,有可能使线路整套保护拒动,造成严重的设备损坏或更大面积的停电事故。我们必须对这一问题给以足够的重视。

一、正反向接地故障时保护安装处零序功率的方向

对于一般的输电线路，都是定电流的方向为由母线指向线路，电压的方向为由线路指向地，正序分量如此，负序和零序分量也如此。我们讨论功率方向问题，必须在这个前提下进行。

先谈一下正常时的功率方向。以图一所示线路左侧为例：图中： $E \times A$ 、 $E \times B$ 和 $Z \times A$ 、 $Z \times B$ 分别为两侧系统的电势和内阻抗。根据上述原则定电流、电压方向如图中所示。

功率方向有四种可能的情况：

第一种为送有功，送无功。该情况下的负荷示意图和电压、电流矢量图如图二(a)所示：

由图知：当第一种情况，线路电流滞后母线电压 $0 \sim 90^\circ$ ，如定电压 \dot{U}_1 的初相位为零（下同），则电流 \dot{I}_1 应在第IV相限，功率因数角即电压 \dot{U}_1 超前电流 \dot{I}_1 的角度 φ 为：

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{|Q|}{|P|} \dots\dots (1)$$

式中： Q ——由线路送出的无功功率，输入时为负值（下同）。

P ——由线路送出的有功功率，输入时为负值（下同）。

在忽略线路导纳的情况下，对侧电流 \dot{I}_2 与 \dot{I}_1 大小相等，方向相反，居第II相限。

第二种为送有功，受无功。由图知：线路电流 \dot{I}_1 超前母线电压 \dot{U}_1 $0 \sim 90^\circ$ ，所以 \dot{I}_1 在第一相限，功率因数角 φ 为：

$$\varphi = -\text{tg}^{-1} \frac{|Q|}{|P|} \dots\dots (2)$$

式中：“-”号表示电流超前电压。在忽略线路导纳情况下，对侧电流 \dot{I}_2 与 \dot{I}_1 大小相等，方向相反，居第III相限。

第三种为受有功，受无功。由图知：在忽略线路阻抗和导纳情况下，对侧为送有功，送无功，所以电流 \dot{I}_2 应居第IV相限，其功率因数角 φ' 为：

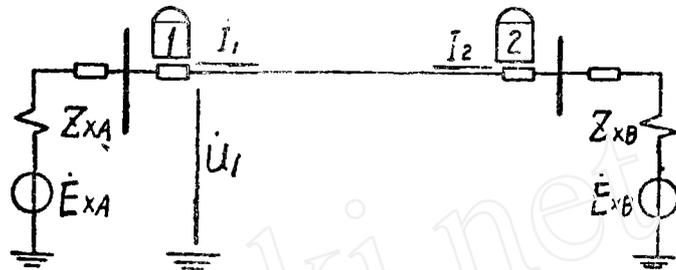
$$\varphi' = \text{tg}^{-1} \frac{|Q|}{|P|} \dots\dots (3)$$

而本侧电流与对侧大小相等，方向相反，所以 \dot{I}_1 居第II相限，其功率因数角 φ 为：

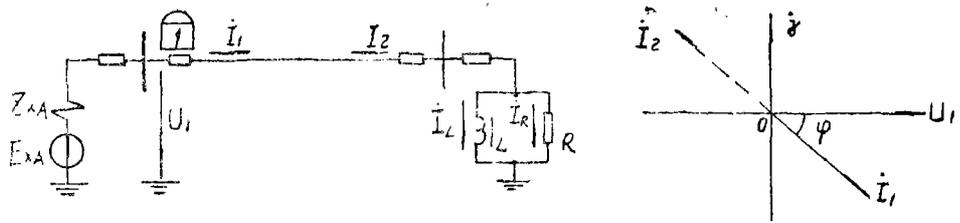
$$\varphi = -(180^\circ - \varphi') = \text{tg}^{-1} \frac{|Q|}{|P|} - 180^\circ \dots\dots (4)$$

第四种为受有功，送无功，由图知：在忽略线路阻抗及导纳情况下，对侧为送有功，受无功，所以其电流 \dot{I}_2 应居第II相限，功率因数角 φ' 为：

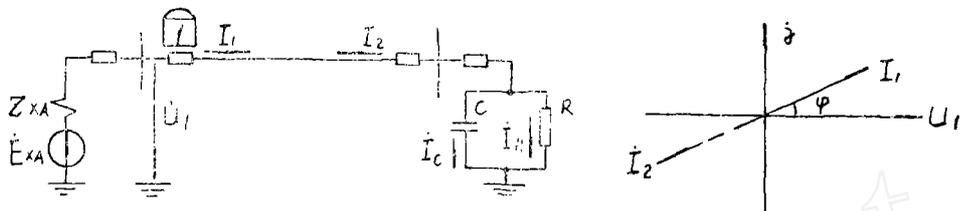
$$\varphi' = -\text{tg}^{-1} \frac{|Q|}{|P|}$$



