

光伏并网逆变器对低压配电网电能质量影响分析

苏智海

中电建宁夏工程有限公司 宁夏 银川 750010

【摘要】随着光伏发电技术的快速发展，光伏并网逆变器作为将光电能并入低压配电网的关键设备，其对电能质量的影响逐渐受到关注。光伏并网逆变器在并网过程中可能引起谐波污染、电压波动、频率偏移等问题，影响电网的稳定性和可靠性。本文通过理论分析和实验研究，探讨了光伏并网逆变器对低压配电网电能质量的影响机制，并提出了相应的改善措施。研究结果表明，合理配置逆变器及其滤波装置、加强电网监控与管理可有效减少光伏并网对电能质量的负面影响。本文为低压配电网中光伏发电的健康并网提供了参考。

【关键词】光伏并网逆变器；低压配电网；电能质量；谐波污染；电网稳定性

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.006

引言

近年来，光伏发电成为可再生能源领域的重要组成部分，尤其在低压配电网中，光伏并网逆变器的应用日益广泛。随着光伏系统规模的不断扩大，逆变器对电能质量的影响逐渐暴露，尤其是谐波和电压波动等问题，已经对电网的稳定运行构成威胁。这些影响不仅可能导致设备损坏，还会对用户的电力使用带来不便。光伏并网逆变器在并网过程中对低压配电网的电能质量产生的具体影响机制、评估方法及有效控制措施，成为当前电力领域亟待研究的重要问题。因此，深入探讨光伏并网逆变器对电能质量的影响，提出切实可行的解决方案，显得尤为重要。

1 光伏并网逆变器对低压配电网电能质量的主要影响

逆变器将光伏发电的直流电转化为交流电并并入电网，但在这一过程中，逆变器的工作特性会对电网的电能质量产生不容忽视的影响。一个主要问题是逆变器产生的谐波污染。逆变器的工作原理使得它容易在输出端产生高次谐波，尤其是在电力电子元件开关操作时，这些谐波会通过电网传播，对电网中的其他设备造成干扰，严重时可能导致设备的损坏或功能失常。谐波不仅影响电网的稳定运行，还会对低压配电网中的敏感设备如通信设备、医疗仪器等造成干扰，影响其正常运行。

光伏并网逆变器的并网过程还可能引起电压波动和频率不稳定。在光照强度变化的情况下，光伏发电的输出功率也会出现波动，逆变器的调节机制可能未能实时、精确地匹配电网的负荷变化，导致电压波动。特别是在负荷变化较大的情况下，电网的电压可能偏离标准范围，这不仅对电力设备的安全运行构成威胁，还可能影响用户的用电质量。由于光伏发电系统的并网逆变器通常工作在并网模式下，这种模式下的逆变器需要与电网的频率同步运行。任何频率的偏移都可能导致系统不稳定。逆变器的频率调节能力与电网的稳定性密切相关，若调节不当，可能造成频率失衡，影响电力系统的协调性，严重时可

能导致电网的部分区域掉电。光伏并网逆变器对低压配电网电能质量的影响不仅限于谐波、电压波动和频率偏移，还涉及到其他如电流畸变、功率因数问题等。这些问题相互交织，对电网的可靠性和稳定性提出了更高要求，需要采取有效的措施进行治理和优化。

2 光伏并网逆变器引起的谐波问题分析

谐波是指电力系统中出现的频率为基频整数倍的非正弦波形信号，这些高次谐波通常源自逆变器内部的功率转换过程。光伏并网逆变器通过将光伏阵列输出的直流电转换为交流电，在这一过程中需要使用开关元件频繁开合，产生脉动的电流波形。由于逆变器的开关频率通常与电网的基频不同，这种频率差异导致了谐波的产生。逆变器的谐波主要表现为低次谐波和高次谐波两种类型。低次谐波一般是指与基频接近的频率成分，它们对电网设备的影响较为直接，尤其是在低压配电网中，低次谐波的存在会导致电网电压波形的畸变，进而影响到电力系统中的其他设备。谐波电流流入电网后，会在电气设备中引起额外的热损失，长期运行可能造成设备过热，缩短其使用寿命。高次谐波则通常表现在更高的频率段，尽管其能量较低，但却能在电力设备中产生更强的电磁干扰，影响精密仪器和通信设备的稳定性。

