

介绍两种小电流接地系统线路保护的改进方案

许昌继电器厂 于世荣 何企刚

一 前言

小电流接地系统的地区性电网,在整个电力系统中占着相当重要的位置,尤其是在一些特殊地区性电网(如雷雨季节较长及山区地区),采用中心点不接地或中心点经消弧电抗接地的小电流接地系统作为地区性电网的供电方式。

在小电流接地系统中,单相接地短路时,保护可以不跳闸,因为这种情况下经接地相的故障电流是非故障相对地的电容电流。因这种电容电流幅值较小,所以在电流过零时可以自动熄弧。保护不跳闸,仍维持供电。另外,在小电流接地系统的线路保护中,一般的电流保护和距离保护基本都采用A、C两相电流互感器的接线方式,这种接线方式具有接线简单及两点接地故障时又有三分之二机会切除一个故障点的优越性。由于小电流接地系统具备上述这些主要特点,运行中有利于系统的稳定性,故在低压输电系统中被广泛应用。

长期以来,运用于小电流接地系统的距离保护装置:PXH—01及PXH—02距离保护分别采用了 $U_{\phi-\phi}/I_{\phi} + K 3 \dot{I}_0$ 所谓“+30°”接线的“接地—相间”切换方式,以及 $\dot{U}_{AB}/\dot{I}_A - (-\dot{I}_A - \dot{I}_C)$ 、 $\dot{U}_{BC}/(-\dot{I}_A - \dot{I}_C) - \dot{I}_C$ 、 $\dot{U}_{CA}/\dot{I}_C - \dot{I}_A$ “假B相”的三相式0°接线方式。但经过实际运行,一些供电部门认为原有的距离保护不能满足110kV小电流接地系统的运行要求。交流测量回路由于接线方式的局限性,在不同类型的故障时,其测量范围有所变化,降低了保护的灵敏度。直流逻辑电路中有些回路的设置比较复杂,也不方便运行与调试。另外,加上铁路电气化工程产生的负序和谐波对电力系统的影响,使保护性能进一步恶化,一些使用部门急需生产厂家制造出一种更适应于实际运行的线路保护装置。因此,我们同西南电管局,重庆电业局共同研究讨论两种小电流接地系统的保护方案,即:方案一作为两侧电源的小电流接地系统的距离保护;方案二作为单侧电源的小电流接地系统的距离保护。这两种方案在交流测量的原理接线方式上,以及相应的直流逻辑回路中都作了改进,提高了保护在实际运行中的适应性。保证了保护的可靠性。

二 原有距离保护存在的问题

1. PXH—01型线路保护屏存在的问题

此线路保护是采用+30°接线的“接地—相间切换方式”的方向阻抗继电器。正常

作为相间距离运行，当系统发生两点接地短路时，才将其切换为接地距离运行，用以切除两点接地故障。

在不同故障时的测量阻抗为：

相间短路时：

$$Z_{CL} = \dot{U}_{\varphi-\varphi} / \dot{i}_{\varphi} = \frac{2 \dot{I}_{\varphi}}{1_{\varphi}} \cdot Z_1 = 2 Z_1$$

三相短路时：

$$Z_{CL} = \dot{U}_{\varphi-\varphi} / \dot{i}_{\varphi} = \frac{\dot{U}_{\varphi-\varphi}}{1_{\varphi}} \cdot Z_1 = \sqrt{3} e^{j30^\circ} \cdot Z_1$$

接地短路时，为了获得相同于相间短路时的测量阻抗值，利用零序电流重动继电器将 $\dot{U}_{\varphi-\varphi}$ 切换为 \dot{U}_{φ} ，同时将变压器变比升高一倍，从而测量阻抗为：

$$Z_{CL} = 2 \dot{U}_{\varphi} / \dot{i}_{\varphi} + k 3 \dot{i}_0 = 2 Z_1$$

从以上看出，在相间短路和接地短路时的测量阻抗是相同的，均为 $2 Z_1$ ，而三相短路的测量阻抗较相间短路的测量阻抗在数值上减小 $1 - \frac{\sqrt{3}}{2}$ 倍，在相位上超前了 30° 。在理论上讲，三相短路时的测量阻抗恰落在以 $2 Z_1$ 为直径的阻抗特性圆的圆周上，如图 1 所示，亦即此种接线的方向阻抗继电器在各种短路时的保护范围是相同的。

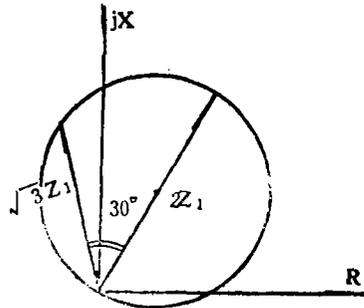


图 1

但是，应当指出，上述结论只是当系统频率稳定，短路时不计及负荷电流的影响，稳态的情况下，方是成立的。当考虑到以上因素影响时，按上述接线构成的方向阻抗继电器显然具有下列问题：