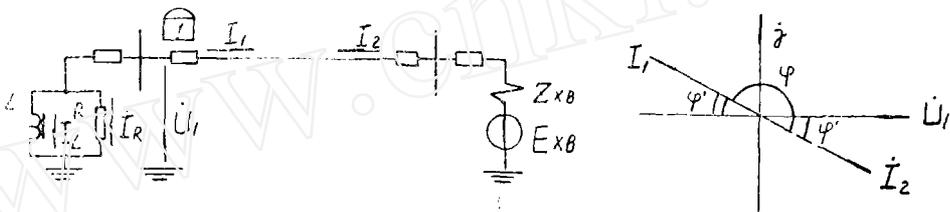
图一



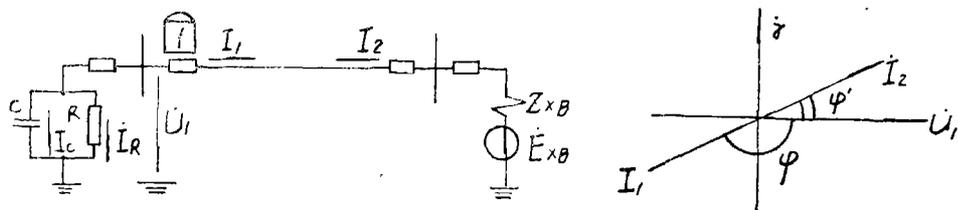
(a) 送有功,送无功时的负荷示意图和矢量图



(b) 送有功,受无功时的负荷示意图和矢量图



(c) 受有功,受无功时的负荷示意图和矢量图



(d) 受有功,送无功时的负荷示意图和矢量图

图二、正常情况下,功率方向四种可能的情况

本侧电流 \dot{I}_1 与 \dot{I}_2 大小相等,方向相反,因此居第Ⅲ相限,功率因数角 φ 为:

$$\varphi = 180^\circ - |\varphi'| = 180^\circ - \text{tg}^{-1} \frac{|Q|}{|P|} \dots \dots \dots (5)$$

当发生正向或反向不对称接地故障时,零序功率的方向也不会超出上述四种情况。下面就以图三(a)所示系统d点发生单相接地故障为例,分析一下正、反向单相接地故障时,保

护安装处零序功率的方向。当d点发生故障时，保护1感受正向故障，保护2感受反向故障。所以只分析保护1、2安装处的零序功率方向就可行了。

设d点单相接地故障发生在A相，在忽略负荷电流的情况下，故障点的电压，电流有如下特点：

$$\dot{U}_{Ad} = 0; \dot{I}_{Bd} = \dot{I}_{Cd} = 0$$

式中： \dot{U}_{Ad} —故障点A相电压；

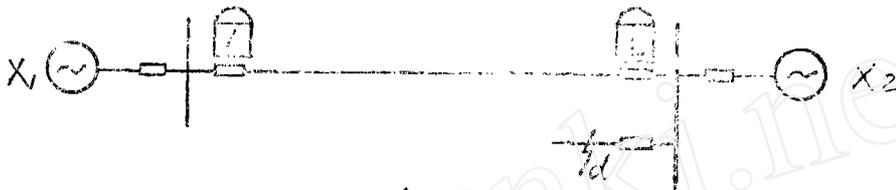
\dot{I}_{Bd} 、 \dot{I}_{Cd} —故障点B、C相电流。

由对称分量法公式可求出：

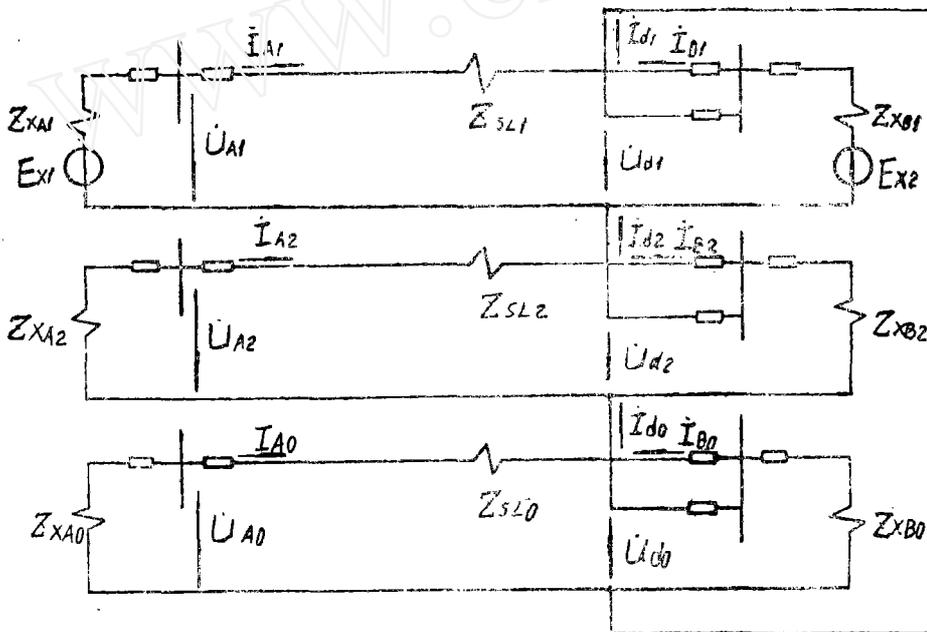
$$\dot{U}_{d1} + \dot{U}_{d2} + \dot{U}_{d0} = \dot{U}_{Ad} = 0 \dots\dots\dots (6)$$

$$\dot{I}_{d1} = \dot{I}_{d2} = \dot{I}_{d0} = \frac{1}{3} \dot{I}_{Ad} \dots\dots\dots (7)$$

