

YNd5 接线 220kV 变压器纵联差动保护相位补偿

汤大海

(镇江供电公司, 江苏 镇江 212001)

摘 要: 主保护后备保护一体化 220kV 变压器保护不能采用传统的硬件移相进行相位补偿, 变压器各侧的 TA 二次绕组必须采用星型接法, 变压器纵联差动保护采用软件移相进行电流相位补偿; 而目前各变压器保护制造厂微机变压器纵联差动保护的软件电流相位补偿只能满足 YNd11、YNd1 和 YNyn12 接线组别及其接线组别组合的变压器, 不能适应 YNd5 接线的变压器。提出了一种将 YNd5 接线变压器各侧的 TA 二次绕组接线由 YNd5 接线组别转换为 YNd11 接线组别接线、然后利用微机变压器纵联差动保护 YNd11 接线的电流相位软件补偿最终实现 YNd5 接线组别相位补偿方案, 在某 220kV 客户变电所成功实施, 并通过了带负荷试验。

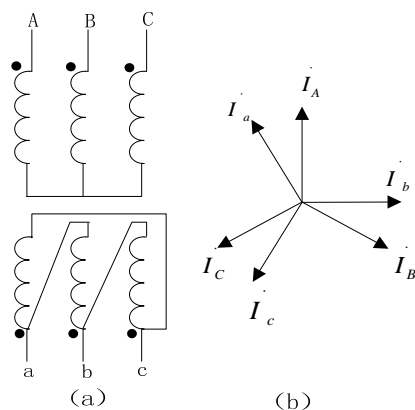
关键词: 220kV 变压器; YNd5 接线; 主后一体化; 纵联差动保护; 相位补偿

某 220 kV 客户变电所 220kV 变压器保护采用了南瑞继保电气有限公司 RCS978 变压器保护, 220kV 变压器接线组别为 YNd5 接线方式。220kV 变压器保护一般为主保护后备保护一体化设计、双重化配置^[1-5], 主后一体化设计即为主保护和后备保护均在一个机箱内使用同一个硬件, 变压器每侧的电流、电压均是采用电流互感器 (简称 TA)、电压互感器同一组二次绕组 (简称主后一体化)。主保护、后备保护采用同一个电流回路, 因此不能采用传统的硬件移相^[2-3]进行电流相位补偿, 因此变压器各侧的 TA 必须采用星型接法^[2-5], 220kV 变压器纵联差动保护 (以下简称变压器差动保护) 采用软件移相进行电流相位补偿^[2-4] (简称相位补偿)。但是目前各保护制造厂商变压器差动保护软件相位补偿方法只能适应 YNd11、YNd1 和 YNyn12 这几种变压器接线组别及其组合接线^[4], 不能适应 YNd5 接线组别及其他接线组别方式, 也没有其他文献给出解决方案。提出了一种简单的相位补偿方案, 先将变压器各侧的 TA 二次绕组接线组别由 YNd5 接线组别转换为 YNd11 接线组别, 然后利用微机变压器差动保护 YNd11 接线的软件补偿最终实现变压器 YNd5 接线组别相位补偿方案。该方案在该变电所进行了实施, 通过带负荷试验验证相位补偿方法正确, 且简单易行。

1 RCS978 变压器差动保护相位补偿

1.1 YNd11 变压器电流相位关系^[1]

以 YNd11 变压器为例, 介绍 RCS978 变压器保护相位补偿, YNd1 变压器保护相位补偿类似。如图 1 为 YNd11 变压器接线图和和两侧电流向量图, a) 为 YNd11 变压器接线图, b) 为 YNd11 变压器电流向量图。由图 1 b) 可见, Y 侧电流相位比 d 侧电流相位滞后 30°。



a) YNd11 变压器接线图, b) YNd11 变压器电流向量图

图 1 YNd11 变压器接线图和两侧电流向量图

1.2 RCS978 变压器差动保护软件相位补偿^[4]

变压器差动保护除了采用传统的硬件移相进行相位补偿 (比如 YNd11 变压器 Y 侧 TA 二次绕组采用三角 d-11 接线、d 侧 TA 二次绕组采用星形 Y-12 接线) 外, 还有软件相位补偿方法。RCS978 变压器差动保护采用 d 侧软件相位补偿, 要求变压器各侧 TA 二次绕组采用星形接线, 变压器各侧 TA 的极性都以母线侧为正极性端, 二次电流不经过硬件

