储能相关模式

- 离网模式
  - PCS的V/f模式
  - PCS的VSG模式
- 构网模式
  - PCS的V/f模式
  - PCS的VSG模式
- 并网模式
  - 跟网模式
  - 构网模式
    - PCS的V/f模式：一般不使用
    - PCS的VSG模式：主动参与电网调频调压，提供虚拟惯性支持，增强电网稳定性。此时属于并网模式，但VSG的控制逻辑本身并不依赖电网存在
- 跟网模式
  - 光伏并网逆变器
  - PCS的P/Q模式

PCS的控制模式

- P/Q-有功功率无功功率分开控制模式
  - 控制目的：通过调节P和Q的输出实现与电网的协调运行。
    1.例如根据电网需求或调度指令，精确控制输送到电网的P和Q；
    2.例如通过控制Q的大小，改善电网功率因素，如单位功率因数运行或无功补偿，提升电网稳定性；
    3.例如动态调整P/Q输出参数参与电网调频或调压，缓解电网波动
  - 原理：基于电网电压定向VOC，通过坐标变换解耦P和Q的控制，核心步骤为：外环功率控制-内环电流控制-锁相环PLL同步
  - 应用：
    1.光伏并网逆变器有功和无功调节；
    2.风电变流器动态调节输出以平滑风电功率波动，并参与电网调频调压；
    3.PCS跟网模式
- V/f-电压频率下垂模式
  - 控制目的：维持输出电压和频率恒定，提供基础电源支持
  - 原理：开环或简单闭环控制（PID调节）快速调节电压和频率，但缺乏对系统惯性的支持，但动态响应速度快
  - 应用：
    - 小型独立微电网，无同步电机支撑，且负荷变化小对惯性要求不高的场景，因为无法提供惯性支持，因此系统抗扰动能力差，如负荷突变容易导致频率崩溃，另外多台V/f控制电源并联时需严格同步，否则可能引发环流问题，因此需要主从控制或额外同步机制
    - 例如偏远地区光储微网，负荷稳定且无需复杂惯性支持
    - 例如黑启动初期，储能系统作为主电源快速建立电压和频率基准
    - 例如简单备电电源，柴发与储能的简单协同供电
    - 和VSG模式比较：单一控制模式优先选择V/f模式
- VSG（Virtual Synchronous Generator）-虚拟同步发电机
  - 控制目的：模拟同步发电机的动态特性（惯性、阻尼、调频调压能力）
  - 原理：通过算法模拟同步发电机的机械特性，转子惯量和阻尼绕组，使逆变器具备类似同步电机的动态响应能力，通过虚拟惯量J和阻尼D模拟同步电机动态响应，可以提供虚拟惯量，抑制频率突变。但动态响应速度比V/f略慢
  - 应用：
    - 高比例新能源电网，需增强系统稳定性的复杂场景，支持多机并联时自主功率分配，即支持自主下垂控制，对等运行，无需复杂通信协调。
    - 例如高比例新能源电网，补偿风光缺乏惯性的问题，增强频率稳定性
    - 例如多源协同微网，需要与同步电机或其他VSG单元并联运行，如储能+风电+柴油机混合系统
    - 例如弱电网或孤岛电网，通过虚拟惯量抑制负荷突变导致的频率震荡
    - 和V/f模式比较：混合控制模式优先选择VSG模式

Presented with xmind