

号中250周电压应较50周电压大100倍以上。加工回路中有必要的五次谐波移相及灵敏度调整电路。电流回路应能短时忍受30安电流的作用。

4. “正方向”和“负方向”两个信号利用出口继电器的接点互相闭锁，故障后的故障信号可由值班员手动复测，故障消失后信号由值班员手动复归。

5. 直流电源由P、T电源整流供给。

三、几个问题的讨论

上面介绍的装置是用于人工接地试验的，考虑到实际使用情况，有些问题讨论如下：

1. 信号表示：装置设“正方向”和“负方向”二个信号时，只要线路有一侧装置显“负信号”就可说明该线路无故障，这在系统调度通讯不健全时较为方便，但装置仅设“正方向”信号可以减少故障后的总信号数，这在调度通讯比较健全时比较方便。由于不用“负方向”信号，装置亦可简化。

2. 信号自保持问题：信号自保持可给事故处理带来方便，但这仅在故障消失后才有意义，因为故障存在装置就有输入，信号不自保持也能保持住。由于信号不自保持，故不需人工复归，也不需避开系统故障的波动过程，延时电路可省去。

3. 比较直流电源供给的方式：用220伏直流降压供给较简单，但损耗较大且易受直流操作干扰；由站用交流整流供给干扰较大且不太可靠；用P、T二次作电源整流供给干扰较小也较可靠，但短路故障会影响其他继电保护运行；逆变装置较昂贵。

4. 装置的灵敏度（动作功率）：故障后无用信号越少判断故障位置越清晰，最理想是仅故障线两侧有指示，故要求装置有一个合适的灵敏度，并非越高越好。装置的电路应做到灵敏度可以调整，以便根据电网情况整定。拟制原则中提到的装置灵敏度是较高的，如果适当降低可简化装置，同时可以减少P、T不平衡等带来的干扰，从而提高可靠性。

对于方向元件入口电压中250周电压对50周电压的比值要求越高，方向元件的工作条件就越理想，但选频回路就越复杂，从简化回路及方向元件的工作条件考虑，此比值在10左右即可。

5. 在结构设计上应保留一个站所有装置集中在一起和分散到各盘上的可能性，以适应新建站和改装旧站时盘位及电缆情况。

变压器的匝间短路保护

秦大电力局 阎善忠译 许昌继电器研究所 夏姍芬校

对于变压器的内部故障一般采用差动保护与瓦斯保护，但是当变压器绕组内发生匝间短路时这些保护是不能认为足够有效的。这一结论的根据是，在只有1—2匝短路时的故障初期，前一种保护大半是不灵敏的，而后一种保护的動作则带有较大的延迟。某些变压器既没有瓦斯保护，又没有差动保护，例如干式变压器，而另外一些变压器则没有差动保护，例如电炉变压器。

因此曾经着手探讨过创造一种高灵敏、快速动作的而在原理上又与知名的保护完全不同的电力变压器的匝间短路保护。同时又曾注意到关于出现匝间短路时能发出一种十分准确、且又真实可靠的信息的来源问题。这种信息源就是绕组的杂散磁场，它与励磁绕组是紧耦合的。该磁场在空间中的分佈与绕组的磁化力的分佈有关。

在分析变压器绕组的杂散磁场时，通常把它们看成是平面平行的，并且只限于研究磁场的两个分量：即与绕组轴线相重合的垂直分量，还有与绕组轴线的垂直线相重合的水平分量〔П1—5〕。在发生匝间短路时，不论是变压器绕组杂散磁场的垂直分量还是水平分量，它们都能发出一种信息，凭借这种信息就能确定在变压器绕组内部出现了故障。但是水平分量更能充分地反映出当发生匝间短路时所引起的磁化力的急剧变化。此时磁感应强度的水平分量要进行整个的重新分配，即在空间的给定点上不论是水平分量的绝对值还是其相位都同时发生变化。

如果磁化力沿着绕组的分佈是均匀的，则磁感应强度的水平分量 B_x 的分佈曲线对称于绕组高度的中点〔注1〕。断开一部分可调线圈（有时把它装设在绕组的中部），此时会引起 B_x 新的分布情况，但仍然还对称于绕组高度的中点〔П1和П2〕。当发生匝间短路时， B_x 的分布曲线在一般情况下将是非对称的，这是因为短路线匝的出现的位置的非对称性的分佈的或然率远大于其对称性的分佈的或然率。因此，变压器绕组杂散磁场水平分量的分布情况一失去对称性，就证实有匝间短路发生。

