

分布式电源并网中电能质量相关规范探讨

韩民晓 刘迅¹

(华北电力大学, 北京 102206)

¹(全国电压电流等级和频率标准化技术委员会, 北京, 100044)

Power Quality Standard Consideration for the Connection of Distributed Generation to Main Grid

Han Min-xiao LiuXun¹

(North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

¹(National Technical Committee on Standard voltages,current ratings and frequencies of Standardization Administration of China, Beijing 100044, China)

摘要: 本文在介绍典型分布式电源并网方法的基础上, 针对我国分布式电源发展状况, 结合分布式电源发达国家的经验, 对基于电能质量问题考虑的分布式电源接入电网的相关规范进行了探讨。分析表明, 包括电压偏差、电压波动、功率因数、负荷控制、解列方式、逆潮流、直流偏磁、谐波等问题应当在建立分布式电源并网电能质量相关指南中予以考虑。

Abstract—After describing the circuit and control method of the connection of distributed generation (DG) with the main grid, the presented paper gives some suggestions for power quality problem consideration in the establishment of guideline for the connection of DG to main power system. The factors considered including voltage deviation, voltage fluctuation, power factor, load shedding, disconnection, inverse power flow, DC magnetic bias and harmonics. Suggestions are proposed according to the development of DG in China and referring the similar guidelines in the DG well developed country.

关键词: 分布式电源, 电能质量, 并网, 电压波动, 谐波

Keyword: DG, power quality, connection, voltage fluctuation, harmonic.

1. 引言

近来, 能源与电力领域备受关注的重要议题是分布式电源的发展与应用。分布式电源是指在用户现场或靠近用电现场配置的较小的发电机组(一般低于 30MW), 以满足用户的电能质量需要和支持现存配电网的经济运行。这些小的发电机组可以是燃料电池, 小型燃气轮机, 或燃气轮机与燃料电池的混合装置, 也可以是风力、太阳能、生物质等在内的可再生能源发电系统。随着能源问题的日益突出, 国家能源政策对新能源发展的鼓励政策, 电力市场的扩大以及分布式电源技术的发展使得分布式电源正成为新世纪重要的能源选择[1]。

现在全世界供电系统是以大机组、大电网、高电压为主要特征的集中式单一供电系统。全世界 90% 以上的电力负荷都由这种集中单一的大电网供电。由于分布式电源具有不易出现规模性瓦解、可跟踪电力负荷的变化、采用热电联产及能源梯级式利用时, 可大大提高资源的利用率。根据经济发达国家的经验, 大电网系统和分布式发电系统相结合是节省投资, 降低能耗, 提高系统安全性和灵活性的主要方法。分布式发电系统与主电网并联运行具有下述优点:

- 分布式发电系统中各电站相互独立, 用户由于可以自行控制, 不会发生大规模停电事故, 所以安全可靠比较高;
- 分布式发电可以弥补大电网安全稳定性的不足, 在意外灾害发生时继续供电, 已成为集中供电方式不可缺少的重要补充;
- 可对区域电力的质量和性能进行实时监控, 非常适合向农村、牧区、山区, 发展中

的中、小城市或商业区的居民供电，可大大减小环保压力；

- 分布式发电的输配电损耗很低，甚至没有，无需建配电站，可降低或避免附加的输配电成本，同时土建和安装成本低；
- 调峰性能好，操作简单，由于参与运行的系统少，启停快速，便于实现全自动。

然而，分布式电源的并网运行会给主电网带来一系列问题[2][3]，包括电压波动[4]、直流偏磁、高次谐波等问题。这些问题的严重程度与所联电网的电压等级、短路容量、联网的设备及其控制方法、电源的性质及其容量等密切相关。为适应我国分布式电源的迅速普及和发展，保证分布式电源接入情况下电网的电能质量水平，就必须建立相应的指导性规范。这正是本文的出发点。本文工作针对我国分布式电源发展状况，结合分布式电源发达国家的经验，在介绍典型分布式电源并网方法的基础上，对基于电能质量问题考虑的分布式电源接入电网的相关规范进行了探讨，提出了一系列在建立分布式电源并网电能质量相关指南中应当考虑的问题。

