

微网的电能质量研究

吴盛军，袁晓冬

(江苏省电力公司电力科学研究院，江苏 南京 211100)

摘 要：微网将从局部解决分布式电源大规模并网问题，提高电网对分布式能源的接纳能力，提高能源利用效率，但微网受分布式电源间歇性伴随随机性的影响，微网的供电可靠性和电能质量将难以保证。本文在介绍微网的结构和电能质量问题基础上，利用江苏省电科院的新能源及微网实验室试验环境，开展微网电能质量测试，通过测试数据分析研究微网的谐波、电压波动和三相不平衡等电能质量问题，提出了改善微网电能质量的建议。

关键词：微网；电能质量；分布式电源

0 引言

尽管分布式电源优点突出，但受其本身的技术壁垒和电网接入要求的限制，大量分布式电源的并网接入会给电力系统的保护、调度控制和电网安全性等方面带来一些影响和问题。微网技术的提出旨在中低压层面上整合分布式发电的优势，实现分布式发电技术的高效灵活应用，降低数量庞大、形式多样的分布式电源并网运行难度，削弱分布式发电对大电网的冲击和负面影响。

微网指由分布式电源、储能及能量转换装置、负荷、监控和保护装置组成的小型发配电系统，微网是能够实现自我控制、保护和管理的自治系统，既可以离网独立运行，也可以与大电网并网运行^[1-2]。与常规的分布式电源直接并网相比，微网将分布式电源与本地负荷作为一个整体，通过储能装置和微网控制策略配合可以大大降低分布式电源并网运行对电力系统的影响。

微网有并网运行和独立运行两种基本的运行状态，这两种基本的运行状态间包含两种过渡运行过程：①微网独立运行到并网运行的过渡过程；②微网并网运行到独立运行的过渡过程。微网必须确保在这两种运行状态和过渡运行过程都稳定可靠，且电能质量满足相应的标准要求。

微网的最终目标是实现各种分布式电源的无缝接入，由于分布式电源本身就是个谐波源，且微网本身容量较小，自我调节能力弱，一旦微网中的电源或者负载出现电能质量问题，将会影响整个微网的正常运行，所以微网的电能质量问题将是影响

其发展的重要因素，研究微网的电能质量具有重要的意义。

1 微网的电能质量问题

微网的电能质量主要受大电网和自身特殊性的共同影响。大电网对微网的不利影响主要是电压偏差、电压不平衡和电压骤降。微电源的运行方式和控制策略、微电源的类型和容量、逆变器的性能和负载特性都将影响微网的电能质量。其中微电源引发的电能质量问题尤为明显，风电、光伏等分布式微电源大多采用电力电子换流装置接入，会带来谐波等电能质量问题^[3]。微网的电能质量特殊性是由微电源、负荷及微网运行和控制方法共同决定的，其中主要的电能质量问题及特点有以下几个方面^[6]。

1.1 电压波动和闪变

微网的电压波动主要与微电源功率输出有关^[4]，微电源以有功功率输出为主，微电网电压波动问题主要是由微电源的有功输出波动引起。各类微型电源中，以风力发电和光伏发电功率波动最为明显，风力发电输出功率随风速波动，光伏发电功率输出受天气影响也有明显的变化。当微网并网运行时，微网中的电压由大电网支撑，电压波动可以被限制在很小的范围内；但微网独立运行时，当微电源有功功率波动大，且微网功率调节能力弱，电压波动可能变得比较严重。

微网独立运行时可能出现电压波动，在运行模式切换时，电压波动更容易出现，微网独立运行的电压往往与大电网的电压不同，那么在运行模式切

换前，微网的电压就会被迅速调节到与大电网电压一致，这个过程电压变化可能超过5%，这对一些敏感负荷会产生一定的影响。

1.2 谐波

谐波一直是电网电能质量问题中的重要内容，微电网中谐波主要有微电源并网导致的谐波、非线性负荷产生的谐波以及大电网的谐波渗透。首先，微电源中的光伏发电、风力发电和储能电池等，一般需要通过电力电子变流装置接入微网，这不可避免地会给微网带来大量的谐波。其次，微网中的非线性负荷会引起电流谐波，可能导致公共连接点处电压波形畸变。最后，由于微电网的容量较小，根据谐波干扰在各级电网中的传递规律^[5]，公共连接点处大电网侧的谐波电压渗透将在微电网中形成恒定的谐波电压，影响微电网的正常运行。

1.3 三相电压不平衡

微网中电压三相不平衡的原因可能是配电网电压三相不平衡或者微网中负荷与微电源不平衡。当微网并网运行时，配电网三相电压不平衡将对微网正常运行造成影响，引起三相电流不平衡，产生大量负序和零序电流。微网独立运行时，负载或者微电源出现不平衡，电流会有正序、负序和零序分量。负序和零序电流将导致线路压降三相不平衡，影响微网的供电质量。

1.4 频率波动

微网系统一般惯性很小或无惯性，无法对负荷的阶跃变化做出快速响应。当微电网并网运行时，功率的波动可由大电网来平衡；但微网独立运行时，微网的频率由微电源和储能装置共同调节，大的功率波动可能导致微网频率产生偏差。

