

变压器微机保护数学新模型

薛金娃

(甘肃省兰州石化公司动力厂电气车间,甘肃 兰州 730060)

摘要: 利用短路实验把变压器一次和二次绕组的漏阻抗分别测出来,再根据漏阻抗不变的原则提出了变压器微机保护的数学新模型。

关键词: 变压器; 漏阻抗; 微机保护

中图分类号: TM772

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2001)08-0024-G4

1 问题的提出

变压器电流差动保护中,比率制动式、标积制动式和非线性制动式均必须增设防止励磁涌流下误动作的闭锁环节。如:间断角原理、波形对称原理、二次谐波或高次谐波制动式等。间断角原理在硬件上实现比较困难,波形对称原理还有待实践检验,二次谐波或高次谐波制动原理没有准确的数据。谐波制动比取得大,则容易产生误动,反之,则容易产生延时动作或拒动。且不论以上哪种方式,在既有励磁涌流又有故障电流的情况下,以上判据都处在矛盾中,是判故障电流切除变压器还是判励磁涌流闭锁?所以,变压器电流差动保护存在很大的缺陷。而在近期提出的考虑励磁特性的变压器微机保护,由于假设了各绕组的漏阻抗均相等,从而产生了很大的误差,从根本上没有避开励磁涌流的影响。所以,变压器主保护还有待进一步的研究。本文就变压器微机保护数学新模型的建立进行了粗浅的分析。

2 变压器微机保护数学模型初探

如图1所示。

在图1中恒有:

$$e_1 - ke_2 = i_1 R_1 + L_1 di_1/dt + k(i_2 R_2 + L_2 di_2/dt) \quad (1)$$

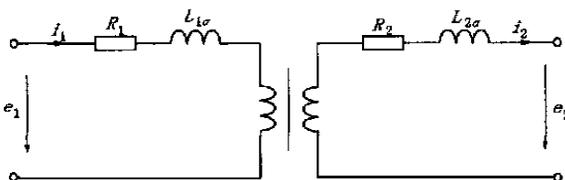


图1

(1)式中, e_1, i_1 为一次侧电压、电流瞬时值; e_2, i_2 为二次侧电压、电流瞬时值, $k = N_1/N_2$ 为变压器变比。

由于: $L_1 = N_1^2 \sigma_1$ σ_1 :一次侧漏磁导

$L_2 = N_2^2 \sigma_2$ σ_2 :二次侧漏磁导

所以,只要变压器本身没有内部匝间短路、单相接地(Y_N 侧)或相间短路,不管变压器是正常负荷状态,还是外部短路、过励磁或空载合闸情况,(1)式恒成立;反之则(1)式不成立。

在(1)式中,用向后差分代替微分后用微机实现很容易,所以该数学模型的关键是如何获得正常情况下的一次漏阻抗和二次漏阻抗。

3 漏阻抗的测量

3.1 基本思想

利用两次短路实验把变压器一、二次绕组的漏阻抗分开。第一次短路实验也就是传统的三相变压器的短路实验,通过该次实验可求出变压器的总的漏阻抗。这个数据已由厂家提供,所以该实验可不做。第二次短路实验是把变压器中性点引出的一侧看作是一台单相三绕组变压器做短路实验,通过该实验可求出中性点引出侧绕组的漏阻抗。然后,从总的漏阻抗中减去该侧的漏阻抗得另一侧的漏阻抗。

