

混合型差动继电器的研究

湖南大学 谭文其

目前我国电力系统中使用的差动继电器有电磁型和整流型两种。电磁型差动继电器整定和调试比较麻烦，整流型差动继电器使用了优质的半导体电路，但它的执行机构使用了极化继电器，它的动作电流值在运行中容易发生变化。如果使用相似于整流型继电器的优质的半导体电路和电磁型继电器的交流执行机构，来形成一种新的继电器便能克服二者的缺点，保存二者的优点。这种新的混合型继电器的性能得到了改善，它具有整定调试方便，性能稳定，动作可靠等优点。

混合型差动继电器是由湖南大学和湖南望城继电器厂一起研制的，科研样机已于85年底完成，并已通过实验室的模拟试验证明它的性能良好，86年上半年已制成了产品样机安装在马家岭变电站，它的交流回路与该变电站的一台31.5MVA的三卷变压器差动保护交流回路相串联，为了接线上的方便，新保护是用九个特制的5:5的电流互感器与原有差动保护交流回路相串接，现正在运行中，它作用于发信号并具有记忆。

混合型差动继电器是根据可控制的磁分流原理构成的，如图1所示。

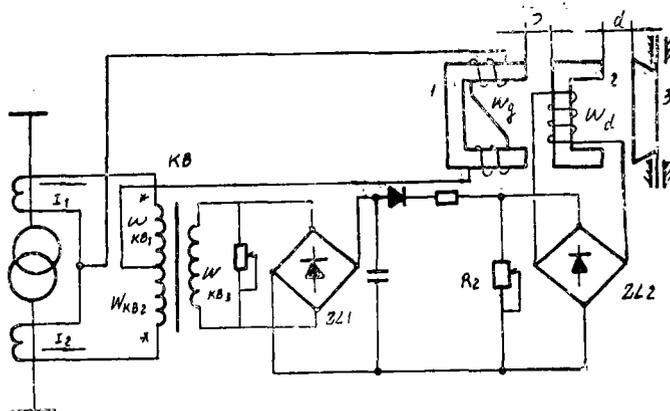


图1 混合型差动继电器原理图

- | | |
|--------------------|----------------|
| 1 —— 基本磁导体； | 2 —— 磁分流体（挡板）； |
| 3 —— 衔铁； | KB —— 控制变； |
| W_{KB1} —— 工作绕组； | W_d —— 挡板绕组 |
| ZL1, ZL2 —— 整流桥。 | |

当变压器内部短路时，在KB的初级绕组 W_{KB1} 和 W_{KB2} 中产生的磁势相反，如果 $I_{11} = I_{12}$ ，并且 W_{KB1} 和 W_{KB2} 的参数完全相同，那么 $I_{11}W_{KB1} - I_{12}W_{KB2} = 0$ ，次级绕

组 W_{KB3} 中感应的电势为零，整流桥 ZL1 的输出电压为零。而工作绕组 W_2 中通过的电流为 $I_{11} + I_{12}$ ，在 W_2 中感应很高的电势，整流桥 ZL2 中输出高电压，通过外电阻 R_2 形成较大的电流。 W_2 中流过的较大电流使挡板两端形成较大的阻挡磁势，使 W_2 产生的极大部分工作磁通通过衔铁，继电器动作。

当变压器外部短路时， W_{KB1} 与 W_{KB2} 中产生的磁势相反，在次级绕组 W_{KB3} 中感应很高的电势，ZL1 输出很高的电压，而在 W_2 中流过的电流为 $I_{11} - I_{12}$ ，即为不平衡电流。 W_2 中感应很小的电势，ZL2 输出很小的电压，由于 $U_{ZL1} \gg U_{ZL2}$ ，ZL2 被阻挡， W_2 中的电流为零，挡板的阻挡磁势为零，因而工作绕组 W_2 产生的极大部分磁通被挡板分流，通过衔铁的磁通很少，执行机构不动作。