移相直接接入保护装置。由于 Y 侧和 d 侧相位不同，计算差动保护差流时变压器各侧 TA 二次电流相位由变压器差动保护软件进行相位补偿调整：

对于 Y 侧，因为要消除零序电流 I_0 ，所以参与差动保护差流计算的电流为：

$$\dot{I}_{dA} = \dot{I}_A - \dot{I}_0 \quad (1)$$

$$\dot{I}_{dB} = \dot{I}_B - \dot{I}_0 \quad (2)$$

$$\dot{I}_{dC} = \dot{I}_C - \dot{I}_0 \quad (3)$$

式 (1-3) 中 \dot{I}_{dA} 、 \dot{I}_{dB} 、 \dot{I}_{dC} 为装置 Y 侧参与差流计算的 A 相电流、B 相电流、C 相电流； \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 为接入装置 Y 侧 A 相、B 相、C 相的 TA 二次电流。其中， $\dot{I}_0 = (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C)/3$ 。

对于 d 侧，按下列公式进行相位转换：

$$\dot{I}_{da} = (\dot{I}_a - \dot{I}_c)/\sqrt{3} \quad (4)$$

$$\dot{I}_{db} = (\dot{I}_b - \dot{I}_a)/\sqrt{3} \quad (5)$$

$$\dot{I}_{dc} = (\dot{I}_c - \dot{I}_b)/\sqrt{3} \quad (6)$$

(4-6) 式中 \dot{I}_{da} 、 \dot{I}_{db} 、 \dot{I}_{dc} 为装置 d 侧软件相位补偿后的 a 相、b 相、c 相电流； \dot{I}_a 、 \dot{I}_b 、 \dot{I}_c 为接入装置 d 侧 a 相、b 相、c 相的 TA 二次电流。

Y 侧与 d 侧电流补偿后的向量图见图 2。图 2 中 $\dot{I}_{da} = \dot{I}_{ac}/\sqrt{3}$ 、 $\dot{I}_{db} = \dot{I}_{ba}/\sqrt{3}$ ， $\dot{I}_{dc} = \dot{I}_{cb}/\sqrt{3}$ 。通过相位转换，使 YNd11 接线的变压器 d 侧各相电流相位与 Y 侧各相电流相位一致了。

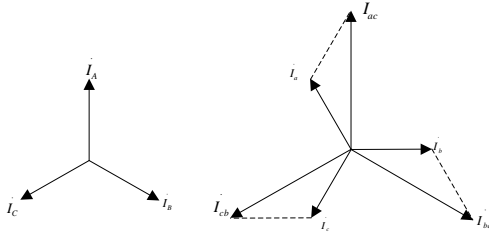


图 2 YNd11 接线的变压器两侧电流软件补偿后的向量图

2 YNd5 变压器差动保护相位补偿

2.1 YNd5 变压器差动保护相位补偿要求

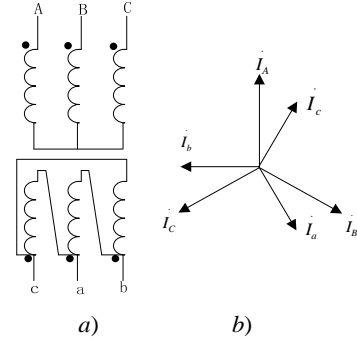
主后一体化的变压器保护主保护和后备保护是同一电流回路。为了方便变压器后备保护的电流采集，YNd5 变压器差动保护相位补偿要求为：不能采用传统的硬件移相进行相位补偿，变压器各侧的电流互感器必须采用星型接法。根据这一要求，提出了下列两个 YNd5 变压器差动保护相位补偿方案。

2.2 YNd5 变压器差动保护相位补偿方案一

2.2.1 YNd5 变压器电流相位关系

如图 3 是 YNd5 变压器接线图和和两侧电流向

量图，a) YNd11 为变压器接线图，b) 为 YNd5 变压器两侧电流向量图。由图 3 b) 可见 Y 侧电流相位比 d 侧电流相位超前 150° 。



a) YNd11 变压器接线图，b) YNd5 变压器两侧电流向量图

图 3 YNd5 变压器接线图和两侧电流向量图

2.2.2 相位补偿方案一

既然目前各变压器保护制造厂商差动保护软件相位补偿方法只能适应 YNd11、YNd1 和 YNyn12 这几种变压器接线组别，不能适应 YNd5 接线组别及其他接线组别方式，那么请变压器保护制造厂商针对 YNd5 接线组别变压器差动保护设计相应的软件相位补偿，即：

参照 YNd11 接线变压器保护的软件相位补偿，对于 Y 侧，因为要消除零序电流 I_0 ，所以参与差动保护差流计算的电流为：

$$\dot{I}_{dA} = \dot{I}_A - \dot{I}_0 \quad (7)$$

$$\dot{I}_{dB} = \dot{I}_B - \dot{I}_0 \quad (8)$$

$$\dot{I}_{dC} = \dot{I}_C - \dot{I}_0 \quad (9)$$

式 (7-9) 中 \dot{I}_{dA} 、 \dot{I}_{dB} 、 \dot{I}_{dC} 为装置 Y 侧参与差流计算的 A 相电流、B 相电流、C 相电流； \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 为接入装置 Y 侧 A 相、B 相、C 相的 TA 二次电流。其中， $\dot{I}_0 = (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C)/3$ 。

