

「试验系统」

10 kV配变试验系统的主设备配置及选型

文/南瑞集团公司·国网电力科学研究院 甘 鹏 任 达

研究一种10 kV配变试验系统，采用经济的方式实现配变的试验能力。对试验系统中主设备的配置及选型进行了研究，并以一台500 kV·A/10 kV配变为试品，对试验系统空载试验的电压参数进行试验研究。研究结果可为小型变压器厂建设配变试验能力提供参考。

变压器出厂前需进行多项试验，有些试验如绕组电阻测量、变压比及联结组标号检定、外施电压试验等采用独立的仪器仪表或试验设备即可完成，有些试验如空载损耗和空载电流测量（空载试验）、短路阻抗和负载损耗测量（负载试验）、感应电压试验需要变压器试验系统才能完成。

变压器试验系统用以提供变压器试验所需的工频电压及中频电压（电压频率100~200 Hz），一般有两种配置方式：一是采用工频发电机提供50 Hz电压，采用中频发电机提供100~200 Hz电压；二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。前者电压输出特性较好，但发电机组安装调试复杂、运行费用高，适用于大中型变压器试验站，后者因电网电压波动、三相不平衡等原因造成试验电压参数稍差，但较为经济，适用于小型变压器试验站。

变压器试验作为检验变压器性能的主要手段，必不可少，国内配电变压器（配变）生产厂家众多，但并不是每一家都具备变压器试验能力。本文结合实际工作，研究了一种10 kV配变试验系统，

重点研究其主设备的配置及选型，研究结果可为配变厂家建设变压器试验能力提供参考。

试验系统工作原理

1. 空载试验

试验系统提供工频电压用以进行配变的空载试验。采取的方式为通过调压器接入电网，经中间变压器升高电压进行空载试验。通过在被试配变的低压绕组上施加工频电压，高压绕组开路，进行空载试验，测量空载电流和空载损耗，原理图见图1。

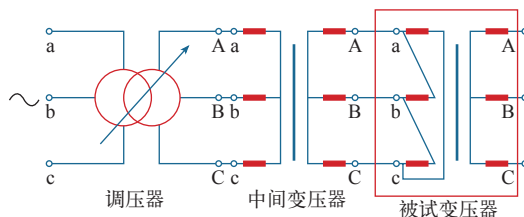


图1 空载试验原理图

2. 负载试验及温升试验

采用短路试验法进行负载试验及温升试验，试验时被试配变低压绕组短路，对高压绕组施加大电流。采取在中间变压器高压侧进行补偿以补偿电源容量不足。试验原理图见图2。

项目名称：国家电网公司产业项目（国家电网产业[2014]45号）

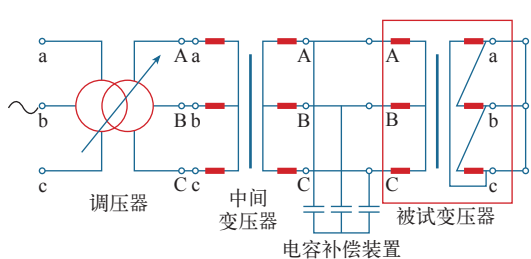


图2 负载试验及温升试验原理图

3. 感应电压试验

试验系统提供中频电压用以进行配变的感应电压试验，采用变频电源装置变换50 Hz电网频率为100~200 Hz，通过中间变压器升高电压，施加在被试配变的低压绕组上，同时高压绕组开路，进行感应电压试验。试验原理图见图3。

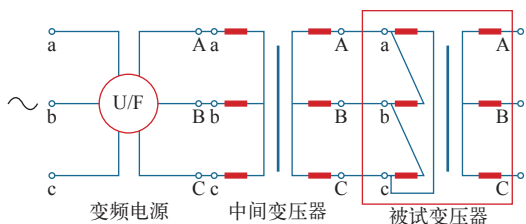


图3 感应电压试验原理图

主设备选型分析

1. 主设备选型依据

10 kV配变试验系统针对10 kV/2 500 kV·A配变设计，可进行的变压器试验项目：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、温升试验等。

依据标准，10 kV电压等级、额定容量 S_n 为2 500 kV·A三相双绕组无励磁调压配变的基本参数为：双绕组，联结组标号Dyn11或Yyn0，高压 U_{n1} 及分接范围为10.5 kV $\pm 2.5\%/\pm 5\%$ ；低压电压 U_{n2} 为0.4 kV；空载损耗 P_0 为2.29 kW；负载损耗 P_k 为21.2 kW；空载电流 I_0 为0.4%；短路阻抗 Z_k 为5%。

上述被试配变的基本参数作为10 kV配变试验系统主设备选型的基本依据。

2. 几种主设备选型分析

10 kV配变试验系统的主设备包括：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

首先需要确认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。采用短路试验法进行温升试验分两阶段进行，第一阶段施加被试配变总损耗对应的试验电流，第二阶段施加等于被试配变的额定电流的试验电流。温升试验第一阶段的试验电流是10 kV配变试验系统的最大工作电流，此阶段消耗的有功功率 P_t 为

