

相角比较式变压器差动保护

谭文其 黄纯 湖南大学(410082) 沈学斌 湖南省变电修试安装公司(410002)

摘要 用增加闭锁电路的方法来避免外部短路最大不平衡电流的影响,会使变压器差动保护变得更加复杂。现笔者利用自己研究的交点相角法构成的相角比较式差动保护,由于从原理上有所创新,即引出了新的判据,从而不需要外加任何闭锁电路,自身就具有很好的制动特性。这不仅可使电路简单,而且在内部较轻的短路时,即在 $I_d \leq 2I_c$ 以前的灵敏性大为提高。因而这种保护与原有的差动保护比较具有突出的优点。

关键词 变压器差动保护 差动保护 相角比较

引言

按传统的整定计算方法,变压器差动保护的整定原则之一需要躲开外部短路的最大不平衡电流,它的整定值为:

$$I_j = K_k \cdot I_{bp,max} \quad (1)$$

式中 K_k ——可靠系数;

$I_{bp,max}$ ——外部短路最大不平衡电流。

那么,内部短路时流过继电器的电流大于此值保护才能动作,这就限制了它的保护范围。

目前运行的一些差动保护,虽然可以消除外部短路最大不平衡电流的影响,但都是从电路上采取措施,例如采用制动电路来达到的。这就必然使保护变得比较复杂。

用交点相角法构成的相角比较式差动保护,它是以前角度为 θ 的信号输入至执行元件,角度信号是这样得来的:以双绕组变压器为例,先将变压器的原、副方电流转换成电压 U_{11} 、 U_{12} ,选定一个基准量 U_j ,令 U_{11} 与 U_j 波形的交点为基点, U_{12} 与 U_j 的交点

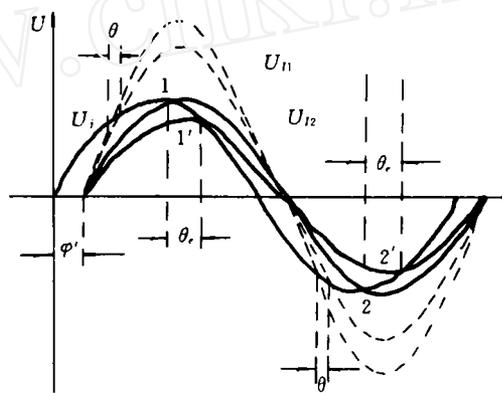


图 1

与基点间的夹角便为 θ 。 θ 的判据在外部短路和内部短路时不同的是:外部短路时,它使 θ 自动地随短路电流的增加而减小;内部短路时,它使 θ 随短路电流的增加而增加。因此按额定时的 θ 整定保护后,外部短路时它肯定可靠闭锁;内部短路时它将可靠动作。

1 基本工作原理

用交点相角法构成差动保护的一个关键是如何选择基准量 U_j 。对于基准量 U_j 的选择有

收稿日期:1995—05—19

不同的方法,它可以选择直流,也可以选择交流。不管是直流还是交流,又可分为定幅值和变幅值两种形式。定幅值与变幅值是指 U_j 的幅值是否随短路电流的变化而变化。交流基准量还可分为定相角与变相角两种。定相角是指 U_j 与 U_{i1} 、 U_{i2} 之间的相角 φ 不随 U_{i1} 、 U_{i2} 的变化而变化,即与短路电流的大小及功率因数角 φ 无关;变相角则有关。

为分析简单起见,我们设 U_{i1} 、 U_{i2} 同相位,而且以定相位、变幅值的基准量 U_j 为例,分别分析额定运行、外部短路及内部短路时保护的工作情况。

1.1 变压器额定运行与外部短路

图 1 示出了变压器额定工作情况下与外部短路时的 U_j 、 U_{i1} 、 U_{i2} 的波形。其中实线表示额定情况,虚线表示外部短路。由图 1 可以看出,外部短路时的 θ 值小于额定工作情况下 θ 值,因此按额定工作情况下整定,外部短路保护肯定可靠闭锁。 θ 可按下式计算

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{n \sin \varphi}{n \cos \varphi}\right) - \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{k n \sin \varphi}{k n \cos \varphi}\right) \quad (2)$$

