

Research on the Application of Grid type Inverters in New Energy Projects

Yu Deng

Shanghai Electric Power Design Institute Co., Ltd., Shanghai, China 200025

Abstract

With the rapid development of new energy mainly based on wind and photovoltaic power worldwide, the power system has integrated a large number of new energy generation units and partially replaced synchronous power sources. However, new energy generation generally has the characteristics of no inertia and weak inertia, which leads to a decrease in the system's rotational inertia, resulting in significant fluctuations in frequency and voltage during disturbances. This article attempts to introduce grid type inverters into new energy generation projects and analyze their effectiveness in improving the stability of the power grid.

Keywords

network construction type; inverter; new energy

构网型变流器在新能源项目中的运用研究

邓宇

上海电力设计院有限公司, 中国·上海 200025

摘要

随着以风电光伏为主的新能源在世界范围内快速发展, 电力系统因此集成了大量的新能源发电单元并部分替代同步电源。而新能源发电普遍存在无惯性和弱惯性的特点, 导致系统转动惯量减少, 从而在扰动期间导致频率和电压的大幅波动。本文试图在新能源发电项目中引入构网型变流器, 并分析对电网的稳定性提升效果。

关键词

构网型; 变流器; 新能源

1 引言

当大量可再生能源和电力电子设备接入电网, 形成“双高”电力系统时, 故障发生确实会带来一些新的特殊的挑战。由于可再生能源发电(如风能和太阳能)通常不具备传统同步发电机的惯性响应和电压支撑能力, 一旦发生电网故障, 可能会导致电压和频率的快速变化, 从而影响到电网的稳定性。

新能源发电系统在故障发生时不能脱网运行, 是因为脱网可能会导致发电与用电之间的不平衡加剧, 这种不平衡如果得不到及时控制, 可能会引发连锁脱网事故, 即所谓的“雪崩效应”, 最终可能导致大规模停电事故。为了应对这种情况, 电力系统需要新能源发电采取一些措施来提高电网的韧性和可靠性。

2 同步发电机发电原理

目前新能源发电系统优化配置研究主要是电流源型新能源发电的改进控制。随着新能源渗透率的进一步提高和电网进一步弱化, 由于电流源本身不具备主动撑网能力, 上述措施仍无法确保新能源发电系统稳定。为了从根本上确保弱电网下新能源发电静态、动态和暂态稳定, 有必要研究传统的同步发电机的发电原理及特点, 再在新能源场站中模仿优化配置技术。同步发电机的基本原理图如图1所示。

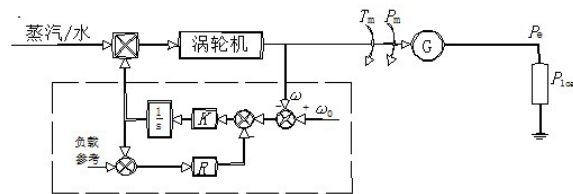


图1 同步发电机基本原理图

2.1 同步发电机有功控制的基本原理。

同步发电机中的有功功率传送方式主要包括两个部分, 一个是通过转子的运动方程, 另一个是通过调速器。可以

【作者简介】邓宇(1979-), 中国安徽凤阳人, 本科, 工程师, 从事新能源电气研究

通过施加转子上转矩的不平衡来加速发电机和原动机的总转动惯量，其转子运动方程为式(1)。在无法从原动机获取功率时，方程中的转动惯量在短时间内仍能够维持系统惯量。

$$P_m - P_e - D\omega_n = J_m \omega_n \frac{d\omega_n}{dt} \quad (1)$$

式中， P_m 、 P_e 分别为机械功率和电磁功率， D 为阻尼系数， ω_n 为发电机转子角速度， J_m 为发电机和原动机的总转动惯量。

考虑到同步发电机组在实际运行时，通常需要多台发电机组并联发电，因而调速器为角速度下垂控制。为此引入静态反馈环，见式(2)。

$$P_m = P_0 + \frac{D}{RT_G}(\omega_0 - \omega) \quad (2)$$

式中， P_m 为发电机功率指令， P_0 为负载功率指令， R 为速度下降率， T_G 为惯性时间常数， D 为阻尼系数， ω_0 为输出角频率幅值指令， ω 为输出角频率。同步发电机组的频率/转速跟随电力系统频率/转速改变，在系统稳态运行时，电力系统内频率/转速均保持一致。