3.2 实验原理图

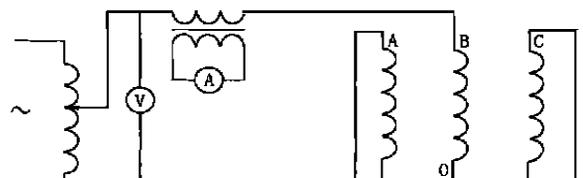


图2

3.3 实验所遵循的基本理论

在该实验中,首先假设了三绕组的漏阻抗相等。B相对中性点加电压,A、C相分别对中性点短接。变压器另一侧完全开路。

根据基尔霍夫第二磁路定律和变压器输入功率和输出功率相等有：

$$NI_B \quad NI_C = NI_A$$

$$E_B I_B = E_A I_A + E_C I_C$$

$$E_A = E_C$$

由此可见：

$$I_B \quad I_A = I_C$$

$$E_B = 2 E_A = 2 E_C$$

由此可画出等效电路图如下：

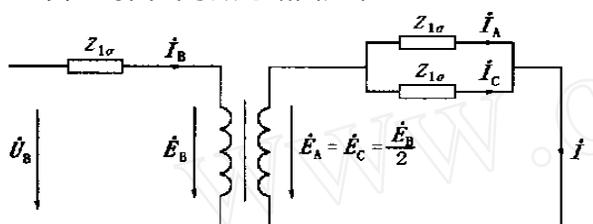


图3

把上图简化得：

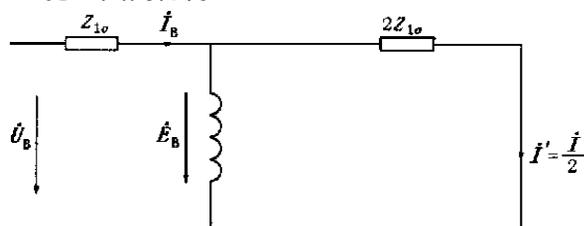


图4

所以：

$$|Z_1| = \frac{U_B}{3 I_B} \quad (3)$$

由上可知：只要测出 U_B 和 I_B 就可求出 Z_1 。

3.4 实际变压器的漏阻抗测定

3.4.1 样品变压器的相关技术数据

表1

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	阻抗电压 (%)	结线组别
SF7-16000/35	35	264	7.98 %	Y _N ,d ₁₁

3.4.2 样品变压器总的漏阻抗 Z 的计算

$$Z = \frac{U_d \% \cdot U_e}{\sqrt{3} I_c} = \frac{7.98 \% \times 35000}{264 \times \sqrt{3}} = 6.108282595 (\Omega)$$

3.4.3 数据采样及处理

表2中：

$$Z_B = \frac{U_B}{I_B};$$

$$Z_B = Z_{B(i+1)} - Z_{B(i)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, 21;$$

$$Z_1 = \frac{Z_B}{3}$$

3.4.4 结果分析

由测定计算结果可看出， Z_1 随外加电压的升高而增大。这是因为，外加电压太低，还处在图5所示。磁化曲线的 ab 段，励磁阻抗随外加电压的升高而增大的缘故。相信，只要电压加到 bc 段，则可以准确地测到 Z_1 。但从表2的结果已经可看出，高压侧绕组的漏阻抗远大于低压侧绕组的漏阻抗。

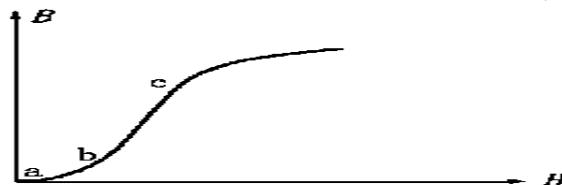


图5

表2

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
U_B (V)	10.652	20.029	30.476	40.622	50.087	60.348	70.389	80.014	90.646	100.766	110.581	121.213	130.531	140.948	151.099	161.331	170.448	182.691	191.714	202.579	212.313	221.721
I_B (A)	0.67	1.25	1.89	2.51	3.09	3.71	4.31	4.88	5.51	6.13	6.07	7.32	7.86	8.47	9.06	9.66	10.22	10.89	11.40	12.03	12.59	13.14
Z_B ()	15.898	16.023	16.125	16.184	16.209	16.266	16.332	16.396	16.451	16.438	16.505	16.559	16.607	16.641	16.678	16.701	16.678	16.776	16.817	16.840	16.864	16.874
Z_B ()		0.125	0.102	0.059	0.025	0.057	0.065	0.065	0.055	-0.013	0.066	0.055	0.048	0.034	0.037	0.023	0.023	0.098	0.041	0.023	0.024	0.010
Z_1 ()	5.300	5.341	5.375	5.395	5.403	5.422	5.444	5.465	5.484	5.479	5.502	5.520	5.536	5.547	5.559	5.567	5.559	5.592	5.606	5.613	5.621	5.625

4 三相变压器微机保护数学模型的建立

如图6所示为三相 Y_N ,d₁₁ 连结组别的变压器，a、b、c 表示 侧三相，A、B、C 为 Y 侧三相， i_p 为绕组内环流， i_{La} 、 i_{Lb} 、 i_{Lc} 为 侧三相线电流。则有：

$$e_A - ke_a = L_1 \frac{di_A}{dt} + r_1 i_A + k \left[L_2 \frac{d(i_a + i_p)}{dt} + r_2 (i_a + i_p) \right]$$

(4)