微网有并网运行和独立运行状态，以及两种运行状态切换的过渡过程，微网的运行方式多样使其电能质量问题相当复杂，微网的电能质量研究应关注微网独立运行和运行状态切换过程的电能质量。微网运行状态切换是一个过渡过程，包含微网控制方式和运行状态变化，过渡过程容易出现电能质量问题。当微网独立运行的电能质量能够满足标准要求时，即微网中的微电源的电能质量能够控制，那么微网并网运行时，微网的电能质量主要受大电网的影响，微网本身产生的电能质量影响将非常微弱。

2 微网电能质量实测

江苏省电力公司电力科学研究院新能源及微网实验室于 2012 年底建成，实验室的微网系统主要包括 10kW 模拟风机系统、30kW_p 光伏发电系统、100kW/78kWh 锂电池储能系统、两组 68kW 模拟负载、低压集成配电系统、电能测控计量系统、电能质量监测系统、微电网协调控制器、微电网能量管理系统等。微网系统结构示意图如图 1 所示。

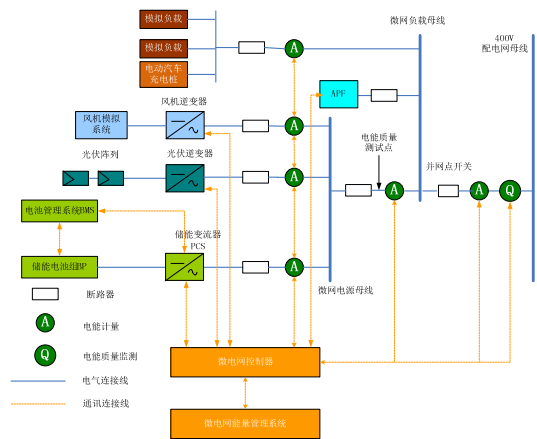


图 1 微网系统结构示意图

根据微网可能存在的电能质量问题分析，本文对江苏省电科院微网的电能质量做了大量测试，经过研究和分析，部分测试结果如表 1、2 所示。

表 1 微网并网运行电压谐波畸变率

数据 编号	光伏发 电功率 /kW	储能输 出功率 /kW	微网运行 输出总功 率/kW	电压奇次 谐波畸变 率/%	电压偶次 谐波畸变 率/%	电压总 谐波畸 变率/%
1	22.7	0	22.7	1.2	0.1	1.2
2	23	5	28	1.3	0.1	1.3
3	22.8	15	37.8	1.2	0.1	1.2
4	22.9	30	52.9	1.2	0.1	1.2
5	23.3	45	68.3	1.2	0.1	1.2

表 2 微网离网运行电压谐波畸变率

数据 编号	光伏发 电功率 /kW	储能输 出功率 /kW	离网运行 输出总功 率/kW	电压奇次 谐波畸变 率/%	电压偶次 谐波畸变 率/%	电压总 谐波畸 变率/%
1	22	-17	5	2.2	1.0	2.4
2	22.1	-7	15.1	1.0	0.5	1.1
3	22.5	8	30.5	0.5	0.4	0.6
4	22.4	23	45.4	0.5	0.5	0.7
5	22.5	43	65.5	0.5	0.8	0.9

表 1 和表 2 是微网并网和离网运行的电压谐波畸变率，微网电压谐波测试点是微网的电源母线出口，在图 1 中已标识。微网的电能质量测试过程中，微网的微电源中只有光伏和储能输出，光伏发电功率输出基本在 22kW 左右，调节储能输出功率来改

变微网的总输出功率。表 1 和表 2 的微网电压谐波畸变率都比较小,均在电压谐波畸变率的国家标准 5% 以内,表明电科院的微网的谐波畸变率合格。

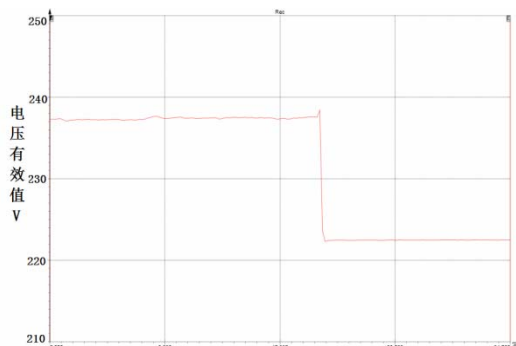


图 2 微网并网运行到离网运行电压

从表 1 和表 2 可以看到微网的电压谐波畸变率波动情况:微网并网运行时,微网的电压谐波畸变率基本没有变化;微网离网运行时,电压谐波畸变率波动大,总电压谐波畸变率在 2.4%-0.6% 之间波动。微网并网运行时,微网的容量相对于大电网来说非常小,微网对大电网的电压谐波畸变率贡献很小,此时微网的电压谐波畸变率就是大电网的谐波畸变率。微网离网运行时,微网本身的容量小,微电源或者负载一旦有谐波注入,就可能对微网的电压谐波畸变率带来影响,产生明显的畸变率波动。

