

现场变压器对高电压穿越测试结果所致误差的分析

戴俊雄 王炳鸿 赵 磊

云南电力技术有限责任公司 云南昆明 652701

摘要: 新能源场站(包括风电、新能源和储能电站)需具备高电压穿越(HVRT)能力,具体表现为在电网电压升高时,能够在规定范围内持续运行,并向电网提供有功功率和感性无功功率支持,以协助电网电压恢复。根据电网的要求,现场测试需结合变流器的控制策略进行分析,且考核数据不应超过理论计算结果的10%。然而,在高电压穿越现场测试过程中,变压器在高电压穿越期间高压侧绕组过激磁而产生额外的感性无功电流,导致实际发出的感性无功电流超出控制策略的理论值,从而造成实测数据与理论值之间存在偏差,甚至超出10%的允许范围。本文基于现场实测数据与变流器控制策略的对比分析,提出了因变压器过激磁引起误差的分析方法,并进一步明确了高电压穿越现场实测数据正确性的判断依据。

关键词: 高电压穿越(HVRT);有功功率;感性无功;过激磁;误差

引言

在新能源为占比较大的新型电力系统进程中,电网的暂态稳定性面临新挑战。新能源高电压穿越能力已成为并网设备的必备性能。然而,现场测试系统连接了变压器,影响因素增加,对测试方法的准确性与结果的有效性提出了更高要求。本文结合新能源高电压穿越现场试验,系统阐述试验原理、方法及关键影响因素,并结合的测试数据进行分析,标准化测试与性能优化提供参考。

一、新能源现场测试高电压穿越试验介绍

1. 高电压穿越测试现场接入系统图

如1.1-1图所示,根据GB/T 36995-2018中第8.2所示试验设备串接入至35kV系统当中^{①②③}。通过试验设备的电压抬升来对变流器的高电压穿越的考核。为了统一名称本文把光伏的逆变器、风机的变流器、储能的PCS都以被测品代替。

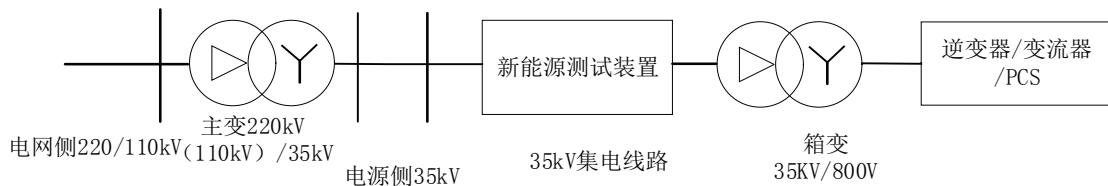


图 1.1-1 现场设备一次连接图

2. 新能源被测品标准高电压穿越考核内容^{①②③}

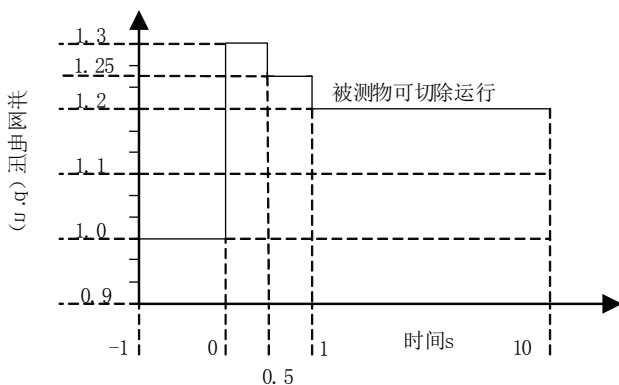


图 1.2-1 新能源电站高电压故障穿越要求

表 1.1-1 新能源被测品在高电压穿越测试点指标

序列	故障类型	设定电压抬升	设定持续时间
1	三相对称故障	1.30 ± 0.03	500ms
2	三相对称故障	1.25 ± 0.03	1000ms
3	三相对称故障	1.20 ± 0.03	10000ms
4	三相对称故障	1.15 ± 0.03	10000ms