2.2 同步发电机无功控制的基本原理。

电力系统的电压主要受无功功率影响。由于输电线路基本上为感性阻抗，因而输电线路的长度会显著影响线路终端处电压高低。此外，大容量的无功功率传输也需要有较大电压差来实现，同时还会增加有功功率和无功功率的损耗，因此无功功率不适宜进行大量传输。综上所述，在电力系统中不同位置的电压均会有所差异，同时考虑降低损耗和系统平衡，最合理的电压控制方式是通过遍布于整个电力系统各个场所的具体装置发出/吸收无功功率来调整。同步发电机一般都配置励磁控制器，通过调节励磁电流来控制同步发电机输出端电压。励磁控制器的基本控制方程见式(3)。

$$Q_m = Q_0 + n(U_0 - U) \quad (3)$$

式中， n 为无功-电压下垂系数， Q_m 为发电机无功功率指令， Q_0 为负载无功功率指令， U_0 为负载电压指令， U 为实际运行电压。

3 自同步电压源控制原理

参照同步发电机的发电原理及特点，对传统变流器电路拓扑进行优化调整，增加自同步电压源控制功能。基于自同步电压源控制的变流器主电路拓扑如图2所示。

图2中的主电路拓扑为三相桥式拓扑结构。图中 L_g 为耦合电感， R_{Lg} 为等效损耗电阻， L 为滤波电感， C 为滤波电容。LC滤波器能够滤除桥臂侧输出电压中的谐波成分，滤波电感和滤波电容分别串联电阻 R_L 、 R_C ，此2个电阻能够增大系统阻尼，从而提高系统稳定性。自同步电压源控制结构中主要包括电压内环控制和自同步电压源控制。通过比较载波信号和电压内环输出的调制信号来生成PWM驱动信号，从

而控制IGBT的断开和开启。其中自同步电压源控制算法主要用来模拟同步发电机的转子旋转运动方程以及一次调频特性，包括有功-频率下垂特性和无功-电压下垂特性等。

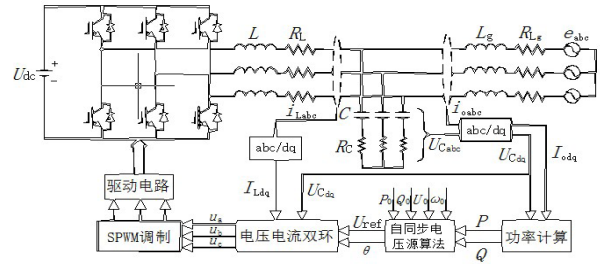


图2 自同步电压源变流器主电路拓扑

转子运动方程。模拟旋转运动方程是自同步电压源控制技术中有功功率输送的核心方程。跟同步发电机组类似，变流器的功率指令和功率输出靠施加在转子运动方程上的不平衡来改变变流器频率输出，转子运动方程不变。通过转子运动方程可以建立起一个自同步的电压源，并且当无法从功率源处获取功率时，方程中的转动惯量在短时间内仍能够维持系统频率。

有功-频率下垂特性。综合参照同步发电机的有功-频率下垂特性，依此可以得出自同步频率指令信号公式，见式(4)。

$$\omega = \omega_0 + \frac{1}{J\omega_0} \int \left[\frac{1}{m}(\omega_0 - \omega) + P_0 - P \right] dt \quad (4)$$

$$\theta = \int \omega dt$$

式中， P_0 为有功功率输出， ω_0 为变流器输出角频率， J 为虚拟惯量， m 为有功-频率控制下垂系数， θ 为变流器输出相位， P 为变流器输出平均有功功率， ω 为变流器输出角频率幅值指令。

当控制器检测到变流器输出 P 增加时，则降低系统频率 f ，从而减小负载角 δ ，抑制 P 的进一步增加；当控制器检测到变流器输出 P 减少时，则升高系统频率 f ，从而增加负载角 δ ，抑制 P 的进一步减少。

无功-电压下垂特性。根据变流器的输出电压，输出电流同理也可求得平均无功功率，依此可以得出机端模拟电压指令信号公式，见式(5)。

$$U^* = U_0 + n(Q_0 - Q) \quad (5)$$

式中， U_0 为无功功率输出为 Q_0 的变流器输出电压幅值， n 为无功-电压控制下垂系数， Q 为变流器输出平均无功功率， U^* 为变流器机端模拟电压幅值指令。

当控制器检测到变流器输出的无功增加时，则降低输出电压的幅值，从而抑制无功输出的进一步增加；当检测到变流器吸收的无功增加时，则升高变流器输出电压的幅值，从而抑制变流器进一步吸收无功。

