

晶体管相位比较式三段距离保护

天津大学发电教研室 宋从矩

自1963年以来, 我校根据国家下达的科研任务, 对相位比较原理的阻抗继电器以及由之构成的晶体管距离保护进行了研究试制工作。曾先后与原邯峰安电业局、原华北电力设计院、沈阳市继电器厂、天津电业局、天津第三发电厂等单位协作, 做出样机及产品十余台, 自70年开始陆续在太原、天津以及河北省五快水电站投入试运行或正式运行。

上述距离保护装置, 在多年的运行中, 除由于晶体管元件损坏造成两次误动作(当时尚未装设防止误动作的闭锁回路)以外, 经历了多次内部、外部以及反向出口母线上故障的考验, 均能正确动作。

现将经改进以后的保护装置的主要特点介绍如下, 供同志们参考, 并希给予批评指正。

一、保护装置构成的基本原则与方框图

保护装置为三段式相间距离保护。第I、II段为方向阻抗继电器, 其交直流回路互独立, 无需进行定值切换; 第III段为偏移特性的阻抗继电器, 起动特性向第三象限偏移20%, 如图1所示。所有阻抗元件均采用相间电压与相电流之差的接线方式。

保护装置采用反应于测量阻抗变化速度的振荡闭锁回路, 利用三段定值配合上必然存在着 $Z_I < Z_{II} < Z_{III}$ 的关系, 来实现振荡闭锁。当系统发生振荡且振荡中心位于保护范围以内时, 由于测量阻抗逐渐减小, 因此是 Z_{III} 先起动, Z_{II} 再起动, 最后是 Z_I 起动; 而当保护范围内部故障时, 由于测量阻抗突然减小, 因此 Z_I 、 Z_{II} 和 Z_{III} 要同时起动。基于这个区别, 实现振荡闭锁的基本原则是: 当 $Z_I \sim Z_{III}$ 同时起动时, 允许 Z_I 和 Z_{II} 动作跳闸, 而当 Z_{III} 先起动(30ms), 然后 Z_I 、 Z_{II} 起动时, 则把 Z_I 、 Z_{II} 闭锁起来, 不充许它们动作于跳闸。由于三段阻抗起动特性是保护装置所固有的, 因此这种振荡闭锁回路就显得十分简单和可靠。

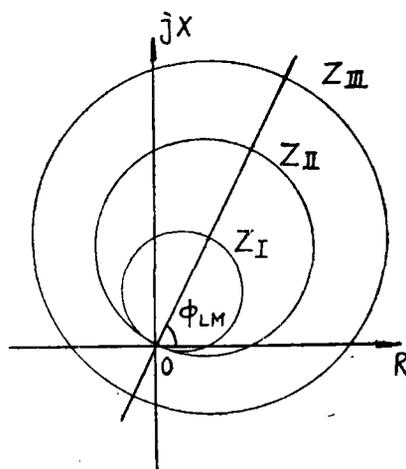


图1

保护装置设有防止误动作的负序电流闭锁回路，只当系统发生故障，瞬间出现负序电流时，才允许距离保护动作于跳闸。这样就可以防止由于电压回路故障、晶体管元件损坏、以及静态过负荷等原因而引起的距离保护误动作。

保护装置的方框结构如图 2 所示，各主要组成部分的工作情况，以下将分别予以介绍。

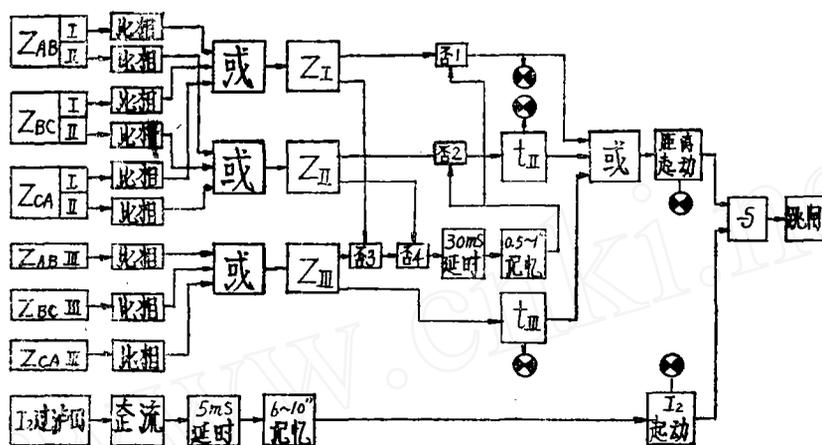


图 2

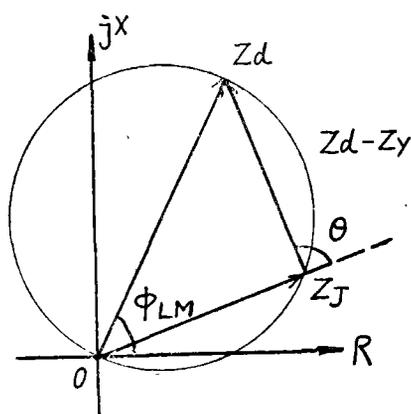


图 3

二、相位比较式方向阻抗继电器

1. 构成的基本原理：方向阻抗继电器的起动特性如图 3 所示， Z_d 为整定阻抗(圆的直径)， ϕ_{LM} 为最灵敏角。当测量阻抗 \dot{Z}_J 正好位于圆周上时，向量 \dot{Z}_J 与 $(\dot{Z}_d - \dot{Z}_r)$ 之间的夹角 $\theta = 90^\circ$ ，在园内时 $\theta < 90^\circ$ ，在园外 $\theta > 90^\circ$ ，因此继电器能够动的条件可表示为：

• 2 •

$$-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (1)$$

式中当 $(\dot{Z}_d - \dot{Z}_r)$ 超前于 \dot{Z} 时, θ 取为正, 反之则为负。此时继电器的工作特性只与两个向量之间的相位差有关, 而与向量的大小无关(但不能为零)。

将两个向量均以电流 \dot{I} 乘之, 则可以得到比较相位的两个电压分量为:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_r \\ \dot{U}_{11} &= \dot{I} Z_d - \dot{U}_r \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

继电器的起动条件仍遵循(1)式的关系。

2. 继电器交流回路的原理接线: 如图4所示, 主要包括隔离变压器 YH_1 , 整定变压器 YH_2 和电抗变压器 DH_1 , YH_2 和 DH_1 的二次侧都有两组线圈, 一组供 I 段使用, 另一组供 II 段使用, 两段之间无需进行定值切换, 同时又未增加使用铁心的数目, 因而简化了接线, 提高了可靠性。

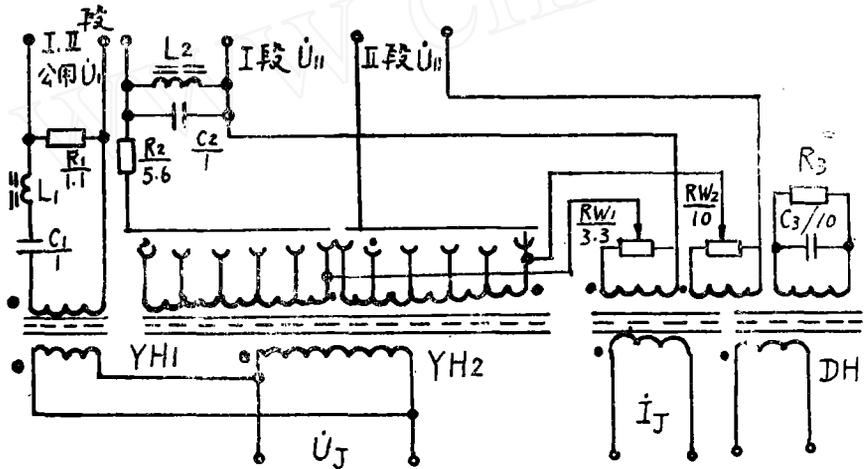


图 4

I、II段的 \dot{U}_1 回路是公用的, 它是一个由 R_1 、 L_1 和 C_1 组成的对工频50周串联谐振的回路(记忆回路), 用以消除继电器的电压死区, 并加快 II 段的固有动作时间。在 I 段 \dot{U}_{11} 回路中, 由 L_2 和 C_2 组成一个对工频50周并联谐振的回路, 它和 R_2 配合在一起, 用以防止过渡过程中由非周期分量所引起的超范围动作。由于距离 II 段是延时动作的, 因此在 II 段的 \dot{U}_{11} 回路中就无需采用如上的措施。

继电器起动阻抗的整定是由电压回路的粗调(每10%一个抽头)和 DH_1 二次侧电位器的细调相互配合来实现的。由于电抗变压器二次侧的输出电压可以任意调节, 因此继电器的最小起动阻抗整定值不受限制, 并且取消了其原边线圈在电流回路中的抽头。

