

低电压短路试验校核 110 kV 国际变压器容量

孙恒峰,张 扬,季 楠,耿勇德,杨海铭,董昱炜
(江苏省电力公司检修分公司盐城分部,江苏 盐城 224002)

摘 要:变压器的容量与其对应的阻抗电压在国标中有相关的规定和强制标准,厂家在变压器出厂时测得的阻抗电压值应在国标允许的范围内。文中通过对变压器低电压短路试验的研究,总结出测量变压器短路阻抗百分数核对 110 kV 变压器容量的方法,该方法适用于国标变压器的核容试验。通过某用户 2 台 110 kV 国标变压器的核容试验,表明该方法具有可行性。

关键词:110 kV 变压器;短路阻抗百分数;低电压短路试验;容量

中图分类号:TM406

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2011)06-0057-03

随着电力行业的发展,用户用电量的不断增大,自有变压器和私人承包变压器逐渐占据了相当大的份额,但某些用户受利益驱使私自更换变压器铭牌以大容量变压器充当小容量变压器,或用淘汰的、损耗大的变压器充当节能型变压器,从而偷漏大量的应缴电费,有的用户年漏缴电费高达数十万元之多,因此变压器容量测试是一项必不可少的工作。

阻抗电压是与变压器成本、效率密切相关的重要经济指标,变压器的容量与其对应的阻抗电压在国标中有相关的规定和强制标准,厂家在变压器出厂时测得的阻抗电压值应在国标允许的范围内。

1 变压器短路阻抗的试验研究

对型号为 S11-M-250/10,铭牌电压为 $10000 \pm 5\%/400\text{ V}$,联结组别为 Dyn11,短路阻抗百分数为 4.15% 的变压器进行额定档低电压短路试验,电流从 5% 逐渐增加到 65%,试验结果如表 1 所示。

由表 1 可知,随着外施电流的增加,短路阻抗 Z 变化很小,基本是线性关系。这是由于短路阻抗主要是漏电抗,在漏磁通回路中油、纸、铜等非铁磁材料占磁路主要部分,而非铁磁性材料的磁阻是线性的,且磁导率仅为硅钢片的万分之五左右,亦即磁压的 99.9% 以上降落在线性的非铁磁材料上,因此短路阻抗是线性的^[1-4]。

2 变压器核容方法的试验研究

表 2 10 kV 变压器短路阻抗百分数试验数据

电流大小	U_{AB}/V	U_{BC}/V	U_{CA}/V	$U_{\text{平均}}/\text{V}$	I_A/A	I_B/A	I_C/A	$I_{\text{平均}}/\text{A}$	$Z_k/\%$
6% 额定电流	23.5	23.1	23.1	23.2	0.703	0.691	0.698	0.697	3.95
10% 额定电流	38.4	38.2	38.7	38.4	1.160	1.156	1.162	1.159	3.93
额定电流	383.8	381.9	382.7	382.8	11.56	11.50	11.53	11.53	3.94

注:环境温度 23 °C,湿度 55%,顶层油温 24 °C。

表 1 10 kV 变压器短路阻抗试验数据

接线方式	I/A	U/V	Z/Ω
	0.66	16.7	25.30
AB 相加	1.34	34.0	25.37
电压,BC	3.21	81.3	25.33
相短路	6.63	167.9	25.32
	9.40	238.2	25.34
	0.66	16.8	25.48
BC 相加	1.32	33.6	25.48
电压,CA	3.24	82.7	25.52
相短路	6.66	169.9	25.51
	9.30	237.3	25.52
	0.65	16.7	25.62
CA 相加	1.32	33.8	25.64
电压,AB	3.33	85.5	25.68
相短路	6.66	171.1	25.69
	9.27	238.1	25.69

注:环境温度 23 °C,湿度 55%,顶层油温 24 °C。

2.1 10 kV 三相变压器的试验研究

使用三相调压器和变压器特性测试仪对 10 kV 变压器进行额定档低电压短路试验,该变压器的型号为 S11-M-200/10,铭牌电压为 $10000 \pm 5\%/400\text{ V}$,联结组别为 Dyn11,短路阻抗百分数为 3.93%,试验结果如表 2 所示。

由表 2 可知,随着外施电流的增加,短路阻抗百分数 Z_k 变化很小,测量值与铭牌值的误差最大不超过 0.5%,说明 10 kV 变压器的短路阻抗百分数是线

性的。

2.2 110 kV 三相变压器的试验研究

对型号为 SFSZLb-31500/110, 铭牌电压为 $110\pm 3\times 2.5\%/38.5\pm 2\times 2.5\%/11$, 联结组别为 Y0/Y0/ Δ , 高-低压绕组短路阻抗百分数为 18.19% 的 110 kV 变压器进行额定档高-低压绕组低电压短路试验, 试验仪器和方法与第 2.1 节相同, 试验结果如表 3 所示。