无论是惯量环节还是一次调频环节，自同步电压源都

是主动进行的，自动响应系统的频率变化，主动支撑能力体现了自同步电压源型控制的自同步特点。

3 构网型变流器对电网稳定研究

常规新能源项目使用跟网型变流器，又称为电流源型变流器（CSI），其主要功能是在微电网中作为一个电流源。跟网型变流器的主要任务是跟踪并响应构网型变流器或外部电网的电压，通过控制其输出电流来保持与电压源的同步。跟网型变流器通常采用恒功率控制或恒电流控制策略。另外一种形式的变流器是构网型变流器，又称为电压源型变流器（VSI），其主要功能是在微电网中创建一个电压源。构网型变流器通过控制其输出电压的幅值、频率和相位，来主动支撑微电网的电压。

图3是一种电流源型并网变流器（PQ控制并网变流器）控制框图；图4是一种电压源型并网变流器（无内环虚拟同步发电机）控制框图。

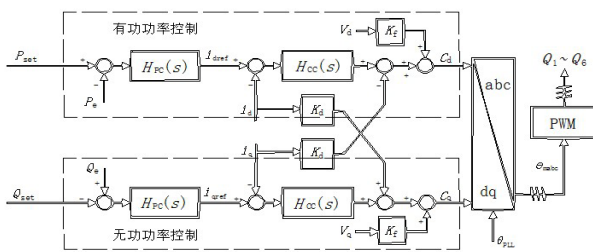


图3 电流源型并网变流器控制框图

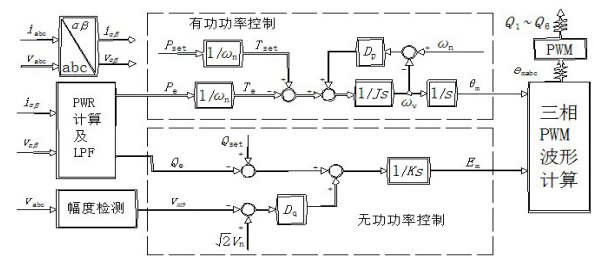


图4 电压源型并网变流器控制框图

通过扫频实验，可以得到：对于电流源型并网变流器而言，其快速控制和稳定控制之间存在矛盾。当接入到阻抗较大的电网时，电网阻抗与电流源型变流器的阻抗可能会存在交互作用，易引起谐振甚至影响电网稳定。这对于新能源

发电的大规模接入电网和进一步发展会产生不利的影

响。与电流源型并网变流器不同，电压源型变流器由于无需锁相环等控制，其阻抗在低频段上大体呈现为感性。同时，在低频段时电网阻抗通常也是为感性，二者交互不易引发不稳定。另一方面，由于电压源型并网变流器低频段阻抗为感性，其接入电网后，等效于减小了电网阻抗，这有利于混合型场站中其他发电单元（尤其是电流源型并网变流器）稳定并网。

当常规新能源采用跟网型方式接入薄弱交流电网时，会存在宽频振荡风险；而当新能源采用构网型方式接入薄弱交流电网时，电网的稳定性会显著增强。向系统接入构网型变流器，构建构网/跟网混合型新能源并网系统，能够提升跟网型新能源经交流弱电网送出系统的稳定性。

4 结语

与跟网型相比，构网型新能源阻抗幅值更低，相位呈现感性特性，在弱网场景下呈现更友好阻抗特性。一方面对现有运行于弱电网地区的跟网型场站，通过并入部分容量的构网型新能源可有效降低系统振荡风险，另一方面对未来新建场站，跟网型与构网型可按一定容量配比，实现新能源的友好并网、稳定运行。

尽管增加储能系统更易于实现自同步电压源控制功能，但会增加系统成本和复杂度。若是使用新能源发电构网型变流器实现电压源型发电单元，则将更具工程优势。

目前已有西藏、冀北等地区的新能源项目中使用了构网型变流器，今后会在越来越多的地区和项目中采用构网型变流器，从而提高电网的稳定性和可靠性。

参考文献

- [1] 丁明, 杨向真, 苏建徽. 基于虚拟同步发电机思想的微电网逆变电源控制策略[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(8): 89-93.
- [2] 万庆祝, 张翊帆, 张学哲, 等. 光伏集群逆变器的谐振机理及抑制技术研究[J]. 电网技术, 2018, 42(10): 3377-3384.
- [3] 路朋, 叶林, 裴铭, 等. 风电集群有功功率模型预测协调控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(17): 5887-5900.
- [4] 沈超, 帅智康, 程慧婕. 虚拟同步机并联电流控制型变换器系统暂态同步稳定性分析[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(10): 115-123.