2. 分布式电源与电网的连接方式[5]

2.1 风力发电的并网方式：

- 1) 异步发电机并网：当异步电机连接到频率恒定的电网上，由原动机驱动，其转速超过同步转速时，异步电机处于发电状态，将原动机的机械能转化为电能输送到电网。早期的风力发电多采用这种方式，存在并网冲击大、无功损耗大等问题。采用异步方式时，为抑制电压变动，设置静止无功补偿器（SVC）。
- 2) 同步发电机并网：同步机是电力系统中有功、无功产生的基本设备。发电机出口电压在满足幅值、频率、相序及相位条件后并网运行，与系统频率保持严格同步。但对风力发电这类波动性动力很难适用。采用同步机时，通常与逆变器联合才能实现控制和联网。电气连接方式为定子功率通过整流，再利用电压源型逆变器（VSI）通过连接变压器与交流系统连接。

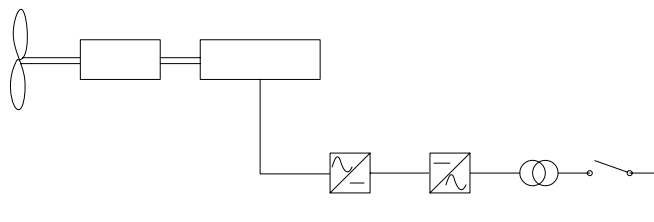


图 1 同步机风力发电通过逆变器实现并网

- 3) 双馈发电机[6]：结构与绕线式感应电动机类似，其定子绕组直接接入电网，转子绕组由一台频率、电压可调的低频电源供给三相励磁电流，如图 2。当转子绕组通过三相低频电流时，在转子中形成一个低速旋转磁场，这个磁场的转速与转子的机械转速相叠加，使其等于定子的同步转速。从而，在发电机定子绕组中感应出相应于同步转速的工频电压。当风速变化时，机械转速随之变化，这是，相应改变转子电流的频率和旋转磁场的速度，以补偿电机速度的变化，保持输出频率恒定。由于双馈发电系统所用的电力电子变换装置容量小、控制灵活。因此，并网冲击小，谐波水平可通过变换装置的合理设计降低。

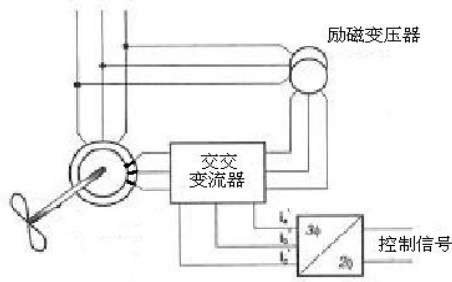


图 2 双馈风力发电机组的并网

2.2 光伏发电的并网方式 (图 3):

- 1) 工频变压器方式: 光伏输出经过平波, 逆变滤波后, 通过工频变压器与系统连接。采用工频隔离, 避免了直流偏磁、减少了谐波。
- 2) 高频连接方式: 高频逆变后, 通过变压器隔离, 再经过整流逆变与系统相连。这种电路也设有隔离变压器, 直流分量不会流入主电网, 避免了直流偏磁, 滤波器也易于设计, 谐波水平低。
- 3) 无变压器方式: 这种方式通过升压斩波器、逆变器和滤波器, 直接与电力系统相连, 造价适中, 宜于小型轻量化, 但存在直流分量流入系统的可能性。要对直流问题进行专门的考虑。