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

式中， P_0 、 P_k 分别为被试配变的空载损耗和负载损耗。

将 $P_0 = 2.29$ kW， $P_k = 21.2$ kW代入式(1)得 $P_t = 23.49$ 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系统冗余需要，故选用额定容量100 kV·A双绕组感应调压器。

调压器的输出电压设置较灵活，但与变频电源装置搭配（二者均接到中间变压器的输入端），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，按经验公式，试验容量 S_t 为

$$S_t = 1.04 I_0 \% S_n k_1 k_2 \quad (2)$$

式中， $I_0\%$ 、 S_n 为被试配变的空载电流百分数和容量， 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 $S_t = 12.6$ kV·A。保留一定裕度，选取30 kV·A容量中频调压电源，其输入电压3相380 V/50 Hz，输出电压3相0~310 V/0~55.8 A，输出电压频率范围100~200 Hz。

变频电源装置主要采用电力电子技术实现，推荐采用推挽放大型变频电源装置，大功率输出采用逐级放大的原理，从最初的微小功率的信号源经过多次放大，实现大功率输出，输出电压特性较好，并可满足局部放电测试要求。

(3) 中间变压器

中间变压器的额定容量与调压器容量相匹配，设计为125 kV·A；中间变压器的输入电压应与调压器及变频电源装置输出电压相匹配，设计为310 V；中间变压器联结组别为YN0yn0(d11)，其中高压绕组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，低压绕组yn0接线用于匹配推挽放大型变频电源装置必须的接线方式，单独设计d11平衡绕组，用于补偿三次谐波，确保绝缘安全，容量为25 kV·A。

中间变压器的高压绕组输出共设置3档,分别为0.45 kV、0.65 kV、0.85 kV,通过内置变压器箱体的无励磁分接开关调节输出电压。其中,0.45 kV电压档用于空载试验,0.65 kV电压档用于负载试验及温升试验,0.85 kV电压档用于感应电压试验。

进行温升试验时试验电压 U_t 应为

$$U_t = U_{n1} Z_k \sqrt{P_t / P_k} \quad (3)$$

式中, $U_{n1} = 10.5$ kV, $Z_k = 5.5\%$, $P_t = 23.49$ kW, $P_k = 21.2$ kW,计算得 $U_t = 0.61$ kV,故中间变压器设置0.65 kV绕组。

(4) 电容补偿装置

采用短路试验法进行负载试验及温升试验时,由于负载功率因数 $\cos \phi$ 很低,通常采用电容器对负载试验及温升试验的无功功率进行补偿,以提高试验时的功率因数,使得较小容量的电源和试验设备能满足变压器负载试验和温升试验容量的需要。

通常采用不同额定电压的电容器在中间变压器的高压侧和低压侧进行补偿,见图4。进行低压补偿的电容器,其实际补偿容量

$$Q_{c2} = Q_{c1} / k^2 \quad (4)$$

由于中间变压器的变压比 k 在负载试验及温升试验时通常大于1,造成低压补偿的电容器起到的作用较小,仅能以微调的形式存在,因此笔者认为可不取,仅在中间变压器高压侧进行补偿。

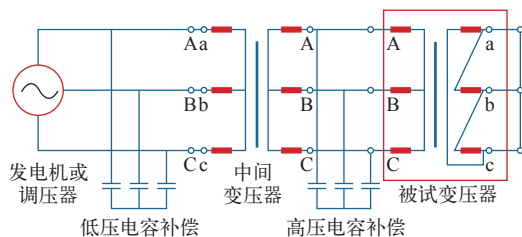


图4 电容器补偿方式

电容补偿装置的额定电压应根据被试配变在进行温升试验时最高试验电压确定,进行温升试验时试验电压为0.61 kV,故在考虑绝缘裕度后电容补偿装置的额定电压设置为0.69 kV。

可依据试验电流的无功分量进行补偿容量计算。

对10 kV/2 500 kV·A配变进行温升试验时,施加大总损耗阶段试验电流 I_t 最大

$$I_t = I_{n1} \sqrt{P_t / P_k} \quad (5)$$

$$I_{n1} = S_n / U_{n1} / \sqrt{3} \quad (6)$$

式中, $S_n = 2\ 500$ kV·A, $U_{n1} = 10.5$ kV, $P_t = 23.49$ kW, $P_k = 21.2$ kW。

计算得 $I_t = 144.7$ A。

$$I_1 = \sqrt{I_t^2 + I_2^2} \quad (7)$$

$$I_2 = \sqrt{I_t^2 - I_1^2} \quad (8)$$

其中, I_1 及 I_2 分别为试验电流的有功分量和无功分量。

$$I_1 = P_t / U_t / \sqrt{3} \quad (9)$$

式中, $P_t = 23.49$ kW, $U_t = 0.61$ kV,计算得 $I_1 = 22.2$ A,将 $I_t = 144.7$ A、 $I_1 = 22.2$ A代入式(8)得 $I_2 = 143$ A,故电容补偿装置需要提供143 A的无功电流。

