



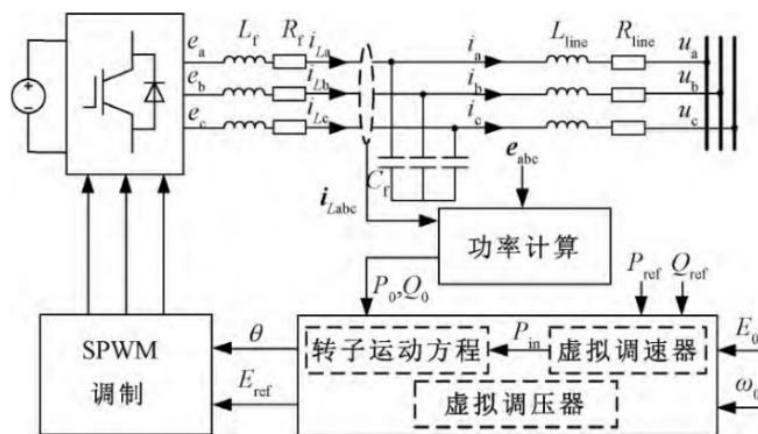
合肥工业大学- 无锁相环动态阻尼虚拟同步发电机的实时仿真验证

用户与研究成果简介：

合肥工业大学杜燕教授的科研团队应用上海远宽的 StarSim 电力电子小步长实时仿真器进行硬件在环仿真实验，通过实验结果验证所提出的控制策略的可行性和准确性，已把成果总结发表于《电工电能新技术》杜燕, 赵韩广, 张显创, 苏建徽等, 一种无锁相环动态阻尼的虚拟同步发电机[J], 电工电能新技术, 2019,38 (7) : 10-19

课题研究背景

新能源并网发电是新能源利用的主要形式，其通过并网逆变器将新能源产生的电能输送到电网，具有清洁高效的优点，成为减少环境污染、提高能源利用率的有效途径。基于输出电流控制的控制策略具有高质量电能输送能力，因而在并网逆变器中得到了广泛应用。然而与电力系统的常规发电单元同步发电机相比，基于电流控制的并网逆变器缺乏转动惯量，无法在电网波动时提供有功支持，无法为含分布式电源的配电网系统提供电压和频率支撑，随着分布式发电渗透率的升高，会导致电网的惯量降低，使得电网频率波动加剧，严重影响电力系统动态稳定性。因此，虚拟同步发电机（Virtual Synchronous Generator, VSG）的控制策略被提出，用于解决大规模分布式发电接入电网造成的低惯量问题。VSG 不仅模拟了同步发电机一次调频、调压能力，使得并网逆变器可以参与电网调节，还模拟了同步发电机特有的惯量和阻尼，增强频率抗干扰能力。与常规同步发电机相比，VSG 的转动惯量和阻尼不受自身物理条件的约束，可以根据不同工作要求自发调节，具有更加灵活的工作模式和运行状态，成为一种新型的分布式发电控制方案。VSG 系统基本原理框图如下：



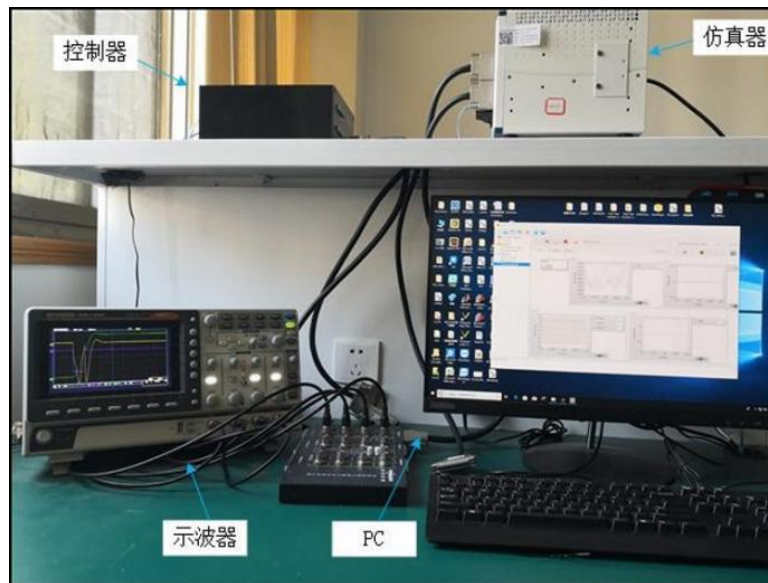
VSG 的控制器主要包括转子运动方程以及调频调压算法，模拟了同步发电机的一次调频和一次调压特性，使得 VSG 参与电网频率及电压的调节。