式中： \dot{U}_{d1} 、 \dot{U}_{d2} 、 \dot{U}_{d0} —分别为故障点A相的正序、负序、零序电压；



(a) 系统图



(b) 单相接地故障复合序网

(b) 单相接地故障复合序网

图三 单相接地故障零序功率方向分析

\dot{I}_{d1} 、 \dot{I}_{d2} 、 \dot{I}_{d0} —分别为故障点A相的正序、负序、零序电流；

\dot{I}_{Ad} —故障点A相短路电流。

由(6)(7)式，可绘出系统d点单相接地故障时的复合序网如图三(b)所示。

图中： Z_{SL1} 、 Z_{SL2} 、 Z_{SL0} —分别为线路正序、负序、零序阻抗；

Z_{XA1} 、 Z_{XA2} 、 Z_{XA0} —分别为系统A的正序、负序和零序阻抗；

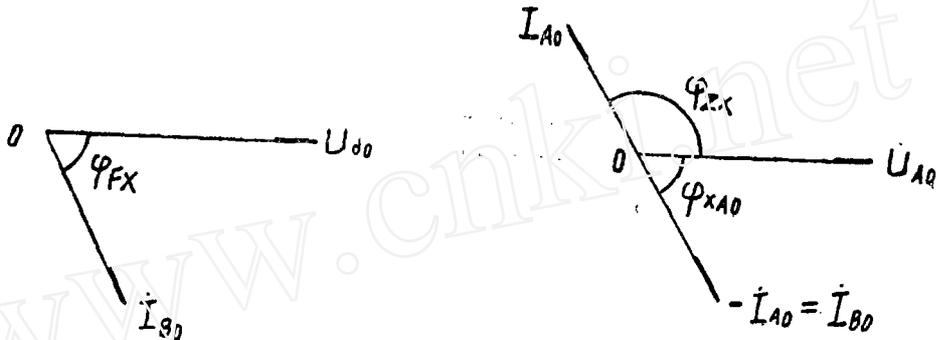
Z_{XB1} 、 Z_{XB2} 、 Z_{XB0} —分别为系统B的正序、负序和零序阻抗；

保护安装点的正序、负序、零序电压和电流如图中所示。由图知：保护1感受的零序电压和电流分别为 \dot{U}_{A0} 和 \dot{I}_{A0} ；保护2感受的零序电压和电流分别为 \dot{U}_{d0} 和 \dot{I}_{B0} ，由于零序序网为无源网络，由交流回路的欧姆定律知：

$$\dot{U}_{A0} = -\dot{I}_{A0} \cdot Z_{XA0} \approx \dot{I}_{B0} \cdot Z_{XA0} \dots \dots \dots (8)$$

$$\dot{U}_{d0} = \dot{I}_{B0} \cdot (Z_{SL0} + Z_{XA0}) \dots \dots \dots (9)$$

根据(8)(9)式可绘出两侧保护感受零序电压、电流的矢量如图四(a)(b)所示。



(b) 背后单相接地故障时，保护安装点零序电流、电压矢量图

(a) 正向单相接地故障时，保护安装点零序电流、电压矢量图

图四 正、反向单相接地故障零序功率方向分析

图中： φ_{XA0} —保护1背后系统零序阻抗 Z_{XA0} 的阻抗角；

φ_{ZX} —正向单相接地故障时，保护安装点零序功率的功率因数角；

φ_{FX} —反向单相接地故障时，保护安装点零序功率的功率因数角。

由图四(a)知： $\varphi_{ZX} = -(180^\circ - \varphi_{XA0}) \dots \dots \dots (10)$

由图四(b)知： φ_{FX} 为保护正向系统的零序阻抗($Z_{XA0} + Z_{SL0}$)的阻抗角。

比较图四(a)与图二(c)可知：当保护正向发生单相接地故障时，保护安装处的零序功率方向为受有功，受无功。再由(10)式可知：其功率因数角 φ_{ZX} 为一负值，大小为背后系统零序阻抗角 φ_{XA0} 的补角。

比较图四(b)与图二(a)可知：当保护背后发生单相接地故障时，保护安装处的零序功率方向为发有功，发无功，其功率因数角 φ_{FX} 为正向系统零序阻抗的阻抗角。

当发生两相对地故障时，同样可通过分析复合序网得知：其零序功率方向与单相接地同。

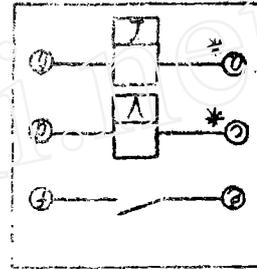
综合上述，不难得出如下结论：

1. 当保护的正面发生不对称接地故障时，保护安装点的零序电流超前零序电压一个角度，此角的大小为保护背后系统零序阻抗角的补角。
2. 当保护背后发生不对称接地故障时，保护安装点零序电流滞后零序电压一个角度，此角度的大小等于保护正向系统的零序阻抗角。

二、零序功率方向元件的试验

零序功率方向元件按其动作原理可分为整流型、感应型和相位比较型等几种。动作原理虽各有不同，但其输入、输出端子和动作特性都是大体相同的。

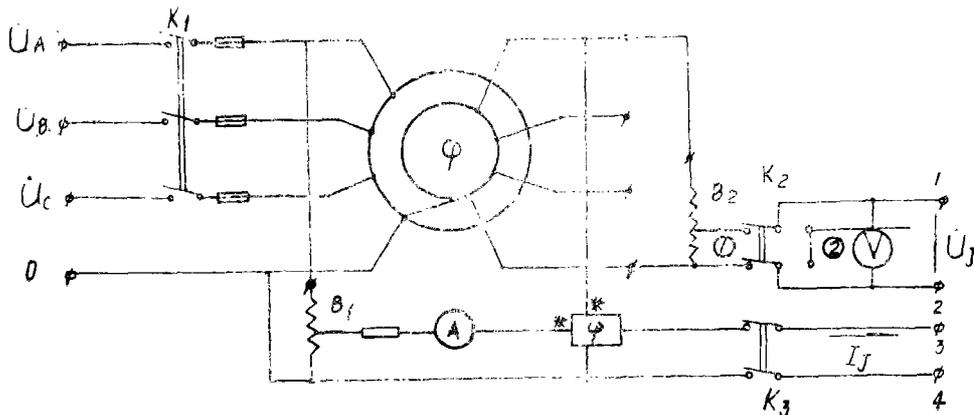
零序功率方向元件的输入、输出端子可用图五来表示，设a、b为电流输入端子，c、d为电压输入端子；e、f为输出端子。在电流、电压输入端子的其中一个端子上标有“※”号，其含意是：如电流由“※”号侧流入；电压高电位加于“※”号侧，功率方向元件的最大灵敏角 φ_{ZLM} 等于 70° 左右。



