

[变压器]

110 kV变压器试验系统设备选型研究

文/南瑞集团有限公司（国网电力科学研究院有限公司） 甘 鹏 任 达

山东双益电气有限责任公司 于 涛

研究一种110 kV变压器试验系统，以较为经济的方式实现35~110kV变压器的试验能力。研究结果可为中小型变压器厂建设变压器试验能力提供参考。

变压器试验系统用以提供变压器试验所需的工频及中频试验电压（电压频率100~300 Hz），通常有两种配置方式：一种是采用工频发电机提供工频电压，采用中频发电机提供中频电压；另一种是采用调压器提供工频电压，采用变频电源装置提供中频电压。本文研究的110 kV变压器试验系统采用后一种方式实现，重点研究其主要设备的选型，研究结果可为变压器厂建设35~110 kV变压器试验能力提供参考。

设备选型

1. 选型依据

110kV变压器试验系统针对35~110 kV变压器设计，可进行的试验项目：空载损耗和空载电流测量、短路阻抗和负载损耗测量、感应电压试验、温升试验及零序阻抗测量等。按温升试验能力，该系统最大试验容量为90 MV·A。

依据GB/T 6451—2015《油浸式电力变压器技术参数和要求》，90 MV·A/110 kV三相双绕组无励磁调压变压器的基本参数为：高压 U_{n1} 及分接范围为110 kV $\pm 2 \times 2.5\%$ 、115 kV $\pm 2 \times 2.5\%$ 、121 kV $\pm 2 \times 2.5\%$ ；低压电压 U_{n2} 为13.8kV、15.75 kV、18 kV、21 kV；联结组标号为YNd11；空载损耗 P_0 为54.4 kW；负载损耗 P_N 为272 kW；空载电流 I_0 为0.3%；短路阻抗 Z_k 为12%~14%。以上参数作为110 kV变压器试验系

统设备选型的依据。

2. 主要设备选型

110kV变压器试验系统的主要设备包括：调压器、变频电源装置、中间变压器、电容补偿装置、电压互感器及电流互感器等。

(1) 调压器

调压器工作时需要承载的最大有功功率，可根据温升试验所需最大有功功率来计算。温升试验第一阶段，试验电流约为90 MV·A/110 kV变压器额定电流的1.15倍，此阶段消耗的有功功率 P_t 为

$$P_t = 1.15 \times (P_0 + P_k) \quad (1)$$

式中， P_0 、 P_k 分别为被试变压器的空载损耗和负载损耗。

将 $P_0 = 54.4$ kW， $P_k = 272$ kW代入式（1）得 $P_t = 375$ kW，此部分有功功率全部由调压器提供。考虑电容补偿装置的调节细度以及保留一定裕度，选择额定容量500 kV·A双绕组感应调压器。

调压器的输出电压需与变频电源装置搭配，设置为310 V。

(2) 变频电源装置

若以150 Hz频率进行感应电压试验，由经验公式，试验容量 S_t 为

$$S_t = 2 \times (0.4 \times 1.3 \times I_0 \times S_n) \times K_1 \times K_2 \quad (2)$$

式中，2为试验容量与空载容量之比，0.4为150 Hz、 $2U_n$ 下的试验电流与50 Hz、 U_n 下的空载电流比值，1.3为空载电流的裕度， I_0 为被试变压器的空

载电流百分数, S_n 为被试变压器容量, k_1 为电压变换因数, k_2 为安全因数, 取 $k_1=1.1$, $k_2=1.1$, 代入式(2)得 $S_t=340 \text{ kV}\cdot\text{A}$, 故选取功率为 450 kW 推挽放大型变频电源装置, 其输入电压 3 相 380 V/50 Hz, 输出电压 3 相 0~310 V/0~838 A, 输出电压频率范围 30~300 Hz。

(3) 中间变压器

中间变压器的额定容量与调压器容量一致, 取 500 kV·A; 输入电压与调压器及变频电源装置输出电压相匹配, 为 310 V; 联结组别为 YN0yn0 (d11), 其中 YN0 接线, 零线接地为防止在进行空载试验及感应电压试验时输出电压零位漂移而导致相电压不平衡, yn0 接线用于匹配推挽放大型变频电源装置所需的接线方式, d11 平衡绕组用于补偿三次谐波。