当新能源场站并网点三相电压同时升高时,新能源场站在高电压穿越过程中应具有以下动态无功支撑能力:

1) 当新能源电站并网点电压升高到额定值的110%~130%时,新能源电站向电网注入的无功电流应为电压升高前正常运行时的无功电流输出值 I_0 与动态无功电流增

量 ΔI_1 之差, 新能源发电站动态无功电流增量响应并网电压变化, 并应满足公式):

$$\Delta I_1 \geq K_3 \times (U_T - 1.1) \times I_N \quad (1.1 \leq U_T \leq 1.3)$$

式中: ΔI_1 ——新能源发电站吸收的动态无功电流增量, 单位: A;

K_3 ——新能源发电站动态无功电流比例系数, K_3 取值应大于1.5, 可根据电力系统实际情况确定;

U_T ——并网点电压标么值;

I_N ——被测品的额定电流, 单位: A。

二、0 高电压穿越被测品的控制策略

1. 被测品的控制策略

1) 进入高电压穿越的门槛值: 电网基波正序电压高于112%。

2) 退出高电压穿越的门槛值: 电网基波正序电压低于110%。

3) 无功控制策略: $I_q = I_{q0} + \Delta I_q$, $\Delta I_q = K * (U_T - 1.1) * I_N$

式中: I_q 为动态无功电流, I_{q0} 为高电压穿越前的无功电流值, ΔI_q 为根据电压发出的无功电流, K 设置为1.7 (可调)。 U_T 为电网正序电压标么值, I_N 为逆变器额定电流。

三、高电压穿越数据分析

举例说明: 某新能源场站的高电压穿越大负荷 (大于0.7PN) 测试数据作为分析, 箱变的变压比为35kV/800V, 被测品容量为3.2MW。控制策略为上述2.0内容。

1. 高电压穿越数据的读取

按照高电压穿越的考核内容现场测试读取高压侧和低压侧即35kV侧和800V侧三相相电压, 三相相电流, 从而分解基波正序分量电压, 三相有功功率, 三相无功功率, 有功电流和无功电流等。

表 3.1-1 高压侧实测数据列取

抬升电压	实测电压 (kV)	额定电压 (kV)	抬升 (%)	持续时间 (ms)	实测无功电流 (A)	计算无功电流 (A) K=1.5	控制策略无功电流计算 (A) K=1.7	无功电流误差
115%	39.90	35	114.0	10009	5.45	3.168	3.58	52.2%
120%	41.80		119.4	10011	15.34	7.44	8.41	78.4%
125%	43.58		124.5	1013.7	23.56	11.48	12.97	82.6%
130%	44.80		128.0	508.1	34.21	14.26	16.11	121.4%

表 3.1-2 低压侧实测数据列取

抬升电压	实测电压 (kV)	额定电压 (kV)	抬升 (%)	持续时间 (ms)	实测无功电流 (A)	计算无功电流 (A) K=1.5	控制策略无功电流计算 (A) K=1.7	无功电流误差
115%	910.4	800	113.8	10009	150.23	131.64	148.72	1.0%
120%	938.4		117.3	10011	286.11	252.89	285.77	0.1%
125%	961.6		120.2	1013.7	403.21	353.35	399.29	1.0%
130%	984.8		123.1	508.1	514.35	453.82	512.82	0.3%

2. 表3.1-1和表3.2-2的数据中可以看出。随着电压升至额定值的115%~130%范围内, 变压器高、低压侧的电压偏离变比关系。通常情况下, 当箱变高压侧电压超过1.1倍额定值时, 变压器将出现过激磁现象^[4]。若电压继续升高, 励磁电流会急剧增大, 从而导致高、低压侧电压不再保持固定的变比关系。需要说明的是, 励磁电流呈感性^[5], 其性质为吸收无功功率, 这也解释了为何高压侧的无功电流会大于低压侧的无功电流。^[12]

