

光伏电站并网逆变器代替 SVG 集中式无功补偿装置探讨

王 宾¹, 张 健²

(1.四川水利职业技术学院,四川 崇州 611231;2.四川省电力设计院,四川 成都 610072)

摘 要:在光伏电站的设计中,为满足接入电网的相关要求,一般按照光伏电站并网容量的 20~30%配置 SVG 动态无功补偿装置,如果并网逆变器所具有的连续无功调节能力能满足光伏电站并网的要求,那我们在光伏电站的建设中能节省数百万的 SVG 动态无功设备的投资及数十万的设备维护费用,并且可以减少升压站永久性建设用地的占地面积,无疑在光伏发电平价上网的今天带来更好的电站效益。

关键词:光伏电站;SVG 动态无功补偿;调节功能;方案比较

中图分类号::[TK514];TM464;TM714.3

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2019)06-0114-04

Discussion on Replacing Centralized SVG into Grid Connected Inverter in Photovoltaic Power Station

WANG Bin¹, ZHANG Jian²

(1. Sichuan Water Conservancy Vocational College, Congzhou, Sichuan, 611231;

2. Sichuan Electric Power Design Institute, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: In the design of photovoltaic power plant, in order to meet the relevant requirements of grid-connection, SVG is generally configured according to 20 -30% of the grid connected capacity of photovoltaic power station. If the continuous reactive power regulation ability of grid connected inverter can meet the grid connection requirements of photovoltaic power station, we can save millions Yuan of SVG investment and hundreds of thousands Yuan of equipment maintenance costs in the construction of photovoltaic power station, and can reduce the floor area of permanent construction land of booster station, which is no doubt to bring better benefits of power station as grid parity of photovoltaic power is implemented currently.

Key words: photovoltaic power station; SVG; regulation function; scheme comparison

1 概 述

2019 年,我国光伏已经正式进入“平价时代”,在建设成本方面,目前国内光伏每瓦建设成本已从最初的 40~50 元降低至 4~5 元;在上网电价方面,光伏领跑基地项目通过竞争产生的上网电价,较当地光伏上网标杆电价每千瓦时下降 0.19~0.31 元,平均下降 0.24 元,其中最低电价为青海格尔木光伏领跑者基地 0.31 元/kWh,已低于当地燃煤标杆电价。光伏电站建设的“降本增效”成为光伏投资企业的首要考虑问题。

光伏建设的“降本”包括生产降本和技术降本

两个环节,生产降本包括降低组件、逆变器等主要设备的生产成本,技术降本包括应用新技术、新工艺等减少光伏发电的中间环节、可替代的设备等;“增效”包括提高组件、逆变器等设备的利用效率、减少电站的无功损失等方面。

本文要论述的主要问题就是在光伏电站的技术降本方面,即应用新技术、新工艺等减少光伏发电的中间环节,节省设备的投资。

2 光伏电站的要求

我们先论述光伏电站对无功补偿装置的配置和无功电源有些什么要求,再论述光伏电站对光伏并网逆变器无功调节能力的要求。

2.1 光伏电站对无功补偿配置的要求

收稿日期:2019-10-13

根据《光伏电站接入电力系统技术规定》(GB/T 19964—2012)的规定:

(1)光伏电站的无功容量应按照分层和分区基本平衡的原则进行配置,并满足检修备用的要求^[1];

(2)通过 10~35 kV 电压等级并网的光伏发电站功率因数应能在超前 0.98~滞后 0.98 范围内连续可调,有特殊要求时,可做适当调整以稳定电压水平;

(3)对于通过 110(66)kV 及以上电压等级并网的光伏发电站,无功容量配置应满足下列要求:

①容性无功容量能够补偿光伏电站满发时站内汇集线路、主变压器的感性无功及光伏电站送出线路的一半感性无功之和;

②感性无功容量能够补偿光伏电站自身的容性充电无功功率及光伏电站送出线路的一半充电无功之和。

(4)对于通过 220kV(或 330kV)光伏发电汇集系统升压至 500kV(或 750kV)电压等级接入电网的光伏发电站群中的光伏电站,无功容量配置宜满足下列要求:

①容性无功容量能够补偿光伏电站满发时汇集线路、主变压器的感性无功及光伏电站送出线路的全部感性无功之和;

②感性无功容量能够补偿光伏电站自身的容性充电无功功率及光伏电站送出线路的全部充电无功之和。

一般而言,光伏电站中,变压器的无功将占到整个电站无功的 70%以上^[2],变压器的无功损耗计算公式为:

$$Q_T = \left(\frac{U_K \%}{100} \frac{S^2}{S_N^2} + \frac{I_0 \%}{100} \right) S_N$$

式中 Q_T 为变压器消耗的无功, $S \approx S_N$ 为变压器的额定容量, $U_K \%$ 为变压器的短路阻抗, $I_0 \%$ 为变压器的空载电流。

根据以上公式,计算出光伏电站内,包括箱变和升压主变的无功损耗值约为变压器额定容量的 16%左右,再加上光伏电站内汇集线路、并网送出线路一半的无功损耗,站内需要补偿的容性无功大约占并网容量的 20%~30%左右,感性无功包括汇集线路充电无功功率及光伏电站送出线路的一半充电无功之和,一般光伏电站内

所需补偿的感性无功小于需要补偿的容性无功。

由以上简易计算可知,一个装机容量为 100 MWp 的光伏发电站,所需要配置的 SVG 动态无功补偿容量约为 20~30 Mvar。

2.2 光伏电站对无功电源的要求

根据《光伏电站无功补偿技术规范》(GB/T 29321—2012)的规定:

(1)光伏电站的无功电源包括光伏并网逆变器和光伏电站集中无功补偿装置;

(2)光伏电站应充分利用并网逆变器的无功容量及其调节能力,当并网逆变器的无功容量不能满足系统电压与无功调节需要时,应在光伏电站配置集中无功补偿装置,并综合考虑光伏电站各种出力水平和接入系统后各种运行工况下的暂态、动态过程,配置足够的动态无功补偿容量;

(3)光伏电站的无功电源应能够跟踪光伏出力的波动及系统电压控制要求并快速响应;

(4)光伏电站的无功调节需求不同,所配置的无功补偿装置不同,其响应时间应根据光伏电站接入电网后电网电压调节需求后确定。光伏电站动态无功响应时间应不大于 30 ms。

以上 4 条规定了光伏电站对无功电源的无功电压控制的要求和动态无功响应时间的要求。

2.3 光伏电站对光伏并网逆变器无功调节能力的要求

根据《光伏电站无功补偿技术规范》(GB/T 29321—2012)的规定:

(1)光伏电站安装的并网逆变器应满足额定有功出力下功率因数在超前 0.95~滞后 0.95 的范围内动态可调,并应满足在图 1 中所示矩形框内动态可调。

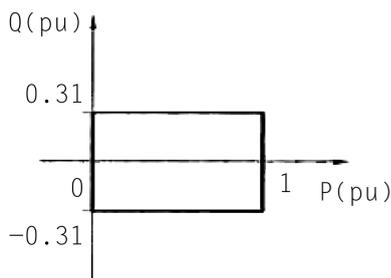


图 1 逆变器无功出力范围

(2)光伏电站要充分利用并网逆变器的无功容量及其调节能力;当逆变器的无功容量不能

满足系统电压调节需要时,应在光伏电站集中配置适当容量的无功补偿装置,必要时加装动态无功补偿装置。

2.4 光伏电站对光伏并网逆变器无功控制的要求

根据《光伏电站无功补偿技术规范》(GB/T 29321-2012)的规定:

(1)光伏电站并网逆变器应具有多种控制模式,包括恒电压控制、恒功率因数控制和恒无功功率控制等,具备根据运行需要手动/自动切换模式的能力^[3]。

(2)光伏电站并网逆变器应在其无功调节范围内按光伏电站无功电压控制系统的协调要求进行无功/电压控制^[4]。

3 光伏并网逆变器的无功调节功能

3.1 光伏并网逆变器的无功输出能力

大部分光伏逆变器具备功率因数在超前 0.9~滞后 0.9 连续可调的无功调节能力^[5]。以某个光伏逆变器厂 500 kW 集中式并网光伏逆变器为例,在输出 500 kW 有功功率的同时,可输出大约最大 242 kVar 的无功功率,并在 -242 kVar~+242 kVar 范围内连续可调。