(1) 当系统频率变化时，将使三相短路时的保护范围发生较大的伸长或收缩。

众所周知，具有极化电压的方向阻抗继电器，在极化电压回路中设有谐振回路。由于回路调谐在额定工频下谐振，因此对系统频率的变化最为敏感。当系统频率偏离极化回路的谐振频率时，由于极化电压与工作电压产生了相角差 δ ，使得方向阻抗继电器动作特性发生了变化。如图 2，此时方向阻抗继电器的动作阻抗为：

$$Z_L \leq \frac{Z_z}{\cos \varphi} \cdot \cos(\varphi_K - \varphi_I - \delta)$$

式中 Z_L 表示在 φ_I 方向的测量阻抗，

$Z_z = K_K / K_R$ —继电器整定阻抗的幅值，

φ_K —DKB 的转移阻抗角，

由上式所确定的动作特性为以 $Z_z / \cos \delta \cdot e^{-j\delta}$ 为直径，以 Z_z 为弦的圆。在 δ 变化时为以 Z_z 为公共弦，以 $Z_z / \cos \delta \cdot e^{-j\delta}$ 为直径的一族圆。因而方向阻抗继电器的频率

特性具有以下特点:

I、系统频率偏离极化回路相位谐振频率时,出现 δ 角动作特性圆变大,直径变大 $1/\cos\delta$ 倍。

II、多数方向阻抗继电器在频率低时, δ 为正,特性圆顺时针旋转 δ 角;频率升高时, δ 为负,特性圆反时针旋转 δ 角, δ 为频率的增函数即 $\Delta f \uparrow, \delta \uparrow$,具体函数关系由极化回路参数确定。

III、频率变化时,阻抗元件在转移阻抗角 φ_K 下的保护区 Z_Z 不变;在小于 φ_K 侧频率下降时保护区增长,在大于 φ_K 侧频率下降时保护区缩短。其频率特性如图2所示。

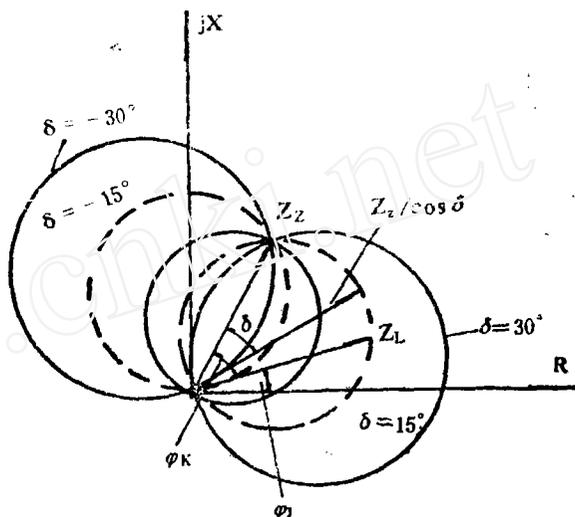


图2

IV、频率变化时,作相间距离运行的“接地—相间切换式方向阻抗继电器”的动作特性具有以下特点:

a、对装在送有功送无功线路侧的切换式方向阻抗继电器,在频率降低时,由于特性圆变大,且顺时针方向旋转(往第IV象限偏移),继电器过负荷阻抗的能力将要恶化,在频率升高时,由于圆逆时针旋转(往第III象限偏移)躲负荷能力有所增强。

b、由于三相短路的测量阻抗超前线路阻抗角 φ_L 等于阻抗元件转移阻抗角 $\varphi_K 30^\circ$ 的条件,即超前 $\varphi_K 30^\circ$,在系统频率降低时,特性圆顺时针旋转,三相短路的保护区要缩短;在系统频率升高时,特性圆扩大,并反时针旋转,因而三相短路的保护区增长。应当指出,在频率变化较大时,三相短路的保护区变化较大。如图3所示。在图中 Z 表示额定频率时三相短路的保护区, $Z = \sqrt{3} Z_L$; Z' 表示频率降低 Δf 时,三相短路的保护区, $Z' < Z$; Z'' 表示频率升高 Δf 时,三相短路的保护区, $Z'' > Z$ 。

(2) 由于非故障相负荷电流的影响,使得两短路时测量阻抗无论在数值上还是在相位上均偏离方向阻抗继电器的整定阻抗,从而使得两相短路时保护区发生变化。

以BC相短路,B相阻抗继电器为例说明:短路时BC相残压及B相电流如下:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{BC} &= (\dot{I}_{KB} + \dot{I}_{KC}) Z_1 + (\dot{I}_{HB} - \dot{I}_{HC}) Z_1 \\ &= 2 \dot{I}_{KB} Z_1 + 2 \dot{I}_{HB} Z_1 - \dot{I}_{HB} Z_1 - \dot{I}_{HC} Z_1 \\ &= 2 Z_1 (\dot{I}_{KB} + \dot{I}_{HB}) + \dot{I}_{HA} Z_1 \end{aligned}$$