对于 d 侧，按下列公式进行相位转换：

$$\dot{I}_{da} = (\dot{I}_c - \dot{I}_a)/\sqrt{3} \quad (10)$$

$$\dot{I}_{db} = (\dot{I}_a - \dot{I}_b)/\sqrt{3} \quad (11)$$

$$\dot{I}_{dc} = (\dot{I}_b - \dot{I}_c)/\sqrt{3} \quad (12)$$

式 (10-12) 中 \dot{I}_{da} 、 \dot{I}_{db} 、 \dot{I}_{dc} 为装置 d 侧软件相位补偿后的 a 相、b 相、c 相电流； \dot{I}_a 、 \dot{I}_b 、 \dot{I}_c 为接入装置 d 侧 a 相、b 相、c 相的 TA 二次电流。Y 侧与 d 侧电流补偿后的向量图见图 4。图 4 中 $\dot{I}_{da} = \dot{I}_{ca}/\sqrt{3}$ 、 $\dot{I}_{db} = \dot{I}_{ab}/\sqrt{3}$ ， $\dot{I}_{dc} = \dot{I}_{bc}/\sqrt{3}$ 。通过相位转换，使 YNd11 接线的变压器 d 侧电流相位与 Y 侧电流相位一致了。

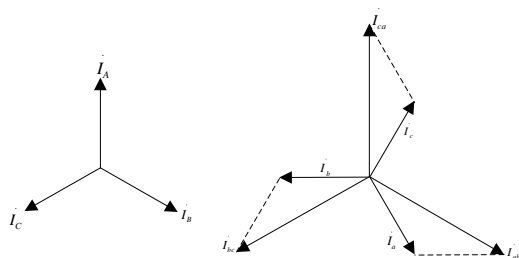


图 4 YNd11 接线变压器两侧电流软件补偿后的向量图

2.3 YNd5 变压器差动保护相位补偿方案二

2.3.1 YNd5 与 YNd11 变压器 d 侧电流相位关系

因为 YNd11 变压器 Y 侧电流相位比 d 侧电流相位滞后 30° ，YNd5 变压器 Y 侧电流相位比 d 侧电流相位超前 150° 。若将 YNd5 变压器与 YNd11 变压器 Y 侧各相电流相位认为是相同，比较图 1 b) 与图 3 b)，则不难发现 YNd5 变压器与 YNd11 变压器 d 侧各相电流相位关系为 YNd11 变压器 d 侧各相电流超前 YNd5 变压器 d 侧各相电流 180° ，即：

$$\arg(I_{a.11}/I_{a.5}) = 180^\circ \quad (14)$$

$$\arg(I_{b.11}/I_{b.5}) = 180^\circ \quad (15)$$

$$\arg(I_{c.11}/I_{c.5}) = 180^\circ \quad (16)$$

式 (14-16)， $I_{a.11}$ 、 $I_{b.11}$ 、 $I_{c.11}$ 为 YNd11 变压器 d 侧各相电流， $I_{a.5}$ 、 $I_{b.5}$ 、 $I_{c.5}$ 为 YNd5 变压器 d 侧各相电流

2.3.2 YNd5 变压器差动保护相位补偿

既然 YNd11 变压器 d 侧各相电流超前 YNd5 变压器 d 侧各相电流 180° ，那么可否将 YNd5 变压器 d 侧各相电流反极性接入变压器差动保护，即，将反极性 TA 二次电流 $-I_a$ 接入 RCS978 变压器保护装置 d 侧 a 相电流回路，将反极性 TA 二次电流 $-I_b$ 接入 RCS978 变压器保护装置 d 侧 b 相电流回路，将反极性 TA 二次电流 $-I_c$ 接入 RCS978 变压器保护装置 d 侧 c 相电流回路，具体接线见图 5。按照这种相位转换，就相当于将 YNd5 接线的变压器差动保护转变成了 YNd11 接线的变压器差动保护，然后再利用 RCS978 变压器保护装置的软件相位补偿完成 YNd11 接线的变压器差动保护的相位补偿，从而最后达到 YNd5 变压器差动保护相位补偿。显然此方案比较容易实现，只要改动现场 d 侧二次电流回路接线即可，且改动的接线也不多。

