

变频串联谐振在大中型变压器交流耐压试验中的应用

林梅芬¹, 许晶²

(1. 福建水利电力职业技术学院, 福建 永安 366000; 2. 绍兴电力局, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 本文通过利用变频串联谐振对几个大中型变压器进行交流耐压试验实例, 将其与传统的交流耐压试验方法在各个不同方面进行了比较, 得出变频串联谐振耐压试验技术具有所需电源容量小、试验设备体积小、不会对试验品造成损伤等显著优点的结论。

关键词: 变频; 串联谐振; 大中型变压器; 耐压试验; 容量

中图分类号: TM41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9706(2010)01-0052-04

Application of Frequency Conversion Series Resonance in Large and Medium-capacity Transformer AC Voltage Withstand Test

LIN Mei-fen¹, XU Jing²

(1. Fujian College of Water Conservancy and Electric Power, Yong'an 366000, China;

2. Shaoxing Electric Power Bureau, Shaoxing 312000, China)

Abstract: By means of the instance of frequency conversion series resonance in several large and medium-capacity transformer AC voltage withstand test, this paper compares it with the traditional method of AC voltage withstand test in different aspects, and comes to a conclusion that frequency conversion series resonance voltage withstand test technology has some significant advantages such as required power capacity in small, small volume of test equipment and no damage to testing samples.

Key words: frequency conversion; series resonance; large and medium-capacity transformer; withstand test; capacity

0 引言

对变压器进行外施交流耐压, 是考验电力变压器主绝缘电气强度的最基本的绝缘试验, 是发现电力变压器主绝缘是否合理, 绝缘材料有无缺陷和制造工艺是否符合要求的重要手段之一。^[6] 对于容量大、电压等级高的电力变压器, 由于其电容量大, 若用常规试验变压器作交流耐压试验, 试验设备笨重, 不便搬运, 给现场试验带来了困难。而采用变频串联谐振对大容量高电压的电气设备进行交流耐压试验则可很好地解决这些问题。

1 原理

在图 1 所示的串联谐振基本原理图中, 串联回路电流:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

对于串联回路, 流过各元件的电流大小相等。当 $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ 时,

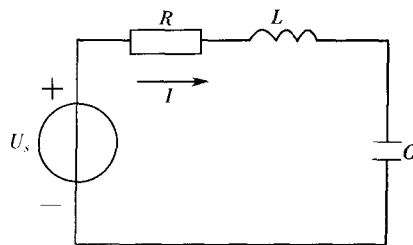


图 1 串联谐振基本原理图

收稿日期: 2009-10-01

作者简介: 林梅芬(1975-), 女, 高校讲师, 工程硕士, 从事电力系统的教学、研究工作。

Tel: 0598-3869991; E-mail: lmf2835@126.com

许晶(1977-), 女, 工程师, 绍兴电力局从事高压试验工作。E-mail: suglass@sina.com

回路即处于串联谐振状态,流过整个串联回路的电流 $I = \frac{U}{R}$ 最大。在感抗或容抗的量值大大超过电阻量值 ($\omega L = \frac{1}{\omega C} \gg R$) 的情况下,在 L 和 C 上就会出现大大超过外施电压的高电压^[4],达到以低电压、小容量电源使试品的绝缘承受高电压的考验目的。 $U_{Cmax} = \frac{U}{\omega CR} = \frac{\omega L}{R} U$ 。令 $Q = \frac{\omega L}{R}$,则 $U_{Cmax} = QU$, Q 称为谐振回路的品质因数。

在进行交流耐压试验时,满足谐振的条件是电抗器的感抗等于试品电容的容抗。通常有两种方法:一是改变电抗器的电感量,也就是通常所说的调感式串联谐振;二是改变试验频率,即调频式串联谐振(又称变频串联谐振),使试验频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$,也可以达到谐振条件。试验频率一般要求在工频,即 45Hz ~ 65Hz。在这里,我们采用调频式串联谐振。

变频串联谐振对变压器进行交流耐压试验的接线图如图 2 所示。

试验用主要仪器为变频串联谐振耐压试验装置一套:变频电源;励磁变;高压电抗器(I组:每台额定电压 55kV、额定电流 1A、额定电感量 200H,共 4 台;II组:每台额定电压 60kV、额定电流 2.5A、额定电感量 120H,共 4 台);测量用分压器(电容量为 1000pF);高压补偿电容器若干。

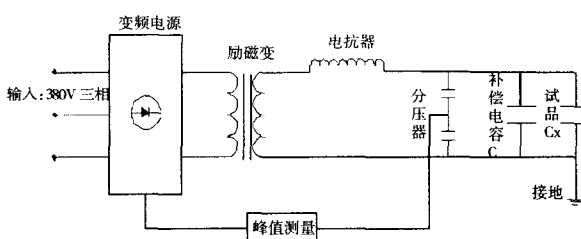


图 2 变频串联谐振交流耐压试验接线图

2 应用

下面是根据浙江某电力局现有设备对变压器进行交流耐压试验的实例。

例 1:一台 220kV、180MVA 的大型电力变压器,型号为 SFS9 - 180000/220,出厂编号为 002190,接线组别为 YNyn0d11,额定电压为 220/117/37kV,广州维奥伊林变压器厂 2003 年出厂,其交接试验的绝缘试验数据如表 1 所示:

表 1

被试绕组	$R_{1s}(M\Omega)$	$R_{60s}(M\Omega)$	$R_{600s}(M\Omega)$	吸收比	极化指数	$I(\mu A)$	$tg\delta(\%)$	$C_x(pF)$
220kV	9500	13500	24500	1.42	1.81	12.5	0.158	13694
110kV	6300	8700	14500	1.38	1.67	15.0	0.147	23569
35kV	8000	10750	20600	1.34	1.92	3.2	0.178	25359
铁芯	/	10500	/	/	/	/	/	/
夹件	/	10000	/	/	/	/	/	/

根据 GB50150 - 91,该变压器 220kV 绕组中性点出厂耐压为 200kV,交接试验电压为 170kV;110kV 绕组中性点出厂耐压为 95kV,交接试验电压为 81kV;35kV 绕组出厂耐压为 85kV,交接试验电压为 72 kV。

该电力局现有最大试验变压器为:额定容量 50kVA,额定电压 100kV,额定电流 0.5A。若用常规试验变压器法进行交流耐压试验,根据被试变压器绝缘试验中的电容量数据可知:

(1)对 220kV 绕组中性点进行交流耐压时:

试验电压为 170kV,大于试验变压器 100kV 的额定电压,不能满足试验的要求;

试验时高压侧电流 $I_{C高压} = \omega CU = 314 \times 13694 \times 10^{-12} \times 170 \times 10^3 = 0.73A$,大于试验变压器 0.5A 的额定电流,不能满足试验的要求;

(2)对 110kV 绕组中性点进行交流耐压时:

试验电压为 81kV,小于试验变压器 100kV 的额定电压,能满足试验的要求;

试验时中压侧电流 $I_{C中压} = \omega CU = 314 \times 23569 \times 10^{-12} \times 81 \times 10^3 = 0.60A$,大于试验变压器 0.5A 的额定电流,不能满足试验的要求;

(3) 对 35kV 绕组进行交流耐压时:

试验电压为 72kV, 小于试验变压器 100kV 的额定电压, 能满足试验的要求;

试验时电流 $I_{C_{\text{低压}}} = \omega CU = 314 \times 25359 \times 10^{-12} \times 72 \times 10^3 = 0.57A$, 大于试验变压器 0.5A 的额定电流, 不能满足试验的要求。

由此可见, 该变压器高、中、低压三侧都无法用现有常规的试验变压器进行交流耐压试验。下面我们采用变频串联谐振的方法对变压器进行交流耐压试验。

对 220kV 绕组, 为使谐振频率在 45Hz ~ 65Hz 范围内, 由 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, 必须满足 $45 < \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} < 65$, 即 $45 < 1/2\pi\sqrt{L \times (13694 + 1000) \times 10^{-12}} < 65$, 计算可得 $408H < L < 851H$, 也就是说电抗器电感量应在此范围内。选用 II 组电抗器 4 台串联, 4 台电抗器串联后, 电压为 $60kV \times 4 = 240kV$, 电流为 2.5A, 则:

$$f = 1/2\pi\sqrt{LC} = 1/2\pi\sqrt{480 \times (13694 + 1000) \times 10^{-12}} = 59.9\text{Hz}$$

$$I_L = U_s/\omega L = 170 \times 10^3 \div (2\pi \times 59.9 \times 480) = 0.94A$$

估算值满足要求。

同理, 对 110kV 绕组选用 II 组电抗器 3 台串联, 3 台电抗器串联后, 电压为 $60kV \times 3 = 180kV$, 电流为 2.5A, 则:

$$f = 1/2\pi\sqrt{LC} = 1/2\pi\sqrt{360 \times (23569 + 1000) \times 10^{-12}} = 53.5\text{Hz}$$

$$I_L = U_s/\omega L = 81 \times 10^3 \div (2\pi \times 53.5 \times 360) = 0.67A$$

估算值满足要求。

对 35kV 绕组选用 II 组电抗器 2 台串联, 2 台电抗器串联后, 电压为 $60kV \times 2 = 120kV$, 电流为 2.5A, 则:

$$f = 1/2\pi\sqrt{LC} = 1/2\pi\sqrt{240 \times (25359 + 1000) \times 10^{-12}} = 63.3\text{Hz}$$

$$I_L = U_s/\omega L = 72 \times 10^3 \div (2\pi \times 63.3 \times 240) = 0.75A$$

估算值满足要求。

经以上分析计算, 对该变压器进行交流耐压试验, 实测数据如表 2 所示^[3]:

表 2

被试绕组	试品电容	试验电压	电抗器接法	补偿电容	试验电流	谐振频率
220kV	13694 pF	170 kV	4 台串联	/	800 mA	55.6 Hz
110kV	23569 pF	81 kV	3 台串联	/	580 mA	50.4 Hz
35kV	25359 pF	72 kV	2 台串联	/	670 mA	61.1 Hz