电容补偿装置的额定电流

$$I_c = I_2 (U_c / U_t)^2 \quad (10)$$

式中, U_c 和 U_t 分别为电容器额定电压、温升试验电压,计算得 $I_c = 183$ A,则电容补偿装置的额定容量 Q_c 应为

$$Q_c = \sqrt{3} U_c I_c \quad (11)$$

计算得 $Q_c = 218.7$ kvar

除电容补偿装置外,中间变压器也可以提供25 kvar以上的无功功率,故最终电容补偿装置的容量设计为200 kvar,分为4组投切,分别为50/100/150/200 kvar,并通过隔离开关远程控制,电容补偿装置的连接图见图5。

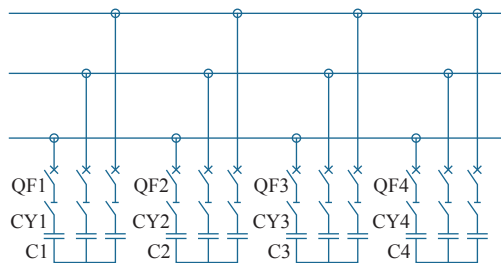


图5 电容补偿装置连接图

(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中间变压器高压侧,用于测量试验电压和试验电流。2 500 kV·A/10 kV配变的试验电压范围为0.4~0.8 kV,试验电流最大不超过144.7 A。

选用3台单相干式电压互感器。依据试验电压确定电压互感器的额定电压为 $1.0/\sqrt{3}$ kV/ $0.1/\sqrt{3}$ kV,额定频率50~200 Hz。

(下转第97页)

(2) 通信技术设计

主站系统和数据采集终端之间的数据传输链接,主要依靠于通信网络进行信息传输和数据传导,将终端设备收集到的数据信息及时反馈给控制中心。因此,通信网络方式的合理选择极为重要,常用通信方式主要包括:无线传输、卫星通信传输以及光纤传输等。智能配电自动化管理系统的通信网络采用多线路复合模式,保障配电自动化系统的稳定性,最大限度确保配电网的安全、稳定运行。同时,通信网络还可以选择接入网络管理系统,对运行故障、负载性能、安全预警等进行综合管理,从而提高通信设备的可靠性。此外,智能配电自动化管理系统的通信网络执行标准的通信指标,通过端口使各项通信监控

系统统一起来,建立统一的监控管理平台。

结束语

综上所述,智能配电自动化管理系统是电网智能化发展的主流趋势。本文通过分析自动化技术特点及关键技术,设计研发一套智能配电自动化管理系统,从而提高配电网智能化效率及质量。实践得知,通过该系统的设计和研发,可实现配电数据采集、远程调控、预警分析等功能,有效节约人力资源投入及维护管理成本,同时,保障了配电网运行的稳定性及安全性,为社会和供电单位带来显著效益。EA

(收稿日期:2017.06.27)

(编辑:朱金凤)

(上接第94页)

选用3台单相干式电流互感器,一次侧设置7个档位,远程切换档位,电流变流比为(5 A, 10 A, 20 A, 40 A, 50 A, 100 A, 200 A)/5 A,额定频率50~200 Hz。

依据标准,互感器精度应不低于0.2级。

试验研究

三相变压器进行三相空载试验时,三相电源应是对称平衡的,施加电压波形应是近似正弦波形。为检验10 kV配变试验系统的输出电压特性,以一台500 kV·A/10 kV配变为试品,进行空载电压试验研究,见图6。



图6 输出电压特性试验研究

中间变压器输出选择0.45 kV档位,在10 kV/0.4 kV被试配变高压侧额定分接上进行空载试

验,低压侧施加线电压0.4 kV,试验系统输出电压参数见表1。其中

$$d = \frac{U' - U}{U'} \quad (12)$$

式中, U' 为电压平均值, U 为电压方均根值。对于三相变压器,取三相平均值。

标准GB 1094.1—2013要求 $d \leq 3\%$,10 kV配变试验系统空载试验输出 $d = -1.05\%$,满足标准要求。

表1 空载试验输出电压参数

电压类型	U_{AB}/V	U_{BC}/V	U_{CA}/V	平均值/ V
U	403.77	403.62	403.56	403.65
U'	399.25	399.03	400.09	399.46
d	-1.13%	-1.15%	-0.87%	-1.05%

结束语

本文研究的10 kV配变试验系统,采用一种较为经济的做法,即采用调压器代替工频发电机产生工频电压,采用变频电源装置代替中频发电机产生100~200 Hz电压的方法,进行10 kV配变的试验。10 kV配变试验系统可进行空载试验、负载试验、温升试验、感应电压试验等,空载试验输出电压参数满足标准要求,其主设备的配置和选型方法,可作为小型变压器厂建设配变试验能力的参考。EA

(收稿日期:2017.09.19)

(编辑:朱金凤)