图五 零序功率方向元件的输入、输出端子

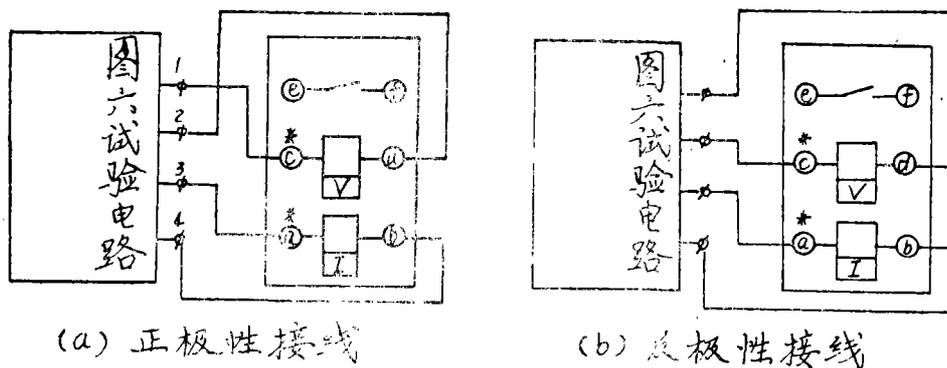
功率方向元件的试验电路如图六所示，变压器 B_1 、 B_2 分别为加于功率方向元件上的电流 I 和电压 U_J 的调整变压器。移相器的作用是调整功率方向元件感受的功率因数角 φ_J 。该角度可借助于相位表 φ 指示出来。电流表A和电位表V分别为 I_J 和 U_J 的指示仪表。

如果将试验电路输出端子1、2加于功率方向元件的电流输入端子；用欧姆表监视功率方向元件的接点；给一定的电流和电压，摇动移相器，则可以测出该电流、电压下功率方向元件的动作区和动作区的两个边角 φ_1 、 φ_2 。在动作区内作 φ_1 、 φ_2 的中分线，即功率方向元件的最大灵敏角 φ_{ZLM} 。用图六试验电路测量零序功率方向元件的动作区时，如将电流 I_J 流出端子“3”和高电位输



图六 功率方向元件试验电路

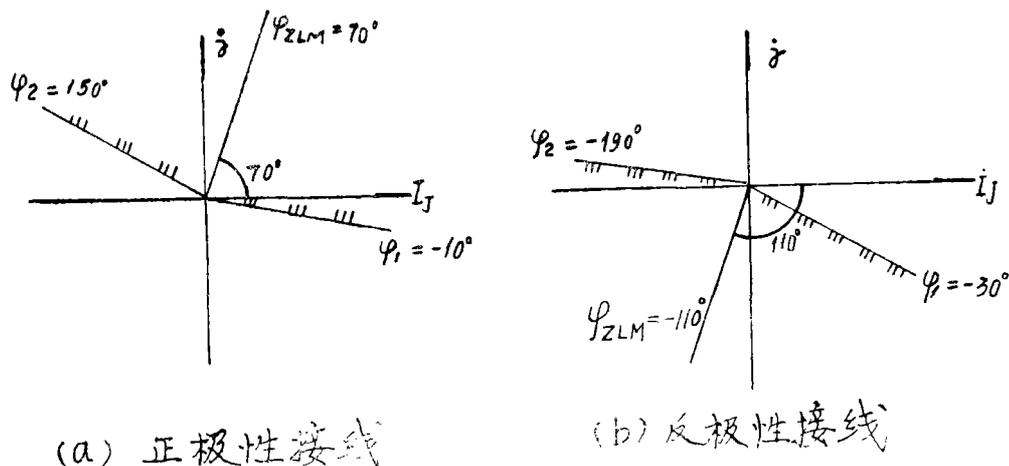
出端子“1”分别接于零序功率方向元件的电流，电压输入端子的“※”号侧，即按正极性接线，如图七(a)所示，则测出零序功率方向元件的最大灵敏角应为 $70^\circ \pm 20^\circ$ ；如将电压输出端子倒一下，将高电位输出端子“1”接零序功率方向元件电压输入端子的非“※”号侧，即按反极性接线，如图七(b)所示：则测得最大灵敏角应减小 120° 变为 $-110^\circ \pm 20^\circ$ 。



图七 零序功率方向元件试验时的接线方式

绘制零序功率方向元件的动作区及其边角 φ_1 、 φ_2 和最大灵敏角 φ_{ZLM} 有两种方法：一种是定电流的 \dot{I}_J 的初相位为零，绘电压 \dot{U}_J 的动作区，因 φ_1 、 φ_2 、 φ_{ZLM} 含义为 \dot{U}_J 超前 \dot{I}_J 的角度，所以上角度如为正数，则应画在超前 \dot{I}_J 的位置，如为负数，则应画在滞后 \dot{I}_J 的位置。

如按图七(a)接线测某零序功率方向元件的参数为： $\varphi_1 = -10^\circ$ ， $\varphi_2 = 150^\circ$ ，动作区为 φ_1 经零度至 φ_2 ，则按上述原则可绘矢量图如图八(a)所示：因 φ_1 为负值，所以画在滞后 \dot{I}_J 的位置； φ_2 为正值，画在超前 \dot{I}_J 的位置；动作区为由 φ_1 经零度至 φ_2 ，图中即 φ_1 线逆时针旋转至 φ_2 所扫过的区域；在动作区内作 φ_1 、 φ_2 的中分线，即可得出最大灵敏角 φ_{ZLM} 。由图知： $\varphi_{ZLM} = 70^\circ$

