

0.1Hz 超低频耐压试验方法的探索和研究

The Discussion and Study of 0.1Hz Ultra-low Frequency Voltage Withstand Testing Method

张家安, 汪祥兵¹, 张辉²

(1 武汉电力职业技术学院, 湖北 武汉 430079

2 武汉华胜电力科技有限公司 湖北 武汉 430070)

[摘要] 对于绝缘等效电容较大的高压电气设备的耐压试验, 采用 0.1Hz 超低频耐压技术与工频耐压和直流耐压相比具有明显优势。我国 0.1Hz 超低频耐压试验技术正在推广之中, 试验标准和方法还须完善, 对其研究有重要意义。

[关键词] 0.1Hz; 超低频; 交流耐压试验; 直流耐压试验

0.1Hz; Very low frequency; Ac voltage withstand test; DC voltage withstand test

0 前言

1990 年奥地利学者 Kruger 首次提出橡塑电力电缆经过直流耐压试验以后存在累计破坏效应, 建议停止直流耐压试验, 提出用 0.1Hz 超低频耐压试验代替的理论 [1]。

由于 0.1Hz 耐压试验装置容量理论上为工频 (50Hz) 的 $1/500$ (实际是 $50\sim 100$), 耐压效果与工频具有等效性。在欧美发达国家, 广泛采用 0.1Hz 超低频耐压试验技术, 极大提高了电缆供电的可靠性。1995 年德国制定 VDE DIN 0276 Part 1001 (May 1995)《中压橡塑电缆交接试验工频交流耐压和 0.1Hz 耐压试验电压标准》; 1996 年美国电力研究所 (EPRI) 发布了《中压电力电缆 0.1Hz 现场试行导则》[2]; 我国 2004 年颁布了电力行业标准《超低频高压发生器通用技术条件 DL/T849.4-2004》, 为推广超低频技术起了关键作用; 湖北省电力公司 2004 年发布了《橡塑绝缘电力电缆交接和预防性试验规程 Q/ED 116 501—2004》的企业标准, 明确规范了超低频试验的某些标准。

但是我国至今仍未颁布 0.1Hz 超低频耐压试验现场试行标准, 因此, 参考国内外的先进理论和方法, 制定适合我国国情的超低频试验标准迫在眉睫。

1 0.1Hz 超低频耐压试验的对象

0.1Hz 超低频耐压试验技术的优势为: 与工频相比等效性一致、体积小, 与直流耐压相

比无累计破坏效应, 所以对于绝缘等值电容较大的试品, 例如电力电缆、电力电容, 大中型电机, 超低频具有很大的优势。然而对于绝缘等值电容较小其他的试品, 由于超低频耐压试验装置高压发生器输出需要一定的电容来匹配, 在这种情况下需要高压电容与被试品并联进行。因此对于绝缘等效电容较小的高压电气设备, 采用工频耐压试验即可, 而对于绝缘等效电容较大的高压电气设备, 采用超低频耐压技术具有明显优势。

2 超低频耐压试验电压和时间的确定

耐压试验电压的确定是进行 0.1Hz 超低频耐压试验的关键, 只有施加合理的试验电压和试验时间, 才能正确判断高压电气设备的绝缘状况。

橡塑绝缘电力电缆指聚氯乙烯绝缘(PE), 交联聚乙烯绝缘(XLPE)和乙丙橡皮绝缘电力电缆。对于橡塑绝缘电力电缆的 0.1Hz 超低频耐压试验, 各个国家和地区采用不同的标准。

(1) 德国是倡导和使用超低频技术最早的国家之一, 德国标准: 《VDE DIN 0276 Part 1001 (May 1995) 中压橡塑电缆交接试验工频交流耐压和 0.1Hz 耐压试验电压标准》规定: 0.1Hz 超低频耐压试验所加试验电压为电缆额定相电压(U_0)的 3 倍(工频为 2 倍), 试验时间为 60min [3]。