所测数据均满足试验要求。(实测数据中, 各绕组试验电流和试验谐振频率与估算值相比都偏小, 是因为电抗器串联后, 电抗器之间产生的互感引起的。)

例 2: 一台 110kV、50MVA 的电力变压器, 型号为 SSZ9-50000/110, 编号为 2002-117, 接线组别为 Yyn0d11, 江苏华鹏变压器厂 2002 年 9 月出厂, 其交接试验的绝缘试验数据如表 3 所示:

表 3

被试绕组	$R_{1s} (M\Omega)$	$R_{60s} (M\Omega)$	吸收比	$I (\mu A)$	$tg\delta (\%)$	$Cx (pF)$
110kV	11900	15900	1.34	6.2	0.357	19620
35kV	12000	15800	1.32	1.8	0.281	30020
10kV	7700	10800	1.4	0.6	0.32	24110
铁芯	/	14000	/	/	/	/
夹件	/	6000	/	/	/	/

根据 GB50150-91, 该变压器 110kV 绕组中性点出厂耐压为 95kV, 交接试验电压为 81kV; 35kV 绕组中性点出厂耐压为 85kV, 交接试验电压为 72kV; 10kV 绕组出厂耐压为 35kV, 交接试验电压为 30kV。

同理, 若用常规试验变压器法进行交流耐压试验, 按照上例进行分析, 该变压器绝缘试验数据如表 4 所示:

表 4

被试绕组	试品电容	试验电压	试验电流
110kV	19620pF	81kV < 100kV	0.499A < 0.5A
35kV	30020pF	72kV < 100kV	0.679A > 0.5A
10kV	24110pF	30kV < 100kV	0.227A < 0.5A

由上可知,试验变压器的额定电压均能满足要求,但额定电流不能全部满足要求。该变压器仍无法用现有常规的试验变压器进行交流耐压试验。我们仍采用串联谐振的方法进行变压器交流耐压试验。

同理进行分析计算,电抗器组合方式如表 5 所示:

表 5

被试绕组	电抗器接法	额定电压	额定电流
110kV	I 组 2 台串联	110 kV	1A
35kV	I 组 2 并 2 串联	110 kV	2A
10kV	I 组 2 台串联	110 kV	1A

合理选择电抗器后按图 2 接线,实测数据如表 6 所示^[3]:

表 6

被试绕组	试品电容	试验电压	补偿电容	试验电流	谐振频率
110kV	19620 pF	81 kV < 110kV	/	510 mA < 1A	52.1Hz
35kV	30020 pF	72 kV < 110kV	/	805 mA < 2A	59.6Hz
10kV	24110 pF	30 kV < 110kV	/	180 mA < 1A	47.3Hz

所测数据均满足试验要求。

通过变频串联谐振的交流耐压试验我们发现此试验方法具有如下优点:

(1)所需电源容量大大减小。利用谐振电抗器和被试品电容谐振产生高电压和大电流,在整个系统中,电源只需要提供系统中有功消耗的部分。

(2)设备的重量和体积大大减少。不但省去了笨重的大功率调压装置和普通的大功率工频试验变压器,而且,谐振激磁电源只需试验容量的 $1/Q$,使得系统重量和体积大大减少,一般为普通试验装置的 $1/5 - 1/10$ 。

(3)防止大的短路电流烧伤故障点。在串联谐振状态,当试品的绝缘弱点被击穿时,电路立即脱谐,回路电流迅速下降为正常试验电流的 $1/Q$ 。而试验变压器方式做耐压试验时,击穿电流立即上升几十倍,两者相比,短路电流,击穿电流相差数百倍。所以,串联谐振能有效的找到绝缘弱点,又不存在大的短路电流烧伤故障点的隐患。

(4)不会出现任何恢复过电压。试品发生击穿时,因失去谐振条件,高电压也立即消失,电弧即刻熄灭,不会出现任何恢复过电压。

3 结论

实例证明,通过变频串联谐振装置,利用电抗器的电感与被试品电容实现电压谐振,在被试品上获得高电压、大电流,从而实现利用小容量的试验变压器对大容量的变压器进行交流耐压试验的目的。该试验方法还具有设备的重量和体积小、能防止大的短路电流烧伤故障点、不会出现任何恢复过电压的优点。采用变频串联谐振对大型变压器进行外施交流耐压试验将是高电压试验的一种新方法,与潮流。

参考文献:

- [1] DL 474.1~6-92,现场绝缘试验实施导则[S].
- [2] 陈化钢. 电气设备预防性试验方法(修订版)[M]. 北京:水利电力出版社,1994.
- [3] 陈化钢. 电力设备预防性试验技术问答[M]. 北京:中国水利水电出版社,1998.
- [4] 蔡元宇,朱晓萍,等. 电路及磁路[M]. 北京:高等教育出版社,2008.
- [5] GB50150-91,电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S].
- [6] DL/T596-1996,电力设备预防性试验规程[S].

[责任编辑:王敏]