

配电变压器突发短路试验中电流测试方法改进及应用

10 kV配电变压器绕组多数为Dyn11接法，在突发短路试验中其一次侧相电流无法直接采集。针对这一问题，提出一种基于向量等效替换的电流测试方法，运用Matlab中的Simulink环境进行建模并仿真，再对一台10 kV的干式变压器进行短路测试，试验结果验证了这一方法的可行性。此方法对于配电变压器的短路性能检测具有一定的参考价值和借鉴意义。

何东升¹ 林志力¹ 许呈盛² 罗海凹¹/1.国家智能电网输配电设备质量监督检验中心 2.广东工业大学自动化学院

0 引言

变压器短路承受能力试验，即“突发短路试验”或“短路试验”，通过此项试验验证变压器抗短路能力，该项目是专门用于检验变压器承受短路事故能力的特殊试验，利用试验中强短路电流产生的电动力检测变压器器身和各种导电部件的机械强度，其目的是为了考核变压器的动热稳定性。考核过程中，三角形联结绕组变压器的相电流因其没有外部引出端，无法直接测量，导致目前国内各大检测机构没有统一的接线方法和测试线路。可见，变压器短路试验相电流的精准测量是保证此项试验考核正确与否的关键之处。

1 10 kV配电变压器绕组接法介绍

目前，电力变压器常见的接法有Yyn0和Dyn11两种，对应的联结绕组分别为星形-星形和三角形-星形，一般

高压绕组均由Y或D表示，中压或低压则采用y或d表示。对于带有中性点引出的星形联结应用YN表示^[1]。由图1可知，Yyn0接法的配电变压器高压侧线电流和相电流大小相等、相位相同，所以相电流可以直接采集得到；Dyn11接法的配电变压器高压侧绕组为三角形接法，线电流不等于相电流，相位不同，并且没有外引出端，所以无法直接采集相电流。

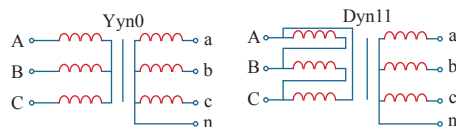


图1 变压器Yyn0和Dyn11接法示意图

2 相电流测量的标准要求

国内外标准都对变压器突发短路试验相电流进行了相应的说明。美国标准IEEE Std C57.12.90—2010《IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers》中规定，当变压器一次侧绕组（接电源）为星形连接时，绕组各相的第一个周期峰值非对称电流应直接从端电流波形图中测量；若为三角形连接时，第一个周期峰值非对称电流不能直接从源端的端子测量中确定。存在以下替代方案：当故障绕组星形连接时，在故障端子上用波形图测量第一个周期峰值非对称电流。通过反向匝数比转换为源绕组电流。当所有绕组都是三角形连接时，在源绕组的三角形内连接具有合适电流比的电流互感器，并从这些电



何东升/高级工程师

关键词/Keywords

配电变压器 ·
突发短路 ·
电流测试 ·

国家质量监督检验检疫总局科技计划项目 (2016QK026)。

流互感器获得的波形图中测量第一个周期峰值非对称电流^[1]。”从美标可以推出，对于Yyn0接法的变压器，当低压侧短接，高压侧施加电压时，绕组各相的相电流可以直接测出。但对于Dyn11接法的变压器，当低压侧短接，高压侧施加电压时，绕组各相的相电流无法直接测出。我国标准GB 1094.5—2008《电力变压器：第五部分 承受短路的能力》规定，突发短路试验过程中，应在绕组某相的电压过零时合闸，从而获得该相绕组上的最大非对称电流。另一种确定三角形联结绕组的方法是将测量线电流的各电流互感器的二次绕组适当地相互连接，可利用示波图记录相电流值^[2]。但这种方法没有作统一规定，不同的检测机构有着不同的接线方法。综合上述各标准可见，三角形联结绕组的相电流测量必须通过反向匝数比转换或一定的线路等效（标准中未明确规范或统一）才能推算出。