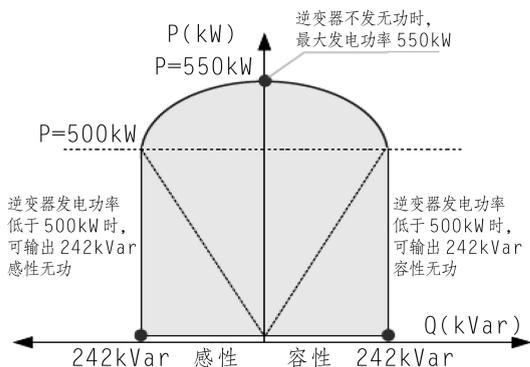


图 2 光伏并网逆变器的无功输出能力

500 kW 光伏并网逆变器最大可发 242 kVar 的无功,逆变器最大无功达额定容量 48.4% (242/500=48.4%),远远大于光伏电站通常配置 20~30%集中式无功补偿(SVG)的容量,具有更好的电网无功调节能力。经过实际测试,逆变器无功输出可达设定值 242 kVar 的 90%以上,满足国标 GB/T 19964 并网逆变器应满足额定有功出力下功率因数在超前 0.95~滞后 0.95 的范围内动态可调要求。

3.2 光伏并网逆变器的无功调节动态响应时

间^[6]

该逆变器运行于恒电压方式时,可根据实际电网电压,按照 Q~U 曲线输出相应的无功功率,响应时间小于 30 ms,满足《光伏电站无功补偿技术规范》(GB/T 29321-2012)对动态无功电源响应时间应不大于 30 ms 要求^[7](经测试,单台 500 kW 逆变器无功动态响应时间为 27.733 ms)。

4 SVG 集中式无功补偿方式与并网逆变器无功补偿技术方案比较

目前,电站现场采用的动态无功补偿装置 SVG,容量配比为总容量的 20~30%,即 100 MW 需要配置 20~30 Mvar 的 SVG,技术方案如下图 3 所示。单台 500 kW 逆变器的无功输出可达 -242 kVar 到 +242 kVar,对于 100 MW 的光伏电站,所有逆变器可输出的无功功率达 -48 Mvar~+48 Mvar,满足光伏电站的无功需求,因此,可利用光伏逆变器替代 SVG 装置,技术方案如下图 3、图 4 所示。

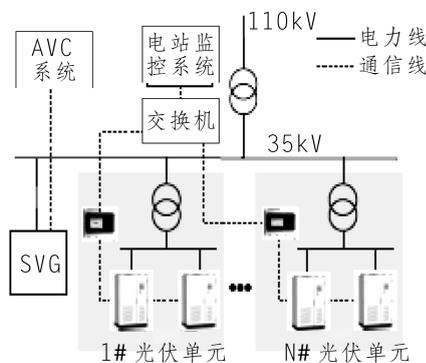


图 3 SVG 集中无功补偿技术方案

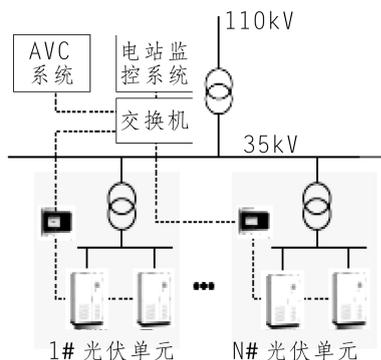


图 4 并网逆变器无功补偿技术方案

表 1 无功补偿技术参数比较表

序号	技术方案	补偿容量 /Mvar	无功调节能力	动态无功响应时间 /ms
1	SVG 集中无功补偿	20~30	超前 0.98~ 滞后 0.98	≤30
2	并网逆变器无功补偿	48.5	超前 0.9~ 滞后 0.9	≤30

