

[分布式光伏]

工厂分布式光伏发电站补偿的研究

文/宁波海越电器制造有限公司 陈学波

工厂分布式光伏发电站是在工厂厂房顶部或空地上建设光伏发电站。分析了工厂分布式光伏发电站功率因数不达标的原因，并提出解决此类问题的方法。

工厂分布式光伏发电站介绍

光伏发电站发出来的电供工厂优先使用，如有剩余电量，可并入国家电网，也可以储存在电池中供夜晚使用。光伏发电只有白天才有效，而白天恰是工厂生产用电的高峰期，这样就可大大缓解电网用电紧张状态，所以越来越多的企业将安装分布式光伏发电站。

分布式光伏发电站的基本设备包括光伏电池组件、光伏合阵支架、直流汇流柜、并网逆变器和交流并网计量箱，以及供电系统监测设备和环境监测装置。其基本工作模式为：在有太阳能的低辐射条件下。由太阳能电池组件阵列将太阳能转换为输出能量，再通过直流的汇流箱集中输送到并网逆变器上，由并网逆变器逆变成交流电供应给建筑自身负荷。分布式光伏发电站工作模式如图1所示。

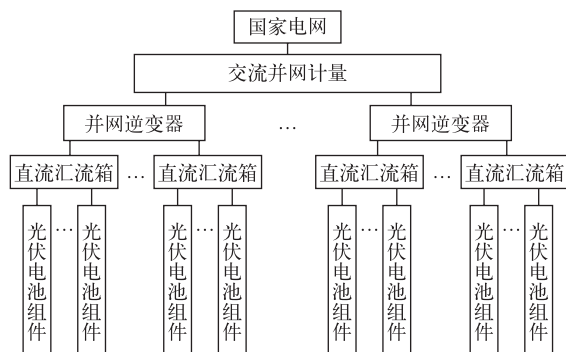


图1 分布式光伏发电站工作模式

无功功率补偿的作用以及国家相关规定

无功功率的作用：电动机需要利用无功功率建立旋转磁场，才能进行正常工作。变压器也需要无功功率在一次侧建立磁场，才能在二次侧感应出电压。

电网系统存在无功功率，这些负荷都可以从电网中吸取无功功率。当负荷吸取电网无功功率后，会造成电网功率因数下降。因为电网中的功率分为视在功率（ S ）、有功功率（ P ）和无功功率（ Q ），它们的关系是 $S^2=P^2+Q^2$ ，而功率因数 $\cos\theta=P/S$ ，所以，当系统中负荷吸取的无功功率增加，就会造成有功功率 P 减少，电网的考核指标功率因数也会下降。

电网系统中功率因数低带来如下影响：

1) 会造成电力系统内的电气设备容量不能得到充分利用。因为发电机或变压器有一定的额定电流和额定电压，在正常情况下，电气设备的工作电压和电流不允许超过额定值。根据 $P=UI\cos\theta$ ，若功率因数降低，则有功功率降低，造成设备容量不能得到充分利用。

