并网光伏电站电能质量测试研究

文/中国能源建设集团广东火电工程有限公司　郑 道

所谓的光伏发电技术是根据光生伏特效应原理，利用太阳电池将太阳光能直接转化为电能。就目前情况来说，光伏发电还属于一个相对较新的研究领域，利用此技术运行的发电站仍处于示范工程的阶段。为了能促进光伏发电技术的应用发展，基于此，本文就并网光伏电站电能质量测试进行了研究，相信对有关方面的需要能有一定的帮助。

并网电能质量测试内容与步骤

某装机峰值容量为5 MW，以晶体硅太阳能电池与薄膜太阳能电池为主要电池的中型光伏电站，在安装方式上具有多样性，例如，其通过布置在整个伏电站内5个光伏逆变室，可有效将其输出的400 V交流电升压至35 kV，当5回进线经过断路器接入35 kV母线时，即可将1回35 kV出线接入到110 kV某变电站变的35 kV母线中。

根据我国相关规定，电能质量测试、低电压穿越能力测试、功率特性测试、防孤岛保护特性测试以及电压/频率异常的响应特性测试等是大中型光伏电站进行接入电网测试的主要内容，因此，通过对该光伏电站进行实时的并网电能质量测试后，可将其归类为中型光伏电站，现将测试过程报告如下。

1. 背景电能质量测试

在开展光伏电站并网电能质量测试前，必须确保电网侧电能的质量指标符合GB/T15543－2008《电能质量三相电压不平衡》、GB/T12325－2008《电能质量供电电压偏差》、GB/T15945－2008《电能质量电力系统频率偏差》以及GB/T24337－2009《电能质量公用电网间谐波》等相关规定或要求。此外，还应进行试点选择，在本课题研究中，主要以某110 kV变电站与35 kV母线为试点。试验结果显示，在谐波电压总畸变率、闪变以及三相电压不平衡度方面，110 kV母线分别为0.51%、0.17与0.2%，而35 kV母线则为0.97%、0.2与0.7%，均已满足各项要求。

2. 电能质量测试装置

由于在并网电能质量测试装置方面，《DL/T1028－2006电能质量测试分析仪检定规程》与GB19862－2005电能质量监测设备通用要求》均对其提出了明确的技术要求，且要求其测试精度必须满足IEC61000－4－30－2003ClassA要求，因此，本研究主要以FLUCK1760作为测试设备。

3. 电能质量测试方法

由于本研究中所选定的某光伏电站只存在一条35 kV出线与电网相连，因此，可将并网测试点设置于光伏电站并网点与公共连接位置处，即35 kV出线处。选取标准的电能质量参数，在设备正常运行的情况下，采取每间隔1min即测量1次的连续测试方法对2011年7月29日1整天进行实时测试，并以95%概率大值作为实测值。

测试数据分析

1. 谐波分析

由于某光伏电站的容量相对较小，且在一定程度上受系统电压的影响，因此，在进行发电时，无法调节无功，基波电压无显著变化，而其基波电流则与光照强度呈正相关关系，并于正午时分出现最大值。

在直流电能通过并网逆变器转变为交流电的过程中，会有大量谐波注入到电网内，而该谐波电流的大小、并网接入点的短路容量以及光伏电站的装机容量则共同决定着并网后谐波含量是否能够达到合格标准。通常情况下，谐波含量应符合《GB14549－1993电能质量公用电网谐波》中所规定的相关标准值，即：35 kV母线电压总谐波畸变率、各偶次谐波含有率以及各奇次谐波含有率必须分别小于3%、1.2%及2.4%，当其中一项超出上述标准值时，为有效防止公用电网谐波遭受不必要的污染，则必须及时配置相应的滤波装置。

如下表1、2所示，分别为某

光伏电站并网后于照强度最强时（10:00～14:00）与最弱时（15:00～17:00）的谐波数据。从数据中不难看出，虽然各次谐波电压值均较小，但是却均未超出相关规定的限值。

表1　伏电站并网后35 kV线谐波电压含有率

谐波次数	THD	2	3	5	7	9	11	13	15
光照强度最强（%）	0.89	0.03	0.27	0.76	0.15	0.04	0.22	0.26	0.07
光照强度较弱（%）	0.89	0.02	0.22	0.76	0.09	0.03	0.21	0.23	0.05
国标限值（%）	3.0	1.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4

表2　光伏电站并网后35 kV出线谐波电流

（单位：A）

谐波次数	2	3	5	7	9	11	13	15
光照强度最强	0.08	0.21	0.26	0.36	0.05	0.15	0.08	0.04
光照强度较弱	0.09	0.23	0.22	0.48	0.05	0.17	0.09	0.05

当光伏电站接入电网后，应最大限度上保证其公共连接点位置处的谐波电流分量能够符合GB/T14549－1993《电能质量·公用电网谐波》中所规定的谐波电流分量，而其注入电网中的谐波允许值则必须根据该光伏电站的安装容量与供电设备容量之比进行实时分配。对于35 kV相称电压的各次谐波电流允许值，可根据250 MV·A的基准短路容量进行计算，如表3所示。

表3　注入公共连接点的谐波电流允许值I_h

（单位：A）

谐波次数	2	3	5	7	9	11	13	15
I_h	15	12	12	8.8	4.1	5.6	4.7	2.5

始终坚持用电容量分配谐波指标的基本原则，一旦公共连接点位置处的S实际与S基准相悖时，即可以按式 $I_{hi}=I_h\times\frac{S_{实际}}{S_{基准}}\times\left(\frac{S_{用户协议}}{S_{供电容量}}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$ 确定某用户的各次谐波电流允许值；其中，I_{hi}表示的是第i次谐波电流允许值，I_h表示的是注入公共连接点的谐波电流允许值，S实际与S供电容量分别表示公共连接点的正常最小短路容量与供电设备容量，S基准表示的是基准短路容量，S用户协议表示的是用户的用电协议容量，α则为相位系数值，如表4所示。

