

新能源并网对电气系统设计的影响与优化策略

魏泓芃 葛桢甄

国网恩施供电公司 湖北 恩施州 445000

摘要: 随着全球能源结构的转型和可持续发展战略的推进, 新能源发电技术得到了广泛应用。然而, 新能源并网对电气系统设计带来了诸多挑战, 如电压波动、频率稳定、谐波污染等问题。本文旨在分析新能源并网对电气系统设计的影响, 并提出相应的优化策略, 以期为电气系统的稳定运行和新能源的高效利用提供参考。

关键词: 新能源并网; 电气系统设计; 影响分析; 优化策略

引言

新能源, 如太阳能、风能等, 具有清洁、可再生的特点, 对于缓解能源危机、减少环境污染具有重要意义。然而, 新能源发电的间歇性和波动性给电气系统设计带来了前所未有的挑战。电气系统作为新能源并网的关键环节, 其设计的合理性和稳定性直接关系到新能源的高效利用和电网的安全运行。

1 新能源并网对电气系统设计的影响

1.1 电压波动与电压闪变

新能源发电, 尤其是风力发电和太阳能发电, 其输出功率深受天气条件的制约。风电场中, 风速的瞬息万变直接导致风力发电机的输出功率波动不定。这种风速的不稳定性和间歇性, 使得风电场的输出功率变得难以预测和控制, 进而将这种不稳定性传递至电气系统, 引发系统电压的波动。同样, 光伏电站也面临类似的问题, 光照强度的变化会直接影响光伏电池板的发电效率, 从而导致输出功率的波动。这种输出功率的波动对电气系统的影响尤为显著, 主要体现在电压波动和电压闪变上。电压波动是指电气系统中电压幅值的快速且不规则的变化, 这种变化可能超出设备的额定电压范围, 对设备的正常运行构成严重威胁。长时间处于电压波动环境下的设备, 其寿命和性能都可能受到不良影响。而电压闪变则是指电压在短时间内发生剧烈且突然的变化, 这种变化不仅影响设备的稳定运行, 还可能对用户的用电质量造成严重影响, 如灯光闪烁、电视机画面抖动、计算机数据丢失等。电压波动与电压闪变的危害远不止于此。它们还可能引发系统的连锁反应, 对电气系统的安全稳定运行构成更大威胁。例如, 当电压波动过大时, 可能会导致变压器、电容器等设备的过流或过压保护动作, 进而造成系统局部或整体的停电事故。此外, 电压波动还可能影响电力电子设备的正常运行。逆变器、变频器等设备对电压的稳定性要求较高, 电压波

动可能导致其控制失效、性能下降甚至损坏^[1]。

1.2 频率稳定问题

新能源发电设备与传统发电设备相比, 具有惯性较小的特点。惯性小意味着新能源发电设备对系统频率变化的响应速度快, 但同时也意味着其对系统频率的支撑能力较弱。当新能源在电网中的占比逐渐增大时, 系统的总惯性相应减小, 这使得系统对频率扰动的抵抗能力下降, 频率稳定问题日益凸显。新能源发电设备的出力具有随机性, 这是由天气条件的不可预测性决定的。这种随机性使得新能源发电设备的输出功率难以与负荷需求保持实时平衡, 进而导致系统频率的波动。当新能源发电设备的出力突然增加或减少时, 系统频率会相应上升或下降。如果系统没有足够的频率调节能力来应对这种变化, 就可能导致系统频率的失稳甚至崩溃。频率稳定是电气系统运行的重要指标之一, 对设备的正常运行和用户的用电质量有着至关重要的影响。频率过低可能导致电动机转速下降、发电机出力减少、电力系统设备效率降低等问题; 而频率过高则可能导致设备过热、绝缘损坏、电力系统设备寿命缩短等问题。因此, 确保系统频率的稳定是电气系统设计的重要任务之一。

1.3 谐波污染

新能源发电设备中大量使用了电力电子装置, 如逆变器、变频器等。这些装置是新能源并网不可或缺的部分, 它们负责将新能源发电设备产生的直流电或变频电转换为符合电网要求的交流电。然而, 这些电力电子装置在运行过程中, 由于其非线性特性, 会产生大量的谐波电流。谐波电流是一种频率为非基波整数倍的电流, 它会叠加在基波电流上, 对电气系统造成谐波污染。谐波污染对电气系统的影响是多方面的且严重的。首先, 谐波电流会增加电气设备的损耗。因为谐波电流会在设备中产生额外的热效应, 导致设备发热增加, 进而加速设备的老化和损坏。长时间处于谐波污染环境下的设