可控制的磁分路原理可以用图 2 来表示。

不计漏磁时，间隙的有功磁阻可由下式来计算：

$$R_{\mu D} = \frac{D}{\sqrt{2} \mu_0 S_D} \quad (1)$$

$$R_{\mu d} = \frac{d}{\sqrt{2} \mu_0 S_d} \quad (2)$$

式中 μ_0 ——真空导磁系数；

S_D ——磁路 D 的导磁面积；

S_d ——磁路 d 的导磁面积。

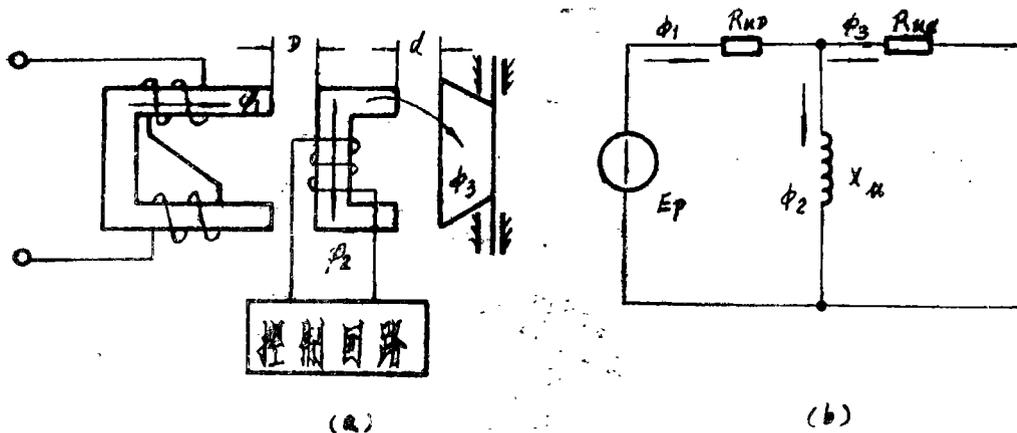


图 2 (a) 工作回路磁路图 (b) 等效磁路图

挡板绕组 W_d 中建立的电势可由下式确定：

$$\dot{E}_d = -j \frac{\omega W_d}{\sqrt{2}} \dot{\phi}_2 \quad (3)$$

式中 ω ——电流的角频率。

挡板绕组建立的阻挡磁势为：

$$\dot{F}_d = \dot{I}_d W_d = \dot{E}_d W_d / Z'_d \quad (4)$$

在一般情况下挡板绕组回路的阻抗为:

$$Z_d = R'_d + jx_d \quad (5)$$

式中 R'_d ——包括 W_d 的电阻和外接电阻 R_2 , 即 $R'_d = R_d + R_2$

x_d —— W_d 的电抗 R_d —— W_d 的电阻

将 (3) 和 (5) 式代入 (4) 式得:

$$\begin{aligned} \dot{F}_2 &= I_d W_d = -\frac{\dot{E}_2 W_d}{R'_d + jx_d} \\ &= \frac{j\omega W_d^2}{\sqrt{2}(R'_d + jx_d)} \dot{\phi}_2 \end{aligned} \quad (6)$$

由此可得到挡板的综合磁阻为:

$$Z_{\nu d} = \frac{\omega W_d^2}{\sqrt{2}} \left(\frac{x_d}{R'_d{}^2 + x_d^2} + j \frac{R_2}{R'_d{}^2 + x_d^2} \right) \quad (7)$$

当挡板绕组回路中电阻占优势的情况下, 它的磁通主要由无功磁阻来决定, 于是上式可近似写成:

$$Z_{\nu d} \approx x_d = \frac{\omega W_d^2}{\sqrt{2} R'_d} \quad (8)$$

如果工作绕组 W_g 产生的磁势为 \dot{E}_p , 那么通过衔铁的磁通便为:

$$\dot{\phi}_3 = \frac{\dot{E}_p}{\frac{R_{\nu D} R_{\nu d}}{jx_{\nu}} + R_{\nu D} + R_{\nu d}} \quad (9)$$

它的大小为:

$$\phi_3 = \frac{E_p}{\sqrt{(R_{\nu D} + R_{\nu d})^2 + (R_{\nu D} R_{\nu d} / x_{\nu})^2}} \quad (10)$$