3. 由于高低压侧电压不一致从而导致了数据的计算有了偏差。为了方便高低穿数据的比较, 把高压侧实测

无功电流折算成低压侧的数据, 按照 $I_{低} = I_{高} * K_1$ 这里的 K_1 为箱变变比35kV/800V=43.75。如下表3.3-1

从表3.3-1中明显看出高压侧折算到低压侧无功电流、低压侧实测无功电流和高压侧按照控制策略计算的结果对比都不一致。其原因是:

1) 高压侧处于过激磁状态由于励磁电流的加持所以高压侧的实测无功电流大于低压侧实测无功电流。^[11]

2) 控制策略的计算电压取之各侧的正序电压, 从表3.1-2和表3.3-1中看出, 高压侧的电压在同一工况下比低压侧的大。

表 3.3-1 高压侧折算到低压侧的无功电流对比

高压侧实测无功电流 (A)	高压侧实测折算到低压侧无功电流 (A)	低压侧实测无功电流 (A)	高压侧按照控制策略计算无功电流 (A)	高压侧按照控制策略无功电流计算折算到低压侧 (A)	低压侧按照控制策略计算无功电流 (A)
5.45	238.44	150.23	3.58	168.44	148.72
15.34	671.13	286.11	8.41	367.94	285.77
23.56	1030.75	403.21	12.97	567.44	399.29
34.21	1496.69	514.35	16.11	704.81	512.82

3) 由于被测品的计算取低压侧的正序电压, 低压侧的实测无功电流与低压侧按照控制策略计算无功电流一致。

3.3 根据 GB/T 36995-2018、GB/T 19963.1-2021、GB/T 19964-2024 和 GB/T 36547-2024 等标准要求中, 高压侧测试的实测无功电流应该大于等于表 3.1-1 和表 3.1-2 中按照规程要求计算无功电流值。验证被测品的控制策略, 则需要采集箱变低压侧的电压、电流数据。

结束语

(1) 本文揭示了新能源场站在高穿测试期间, 因箱式变压器发生过激磁而导致其高、低压侧电压偏离理论变比的现象。进一步说明仅依据高压侧测量数据将无法准确评估被测设备的真实控制策略。此发现对高电压穿越现场测试的数据解读与方案设计具有指导与借鉴意义。

(2) 本文阐明, 高压侧电压抬升后, 箱变所吸收的无功功率呈感性, 此特性实质上对电网故障后电压的快速恢复具有支撑作用。

(3) 本文未详细列举高穿期间的无功响应时间、持续时间、退出时间及有功功率支撑等具体考核数据。鉴于此, 建议读者根据实测数据, 参照相关标准的具体条款自行进行对比与分析。

参考文献

[1]GB/T 36547-2024 《电化学储能系统接入电网技

术规定》

[2]GB/T 19963.1-2021 《风电场接入电力系统技术规定第 1 部分陆上风电》

[3]GB/T 19964-2024 《光伏电站接入电力系统技术规定》

[4]GB/T 1094.16-2025 《电力变压器第 16 部分: 风力发电用变压器》

[5]GB/T 1094.11-2022 《电力变压器第 11 部分: 干式变压器》

[6]朱宏毅, 沈渭程, 董开松, 等. 风电机组高电压穿越技术研究及现场实测. 电气技术, 2020

[7]宁日红, 罗英和, 李含霜. DFIG 高电压穿越暂态特性分析及控制策略改进. 电气传动, 2021

[8]李少林, 王伟胜, 王瑞明, 等. 双馈风电机组高电压穿越控制策略与试验[J]. 电力系统自动化, 2016

[9]郑重, 耿华, 杨耕. 新能源发电系统并网逆变器的高电压穿越控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2015

[10]朱东海, 邹旭东, 胡家兵, 等. 双馈风电机组无撬棒故障穿越技术研究综述[J]. 电工技术学报, 2022

[11]沐润志, 张瑀明, 王登, 万雄彪. 升压变压器对风电机组高电压穿越影响分析[J]. 云南电业, 2025

[12]高乐, 赵军, 张敏. 基于动态谐波域的饱和变压器建模与励磁涌流特性分析[J]. 工程科技, 2024