备,其寿命和性能都可能受到严重影响。其次,谐波电流还可能引发谐振现象。在电气系统中,某些元件(如电容器、电感器)在特定频率下会发生谐振。当谐波电流的频率与这些元件的谐振频率相近时,就会引发谐振,导致系统电压和电流的急剧增大。严重时,甚至可能损坏设备或引发系统故障,对电气系统的安全稳定运行构成严重威胁。此外,谐波污染还会对电力系统的通信和测量设备产生干扰。谐波电流会在电力线路中产生电磁干扰,影响通信设备的正常工作。同时,还会对电力测量设备的准确性产生影响,导致测量数据出现偏差。这种偏差可能会影响电力系统的运行决策和调度安排,进而对电气系统的安全稳定运行产生不利影响。

1.4 对系统惯量的影响

新能源发电设备通常不具有旋转部件,如风力发电机中的风力涡轮机并不直接连接到电网上,而是通过变流器将电能输送到电网,太阳能发电则是通过光伏电池板将太阳能转换为直流电,再通过逆变器转换为交流电。因此,新能源发电设备的系统惯量较小,这意味着它们对电网频率变化的响应速度较快,但同时也意味着它们对电网频率的支撑能力较弱。当新能源在电网中的占比增大时,系统的总惯量将相应减小。惯量是电力系统稳定运行的重要参数之一,它反映了系统对频率扰动的抵抗能力。惯量越大,系统对频率扰动的抵抗能力越强,系统的稳定性越好。因此,新能源并网导致系统总惯量减小,将使得系统对频率扰动的抵抗能力下降,系统的稳定性受到威胁^[2]。系统惯量的减小还可能导致系统频率的波动增大。在电力系统中,负荷的变化会引起系统频率的变化,而系统惯量的大小决定了系统对这种频率变化的响应速度。当系统惯量较小时,系统对负荷变化的响应速度较快,频率波动也会相应增大。这种频率波动不仅会影响设备的正常运行,还可能引发系统的连锁反应,导致系统失稳甚至崩溃。

2 电气系统设计的优化策略

2.1 加强电压调节与无功补偿

新能源并网带来的电压波动和电压闪变问题,对电气系统的稳定运行构成了严重威胁。为了有效解决这一问题,必须加强电压调节和无功补偿。在电气系统中配置动态无功补偿装置是关键措施之一。这类装置,如静止同步补偿器(STATCOM)、静止无功发生器(SVG)等,具有快速响应、调节精度高的特点。它们能够实时跟踪系统电压的变化,并快速调节无功功率,从而稳定电压水平。这些装置可以根据系统需要,灵活地在感性无功和容性无功之间切换,有效抑制电压波动和电压闪

变,提高电气系统的电压稳定性。除了配置动态无功补偿装置,优化电网结构也是加强电压调节的重要手段。这包括根据电网的负荷分布和新能源发电设备的接入情况,合理规划无功补偿装置的位置和容量。通过优化布局,确保无功功率能够在电网中合理流动,提高电网的电压调节能力。同时,加强电网间的互联,提高电网的互联互通能力,也是增强系统电压稳定性的有效途径。例如,通过建设跨区域的输电线路,实现不同电网之间的电力互济,从而平衡负荷、稳定电压。

2.2 提高频率调节能力

新能源并网导致的频率稳定问题是电气系统设计需要重点关注的另一个方面。为了提高电气系统的频率调节能力,需要采取多方面措施。首先,在电网中配置足够的调频电源是关键。调频电源如抽水蓄能电站、燃气轮机等,具有响应速度快、调节范围大的特点。它们能够在系统频率发生波动时,迅速调整出力,维持系统频率的稳定。因此,需要根据电网的实际情况,合理配置调频电源的类型和容量,确保系统具有足够的频率调节能力。其次,优化新能源发电设备的控制策略也是提高频率调节能力的重要手段。新能源发电设备如风力发电机、光伏发电机等,其出力具有随机性和间歇性,对系统频率的稳定构成挑战。通过优化这些设备的控制策略,如采用智能控制算法、提高设备的响应速度等,可以提高其在频率调节中的参与度。例如,可以开发适应新能源出力特性的控制系统,使新能源发电设备能够更好地适应系统频率的变化,为系统的稳定运行提供支持。

2.3 治理谐波污染

新能源并网带来的谐波污染问题对电气系统的稳定运行和设备安全构成了严重威胁。为了有效治理这一问题,必须采取一系列具体且针对性的措施。在新能源发电设备中配置谐波滤波器是治理谐波污染的关键步骤。多脉冲换流器、电力滤波器等设备,凭借其独特的滤波设计,能够有效吸收和抑制谐波电流,从而减少谐波对电气系统的干扰。这些滤波器的选择和应用并非一成不变,而是需要根据新能源发电设备的类型和特性进行定制化设计。例如,对于风力发电系统,可能需要选择能够适应风速变化、具有快速响应能力的滤波器;对于光伏发电系统,则可能需要考虑光照强度变化对滤波器性能的影响。通过精准的定制化设计,可以确保滤波器的滤波效果达到最佳,同时不影响系统的正常运行。除了配置谐波滤波器,优化电气系统的谐波阻抗特性也是减少谐波污染的重要手段。电气系统中的各元件,如变压器、电容器、电感器等,都有其特定的谐波阻抗特性。