式中 $K = U_{i1}/U_{i2} = I_1/I_2$; $n = U_{i1}/U_j$

为了进一步说明该保护在变压器外部短路时的制动作用,我们列出了按式 2 计算出的 θ 值。此表是假设变压器额定运行情况下,原边电流互感器二次侧的电流为 5A,副边电流互感器二次侧的

电流为 4A,即相差 25%, $\varphi = 55^\circ$ 而得到的。由表 1 可见,如果保护是直接反应差电流,当短路电流增加到额定电流的 10 倍时,差电流也增加 10 倍,要躲开差电流增加的影响,必须在电路上采取措施,即增加附加的制动电路来达到。如果采用 θ 信号作为保护的動作信号,那么当短路电流增加到额定电流的 10 倍时, θ 信号则减小到额定时的 8.6%。由此可见,新保护不需要任何的外加制动措施,本身就具有很好的制动作用。

表 1 差电流和 θ 随短路电流变化的比较

原侧电流互感器副边电流(A)	5	10	20	40	50
副侧电流互感器副边电流(A)	4	8	16	32	40
差电流(A)	1	2	4	8	10
θ 值(度)	12.05	6.835	2.96	1.328	1.037

1.2 变压器内部短路

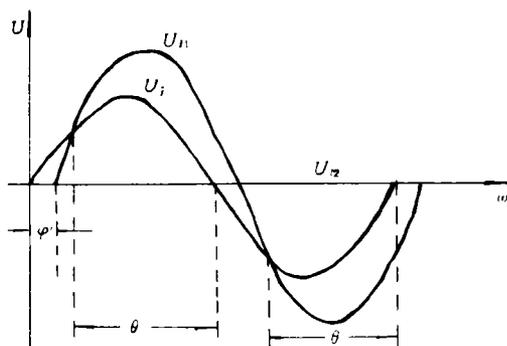


图 2

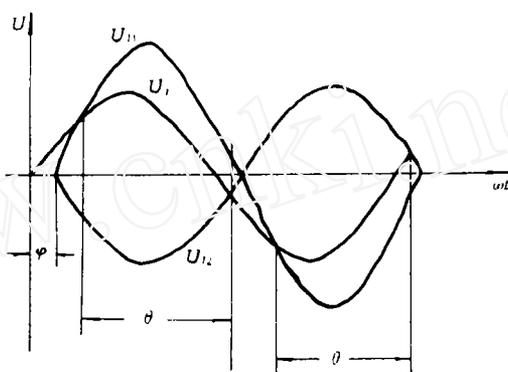


图 3

对变压器内部短路时差动保护工作原理的分析,可分单端和两端具有电源的情况。

图 2 示出了两端具有电源,并且短路比较严重(即 U_{11} 与 U_{12} 完全反向)情况下有关电压的波形。由图 2 显然可以看出,内部短路时, θ 的值明显大于额定值 θ_0 , 保护肯定可以动作。并且还可以发现, θ 将随着电流的增加而增加,因此内部短路电流越大,它的动作速度越快。在两边电流 I_1 、 I_2 未反向以前,仍按 2 式计算 θ ,反向以后按 3 式计算。

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{n \sin \phi}{1 - n \cos \phi}\right) - \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{k n \sin \phi'}{1 - k n \cos \phi'}\right) \quad (3)$$