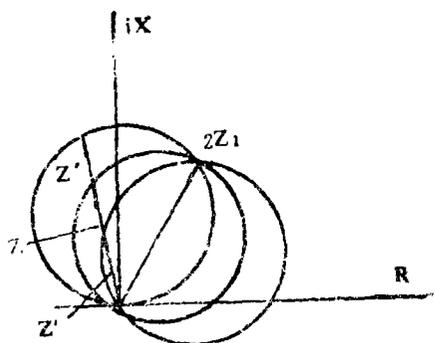


图3

$$\begin{aligned} \dot{i}_B &= \dot{i}_{KB} + \dot{i}_{HB} \\ Z_p &= \frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{i}_B} = \frac{2Z_1(\dot{i}_{KB} + \dot{i}_{HB}) + \dot{i}_{HA} \cdot Z_1}{\dot{i}_{KB} + \dot{i}_{HB}} \\ &= 2Z_1 + \frac{\dot{i}_{HA}}{\dot{i}_{KB} + \dot{i}_{HB}} \cdot Z_1 \end{aligned}$$

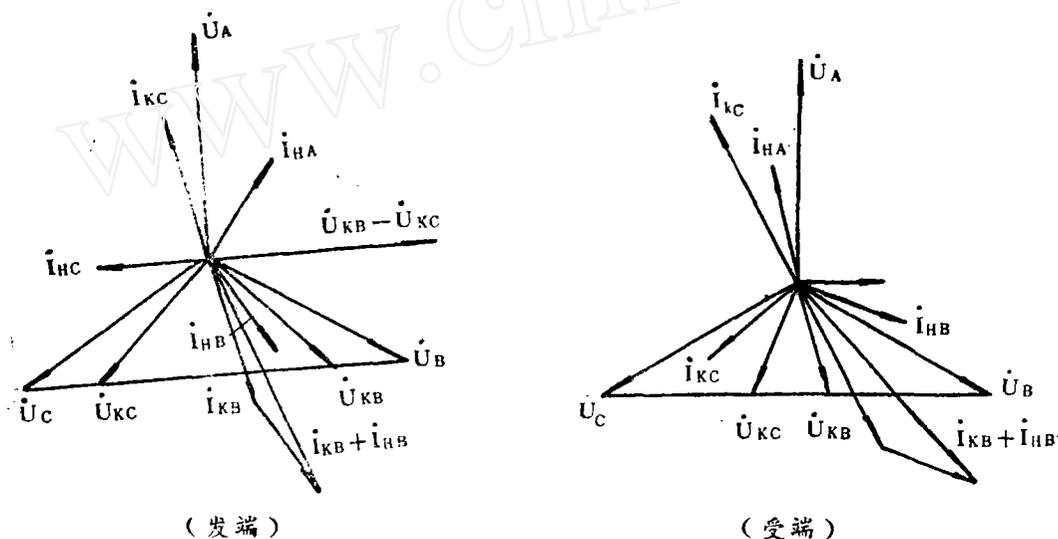


图 4

式中 \dot{i}_{KB} 、 \dot{i}_{KC} 为短路时的短路电流；

\dot{i}_{HB} 、 \dot{i}_{HC} 、 \dot{i}_{HA} ，为短路瞬间的负荷电流。

上式表明，两相短路时测量阻抗，受非故障相负荷电流的影响，它在数值上不等于保护按装处至短路点的正序阻抗，在相位上它的相位角不等于线路阻抗角。而且 $\dot{i}_B = \dot{i}_{KB} + \dot{i}_{HB}$ ，的数值及相位亦将随方向阻抗继电器不同的安装地点，也不尽相同，如图 4 所示。尤其是当故障电流与负荷电流幅值差别较小时，由于负荷电流造成的测量误差将达到相当可观的程度。

(3) 由于方向阻抗继电器动态特性的影响，在正向三相短路发生的瞬间（即极化电压逐渐衰减的过程中）将使得继电器的保护范围有所伸长，产生超范围动作。

大家知道，在故障的瞬间，由于极化电压的记忆作用，其幅值及相位都不能发生突变，而是由故障前的数值和相位逐渐衰减为故障后的稳态的数值及相位，在整个衰减过程中，将使极化电压与工作电压出现逐渐衰减的相角差，使得方向阻抗继电器的动作阻抗特性发生变化，产生了动态特性，其动态特性和系统阻抗有关，随着系统的阻抗增大，其动态特性圆增大，如图 5 所示。

由图 5 可看出, 两相短路时的保护范围是不因动态特性的影响而发生变化的, 而正向三相短路时的保护范围却因动态特性的影响而有所伸长。尤其是小电流接地系统其背侧阻抗(即系统阻抗)较大, 这种保护区伸长的趋势将会更加严重。

