

Overload Capacity and Safety Assessment of 500kV Substation Transformers under the Background of New Energy Generation

Weiwei Du

State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. Chengde Power Supply Company, Chengde, Hebei, 067000, China

Abstract

With the profound transformation of energy structure, the large-scale utilization of new energy such as wind power and solar energy has gradually become an irreversible trend. However, the inherent instability of new energy poses a great challenge to the normal operation of the power grid, especially in the environment of new energy transmission. As the core equipment of the power grid, the high load bearing capacity and safety stability of key transformers in 500kV substations are extremely important. The paper aims to elaborate on the impact mechanism of new energy reverse transmission on transformers in 500kV substations, comprehensively evaluate the overload tolerance under different operating conditions, and construct practical and feasible safety measures based on this, providing strong support for the stable operation of the power grid.

Keywords

new energy; return background; transformer; overload; safety

新能源发电背景下 500kV 变电站变压器的过负荷能力与安全性评估

杜伟伟

国网冀北电力有限公司承德供电公司, 中国·河北承德 067000

摘要

随着能源结构的深刻转变, 新能源如风力发电和太阳能的大规模利用已经逐渐成为不可逆转的趋势。然而, 新能源固有特性不稳定性对电网的正常运行构成极大挑战, 尤其在新能源送电环境下, 500kV变电站关键变压器作为电网的核心设备, 其高负荷承受能力和安全稳定性极其重要。论文旨在详尽阐释新能源反送电对500kV变电站中变压器影响机制, 综合评估不同运行状况下的过负荷耐受能力, 在此基础上构筑切实可行的安全保障措施, 为电网的稳定运行给予强有力的支撑。

关键词

新能源; 返送背景; 变压器; 过负荷; 安全

1 引言

新能源的大规模并网, 特别是风电和光伏发电的广泛应用, 显著提升了电网的灵活性和可再生能源占比, 为能源结构的转型和可持续发展注入了新的活力。但是, 这种调整进而导致电网调度的复杂性和不确定性增加, 在这个过程中, 新能源返送电现象转变成了一个全新的挑战, 在电网高负载状态下, 分布式能源剩余电量会经由电线逆向回馈电网, 以减轻电网负荷压力。但这一过程对电网中的关键设备, 尤其是 500kV 变电站变压器, 提出了更高要求, 在新能源反向供电场景中, 变压器的承载上限和稳固性面临更为严峻的考验。因此, 深入研究新能源返送电对变压器的影响, 准确评估其过载能力, 并制定配套安全确保措施, 对保障电网

的稳定运行极其重要。

2 新能源反送电对变压器的影响

2.1 变压器电流与温度变化

新能源返送供电时, 电网的工作状态会出现明显变动, 其中一个关键影响就是反向电流会引起变压器母线电位升高, 这种电压等级的升高并非无关紧要, 它进而会引发变压器的电流增加, 对变压器构成严峻挑战, 持续的高电流负荷会导致变压器内部产生更多的热量, 因此导致变压器温度升高, 温度涨幅对变压器来说是负面的影响, 进而引起变压器内部绝缘材料的老化过程加速^[1]。绝缘材料性能衰退提示电气性能与机械性强度同步降低, 这将直接影响变压器的使用寿命和稳定性和准确性, 分析显示, 变压器在过负荷条件下的运行效率受到制约, 长时间过负荷运行会导致明显上升绕组局部温度, 如果超过安全限度, 可能引发对变压器的不可

【作者简介】杜伟伟(1988-), 女, 中国河南南阳人, 本科, 副高级工程师, 从事超高压输变电设备运行维护研究。

逆转的损害,如在温度40℃时,变压器在1.8倍过负荷状态虽然可以维持半小时以上的运转,但这并不意味着它可以长时间承受这样的过负荷。事实上,持续过负荷工作引起线圈局部温度迅速升高,促进绝缘材料老化,因此导致绝缘材料损坏等多种严重故障,所以,在新能源反向供电条件下,需实时监控变压器的过负荷性能工作状态,利用强化监测、合理优化调度来保障电力系统稳定运行。

2.2 绝缘材料的老化与损坏

在新能源反送电时,反向电流不仅可能导致变压器母线电压上升和电流增大,还可能对变压器的绝缘材料造成局部放电和其他形式的损坏,这类情况在绝缘材料长期使用或受外界环境因素(如湿度、温度变化等)而变化的变压器上特别显著,局部放电是在绝缘材料体内或表层出现非贯穿性放电现象,它虽然不会像完全击穿那样立即导致绝缘失效,但会逐步削弱绝缘材料的电气性能。局部放电引发绝缘材料部分区域分子构型带来变动,进而引起绝缘特性逐步降低,随着时间的推移,逐渐放电的范围或许逐步扩张,放电的次数和力度可能增强。最后,若干局部放电区域或许产生贯穿性通道,引起变压器绝缘材料破坏,绝缘材料破坏对变压器的稳定工作带来严峻挑战,这不仅会提高变压器故障风险,增加危险性,还可能引发更严重的电网故障,比如全面停电等极端情况^[2]。所以,在新能源反向送电环境下,对变压器的绝缘状态,进行定期检查与评定显得尤为为非常其重要,采用定期评估绝缘材料的电气表现、监测是否出现局部放电现象等方法,有利于快速辨识与即时处理可能存在的绝缘弱点,保障变压器稳定运作,这对于维护整个电网的稳定性和可靠性具有重要意义。

