

阻抗继电器接线方式的讨论

河北电力学院 杨奇逊

(一) 引言

任何方向阻抗继电器的动作原理,实质上都是反映补偿电压的相位变化。保护BC相间短路的继电器的补偿电压为:

$$\dot{U}_{BCL} = \dot{U}_{BC} - (\dot{I}_B - \dot{I}_C) Z_1 L \quad (1)$$

保护A相接地的阻抗继电器的补偿电压是:

$$\dot{U}_{AL} = \dot{U}_A - (\dot{I}_A + K_3 \dot{I}_Q) Z_1 L \quad (2)$$

式中 Z_1 为线路每公里正序阻抗, L 是保护范围。

保护范围末端短路补偿电压为零,继电器处在动作边缘,区内和区外短路两种情况下,补偿电压相位相差 180° 。为了检出这一相位变化,必须引入极化电压,取什么样的电压作极化电压,对方向阻抗继电器的性能有很大关系。本文提出一种接线方式,比较式(1)和式(2)决定的两个电压的相位,使继电器动作条件为:

$$180^\circ > \arg \frac{\dot{U}_{BCL}}{\dot{U}_{AL}} > 0 \quad (3)$$

可见其实质是取相间短路和接地短路的补偿电压互为极化分量,这就可以同时保护接地及相间短路。在保护区内A相接地时, \dot{U}_{AL} 反相 \dot{U}_{BCL} 相位不变,继电器动作;BC相间短路时, \dot{U}_{BCL} 反相 \dot{U}_{AL} 相位不变,继电器也可以动作。相应地,另两个继电器的动作条件分别是:

$$180^\circ > \arg \frac{\dot{U}_{CAL}}{\dot{U}_{BL}} > 0 \quad (4)$$

$$180^\circ > \arg \frac{\dot{U}_{AL}}{\dot{U}_{CL}} > 0 \quad (5)$$

用以反映B相接地CA相间短路和C相接地AB相间短路。上述三个继电器联合,可以反映所有的不对称短路,但不保护三相故障,因为区内三相短路所比较的两个电压将同时反相,所以必须加装一个普通方向阻抗继电器用以保护三相短路。从以后的分析将可以看到,这样的接线方式不仅可以同时反映接地和相间故障,而且在性能上还有一系

列可取之处。

应当指出,按式(3)至式(5)构成阻抗继电器,并不需要相间和接地两套电压形成回路,实际上只要一套接地型阻抗继电器的电压形成回路,获得三个补偿电压,

$$\dot{U}_{AL} = \dot{U}_A - (\dot{I}_A + K_3 \dot{I}_0) Z_1 L$$

$$\dot{U}_{BL} = \dot{U}_B - (\dot{I}_B + K_3 \dot{I}_0) Z_1 L$$

$$\dot{U}_{CL} = \dot{U}_C - (\dot{I}_C + K_3 \dot{I}_0) Z_1 L$$

然后用三个继电器分别比较其中一个电压和另两个电压之差的相位即可,因为任两个补偿电压相减时另序补偿部分可以抵消。

(二) 继电器在各种故障情况下的行为分析

一、单相接地短路

以A相故障为例,此时反映 \dot{U}_{AL} 和 \dot{U}_{BCL} 相位的继电器(以下简称A相继电器)为故障相。由式(3)可见,本方案的特点是取保护范围末端(L点)的两个非故障相间电压为极化电压。而通常的接地阻抗继电器,无论是取非故障相电压,还是由故障相电压经记忆获得,都是取的母线电压。正是由于这一差别,带来了如下的好处:

1.能补偿负荷分量对继电器性能的影响,保证保护范围边缘短路时继电器处在最灵敏的工作状态。

众所周知,A相接地可以看成短路前的负荷状态(下标f)和在短路点加上电势 $-U_A$ (U_A 为该点短路前的电压)所造成的事故分量(下标s)的叠加。 \dot{U}_{AL} 的负荷分量 \dot{U}_{ALf} 必超前 \dot{U}_{BCLf} 90° ,但母线电压的负荷分量 \dot{U}_{ALf} 则同 \dot{U}_{ALf} 之间有一个角差 θ ,如图

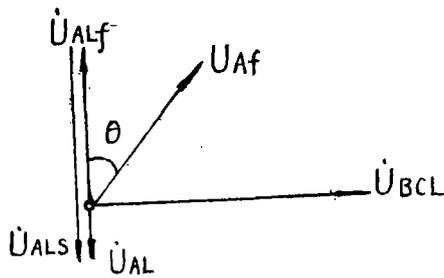


图 一

一所示。A相接地 \dot{U}_{BCL} 的事故分量为零, \dot{U}_{AL} 的事故分量则决定于短路点远近,图一示出了在区内靠近末端A相接地的事故分量 \dot{U}_{AL} ,显然它必同 \dot{U}_{ALf} 反相,而绝对值略大,因而合成的 \dot{U}_{AL} 落后于 \dot{U}_{BCL} 90° ,使继电器灵敏地动作。从图一可见,如果以母线上电压为极化电压,则在这种情况下极化电压同补偿电压之间的相位将