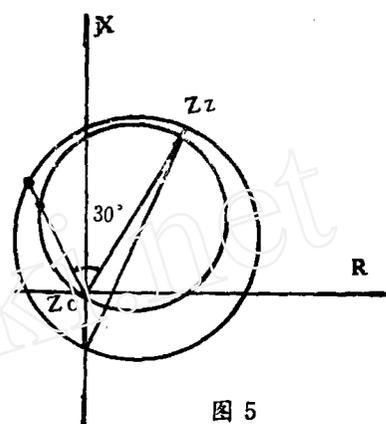


图 5

(4) $U_{\varphi-c} / \dot{I}_{\varphi} + K 3 \dot{I}_0$ 的接线方式由于要同时兼顾接地故障和非接地故障, 则需要在电压回路进行必要的切换, 这样不仅降低了装置的可靠性, 而且在相间故障时的不平衡电流较大时, 也易造成误切换。

2. PXH-02型保护屏的问题

PXH-02屏中距离保护是采用“假B相”的三相式 0° 接线方式, 其接线方式如下:

$$U_{AB} / I_A - (-I_A - I_C); U_{BC} / (-I_A - I_C) - I_C; U_{CA} / I_C - I_A$$

因此, 有必要对小电流接地系统中发生最多的各种两相短路(包括同一地点两相短路接地)及三相短路时, 其动作性能进行分析。

以两相短路BC相为例:

$$\dot{I}_{KB} = -\dot{I}_{KC}, \dot{I}_{KA} = 0$$

$$\text{母线电压 } \dot{U}_{BC} = (\dot{I}_{KB} - \dot{I}_{KC}) Z_{K1} = -2 \dot{I}_{KC} \cdot Z_{K1}$$

$$\text{测量阻抗 } Z_{CL} = \dot{U}_{BC} / (-\dot{I}_{KA} - \dot{I}_{KC}) - \dot{I}_{KC} = Z_{K1}$$

Z_{K1} 为母线到故障点间的线路正序阻抗。

三相短路时:

$$-\dot{I}_{KA} - \dot{I}_{KC} = \dot{I}_{KB}$$

以BC相元件为例, 测量阻抗:

$$Z_{CL} = \frac{(\dot{I}_{KB} - \dot{I}_{KC}) Z_{K1}}{(-\dot{I}_{KA} - \dot{I}_{KC}) - \dot{I}_{KC}} = Z_{K1}$$

显而易见, 此种接线方式的距离保护, 对两相短路, 对同一地点两相短路接地和三相短路, 保护范围完全一致, 测量阻抗正确, 解决了主要问题。

那么, 采用假B相三相式接线方式的距离保护在各种两点接地故障时动作性能又如何呢?

(1) 单侧电源辐射形网络中发生两点接地的情况。

设B相在 D_B 点接地, C相在 D_C 点接地, 如图 6, 从电源至第一个故障相内流有电源 \dot{I}_B 和 \dot{I}_C , 且 $\dot{I}_B = -\dot{I}_C$, 在地中没有电流流通, 因此在计算 l' 线段上的电压降时, 应采用输电线路的正序阻抗, 对安装在始端的保护 1, 即相当于一个两相短路的情况。在 D_C 至 D_B 的一段线路内(长度为 $l'' + l$), 实际上只有B相中有电流 \dot{I}_B , 因此, 在这一段

线路上将有电流流过，这样在计算 l'' 和 l 线段上电压降时，就应采用“导线—地”，并考虑输电线的自感阻抗 Z_L 和互感阻抗 Z_M ，因此，对保护2来说，即为单相接地的情况，这时，各点的电压分布可推求如下：

a 以母线 I 中 C 相电压分析为例

在 D_C 点，C 相的电压 $\dot{U}_{C(DC)} = 0$ 。在 D_C 点左侧，C 相电压为电流 \dot{I}_C 在正序阻抗上的电压降，即 $\dot{U}_{C(1)} = \dot{I}_C \dot{Z}_1 l'$ ，在 D_C 点的右侧，因 $\dot{I}_C = 0$ ，所以只有电流 \dot{I}_B 所产生的互感压降， $\dot{U}_{C(2)} = \dot{U}_{C(DC)} - \dot{I}_B \dot{Z}_M l'' = -\dot{I}_B \dot{Z}_M l''$ ； $\dot{U}_{C(DB)} = -\dot{I}_B \dot{Z}_M (l'' + l)$ ，以上电压可以画在电压坐标的负方向。如图 6 所示。