由以上技术参数的比较来看,并网逆变器的无功补偿能力是优于 SVG 集中无功补偿装置的,再加上用并网逆变器替代 SVG 集中无功补偿装置后,能节省 SVG 设备的投资(目前,主流 SVG 设备价格大约在 150~200/kVar,仅 SVG 设备一项就能节省约数百万的费用)和设备的维护费用,并且也节省了光伏升压站部分的占地面积(升压站土地使用性质与光伏电站本体土地不同,升压站属于永久性建设用地,光伏电站本体用地属于临时租赁用地)。

目前,光伏并网逆变器取代传统 SVG 无功补偿装置的测试工作已在部分光伏电站陆续展开,测试过程中,光伏电站原本配置的 SVG 装置退出运行,所有无功指令要求全部由具备 SVG 功能的光伏逆变器来实现。测试结果均验证了电站的无功控制能力,无功控制精度、无功响应时间、电网电压控制精度及响应时间等各项指标均满足国标的要求。这标志着在光伏电站中,不用配置传统的 SVG 设备,光伏电站同样可以通过国家标准,采用光伏逆变器内置的无功发生功能替代传统 SVG 设备是一种技术发展趋势。

5 结 语

单台逆变器无功可达最大无功调节范围达到逆变器额定功率的 48.5%左右(即满足超前 0.9~滞后 0.9 连续可调),满足《光伏电站接入电力系统技术规定》(GB/T 19964—2012)的要求。单台逆变器动态响应时间满足《光伏电站无功补偿技术规范》(GB/T 29321—2012)动态无功响应时

间不大于 30 ms 要求逆变器具备恒无功功率、恒电压、恒功率因数三种控制模式,可手动/自动切换更改控制模式。未来具有无功调节功能的并网逆变器替代 SVG 集中式动态无功补偿装置是技术发展的趋势,是我国光伏发电“平价上网”强有力的技术支撑。

在光伏电站的设计中,为满足接入电网的相关要求,一般按照光伏电站并网容量的 20%~30%配置 SVG 动态无功补偿装置,如果并网逆变器所具有连续无功调节能力能满足光伏电站并网的要求,那我们在光伏电站的建设中能节省数百万的 SVG 动态无功设备的投资及数十万的设备维护费用,并且可以减少升压站永久性建设用地的占地面积,无疑在光伏发电平价上网的今天带来更好的电站效益。

参考文献:

- [1] 史汗青. 基于 SVG 的无功补偿技术的研究[J]. 河南科技大学. 2018.
- [2] 赵明宇. SVG 技术在电网调度自动化系统中的应用[J]. 中国新技术新产品. 2015.
- [3] 程志冲. 光伏发电并网逆变控制技术[J]. 华北水利水电学院. 2012.
- [4] 张兴, 曹仁贤. 太阳能光伏并网发电及其逆变控制[M]. 机械工业出版社. 2011.
- [5] 黄静, 刘江峰, 刘林东. 光伏逆变器效率及电能质量测试与分析[D]. 太阳能. 2018.
- [6] 周林, 杜潇, 杨明. 大型光伏电站并网逆变器无功与电压控制方法[J]. 电机与控制学报. 2016.
- [7] 梅文明, 李偲, 杨立滨. 不同无功控制方式下光伏并网的影响及应对策略[J]. 中国测试. 2018.

作者简介:

王 宾(1965-),男,汉族,四川宜宾人,副教授,高级工程师,从事电力工程工作;

张 健(1980-),男,汉族,四川乐山人,工程师,本科,从事电力设计工作。

(责任编辑:卓政昌)

锦屏一级、二级水电站荣获国家优质工程金奖

2019 年 12 月 8 日,“2018—2019 年度国家优质工程奖”总结表彰大会在国家会议中心举行,雅砻江公司锦屏一级、二级水电站荣获国家最高质量奖——国家优质工程金奖。该公司副总经理王继敏代表公司及参建单位出席大会并上台领奖。

国家优质工程奖设立于 1981 年,是我国工程建设质量方面设立最早、规格最高的国家级荣誉奖,涵盖工业、交通、水利、通信、市政、房屋建筑等领域,其最高奖项为国家优质工程金奖。