2.3 档位选择与损耗增加

新能源反向送电还可能对变压器的档位选择引发影响,变压器通常具有多个档位,以适应不同的电压和负载条件,然而在新能源反向送电情景下,网电压和电流的变化可能更为频繁且剧烈,所以挑选适宜的档位选择特别重要,如果档位选择失误,比如设定了不恰当的档位导致二次电压偏高,或者设定了过低的档位导致二次电压过低,都会使变压器的损耗上升。损耗的增加不仅会降低变压器的运行效率,还会使其工作温度升高,进一步加速绝缘材料的老化,从而影响变压器的安全性^[3]。举例来说,某个500kV变电站在新能源反送电过程中,由于档位设置不当,导致变压器损耗增加了20%,温度升高了10℃,这导致下降了变压器性能,进而导致其绝缘材料老化速度提升了30%,减少了使用周期。所以,在新能源反送电系统中,需要高度关注变压器的档位选择,保障其与电网电压和电流的变化相吻合,从而确保变压器的运行效率安全稳定运行。

3 500kV 变电站变压器的过负荷能力评估

3.1 过负荷能力分析

根据现有研究,诸多生产商生产的变压器在过负荷能

力上确实显现明显的差异,这种差异完整表现在变压器所能承受的过负荷倍数上,关乎过负荷的持续时间和不同环境的表现,以重庆ABB生产的变压器为例,在当环境温度升至40℃,该变压器依旧能够在1.8倍过负荷条件下平稳运转30min以上,这体现了其出色的过负荷能力,但是,变压器的过负荷能力并非只是由制造厂商确定,它同样会遭受诸多外界因素制约。在这一过程中,风冷系统和油泵的工作状况对变压器的过负荷能力起到至关重要的影响,散热通道负责降低变压器运行时的温度,而油泵则确保变压器内部分系统的油流动,以有效散热^[4]。如果冷却系统或油泵发生故障,变压器的散热性能将急剧降低,其过负荷能力也会显著减少。同时,绕组最高热点温度也是影响变压器过负荷能力的关键因素,绕组是变压器关键构件,倘若其最高热点超出临界值,即便过负荷倍数并不是较大,还是可能会引起变压器损坏。所以,衡量变压器的过负荷能力时,需全面考虑诸多要素,涵盖制造厂商的研发水平、风冷和油泵运行状态、绕组的最高耐温等,用来保证对变压器的过负荷能力获得全面且精确的了解。

3.2 过负荷能力计算

变压器过负荷能力的计算需要对众多因素细致分析,需要全面考量其热效率稳定状态、结构稳固性及绝缘稳定性,众多要素交织影响变压器在过负荷条件下稳定运行效能和耐久性,一般情况下,按照GB/T15164—94《油浸式电力变压器负载导则》,我们可应用变压器工厂试验实测的热特性参数执行推算,来判定其过负荷能力,这些参数包括变压器的热时间常数、绕组热点温度等,它们能够反映变压器在过负荷条件下的温升情况和耐受能力。在进行变压器的过负荷能力计算时,还应思索突然发生的事故性过负荷情况下短暂无效负荷运行时间,通常情况下,这一时长应当短于0.15h,用以保障变压器在过负荷条件下避免遭受重大损害,通过这样的计算和分析,可以更加准确地评估变压器的过负荷能力,为电网的安全稳定运行提供有力的保障^[5]。

4 安全性保障措施

4.1 加强监测与维护

对500kV变电站变压器实施定期监测是确保其稳定运作的核心方法,监测指标包括电流强度、电压、温度参数等关键数据,这些指标能够实时反映变压器的工作状态和性能,采取持续监测,实现迅速识别出变压器运行过程中的潜在问题,如电流异常增大、电压波动、温度过高等,进而立即采取措施解决问题,防止问题加剧带来负面影响,除对核心指标进行监控,也需要强化绝缘油色谱追踪和外观渗漏检查。绝缘油是变压器内部绝缘必要成分,其光谱分析可以应用于评估绝缘油的老化程度和绝缘性能,依靠定期检验绝缘油色谱,能够迅速辨识出绝缘油的异常变化,从而评估变压器的绝缘状态。外观渗漏检查同样重要也至关重要,它能够检测出变压器周边泄漏状况,如油量下降、密封件磨损等,