对于探测 B_x 分布的非对称性来说，位于绕组高度中点对应位置上的点是最合适的点。这一点在所有情况下，除匝间短路外， $B_x = 0$ ，而当发生匝间短路时，则 B_x 急剧地增加。此种现象可以应用在变压器的保护上，只要将一个磁感式传感器按放在这一点上就行了，当通电的负载中的电动势或者电流发生变化时，传感器便将该点上的变化进行转换。

为了计算传感器的参数（最简单的是用一个测量线圈做成的传感器），必须计算或者由试验方法确定出在传感器按装点处的杂散磁场的磁感应强度的水平分量与短路线匝位置的关系式。此关系式（不计变压器油箱的影响）可以按照变压器绕组的几何尺寸并考虑到是一柱形磁铁的情况再根据镜像法计算出来：

$$B_x = \frac{IW}{2\pi y} \mu_0 (\sin^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_2) \quad (1)$$

式中 μ_0 —空气导磁率； y —载流匝的纵座标； W —短路线匝的匝数； I —短路线匝中的电流； α_1 和 α_2 —水平线与从传感器按装点到短路线匝及其镜像的方向所成的角度。

所得到的上述关系式可以用来计算线圈式传感器的电动势，根据下列公式计算如下：

$$E_{\pi} = \omega B_x W_{\pi} Q_{\pi} \quad (2)$$

式中 ω —角频率； W_{π} —传感器的匝数； Q_{π} —传感器线圈窗孔的有效截面。

由计算方法来确定短路线匝中的电流超越了本文的范围，但是此电流极近似的数值可以按照线匝的几何尺寸与已知的匝间电动势来计算。

图1表示出，当以短接10兆伏安容量变压器绕组中的一个单独的线圈的方法来模拟匝间短路时，在传感器的匹配负载中的电流的试验及计算关系曲线*。由图1可见，当在距离变压器绕组高度中点附近发生匝间短路时，传感器的灵敏度降低至零。此段距离的大小决定于传感器的尺寸，而传感器的尺寸又决定于继电器的动作功率，此功率必须由传感器供给。实

注1：此处的绕组高度系指与绕组轴线相重合的等高线—译者。

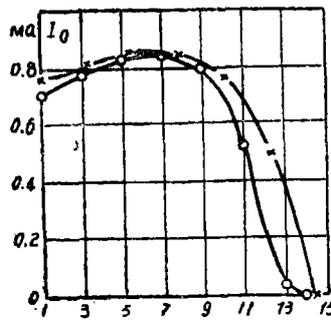


图1 传感器匹配负载中的

电流与10兆伏安容量变压器绕组（半个绕组）中短路匝位置的计算及试验关系曲线 ○—试验的；×—计算的

图1，传感器匹配负载中的电流与10兆伏安容量变压器绕组（半个绕组）中短路匝位置的计算及试验关系曲线 ○—试验的；×—计算的

上述引证的各种计算与试验数据是在无油箱的变压器上得到的。因此仅仅对干式变压器是正确的，因为此种变压器的外壳与绕组的距离较远，且对传感器所在区域的杂散磁场的分布影响很小。对于油浸变压器的保护装置来说，传感器的按装必须直接靠近油箱壁，因油箱壁能显著地提高其灵敏度。当必须保持变压器绕组与油箱壁之间有一个绝缘的间隔时，传感器可以按放在专门的嵌入到油箱壁内的钢制膜盒中。但在此种情况下传感器的灵敏度大为降低，因为一方面从变压器绕组到传感器之间的距离增加了，另一方面由于钢制膜盒对油箱壁有分路作用。为了比较起见，图2中示出了由按装在100千伏安变压器油箱上钢制膜盒内的传感器中所得到的数据（曲线2）。可见，传感器的灵敏度大约降低了一半。

为了实施上述原理的变压器匝间短路保护，曾研制了快速动作的P3BT-73型继电器，其原理接线示于图3。每相一个传感器，它们都按放在绕组高度中点的相对端点上。传感器与绕组之间的距离是根据电气绝缘强度而选择得最小。来自各传感器的信号通过由二极管 Д_1 、 Д_2 构成的“或”门电路进入被电阻 P 所分路的磁电式继电器 P 的线圈中。链式电路 R_1 、 Д_3 用以将输入电压限制在允许的电平上。