图 3 示出了变压器一端具有电源时的有关电压波形。由该图可以看出,单端电源内部短路时的 θ 值也大于额定值 θ_0 , 并且 θ 随短路电流的增加而增加。

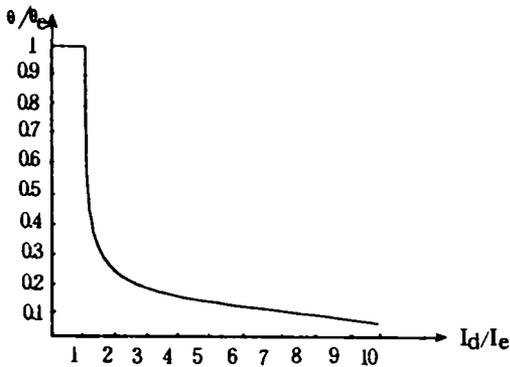


图 4

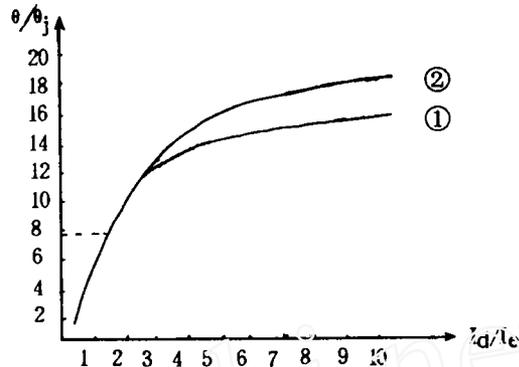


图 5

2 用集成元件构成的变压器差动保护

如果完全按定相位、定幅值交流电压作基准量 U_j , 用集成元件构成是比较困难的。由图 1 可以看出,正常运行时,当变压器的工作电流小于额定电流时, θ 值会大于额定时的值 θ_0 。如果按 θ_0 来整定,那么轻负荷下保护便会动作,这是不容许的。如果按小负荷下的 θ 值来整定,大负荷下就会降低灵敏度。因此在额定负荷以下采用定相位、变幅值的交流电压作为基准量,这样可以使 θ 在不同的负荷下保持同一 θ 值,给整定提供了方便。在额定电流以上仍采用定相位定幅值交流电压作为基准值,这样可以保证外部短路具有很好的制动特性。由于定相位、定幅值的交流基准量很难选取,我们将 U_{11} 经过超前电路获得定相位,再当它大于额定值时进行限幅,从而获得定幅值。经过这样处理后,外部短路时 θ 值可按式 4 进行计算。

$$\theta = \left| \sin^{-1} \frac{U_{jx}}{U_{11m}} - \sin^{-1} \frac{U_{jx}}{U_{12m}} \right| \quad (4)$$

式中 U_{jx} —— 基准量的限幅值;

U_{11m} 、 U_{12m} —— U_{11} 、 U_{12} 的幅值。

当变压器两端和一端具有电源内部短路时, θ 值可分别按式 5 和式 6 进行计算。

$$\theta = 180^\circ - \left(\sin^{-1} \frac{U_{jx}}{U_{11m}} + \sin^{-1} \frac{U_{jx}}{U_{12m}} \right) \quad (5)$$

$$\theta = 180^\circ - \left(\sin^{-1} \frac{U_{jx}}{U_{11m}} + \phi \right) \quad (6)$$