立刻采取措施,防止漏油对变压器造成损害,运用一系列方法,有助于全方位检测变压器运作状态和绝缘性能,保障其稳定性和可靠性运行。

4.2 优化运行策略

依据预测的新能源发电量和电网负荷需求,精准调控变压器的工作状态以及电力的分配关乎电网安全稳定运行关键因素,举例来说,当预计新能源产出将显著提升时,可以预先调优变压器的运行挡位,让其匹配更高的电压和电流水平,进而防止长期过负荷运行。同时,依据电网负荷需求,优化分配负载,保障变压器预防超负荷运作损坏。在新能源反送电期间,电网调度尤为重要,由于新能源发电的不稳定性,可能引起电网电压差异和电流波动,所以需要优化电网调度,持续监控变压器工作状态,保障其在安全范围内运行。若检测到变压器濒临或超出过负荷能力,必须立刻采取行动,如重新分配负载、增添备用变压器等,以保障电网的稳定性和可靠性,采取多项办法,有效缓解新能源返送电网对变压器副作用,保障电网的稳定可靠性运作。

4.3 提升设备质量

挑选优良的变压器和配套设备是保障电网在复杂条件下可靠运作的核心要素,如在新能源并网和反送电场景中,变压器需要承受更大的电流和电压波动,因此选择具有高过负荷能力和良好散热性能的变压器至关重要。高质量的变压器一般运用高端设计方案和生产技术,进而确保在各种环境下维持稳定且可靠的操作性能。尤其在温度升高与能量耗损方面,生产商必须细致设计和材质选取以减少变压器因热膨胀导致的能量消耗,进而增强其超负荷承受力耐用性。例如,采取耗能减小的硅钢片和效能高的冷却装置,可以有效降低变压器的温度上升和能量消耗,提高其作业效率。挑选优良的变压器和附属设施,并依靠生产商提高设计改良,是保障电网在新能源反向送电等繁复操作场景中稳固运作的关键手段,这项策略有望促进增强电网的稳固性和维护能力,减少运营维护费用,促进新能源的可持续发展。

4.4 安装保护装置

在变压器上设置保护装置应对新能源电力传送中潜在的突发状况,保障变压器稳定运作,这些保护装置在变压器运行过程中发挥着至关重要的作用。保护装置主要用于监测变压器内部电流是否超出额定限制,在新能源返送电网的过程中,由若干原因比如分布式能源反向送电、电网故障等

众多因素引起变压器电流急剧上升,保护装置会即刻激活反应。若监测到电流超出设定好的限定值,防护体系会立刻中断电源或触发警报,借此避免变压器因过电流而受损,此类防护设备对确保变压器避免由超载状态和短路等多种故障情况,引起的损害隐患至关重要,过压保护装置则用来检测变压器内部电压是否超过预定阈值,在新能源反送电场景下,由于分布式能源的接入和电网负荷的快速变化,变压器母线电压可能会出现波动甚至升高。如果电压升至危险高度,过压保护机制将立即启动,断开电源或实施其他防护手段,用来防止变压器因电压过高导致损坏,配置过压保护措施显著减少变压器由电压偏差引起的故障风险,以某500kV变电站为例,该变电站配备了尖端的过流和过压保护系统,在一次新能源反向输送电力事件,顾及分布式能源广泛接入引起电网负荷显著调整状况,变压器电流和电压水平都出现了波动。万幸,该变电站的防护系统快速响应,有效切断异常电路并启动报警,防止了变压器受损及避免了电网问题扩大,这个例子明显呈现了防护设备在应对新能源反向送电异常状况发挥关键作用。

5 结论

新能源反向送电对500kV变电站变压器的过载承受能力和安全防护能力提出了更高标准要求,采取强化管控与维护、提高设备品质与安全防护一系列措施,切实维护变压器运行安全与稳固性,随着新能源技术的不断进步和电网结构不断改进,变压器过载承受力和安全评析将变得更加关键和复杂。

参考文献

- [1] 程养春,刘向东,问耀文,等.变压器绕组频响电流信号带电检测中工频电流干扰抑制方法[J/OL].中国电机工程学报,1-12[2024-09-12].<https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.240242>.
- [2] 张晓晴,胡雅洁,潘旭新,等.基于BP神经网络的变压器油色谱分析[J].电气开关,2024,62(3):8-11.
- [3] 李世泽,张云,张亮,等.500kV变压器中压套管故障分析[J].变压器,2023,60(11):64-67.
- [4] 王鑫,鲁永,胡润阁,等.一起500kV变压器内部故障分析与处理[J].变压器,2023,60(7):71-75.
- [5] 明杰,王国松,梅涛.毕节新能源送出电网故障分析及送电能力提高措施分析[J].四川电力技术,2023,46(4):81-84.