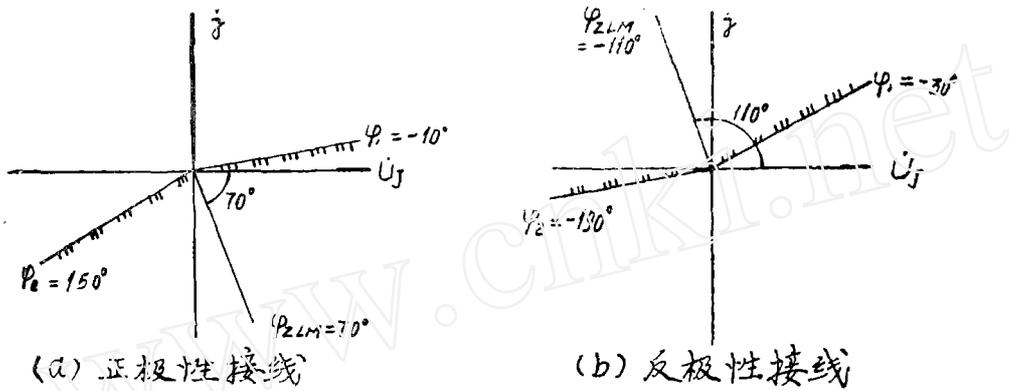


图八 零序功率方向元件的电压动作区

再如按图八(b)接线测得： $\varphi_1 = -30^\circ$ ， $\varphi_2 = -190^\circ$ ，动作区为 φ_1 经 -90° 至 φ_2 ，则可绘矢量图如图八(b)所示：由图知：动作区为由 φ_1 经 -90° 至 φ_2 ，即 φ_1 线沿顺时针方向旋转至 φ_2 所扫过的区域。 φ_{ZLM} 的求法同上，由图知： $\varphi_{ZLM} = -110^\circ$ 。

另一种方法则是电压 \dot{U}_J 的初相位为零，绘电流 \dot{I}_J 的动作区。同样，因为 φ_1 、 φ_2 、 φ_{ZLM} 的含义为 \dot{U}_J 超前 \dot{I}_J 的角度，即 \dot{I}_J 滞后 \dot{U}_J 的角度，所以如上述角度为正数，则应画在滞后 \dot{U}_J 的位置，如为负数，则应画在超前 \dot{I}_J 的位置。此情况下，可绘出零序功率方向元件的电流动作区如图九(a)(b)所示。

有些零序功率方向元件的电流，电压输入端子是用奇数端子号表示“※”号侧的。对于能判断出“※”号侧的零序功率方向元件，可以通过上述试验检查其“※”号标的是否正确；对于不能判断出“※”侧的零序功率方向元件，则可以通过上述试验找出电流、电压输入端子的“※”号侧。



图九 零序功率方向元件的电流动作区

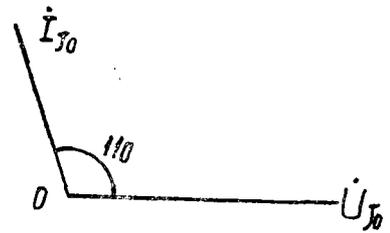
三、零序功率方向元件的接线

由第一部份结论知：当被保护线路的正方向发生不对称接地故障时，保护安装点的零序电流即保护感受电流 \dot{I}_{J0} 超前该点零序电压即保护感受电压 \dot{U}_{J0} 一个角度，此角度的大小等于保护背后系统零序阻抗角的补角。一般认为系统的零序阻抗角为 70° ，所以将 $\varphi_{XA0} = 70^\circ$ 代入(10)式，则可得出在正向不对称接地故障情况下，零序功率方向元件感受的功率因数角 $\varphi_{J0.ZX}$ ：

$$\varphi_{J0.ZX} = \varphi_{ZX} = - (180^\circ - 70^\circ) = -110^\circ$$

根据上式，可绘出正向不对称接地故障时，零序功率方向元件感受的零序电流 \dot{I}_{J0} 和零序电压 \dot{U}_{J0} 的矢量图如图十所示。

比较图十和图九（b）可知，如零序功率方向元件采用反极性接线，当发生正向不对称接地故障时，其感受电流 \dot{I}_{J0} 正好落在它的最大灵敏线上。所以欲使零序功率方向元件在正向故障时动作，必须采用反极性接线。