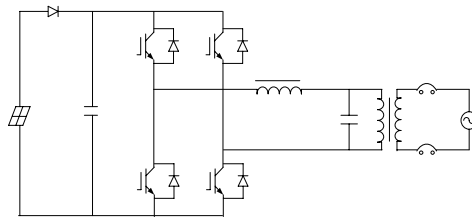


图 3 (a) 工频变压器方式

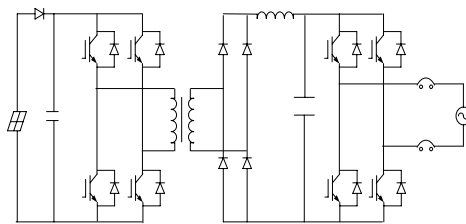


图 3 (b) 高频连接方式

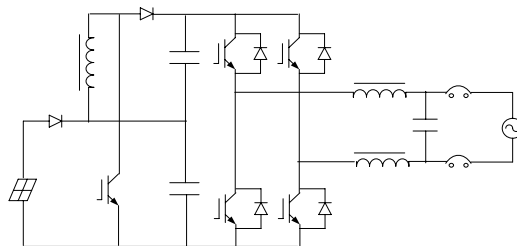


图 3 (c) 无变压器方式

2.3 燃料电池发电的并网方式（图 4）：

燃料电池发电并网接口电路如图所示。图示电路也未加隔离变压器，直流分量问题值得关注。谐波水平则通过提高逆变器的开关频率和正确设计输出 LC 滤波器来保证。

2.4 小型燃起轮机发电的并网方式（图 5）：

燃气轮机发电功率水平通常再 100kW 以下，包括联合循环发电。主要以天然气、或煤油、柴油为燃料，具有造价低、效率高、污染少、效益高等优点，由于这种燃气轮机转速在 10 万转/分左右，输出的高频电能必须经过整流逆变后，再与交流电网相连。

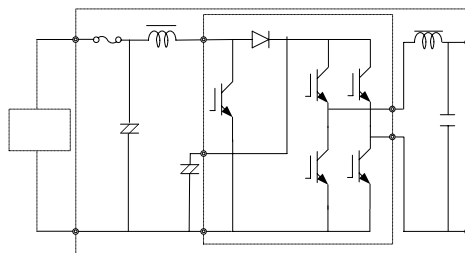


图 4 燃料电池发电的并网方式

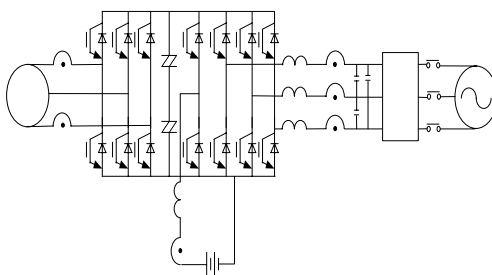


图 5 小型燃起轮机发电的并网方式

3. 分布式电源所接电网的形式与应当考虑的问题

前已述及，分布式电源并网所造成的电能质量问题与所联电网的电压等级、短路容量、联网的设备及其控制方法、电源的性质及其容量等密切相关。考虑电源容量与所接电网本身特性时，可进行如下分类：

情况1：发电容量（可能同时有受电容量，取容量较大者，下同）小于容量水平 1，拟考虑接入 380V/220V 低压配电网的分布式电源。电源接线可以是三相方式，也可能是单相方式；

情况2：发电容量小于容量水平 2，拟接入中压设备供电网的分布式电源。典型的中压设备供电电压为 3kV、6kV 及少量的 10kV。线路为三相三线方式；

情况3：发电容量小于容量水平 3，拟接入中压辐射状配电网[5]的分布式电源。这种配电网有多条馈线同时从同一变电站母线引出，各出线相互作用紧密；

情况4：发电容量超过容量水平 3，拟接入上述辐射状配电网以外的中压电网的分布式电源，这种电网电压等级为 10kV，三相三线结构；

情况5：发电出力比契约受电功率小很多的分布式电源。这是指许多大用户同时拥有发电设备的情况。普遍认为发电容量在契约受电容量的 5% 以下时，由于发电设备对电网的电能质量作用非常有限，可由电网和分布式电源提供厂家协商解决并网问题。

其中容量水平 1 至容量水平 3 为需要系统研究才能确定。国外典型推荐值为：容量水平

1 为 50kW，容量水平 2 为 2000kW，容量水平 3 为 10,000kW。

上述各种情况下的并网，需要考虑的与电能质量相关的因素如下：

功率因数：主要考虑不存在逆潮流和存在逆潮流两种情况下对功率因数的要求；

电压偏差：分布式电源环境下，潮流分布造成电压偏差的新问题，电压偏差问题的考虑指不同网络结构，不同出力及不同负荷水平时的电压偏差能否控制在国家电压偏差标准规定的限值之内。