偏离最灵敏角度一个 θ 角,从而造成阻抗园旋转,精工电流增大等恶果。

2.反方向接地故障不会误动

通常的接地阻抗继电器在反方向接地故障时可能误动作,一般都要采取闭锁措施。这种误动作的实质是由于极化电压取自母线电压,而补偿电压是离母线距离为L处的相

电压，反方向接地故障时另序电流在L长线路上的压降使这两个电压之间的相位移动而进入动作区。对本方案来说，由于极化电压和补偿电压都补偿到了L点，显然任何种类的反方向故障不会改变L点三相电压的相序，因此继电器不会误动作。

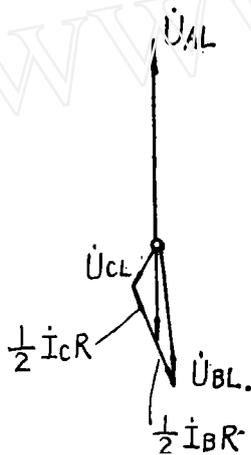
二、两相短路

以BC两相短路为例，故障继电器以非故障相电压 \dot{U}_{AL} 为极化电压，同通常的以母线电压为极化分量的相间阻抗继电器相比，它也能保证在计及负荷分量的条件下，使继电器在保护范围边缘短路时具有最灵敏的比相条件，道理同前述类似，不再赘述。

另一个特点是在保护范围末端金属性两相短路时两个非故障继电器也处在动作边缘，因而区内两相短路三个继电器都能动作。图二示出内部BC两相短路的向量图，根据式(3)至式(5)不难看出，三个继电器都能动作，只是故障继电器处在最灵敏的状态 \dot{U}_{AL} 落后于 \dot{U}_{BC} 90° ，两个非故障继电器虽然也在动作区但不处在最灵敏状态。应当指出，两个非故障继电器虽然不处在理想比相条件，但不会因故障点过渡电阻而发生“超越”现象，这一点同以下将分析的两相短路接地故障不一样。用阻抗圆的方法来分析也可以得到这一结论，但比较繁琐，我们可以方便地用向量图来说明。图三画出保护范围末端BC两相经过渡电阻R短路的向量图，可见两个非故障继电器都只会因过渡电阻缩小保护范围，但不会超越。



图二



图三

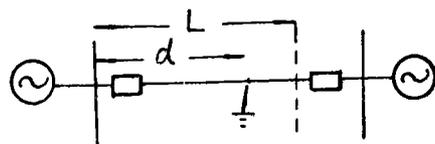
三、两相短路接地

对于两相短路接地，要注意下述两个问题：

1. 正方向近处两相短路接地继电器可能拒动，以BC两相故障为例分析如下：

保护区内BC两相短路接地时， \dot{U}_{AL} 不再是L点A相的实际电压。这是因为全线各处非故障相的全电流虽然不变，但故障点两侧零序电流和正序电流的分配系数不一定相同，因而从d点以远(图四)非故障相电流中各序分量的比例同保护安装处不同。按保护安装处所含另序电流比例而设的另序电流补偿措施显然不适合于d到L之间的一段距离。d点越靠近母线，两侧正序和另序分配系数差别

越大， \dot{U}_{AL} 同L点A相的实际电压差别也就越大。在某些情况下，甚至可能造成BC两相短路接地，而继电器测量到的非故障相补偿电压 \dot{U}_{AL} 也反相，那么继电器就要拒动，幸好这一缺点不致造成保护拒



图四

动, 因为如果两相短路接地的故障点近到使非故障相补偿电压也反相, 那么接任意相的反映三相短路的普通方向阻抗继电器可以动作而切除这种故障。就这一点看, 采用普通的相间阻抗继电器来保护三相短路比接地型阻抗继电器好, 如用接A相的普通接地型阻抗继电器, 则在BC两相接地短路, 而 $\dot{U}_{AL} \approx 0$ 的边缘状况下, 它动作也不够可靠。显然接任意两相的相间阻抗继电器在这种情况下必能可靠动作。

2. 超越问题

对于BC两相短路接地, 从相间短路的角度看, 反映 \dot{U}_{BC} 和 \dot{U}_{AL} 相位的A相继电器算故障相继电器, 如果从接地短路的角度看, 那么反映 \dot{U}_{BL} 和 \dot{U}_{CL} 的B相和C相继电器也是故障相。因而对金属性两相短路接地故障, 三个继电器具有相同的保护范围。图五画出了区内金属性BC两相接地的向量图, 根据式(3)~(5)的动作条件不难看出, 此时三个继电器都能动作, 只是A相继电器反映的两个电压 \dot{U}_{AL} 和 \dot{U}_{BC} 相差 90° , 处在最灵敏的状态, B相和C相继电器极化电压和补偿电压之间的相位则偏离了 90° 位置。众所周知, 极化电压偏离最灵敏相角将造成继电器动作园偏转, 图六示出了正方向保护范围末端附近BC两相短路接地时, B相和C相继电器的动作园。