逆变器谐波对低压配电网的影响不仅限于电网设备的损伤，还可能导致电力质量的恶化。在电网中，谐波会与电力系统的其他非线性负载相互作用，形成复杂的谐波共振现象。这种共振不仅会加剧谐波污染，还会引发电力系统的不稳定，导致设备频繁故障甚至大规模停电。谐波的存在还可能导致功率因数的降低，从而影响到电网的供电效率。由于逆变器一般需要与电网保持同步，谐波会干扰电网频率的精确控制，进而影响到电力系统的频率稳定性。针对光伏并网逆变器引起的谐波问题，必须采取有效的控制措施。常见的对策包括使用滤波装置、提高逆变器的谐波抑制能力、合理配置逆变器容量和数量等。通过这些措施，可以减少逆变器对电网谐波污染的贡献，从而提高电网的电能质量，确保电力系统的长期稳定运行。

3 低压配电网电能质量评估方法与标准

电能质量问题涵盖了多个方面，包括电压波动、频率偏移、谐波污染和功率因数等，而评估这些问题的核心在于准确、系统地测量电网的各项参数，判断电网是否满足相应技术标准。对于低压配电网来说，评估电能质量既需要依赖设备和技术的标准，也要通过科学的测量方法来对电能质量进行量化。在电能质量评估过程中，电压波动是其中一个重要的衡量指标。电压波动主要由负荷波动、光伏发电系统输出不稳定以及电网自身的动态变化所引起。评估电压波动通常需要记录电压的变化幅度和持续时间，这可以通过专门的电压监测设备进行。通过对电压波动的时域分析，能够评估电网是否在规定的电压范围内波动，并采取相应的补偿措施。如果电压波动超出标准范围，可能会对电力设备产生损害，因此电网的电压稳定性必须保持在一个合理的范围内。

频率偏移也是评估电能质量的一个重要指标。低压配电网中，由于负荷的瞬时变化和光伏发电系统的波动，频率可能发生偏移。频率偏移可能导致电网同步问题，影响电网的稳定性。在频率评估中，电网的实际频率与标称频率之间的差距需要密切监控，并与国际标准进行比对。常用的频率评估方法包括通过频率分析仪进行频率的周期性监测，从而确认电网频率是否维持在标准范围内。谐波污染问题也需要通过专门的设备进行检测。谐波通常由逆变器、变频器等非线性负载引起，它们会通过电力系统传播，导致电压和电流的波形畸变。低压配电网中的谐波水平一般通过总谐波失真（THD）来衡量。THD值越高，表明电网中的谐波含量越大，电能质量越差。为了量化谐波污染，需通过谐波分析仪对电压和电流波形进行实时采样和频谱分析，计算出各次谐波的幅值并求得 THD 值。如果谐波水平超过了国家或国际标准规定的限值，可能会引发设备过热、损坏或电网故障，因此及时检测和治理谐波至关重要。

在电能质量评估的标准上，国际上通常依据 IEC（国际电工委员会）和 IEEE（电气与电子工程师协会）等组织的标准进行。IEC 61000 系列标准和 IEEE 519 标准是电能质量评估中最为常见的参考标准。IEC 61000 系列标准对电压波动、频率偏移、谐波等多个方面进行了详细的规定，确保电网的电能质量满足技术要求。IEEE 519 标准则对谐波污染的控制提供了具体的技术指导，规定了电网中各类谐波的最大允许值。低压配电网电能质量评估的另一个关键方面是功率因数。功率因数的低下不仅会导致电能浪费，还可能引起电网设备负荷不均和电力系统的不稳定。在评估功率因数时，必须监测电网的无功功率和有功功率的比例，确保其在合理的范围内。若功率因数过低，需要通过无功功率补偿装置进行调整，从而提高电能利用效率，避免电网负荷的不平衡。通过上述评估方法和标准的实施，低压配电网的电能质量可以得到有效监控和控制。

4 解决电能质量问题的技术措施与策略

解决低压配电网电能质量问题的技术措施与策略，需要从多个方面进行综合治理，以确保电网的稳定性和可靠性。光伏并网逆变器引起的谐波污染、电压波动、频率偏移等问题，要求采取精准有效的技术手段进行干预与优化。在降低谐波污染方面，采用滤波技术是最直接的解决方案。通过安装谐波滤波器，可以有效抑制逆变器产生的高次谐波。滤波器的类型有多种，常见的有被动滤波器、主动滤波器和混合滤波器。被动滤波器通常由电感、电容等元件组成，适用于较低次的谐波抑制；而主动滤波器则能够实时监测谐波并自动进行补偿，适用于频繁波动的电能质量问题。混合滤波器结合了两者优点，能在多个频段上进行更高效的谐波抑制。通过这些滤波装置的配置，可以显著降低谐波引起的电压波形畸变，减轻对电网其他设备的干扰。