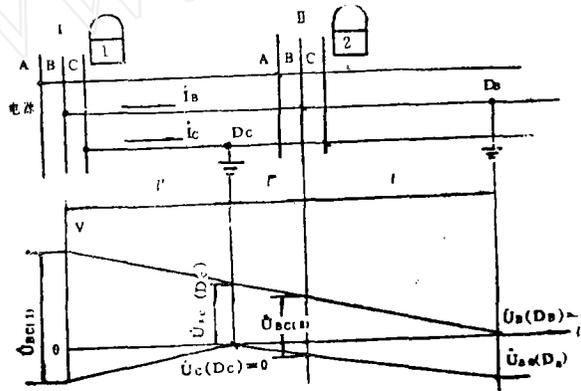


图 6 两点接地时的网络接线和电压分布图

b 以母线 II 中 B 相电压分析为例

在 D_B 点，B 相的电压为 $\dot{U}_{B(DB)} = 0$ ，在 D_B 至 D_C 之间 B 相的电压为电流 \dot{I}_B 在自感阻抗 Z_L 上的压降，在 D_C 点左侧为 \dot{I}_B 在 \dot{Z}_1 上的压降，因此，可得，

$$\begin{aligned} \dot{U}_{B(2)} &= \dot{I}_B \dot{Z}_L l; & \dot{U}_{B(DC)} &= \dot{I}_B \dot{Z}_L (l + l''); \\ \dot{U}_{B(1)} &= \dot{I}_B (\dot{Z}_L l + \dot{Z}_L l'' + \dot{Z}_1 l'); \end{aligned}$$

上述电压可画在电压坐标的正方向，这样各点的线电压 $(U_B - U_C)$ 就是两相电压分布曲线之间的距离。

则母线 I 保护 Z_1 的 BC 相元件测量阻抗：

$$\begin{aligned} Z_{1CL} &= \frac{\dot{U}_{BC(1)}}{(-\dot{I}_A - \dot{I}_C) - \dot{I}_C} = \frac{\dot{U}_{BC(1)} - \dot{U}_{C(1)}}{-2\dot{I}_C} \\ &= \frac{\dot{I}_B (\dot{Z}_L l + \dot{Z}_L l'' + 2\dot{Z}_1 l')}{2\dot{I}_B} = \frac{1}{2} (\dot{Z}_L l + \dot{Z}_L l'' + 2\dot{Z}_1 l') \end{aligned}$$

母线 II 保护 Z_2 的 BC 相元件测量阻抗，因保护 Z_2 无电流，即不动作。所以这种两点接地只母线 I 的保护动作。

(2) 单电源同母线上两条线路不同相别接地故障时，如图 7 所示。

第一种情况：M点为B相接地，N点为C相接地。

$$\dot{I}_b = -\dot{I}_c$$

$$\dot{I}_b = \frac{\dot{U}_{Gb} - \dot{U}_{Gc}}{Z_{GM1} + Z_{GN1}}$$

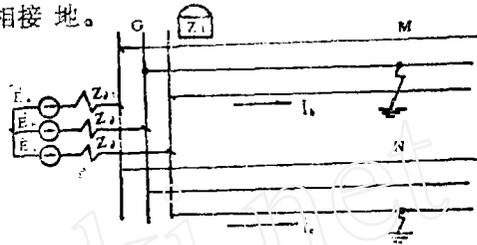


图7 $Z_{\delta 1}$ 为电源正序等价阻抗

保护 Z_1 因无B相电流互感器不反映故障，故不动作，保护 Z_1 中以BC相元件最为灵敏，其测量阻抗为：

$$Z_{1CL} = \frac{\dot{U}_{Gb} - \dot{U}_{Gc}}{-2\dot{I}_c} = \frac{\dot{I}_b Z_{GM1} - \dot{I}_c Z_{GN1}}{2\dot{I}_b} = \frac{1}{2} (Z_{GM1} + Z_{GN1})$$

看出其测量阻抗随M点离母线距离的远近而增加或缩短，使保护范围减小或伸长。

第二种情况：M点为A相接地，N点为C相接地。

$$\dot{I}_a = -\dot{I}_c = \frac{\dot{E}_a - \dot{E}_c}{Z_{GM1} + Z_{GN1} + 2Z_{\delta 1}}$$

保护 Z_1 的AB相元件测量阻抗：

$$\begin{aligned} Z_{1LAB} &= \frac{\dot{U}_{Ga} - \dot{U}_{Gb}}{2\dot{I}_a} = \frac{\dot{E}_a - \dot{E}_b - \dot{I}_a Z_{\delta 1}}{2\dot{I}_a} \\ &= \frac{\dot{E}_a - \dot{E}_b}{2(\dot{E}_a - \dot{E}_c)} (Z_{GM1} + Z_{GN1} + 2Z_{\delta 1}) - \frac{1}{2} Z_{\delta 1} \\ &= \frac{1}{2} (Z_{GM1} + Z_{GN1}) e^{+j120^\circ} + j\frac{\sqrt{3}}{2} Z_{\delta 1} \end{aligned}$$

同理可求出保护 Z_1 的BC相及CA相元件测量阻抗：

$$\begin{aligned} Z_{1CLBC} &= (Z_{GM1} + Z_{GN1}) e^{+j120^\circ} + j\sqrt{3} Z_{\delta 1} \\ Z_{1CLCA} &= Z_{GM1} + Z_{GN1} \end{aligned}$$