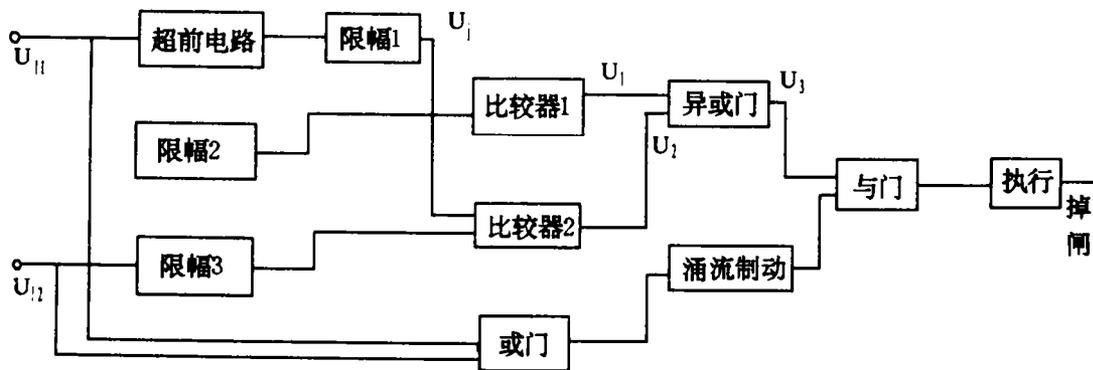


图 6

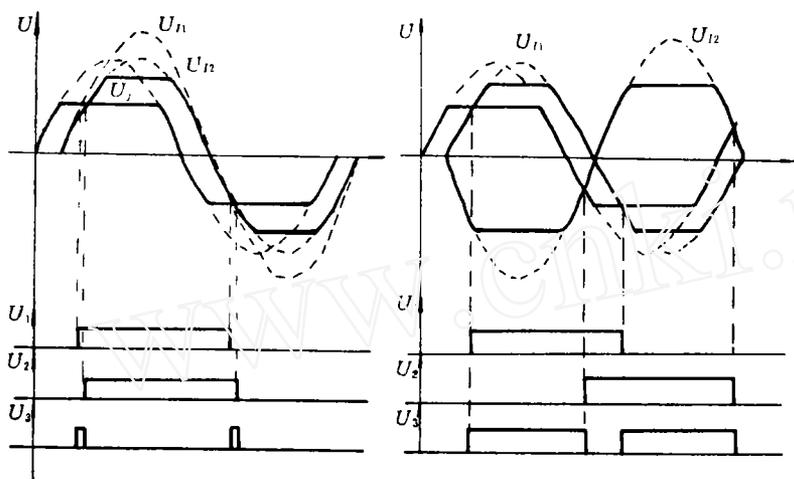


图 7

图 4 绘制了该保护的外部短路时的特性,即制动特性。图中的曲线在 $I_d/I_e \leq 1$ 的部分是按 2 式,并令 $\phi = 30^\circ$ (实际所取的角) 计算的,1 以后是按 4 式计算的。由图 4 可以看出,动作信号 θ 随外部短路电流的增加急剧下降,当 I_d 增加到 $10I_e$ 时, θ 下降到小于 $1/10$ 额定情况下的 θ_e 。因此外部短路时它能非常可靠地动作。

图 5 绘制了整定值 $\theta_j = 10^\circ$ 时该保护的内部短路特性。图中曲线 ① 是变压器一端具有电源,而且当 $I_d/I_e = 1.5$ 以后 U_{12} 完全为零的情况下作出的。曲线 ② 是变压器两端具有电源,当 $I_d/I_e = 1.5$ 以后 U_{11} 与 U_{12} 完全反向,但二者在数值完全相同的情况下作出的。当 U_{11} 和 U_{12} 在数字上不相同时,曲线 ② 会下移,但最低也不低于曲线 ①。由图 5 可以看出,这种保护在 $I_d/I_e < 2$ 以前,随着短路电流的增加, θ 增加特别快,这有利于提高变压器内部比较轻短路时保护的動作速度。

该保护动作的 θ 值可以整定到几度。图 5 中的曲线是 $\theta_j = 10^\circ$ 作出的。若 θ_j 整定到 5° ,那么

在相应的 I_d/I_c 下, θ/θ_j 便要增加一倍, 灵敏度也可以提高一倍。

变压器内部发生匝间短路时, 该保护的灵敏度可以作到大于现在运行的差动保护的灵敏度。下面先以单端电源变压器空载发生匝间短路为例加以说明。设以差电流为动作信号的差动保护的整定值 $I_j = 0.5A$, 新保护的 θ 整定值为 5° , 得到的有关数据如表 2 所示, 在 $I_{ch} = 5A$ 以前表中的 θ 值始终保持 75° , 而不随短路电流变化, 是由于 U_j 采用了变幅值, 而且使 $U_j = U_{11}$ 的原因。

当变压器一端具有电源, 在负荷下发生匝间短路时, 它的灵敏度将受到负荷大小的影响。表 3 列出了有关的数据。由表 3 可以知道, 除了变压器完全满负荷下发生匝间短路, 新保护的灵敏度与现有的高灵敏度差动保护相当以外, 其它运行情况下它的灵敏度均高于现有的差动保护。两端具有电源时也可以作类似的分析。

表 2

差电流 $I_{ch}(A)$	1	2	3	4	5	6
I_{ch}/I_j	2	4	6	8	10	12
θ 值(度)	75	75	75	75	75	93.6
θ/θ_j	15	15	15	15	15	18.72

表 3

负荷电流(A)	1			3			5		
差电流(A)	1	3	5	1	3	5	1	3	5
I_{ch}/I_j	2	6	10	2	6	10	2	6	10
θ (度)	48.836	58.567	62.068	20.463	48.836	52.139	11.37	33.366	48.836
θ/θ_j	9.76	11.71	12.41	4.1	9.76	10.43	2.27	6.67	9.76

用集成元件构成的相角比较式变压器差动保护的电路方框图如图 6 所示。图 7 示出了外部短路和内部短路时各点电压的波形。涌流制动是用间断角原理实现的, 它除了涌流制动的的作用以外, 还可以整定单端电源时最小的动作电流值, 避免变压器空载运行下保护误动作。

3 动模实验结果

用集成元件实现的变压器差动保护已在湖南大学电力系统动态模拟实验室的模拟变压器上进行了实验。实验的条件是: 变压器两侧均为 176 匝, 并接成星形; 原侧接无穷大电源, 线电压为 380V; 正常时变压器带 60% 的负荷。实验的主要内容是: (1) 变压器外部三相短路; 分