表4　相位系数值

谐波次数	3	5	7	11	13	>13
α	1.1	1.2	1.4	1.8	1.9	2

某变电站的35 kV母线的实际最小短路容量、供电容量以及光伏电站用户协议容量分别为140.54 MV·A、16 MV·A及5 MV·A，若根据250 MV·A的基准短路容量（表3）与各次谐波的相位系数值（表4）对35 kV的基准短路容量进行计算，那么将得到如下表5所示的谐波电流限值。将表5与表2进行比较，不难发现其各次谐波电流均在限值内，该结果已符合GB/T14549－1993《电能质量公用电网谐波》的要求。

表5　光伏电站35 kV出线谐波电流限值

（单位：A）

谐波次数	2	3	5	7	9	11	13	15
谐波电流限值	4.71	2.34	2.56	2.16	1.29	1.65	1.43	0.79

2. 电压偏差分析

《GB/T12325－2008电能质量供电电压偏差》中明确规定，一旦光伏电站接入电网后，其公共连接点位置处的电压正负偏差的绝对值之和应小于标称电压的10%。在本研究中，某光伏电站的电压偏差与实际输出最大交流功率分别为7.2%与3.5 MW，均已达到相关规定要求。

3. 闪变分析

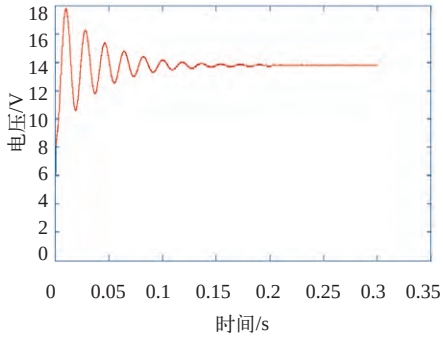
《GB/T12326－2008电能质量

（下转第55页）

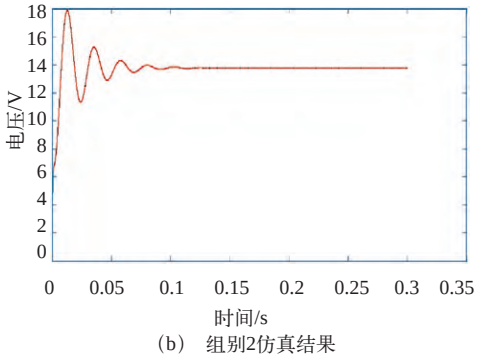
Matlab 仿真波形如下图5所示。

3. 仿真结果分析及结果修正

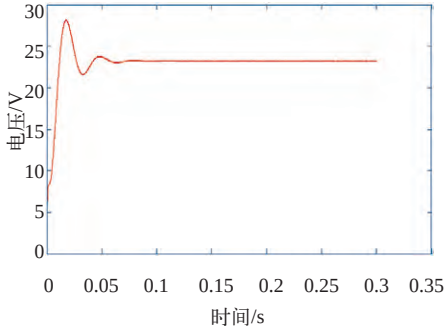
由以上波形图可知，一方面，Cuk电路其输入电源电流和输出负载电流都是连续的，且脉动很小，验证了理论分析的正确性；另一方面，在推导C_{UK}电路的输出电压计算公式时，我们将各器件和电路设定为理想器件和理想电路致使其输出电压和理论计算电压之间误差还是比较大的。



（a） 组别1仿真结果



（b） 组别2仿真结果



（c） 组别3仿真结果

图5 Matlab仿真波形

针对仿真结果误差，可增加一个闭环反馈控制环节，采集C_{UK}变换器的输出电压与设定值进行比较，将其差值送到PID调节器进行整定，然后输出一个控制信号，来改变占空比从而改变输出电压，使其达到理论设定值。

结束语

本文在分析Cuk 变换器的基础上，推导了主要参数的数量关系，通过建立Cuk 变换器的Simulink 仿真模型，由仿真图形直观地验证了Cuk 变换器的性能优于基本的升降压斩波电路，验证了Cuk变换器的输出输入电压关系基本与理论一致，但同时也存在较大误差，并提出了实用性强的解决办法。EA

（上接第51页）

电压波动和闪变》中明确规定，对于35 kV出线的光伏电站而言，其一旦接入电网后，则应分别以2 h、0.11作为长时闪变测量周期与测试值，本研究中的某光伏电站已达到该项要求。

4. 电压不平衡度分析

光伏电站一旦接入电网，其公共连接点位置处的电压不平衡度必须小于《GB/T15543－2008电能质量三相电压不平衡》中所规定的范围值（电压不平衡度小于2%），本研究中，按照相关规定及操作流程对某光伏电站进行35 kV出线三相电压不平衡度的测试后，发现其测试值为0.2，也已符合要求。

5. 功率分析

由于日夜温差及季候变化等自然因素的影响，光伏发电极易产生较强的输出功率随机波动现象，即随着温度特性、太阳辐射量以及灰尘损失等因素的变化而变化，从而无法有效保证发电稳定性。在对某光伏电站进行实时测试的当天，天气晴朗，高温（达37℃），风向为124.78°，最大光照度则为200LUX左右，若从功率曲线观察，则不难发现，在晴朗天气下，发电功率可随日照强度的变化而变化，且呈单峰曲线的形状，且在10:00～14:00时间段内达到峰值，当无光照时，输出功率基本为0。由于在本研究中，某光伏电站的输出功率属于纯有功功率，功率因素为恒定系数1，因此，其并不具备功率调节能力。EA