

浅析集中式光伏项目无功功率补偿装置的应用

李明坤 李雨泽 陈远庆

广东金元新能源有限公司

DOI:10.12238/hwr.v7i11.5042

[摘要] 随着我国碳中和、碳达峰政策的不断推进,我国的电源结构正在持续优化,绿色能源发电作为发电新势力,在我国的发电占比中日益提升。据相关报告统计2022年中国发电装机容量统计中,非传统化石能源装机占比升至49.6%,而在这其中光伏装机39204万千瓦,同比增长28.1%。随着光伏发电在电网电源中的比重不断增加,对光伏电源的电能质量的要求已日益严格,而电压质量是电能质量一个相当重要的参数,所以通过研究无功功率补偿技术使光伏发电的电压质量满足电力系统网络的要求是非常必要的。

[关键词] 光伏发电; 电压质量; 无功功率补偿

中图分类号: TM451 **文献标识码:** A

Analysis of the Application of Reactive Power Compensation Devices in Centralized Photovoltaic Projects

Mingkun Li Yuze Li Yuanqing Chen

Guangdong Jinyuan New Energy Co., Ltd

[Abstract] With the continuous promotion of China's carbon neutral and carbon peak policy, China's power supply structure is continuously optimized, and green energy power generation, as a new power generation force, is increasing in the proportion of power generation in China. According to relevant reports, in the statistics of China's installed power generation capacity in 2022, the proportion of non-traditional fossil energy installed capacity rose to 49.6%, and among them, the photovoltaic installed capacity of 392.04 million kilowatts, an increase of 28.1%. With the increasing proportion of photovoltaic power generation in the grid power supply, the requirements for the power quality of photovoltaic power supply have become increasingly strict, and voltage quality is a very important parameter of power quality, so it is necessary to study the reactive power compensation technology to make the voltage quality of photovoltaic power generation meet the requirements of the power system network.

[Key words] photovoltaic power generation; voltage quality; reactive power compensation

引言

电能目前是人们社会生活中普遍使用的能源之一,而电能质量的好坏,对电力系统的稳定、用电设备使用效率均起决定性的作用。光伏发电作为新能源发电不断发展的主力军,因其清洁、环保、绿色、可持续发展的特点在电力供应的占比日益提升,而光伏发电因为其自身的发电机理,生产的电能是不能直接供用户的合格质量的电能,本文通过研究笔者所在集中式光伏项目电能质量控制中的电压质量控制,对光伏项目通过无功功率补偿提升电压质量的方式进行探讨。

1 集中式光伏发电项目发电原理介绍

光伏发电的原理是由于光生伏特效应,太阳能照射光伏组件时,光伏组件内部的半导体光电二极管将太阳能的光能转变成电能,再经过导线汇集后即可产生能驱动设备的电能,此时汇集产

生的电能为直流电。一定量的直流电经逆变器使之逆变为交流电,通过变压器升压至一定电压等级后,送出至电网或用电设备。

光伏发电作为电力电源,虽然属于可再生能源的发电,但是因其发电严格受到光照条件的制约,产生的电能质量波动很大,光伏组件产生的不是恒定的直流电,而是一个随光照、温度等外部条件变化而时刻变化的直流电,具体波形如下图1所示。此种情况下的直流电经逆变后的交流电,幅值和相位均是不断在变化,输出电能波形畸变较高,也不是一个平滑的三相正弦波电能,逆变器在最高负荷下的波形如下图1.2所示,此时的电能因其波动较大,产生的谐波分量较多,对于我们的电力系统网络,这种电能是不合格的电能,大容量接入电网时将会使电力系统网络不断进行波动,同时也不能满足设备的用电要求。

2 电压稳定的必要性

光伏发电项目一般于早上7时左右启动运行、下午19时停运。正常情况下,光伏组件的发电出力依据太阳光辐照强度的增加,从零到最大出力逐步上升,在中午12时-14时达到最大功率,再逐步降低。同时受气候变化的影响,输出功率会随云量、温度等变化而不断变化,从而引起输出电压的波动,在接入电力系统网络时,如不经处理将会对电网电压形成扰动,这类扰动称之为“闪烁”或“闪变”,而剧烈的电压波动引起的闪烁会造成用电设备运行不稳,控制装置误动作甚至损坏,对电力系统产生不良影响。