微网并网运行到离网运行切换时,电压有效值从 237V 跌落到 222V,电压波动为 6.8%,微网从离网运行到并网运行切换也存在类似波动。

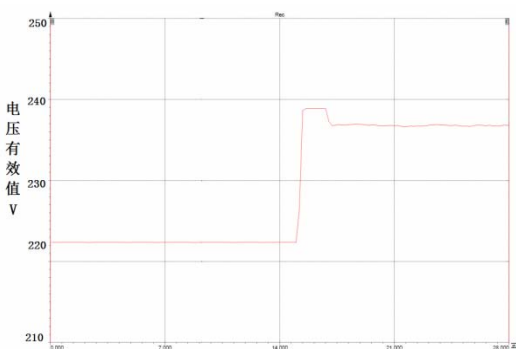


图 3 微网离网运行到并网运行电压

微网离网运行的三相电流图 4 所示,三相电流存在明显的不平衡。微网离网运行时,负荷或者电源输出不平衡,特别是单相电源的输出会引起微网的三相电流的不平衡。微网离网运行时三相电流不平衡对维持微网平衡的储能变流器影响较大,使储能变流器的变压器零序电流过大,局部金属件温升

增高,严重时将导致储能变流器损坏。

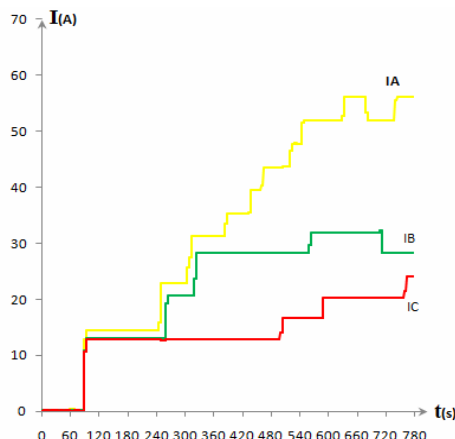


图 4 微网离网运行三相电流

从上面的测试结果分析,可以得到以下结论:

(1) 被测微网的谐波电压畸变率合格,但离网运行的电压畸变率波动比并网运行的电压畸变率要大,微网中的电源和负荷需要严格控制电能质量,一旦微网中的设备出现电能质量问题,将很可能导致整个微网离网运行的电能质量不合格。

(2) 微网运行模式切换时,大电网和微网之间电压存在较大差值时,会产生电压波动,需要引起注意。

(3) 微网离网运行时可能出现三相不平衡问题,三相电流不平衡严重时损坏微网设备,应平衡配置微网的三相电源和负载。

3 电能质量改善建议

江苏电科院微网中的电能质量问题主要是谐波和电压波动两类问题,因为配置了 100kW/78kWh 锂电池储能系统,微网独立运行时基本不会出现因功率波动引起的电压和频率波动^[7]。考虑微网与大电网的结构及特性不同,建议采用以下措施改善微网的电能质量^[8]:

(1) 严格控制接入微网电源和负载的电能质量,提高微电源变流器的性能,主动减少注入系统的谐波电流,同时限制电能质量污染严重的负载接入。

(2) 研究微网的并网/离网的平滑切换控制策略,消除和减小运行模式切换带来的电能质量影响。

(3) 微网规划和运行控制时注意三相平衡问题,平衡配置三相电源和负载。

4 结束语

本文介绍了微网的结构和特点,在此基础上分析了微网的电能质量问题,通过测试和分析江苏省电力公司电力科学研究院微网的电能质量数据,得出微网的电能质量受干扰源影响波动大的特点,最后针对实际微网的电能质量问题和特点给出了微网电能质量改善建议。

参考文献:

- [1] 王成山,李鹏.分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战[J].电力系统自动化,2010,34(2):10-14,23.
- [2] COBBEN J F G, KLING W L, MYRZIK J M A. Power quality aspectsof a future micro grid[C]// IEEE International Conference on Future Power System. Amsterdam, Holland, 2005: 1-5.
- [3] Y. W. Li, D. M. Vilathgamuwa P. C. Loh, Micro-Grid Power Quality Enhancement Using A Three-Phase Four-Wire Grid-Interfacing Compensator, IEEE Trans.Industry Application, 41,pp. 1707-1719 (2005).
- [4] 孙涛,王伟胜,戴慧珠,等.风力发电引起的电压波动和闪变[J].电网技术,2003,27(12):62-66,70.
- [5] 王成山,肖朝霞,王守相,等.微网综合控制与分析[J].电力系统自动化,2008,32(7):98-103.
- [6] 刘金鑫,李鹏,崔红芬,等.微网中电能质量问题及其治理措施研究[J].中国电力,2012,45(3):38-42.
- [7] 姚勇,朱桂萍,刘秀成. 电池储能系统在改善微电网电能质量中的应用[J]. 电工技术学报,2012,(01):85-89.
- [8] 鄢文清.微电网电能质量与谐波抑制技术研究[D].中南大学,2012.

作者简介:

吴盛军(1988-),男,硕士,主要研究方向为新能源发电及微网技术研究, Email: wsj333@163.com;

袁晓冬(1979-),男,硕士,主要研究方向为电能质量测试、评估及新能源研究工作。