3. 相位比较回路：其原理接线如图 5 所示，它采用了测量 \dot{U}_1 、 \dot{U}_{11} 两个电压瞬时值同时为正（或为负，以下同）的时间来做成。当 \dot{U}_1 、 \dot{U}_{11} 之间的相位差为 θ 角时，如图 6 中阴影部分所示，其瞬时值同时为正的时间就是 $(180^\circ - \theta)$ ，因此比较 \dot{U}_1 和 \dot{U}_{11} 的相位差就完全可以转化为测量 \dot{U}_1 和 \dot{U}_{11} 瞬时值同时为正的时间来代替，并当同时为正的时间持续达到 $\geq 90^\circ$ 时，使执行回路起动，即表示继电器动作。对 50 周波的工频来讲， 90° 的时间是 5ms ，因此更具体地来说，就是当 \dot{U}_1 和 \dot{U}_{11} 瞬时值同时为正的时间持续 $\geq 5\text{ms}$ 时，应该使执行回路起动。

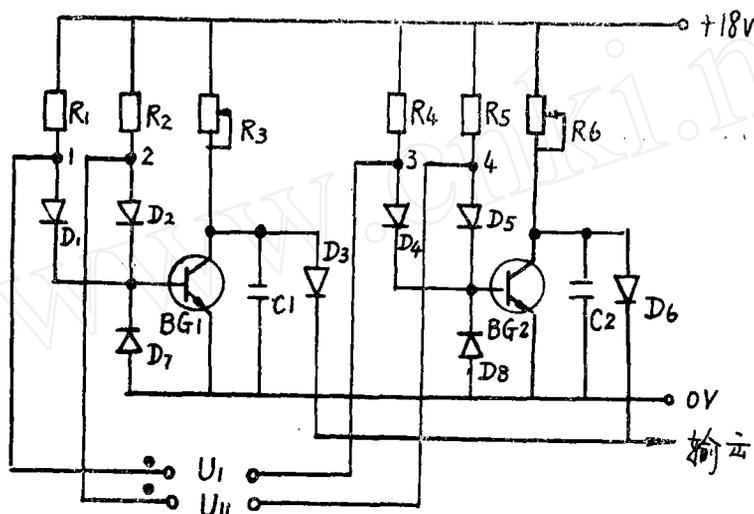


图 5

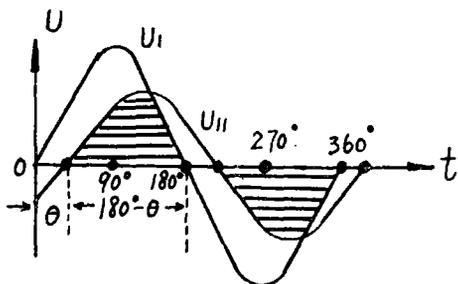


图 6

在图 5 的接线中采用了三极管放大比相的方法，可以同时比较交流正半周和负半周的相位，现对它的工作原理分析如下：

(1) 当交流输入信号 $U_1 = U_{11} = 0$ 时，三极管 BG_1 和 BG_2 均有二个支路供给基极电流，因此处于导通状态，电容器 C_1 和 C_2 被短接，输出点的电位约为 0V ，在这

种情况下,后面的执行回路不起动。

(2)有交流信号输入时,例如当加入 \dot{U}_1 后,在 \dot{U}_1 正半周时,交流信号电流流通的途径是:

$\dot{U}_1(\cdot) \rightarrow 1 \rightarrow D_1 \rightarrow BG_1 \text{基极} \rightarrow \text{发射极} \rightarrow \text{直流电源内阻} \rightarrow R_4 \rightarrow 3 \rightarrow \dot{U}_1(-)$,

因此1点电位为正,3点电位为负。而在 \dot{U}_1 负半周时,交流信号电流流通的途径则变为:

$\dot{U}_1(-) \rightarrow 3 \rightarrow D_4 \rightarrow BG_2 \text{基极} \rightarrow \text{发射极} \rightarrow \text{直流电源内阻} \rightarrow R_1 \rightarrow 1 \rightarrow \dot{U}_1(\cdot)$,

因此3点电位变为正,1点电位为负。然后又重复变化,循环不已。在 \dot{U}_1 正半周时,1点电位为正, BG_1 较之无输入信号时具有更大的基极电流,因此继续处于导通状态,而3点电位变负后, BG_2 由 R_4-D_4 支路所供给的基极电流变为零,但此时由 R_5-D_5 支路供给的基极电流仍可以保证 BG_2 的继续导通。在 \dot{U}_1 负半周时, BG_1 和 BG_2 的工作状态互相调换。

同样,当只加入 \dot{U}_{11} 时,相似于对加入 \dot{U}_1 的分析,在正半周时,2点电位为正,4点电位为负,而在负半周时,则2点变为负,4点变为正。

由上述分析可见,当只有一个交流信号输入时, BG_1 和 BG_2 仍然导通,与不加信号时一样。实际上,在这种情况下,它无法进行相位比较。

(3)交流信号 \dot{U}_1 和 \dot{U}_{11} 的瞬时值同时为正;此时1、2两点电位为正,3、4两点电位为负,因此 BG_1 继续导通, BG_2 截止,电容 C_2 开始经 R_6 充电,经二极管 D_6 后输出点的电位将随着 C_2 两端电压的升高而升高。如果我们选择 R_6-C_2 充电回路的时间常数,使得当 \dot{U}_1 、 \dot{U}_{11} 瞬时值同时为正的时间持续达5ms时,使输出点的电位刚好能使后面的执行回路起动的,表示继电器动作,那么它就满足了以上分析中所提出的要求。

因此,当 \dot{U}_1 、 \dot{U}_{11} 瞬时值同时为正的半周时,利用 BG_2 、 C_2 、 R_6 等元件即可进行相位的比较。

(4)交流信号 \dot{U}_1 和 \dot{U}_{11} 的瞬时值同时为负;此时3、4两点电位为正,1、2两点电位为负,因此 BG_2 继续导通, BG_1 截止, C_1 通过 R_3 进行充电。由此可见,利用 BG_1 、 C_1 、 R_3 等元件即可对 \dot{U}_1 、 \dot{U}_{11} 同时为负的半周进行相位比较。

(5)如果同时为正(或为负)的时间小于5ms,则当任一个交流信号电压改变符号以后, BG_2 (或 BG_1)立即导通, C_2 (或 C_1)随即通过 BG_2 (或 BG_1)放电,由于输出电压尚未达到足够的数值,因此执行回路不会起动的。

如果 \dot{U}_1 、 \dot{U}_{11} 的相位刚好相差 180° ,那么 BG_1 和 BG_2 均将一直处于导通状态,不会出现输出信号。

(6)相位比较回路的输出特性:当 $\theta = 90^\circ$ 时,其输出特性如图7所示。由于输出点的电位必须达到足够使执行回路起动的电压以后才能使之动作,因此它的有效输出

就是一个很短的脉冲，当进行正、负半周同时比相时，此脉冲的间隔为 10ms ，执行回路如何和这种脉冲式的输出特性相配合，将是应该考虑的一个问题。

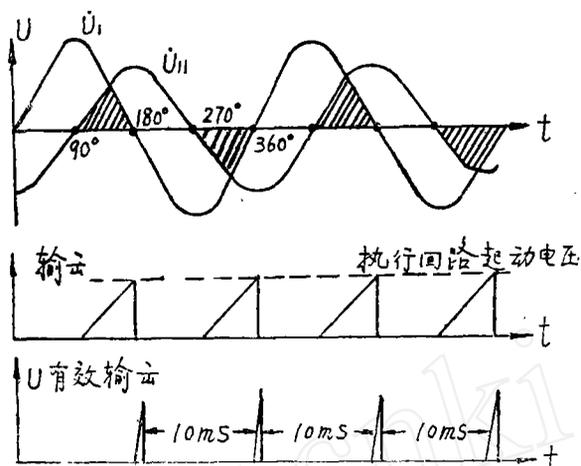


图 7

(7) 相位比较回路的灵敏度：是指使 BG_1 和 BG_2 截止时所需输入的最小信号电压，其值约为 0.15V 。它是决定阻抗元件精确工作电流的一个重要参数。

在图 5 的接线中，将 \dot{U}_1 和 \dot{U}_{11} 分别接于 1—3 和 2—4 之间，就是提高灵敏度的一项重要措施。因为在元件选择时，注意做到使二极管和三极管的压降相等，因此使 1、3 之间和 2、4 之间都是等电位点，由于管压降互相补偿，故起动时所需要的信号电压很小。

此外，适当增大 BG_1 和 BG_2 基极回路的电阻并相应地选用较高放大倍数的三极管，也可以提高它的灵敏度。

(8) 如果从晶体管逻辑回路的观点来看，这个相位比较回路实质上就是一个“与”回路加上一个 5ms “延时”回路，当“与”门输入的信号持续达 5ms 时，延时回路即可输出信号使执行回路动作。

(9) 这种相位比较回路的特点是：1) 用三极管放大比相，因此灵敏度高，又由于管压降能互相补偿，因此虽采用硅管以后，灵敏度亦不受硅管压降较大的影响，这样就可以有简化在使用锗管时所必须进行的温度补偿工作；