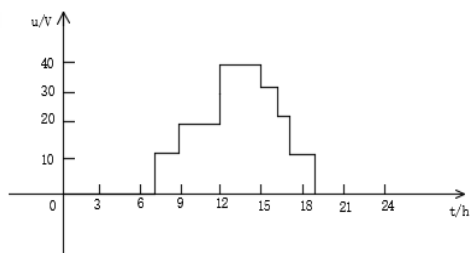


图1 组件输出电压波形

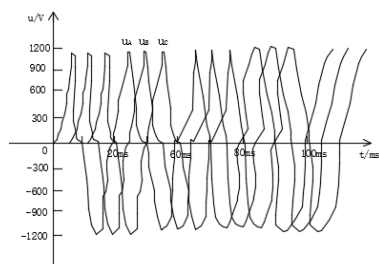


图2 逆变器输出电压波形

根据电力系统运行相关要求,光伏发电项目若运行过程中产生的波动和闪变超过允许范围,就必须采取相应的技术措施进行调节。由于光伏发电项目采用逆变器将直流电逆变为交流电接入后接入电力系统,光伏发电系统受天气的影响,往往发出的电能波形不是连续平滑的波形,同时含有大量的谐波分量,这种情况下接入电网的电能往往产生谐波震荡,将使得电力系统的电能质量下降,同时会对电力系统中的继电保护和自动化装置产生干扰,严重时可能引起继电保护装置的误动作。这种情况下,我们在电源侧通过设置无功功率补偿设备,对发出的电能进行无功功率补偿,使接入电力系统网络的电能从电压、相位、变化频率等参数满足电力网络的电能质量要求,以求减少对电力系统的扰动,提升设备的用电效率。

3 电压稳定的方法研究

电压稳定是电力系统中母线电压受到扰动后能维持稳定的能力,而无功功率的降低将会导致系统电压降低、电阻发热损失增多,设备运转效率下降,电压稳定性下降等问题。在电力系统中常采用调整系统中的无功功率分布的方式来提高电压水平、减小网络损耗和改善系统动态性能,从而使电力系统中的电压达到稳定,采取的这种方式则称为无功功率补偿,实现这个功能的设备则为无功功率补偿设备。

目前电力系统中主要采取的无功功率补偿方式按电容器调

节方式分为静态补偿和动态补偿两种。

(1)静态补偿,主要有固定电容补偿和静态无功补偿两种方式。固定电容补偿是指在电源点设置一个固定量的电容,并并联于电力系统中进行补偿,主要补偿负荷中的感性无功。静态无功补偿(FC)是在系统中安装电容-电感的复合装置提高功率因数和滤除谐波,此类型补偿方式的补偿容量和调节方式单一,一般适用于固定的负荷或变电所的补偿。因光伏发电电能时刻变动的特点,在光伏电站采用静态补偿方式是不可取的。所以光伏发电项目一般采用动态无功补偿方式进行无功功率补偿。(2)动态无功补偿,是一种无功自动调解、动态无功电容自动调解的补偿方式,即按照设计的电容器容量,使电容器组固定接入系统公共连接点,通过自动调解电容器两端的电压以改变无功电容容量的方式,达到改变无功功率的目的。而动态无功补偿装置的跟踪时间满足秒级跟踪即可满足光伏项目的运行要求,所以在光伏项目中往往采用动态无功补偿装置来使电压质量满足电力系统要求。

电力市场目前满足光伏项目技术要求的动态无功补偿装置有两种:(1)TCR型动态无功补偿装置SVC;(2)静止无功发生器SVG,相比SVC,SVG的技术性能更加先进。