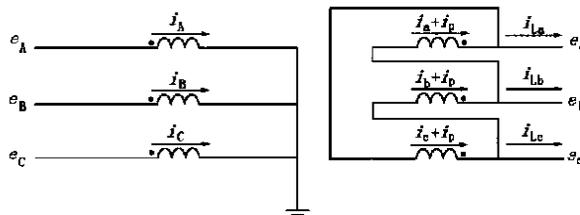


图6

$$e_B - ke_b = L_1 \frac{di_B}{dt} + r_1 i_B + k \left[L_2 \frac{d(i_b + i_p)}{dt} + r_2 (i_b + i_p) \right] \quad (5)$$

$$e_C - ke_c = L_1 \frac{di_C}{dt} + r_1 i_C + k \left[L_2 \frac{d(i_c + i_p)}{dt} + r_2 (i_c + i_p) \right] \quad (6)$$

由“ (4) - (5) ”、“ (5) - (6) ”、“ (6) - (4) ”得:

$$e_A - e_B - k(e_a - e_b) = L_1 \frac{d(i_A - i_B)}{dt} + r_1 (i_A - i_B) + k \left[L_2 \frac{d(i_a - i_b)}{dt} + r_2 (i_a - i_b) \right] \quad (7)$$

$$e_B - e_C - k(e_b - e_c) = L_1 \frac{d(i_B - i_C)}{dt} + r_1 (i_B - i_C) + k \left[L_2 \frac{d(i_b - i_c)}{dt} + r_2 (i_b - i_c) \right] \quad (8)$$

$$e_C - e_A - k(e_c - e_a) = L_1 \frac{d(i_C - i_A)}{dt} + r_1 (i_C - i_A) + k \left[L_2 \frac{d(i_c - i_a)}{dt} + r_2 (i_c - i_a) \right] \quad (9)$$

由于 绕组的相电流和线电流间存在以下关系:

$$\begin{cases} i_a = (i_{La} - i_{Lc})/3 \\ i_b = (i_{Lb} - i_{La})/3 \\ i_c = (i_{Lc} - i_{Lb})/3 \end{cases} \quad (10)$$

把(10)式代入(7)、(8)、(9)式得:

$$e_A - e_B - k(e_a - e_b) = L_1 \frac{d(i_A - i_B)}{dt} + r_1 (i_A - i_B) + k \left[L_2 \frac{di_{La}}{dt} + r_2 i_{La} \right] \quad (11)$$

$$e_B - e_C - k(e_b - e_c) = L_1 \frac{d(i_B - i_C)}{dt} + r_1 (i_B - i_C) + k \left[L_2 \frac{di_{Lb}}{dt} + r_2 i_{Lb} \right] \quad (12)$$

$$e_C - e_A - k(e_c - e_a) = L_1 \frac{d(i_C - i_A)}{dt} + r_1 (i_C - i_A) + k \left[L_2 \frac{di_{Lc}}{dt} + r_2 i_{Lc} \right] \quad (13)$$

(11)、(12)、(13)式中的电压电流均可从电压互感器、电流互感器直接测取,只要变压器内部绕组没有故障,此三式恒成立。反之,则此三式不成立。

考虑到各方面的误差影响,再用差分取代微分后,分别有误差函数:

$$e_{AB}(t_1) = e_A(t_1) - e_B(t_1) - \frac{L_1}{T} \{ [i_A(t_1) - i_B(t_1)] - [i_A(t_0) - i_B(t_0)] \} - r_1 [i_A(t_1) - i_B(t_1)] - k \left\{ e_a(t_1) - e_b(t_1) + \frac{L_2}{T} [i_{La}(t_1) - i_{La}(t_0)] + r_2 i_{La}(t_1) \right\} \quad (14)$$

$$e_{BC}(t_1) = e_B(t_1) - e_C(t_1) - \frac{L_1}{T} \{ [i_B(t_1) - i_C(t_1)] - [i_B(t_0) - i_C(t_0)] \} - r_1 [i_B(t_1) - i_C(t_1)] - k \left\{ e_b(t_1) - e_c(t_1) + \frac{L_2}{T} [i_{Lb}(t_1) - i_{Lb}(t_0)] + r_2 i_{Lb}(t_1) \right\} \quad (15)$$

$$e_{CA}(t_1) = e_C(t_1) - e_A(t_1) - \frac{L_1}{T} \{ [i_C(t_1) - i_A(t_1)] - [i_C(t_0) - i_A(t_0)] \} - r_1 [i_C(t_1) - i_A(t_1)] - k \left\{ e_c(t_1) - e_a(t_1) + \frac{L_2}{T} [i_{Lc}(t_1) - i_{Lc}(t_0)] + r_2 i_{Lc}(t_1) \right\} \quad (16)$$