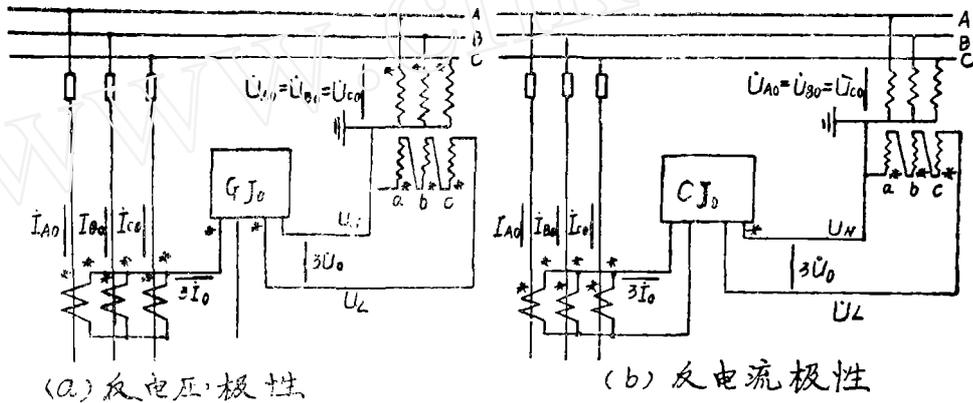


图十

反极性的接法有两种：一种为将零序电压反极性接入，如图十一（a）所示；另一种为将零序电流反极性接入，如十一（b）所示。

图十 正向不对称接地故障时，零序功率方向元件感受零序电流电压矢量图

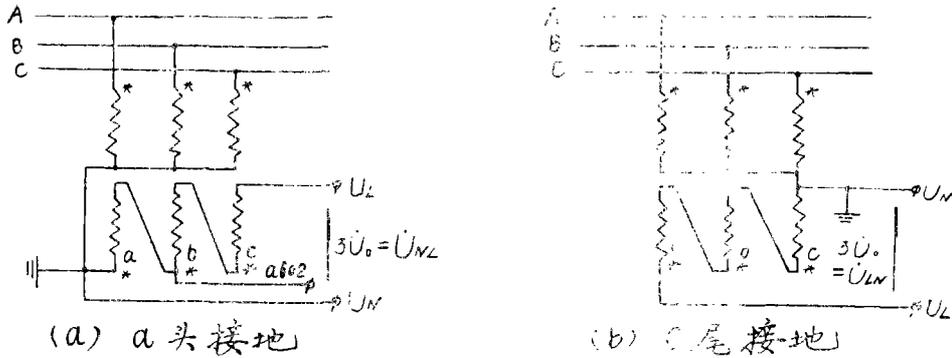
图十一中：电流互感器、电压互感器一、二次都标有“*”号。电流互感器中，一次侧由母线指向线路的电流从“*”号侧流入，根据磁势平衡原理，二次侧必须以“*”号侧作为 $3I_0$ 出才能保证 $3I_0$ 与一次零序电流同相位，电压互感器中，一次侧线路电压加入“*”侧，所以二次电压 $3U_0$ 必须规定由“*”号侧指向非“*”号侧，才能保证其与一次电压同相位。由图十一知：所谓反极性接线，就是电流互感器付边的“*”号侧接零序功率方向元件的“*”号侧，而电压互感器付边的“*”号侧，接零序功率方向元件电压线圈的非“*”号侧；或电流互感器付边“*”号侧接功率方向元件电流线圈的非“*”号侧，而电压互感器付边的“*”号侧接零序功率方向元件电压线圈的“*”号侧。



图十一 零序功率方向元件的接线

如果我们的注意力集中在“*”号，非“*”号上，零序功率方向元件的方向一般是不会接错的。出错误一般出在电压互感器开口三角的引出线上。如图十二所示：开口三角引出线接地的一根称之为 U_N ，另一根称之为 U_L ，如开口三角 a 相“*”号侧接地，即 U_N 为开口三角“*”号侧， U_L 为非“*”号侧，如图十二（a）所示；如果 C 相非“*”号侧接地，则 U_L 为开口三角的“*”号侧，而 U_N 为开口三角的非“*”号侧，如图十二（b）所示。

这两种引出线方式现在都存在，七〇年以后的新设计，大都为 a 头（头指“*”号侧，尾指非“*”号侧，下同）接地。

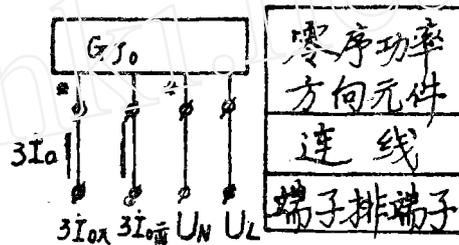


图十二 开口三角输出电压两种引出线方式

目前所出保护，大都为套块保护屏，盘内接线已接好， $3I_0$ 入、 $3I_0$ 出、 U_L 、 U_N 的接入部位已在端子排上标了出来。制造厂家无论进行上述工作还是编写试验规程，都是以图十二中其中一种开口三角接地部位为依据的，因此该保护屏只适用于这一种情况。而设计部门如果忽略了这一点，一旦出现了设计单位设计的开口三角接地部位与保护制造厂家所规定的接地部位不一致的情况，就会导致零序功率方向元件方向接反。

例如：保护制造厂家规定开口三角 C 尾接地时， $3I_0$ 、 $3U_0$ 输入端子与零序功率方向元件 GJ₀的连接如图十三所示：显然，当图十三的 U_L 、 U_N 与图十二 (b) 的 U_L 、 U_N 相连接时，零序功率方向元件为反极性接线。此保护屏遇到 a 头接地的情况 (如图十二 (a) 所示)，依然按照保护屏上的标示将 U_L 、 U_N 接入零序功率方向元件即成为正极性接线，就会造成零序功率方向元件的方向接反。

为了便于检查盘内接线是否正确，我们将各种情况下零序功率方向元件与端子排 $3I_0$ 入、 $3I_0$ 出、 U_L 、 U_N 端子的连接列入表 1 中：



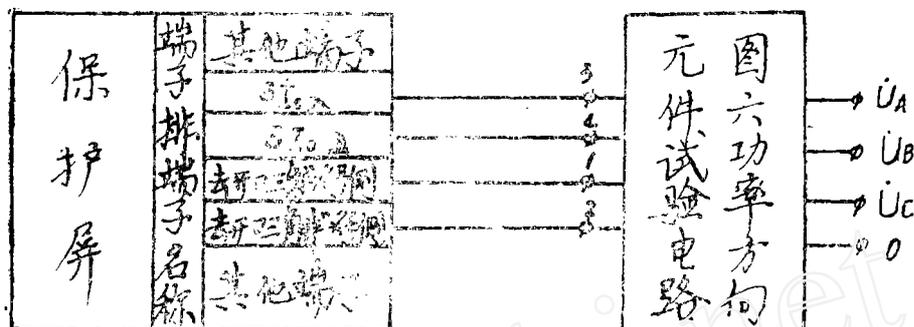
图十三 开口三角为 C 在接地时， $3I_0$ 、 $3U_0$ 输入端子与零序功率方向元件的连接