(2) 美国电力研究所(EPRI)1996 年发布《中压电力电缆 0.1Hz 现场试验试行导则》(EPRI RP 3392-01/CEA 200-D-780A) (试验电压标准) [4] 如下表 1。

表 1 美国电力研究所 (EPRI) 中压电力电缆 0.1Hz 现场试验标准表

$U_n, (U_0), \text{kV}$	交接 $\text{kV}, (U_0)$	预试, kV	预试/交接	时间
5, ($U_0=2.89$)	14, ($4.8U_0$)	10	0.71	15min
【10,(5.77)】	【21,(3.6 U_0)】	【16】	0.76	
15,(8.66)	28,(3.2 U_0)	22	0.78	
25,(14.4)	44,(3.05 U_0)	33	0.75	
35,(20.2)	62,(3.07 U_0)	47	0.75	

注: I 若试验时间改用 60min, 则用上述电压值的 0.75 倍;

II 美国不采用 10kV 电压等级, 【 $U_n=10\text{kV}$ 】一行是便于与我国比较, 临时用插入法正比例计算得到的。

(3) 国内部分地区 (3~35kV 电缆) 超低频试验标准 (2002~2003 年制定) 如表 2。

表2 国内部分地区超低频试验标准表

地 区	0.1Hz 试验电压		时 间	说 明
江苏、浙江	交接	$3U_0$	60min	检查接头质量 20min
	预试	$3U_0$	60min	检查受潮
华北、山东、 安徽	交接	$3U_0$	60min	
	预试	$2.1U_0$	5min	

(4) 湖北省电力公司企业标准《橡塑绝缘电力电缆交接和预防性试验规程 Q / ED 116 501—2004》超低频试验标准如表3.

表3 湖北省电力公司橡塑绝缘电力电缆超低频试验标准

电缆额定电压 U_0 / U	交接试验电压		预防性试验电压	
	倍数	电压值(kV)	倍数	电压值(kV)
1.8/3	$3U_0$	5	$3U_0$	5
3.6/3	$3U_0$	11	$3U_0$	11
6/6	$3U_0$	18	$3U_0$	18
6/10	$3U_0$	18	$3U_0$	18
8.7/10	$3U_0$	26	$3U_0$	26
12/20	$3U_0$	36	$3U_0$	36
21/35	$3U_0$	63	$3U_0$	63
26/35	$3U_0$	78	$3U_0$	78

交接试验时,加压时间 60min,不击穿。预防性试验时, 加压时间 15min, 不击穿。

由上述可见, 各个国家和地区, 超低频试验电压和耐压时间有一定差异。到底谁是谁非, 没有定论。但是德国多特蒙德电业公司关于 0.1Hz 超低频耐压试验技术 10 年经验总结报告给出下表4的一组数据[5], 有很大参考意义。

表4 1987~1998 共计 3237 次耐压试验, 在对橡塑电缆做耐压试验过程中击穿点(百分数)与耐压时间的分布表

击穿发生 (%)	59	6	5	11	6	13
耐压试验时间 (min)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60

从这一个统计资料说明, 若耐压时间缩短为 30min, 就会有 30%的潜在故障不能在耐压

试验中发现,从而降低了电缆重新投入运行后的供电可靠性。

综上所述,我赞同湖北省电力公司的试验标准:试验电压取 $3U_0$,交接试验耐压时间取 60min,预防性试验 15min,根据电缆使用的具体情况预防性试验时间可适当加长。

3.短距离电力电缆的耐压试验

超低频原理示意图如图 1 所示。由图可见,当输出空载时,逆变失败,输出得不到 0.1Hz 正弦波电压,因此,当测试短距离电缆(或者小电容试品),超低频高压发生器须要辅助电路实施。