看出保护 Z_1 中可能CA相元件最灵敏（但根据系统情况及距离元件的特性，也可能AB相元件稍灵敏一些）。然而保护灵敏度都减小，保护范围将有所缩短。

同理可求出保护 Z_1 的各相元件的测量阻抗：

$$\begin{aligned} Z_{1CLCA} &= Z_{GM1} + Z_{GN1} \\ Z_{1CLBC} &= \frac{1}{2} (Z_{GM1} + Z_{GN1}) e^{-j60^\circ} - j\frac{\sqrt{3}}{2} Z_{\delta 1} \\ Z_{1CLAB} &= \frac{1}{2} (Z_{GM1} + Z_{GN1}) e^{-j120^\circ} - j\sqrt{3} Z_{\delta 1} \end{aligned}$$

保护范围可缩短了。

(3) 双端电源两点接地故障时如图8所示。

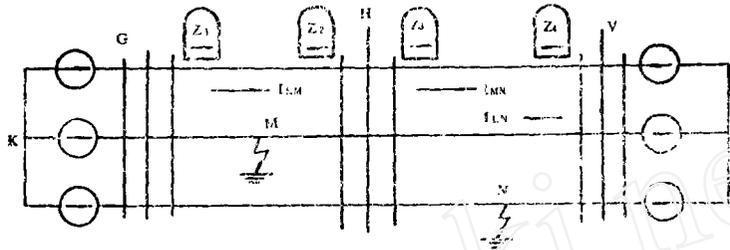


图 8

应用对称分量方法及短路电流知识可以求出。

G母线 Z_1 保护BC相元件测量阻抗

$$Z_{1CL} = Z_{GM1} + \frac{3Z_{LM1} + Z_{MN1}}{6Z_{LN1} + 3Z_{MN1}} \cdot Z_{MN1} + \frac{Z_{KM1} + Z_{MN1} + Z_{LN1}}{6Z_{GN1} + 3Z_{MN1}} (Z_{MN0} - Z_{MN1})$$

对于无架空地线 $Z_{MN0} \approx 3.5Z_{MN1}$

$$Z_{1CL} = Z_{GM1} + \frac{5.5Z_{LN1} + 3.5Z_{MN1} + 2.5Z_{KM1}}{6Z_{LN1} + 3Z_{MN1}} \cdot Z_{MN1}$$

有架空地线 $Z_{MN0} \approx 2Z_{MN1}$

$$Z_{1CL} = Z_{GM1} + \frac{4Z_{LN1} + 2Z_{MN1} + Z_{KM1}}{6Z_{LN1} + 3Z_{MN1}} \cdot Z_{MN1}$$

H母线 Z_3 保护BC相元件测量阻抗

$$Z_{3CL} = \frac{3Z_{KM1} + Z_{MN1}}{6Z_{LN1} + 3Z_{MN1}} \cdot Z_{HN1} + \frac{3Z_{LN1} + Z_{MN1}}{6Z_{LN1} + 3Z_{MN1}} \cdot Z_{HN1} + \frac{Z_{KM1} + Z_{MN1} + Z_{LN1}}{6Z_{LN1} + 3Z_{MN1}} (Z_{MN0} - Z_{MN1})$$