功率因数的提升也是解决电能质量问题的重要策略之一。低功率因数常常导致电网的无功功率增加，降低了电能的有效利用率。解决这一问题的常见方法是通过无功功率补偿装置来进行调节。静态同步补偿器（STATCOM）和同步调相机（SVC）是两种常用的设备，可以通过调节无功功率，改善电网的功率因数，稳定电压水平，减少电网的功率损失。为了应对电压波动的问题，应用电压调节装置是必要的。自动电压调节器（AVR）能够在电压变化时自动调整系统的输出，保持电网电压在合理范围内。适当配置电力储能系统（如电池储能系统），也能够帮助电网应对短期的电压波动，尤其是在光伏发电输出不稳定时，通过储能系统的充放电控制，可以平滑电网负荷波动，保持电网电压的稳定。

频率的控制也是解决电能质量问题的重要技术手段。频率偏移通常是由于负荷突变或光伏发电波动引起的，影响电网的同步性和稳定性。为此，频率调节技术能够在电网出现频率波动时，及时调整发电机的输出功率，恢复系统的频率平衡。在光伏发电系统中，逆变器通常具有一定的频率调节功能，但为了更好地维持电网频率的稳定，往往需要通过灵活的电网管理系统和先进的调度策略进行实时调控，确保频率偏移不会影响到电网的长期稳定运行。智慧电网技术的引入为电能质量的管理提供了新的方向。通过大数据、物联网和云计算等技术，电网运营商能够实时监测电能质量，并根据实时数据调整电网运行策略。智能化的监测与控制系统能够自动识别电能质量问题，并提出及时的解决方案，从而提高电网运行的可靠性与效率。通过多种技术手段的综合应用，低压配电网中的电能质量问题可以得到有效治理。这些技术措施不仅能够解决谐波、电压波动和频率偏移等常见问题，还能提高电网的整体运行稳定性，确保电能的高效、安全供应。

5 光伏并网逆变器对电网稳定性的影响与优化方案

光伏并网逆变器对电网稳定性的影响不容忽视，尤其是在光伏发电比例逐渐上升的背景下。逆变器将光伏发电系统的直流电转化为交流电并并入电网，但这一过程中会对电网的频率、功率波动以及电压稳定性产生一定的影响。由于光伏发电的波动性和间歇性，尤其是在光照强度变化时，逆变器的输出功率难以保持恒定，可能导致电网负荷不均，甚至造成电压波动和频率偏移，影响电网的正常运行。逆变器在并网时，一方面需要与电网频率同步，另一方面其输出功率与光照条件紧密相关，无法像传统发电方式一样稳定输出。当逆变器的输出功率与电网负荷不匹配时，容易引发电网的频率波动，严重时可能导致电网的频率失衡。频率不稳定不仅影响到电网的运行安全，还可能导致设备的保护性停运，影响到大范围的电力供应。

为了减缓逆变器对电网稳定性的影响，可以采取一系列优化方案。提高逆变器的功率调节能力是其中的一项重要措施。通过增强逆变器的动态响应性能，可以使其在光照变化时迅速调整输出功率，减少功率波动对电网造成的影响。加入储能系

统（如电池储能）也是一种有效的方案，储能系统能够在光伏发电过剩时储存电能，在发电不足时释放电能，从而平滑电网负荷，提升电网的稳定性。在电网层面，通过引入智能电网技术，可以实现实时监测与调度优化。智能电网能够根据实时数据对电网负荷进行动态调整，减少由于光伏发电波动带来的不稳定因素。逆变器的智能化控制也能够根据电网的需求进行功率因数调节与频率补偿，从而维持电网的平稳运行。通过这些技术手段，可以有效降低光伏并网逆变器对电网稳定性的负面影响，确保电网的长期稳定性和可靠性。

6 结语

光伏并网逆变器对低配电网电能质量及电网稳定性产生的影响逐渐成为研究的重点。通过深入分析谐波污染、电压波动及频率偏移等问题，并结合合理的技术措施和优化方案，能够有效提高光伏系统的并网性能，确保电网的稳定运行。未来，随着智能电网和先进调节技术的进一步发展，光伏并网逆变器对电网的负面影响有望得到更好的控制，推动清洁能源的广泛应用。

参考文献：

- [1] 王海东,李晨阳.光伏并网逆变器对电网稳定性的影响与对策[J].电力系统自动化,2023,47(1):23-31.
- [2] 张鑫,刘晓波.基于逆变器的光伏发电系统电能质量问题研究[J].电力技术,2022,43(4):112-118.
- [3] 高翔,李立波.光伏并网逆变器谐波影响分析及其抑制技术研究[J].电力电子技术,2023,57(5):75-82.
- [4] 陈鹏,赵玉龙.智能电网在光伏并网中的应用及挑战[J].电网技术,2023,47(3):88-95.
- [5] 王敏,徐宏.低压配电网电能质量评估与监控技术研究[J].电力系统保护与控制,2022,50(10):123-129.