由 (8) 式和 (10) 式知, 调节 R'_d 可以改变 ϕ_3 的值, 但 $R'_d = R_d + R_2$, 其中 R_d 是不可改变的, 因此只有通过改变 R_2 来改变 ϕ_3 , 即可用 R_2 来改变继电器的动作整定值。当 $R_2 = 0$ 时, 获得最小的动作电流整定值, 当 $R_2 = \infty$ 时, 获得最大的动作电流整定值。

R_2 的取值可以按如下方法求得。对于执行机构来说, 不管有没有挡板, 达到动作时衔铁通过的磁通是一定的。假设磁回路中没有挡板, 衔铁中的磁通应为:

$$\phi_3 = \frac{E'_p}{R_{\nu d}} \quad (11)$$

式中 E'_p ——无挡板时执行机构动作所需 W_g 产生的磁势。

加上挡板后, 所需 W_g 产生的磁势应由 (10) 式决定, 考虑 (10) 和 (11) 的等效关系可得:

$$R_2 = \frac{\omega W_d^2 \sqrt{E_p^2 R_{\nu d}^2 - E_p'^2 (R_{\nu D} + R_{\nu d})^2}}{\sqrt{2} E_p^2 R_{\nu D} R_{\nu d}} \quad (12)$$

如果混合型差动继电器采用已知的机构和铁芯, 例如采用原有电磁型差动继电器的机构 (DL-1 机构) 和铁芯, 挡板的铁芯与基本磁体铁芯相同, 只稍加缩短, 那么上

式中的 E_p , d , S_D , S_A 等均为已知, 而通常 W_A 可取2000—3000匝, D 取0.05—0.3 mm, 在变压器内部短路时, 挡板的磁分流系数取0.1左右, 那么 R_2 便可以计算出来。

继电器的有功损耗决定于 R_2 , R_2 越大有功损耗越小。实际上最大的有功损耗是在动作电流整定值最小的情况下, 因此只需求取这种情况下的 R_2 值, 其他整定值下的 R_2 值可由实验来确定。由(1)、(2)和(12)式可知, R_2 的大小与 D 和 W_A 有关, 因此需要由不同的 D 、 W_A 值得到的一系列 R_2 值中选取一个合理的值, 使继电器的有功损耗尽可能小。 R_2 的计算比较麻烦, 它可以用图3所示的程序通过计算机来完成。

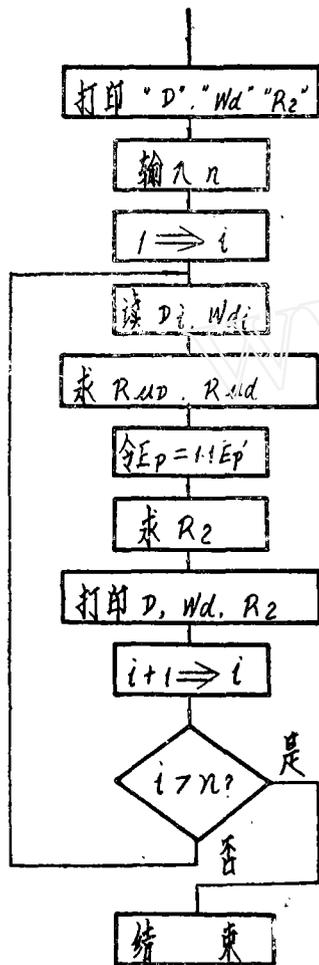


图3 计算 R_2 的程序框图

对控制变KB的设计应考虑如下几种情况:

- (1) 在变压器内部短路时, 应使 $U_{ZL1} < U_{ZL2}$;
- (2) 在变压器外部短路时, 应使 $U_{ZL1} > U_{ZL2}$;
- (3) 在变压器流过励磁涌流的情况下, 能使 $U_{ZL1} > U_{ZL2}$ 。

条件(2)以及具有两端电源时的条件(1)均容易满足, 这时只需在KB原边的两个绕组按图1所示的极性连接便可以。但是要满足条件(3)以及在单端电源下满足条件(1), 就需对控制回路的伏安特性作认真的考虑(即对KB的参数作认真的考虑), 要使它的伏安特性与工作回路的伏安特性相配合。图4示出了二者的伏安特性。