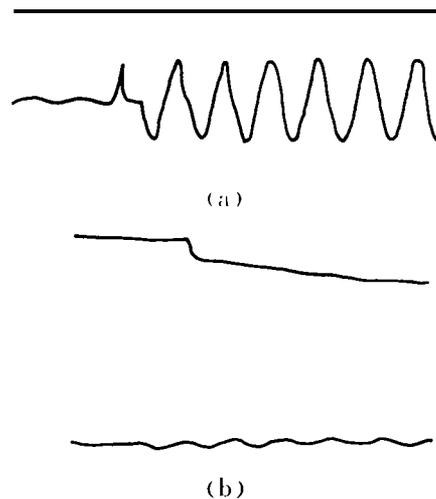


图 8

别作了 I_d 为 $1.2I_c, 2I_c, 6I_c, 10I_c$, 均可靠闭锁。图 8a 示出了 $I_d = 10I_c$ 时的录波图。(2) 变压器内部原、副侧分别两相和三相短路, I_d 从 $0.9I_c$ 作到 $10I_c$, 保护均可靠动作, 图 8b 示出了原副两相短路 $I_d = 0.9I_c$ 时的示波图。(3) 单相匝间短路, 由于模拟变压器绕组的最小抽头(下转 25 页)

3 线路两侧切入不同电流时高频通道上的高频波

线路两侧切入同相电流时,两侧操作元件输出电压相位为 180° ,高频通道上的高频波为连续波,对应的间断角为 0° ,线路两侧切入不同电流时,设两侧操作元件输出电压相位差的绝对值为 X ,则高频通道上的高频波对应的间断角为 $(180^\circ - X)$,如线路一侧切入 I_{an} ,另一侧切入 I_{cn} 时,高频通道上的高频波对应的间断角为 $(180^\circ - 69^\circ) = 111^\circ$,于是就可得到线路两侧切入不同电流时,高频通道上高频波的间断角,如表 4 所示。

表 4

α	N 侧电流					
	I_{ma}	I_{mb}	I_{mc}	I_{nan}	I_{mbn}	I_{ncn}
M 侧电流 I_{ma}	0°	150°	150°	0°	111°	111°
I_{mb}	150°	0°	60°	150°	39°	99°
I_{mc}	150°	60°	0°	150°	99°	39°
I_{man}	0°	150°	150°	0°	111°	111°
I_{mbn}	111°	39°	99°	111°	0°	138°
I_{mcn}	111°	99°	39°	111°	138°	0°

表 4 中 α 表示两侧高频通道上高频波的间断角。

以上分析结论是基于:

- (1) 操作元件的有关数据为标准数据;
- (2) 不考虑有关设备的误差,如线路两侧 CT 变比和相角误差、高频通道传输角误差;
- (3) 工频操作方波宽度按 180° 考虑,即高频波及其间断均为 180° 。

因此在实际对调核相试验时,应考虑上述因素的影响。

参考文献

ZCG - 21x 型高频相差保护检验规程,能源部电力司,1992 年 6 月

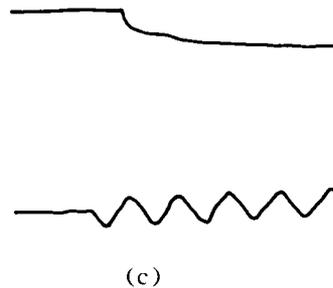
(上接 22 页)为 8 匝,短接 8 匝(占总匝数的 $1/22$),保护可靠动作。图 8c 示出了匝间短路的录波图。

由内部各种短路的示波图可以看出,当 $I_d \geq I_e$ 时,该保护的最大动作时间不会超过 $20ms$ 。

正常运行时,测得单面(按分相作)的消耗功率不超过 $0.3W$ 。

4 结论

用交点相角法构成的相角比较式变压器差动保护,与现有的差动保护比较,它的突出优点是:外部短路时,从基本原理上就已经具有很好的制动特性,因而不需要附加任何制动电路或措施。内部短路时,它具有很高的灵敏度,特别是对匝间短路反应很灵敏。同时由于它彻底消除了外部短路不平衡电流的影响,从而简化了整定计算与调试方法。可以深信,这种保护将会在电力系统中具有广泛的使用前景。



(c)

图 8