2) 交流输入信号直接接入三极管的基极，其负载为三极管的基极电阻，因此交流回路的负担一般都很轻，功率消耗很小；

3) 回路的抗干扰能力强，本身所具有的 5ms 延时，足以躲开各种干扰脉冲的影响；

4) 由于 1 和 3、2 和 4 均为等电位点，因此回路工作的特性不受交流信号电源内阻的影响；

5) 继电器的返回系数接近于 1；

6) 调节 R_3-C_1 和 R_4-C_2 充电回路的时间常数, 可以方便地改变圆的肥瘦, 获得苹果型或橄榄型阻抗特性, 以适应某些特殊的需要;

7) 当采用正负半周同时比相时, 还可以加快保护的動作时间。

这种回路的缺点是: 1) 使用的晶体管元件较多;

2) 動作时间有分散性;

3) 对每个 $R-C$ 充电 5ms 的回路都要经过调试才能确定。

当对继电器的動作速度无特殊要求时, 可以采用简化的半周比相回路, 接线如距离 III 段的图 13 所示。

4. 执行回路: 考虑到从相位比较回路的输出是脉冲或间断的信号, 因此对距离 I 段采用具有一定自保持时间的单稳态触发器, 其原理接线如图 8 所示, 只要比相回路有一个输出信号, 它就能起动, 并自保持 0.2s 的时间, 以保证 I 段能可靠跳闸。对距离 II 段则采用一般的脉冲展宽回路, 其原理接线如图 9 所示, 它可以满足以下两个要求:

(1) 只要比相回路每隔 10ms 有一个脉冲信号输出, 这相当于距离 II 段一直处于起动状态, 则 BG_2 就一直截止, 时间元件能连续积算时间, 在达到整定的时限后, 就可以动作于跳闸;

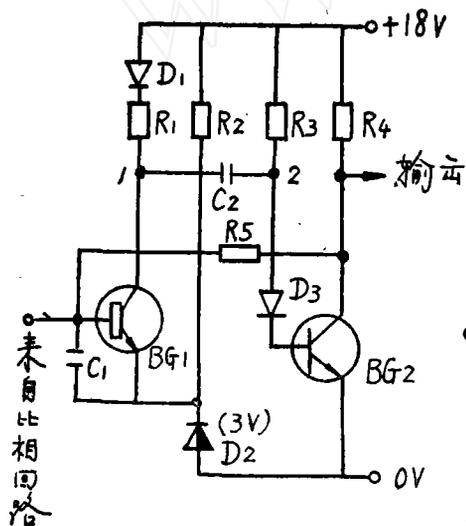


图 8

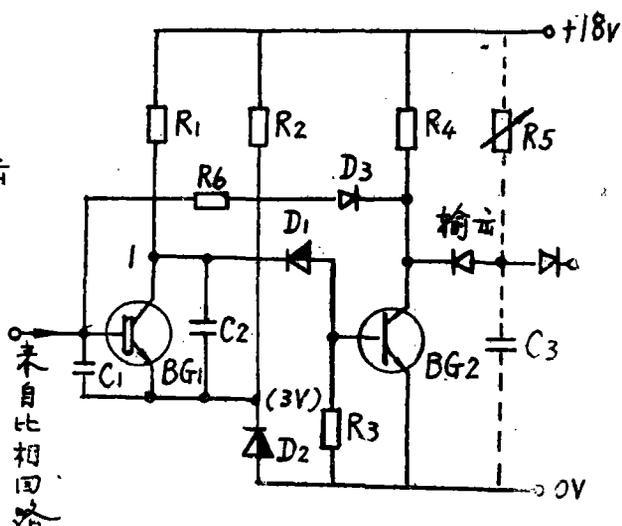


图 9

(2) 在比相回路输出的脉冲信号消失以后, 这相当于距离 II 段已经返回, 则 BG_2 也随即导通 (实际上要具有 10ms 的延时), 使时间元件返回, 不致形成误动作。

5. 过渡过程对相位比较式阻抗继电器的影响及消除方法: 在以上分析中, \dot{U}_1 和 \dot{U}_{11} 均系采用在稳态条件下具有正弦特性的工频 50 周交流电压。但是实际上当系统发生故障时, 在一次侧和二次侧都要出现一个过渡过程, 在一般情况下, 它的主要特点是出现非周期分量的电流和电压, 对于超高压输电线路, 则还可能出现高于或低于工频

频率的谐波分量。

当出现非周期分量时， \dot{U}_I 和 \dot{U}_{II} 的相位将发生畸变，它所产生的严重后果就是使继电器可能出现“超范围”的动作。例如，在稳态情况下，如图10，a所示， \dot{U}_I 和 \dot{U}_{II} 的相位差 $\theta > 90^\circ$ ，其瞬时值同时为正和为负的时间均 $< 5\text{ms}$ ，测量阻抗相当于在保护范围以外，继电器不应起动作。但是，如果在 \dot{U}_{II} 中包含有非周期分量，其波形随时间的变化如图10，b所示，由于非周期分量为正，因此其瞬时值同时为正的时间就要增大，当此时间 $\geq 5\text{ms}$ 时，继电器就要误动作。反之，如果非周期分量为负，则在瞬时值同时为负的半周，也可能出现误动作。

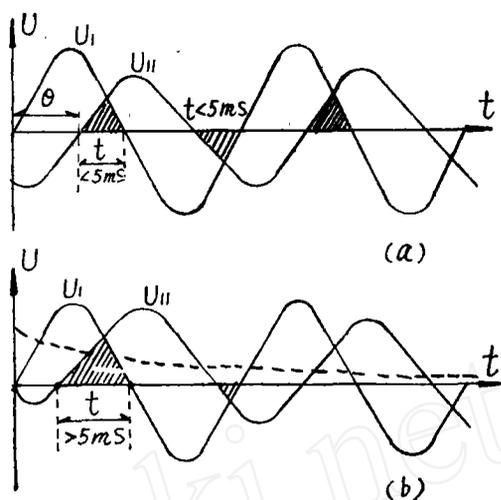


图10

为了防止过渡过程中非周期分量的影响，在本保护装置中采用了以下的措施：

(1) 在 U_I 回路中选择对50周波串联谐振的参数，除了可以消除死区以外，它还可以保证在过渡过程中只有衰减的周期分量而不会出现非周期分量，因此就消除了 U_I 回路中出现非周期分量影响的问题。

(2) 在距离I段 U_{II} 回路中，采用了由 R_2 、 L_2 和 C_2 组成的滤波回路（见图4），用以滤掉电压 \dot{U}_{II} 中的非周期分量和其他异于50周的谐波分量。为此，由 L_2 和 C_2 组成了一个对50周并联谐振的回路，此时它的等效阻抗为最大（约为30K），这样由 DH_1 和 YH_2 二次侧所取得的电压（ $\dot{I}_1 Z_1 - \dot{U}_1$ ）在 R_2 上的电压损耗最小，可以获得相对最大的电压输出，当相位比较回路的灵敏度为一定时，此输出电压越高，就越有利于继电器的起动作，有利于降低距离I段的精确工作电流。

当有非周期分量出现时，由于 L_2 中的直流电阻很小，因此非周期分量的电压几乎全部降落在 R_2 上，而从输出端加于相位比较回路中的非周期分量就很小了。当出现高于或低于工频50周的交流分量时， L_2 和 C_2 并联后的等效阻抗也将大大减小，因此这些分量在 R_2 上的压降显著增大，也能起到相当的滤波效果，此谐波分量的频率偏离50周越多时，滤波的效果就越显著。

动态模拟的实验结果表明，不接入上述滤波回路时，超范围动作最大可达到15%，而接入滤波回路后，则可减小到5%以下，一般为3%左右。

(3) 当 U_I 回路采用串联谐振， U_{II} 回路采用并联谐振的原则确定以后，在两个回路的相互配合上，还必须满足以下要求：

1) 当只加入电压 \dot{U} 时，在 \dot{U} 由0到100伏的范围内变化时，均应保证 \dot{U}_I 和 \dot{U}_{II} 的相位相差 180° ；

2) 当单端电源，保护安装地点的母线上短路时，由于 \dot{U} 和 \dot{I} 均由正常运行时的数值突然降低到零，因此 U_I 和 U_{II} 两个回路都完全置于过渡过程的影响之下，此时继电

器不应误动作。这一要求实际上是靠在上述情况下，两个回路的电压基本上都按50周振荡衰减到零来保证的；

3) 当两端电源，保护安装地点的母线上短路时， U_1 回路的电压将按50周振荡衰减到零， U_{11} 回路将出现过渡过程，此时继电器也不应失去方向性而误动作。

对防止非周期分量影响而造成的误动作，也可以考虑采用如下的方案：

由图10, b可见，当非周期分量在正半周比相引起“超范围”动作时，则在负半周比相时，其同时为负的时间必然更小于5ms，此时，负半周的比相回路不仅不会误动作，而且会出现保护范围缩短的现象（又称为“欠范围”动作），反之亦然。因此，就交流信号的一个周期而言，有半周超范围的动作，就必然有另外半周的保护范围缩短，而当非周期分量衰减完了以后，则正、负半周的保护范围就相同了。根据上述特点，如果使正、负半周的比相输出组成“与”回路，只当两个信号同时存在时才能动作于跳闸，则就能够有效地防止非周期分量所引起的误动作。按照这种方式构成的距离I段保护的方框图如图11所示，由脉冲展宽10ms和延时15ms回路的配合，就保证了只当正、负半周比相回路同时动作时，才能够接通出口跳闸回路。不过实现这个方案的实际接线将是很复杂的，因为每一个阻抗继电器都必须有如图11所示的执行回路，而不能像现在这样，所有比相回路的输出经“或”回路以后接入共用的执行回路。