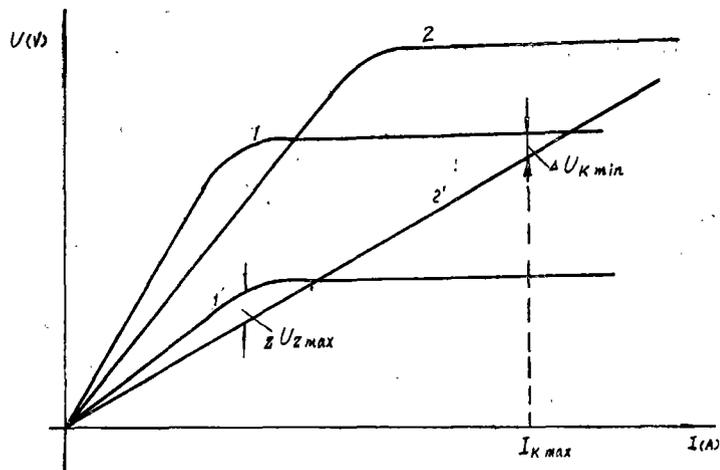


图4 伏安特性曲线

- 图4注:
- 1——工作回路在变压器外部和内部短路时的伏安特性;
 - 1'——工作回路在变压器通过励磁涌流时的伏安特性;
 - 2——控制回路在变压器外部短路时的伏安特性;
 - 2'——单端电源变压器内部短路与变压器通过励磁涌流时控制回路的伏安特性。
- 所谓工作回路的伏安特性, 是指 $ZL2$ 的输出电压与 W_A 的输入电流之间的关系; 而按

制回路的伏安特性是ZL₁的输出电压与KB的输入电流之间的关系。因此制动条件应满足:

$$\Delta U = U_{ZL2} - U_{ZL1} < \Delta U_{\text{min}} \quad (13)$$

动作条件应满足:

$$\Delta U = U_{ZL2} - U_{ZL1} > \Delta U_{\text{min}} \quad (14)$$

上两式中 ΔU_{min} ——继电器能起动所要求 U_{ZL2} 高于 U_{ZL1} 的最小差值。它与工作回路的参数有关。

由曲线1和曲线2也很容易说明,在两端电源下满足条件(1)以及满足条件(2)是很容易的。在单端电源变压器内部短路时,控制变KB原边只有一半线卷通过短路电流,它的伏安特性变到2'。此时要满足条件(1),就要求 $\Delta U_{\text{min}} > \Delta U_{\text{min}}$ 。此处 ΔU_{min} 为变压器内部短路电流为最大时 U_{ZL2} 高于 U_{ZL1} 的差值。

变压器通过励磁涌流时,控制变也有一半线卷通过励磁涌流,它的特性也变到2',但由于励磁涌流偏向一边,工作回路的伏安特性变到1',在某一电流范围内将出现 $U_{ZL2} > U_{ZL1}$,它们的最大差值是 ΔU_{max} (如图2所示),如果要满足条件(3),则要求 $\Delta U_{\text{max}} < \Delta U_{\text{min}}$,否则在励磁涌流某一范围内可能出现误动作。

如果采用已知的执行机构和主磁体,那么由工作回路的伏安特性曲线1和1'确定的 U_{ZL2} 的最大值近似地为一定值,而曲线1和1'的陡度可以调节D的大小来实现,D越小,曲线变陡(起始部分变陡)。当控制回路的特性曲线2和2'确定后(即控制变的参数与 R_w 确定后),改变D, ΔU_{max} 增加,而 ΔU_{min} 近似不变。由此可见,当其他参数确定后,改变D值,不仅继电器的整定值会发生变化,而且变压器通过励磁涌流时继电器误动作的可能性增加了。