由表 3 可知, 随着外施电流的增加, 短路阻抗百分数 Z_K 变化很小, 测量值与铭牌值的误差最大不超过 0.3%, 说明 110 kV 变压器的短路阻抗百分数是线性的。

第 2.1 节和第 2.2 节的试验结果说明可用小电流法来确定变压器的短路阻抗百分数。

2.3 变压器的核容方法

阻抗电压和变压器容量的关系为^[5,6]:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times U_N^2 \times Z_K(\%) \times I_K}{100 \times U_K} \quad (1)$$

式(1)中: U_N 为额定的电压; Z_K 为短路阻抗百分数; I_K 为试验电流的三相平均值; U_K 为试验电压的三相平均值。

U_N 是已知量, I_K 和 U_K 可以通过试验准确测得, 如果知道 Z_K 就可以算出变压器的容量, 但是所使用的变压器特性测试仪是已知变压器容量测量短路阻抗百分数。因此针对该仪器, 要采用间接的方法核容, 即核对短路阻抗百分数, 则:

$$Z_K(\%) = \frac{100 \times U_K \times S}{\sqrt{3} \times U_N^2 \times I_K} \quad (2)$$

假设变压器铭牌的容量 S 是正确的, 将容量 S 代入式(2)中可以测得短路阻抗百分数 Z_K 。核对容量时, 首先将测量值与变压器的铭牌值进行比较, 再将测量值与 GB/T 6451—2008 中变压器的国标值进行比较, 如果两次比较结果都基本相符, 就可以判断变压器的容量是属实的。当两者结果不相符时,

可判断铭牌容量与实际不符合, 推算出变压器的实际容量为:

$$S_{\text{实}} \approx \frac{Z_{K\text{铭}}}{Z_{K\text{测}}} \times S_{\text{铭}} \quad (3)$$

式(3)中: $S_{\text{实}}$ 为变压器的实际容量; $S_{\text{铭}}$ 为变压器的铭牌容量; $Z_{K\text{铭}}$ 为短路阻抗的铭牌值; $Z_{K\text{测}}$ 为短路阻抗的测量值; $Z_{K\text{铭}}(\%)$ 为短路阻抗百分数的铭牌值; $Z_{K\text{测}}(\%)$ 为短路阻抗百分数的测量值。对照国标 GB/T 6451—2008, 根据式(3)就可以推算出变压器的实际容量。

3 实例分析

对江苏胜丰钢厂的 1 台 110 kV 变压器进行低电压短路试验。该主变型号为 SZ10-16000/110, 铭牌电压为 $110\pm 8\times 1.25\%/6.3$ kV, 联结组别为 YNd11, 短路阻抗百分数: 1 档 11.01%, 9 档 10.48%, 17 档 9.97%。试验仪器和方法同第 2.1 节, 试验结果如表 4 所示。

由表 4 可知, 短路阻抗百分数测量值与铭牌值的误差最大不超过 0.7%, 9 档的测量值与国标值 10.5% 的误差为 0.95%, 2 次的比较结果基本相符, 由此可判断该主变的铭牌容量为真实值, 从而验证了低电压短路试验核对 110 kV 变压器容量具有可行性。

对该钢厂另一台 110 kV 变压器进行低电压短路试验, 该主变型号为 SZ11-31500/110, 铭牌电压为 $110\pm 8\times 1.25\%/10.5$ kV, 联结组别为 YNd11, 短路阻抗百分数: 1 档 11.47%, 9 档 10.93%, 17 档 10.57%。试验仪器和方法同第 2.1 节, 试验结果如表 5 所示。

由表 5 可知, 短路阻抗百分数 1 档的测量值与铭牌值的误差为 36.3%, 9 档的测量值与铭牌值的误差为 36.9%, 17 档的测量值与铭牌值的误差为 37.9%, 9 档的测量值与国标值 10.5% 的误差为

表 3 110 kV 变压器额定档高-低压绕组短路试验的数据

电流大小	U_{AB}/V	U_{BC}/V	U_{CA}/V	$U_{\text{平均}}/V$	I_A/A	I_B/A	I_C/A	$I_{\text{平均}}/A$	$Z_K/\%$
1.2% 额定电流	242.0	237.9	241.0	240.3	1.998	1.968	1.983	1.983	18.22
2.3% 额定电流	468	462.1	466.1	465.4	3.855	3.814	3.840	3.836	18.24

注: 环境温度 26℃, 湿度 60%, 顶层油温 35℃。

表 4 第 1 台变压器低电压短路试验的数据

分接档位	U_{AB}/V	U_{BC}/V	U_{CA}/V	$U_{\text{平均}}/V$	I_A/A	I_B/A	I_C/A	$I_{\text{平均}}/A$	$Z_K/\%$
1 档	333.5	329.4	332.4	331.8	1.922	1.911	1.895	1.909	10.96
9 档	277.4	273.9	276.5	275.9	2.045	2.029	1.994	2.023	10.41
17 档	219.4	215.9	218.2	217.8	2.012	2.012	1.998	2.010	10.01

