



可再生能源：嵌入式控制器和TwinCAT软件助力控制发电厂

通过TwinCAT HMI对电网仿真进行操作和监测

面向未来电网的电网友好型控制方法

德国卡尔斯鲁厄理工学院（KIT）的电力系统和高压技术研究所（IEH）正在研究如何确保因向可再生能源过渡而发生变化的输电网的系统稳定性。除了模拟研究之外，发电厂和基于逆变器的发电系统的行为正在被用作专用测试环境的孤岛电网中进行仿真。在这里，研究人员正在运行安装有TwinCAT的倍福嵌入式控制器上实施具有创新意义的新型控制方法，以验证它们在真实场景中的应用是否可行。

在很多输电网中，可再生能源发电比例正在逐步增加。与传统的基于同步发电机的发电设备不同，风力和光伏发电设备通过并网逆变器直接将电能输入公共电网；但在使用传统的电网跟随逆变器控制时，基于逆变器运行的资源在超过一定比例时会出现稳定性问题。这就是为

什么需要创新的控制方法，以使可再生能源发电系统的整合不必因此而受到限制。众所周知，这些组网控制方法旨在为逆变器提供电网支撑的行为——100多年来一直与基于同步发电机的发电设备类型相关。其结果包括让风力发电机也具有瞬时储能能力。

电网仿真

人们无法对欧洲大陆互联网中强烈变化电网频率下的逆变器行为进行研究。IEH 为此建立了一个电网仿真系统，用于仿真大型发电设备的真实行为，因此也可用于仿真大型输电网行为。电网仿真系统包括一个带励磁机的同步发电机，通过一个由驱动逆变器和异步电机（而不是涡轮机）组成的变速驱动系统驱动。轴上还有一个飞轮，以达到与发电设备中的涡轮机相当的惯量。连接负荷可能会导致频率骤降，大型输电网在受到干扰时会出现这种情况。通过实际提供瞬时储备，电网仿真（与电力电子电网仿真相反）允许在孤岛电网中连接的资源对电网频率作出瞬时响应。

倍福的 CX5140 嵌入式控制器用作中央自动化和控制硬件，而各种 EtherCAT 端子模块则用于测量机械和电气变量。两台设备上都安装了编码器来测量旋转速度，这些编码器通过 EL5021 SinCos 编码器接口端子模块进行评估。扭矩可以通过两个扭矩测量轴和一个 ELM300x 模拟量电压测量端子模块确定。EL3783 电力监测超采样端子模块与电流互感器相结合，采集三相电压、电流和功率值。CX5140 嵌入式控制器通过 EtherCAT 与驱动逆变器通信。同步发电机励磁机的励磁由一个 EL2535-0005 脉宽电流端子模块保障。电源接触器由 EL2634 继电器端子模块作为执行器控制。

闭环控制的设计在 MATLAB®/Simulink® 中通过使用基于模型的设计完成，编译后，使用 TwinCAT 3 Target for Simulink® 在嵌入式控制器上实时执行。通过 TwinCAT HMI 实施了一个方便的用户界面来操作试验台，在这里，可以在运行期间实时修改控制参数、设定值和极限值。此外，可以用图形方式显示测量结果和设备状态。TwinCAT Scope View 可用于可视化和记录测量值。

逆变器仿真

针对基于逆变器的发电设备新设计的控制方法的研究需要一个灵活的测试设施，它在如何实施控制方法方面必须具有足够的自由度。由于第一步的重点是对逆变器电网侧进行控制，因此三相逆变器的调制和功率半导体的行为可以通过三个线性电压放大器仿真。在这里，电压放大器被用作受控的理想电压源。逆变器仿真控制柜位于电压放大器和电网仿真的孤岛电网之间。除了控制硬件之外，控制柜中还安装了可调节的主电源滤波器、电压和电流测量装置，以及接触器和断路器等设备。

一台插接有多个 EtherCAT 端子模块的嵌入式控制器也被用作该试验台的中央平台。一台 CX2030 甚至能够以快速循环时间执行复杂的程序。6 个 EL3702 双通道模拟量输入端子模块通过霍尔效应电流传感器采集多个测量点上的三相电压和电流值。电压设定值通过 EL4732 模拟量输出端子输出，并作为电压电平传输给电压放大器。

与电网仿真中一样，在 MATLAB®/Simulink® 中开发和验证的控制方法也可以在 CX2030 上实时执行。主要的不同点在于控制周期短，仅为 50 μ s。加上 EtherCAT 端子模块和电压放大器，整个控制回路的死区时间仅为 150 μ s。试验台也可通过由 TwinCAT HMI 创建的用户界面进行操作和监测。此时最重要的是对极限值的快速监测，如果超过了限值，就会导致安全关断。



对于逆变器仿真，CX2030 嵌入式控制器可以实现 50 μ s 的短控制周期

测试环境

逆变器仿真与电网仿真相结合，可以构成一个孤岛测试环境，可以轻松对新的组网控制方法的行为进行研究。研究所已经对“同步逆变器”控制方法，即利用逆变器仿真同步发电机的行为，进行了研究并公布了研究成果。实验表明，配备合适控制系统的逆变器式发电系统可以提供瞬时电能储备，为电网提供技术支撑。这也可以证明，与实时模拟器相比，可以使用已在工业环境中得到成熟应用的控制平台实现组网控制。

展望未来，研究所将继续开发组网控制方法，将其用于基于逆变器的操作设备中，如风力发电机。由于基于逆变器仿真的研究取得了成功，一个代表风力发电机驱动系统的试验台正在建立中，该试验台由一个发电机和缩减性能的全逆变器组成。这里的重点将放在风力发电机中所使用的部件的应用，如控制硬件和功率半导体，将继续研究如何能够在风力发电机中实施组网控制系统。

出版物：

- 1) Schulze, W. et al.: 使用实时 PC 和四象限电压放大器对组网逆变器进行仿真。Forschung im Ingenieurwesen [Engineering Research] 85, 425–430 (2021).
- 2) Schulze, W. et al.: 电网频率影响仿真，用于分析发电机组组网逆变器。在第 55 届国际大学电力工程学术会议 (UPEC) 上，意大利都灵 (2020)。

更多信息：

www.ieh.kit.edu

www.beckhoff.com.cn/wind