3 相电流等效变换及推导过程

综合国标GB 1094.5—2008、IEC 60076—5:2006和美标IEEE Std C57.12.90—2010规定，当连接到能量源的变压器绕组是三角形连接时，只能通过反向匝数比转换或一定的线路等效才能推算出。

3.1 匝数比换算

根据变压器基本原理可知，一、二次电流比等于绕组匝数反比，由于Dyn11型变压器二次侧为Y型接法，试验时应将二次侧短接。通过测试短接绕组各相的短路电流，除以匝数比即可准确推测出施加电流侧的各相相电流值，即

$$I_{AB} = \frac{1}{n} I_{a0} \quad (1)$$

式中， n 为绕组匝数； I_{AB} 为变压器一次相电流，A； I_{a0} 为变压器二次相电流，A。

3.2 等效推导过程

在试验电路中加入电流互感器，电流互感器绕组和试品一次侧绕组均为D型接法，试验电路图如图2所示，采样点的等效电路如图3所示。根据电路理论采用逆推法计算出一次侧的相电流。

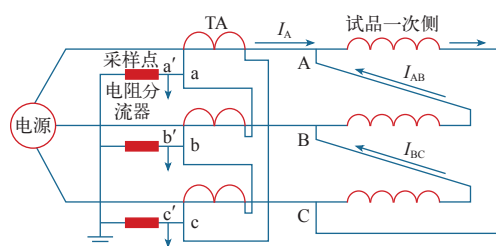


图2 搭接等效线路图

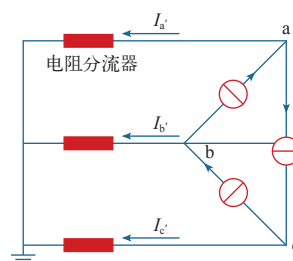


图3 采样点等效电路图

根据试品一次绕组相电流和线电流关系，可以推出样品一次侧（D型接法）等效向量图，如图4所示。从而可以得

$$I_A = I_{CA} - I_{AB} = -\sqrt{3} I_{AB} \angle 30^\circ \quad (2)$$

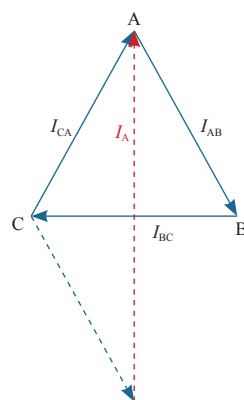


图4 样品一次侧（D型接法）等效向量图

由电流互感器的电流比关系得到

$$I_A = n I_{ac} \quad (3)$$

根据电流互感器二次相电流和线电流关系，可以推出采样点等效向量图（如图5所示），从而得到

$$I_{a'} = I_{ba} - I_{ac} = -\sqrt{3} I_{ac} \angle -30^\circ \quad (4)$$

由式（3）得

$$I_{ac} = \frac{1}{n} I_A \quad (5)$$

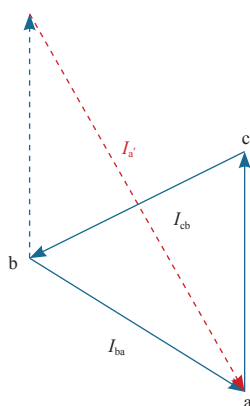


图5 采样点等效向量图

将式(2)、式(5)代入式(4)中得到

$$I_{a'} = \frac{3}{n} I_{AB} \quad (6)$$

式中, I_A 为变压器一次线电流, A; I_{CA} 为变压器一次相电流, A; $I_{a'}$ 为电流互感器二次线电流, A; I_{ac} 、 I_{ba} 为电流互感器二次相电流, A。

即 I_{AB} 与 I_{ac} 相位相同, 大小为 n 倍关系, 又可知 I_{ac} 与 $I_{a'}$ 的矢量关系, 由于 $I_{a'}$ 可以通过采样点电压直接测得, 从而可以推算出相电流 I_{AB} 。