2) 增加输电线路中的线路阻抗，从而增加线路有功功率损耗，降低电网电能输送效率。

为了解决电网功率因数低带来的危害，国家在《供电所线损管理办法》（国电农（1999）652号文）中规定：农村生活和农业线路功率因数不

小于0.85；工业和农副业专用线路功率因数不小于0.90。若功率因数低于规定值，则对用电单位进行惩罚；反之，功率因数高于规定值，对用电单位进行奖励。

目前，提高功率因数最有效的办法是对配电系统进行无功功率补偿。

工厂分布式光伏电站的补偿问题

工厂分布式光伏电站的规模都比较小，一般是在低压侧并网。因其大多是后建的，所以大多数在工厂配电柜末端并网。工厂分布式光伏电站并网方案如图2所示。

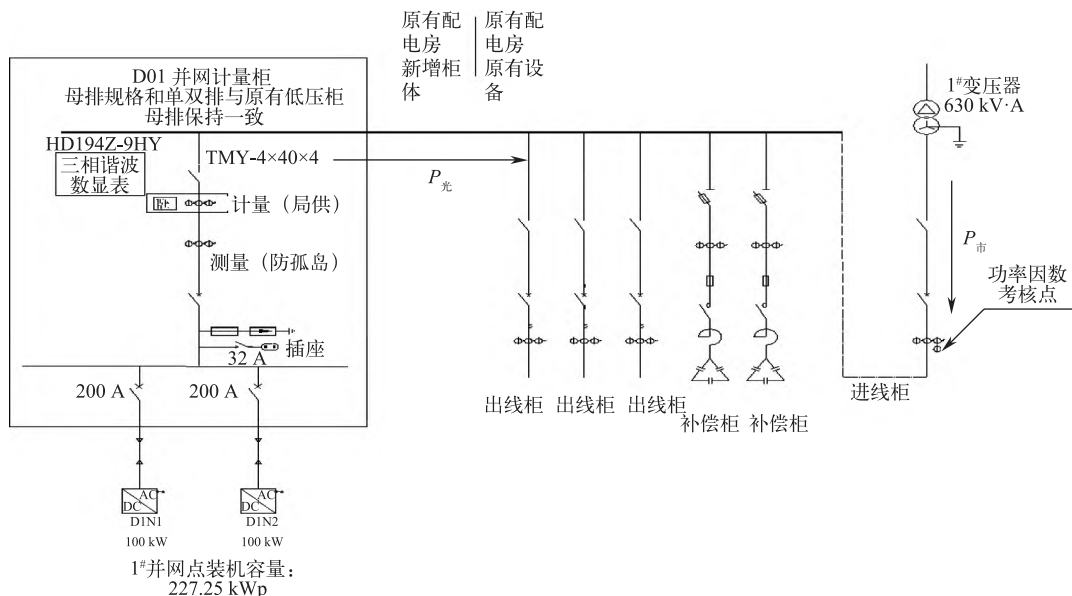


图2 工厂分布式光伏电站并网方案

图2中，光伏电站发出的是有功功率 $P_{\text{光}}$ ，在白天时，工厂负荷优先采用光伏电站发的电，这时功率因数采集点的市电有功功率 $P_{\text{市}}$ 减少。但工厂系统中需要的无功功率是不变的，所以无功功率采样点的 Q 不变。

光伏发电系统功率关系如图3所示。

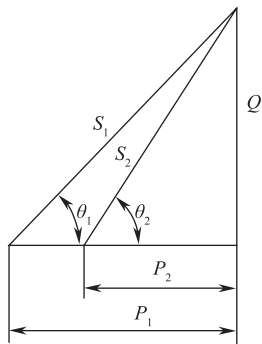


图3 光伏发电系统功率关系

Q -系统需要的无功功率

S_1 -光伏投入前功率因数采集点的视在功率

P_1 -光伏投入前的功率因数采集点的有功功率

S_2 -光伏投入后的功率因数视在功率

P_2 -光伏投入后的功率因数采集点的有功功率

根据图3，结合公式 $\cos\theta=P/S$ ， $\cos\theta_1>\cos\theta_2$ ，所以可以得出，光伏投入后系统功率因数在变小。当功率因数小于无功补偿仪的设定值时，无功补偿仪会自动计算，并自动投入相应电容器，使功率因数保持大于设定值。但当工厂负荷使用光伏电的比例大，甚至光伏发电量有多余时，就会往市电侧供电，这时采集点的 $P_{\text{市}}$ 无限接近于零，功率因数会无限接近于零。此时，系统配备的无功补偿装置即使全部投入也无法改善采样点功率因数。所以，很多工厂在使用光伏发电时，系统考核点功率因数很低，则电容器需长时间连续投入使用，造成寿命减短。