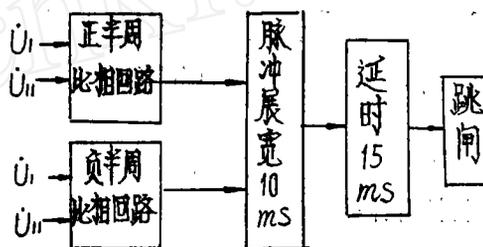


图11

三、相位比较式偏移特性阻抗继电器

在保护装置的第三段中，采用了偏移特性的阻抗继电器，其动作特性园向第三象限偏移为正方向整定值的20%，如图12所示。

当用相位比较方式构成继电器时，继电器动作的条件应为向量 $(\dot{Z}_d - \dot{Z}_r)$ 和 $(0.2\dot{Z}_d + \dot{Z}_r)$ 之间的角度 $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ ，均以电流 I 乘之，则得到比较相位的两个电压为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= 0.2 \dot{I} \dot{Z}_d + \dot{U}_r \\ \dot{U}_{11} &= \dot{I} \dot{Z}_d - \dot{U}_r \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

为获得上述电压，实际采用的交流回路的原理接线和相应的相位比较回路如图13所示。 DH_2 为电抗变压器，其二次侧 C_2 为滤掉高次谐波的电容， R_3 为调灵敏角的电阻， R_4 和 R_6 为分压电阻，用以从 R_5 上取得 $0.2 \dot{I} \dot{Z}_d$ 的分量，供组成 \dot{U}_1 使用，而二次侧输出总的电压就是 $\dot{I} \dot{Z}_d$ 。 YH_3 为整定变压器，其二次侧有两组相同的线圈，分别供组成 \dot{U}_1 和 \dot{U}_{11} 之用，继电器的定值可利用电位器 RW_1 和 RW_2 进行调节。各电压分量按图上标志的极性联接以后，从2、1两点间取得的电压即为 \dot{U}_1 ，3、1两点间取得的

电压为 \dot{U}_{11} , 其中 1 点为公用端。

继电器的相位比较回路采用了简化的半周比相的接线。它的基本工作原理与图 5 所示的接线完全一样, 只是用 R, D_3 组成的分压电路并配合二极管 D_1 和 D_2 代替了另外半周的比相接线, 此时在参数的选择上, 应注意做到使 1、2、3 三点为等电位点。

比相回路的输出接于距离 III 段的脉冲展宽回路, 然后起 III 段的时间元件, 其原理接线与图 9 相同。

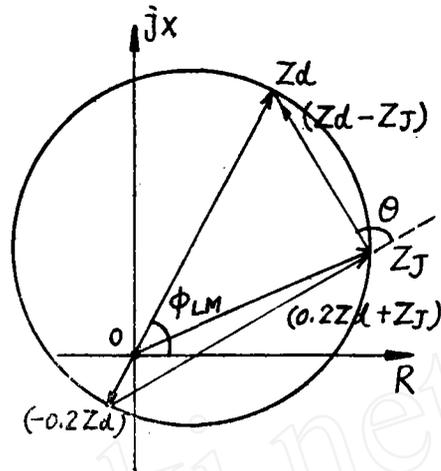


图 12

四、系统频率变化对相位比较式阻抗继电器的影响

电力系统频率变化时, 对阻抗继电器的特性有什么影响, 特别是当交流回路接线中采用了串联谐振和并联谐振回路以后, 对相位比较原理构成的阻抗继电器影响如何? 是人们很关心的一个问题, 现结合本保护装置的實際接线和参数, 分析说明如下。

1. 没有谐振回路时, 系统频率变化对阻抗继电器的影响:

当 U_1, U_{11} 回路中没有谐振回路及单独的电容、电感元件时, 系统频率的变化将不会影响输出电压的相位, 即 \dot{U}_1, \dot{U}_{11} 的相位与频率变化无关。

对中间变压器 (如 $YH_1 \sim YH_3$) 和中间变流器, 由于原、付边电压或电流的关系, 当忽略其励磁电流的影响时, 只与其匝数比 ($\frac{W_1}{W_2}$) 有关, 而与频率无关,

因此可以认为变压器和变流器的二次输出电压或电流不受频率变化的影响。

对电抗变压器 (如 DH_1, DH_2) 则不然, 由于它是将电流转变成电压的关系, 根据电工的分析, 其二次侧感应电势的大小应由下式确定:

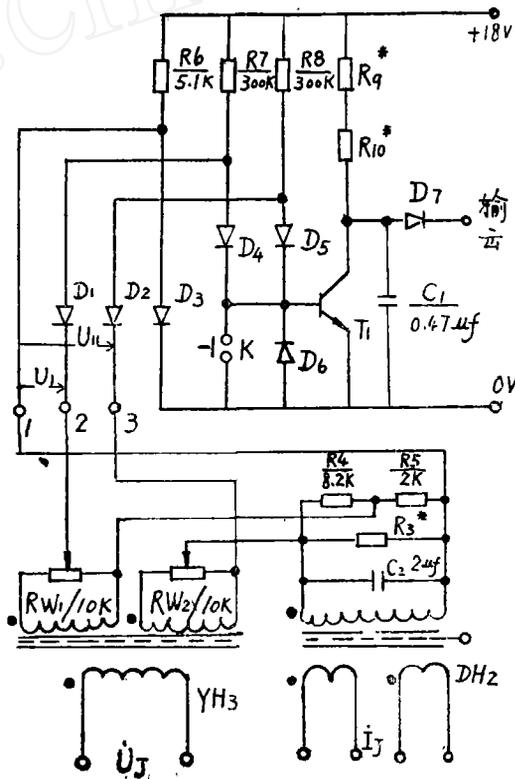


图 13

$$E_2 = 4.44fW_2\phi_m \quad (4)$$

式中: f ——交流电源的频率

W_2 ——二次侧匝数

ϕ_m ——铁心中磁通的最大值

当铁心不饱和时,磁通 ϕ_m 应与励磁电流成正比,亦即与加入电抗变压器原边的电流 I_1 成正比,设以 $\phi_m = K I_1$ 表示,代入(4)式则得:

$$E_2 = 4.44KW_2fI_1 \quad (5)$$

DH的二次输出电压实际上就是我们分析阻抗继电器时所需要的 \dot{I}_2, Z_d 。因此由(5)式可见, \dot{I}_2, Z_d 是随系统频率的变化而正比变化的。

如果电抗变压器的二次侧还接有电容器,则上述变化关系还将由于电容的影响而进一步增大。这是因为:例如当 f 升高时,容抗将减小,电容电流将增大,由于电容电流起助磁作用,因此 \dot{I}_2, Z_d 的数值将稍有增大,而 Z_d 的阻抗角将稍有减小;如 f 降低时,则刚好相反。

由上述分析可见,当阻抗继电器的交流回路接线中使用电抗变压器以获得 \dot{I}_2, E_d 时,阻抗继电器的整定值将随着系统频率的变化而正比地改变。例如频率每变化1周,则阻抗继电器在最灵敏角方向上的整定值约变化2%。

表1所示数据,为本保护装置中第Ⅲ段偏移特性阻抗继电器在不同频率时的起动特性。

表1 Ⅲ段阻抗继电器随频率变化的特性

ϕ_1		0°	30°	60°	75° (ϕ_{LM})	90°	120°	150°
$Z_{d.r.}$	$f = 48.7$	4	6.5	8.3	8.8	8.6	6.9	4.6
	$f = 50.2$	4	6.9	8.8	9.2	8.8	7.1	4.7
ϕ_1		180°	210°	240°	255°	270°	300°	330°
$Z_{d.r.}$	$f = 48.7$	2.7	1.9	1.55	1.5	1.6	1.7	2.4
	$f = 50.2$	2.7	1.92	1.6	1.58	1.62	1.8	2.4

由表1可见,当系统频率变化1.5周(3%)时,在最灵敏角处的定值变化约为4%。

按上述数据绘出继电器的角度特性如图14所示,由实际作图看出,当 $f = 50.2$ 周时,最灵敏角较 $f = 48.7$ 周时约减小 1° 。

2. U_1 回路中有串联谐振时,系统频率变化对阻抗继电器的影响:在本保护中距离Ⅱ段即属这种情况。由图4可见, U_1 回路可以用如图15所示的等效回路来表示,假定在额定频率时($f_0 = 50$ 周),调整 $\omega_0 L_1 = \frac{1}{\omega_0 C_1}$,使回路呈现纯电阻性,则输出电压 \dot{U}_1 与外加电压 \dot{U}_1 为同相位,两者之间的相位差 $\delta_1 = 0^\circ$ 。