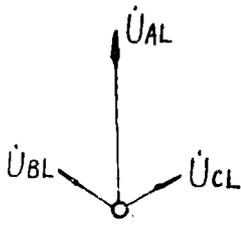


图 五

相短路接地时, B相和C相继电器的动作园。图中 Z_c 为母线背后阻抗, B相的动作园向右偏转了 30° , C相则向左偏转了 30° 。对B相继电器来说, 向右偏转的后果是: 一方面增加了经过渡电阻内部故障动作的可靠性; 一方面增大了过渡电阻造成的超越范围。不过由于最大偏离角不超过 30° , 比之园不转所增加的超越范围不致很大。实际上目前大量采用的各种方向阻抗继电器由于下述原因, 对所有故障都存在着极化电压相位偏移因而动作园偏转的情况, 这些原因是:

1. 电网低周率运行造成带记忆回路的极化电压相位移动。

2. 由于两侧电势角不同造成取自母线的极化电压同保护范围末端短路的补偿电压之间的相位变化。

而且, 对于送电端, 上述两个因素还要累加起来。对于本方案, 这两个因素都是不存在的。还应当指出, 对于用母线上非故障相电压为极化电压的接地方向阻抗继电器, (例如LH-12), 在两相短路接地时也存在因极化电压相位变化而使动作园旋转的情况, 特别是在母线背后阻抗较大的情况, 同本方案实际上一样。

• 4 •

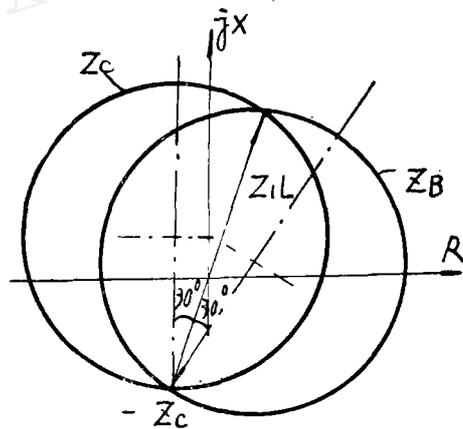


图 六

四、振荡

这种继电器不反映纯振荡，三相短路以及过负荷，因为所有这些情况继电器感受的三个补偿电压仍然是对称的三相正序电压，从式(3)一(5)不难看出此时三个继电器都不会动作。分析指出，它虽然不反映纯振荡，但对于振荡中又发生不对称短路，而振荡中心又落在故障点和保护范围末端之间的情况，仍然会不正确动作。这种不正确动作包括区外短路误动和区内短路拒动，不过这种可能性极小，而且只发生在振荡角接近 180° 的一段时间内，因篇幅所限分析从略。所以如果采用这种接线方式，仍然应经过振荡闭锁，但要求可降低，例如可只闭锁I段。

(三) 评价

综上所述，可对本方案作出如下评价

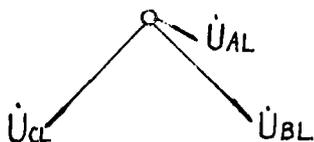
一、它可以避免复杂的相别切换，同时反应所有的不对称短路。虽然要增加一个反映三相短路的继电器，但实际只要加一个带记忆的极化变压器和执行元件，主要的部分——补偿电压系统可以公用。而且由于三个保护不对称短路的继电器不需要记忆装置因而可使装置的结构和调试得到简化。

二、这种接线方式在性能上还有一系列可取之处，归纳如下：

1. 在保护范围边缘短路不受两侧电势角的影响。
2. 反方向接地故障不会误动。
3. 两相短路和两相接地故障三个继电器都能动作，在一定程度上起到了多重化作用。
4. 没有记忆装置，因而避免了分析调试上的许多复杂问题。
5. 对振荡闭锁的要求可降低。

三、这种方案实质上同比较三个补偿电压—— \dot{U}_{Al} 、 \dot{U}_{Bl} 、 \dot{U}_{Cl} 的相位顺序的多相补偿继电器基于同一原理。但是比较相序的原理只适用于晶体管保护，并且这一原理对于开关三相不同时和抗干扰等方面尚存在一些问题。

本文使这一原理可以用已有大量运行经验的，比较有把握的比相机构来实现，特别是可以由整流型原理来实现。此外，比较相位顺序的原理应用于接地故障是不合适的，因为它受过渡电阻影响大，会使保护范围缩短较多。例如区内A相经过渡电阻接地的向量图可能如图七所示，此时相序还是正的，比较相位顺序的继电器将拒动。本方案比较 \dot{U}_{Al} 和 \dot{U}_{BCL} 的相位，显然在这种情况下还是可以动作的。对于两相短路接地故障也有类似情况，不再赘述。



图七

的，比较相位顺序的继电器将拒动。本方案比较 \dot{U}_{Al} 和 \dot{U}_{BCL} 的相位，显然在这种情况下还是可以动作的。对于两相短路接地故障也有类似情况，不再赘述。