有动作的可能性，但与两端电流到临近故障点间的正序阻抗值有关。

H母线 Z_2 保护BC相元件测量阻抗

$$Z_{2CL} = -Z_{3CL} \quad \text{肯定不会动作}$$

H母线上有零序电流通过，对此采用零序电流保护即较容易满足选择性及保护配合的问题。

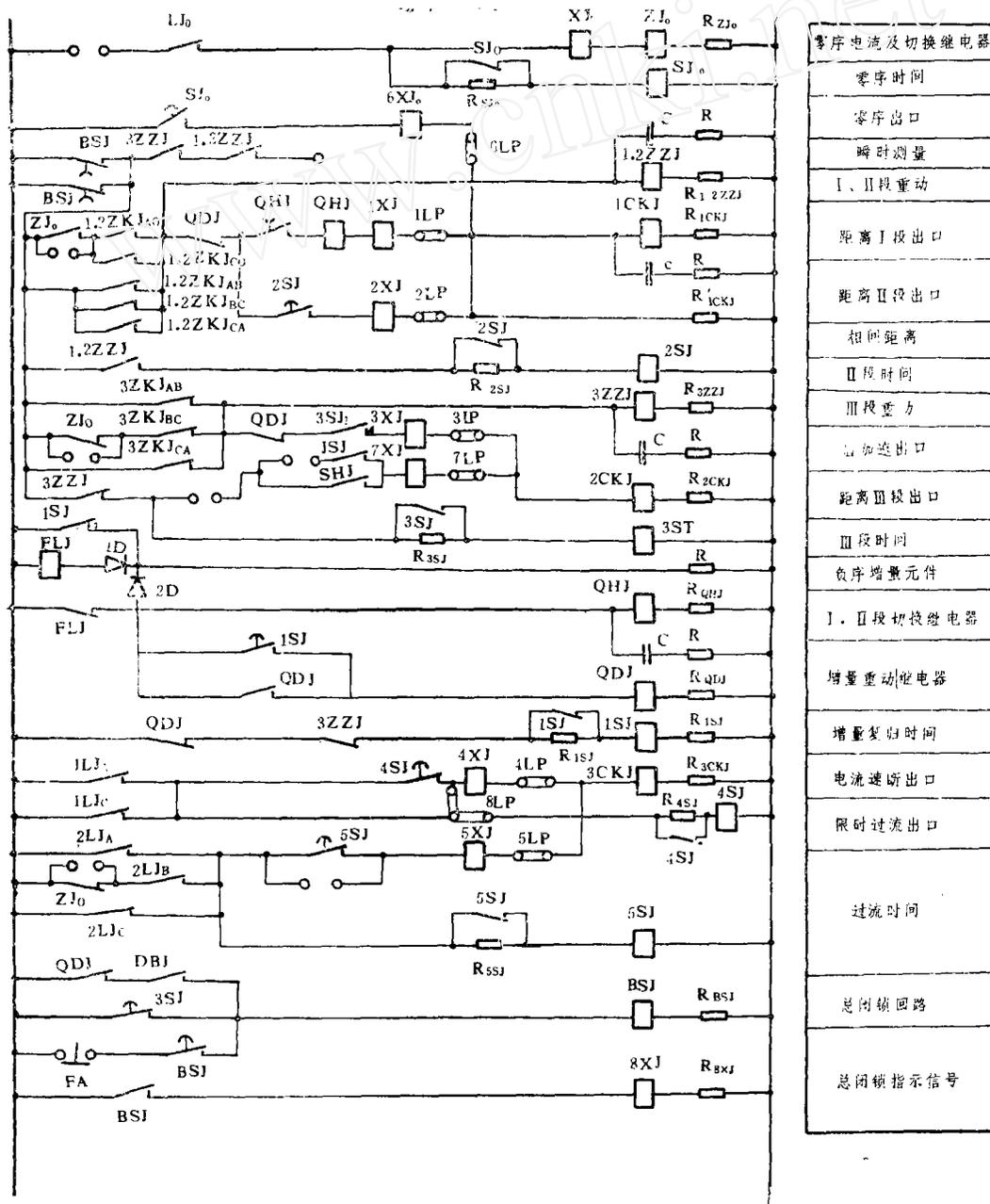
V母线 Z_4 保护BC相元件测量阻抗

$$Z_{4CL} = Z_{VN1} + \frac{3Z_{KM1} + Z_{MN1}}{6Z_{KM1} + 3Z_{MN1}} \cdot Z_{MN1} + \frac{Z_{KM1} + Z_{MN1} + Z_{LN1}}{6Z_{KM1} + 3Z_{MN1}} (Z_{MN0} - Z_{MN1})$$

看出与G母线保护相似。

综合上述分析，对单电源辐射线路和同一母线两条线路接地故障的大多数情况下，采用假B相三相式接线的距离保护在小电流接地系统中两不同点接地故障时动作可知，这时距离保护的测量阻抗往往偏大，使保护灵敏度有所下降，而对双电源的串级线路，如采用上述接线方式，将不能保证选择性的要求。

针对阻抗继电器在 $\dot{U}_\phi - \dot{\phi} / \dot{I}_\phi + 3KI_0$ 的 30° 接线方式和“假B相”的 0° 接线方式存在上述诸问题，所以，我们在新研制的小电流接地系统中在原保护的原理基础上，介绍两种更适应在实际系统运行的线路保护改进方案即：一种是方案一作为双侧电源小电流接地系统的距离保护；另一种是方案二作为单侧电源小电流接地系统的距离保护。



方案一 线路保护屏直流逻辑回路

外,为提高出口两相短路动作的可靠性,引入了第三相电压。

另外,在 I、II 段距离保护中,还采用两只接相电压、相电流并具有零序补偿的方向阻抗继电器,其接线按:

$$\dot{U}_A, \dot{I}_A + K 3 \dot{I}_0; \quad \dot{U}_C, \dot{I}_C + K 3 \dot{I}_0;$$

实现对线路不同两点接地短路的距离 I、II 段保护,对接地故障保留 B 相,目的是实现在异点接地故障时有三分之二机会只切除一条线路的作用。

这样,作为 I、II 段距离保护,对两相,三相短路及接地短路的各种故障分别设置了相应的测量阻抗继电器,保证了对各种类型故障在保护 I、II 段范围内切除的正确性和可靠性,不会出现原 PXH-01(02) 保护屏那种因阻抗继电器接线方式的局限性,所产生的测量范围收缩,保护灵敏度降低的问题。

2. 方案一保护的 III 段阻抗

在方案一保护中 III 段阻抗采用三只按“+30°”接线,偏移度为 5~20% 的偏移方向阻抗继电器构成。

$$\text{其接线按: } \dot{U}_{AB}, \dot{I}_A + 3K \dot{I}_0; \quad \dot{U}_{BC}, \dot{I}_B + 3K \dot{I}_0; \\ \dot{U}_{CA}, \dot{I}_C + 3K \dot{I}_0.$$