在额定频率下, U_1 回路的参数为: $C_1 = 1 \mu f, \frac{1}{\omega_0 C_1} = -j3.2K, \omega_0 L_1 = j3.2K,$

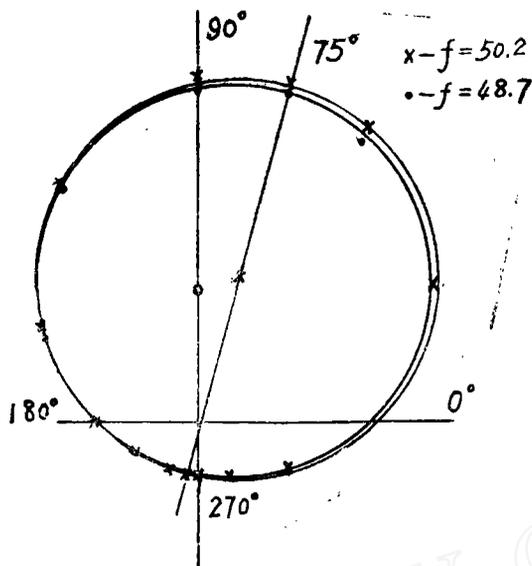


图14

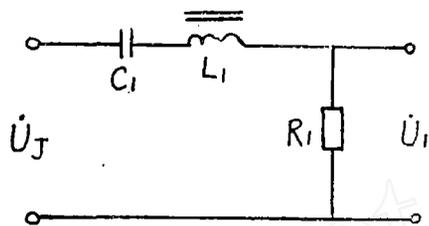


图15

回路总电阻（包括 L_1 和 YH_1 的内阻） $R_{1\Sigma} \approx 1.65K$ ， $\delta_1 = 0^\circ$ 。按上述参数，计算在不同频率时的变化，其结果如表 2 所示，当回路呈现电容性阻抗， U_1 超前 U_J 时，角度 δ_1 取为正值。计算 δ_1 的公式如下：

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_1 &= \frac{\frac{1}{\omega C_1} - \omega L_1}{R_1} = \frac{1}{\omega_0 C_1} \left(\frac{\omega_0}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_0} \right) = \frac{f_0 - f}{2 \pi f_0 C_1 R_1} \\ \delta_1 &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{\left(\frac{f_0}{f} - \frac{f}{f_0} \right)}{2 \pi f_0 C_1 R_1} \end{aligned} \quad (6)$$

式中 f_0 为调谐谐振时的频率。

表 2 不同频率时， U_1 回路参数的变化

f (赫)	47	48	49	50	51	52
参数(KΩ)						
$\frac{1}{\omega C_1}$	-j3.4	-j3.33	-j3.26	-j3.2	-j3.14	-j3.07
ωL_1	j3.01	j3.07	j3.14	j3.2	j3.26	j3.33
$R_{1\Sigma}$	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
$Z_{1\Sigma}$	1.65 - j0.39	1.65 - j0.26	1.65 - j0.12	1.65 - j0	1.65 + j0.12	1.65 + j0.26
δ_1	+13°	+8.7°	+4°	0°	-4°	-8.70

现根据以上计算结果，分析频率变化对继电器动作特性的影响如下。

(1) $f = 50$ 赫, $\delta_1 = 0^\circ$: 根据相位比较式阻抗继电器的基本原理, 当加入继电器的

\dot{U}_J 和 \dot{I}_J 之间为任一角度 ϕ 时, 继电器动作的临界条件均应为 $\dot{U}_1 \dot{U}_{11} = \theta = 90^\circ$, 如图 16 所示, 当 $\delta_1 = 0^\circ$ 时, \dot{U}_1 和 \dot{U}_J 为同相位, 方向垂直向上, 因此继电器能够动作的临界条件就是 $\dot{I}_J Z_d - \dot{U}_{dzJ} = \dot{U}_{11}$ 的方向为一条水平线, 图中 U_{dzJ} 为继电器能够起动时的临界电压, 当 $U_J < U_{dzJ}$ 时, $\theta < 90^\circ$, 继电器能够动作, 而当 $U_J > U_{dzJ}$ 时, $\theta > 90^\circ$, 继电器就不动作。

根据以上分析, 继电器动作的条件也可以由下式表示:

$$U_{dzJ} \leq I_J Z_d \cos(\phi_{LM} - \phi_J) \quad (7)$$

两端均以 \dot{I}_J 除之, 由于 $\dot{U}_{dzJ} / \dot{I}_J$ 即为继电器刚好起动时的电压与电流之比, 因此也就是继电器的起动阻抗:

$$Z_{dzJ} \leq Z_d \cos(\phi_{LM} - \phi_J) \quad (8)$$

当 $\phi_J = \phi_{LM}$ 时, $Z_{dzJ} = Z_d$, 即为动作特性圆的直径, 如图 17 所示。

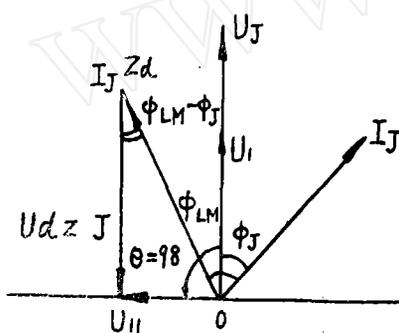


图 16

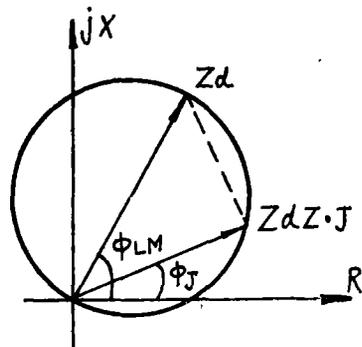


图 17

由这种分析方法所得出的结果与以前的分析是完全一致的。

(2) $f < 50$ 赫, δ_1 为正角度: 此时的向量图和动作条件如图 18 所示, \dot{U}_1 较 \dot{U}_J 向超前方向移动角度 δ_1 , 由于继电器动作的临界条件仍然是 $\theta = 90^\circ$, 因此, 与图 16 相比, 允许继电器动作的 U_{11} 的临界线也较水平方向向前移动了 δ_1 的角度, 这样继电器动作的条件即变为:

$$U_{dzJ} \leq I_J Z_d \cos(\phi_{LM} - \phi_J) + I_J Z_d \sin(\phi_{LM} - \phi_J) \operatorname{tg} \delta_1 \quad (9)$$

均以电流 I_J 除之, 则得起动阻抗的关系为:

$$\begin{aligned} Z_{dzJ} &\leq Z_d [\cos(\phi_{LM} - \phi_J) + \sin(\phi_{LM} - \phi_J) \operatorname{tg} \delta_1] \\ &= \frac{Z_d}{\cos \delta_1} [\cos(\phi_{LM} - \phi_J) \cos \delta_1 + \sin(\phi_{LM} - \phi_J) \sin \delta_1] \end{aligned}$$

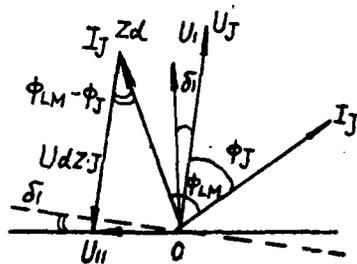


图 18

$$= \frac{Z_d}{C \cos \delta_1} \cos(\phi_{LM} - \phi_I - \delta_1) \quad (10)$$

此式结果表明:

1) 当 $\phi_I = \phi_{LM} - \delta_1$ 时, $Z_{dz.I} = \frac{Z_d}{C \cos \delta_1}$ 为最大, 即动作最灵敏, 故实际的灵敏角 (即圆的直径所对应的角度) 减小了, 与 $f_0 = 50$ 赫时相比, 减少的数值即为 δ_1 ;

2) 当 $\phi_I = \phi_{LM} - \delta_1$ 时, $Z_{dz.I} = \frac{Z_d}{C \cos \delta_1}$, 即表明圆的直径加大了, 以 $\delta_1 = 10^\circ$ 代入计算可得 $Z_{dz.I} = 1.015 Z_d$, 也就是增大了 1.5%;

3) 当 $\phi_I = \phi_{LM}$, 即 \dot{U}_I 和 \dot{I}_I 之间的角度仍为原来的灵敏角时, $Z_{dz.I} = Z_d$, 看起来数值没有变化, 这种继电器的定值并不受系统 f 变化的影响, 是一个十分有利的结果。但是实际上, 由于电抗变压器本身受 f 变化的影响, Z_d 是随着 f 的变化而正比地改变的, 因此这种继电器 (即指 U_I 回路有串联谐振的情况) 的定值, 在已选定的最灵敏角处的变化, 与没有串联谐振的继电器是一样的, 而在其他角度时的变化, 则较没有串联谐振时为大。根据这一分析结果, 显然可见, 为了尽量减少频率变化的影响, 就应该选择继电器的最灵敏角与被保护线路的阻抗角相等。

(3) $f > 50$ 赫, δ_1 为负角度, 此时 \dot{U}_I 较 \dot{U}_I 向滞后方向迁动 δ_1 , 因此, 只需将 δ_1 换为负值, 即可得出与 $f < 50$ 赫时完全相同的结果。