实际上这段距离为20—30mm。

同时，传感器的电动势 E_{π} 与短路匝数的相对份额 α 之间的关系式，当 α 从 α_{\min} 连续增加到 $\alpha = 1$ 时（从绕组的一端开始），对分析保护装置的动作行为是很有意义的。此关系式按照文献[3][13]的方法计算出的结果和在100千伏安容量的三相试验变压器上所得到的电动势的试验值均示于图2，图中采用相对单位。因为在给定的情况下仅当关系式具有确定的方向时才有意义。足由此可见，当发生外部短路时，传感器的电动势实际上是等于零的。当只有一匝短路时（ $\alpha = \alpha_{\min}$ ），电动势等于 E_{\min} ，它足以使保护装置的继电器动作（从1.5到2.5伏）。如果保护装置的定值是根据 $E_y < E_{\min}$ 的条件来整定的，则当外部短路时（ $\alpha = 1$ ），由于此时出现了死区点 M_3 ，保护装置是不能够动作的。所以，在应用上述原理的保护装置时，在只有很少一部分匝数短路的情况下，灵敏度很高，而对于变压器输入端短路及励磁涌流则非常不灵敏，上述两种情况下两种特性皆有而并行不悖。

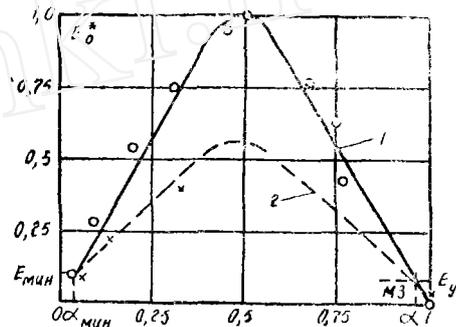


图2，传感器电动势与短路匝数的相对份额之间的关系曲线
1—计算曲线；○—电动势的试验值；
2—按放在油箱壁膜盒内的传感器的试验曲线。

* 这些试验是在TMHПB-10000/1。型的模拟变压器上（其外形尺寸与10兆伏安容量无油箱变压器的相同）与УЭТМ科学研究所一起进行的一原注。

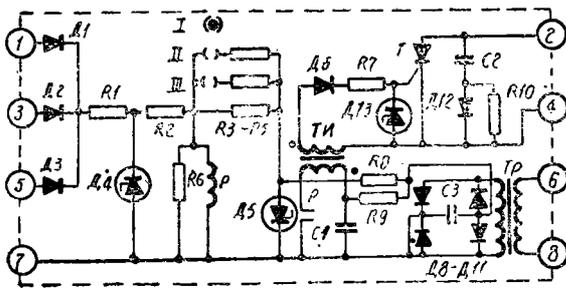


图3、P3BT-73型继电器的原理接线

由接线图可知，继电器的灵敏度是由制动电流决定的，制动电流就是从整流器 $\pi_8 - \pi_{11}$ 经电阻器 $R_3 - R_5$ 流入到继电器线圈中去的电流。借助于插头从位置 I 变换到位置 II 或 III 的方法来改变继电器的灵敏度，其中位置 I 灵敏度最高，上述各插头位置分别相应地将继电器的灵敏度降低到 $\frac{1}{2}$ 和 $\frac{1}{6}$ 。

当在 1, 3 或 5 其中的一个输入端上出现确认是发生匝间短路的脉冲时，继电器 P 动作，其接点使电容器 C_1 经脉冲变压器 TI 的一次线圈而放电。TI 的二次线圈联接出口可控硅 T 的控制回路，当 C_1 放电时 T 导通并将电源送入到变压器开关的跳闸线圈中去。当开关的联动接点断开电源回路时可控硅截止。整流变压器 TP 可以由电压互感器的二次回路供电，也可以由 380/200 伏的厂用网络供电。

P3BT-73 型继电器的试验样品根据实验室条件在一台 0.4/0.4 仟伏，绕组为 Δ/Δ 结线的 100 千伏安变压器的保护回路中曾进行过试验。在试验保护时，变压器由 0.4 千伏（星形结线）绕组侧供电，而借助于一个外加的线匝实现匝间短路。外加线匝接放在绕组的下部紧靠其边缘。因为此种情况下匝间短路在线匝中产生的电流最小。当时保护装置曾经动作于自动开关的跳闸线圈。在进行外部短路试验时，是将变压器投入到电网中再利用 $\Theta B-217$ 型时间继电器经 0.1 秒将变压器跳闸，时间继电器的线圈与被试变压器同时接入到电网中。

在各种情况下保护装置试验的波形图示于图 4 和 5。可见，当将变压器投入到空载时（即在有励磁涌流的情况下）保护是不能动作的。因为此种情况下在传感器中没有电流（图 4, a）。在外部短路时保护也不动作（图 4, b）虽然此种情况也会在传感器中产生一定的电流，但此电流小于继电器的动作电流。当截面为 30mm^2 的一匝铜导线线匝短路时，这种截面与 6.3/0.4 千伏，TM-100/10 型变压器的低压绕组的截面相同，保护装置可靠动作（图 5, a）。当截面为 10mm^2 的一匝铝导线线匝短路时，这种截面与上述同一台变压器高压绕组的截面相同，保护装置在灵敏区内动作（图