通过调整这些元件的参数和布局,可以改变系统的谐波阻抗,从而降低谐波共振的发生概率。这需要对电气系统进行全面的谐波分析,识别出谐波源和谐波传播途径。在此基础上,可以制定有效的优化方案,如增加谐波抑制装置、调整变压器分接头、优化线路参数等,以降低系统的谐波水平。此外,还可以加强对新能源发电设备的谐波监测和管理。通过定期检测新能源发电设备的谐波输出,可以及时发现并处理谐波污染问题。同时,还可以建立谐波污染预警机制,当谐波水平超过设定阈值时,自动触发预警信号,提醒相关人员采取措施进行治理。

2.4 增强系统惯量

在电网中配置具有旋转部件的储能装置是增强系统惯量的有效途径。飞轮储能、压缩空气储能等储能装置,能够在系统频率发生波动时,迅速释放或吸收能量,为系统提供额外的惯量支持,从而稳定系统频率。这些储能装置的选择和应用需要根据电网的实际情况和需求进行定制化设计。例如,对于风能、太阳能等新能源占比较高的电网,可能需要配置更大容量的储能装置来应对频率波动。同时,优化新能源发电设备的控制策略也是提高系统惯量的关键。通过改进新能源发电设备的控制算法,提高其响应速度和调节能力,可以使其在系统惯量支撑中发挥更大的作用。例如,可以通过调整新能源发电设备的出力曲线,使其在系统频率下降时能够迅速增加出力,为系统提供惯量支持^[1]。此外,还可以开发适应新能源特性的惯量控制策略,如虚拟同步机技术等。虚拟同步机技术通过模拟传统同步发电机的惯性和阻尼特性,使新能源发电设备在并网运行时能够像传统同步发电机一样为系统提供惯量支撑。

2.5 引入智能控制与优化技术

随着智能电网技术的不断发展,智能控制与优化技术在电气系统设计中的应用日益广泛。通过引入这些先进技术,可以实现电气系统的实时监测、预测与调度,显著提高系统的运行效率和稳定性。在电气系统中配置智能传感器和执行器是实现智能控制的基础。智能传感器能够实时、准确地采集电气系统的各种运行参数,

如电压、电流、频率、功率因数等,并将这些数据传输给控制系统。执行器则根据控制系统的指令,对电气系统进行精确的调节和控制,如调整发电机的出力、切换开关状态等。这些智能传感器和执行器的应用可以大大提高电气系统的自动化水平和响应速度。此外,利用大数据、云计算等先进技术对电气系统进行优化调度和控制也是智能控制与优化技术的重要应用。通过对电气系统的运行数据进行实时分析和处理,可以挖掘出隐藏在数据中的有价值信息,如负荷预测、设备故障预警等。这些信息可以为系统的优化调度和控制提供有力支持。例如,可以根据负荷预测结果调整发电计划,以平衡供需;根据设备故障预警结果提前进行维修,以避免设备损坏导致的停电事故。同时,利用云计算技术构建智能电网平台也是实现电气系统远程监控和管理的重要途径。通过智能电网平台,可以实现对电气系统的实时监测、数据分析和远程控制,进一步提高系统的运行效率和稳定性。此外,智能电网平台还可以为电气系统的优化调度和控制提供更强大的计算能力和数据存储能力,为系统的智能化发展提供有力支撑。

结束语

新能源并网对电气系统设计带来了诸多挑战,但通过加强电压调节与无功补偿、提高频率调节能力、治理谐波污染、增强系统惯量以及引入智能控制与优化技术等措施,可以有效应对这些挑战,确保电气系统的稳定运行和新能源的高效利用。未来,随着新能源技术的不断发展和智能电网技术的逐步完善,电气系统设计将更加注重智能化、绿色化和可持续化。

参考文献

- [1]王灵鑫. 浅谈风能的利用现状与应用前景[J]. 科技展望, 2016, 26(29).
- [2]李建林, 胡书举, 付勋波, 等. 大功率直驱型风力发电系统拓扑结构对比分析[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(7):73-77.
- [3]吴峰, 孔卫亚, 周宇, 等. 考虑多风电场风速变化规律的模拟数据生成方法[J]. 电网技术, 2016, 40(7):2038-2044.