静止无功发生器SVG并联于电力系统电源侧的公共联系点后,具有以下优点:(1)相当于一个可变的无功电流源,其无功电流可以快速地跟随负荷(或发电能力)无功电流的变化而变化,自动补偿系统所需的无功功率,可直接发感性或容性无功,稳定节点电压,补偿效果和补偿的及时性都较好;(2)SVG装置对电压波动与闪变、电流不平衡、电流波形畸变等有很好的抑制作用;(3)SVG装置瞬时过载能力可达额定容量的2倍或以上,对电压跌落有较强补偿能力;(4)SVG装置响应速度极快,其响应时间可达到5ms,可提供动态的电压支撑,加快故障切除后光伏电站内部和接入点电压的恢复过程,提高光伏电站低电压功率穿越能力,改善系统的运行性能;(5)能使光伏电站设备运行在一个稳定而合理的电压范围,对提高光伏发电项目的发电效率、延长设备有效寿命等也有重要意义;(6)该类设备采用组合式布置,安装紧凑、工艺简单、占地面积小,可布置在户内;运行损耗低,一般年损耗在0.3%以下。因以上有点,所以在光伏项目中较多采用SVG装置进行无功功率补偿。

4 应用实例分析

本文以笔者所在光伏项目为例,本文从无功功率补偿容量确定、装置配置、指标符合性进行分析,继而对光伏项目中的无功功率补偿装置在光伏项目中的应用进行效果评价。

4.1 项目情况

笔者所在光伏项目总装机容量为100MW,此工程中主要无功功率损耗设备有:光伏系统35kV箱式变压器、升压站110kV变压器、35kV集电线路、110kV送出线路。

4.2 无功功率补偿容量确定

根据我国标准GBT 29321-2012《光伏电站无功补偿技术规范》、GB/T19964-2012《光伏电站接入电力系统技术规定》对光伏电站的无功容量相关规定,以及本项目的相关设备参

数, 分别计算本项目无功分布统计如下:

表4.1 光伏项目无功损耗计算值 单位: MVar

项目		机组满发	充电功率
各设备无功功率损耗	光伏系统 35kV 箱式变压器	-5.336	
	35kV 集电线路	-1.971	0.82
	升压站 110kV 变压器	-7.150	
	110kV 送出线路	-0.032	0.005
合计		-14.49	0.82
注: +表示容性无功功率, 及线路的充电功率			
-表示感性无功功率, 及各设备的无功损耗			

根据计算结果, 本光伏项目在不考虑逆变器运行时无功功率补偿情况, 须配置的无功功率补偿装置容量为容性14.49MVar, 感性-0.82MVar。根据前文分析, 以及电力系统调度的相关要求, 本站选用配置一套 ± 24 MVar静止无功发生器SVG。

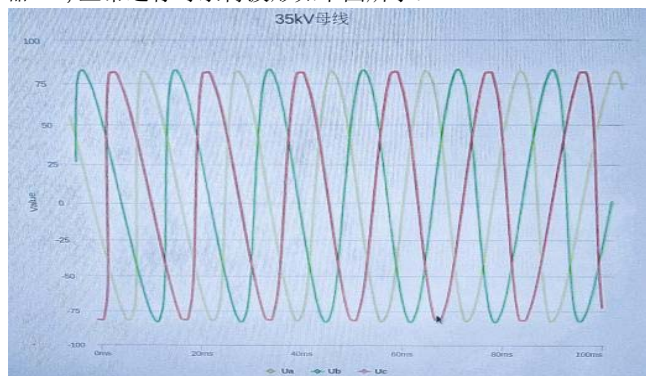
4.3无功功率补偿效果分析

本项目配置 ± 24 MVar静止无功发生器SVG之后, 在逆变器不参与无功调节时, 依然可完全满足无功功率补偿需求, 达到控制本项目并网点无功电压的目的, 并提升本项目运行时电压质量。同时增加SVG装置之后, 在特殊工况下通过调用 SVG 的紧急无功支撑功能可对本光伏项目的电压波动进行控制。具体的控制效果如下:

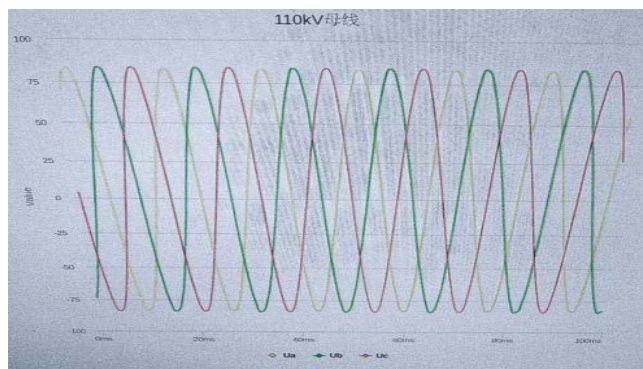
(1) 无功功率, 通过SVG的恒功率因数控制, 考虑一定的控制误差, 可以使本光伏项目并网点的功率因数控制在0.99以上。(2) 电压偏差, 通过SVG的恒功率因数控制, 考虑一定的控制误差, 可以使本光伏项目并网点的功率因数控制在0.99以上, 加装SVG之后, 光伏电站的电压偏差可以控制在 $+0.1\% \sim +0.4\%$ 范围内。(3) 电压波动与闪变, 通过调用SVG的紧急无功支撑功能, 可以有效抑制因光伏电站功率波动引起的电压波动与闪变, 使本项目的电压波动与闪变控制在允许范围内。(4) 谐波控制, SVG具有抑制谐波功能, 加装SVG后可将本光伏项目注入对侧变电站110kV母线的谐波分量进一步降低, 使本光伏项目注入电力系统的谐波电流和引起的公共接入点电压总谐波畸变率明显减小。

4.4输出电能质量分析

本光伏项目在升压站内配置一套 ± 24 MVar的静止无功发生器SVG, 正常运行时录得波形如下图所示:



4.1 升压站35kV母线线路波形



4.2 110kV送出线路波形

通过实际投入效果分析, 光伏项目配置静止无功发生器SVG接入系统后的电压波形平滑, 电压稳定, 已满足电力系统电能质量并网要求。

4.5结论

通过以上的计算以及效果分析, 静止无功发生器 SVG对本光伏项目接入系统后的电能质量控制效果如下:

(1) 本光伏项目接入系统运行过程中注入公共连接点的各次谐波电流、各次谐波电压以及电压波形总畸变率均有效降低。(2) 本光伏项目正常运行工况下引起的电压波动有效降低, 使电压稳定性有效提高。(3) 本光伏项目正常运行时的功率因数显著提高, 有功功率的传输有效提升。

可以得出结论: 本光伏项目在升压站内配置一套 ± 24 MVar的静止无功发生器SVG后, 运行时以SVG装置的无功调节作为主要的补偿方式, 能够满足本项目系统电压和无功调节要求。

5 结语

综合对于光伏发电项目的发电特点, 随着我国光伏发电装机不断扩大, 大量光伏电源的接入势必会使电力系统的电压造成波动, 对电力系统的稳定性造成一定的影响, 剧烈的电压幅值波动可能会导致电力系统故障, 对电网系统的稳定运行产生风险。而电压参数的稳定性与无功功率有直接的联系, 通过项目应用无功功率补偿提升电压质量的实例分析, 光伏发电项目应根据容量大小、接入电压等级、接入距离等因素, 布置无功功率补偿设备, 加强无功功率的调整, 从而提升输出电能的质量, 减少电源接入时对电网的扰动, 为电网和用户绿色、可靠的电能, 也为电力系统的安全运行奠定基础。

[参考文献]

- [1] GB/Z 19964-2005, 光伏电站接入电力系统技术规定[S].
- [2] 严俐. 电网电压稳定与无功功率补偿的相关性研究[J]. 科技与创新, 2016, (07): 113.
- [3] 谷慧莹. 供电系统的无功功率补偿研究[J]. 黑龙江科学, 2019, 10(10): 108-109.

作者简介:

李明坤(1993--), 男, 汉族, 广东省广州市人, 本科, 研究方向: 电气自动化。