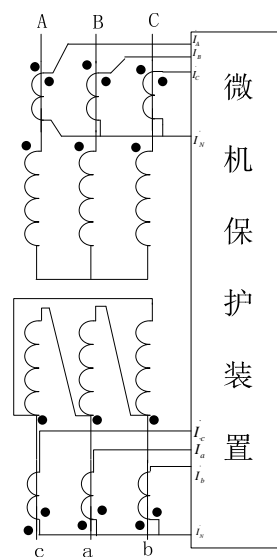


图 5 YNd5 接线变压器 TA 二次电流回路接线图

其实，比较 (4) 式与 (10) 式、(5) 式与 (11) 式、(6) 式与 (12) 式，也不能发现，YNd11 变压器 d 侧各相电流相位补偿后的电流与 YNd5 变压器 d 侧各相电流相位补偿后的电流分别也相差 180° ，从而进一步证实了该相位补偿方案的正确性。

2.3.3 对后备保护的影响

虽然接入 RCS978 变压器保护装置 d 侧各相电流回路是反极性接入变压器差动保护的，但 d 侧各相电流回路仍然是星型接法，满足了后备保护对电流回路星型接法的要求，对变压器 d 侧后备保护电流测量没有影响。由于接入 RCS978 变压器保护装置 d 侧各相电流回路是反极性，即对 YNd5 接线变压器保护装置 d 侧来说，相当于各相电流回路正极性方向是“方向由变压器指向系统”，与 RCS978 变压器保护装置要求的对变压器保护装置 d 侧各相电流回路“正极性”是“方向由系统指向变压器”的极性要求正好反了 180° ，将影响 d 侧的相间方向元件的正确测量方向（由于 d 侧一般是不接地系统或经消弧线圈接地系统，因此不影响保护装置的零序方向元件）。因此，在具体运用时，要求 RCS978 变压器保护装置 d 侧的相间方向元件测量方向是“由系统指向变压器”时，则 RCS978 变压器保护装置 d 侧的相间方向元件要实际设置为“由变压器指向系统”；反之要求 RCS978 变压器保护装置 d 侧的相间方向元件测量方向是“由系统指向变压器”时，则 RCS978 变压器保护装置 d 侧的相间方向元件要实际设置为“由系统指向变压器”。如果仍按 RCS978

变压器保护装置上原来的意思设置,将出现该装置 d 侧的相间方向元件方向测量错误而引起变压器 d 侧后备保护装置拒动或误动。

2.4 两种方案比较

方案一,优点是一步到位,对主保护和后备保护均没有影响;缺点是装置厂家需要重新针对 YNd5 变压器保护设计变压器差动保护电流相位补偿软件,软件需要测试等一系列工作,需要时间。

方案二,优点是不需要装置厂家需要重新针对 YNd5 接线变压器保护设计变压器差动保护电流相位补偿软件,方案简单清晰;缺点是影响 d 侧的相间方向元件的正确测量方向,方向元件的方向测量设置要与要求的意思相反,否则将出现该装置 d 侧的相间方向元件方向测量错误而引起保护装置拒动或误动。

2.5 现场具体实施情况

由于装置厂家需要重新针对 YNd5 接线变压器保护设计变压器差动保护相位补偿软件,软件需要测试等一系列工作,需要时间,所以采用的方案二进行了现场具体实施,并于 2012 年元月 13 日,该客户变 YNd5 接线的变压器经过 5 次冲击考验,并通过了实际带负荷试验证明了该 YNd5 接线的变压器相位补偿方案是可行的和正确的。

3 结论

理论分析和现场运用表明,对主保护后备保护一体化的 YNd5 接线的 220kV 变压器差动保护的相位补偿采用将 YNd5 变压器 d 侧各相电流反极性接入变压器差动保护装置,相当于将 YNd5 接线的变

压器差动保护转变成了 YNd11 接线的变压器差动保护,然后再利用 RCS978 变压器保护装置的软件相位补偿完成 YNd11 接线的变压器差动保护的相位补偿,从而实现了 YNd5 接线的变压器差动保护相位补偿方案,是简单易行的、正确的,可运用到类似工程中去。需要指出的是,论文是以 RCS978 保护装置来分析的,其方法对其他厂家相同接线组别的变压器保护装置同样适用。

参考文献:

- [1] 国家电网公司.Q / GDW_175-2008 变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范[Z]. 北京:国家电网公司,2008.
- [2] 国家电力调度通信中心.国家电网公司继电保护培训教材[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [3] 江苏省电力公司.电力系统继电保护原理与实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [4] 南京南瑞继保电气有限公司.RCS-978 系列变压器成套保护装置 220kV 版技术说明书[Z].2009.
- [5] 汤大海.双重化主变保护 TA 二次电流回路的接入与运行[J]. 江苏电机工程, 2008(4):23-25.

作者简介:

汤大海(1963-),男,江苏镇江人,本科,高级工程师/高级技师,江苏省电力公司基层公司技术专家,从事电网继电保护运行管理工作。