表 3 所示的数据为本保护装置中距离 II 段阻抗继电器在不同频率时的起动特性。

表 3 II 段阻抗继电器随频率变化的特性

ϕ_I		15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°
		ϕ_{LM}								
$Z_{dz.I}$ (Ω)	$f = 48.8$	2.5	4.25	5.2	5.6	5.7	5.4	4.8	3.9	2.8
	$f = 50.2$	1.72	3.7	5.1	5.8	6	5.6	5.2	4.3	3.1

按上述数据绘出继电器的角度特性如图 19 所示。由此可见, 当 f 变化 1.4 周 ($\approx 3\%$) 时, 灵敏角变化约 2.5° , 定值变化约 5%, 灵敏角的变化较理论分析为小, 而定值的变化较理论分析为大, 其原因是在 DH_1 二次侧 W_3 的线圈上接有 $10 \mu f$ 的滤波电容的影响。

3. U_I 回路有串联谐振, U_{II} 回路有并联谐振时, 系统频率变化对阻抗继电器的影响: 在本保护中, 距离 I 段即属这种情况。

当 f 变化时, U_I 回路所受的影响已如上述, 在此也是完全适用的。因此, 只需要再分析 f 变化时对 U_{II} 回路的影响, 然后将两者综

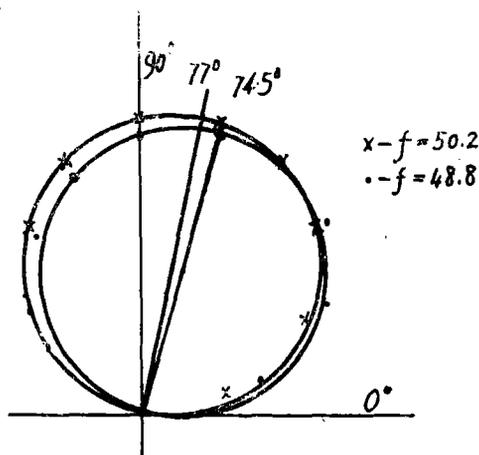


图 19

合在一起加以考虑,即可得出必要的结论。

由图4可见, U_{11} 回路可以用如图20所示的等效回路来表示。在额定频率下,回路的参数为:

$$R_2 = 5.6 K, C_2 = 1 \mu f, \frac{1}{\omega_0 C_2} = -j3.2 K,$$

$R_{L2} + j\omega_0 L_2 = 0.36 + j3.2 K$ 。由此可求出并联谐振回路的等效阻抗为:

$$Z_2 = \frac{(R_{L2} + j\omega_0 L_2) \cdot (-j \frac{1}{\omega_0 C_2})}{R_{L2} + j\omega_0 L_2 - j \frac{1}{\omega_0 C_2}} \quad (11)$$

$$= 28.4 - j3.2 = 28.4 K \angle -6.4^\circ$$

则 U_{11} 回路的总阻抗为:

$$Z_{2\Sigma} = R_2 + Z_2 \quad (12)$$

$$= 34 - j3.2 = 34 K \angle -5.4^\circ$$

设外加电压 $(\dot{I}_J Z_d - \dot{U}_J) = U \angle 0^\circ$, 则回路总电流为:

$$\dot{I}_2 = \frac{U \angle 0^\circ}{Z_{2\Sigma}} = \frac{U}{34 K} \angle 5.4^\circ$$

\dot{I}_2 在并联谐振阻抗上的压降(即 \dot{U}_{11})则应为:

$$\dot{U}_{11} = \dot{I}_2 Z_2 = \frac{U}{34 K} (28.4 K) \angle 5.4^\circ - 6.4^\circ$$

$$= 0.84 U \angle -1^\circ$$

即表示在额定频率下 \dot{U}_{11} 滞后 $(\dot{I}_J Z_d - \dot{U}_J)$ 为 1° , 亦即 $\delta_2 = -1^\circ$ 。

由上述分析不难看出, δ_2 的数值实际上就是回路总阻抗 $Z_{2\Sigma}$ 与并联谐振等效阻抗 Z_2 之间的阻抗角之差, 可由式(11)和(12)算出。

根据以上分析,即可计算出在不同频率时 U_{11} 回路的参数变化及角度 δ_2 的数值, 如表4所示。

至此,我们就可以将 U_1 和 U_{11} 回路受 f 变化的影响综合在一起加以考虑了。当 f 变化时, \dot{U}_1 较 \dot{U}_J 向超前方向移动 δ_1 , \dot{U}_{11} 较 $(\dot{I}_J Z_d - \dot{U}_J)$ 向超前方向移动 δ_2 , 因此, 当 \dot{U}_J 和 $(\dot{I}_J Z_d - \dot{U}_J)$ 不随 f 变化时, 则 \dot{U}_1 和 \dot{U}_{11} 之间相对移动的角度为 $\delta_1 - \delta_2$, 其结果亦列于表4中。

由于继电器的起动仍然遵循 $\theta = \dot{U}_1 \dot{U}_{11} = 90^\circ$ 的条件, 因此, 参照本节第2项的分析, 只需将有关 δ_1 的数值代换成 $(\delta_1 - \delta_2)$, 即可得出两个回路中都有谐振回路时, 继电器起动特性受 f 变化的影响, 由式(10)可见, 此时的起动阻抗应为:

$$Z_{d2.J} = \frac{Z_d}{\cos(\delta_1 - \delta_2)} \cos[\phi_{LM} - \phi_J - (\delta_1 - \delta_2)] \quad (13)$$

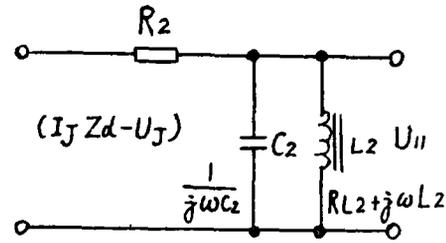


图20

表4 不同频率时, U_{11} 回路参数的变化

f (赫)	47	48	49	50	51	52
参数 ($K\Omega$)						
$\frac{1}{\omega C_2}$	$-j3.4$	$-j3.33$	$-j3.26$	$-j3.2$	$-j3.14$	$-j3.07$
$R_{L_2} + j\omega L_2$	$0.36 + j3.01$	$0.36 + j3.07$	$0.36 + j3.14$	$0.36 + j3.2$	$0.36 + j3.26$	$0.36 + j3.33$
Z_2	$19 \angle 41.1^\circ$	$23.5 \angle 28.1^\circ$	$27.1 \angle 11.9^\circ$	$28.4 \angle -6.4^\circ$	$27.1 \angle -24.7^\circ$	$23.4 \angle -41^\circ$
$Z_{2\Sigma}$	$23.6 \angle 32.6^\circ$	$28.6 \angle 22.8^\circ$	$32.5 \angle 19.9^\circ$	$34 \angle -5.4^\circ$	$32 \angle -20.7^\circ$	$27.5 \angle -33.9^\circ$
δ_2	$+8.50$	$+5.3^\circ$	$+2^\circ$	-1°	-4°	-7.1°
$\delta_1 - \delta_2$	$+4.5^\circ$	$+3.4^\circ$	$+2^\circ$	$+1^\circ$	0	-1.6°

由于 f 改变时, δ_1 和 δ_2 具有相同的变化规律, 因此 $(\delta_1 - \delta_2)$ 的变化实际上较 δ_1 为小, 也就是它所受到的影响较只有串联谐振回路时为小。

表5所示的数据为本保护装置中距离I段阻抗继电器在不同频率时的起动特性。

表5 I段阻抗继电器随频率变化的特性

ϕ_f	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	
$Z_{dz,j}$ (Ω)	$f = 48.8$	1.5	2.2	2.54	2.72	2.87	2.93	2.52	1.9	1.15
	$f = 50.2$	1.32	2.1	2.52	2.8	3	3.1	2.7	2	1.14

按以上数据绘出继电器的角度特性如图21所示。由此可见, 当 f 变化1.4周($\approx 3\%$)时, 灵敏角变化约 2° , 定值变化约4%, 较只有串联谐振回路时的变化为小。

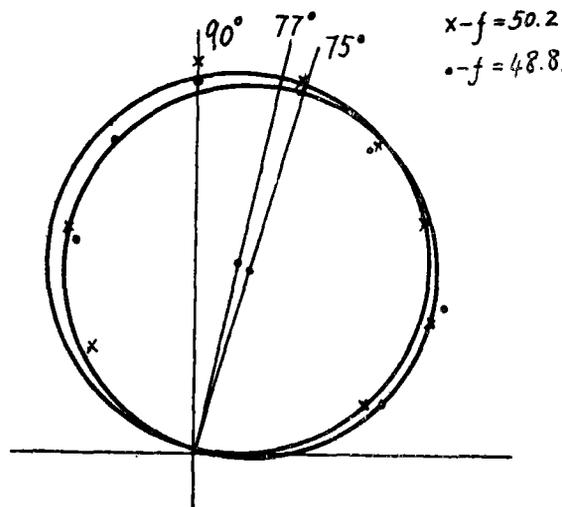


图21

4. 初步的结论:

根据以上分析以及实际实验的结果,对相位比较式阻抗继电器受频率变化的影响,可以得出如下的初步结论:

(1) 当阻抗继电器电流回路中采用电抗变压器以获得 I, Z_0 的分量时,则继电器在最灵敏角处的起动阻抗将随 f 的变化而正比的改变,频率每变化 1 周,其定值约变化 2%,当电抗变压器的二次侧接有电容性负载时,此变化还将稍有增大;

(2) 当阻抗继电器的交流回路中采用串联谐振回路以消除死区时,继电器的灵敏角和定值均将受 f 变化的影响,影响的程度主要体现在角度 δ_1 上,由图 15 可见,在满足记忆回路要求,保证继电器可靠动作的前题下,力求增大 R_1 的数值,则可使 δ_1 减小,因而使 f 变化的影响也相应减少;

(3) 当阻抗继电器的交流回路中采用串联谐振和并联谐振回路时,则继电器的灵敏角和定值受 f 变化的影响主要取决于角度 $\delta_1 - \delta_2$,例如,如果能做到 $\delta_1 = \delta_2$,则继电器受 f 变化的影响就与没有谐振回路时一样,相对来讲是最小的;

(4) 为使 f 变化时,继电器受到的影响最小,应尽量做到使继电器的最灵敏角与被保护线路的阻抗角相等;

(5) 由于系统频率一般是向减小的方向变化,因此可以根据实际的运行情况考虑,按照 $f = 49 \sim 49.5$ 赫的条件调整谐振回路的参数,这样更容易满足 f 变化时,控制定值的误差在 $\pm 5\%$,角度的误差在 $\pm 3^\circ \sim 5^\circ$ 以内,根据目前我们实验的情况来看,以上要求还是可以达到的。

五、反应测量阻抗变化速度 ($\frac{dz}{dt}$) 的振荡闭锁回路

由于负序分量起动的振荡闭锁回路存在着一些问题(见《继电器》1975年第1期),考虑到利用 Z_{I1} 、 Z_{I2} 、 Z_{II} 起动特性不同(见图1)而提供的反应测量阻抗变化速度的可能性,以及在国外对两种振荡闭锁方式均有采用的事实,我们根据本保护的特点,试验研究了这种振荡闭锁回路,并加以采用。建成振荡闭锁回路的基本原则已于第一项中说明。构成振荡闭锁回路的方框结构已示于图2之中。现进一步说明如下:

(1) Z_{II} 执行回路起动后,即起动 30ms 延时回路,其延时到达后,本身记忆 0.5~1 秒(作用另加说明),同时通过否₁和否₂回路将 Z_{I1} 和 Z_{I2} 闭锁,即能防止振荡时 Z_{I1} 和 Z_{I2} 的误动作,对于 III 段本身,由于 t_{II} 延时较大,可以从时间上躲开振荡的影响。

(2) 如果 $Z_{I1} \sim Z_{I2}$ 执行回路同时起动,则在 30ms 的延时以内, Z_{I1} 和 Z_{I2} 通过否₃和否₄实现反闭锁,停止 30ms 延时回路,保证在 Z_{II} 起动 30ms 以后也不再闭锁 Z_{I1} 和 Z_{I2} ,从而保证 Z_{I1} 和 Z_{I2} 的可靠动作。此时 Z_{I1} 、 Z_{I2} 起动出口的回路,实际上与 Z_{II} 是否起动无关,并不受 Z_{II} 的制约,也就是当保护范围内部故障时, Z_{I1} 或 Z_{I2} 动作后均可直接起动出口回路,并不需要 Z_{II} 也同时动作这一条件,这也就提高了保护装

置工作的可靠性。

(3) 30 ms 延时是这种振荡闭锁回路中的一个重要参数, 此时限选取得越长, 越有利于保证内部故障时 Z_{I} 和 Z_{II} 的可靠动作, 但是在振荡时则使 Z_{I} 和 Z_{II} 误动作的可能性增大。反之, 此时限选取得越短, 则振荡时误动作的可能性越小, 但在故障时则可能由于 Z_{I} 和 Z_{II} 来不及动作而被闭锁。因此这一时限的选择应该是在保证内部故障时 Z_{I} 和 Z_{II} 可靠动作的前提下, 力求予以缩短。

要缩短这个时间, 就必须加快 I 段和 II 段阻抗元件的固有动作时间。对 I 段来讲, 由于在 U_{II} 回路中有并联谐振的滤波回路, 而故障后在 U_{II} 回路中又有一个电流换向的问题, 因此虽然采用了正负半周同时比相的接线, 但由于滤波回路时间常数的影响, 其固有动作时间也往往较 III 段为大, 难以达到预期的效果。由于在 I 段和 II 段范围内故障时, II 段阻抗元件均能起动, 因此, 只要能加快 Z_{II} 的固有动作时间, 在 Z_{II} 起动后通过否_A 来实现反闭锁, 就能同时解决 I 段和 II 段可靠动作的问题。为此, 在阻抗 II 段的回路中也采用了正负半周同时比相的接线, 并在其 U_{I} 回路中采用与 I 段相同的串联谐振记忆回路。

经反复多次的试验证明, 当加入阻抗元件的电流大于或等于 1.5 倍的精确工作电流, 短路阻抗小于或等于 90% 的整定阻抗时, II 段阻抗元件的固有动作时间均小于或等于 III 段的固有动作时间。

考虑到更不利的情况, 即在 II 段保护范围末端附近短路时, 假定 Z_{II} 的固有动作时间较 Z_{III} 大一个周波 (20 ms), 并留有 10 ms 的裕度, 因而暂时确定采用 30 ms 的延时。必要时, 可根据实际情况考虑增大或缩小。

(4) 当根据内部故障时保证 Z_{I} 、 Z_{II} 可靠动作的要求确定了 30 ms 的延时以后, 那么当系统发生振荡时的情况又如何呢? 很显然, 它和下列两个因素密切相关:

1) 振荡周期。振荡周期越长, 则在 30 ms 时间内, 两侧电源摆开的角度 $\Delta\delta$ 越小, 保护误动作的可能性就越小, 而振荡周期越短时, 则误动作的可能性就越大。不同振荡周期时, $\Delta\delta$ 的数值如表 6 所示。

表 6 两侧电源在 30 ms 内摆开角度与振荡周期的关系

振荡周期 (秒)	30 ms 内摆开的角度 $\Delta\delta$
1.5"	7.2°
1"	10.8°
0.5"	21.6°
0.3"	36°
0.2"	54°

上述结果表明, 当振荡周期在 1 秒以上时, $\Delta\delta$ 的角度很小, 保护装置一般不致误动作。

电力系统的运行经验证明, 由正常运行到稳定破坏的第一个振荡周期的时间总是较

长的, 而以后则可能越来越快, 最短的振荡周期只有0.1~0.2秒。

为了防止在振荡过程中, 由于振荡周期太短而形成误动作, 如图2所示, 在30ms延时以后, 采用了0.5~1秒的记忆回路。因为加装了这个记忆回路以后, 就可以保证振荡周期在1秒以内时, 当 Z_{II} 第一次起动30ms回路以后, 使 Z_{I} 和 Z_{II} 长期被闭锁。

因此这种振荡闭锁回路实际上可能有下列两种工作状态:

甲、当振荡周期较长时, 利用30ms内摆开角度不大的特点, 来躲开振荡的影响;

乙、而当振荡周期越来越短时, 则抓住第一个振荡周期实现闭锁以后, 就利用0.5~1秒的记忆回路实现长期闭锁。

只要系统振荡持续不停, 则闭锁回路就总是根据振荡周期长短的不同, 而处于上述某一个工作状态之下。直到振荡消失, Z_{II} 返回, 再经0.5~1秒以后, 才能解除对 Z_{I} 和 Z_{II} 的闭锁而复归原状。

2) Z_{II} 和 Z_{I} 定值之差。当定值之差越大时, 由 Z_{II} 起动到 Z_{I} 起动之间所需的时间越长, 因此振荡时误动作的可能性越小, 反之, 如定值越接近, 则振荡时越容易误动作。

为此, 我们在华北、华东某些地区对现有距离保护的定值进行了一些调查。在110千伏系统中, 考虑能作为相邻元件的后备保护, 大都采用三段式距离保护, 在近100个距离保护的定值中, 有一套的定值是 $Z_{II}/Z_{I}=78\%$, 其余均在70%以下, 多数在50%左右。在220千伏系统中, 由于第III段作为相邻元件的后备往往不能满足灵敏度的要求, 因此倾向于采用近后备的方式, 目前两段和三段的距离保护均有应用, 当采用三段式距离保护时, 在长距离重负荷的线路上, 再考虑事故过负荷以后, 个别线路距离III段和II段的定值接近相等, 此时这种振荡闭锁回路就不能适用了, 为了解决这个问题, 可考虑第III段只作为振荡闭锁的起动元件而不去跳闸, 整定值按正常运行的最大负荷选择而不躲开事故过负荷的情况。