4 仿真分析

利用仿真软件Matlab中的Simulink环境, 根据图2的电路建立硬件电路模型并仿真, 如图6所示。其中, 电路模型主要有三相电源、电流互感器和试品三个模块, 采集的仿真波形为电流互感器的采样点电压和试品的相电流, 采集时间设定为0.05 s。

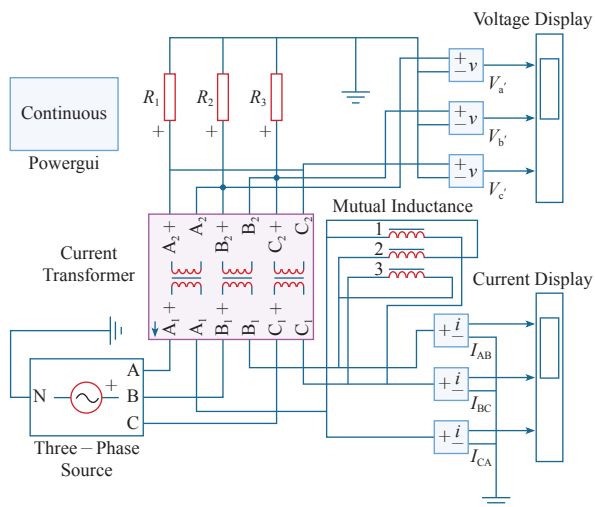


图6 搭接线路仿真图

通过以上电路模型运行后得到相应的仿真波形图, 如图7、图8所示。

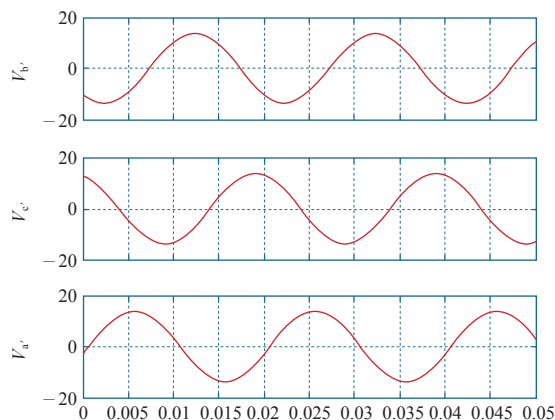


图7 采样点电压

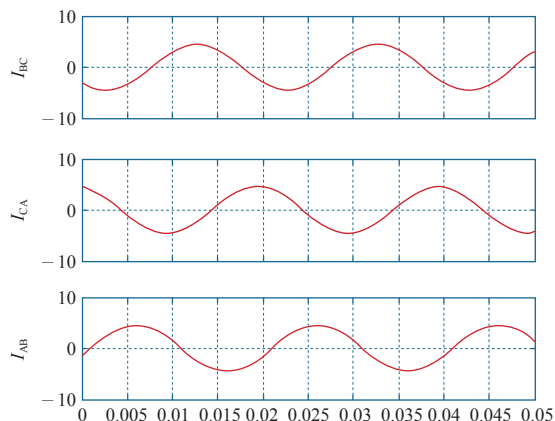


图8 试品相电流

仿真结果表明, 采集的相电流 I_{AB} 与 $V_{a'}$ 相位相同, 仅存在系数关系, 即

$$I_{AB} = \frac{n}{3} I_{a'} = \frac{nV_{a'}}{3R} \quad (7)$$

5 应用分析

根据图2的电路图搭接电路, 采用突发短路试验系统进行试验, 用于验证以上推导公式和Simulink仿真结果。

选取一台额定容量为630 kV·A、额定电压为10 kV的干式变压器, 联结组标号为Dyn11, 三相电源输出端套上罗氏线圈, 用于采集相电流, 试验结果如图9所示。由试验波形分析可知, 相电流相位 I_{AB} 与采集点电压 $V_{a'}$ 相位完全相同, 验