注: 环境温度 26℃, 湿度 60%, 顶层油温 35℃。

表 5 第 2 台变压器低电压短路试验的数据

分接档位	U_{AB}/V	U_{BC}/V	U_{CA}/V	$U_{平均}/V$	I_A/A	I_B/A	I_C/A	$I_{平均}/A$	$Z_K/\%$
1 档	473.7	468.9	469.3	470.6	8.112	7.916	7.983	8.004	7.31
9 档	233.2	229.6	230.3	231.0	5.104	5.005	4.997	5.035	6.90
17 档	394.9	388.7	390.3	391.3	10.99	10.83	10.75	10.86	6.56

注:环境温度 27℃,湿度 60%,顶层油温 34℃。

34.3%, 2 次的比较结果均超过 GB/T 1094.1—1996 要求的不大于 $\pm 10\%$ ^[7],由此可判断该主变的铭牌容量与实际不符。根据式(3)并对照国标,可推算出该主变的实际容量为 50 000 kV·A。

由表 4 和表 5 可知,变压器的短路阻抗百分数在不同档位的测量结果是不同的,因为变压器处于不同的分接位置,对应着不同的直流电阻值和阻抗电压值,所以测量时要注意分接开关的位置,以便与铭牌值对比。

4 现场试验的注意事项

(1) 设置正确的联结组别。因为不同的联结组别,对应着不同的负载损耗温度校正公式,如果输入不正确的联结组别,必然导致测量结果的错误,所以在变压器铭牌不可信或者无铭牌的情况下,要通过试验确定变压器的联结组别。

(2) 注意分接开关的位置。因为变压器处于不同的分接位置,对应着不同的直流电阻值和阻抗电压值,所以测量时要注意分接开关的位置,以便与铭牌值对比。

(3) 短路线要有足够大的截面。因为试验时低压侧会流过较大的短路电流,所以短路线要有足够大的截面。

5 结束语

通过对变压器低电压短路试验的研究,本文总结出测量变压器短路阻抗百分数核对 110 kV 变压器容量的方法,该方法适用于国标变压器的核容试验。江苏胜丰钢厂的 2 台 110 kV 国标变压器的核容

试验结果表明:容量为 16 000 kV·A 的变压器,其铭牌容量与实际容量相符;容量为 31 500 kV·A 的变压器,其铭牌容量与实际容量不符合,应该为 50 000 kV·A,2 台变压器的试验结果表明低电压短路试验核对 110 kV 国标变压器容量具有可行性。

参考文献:

- [1] 李建明,朱康.高压电气设备试验方法[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 陈化钢.电力设备预防性试验方法及诊断技术[M].北京:中国科学技术出版社,2001.
- [3] GB/T 6451—2008,油浸式电力变压器技术参数[S].
- [4] DL/T 1093—2008,电力变压器绕组变形的电抗法检测判断导则[S].
- [5] 王学球,郭万红.用阻抗电压及负载损耗测量判定变压器容量的实例[J].河南电力,2005(1):59-60.
- [6] 吴楠,肖海红.变压器容量测试仪的原理及开发要点[J].供用电,2006,23(6):24-28.
- [7] GB/T 1094.1—1996,电力变压器第 1 部分总则[S].

作者简介:

- 孙恒峰(1964-),男,江苏盐城人,高级技师,从事变电检修管理工作;
- 张 扬(1982-),男,江苏盐城人,技师,从事电气设备绝缘预防性试验与试验数据分析研究工作;
- 季 楠(1980-),男,江苏盐城人,助理工程师,从事电气设备绝缘预防性试验工作;
- 耿勇德(1983-),男,江苏盐城人,助理工程师,从事电气设备绝缘预防性试验工作;
- 杨海铭(1983-),男,江苏盐城人,工程师,从事电气设备绝缘预防性试验工作;
- 董昱炜(1986-),男,江苏盐城人,助理工程师,从事电气设备绝缘预防性试验工作。

Checking Capacity of 110 kV Transformer with Low Voltage Short Testing

SUN Heng-feng, ZHANG Yang, JI Nan, GENG Yong-de, YANG Hai-ming, DONG Yu-wei

(Yancheng Department of Jiangsu Electric Power Company's Maintenance Branch, Yancheng 224002, China)

Abstract: Based on the analysis of the low voltage short testing, the percentage of short-circuit impedance was proposed to checking capacity of 110 kV transformer. And the method is suitable for checking the national specification transformer. Lastly, the proposed method is verified feasible through the capacity checking test of two 110 kV transformer.

Key words: 110 kV transformer; percentage of short-circuit impedance; low voltage short testing; capacity