电压波动：电压波动相对与电压偏差系指分布式电源投切过程中瞬间发生的电压变化。这一波动限值的确定主要考虑所联设备的电压暂降、电压波动与闪变的耐受水平。

解列方式：系统故障造成电压暂降发生时，发电设备能否解列的考虑。

自动减载：发电设备故障退出时，可能造成过负荷，与发电设备配套的自动减负荷功能。

逆潮流：与馈线原设计中潮流的流向相反，造成电压控制困难。

独立运行：发电设备所联电网故障隔离后，分布式电源承担负荷供电，这种情况下电压、频率的控制和维持。

4. 针对不同并网情况时的电能质量规范考虑

本节针对 3 节中给出的不同电压等级与接线方式的并网情况，系统讨论、短路容量、联网的设备及其控制方法。其中情况 5 通过电网和分布式电源提供厂家协商解决，不在这里作为规范应当考虑的问题列出。以下描述中出现的他励式变换器是指基于不可关断型电力电子器件实现的需要外部电路强制才能换相的变换器，自励式变换器是指基于可关断型电力电子器件实现的无需外部电路就能换相的变换器。

情况 1：

- (1) 分布式电源采用逆变装置与系统连接时，由于逆潮流的存在可能使低压用户电压偏差大于规定值（+7%，-10%）时，分布式电源必须配备进相无功功率控制及出力控制功能。否则，可通过增强配网使电压变动满足要求。然而，对于单相 2 线，2kVA 以下、单相 3 线，6kVA 以下、及三相 3 线，15kVA 以下的分布式电源的进相无功功率控制及出力控制功能也可不作要求；
- (2) 采用自励式逆变装置与系统连接时，逆变装置应具备自动同期功能。采用他励式逆变装置与系统连接时，若并机造成的电压暂降超过某一数值，如 10%，应加设限流电抗器。否则，应采用增强配网，改用自励式逆变装置等方法；
- (3) 若采用同步发电机与系统连接时，同步发电机应装设阻尼绕组及自动同期检测单元；采用异步发电机与系统连接时，若并机造成的电压暂降超过某一数值，如 10%，应加设限流电抗器。否则，应采用增强配网，改用同步发电机等方法；
- (4) 风力发电等分布式电源，如果由于出力变动、频繁并机与解列造成电压波动，影响其他用户，应采取抑制和减缓措施，或通过增强配网、架设专用线路等方式解决电压波动问题。

情况 2：

- (1) 若由于发电设备退出等原因可能造成电网电压波动偏差大于规定值（±7%）时，分布式电源应设置自动负荷控制功能，否则应通过增强配网、架设专用线路等方式解决电压偏差问题。
- (2) 若发电设备的逆潮流可能造成低压电网电压偏差大于规定值（±7%）时，分布式电源应设置自动电压调整功能，否则，应通过增强配网、架设专用线路等方式解决电压波动问题。
- (3) 若采用同步发电机与系统连接时，同步发电机应装设阻尼绕组及自动同期检测

- 单元；采用异步发电机与系统连接时，若并机造成的电压暂降超过某一数值，如 10%，应加设限流电抗器。否则，应采用增强配网，改用同步发电机等方法；
- (4) 采用自励式逆变装置与系统连接时，逆变装置应具备自动同期功能。采用他励式逆变装置与系统连接时，若并机造成的电压暂降超过某一数值，如 10%，应加设限流电抗器。否则，应采用增强配网，改用自励式逆变装置等方法；
 - (5) 风力发电等分布式电源，如果由于出力变动、频繁并机与解列造成电压波动，影响其他用户，应采取抑制和减缓措施，或通过增强配网、架设专用线路等方式解决电压波动问题。

情况 3:

- (1) 若由于发电设备退出等原因可能造成系统电压偏差较大时，分布式电源应设置自动负荷控制功能。
- (2) 若采用同步发电机与系统连接时，同步发电机应装设阻尼绕组及自动同期检测单元；采用异步发电机与系统连接时，若并机造成的电压暂降超过某一数值，如 10%，应加设限流电抗器。否则，应采用增强配网，改用同步发电机等方法；
- (3) 采用自励式逆变装置与系统连接时，逆变装置应具备自动同期功能。采用他励式逆变装置与系统连接时，若并机造成的电压暂降超过某一数值，如 10%，应加设限流电抗器。否则，应采用增强配网，改用自励式逆变装置等方法；

情况 4:

- (1) 若由于发电设备接入系统可能造成系统电压偏差较大时，分布式电源应设置自动电压调整功能。
- (2) 若采用同步发电机与系统连接时，同步发电机应装设阻尼绕组及自动同期检测单元；采用异步发电机与系统连接时，若并机造成的电压暂降超过某一数值，如 2%，应加设限流电抗器。否则，应改用同步发电机等方法；
- (3) 采用自励式逆变装置与系统连接时，逆变装置应具备自动同期功能。采用他励式逆变装置与系统连接时，若并机造成的电压暂降超过某一数值，如 2%，应加设限流电抗器。否则，应改用自励式逆变装置等方法。

5. 其他电能质量问题的考虑[7]

5.1 直流偏磁问题

许多分布式电源，如光伏发电，与电网的连接是通过逆变器实现的。逆变器在参数不均衡、触发脉冲不对称等情况存在时，可能出现直流电流。这一直流分量流入配电变压器可能造成变压器的直流偏磁，进而造成波形畸变和异常发热。为防止直流偏磁的发生，通常需要设置隔离变压器。然而，变压器的采用必然使分布式电源系统体积增大、造价提高，更不利于分布式电源的推广。因此可以考虑在某些情况下，省略隔离变压器。通常认为，下述两条件同时满足时，可以考虑省略隔离变压器：1) 直流回路不采用接地方式或通过高频变压器隔离（图 3(b)）。2) 逆变器交流输出侧具备直流分量检测，并在检测到直流分量超标时停机的功能。

5.2 谐波问题

逆变器联网方式，特别是他励式联网方式，会给电网带来一定的谐波问题。这时，分布式电源可以看作是普通的谐波负载。因此，电能质量中关于谐波发射限值的标准也可适于对分布式电源谐波水平的要求。特别值得指出的是，自励式联网方式同时提供了一种性能优异的有源滤波功能。因而，可以利用自励式逆变器的这一功能减小电网中其他非线性负荷给电网带来的谐波电流。

6. 结论

本文依据不同电压等级与并网方式,分五种情况指出分布式电源并网中电能质量相关规范建立中必须考虑的问题,包括电压偏差、电压波动、功率因数、负荷控制、解列方式、逆潮流、直流偏磁、谐波等问题。这些问题有些给出建议性数值,有些亟需开展系统的研究工作才能确定。规范或标准的建立应具有一定的先导性,在我国分布式电源大规模发展的初期,应积极着手制订基于电能质量考虑的相关规范[8],以保证我国分布式电源并网技术顺利发展。

参考文献

- [1] 梁有伟,胡志坚,陈允平,“分布式发电及其在电力系统中的应用研究综述”,电网技术,2003年12期。
- [2] 胡学浩,“分布式发电(电源)及其并网问题”,电工技术杂志,2004年10期
- [3] Lopes J. A. P., “Integration of dispersed generation with distribution networks – impacts studies”, Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.1.
- [4] 王志群,朱守真,周双喜,黄仁乐,王连贵,“分布式发电对配电网电压分布的影响”,电力系统自动化,2004年16期。
- [5] Ohmsha 编辑组,《电气事业法相关法令集》,Ohmsha 出版社(日文),2005。
- [6] 王承照,“风力发电”,中国电力出版社,2003,1
- [7] 山本文雄,“分布式电源并网技术研究”,神户大学博士论文(日文),2000年8月。
- [8] 全国电压电流等级和频率标准化技术委员会,“电能质量标准体系完善化研究”。2004,12。