表一 各种情况下零序功率方向元件与端子排 $3I_0$ 入、 $3I_0$ 出、 U_L 、 U_N 端子的连接

GJ ₀ 与端子排类别 开口三角自接地情况	反电压极性	反电流极性
	a相“*”号侧接地	
C相非“*”号侧接地		

四、零序功率方向元件的端子排试验和模拟动作

为了检查包括盘内接线在内的零序功率方向元件接线是否正确，可以用图六功率方向元件试验电路通过在端子排上引入试验电压、电流的方法检查零序功率方向。试验接线如图十四所示，试验方法同单个功率方向元件。



图十四 零序功率方向元件端子排试验电路

如测得最大灵敏角 $\varphi_{ZLM} = -110^\circ$ 左右，则说明接线正确。图中：去开口三角“*”号侧端子是指去开口三角a相“*”号侧的端子，如开口三角a相“*”号侧接地，则为U_N端子；如开口三角C相非“*”侧接地，则为U_L端子。这种检查方法对于各种情况都是适用的。如测得方向不对，则应以试验电路、盘内接线、零序功率方向元件为顺序，逐级检查，找出错误所在并予以纠正。

作此试验时，要拆除3i₀入、3i₀出、U_L、U_N端子与外部连接，以防造成短路。

当保护盘PT、CT回路引入后，为检查包括PT、CT回路在内的零序功率方向元件接线有无错误，还要作模拟试验。方法是人为地给保护一一定相位的零序电压和不同相位的零序电流，以模拟正、反向故障，检查零序功率方向元件的动作行为是否正确。

人为制造零序电压的方法是改变电压互感器端子箱内的开口三角接线。对于开口三角为C尾接地的情况，参阅图十二(b)，可将U_L线由a头移至b头，此时：

$$3\hat{u}_0 = \hat{u}_b + \hat{u}_c = -\hat{u}_a$$

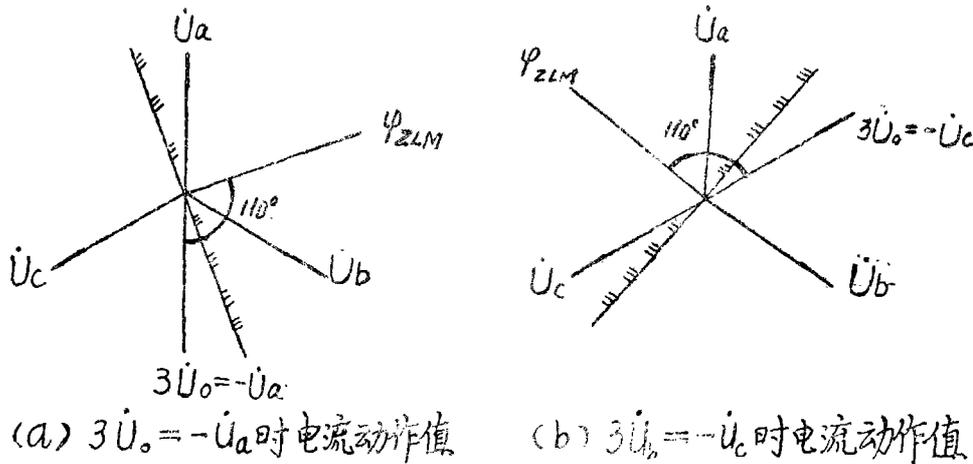
其矢量图和电流动作区如图十五(a)所示；如属a头接地，参阅图十二(a)，可将u_L线由c尾移至b尾，此时：

$$3\hat{u}_0 = \hat{u}_a + \hat{u}_b = -\hat{u}_c$$

其矢量图和电流动作区如图十五(b)所示。

开口三角为a头接地的电路，有时将a尾(ab02线)引至主控室，参阅图十二(a)。此情况下，可将保护屏上U_N端子及U_a、U_b、U_c端子外侧接线拆掉，将ab02线接于U_N端子上，

图十五 两种情况下的电流动作区



此时:

$$3\dot{u}_0 = \dot{u}_b + \dot{u}_c = -\dot{u}_a$$

其矢量图和电流动作区同图十五(a)所示。

模拟好 $3\dot{u}_0$ 之后, 便可以用单独通入各相电流的办法使零序功率方向元件感受不同的功率方向, 以检查其动作行为。

单独通入 a 相电流时, 其端子排短接和拆线情况如图十六(a)所示: 此时:

$$3\dot{i}_0 = \dot{i}_a$$

同理, 单独通入 b 相电流时, $3\dot{i}_0 = \dot{i}_b$

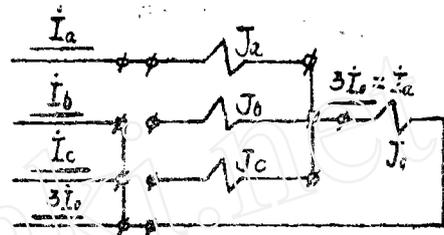
单独通入 c 相电流时:

$$3\dot{i}_0 = \dot{i}_c$$

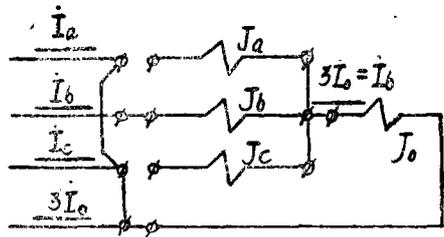
单独通入 b、c 相电流时, 端子排短接和拆线情况如图十六(b)(c)所示。

究竟单独通入那一相电流零序功率方向元件动作, 决定于线路输出功率的功率因数角 φ , 该角度可根据线路输出功率情况由(1)~(5)式算出。角度 φ 算出后, 就可以根据模拟电压情况将各相电流画入图十五的(a)或(b)中。最接近灵敏角 φ_{ZLM} 的一相应该动作; 处于非动作区的一相当制动; 处于动作区边缘的一相可能动, 也可能不动。将测试结果与分析结果用列表法进行比较, 如果是一致的, 说明整个零序功率方向部份接线正确。