并带相一地切换作用时,同时作为二相短路,三相短路,二相异点接地短路的 III 段距离保护,具体应用:

A 相阻抗元件,当 AB 两相短路时,接入 $\dot{U}_{AB}, \dot{I}_A + K 3 \dot{I}_0$ 。当 A、C 两相异点接地短路时,由零序电流切换继电器 ZJ₀ 切换为经零序电流补偿的接地阻抗元件,动作于接地故障。

B 相阻抗元件:当 BC 两相短路时,接入 $\dot{U}_{BC}, \dot{I}_B + 3K \dot{I}_0$; 而当 AB 或 BC 两相异点接地故障时,由于在接线方式上不设零序切换接点,故 B 相阻抗退出工作,这样可使 III 段保护同样具有三分之二机会切除一个故障点的功能。

C 相阻抗元件:当 CA 两相短路时,接入 $\dot{U}_{CA}, \dot{I}_C + K 3 \dot{I}_0$; 当 CA 或 BC 相异点接地短路时,同样由零序切换继电器 ZJ₀ 切换为经零序电流补偿的接地阻抗动作于接地故障。

虽然“+30°”接线方式的阻抗继电器存在着如前所述的问题,即使会使测量阻抗增大,保护范围有所收缩,但考虑到 III 段保护本身的保护范围比较大,可以忽略由于接线方式所造成的灵敏度降低的问题,故在本设计中仍采用三只按“+30°”接线的阻抗元件来同时兼顾相间与接地两种类型的故障在 III 段保护范围内的测量,否则,还要增加两只阻抗继电器使回路复杂化。

3. 方案二保护的 III 段保护

在方案二保护中,作为 III 段保护是采用过电流保护方式给予实现的,主要是单侧电源,无振荡问题存在。并针对地区性小电流接地电网线路较短,可以实现电流对 III 段保护的整定。

4. 方案一、二保护的瞬时测量回路

根据运行现场的长期实践,认为在小电流接地系统中,大部分系统不存在系统振荡问题,为了简化回路接线,方便运行与维护,本方案中取消了振荡闭锁装置及有关逻辑回路,但考虑到保护运用于双侧电源的小电流接地电网中,线路故障时,对侧电源有助增作用,对弧光电阻影响比较大,为了减小过渡电阻对阻抗继电器动作行为的影响,本方案中设置了瞬时测量回路。

5. 方案一、二保护的断线闭锁回路

在以往的线路保护中,断线闭锁元件是采用电磁平衡原理,比较交流方式构成的。但在实际运行中带电后 $3U_0$ 的极性不易判断,经常出现由于 $3U_0$ 极性接反而造成在发生接地故障时,DBJ误启动,将保护误闭锁,从而降低了整套保护的可靠性。为此,在本方案中将断线闭锁装置改为整流型比较直流方式,消除了 $3U_0$ 极性对保护正确动作的影响,另外,根据协作单位的意见,在电压 $3U_0$ 回路中增设了电压继电器YJ,进行反闭锁,进一步提高了断线闭锁的可靠性。

6. 方案一、二保护的启动方式:

方案一保护启动方式:相间短路采用负序电流增量元件起动,并带时限复归,两相异点接地短路采用零序电流起动,在直流逻辑回路中,I、II段的A、C两相阻抗的出口回路受零序重动ZJ₀的控制,另外,III段的BC相阻抗及限时过流中的 $2LJ_B$ 出口边都受零序重动ZJ₀闭锁,这样在I、II段保护范围内发生异点接地短路时,由ZJ₀开放A、C两相阻抗的出口跳闸回路。在III段保护范围内及限时过流保护范围内发生异点接地短路时,由ZJ₀退出III段BC相阻抗及过流 $2LJ_B$ 的工作,保证三分之二机会切除一个故障点。

方案二保护的启动方式,是采用过流重动继电器的动断触点控制,同时又做距离I、II段切换起动及闭锁保护用。

7. 考虑到两种保护方案应用适应性,对零序重动继电器ZJ₀的闭锁及开放控制触点,电流速断和限时过流的两种延时以及所有的出口跳闸回路都设置了短接端子和连接片,使用时,可以灵活地投入和解除其作用。另外,还在方案一中设置了总闭锁继电器BSJ的信号指示回路。

三相一次重合闸及三相操作回路仍采用PXH—02保护的原理接线。

两种保护方案的控制逻辑原理见附图。

本方案由许昌继电器厂研究试制,已生产出PXH—03和PXH—04两种小电流接地系统线路保护屏样机。并承接了小批量生产,以便更快地投入现场运行,但由于本方案是一种初步的设计方案,有待于进一步探索研究,进一步改进提高,望广大读者多提宝贵意见,我们可以不断改进,更好地为用户服务。