当控制变的参数确定后,由控制回路伏安特性曲线2和2'确定的 U_{ZL1} 的最大值近似地为一定值,而曲线2和2'的陡度可以借助 R_w 来调节,减小 R_w 的值可以使它们变陡。在曲线1和1'确定后,2和2'变陡会使 ΔU_{max} 变小,它对变压器通过励磁涌流时继电器的制动有利,但是此时 ΔU_{min} 也变小,使得单端电源变压器内部短路时可能出现动作不灵敏。

由以上分析可知,调节D和 R_w 可能引起条件(3)和单端电源变压器内部短路的条件(1)之间的矛盾,因此调试时要兼顾二者的要求。除此之外,由曲线1和1'确定的 U_{ZL2} 的最大值和由曲线2和2'确定的 U_{ZL1} 的最大值之比也应满足一定的要求。如果基本磁体和控制变的铁芯采用相同的导磁材料,那么控制变的铁芯截面要大于主磁体铁芯的截面。

通过实验室的模拟实验证明,该继电器的主要技术数据如下:

额定电流 5 A, 50Hz;

无制动时继电器的起动安匝数同DL-1机构;

动作电流可在2—7 A(或更大范围内)调整;

变压器外部短路不平衡电流 $\leq 25\% I_N$ 时,继电器可靠闭锁;

两端或单端电源变压器内部短路时 $I_K \geq 1.3 I_{\text{整}}$ ($I_{\text{整}}$ 为整定值)能可靠动作;

变压器空载合闸时,合闸角(电压合闸角)从0—180°变化时,均可靠闭锁;
输入1.5倍动作电流整定值的电流时,10次平均动作时间20—24ms;
电流返回系数0.7—0.85;
功率损耗 $\leq 5\text{VA}$ 。

本继电器可用作双绕组或三绕组变压器的差动保护。当用于三侧容量不相同的三绕组变压器时需附加一个变流器,但它可装在继电器里面。

结论

研究的混合型继电器是采用能够控制的磁分流原理构成的,它有效地躲开了变压器外部短路的不平衡电流与励磁涌流,它的整定值不需考虑二者的影响,因而它具有较高的灵敏度。

该继电器综合了整流型继电器和机电型继电器的优点,因而它具有调试方便,工作稳定等优点。

参考文献

1. Габришное Иолупроводниково—Электромагнитное Реле—
Зинченко В. Ф. …; Электрические Станции, 1983, №8, 63—65

2. Электромагнитное Реле С электронным Торможением Для
Дифференциальной Защиты Трансформаторов—Зинченко В. Ф. ,
Промышленная Энергетика, 1983, № 6, 31—34

科研成果——

——微型计算机在电力系统自动化中的应用

许昌继电器研究所在近年来,研制成功三种用于电力系统自动化的微机装置: SBL—1型变电站微机保护装置; ZSL—1型事件顺序纪录装置和 ZWY—1型无功补偿及电压调整装置。它们的共同特点是:采用Z—80单板机为主机,硬件配置较简单、结构灵活,软、硬件按功能组件化,模块化、功能改变和参数设定方便,用户较易掌握;装置设有自检手段,并有信号指示。

SBL—1型变电站微机保护装置是由华中工学院与许昌继电器研究所合作研制成功的,装置具有过流速断、变压器差动,低压过流等项保护功能,每台单板机可保护4条10kV馈线。该设备已于86年投入武汉楠林变电站试运行。

为了能及时反映电力系统在复杂事故中的全过程,事故的起因、各断路器和继电保护的 动作次序,用户要求不仅仅能反映开关及有关触点状态的变化情况,而且要知道状态变化时的时间信息、定时分辨率要达到毫秒级。否则,由于继电保护不正常或断路器失灵等原因,可造成多处断路器跳闸,甚至扩大成电网振荡故障。ZSJ—1型微机事件顺序纪录装置就是一种用于实时纪录电力系统故障时接点变化情况。具有中等容量的自动化设备。该装置特点是:开关量输入采用中断方式;输入点数以40为模可任意增删(最大为640点);输入回路全部经过光电耦合管隔离,提高了整机工作的可靠性;配有 μ —80打印机,可开关量变位启动或召唤打印出有关开关量的时间参数;开关量的说明符用户可以自行修改。(下转61页)