工厂分布式光伏电站的补偿问题解决方法

针对上述问题的解决方法有两种。一种方法是把光伏发电的一次并网点移到功率因数考核点前面，如图4所示。

当并网点移到前面后，对于功率因数考核点来说， $P=P_{\text{光}}+P_{\text{市}}$ ，不管光伏发电和市电比例如何改

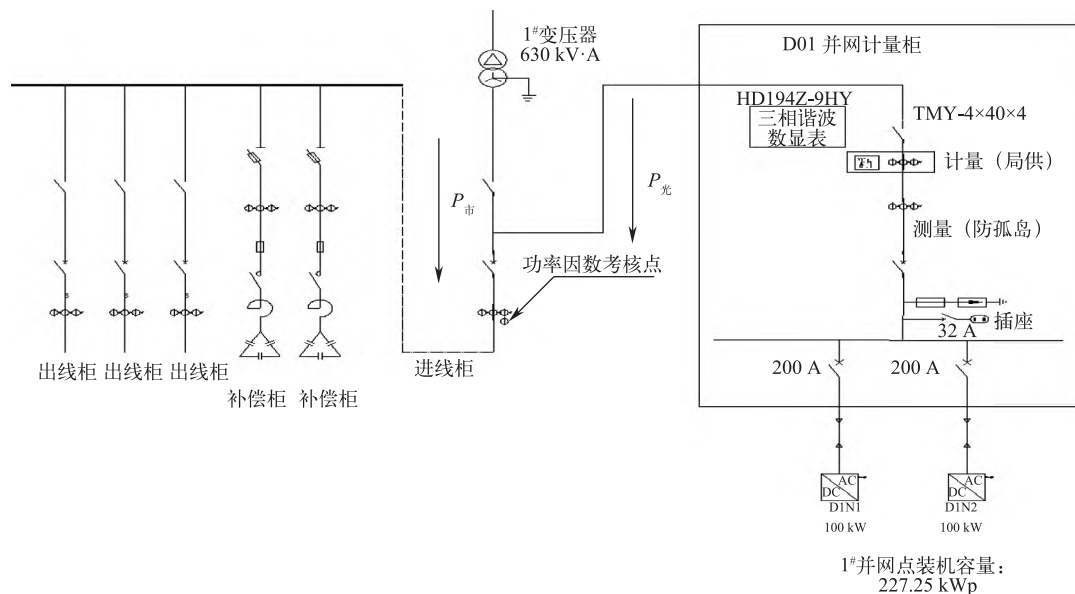


图4 光伏发电并网点变化

变，只要负荷不变，功率因数考核点的有功功率就不会变，功率因数不会受光伏投入的影响。

另一种方法是并网点不变，在光伏并网柜内增加电流互感器来采集光伏发电的电流参数，然后把采集到的电流叠加到功率因数考核点上，如图5所示。此时，功率因数考核点 $I = I_{\text{光}} + I_{\text{市}}$ ，如果光伏发电有多余，那么 $I_{\text{市}}$ 为零，该点公式为 $I = I_{\text{光}} + I_1$ ， I_1 为光伏发电多余部分流向电网的电流。因功率因数考核点的电流互感器的极性问题， I_1 的向量与 $I_{\text{光}}$ 的向量相差 180° 。所以，此时 I 还是系统负荷所需要的有功电流。功率因数考核点采集的电流不变，那么经计算的功率也不会变，所以功率因数不会受光伏投入影响。

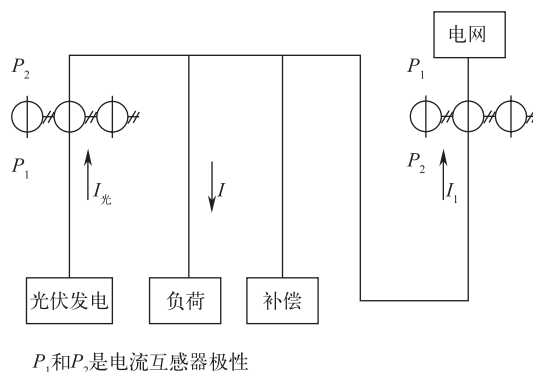


图5 电流互感性示意图

结束语

当工厂要建设分布式光伏发电站时，要结合工厂自身配电房配电系统的实际情况，合理接入光伏发电，避免因功率因数不达标而被罚款。EA

(收稿日期: 2022-02-28)