现对电力系统在各种运行情况下, 振荡闭锁回路的工作情况分析如下, 并结合与负序电流起动的振荡闭锁回路加以对比讨论:

1. 实现振荡闭锁的基本原则:

(1) 反应 I_2 的振荡闭锁回路, 正常时保护被闭锁, 出现 I_2 后, 允许保护在0.2~0.4秒内动作, 然后重新闭锁5~9秒, 即复归原状。当采用同期检定的重合闸时, 可考虑实现重合闸后加速振荡闭锁复归的方式。

(2) 反应 $\frac{dz}{dt}$ 的振荡闭锁回路, 当 $Z_{I} \sim Z_{II}$ 或 Z_{I} 与 Z_{II} 同时起动时, 允许 Z_{I} 和 Z_{II} 动作跳闸, 不受 Z_{II} 闭锁; 而当 Z_{II} 先动30ms, Z_{I} 和 Z_{II} 尚未起动时, 则把 Z_{I} 和 Z_{II} 闭锁, 不允许动作跳闸。

(3) 结论: 第(2)种方式比较简单明确。(为简单起见, 以下(1)~(3)的顺序均与此相同, 不再重复)。

2. 系统发生振荡而没有故障:

(1) 由于无 I_2 分量, 因此仍然被闭锁, 但必须考虑很大的振荡电流和频率偏离

50赫对 I_2 滤波器的影响, 要防止它们引起过滤器较大的不平衡输出而导致振荡闭锁回路的误起动, 目前在这方面采取的一些措施有:

- 1) 对 I_2 滤波器的参数选择提出严格要求;
- 2) 加相电流制动;
- 3) 利用 $U_2 + I_2$ 同时动作实现起动;
- 4) 利用 $\frac{dI_2}{dt}$ 来实现起动。

(2) 由于总是 Z_{II} 先起动, Z_I 、 Z_{II} 各起动或不起动, 因此利用振荡时第一个振荡周期总是较长的特点而实现闭锁, 当振荡发展后, 振荡周期越来越短时, 则利用 0.5~1 秒记忆可以实现长期闭锁。如果振荡中心位于保护范围以外, 则 $Z_I \sim Z_{II}$ 可能均不起动。

(3) 第(2)种方式较为简单可靠, 但要求 Z_I / Z_{II} 的值不能接近于 1, 最好在 0.8 以下。

3. 先系统振荡而后操作:

(1) 由于操作时出现 I_2 分量, 短时开放允许保护动作, 因此当振荡中心位于保护范围以内时, 就可能引起误动作。

(2) 此时的情况与只有振荡时一样, 根本不受系统操作的影响。

(3) 第(2)种方式有优越性。

4. 保护范围内部故障:

(1) I_2 、 $Z_I \sim Z_{II}$ 同时起动, 能有选择性地可靠动作, 切除故障。如果重合于永久性故障上, 当采用重合闸后加速振荡闭锁复归时, 仍然能够可靠动作, 否则, 由于在 5~9 秒内 Z_I 和 Z_{II} 均被闭锁, 则只能由 Z_{II} 动作切除故障。

(2) 由于 $Z_I \sim Z_{II}$ 同时起动, 能有选择性地可靠动作, 切除故障。当重合于永久性故障上时, $Z_I \sim Z_{II}$ 仍然再次动作。

(3) 第(2)种方式在重合闸以后有优越性。

5. 保护范围外部故障:

(1) I_2 起动, Z_{II} 可能动也可能不动, 经 0.2~0.4 秒闭锁 Z_I 和 Z_{II} , 5~9 秒后复归, 保护不会误动。

(2) Z_{II} 可能动也可能不动, Z_I 、 Z_I 不动, 因此 30ms 以后即将 Z_I 和 Z_{II} 闭锁, 外部故障切除 Z_{II} 返回后, 延时 0.5~1 秒复归原状, 保护不会误动。

(3) 两种方式均能适应。

6. 外部故障切除后, 紧接着发生内部故障:

(1) 如果此过程在 5~9 秒的时间以内, 则 Z_I 和 Z_{II} 被闭锁, 只能靠 Z_{II} 动作切除故障。如在 5~9 秒之后, 则仍能正确动作。

(2) 在外部故障切除 0.5~1 秒以后, Z_I 和 Z_{II} 即能正确动作, 如在 0.5~1 秒以内也将被闭锁。

(3) 第(2)种方式有优越性。

7. 由外部故障引起系统振荡, 而振荡中心又在保护范围以内:

(1) 外部故障时 I_2 先起动, 如在允许保护动作的 $0.2 \sim 0.4$ 秒以内, Z_I 和 Z_{II} 已由振荡而引起误动, 则保护要误动作, 如在此时间以后才误动, 就将被闭锁而不致误跳闸。

(2) 如果故障时 Z_{II} 已起动, 则将 Z_I 和 Z_{II} 闭锁, 如 Z_{II} 未起动, 则发生振荡后, 也是 Z_{II} 先动, 将 Z_I 和 Z_{II} 闭锁, 同于系统发生振荡时的分析, 保护不会误动。

(3) 在一般情况下, 第(2)种方式有优越性。如果由外部故障引起的系统振荡, 在个别情况下发展十分迅速, 以致第一个振荡周期的时间就很短时, 则这两种振荡闭锁的方式均不能适应, 都可能发生误动作。

8. 先振荡而后发生外部故障:

(1) 和先振荡后操作的情况一样, 如振荡中心在保护范围以内则可能误动作, 振荡中心在保护范围外则不会误动作

(2) 保护不会误动作。

(3) 第(2)种方式有优越性。

9. 先振荡而后发生内部故障:

(1) 不论振荡中心是否在保护范围以内, 当内部故障时, I_2 和 $Z_I \sim Z_{II}$ 均应同时动作, 因此能保证可靠动作于跳闸。

(2) 如振荡中心在Ⅲ段的保护范围以内, 则由于 Z_{II} 先起动, 已将 Z_I 和 Z_{II} 闭锁, 因此再发生内部故障时, Z_I 和 Z_{II} 可能拒绝动作, 此时只能由 Z_{II} 来动作跳闸。如振荡中心在 I ~ Ⅲ段范围以外, 则内部故障时, 由于 $Z_I \sim Z_{II}$ 同时起动, 就仍然可以正确动作。

(3) 第(1)种方式有优越性。综合 8、9 两项分析可见, 当先振荡而后发生故障时, 如为先振后外, 则第(1)种方式可能误动, 如为先振后内, 则第(2)种方式可能拒动, 需靠 Z_{II} 切除故障。

10. 系统中采用三相非同步重合闸:

(1) 按现有接线, 由于第一次动作后需经 $5 \sim 9$ " 才复归原状, 因此重合于永久性故障时将不能快速切除。根据我国电力系统的运行经验, 将振荡闭锁回路改进以后, 基本上可以适应非同步重合闸的要求, 但重合于三相故障时还需带延时切除。

(2) 如正好在 $\delta = 180^\circ$ 附近重合, 则振荡中心位于保护范围以内的那个距离保护, 由于 $Z_I \sim Z_{II}$ 同时起动而可能误动作, 这一条被误动作切除的线路, 并不一定是发生故障的线路。

(3) 总起来看, 第(1)种方式需要解决重合于永久性故障时保护拒动的问题, 而第(2)种方式则需要解决重合成功时保护可能误动的问题, 因此这种振荡闭锁方式不能适应非同步重合闸的情况。

11. 从具体实现的接线及调试方面来看:

(1) 比较复杂, 调试 I_2 过滤器要求也高。

(2) 由于 $Z_I \sim Z_{II}$ 的执行回路是保护本身已有的, 因此只需增加 $30ms$ 延时,

0.5~1"记忆和四个“否”回路（实际上就是四个二极管和电阻），就可以实现，调试也比较简单。

综合以上分析可见，反应于测量阻抗变化速度的振荡闭锁回路，除不能适应于三相非同步重合闸以及 Z_{II}/Z_{I} 的值很接近1的情况以外，它具有一系列的优点，也可以解决现有振荡闭锁回路中存在的问题。通过动态模拟的试验，也达到了预期的结果。但目前还缺乏在电力系统实际运行中的考验，特别是经受电力系统振荡的考验。

六、保护装置的主要技术指标如下表所示

系数名称	技术数据	距离I段的超范围动作	< 5%
交流额定电压	100V	负序电流整定范围	0.3A以上任意调节
交流额定电流	5A	I段动作时限	20~40ms
直流额定电压	18V	II段时限整定范围	0.4~2.5秒
交流电压回路功率消耗	$\angle 5V A/相$	III段时限整定范围	1~6秒
交流电流回路功率消耗	$\angle 3V A/相$	直流电源	$\leq 3\%$ 时，各种定值误差 $< 5\%$
起动作阻抗整定范围	I、II段 $0\sim 10\Omega/相$ III段 $2\sim 20\Omega/相$	电压波动	任意变动时不误动
最大灵敏角	$75^\circ \pm 3^\circ$ 以下任意调节	容许环境温度	$+50^\circ C \sim -20^\circ C$
阻抗元件精确工作电压	三段均 $\leq 1V$		