上三式中: t_1, t_0 : 采样时刻;

$$T = t_1 - t_0;$$

取一阈值 $Q > 0$, 当所有误差函数的绝对值都小于 Q 时, 表明变压器无故障。反之, 则说明变压器内部故障。(14)、(15)、(16)式就是本文所建立的变压器微机保护数学新模型。

5 结语

1) 由于该模型是建立在准确的漏阻抗测量基础上的, 所以与变压器的励磁涌流毫无关系, 无须附加制动措施。

2) 在该模型中, L_1 、 L_2 和 K 都是与匝数有关的量, 所以该模型对变压器内部与绕组有关的故障反应很灵敏。

3) 利用计算机强大的计算功能, 该模型很容易实现。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用(第一版). 中国电力出版社, 1996, 1.
- [2] 许实章. 电机学(第二版). 北京: 中国机械工业出版社, 1998, 11.

收稿日期: 2001-01-08

作者简介: 薛金娃(1971-), 男, 本科, 主要从事电力系统继电保护工作。

New mathematical model of microprocessor - based protection for transformer

XUE Jin-wa

(Lanzhou Petrochemical Company of Gansu Province , Lanzhou 730060 , China)

Abstract: Measuring the leakage impedance on both of the primary and secondary windings of the transformer by short circuit test , and a new mathematical model of microprocessor - based protection for transformer is proposed based on the principle of constant leakage impedance.

Keywords: transformer ; leakage impedance ; microprocessor - based protection

(上接第 23 页)

推理机的工作过程模拟人类思维,由搜索、匹配、操作合理检查等组成。当操作某一设备时,推理机根据唯一确定的元件编号,搜索规则库,得到被操作设备在网络拓扑结构中的位置,然后再以元件编号为关键字,在综合数据库中查找与之关联的所有元件的状态,最后调用防误规则。如果操作与某一防误规则相符,那么专家系统报警,通过人机接口,提示出错原因,并发出闭锁信号。此时若用户中断操作,则专家系统根据记忆提示用户作相应修改,使系统恢复到操作前的状态。仍以图 4 所示的结线为例,对断路器 211 进行合操作时,推理机先从知识库中了解到与 211 相关的元件为隔离开关 2111、2112、2113,接着在综合数据库查询这三个关联元件的实时状态。如果此时隔离开关 2111 为合状态,同时隔离开关 2112 或 2113 也处于合位置,那么满足“断路器先断后合”原则,允许合断路器 211;否则与防误原则相符,提示出错,不允许对断路器 211 进行合操作。

5 总结

微机防误操作闭锁装置的防误专家系统主要由

知识库、综合数据库和推理机组成。知识库将五条防误规则加以扩展,用最简单可靠的与或结构表示系统在不同运行方式下的各种防误要求,并与存放被控设备属性的综合数据库关联。推理机则采用正向推理机制,通过搜索、匹配、合理性检查等步骤实现模拟预演和实时防误,有效地杜绝误操作事故的发生。利用面向对象的编程方法设计防误专家系统,不仅程序流程条理清楚,结构分明,而且使得系统的可维护性和易扩充性大为增强。

参考文献:

- [1] 蔡自兴. 人工智能及其应用. 北京:清华大学出版社, 1996.
- [2] 王培杰,等. 面向对象的 Windows 编程技术. 大连:大连理工大学出版社,1994.
- [3] 程慧霞,等. 用 C++ 建造专家系统. 北京:电子工业出版社, 1996.

收稿日期: 2001-03-19;

作者简介: 张建杰(1966 -),男,工程师,主要从事电子产品的工艺与结构设计; 程时杰(1945 -),男,教授,博导,主要从事电力系统分析、控制及人工智能应用研究工作。

Application of expert system in microprocessor - based miss operation blocking device

ZHANG Jian-jie , CHENG Shi-jie

(Huazhong University of Science and Technology , Wuhan 430074 , China)

Abstract: An object - oriented programming approach is presented in this paper which forms the principle of microprocessor - based miss operation blocking expert system in the power system. The system regulation base and implementation of data base are introduced as well.

Keywords: expert system ; object - oriented programming ; miss operation blocking