中间变压器选用双绕组, 通过内置转换开关在箱体实现低压线圈串并联及 y-d 转换, 利用内置无励磁分接开关调节输出电压。低压绕组接线方式及电压档位见表 1。高压绕组输出共 8 档, 分别为 (kV): 3.5、7.5、12.5、15、20、25、40、70。

表1 中间变压器低压绕组输入电压档位

分接档位	接线方式	电压档
1档	2线圈并联d接线	0.30 kV
2档	2线圈串联d接线	0.60 kV
3档	2线圈并联y接线	0.52 kV
4档	2线圈串联y接线	1.04 kV

(4) 电容补偿装置

进行负载试验及温升试验时, 由于负载功率因数很低, 通常采用电容器对试验回路的无功功率进行补偿, 以提高试验时的功率因数。计算得电容补偿装置的额定容量 $Q_c=24\ 512 \text{ kvar}$ 。综合考虑后, 选择高压补偿装置总容量为 32 250 kvar, 最大电流为 1 500 A。装置分三相, 每相总容量为 10 750 kvar, 每相分 2 级, 每级 17 台电容器。每级电容器按并联数 25 kvar 为 1 组, 50 kvar 为 1 组, 100 kvar 为 1 组, 200 kvar 为 2 组, 400 kvar 为 4 组 (1、2 并、4 并、5 并), 1~17 台可任意组合。电容器组的投入和切除均由 12 kV/400 A 隔离开关控制, 每相级与级的串并联接法组合及电容器 Y 接、D 接和单相接法的切换由 24 kV/1 500 A 的隔离开关控制。电容器装置的进线开关由 72.5 kV/1 500 A 的隔离开关控制。

电容器塔架的进线处安装 3 台 72.5 kV/1 500 A 隔离开关来切换与中间变压器的连接, 系统额定

输出电流最大按 50 Hz/1 250 A 设计。

(5) 电压互感器和电流互感器

电压互感器和电流互感器安装于 110 kV 变压器试验系统出线端, 用于测量试验电压和试验电流。90 MV·A/110 kV 变压器的试验电压范围为 3.5~70 kV, 试验电流最大为 495 A。

选用 3 台单相油浸式电压互感器。依据试验电压确定电压互感器的额定电压为 (10, 20, 40, 70) / 3/0.1/ 3 kV, 额定频率 50~300 Hz, 精度 0.1 级。

选用 3 台单相油浸式电流互感器, 一次侧设置 7 个档位, 远程切换档位, 电流比为 (10, 20, 40, 80, 100, 200, 400, 800) / 5 A, 额定频率 50~300 Hz, 精度 0.1 级。

(6) 功率分析仪

采用功率分析仪对空负载试验、感应电压试验的参数进行测量, 功率分析仪必须含有效值电压、平均值电压值测量功能, 当前测量精度较高的有 FLUCK 5000 系列, 横河 WT500 系列等。

试验研究

为检验 110 kV 变压器试验系统的输出电压特性, 以一台 63 MV·A/110 kV 变压器为试品, 进行空载试验研究。

试验中, 在 110 kV 被试变压器低压侧施加 1.1

$$d = \frac{U' - U}{U'} \quad (3)$$

倍额定电压, 该试验系统电压参数见表 2。

式中, U' 为电压平均值, U 为电压有效值。110 kV 变压器试验系统空载试验输出 $d(\%) < 3\%$, 满足 GB 1094.1—2013 的要求。

表2 110%额定电压下空载试验的电压参数

电压类型	U_{AB}/kV	U_{BC}/kV	U_{CA}/kV	平均值/kV
有效值	36.61	36.92	36.63	36.72
平均值	36.17	36.22	36.26	36.22
$d(\%)$	-1.22	-1.93	-1.02	-1.39

结束语

本文研究的 110 kV 变压器试验系统, 采用一种较为经济的做法, 即采用调压器产生工频电压, 采用变频电源装置产生 100~300 Hz 中频电压的方法, 进行 35~110 kV 变压器的试验, 其设备的选型方法, 可为中小型变压器厂建设变压器试验能力提供参考。EA

(收稿日期: 2018.03.24)

(编辑: 白文亭)