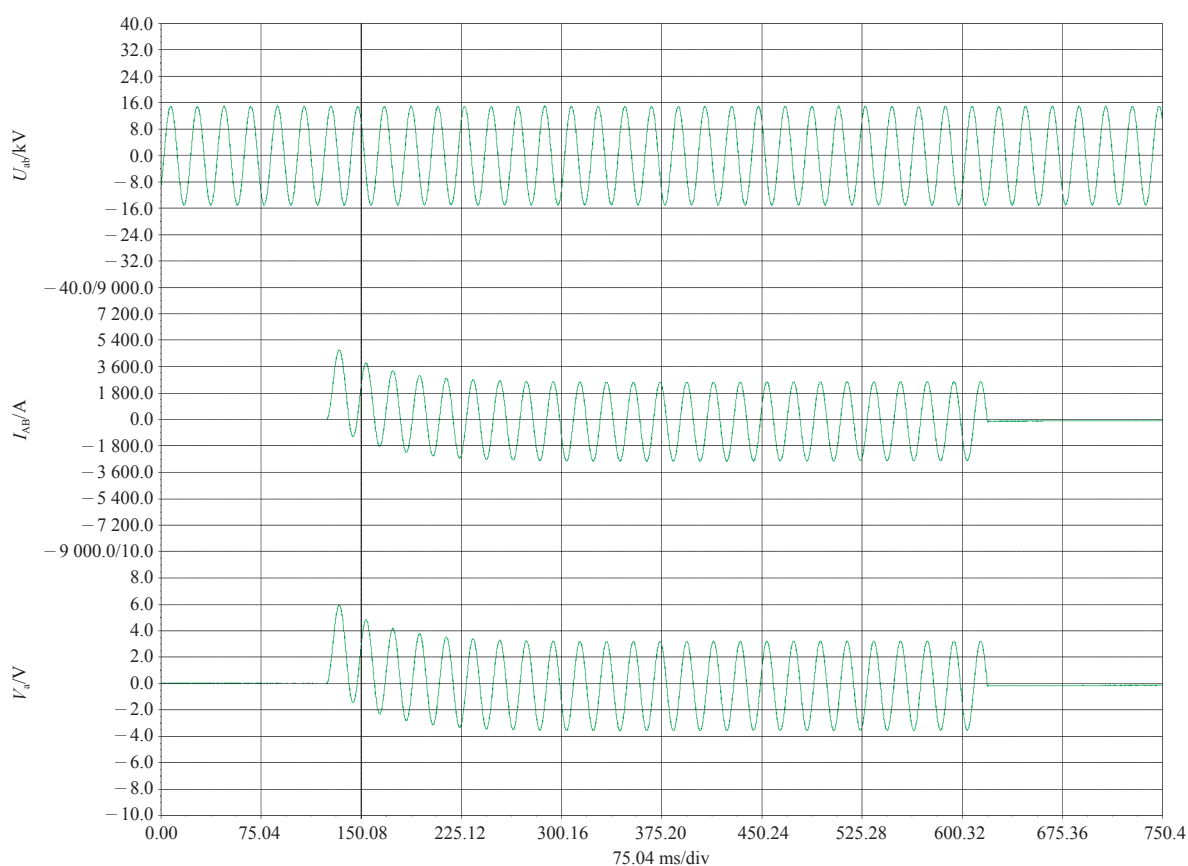


图9 实际试验波形图

证了该理论的可行性，有助于提高相电流测试的效率。

6 结束语

由以上仿真分析和应用验证可知，等效电路解决了三角形联结绕组的变压器相电流因其没有外部引出端无法直接测量的问题。此方法简单可行，完全符合标准的要求，且提高了检验效率和测量准确度，保证了检测的公正性和故障定位的有效性，具有一定的推广和借鉴意义。

参考文献

- [1] IEEE Std C57.12.90—2010 IEEE standard test code for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers [S].
- [2] IEC 60076-5—2006 IEC/TC 14 电力变压器：第五部分 承受短路的能力 [S].
- [3] JB/T 501—2006 电力变压器试验导则 [S].
- [4] 何东升. 基于变压器突发短路试验探讨提高抗短路能力 [J]. 电气传动, 2012, 42 (3): 62-65.

(收稿日期: 2018-02-23) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告