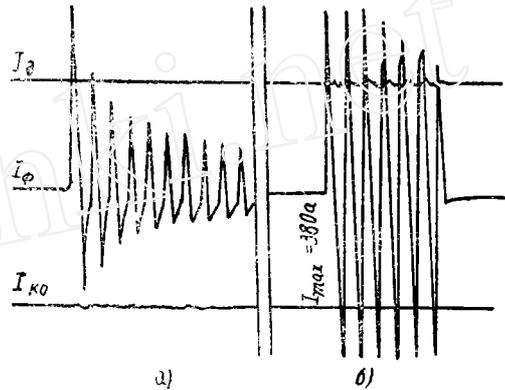


图4 当在励磁涌流(a)和变压器二次绕组输入端短路的情况下(b)，保护装置的试验波形图。

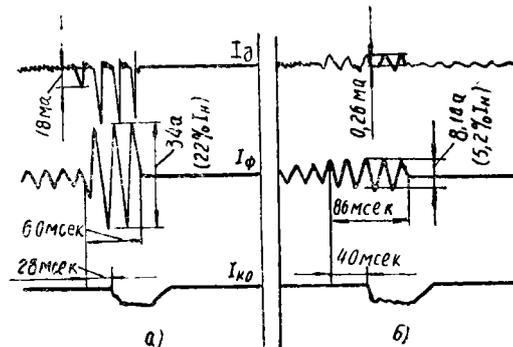


图5 当截面为 30mm^2 的一匝铜导线线匝(a)和截面为 10mm^2 的一匝铝导线线匝(b)短路时保护装置的试验波形图

5,6)。由图5的(a)和(b)可知〔注2〕,这两种情况下电源侧绕组中的电流分别为该绕组额定电流的22%和5.2%。保护装置的动作时间当电流接近于整定电流时不超过40毫秒。

对厂用电中的6.3/0.4千伏,TC-750/10型的一台变压器上的匝间短路保护进行过同样类似的试验。这些试验也都同样地证明了保护装置灵敏度高且继电器动作快速。

结论: 1当发生匝间短路时,变压器绕组的杂散磁场的水平分量就失去对称性,这可以用以实现变压器的匝间短路保护。

2.应用变压器绕组杂散磁场的水平分量原理所研制成的三相变压器匝间短路保护的P3BT-73型装置,本身具有无触点输出端且直接动作于开关的跳闸螺管线圈。此种保护装置显示出了独特的功效,灵敏度高且动作快速。

注2:原文为图4和图5,恐系误印一译者。

参 考 文 献 (略)

本文译自《电》1974年第2期

用低频信号发生器作变频电源和稳频电源

许昌继电器研究所 王正立

在校验差周继电器、低周继电器、各种频率表以及对其它继电器频率特性进行研究时,都必须用变频电源。通常是采用变频机组或者电子放大式专用工频电源。在条件不具备或者使用功率不大且要求灵活机动的情况下,就必须另想办法。XC-1A(或者XC-1)低频信号发生器是常用的信号源,它的输出功率是5W。我们把它稍加改动,挖出其潜力,在不影响仪器正常工作及不损伤其主要指标的情况下,使输出功率提高到18-20W。失真度稍有增大,但不超过规定的1%(阻性负载)。在各种频率表中,D3-Hz消耗功率最大,在100伏额定电压时为9W。在各种周率继电器中,老低周继电器(GDZ-1型)功率消耗最大,其电压绕组在100伏额定电压下消耗10W。实验证明,用改装的XC-1A低频信号发生器同时带动D3-Hz和GDZ-1进行校验是可以的。当然,用D3-Hz校验其他周率继电器或频率表就更没问题了。使用改装的XC-1A时,必须注意阻抗匹配问题。在500Ω档100伏时可以得到最大输出,这正是常用的电压等级。

另一方面,在校调各种时间继电器时,多采用电动秒表作标准。电动秒表准确度受电源频率的影响是不可忽视的,有时可能造成较大的误差。这主要是因为有些电秒表(如401、405等)采用了同步电机作原动力;有些电秒表(如TS-1、TS-2等)则采用了极式机构作原动力,都是同步于电源频率的元件。在校验10秒以上的长延时继电器时,这种影响会造成相当大的积累误差和变差。为了解决这一问题,我们把改装好的XC-1A信号发生器校准于50Hz,并将频率调节机构机械定位,用它作为稳频电源来带动电动秒表。其频率稳定,在头4小时漂移不大于0.1Hz,以后更趋稳定,从而使时间继电器校调工作更加顺