合肥工业大学杜燕教授的科研团队通过小信号模型对比分析了不同形式虚拟阻尼环节对系统性能的影响，提出了一种无锁相环的虚拟同步发电机（VSG）算法，设计了基于功率超前反馈

的动态阻尼环节，并给出了一种基于相位裕度的动态阻尼参数设计方法。此研究在实验验证阶段，分为两部分：给定有功功率阶跃的系统动态性能对比和电网频率小幅度波动时系统动态性能对比。这样精确控制功率变化和频率小幅度波动的实验一般较难在实物系统上实现，而由真实控制器与实时仿真器构成硬件在环仿真系统可以精确地控制功率和频率的变化，也可以准确地得到控制器调节时间和调节过程波形，是进行基于功率超前反馈的动态阻尼环节控制验证的理想实时仿真方法。

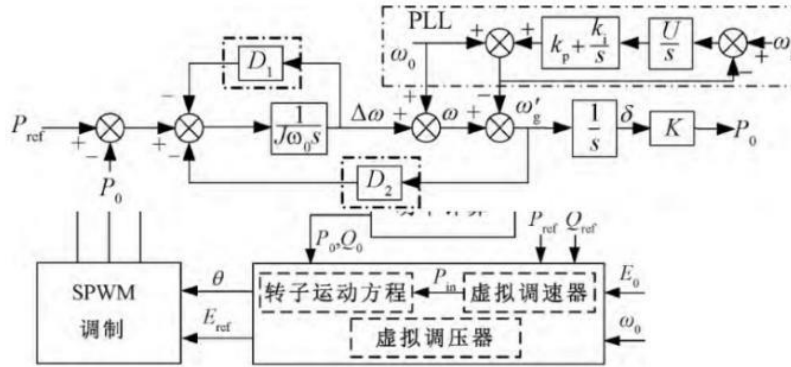
研究重要内容和创新点

海远宽能源科技有限公司提供的 StarSim 实时仿真器，基于电力电子器件的细节模型，同时利用最新的 FPGA 技术，可以实现 1 微秒步长、任意拓扑、任意工况的电力电子系统实时仿真，被广泛应用于需要控制算法验证与工况准确实现的科研项目中；合肥工业大学的科研团队就采用了 StarSim 电力电子实时仿真器来进行无锁相环动态阻尼虚拟同步发电机实验，将真实控制器与仿真器相连构成实时仿真系统。下图是实时仿真系统的照片：

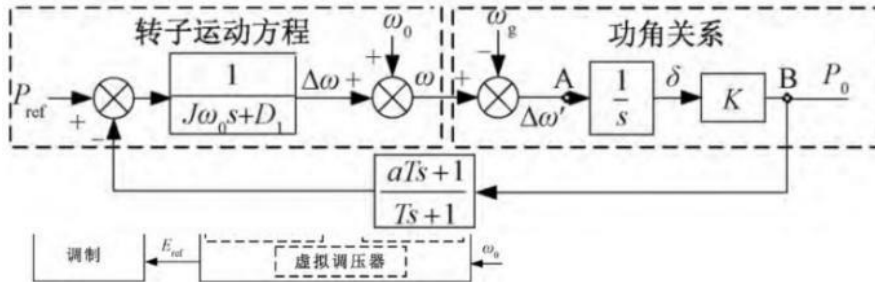


右上的白色机箱是运行着电网模型的实时仿真器，其中电力电子系统是利用 StarSim Solver 在 FPGA 上按 1 微秒的步长实时仿真；左上的黑色盒子是控制器，控制器和电力电子实时仿真器通过 IO 通道构成闭环系统。