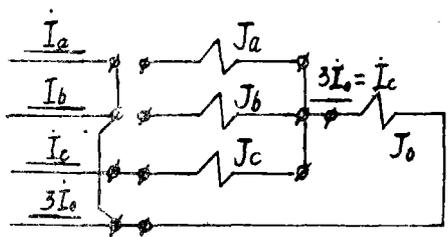
例一: 模拟零序电压 $3\dot{u}_0 = -\dot{u}_a$, 线路为送有功, 送无功, $P = 17.3\text{MW}$, $Q = 10\text{MW}$ 。试



(a) 单独通入 \dot{i}_a , $3\dot{i}_0 = \dot{i}_a$



(b) 单独通入 \dot{i}_b , $3\dot{i}_0 = \dot{i}_b$



(c) 单独通入 \dot{i}_c , $3\dot{i}_0 = \dot{i}_c$

图十六 单独通入一相电流时, 端子排拆线图

分析单独通入各相电流时，零序功率方向元件的动作行为。

解：①将P、Q值代入(1)式，算出功率因数角 φ

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{|Q|}{|P|} = \text{tg}^{-1} \frac{10}{17.3} = \text{tg}^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}} = 30^\circ ;$$

②根据 $\varphi = 30^\circ$ ，将三相电流画入图十五(a)中，如图十七所示。由图知： i_b 距 φ_{ZLM} 最近；

i_b 在动作边缘； i_c 在非动作区。所以应是：单独通入 i_a 时动作；单独通入 i_b 时临界；单独通入 i_c 时制动。将分析和试验结果列入表二中。

表二 零序功率方向元件模拟试验记录表

试验条件	$3\dot{U}_0 = -\dot{U}_a$ $Q = 10\text{MW},$ $P = 17.3\text{MW}$ $(\varphi = 30^\circ)$		
通入电流	\dot{I}_a	\dot{I}_b	\dot{I}_c
分析结论	动	临界	不动
试验结果	动	不动	不动

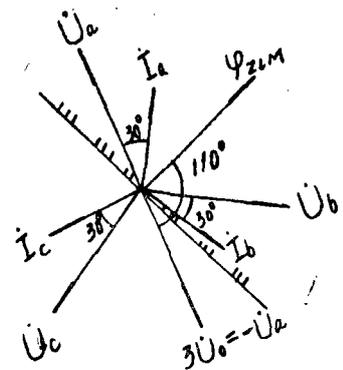
例二：模拟零序电压 $3\dot{u}_0 = -\dot{u}_a$ ，线路为受有功10MW，受无功10MWR，即： $P = -10\text{MW}$ ， $Q = -10\text{MWR}$ 。试分析通入各相电流时，零序功率方向元件的动作行为。

解：①根据(3)式，算出功率因数角 φ ，

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{|Q|}{|P|} - 180^\circ = \text{tg}^{-1} \frac{10}{10} - 180^\circ = 45^\circ - 180^\circ =$$

-135°

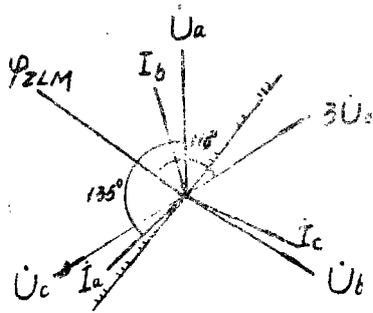
③根据 $\varphi = -135^\circ$ ，将各相电流画入图十五(b)中，如图十八所示。由图知： i_b 在动作区； i_c 在非动作区； i_a 在动作区边缘。所以零序功率方向元件的动作行为应是：单独通入 \dot{I}_a 时，处于临界状态；单独通入 i_b 时，动作；单独通入 i_c 时，制动。将分析、试验结果列入表三中。



图十七

表三 零序功率方向元件模拟试验记录表

试验条件	$3\dot{U}_0 = -\dot{U}_c$, $P = -10\text{MW}$ $Q = -10\text{MWR}$, $(\varphi = -135^\circ)$		
通入电流	I_1	I_2	I_3
分析结论	临界	动	不动
试验结果	不动	动	不动



图十八

五、结论与建议

使用人员对设备不熟悉,图纸不统一和没有完整的试验规程,是造成零序功率方向元件接错的主要原因。为避免这种情况再次发生,建议电力部门与保护制造厂家,尽早统一电压互感器开口三角接地部位的规定,并编写出能有效防止零序功率方向元件方向接反的试验规程。

比较电气量绝对值阻抗继电器的分析方法

武汉供电局 严进之

前 言

PLH—11/B型和PLH—12/AI型距离保护中,用作起动元件和测量元件的阻抗继电器,都是按比较电气量绝对值原理构成的带偏移特性和方向特性的阻抗继电器,后者为了消除靠近母线短路时,因测量电压为零而出现死区,故在工作和制动回路中,分别引入了插入电压 U_T ,作为方向特性阻抗继电器,要求两回路中的插入电压 U_T 的幅值相等,并和变压器YB引入的测量电压 U_y 同相位,否则阻抗继电器的特性将起变化,一般资料上,对于方向阻抗继电器特性圆的推导,采用令插入电压 \dot{U} 和 $\dot{U}_y - \dot{U}_K$ 间的角度为 $-\frac{\pi}{2}$ 来导出特性圆的公式

这个方法不能充分说明插入电压的加入所起的作用,两回路中各个电压量间的关系,及其对特性圆的影响也表达不详,为了详细导出阻抗继电器在电抗变压器DKB和插入电压变压器JYB二次匝数不相等,并和测量变压器YB相位不同时的动作特性和普遍公式,本文中采用“同径圆”作图法,可以很方便的作出具有插入电压的阻抗继电器的用电压表示的特性圆图,并从而导出相应的阻抗特性普遍公式,有了普遍公式,在特定条件下,只要代入相应的