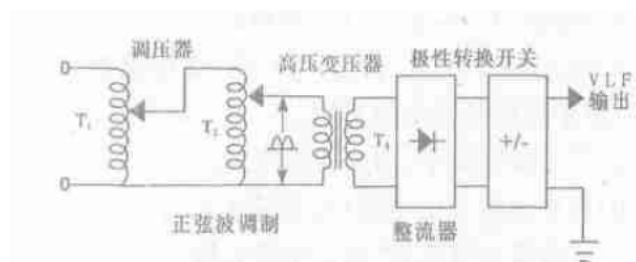


图 1 VLF 系统原理图

实施的方法即并联一个高压电容器,试验接线图如图 2 所示。对于 VLF-30/1.1 型号的超低频高压发生器(最高输出电压 30kV, 0.1Hz 下最大测试电容 $1.1\mu\text{F}$), 并联电容选择 $V_{\text{max}}=30\text{kV}$, $C=0.1\mu\text{F}$, 实践证明测试效果很好。

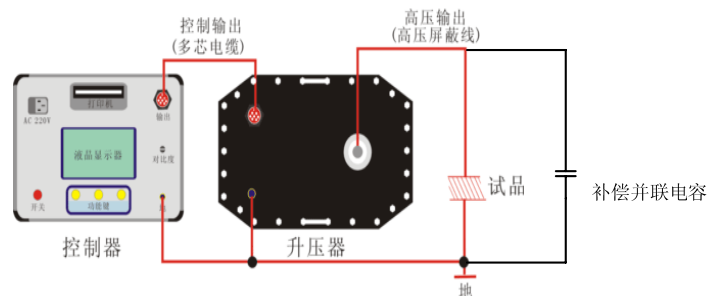


图 2 并联电容测试绝缘等效电容较小的电气设备的接线示意图。

4.野外作业,工作电源频率波动过大问题的解决

电力电缆的耐压试验大多在野外进行,很多场所需要小型发电机作为仪器的工作电源。由于发电机的功率较小和超低频耐压试验中输出功率较大变化,引起发电机频率变化较大,导致超低频发生器逆变颠覆,输出信号紊乱,仪器不能正常工作。出现这种现象,我们解决

的措施有两种:

- ①增大发电机的容量, 稳定测试过程中频率的变化范围。
- ②在发电机出口并联一个适当的电阻。

并联电阻的目的实质是稳定负荷。根据我们实践经验, 对于 VLF-30 / 1.1 型的超低频高压发生器, 可并联一个 $50\ \Omega$ 左右的电阻。因为电阻的散热问题, 用一个额定电压为 220V、额定功率为 1000W 左右的电炉效果很理想。

5 束语

0.1Hz 超低频耐压试验标准在各个国家和地区有所不同, 在现场实施过程中还有一些特殊问题需要我们灵活处理, 只有通过长期经验积累和研究, 才能得出适合我国国情的试验标准和试验方法。由于 0.1Hz 超低频耐压技术原理上的优势, 0.1Hz 超低频耐压试验技术一定会在我国迅速推广!

参考文献

- [1] 陈平, 马文月, 屠德民 国内外 0.1Hz 超低频高压发生器 [J] 高电压技术 2001.27 (104): 48~59
- [2] 朱匡宇, 鲍清华 关于橡塑电力电缆交流耐压试验参数的讨论 华东电力试验研究院
- [3] 王永红, 何丽娟 用超低频方法进行 XLPE/PE 电缆试验 [J] 黑龙江电力技术 1999. 21 (5): 20~23
- [4] 石卓宏, 陈化钢 0.1Hz 超低频试验装置电压和容量的确定 [J] 东北电力 1999.7: 39~40
- [5] 德国 SEBAKMT 皮特.海尔佩茨, 黄立, 杨帆 0.1Hz 超低频 (VLF) 余弦波耐压试验技术 中国电气设计师网
- [6] 柳淑艳, 杨帆 0.1Hz 超低频正弦波耐压试验技术及应用 [J] 高电压技术 2004.30 (136): 79~80.
- [7] 周芸 交联电缆的超低频耐压试验 [J] 华东电力 2005, 33 (3) 67~68:

作者简介:

张家安 (1966—), 男, 湖北潜江人, 工学硕士, 副教授