为了对比分析不同形式阻尼对系统稳定性以及动态性能的影响，研究在仿真时建立了包括动态阻尼和稳态阻尼两种阻尼形式的 VSG 有功控制统一模型，如下图：

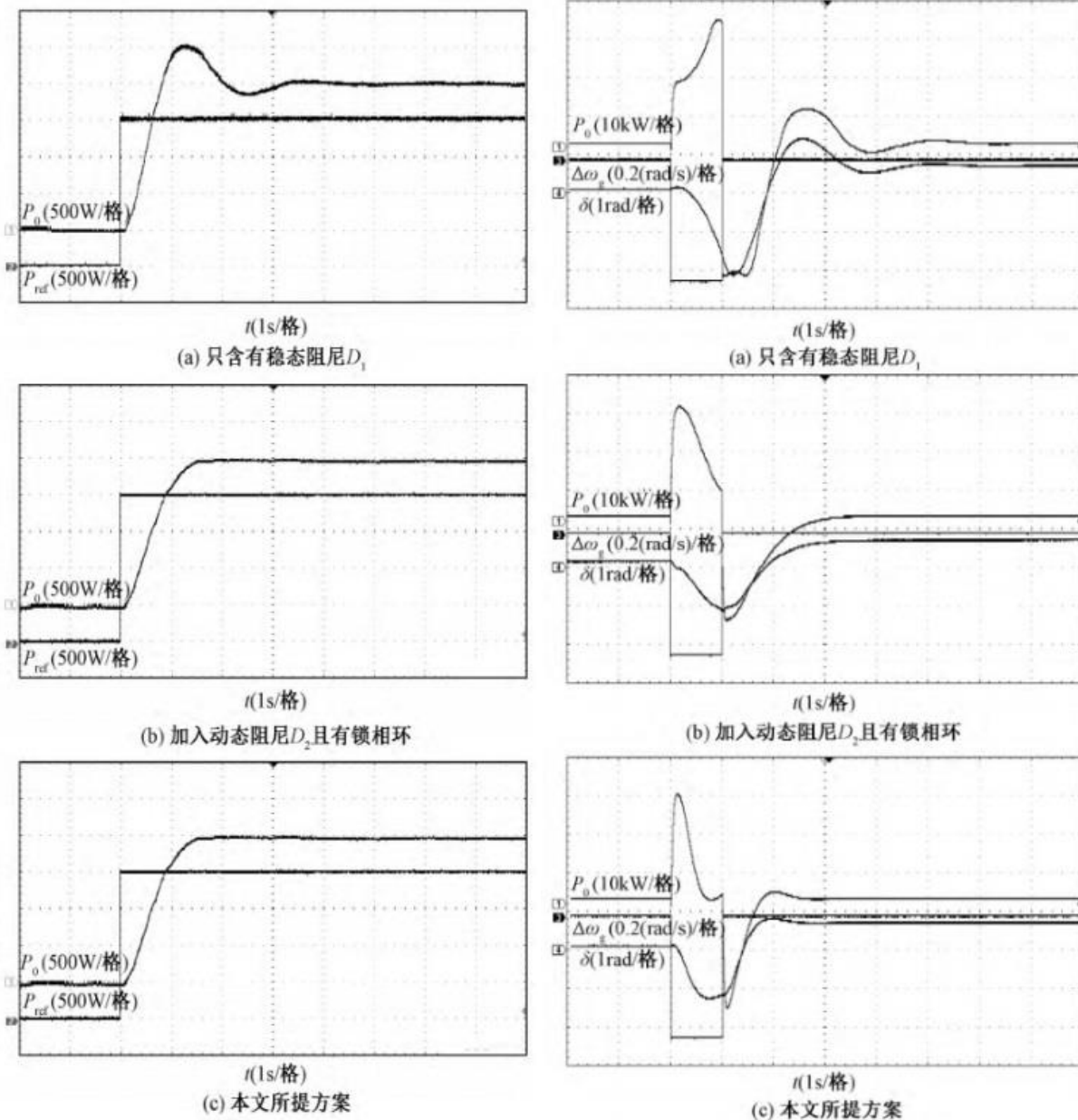


研究同时提出了一种无锁相环的动态阻尼算法进行仿真，见下图：



基于实时仿真器的算法验证

下图是在实时仿真实验平台上通过有功功率阶跃和电网频率波动对三种不同控制策略控制效果的比对：



左侧为三种不同控制策略对有功功率阶跃的响应波形，右侧为三种不同控制策略对电网频率波动的响应波形。

可以看出，合肥工业大学杜燕教授团队所提方案的动态性能相对最优，无论是给定功率阶跃，还是电网频率产生波动，系统的调节时间大幅度缩短，整体动态性能都得到明显改善，证明了研究所提出的无锁相环且含动态阻尼的VSG控制策略的有效性。