

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.016

光伏电源接入 500 kV 变电站站用电对保护的影响分析

张旭光

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 针对光伏电源接入 500 kV 变电站站用电后对系统保护的影响进行了研究。首先, 介绍 500 kV 变电站站用电的一般接线方式和光伏电源基本模型; 然后, 根据 500 kV 变电站工程特点以及光伏布置, 分析了光伏电源的发电功率、光伏电源的接入方案。最后, 基于实际 500 kV 变电站站用电参数, 搭建了光伏电源接入站用电的 Matlab 仿真模型。通过在该仿真模型上进行了短路故障仿真计算, 分析了光伏电源接入对站用电保护系统的影响, 并提出了改进的措施。

关键词: 光伏电源; 站用电; 继电保护

中图分类号: TM615

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)01-0098-05

Influence Analysis on Power Relay Protection of PV Generation Connected to 500 kV Substation Station Power

ZHANG Xuguang

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Photovoltaic generation connected to 500 kV substation was studied in this paper. Firstly, the general wiring mode of 500 kV substation station power and the basic model of PV generation were introduced. According to the characteristics of 500 kV substation and the structure of the station, the layout of PV modules, power supply of PV generation and the scheme of PV connected to system are represented. Matlab simulation model of PV connected to 500 kV substation station power was established based on the actual parameters of 500 kV substation. Based on the Matlab simulation model, the short-circuit faults simulations were tested and calculated, the influences on station power protection of 500 kV substation were analyzed, and measures of station protection were also proposed.

Key words: PV generation; station power; relay protection

根据《2015 中国光伏产业发展报告》, 到 2015 年底, 全世界总装机量达到 230 GW, 新增装机达 50 GW, 相比 2014 年新增装机 16.3%。光伏市场的中心也正从欧洲发达国家向中国、美国和日本等新兴市场转移^[1]。

近年来国家电网和南方电网都在大力开展低碳、环保、绿色变电站的试点与建设, 如国家电网推行的环境友好型、资源节约型(两型一化)变电

站、南方电网大力开展的 3C 绿色电网。随着光伏发电应用研究的不断深入, 发电成本不断下降, 为变电站利用新能源提供了必要的条件。根据统计到 2015 年广东省已投运有 500 kV 变电站 53 座, 如果大量的 500 kV 变电站利用可再生能源光伏, 采用接入站用电系统的方案后, 有必要对原站用电系统的保护适应性进行研究。

1 站用电的介绍

500 kV 变电站站用电接线形式如图 1 所示, 2 个工作电源#1、#2 站用变分别接两台主变 35 kV

母线，热备用电源#0 站用变接 10 kV 站外电源。这种站用电接线方式在正常情况下可靠性很高，但随着电网规模越来越大，为了限制系统的短路电流，系统运行方式往往采用分区供电，每个分区以 500 kV 变电站为枢纽，带部分 220 kV 变电站负荷，而 10 kV 站外电源就近取自这些 220 kV 变电站。当 500 kV 变电站受到极端天气比如大风，整个 500 kV 失压后，500 kV 变电站所带 220 kV 变电站站也失去电源，存在站外 10 kV 电源也同时失去的可能。

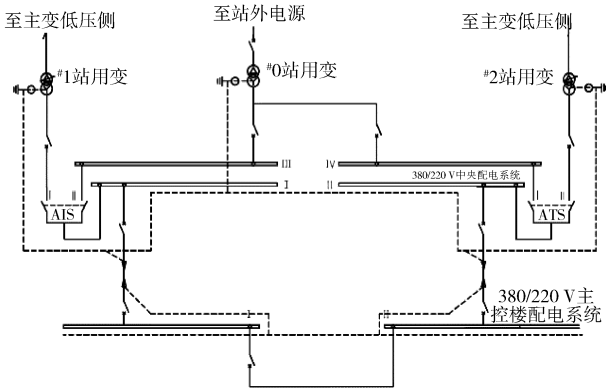


图 1 500 kV 变电站站用电接线形式

Fig. 1 Station power of 500 kV substation

2 光伏电源接入站用电方案

参考某 500 kV 变电站，利用主控楼屋顶、巡检楼屋顶、中央配电室屋顶总面积约 600 m²，可布置光伏太阳能发电板面积估计 500 m²。可以安装光伏板实用面积、年发电量、发电装机容量的计算公式为：

$$P_h = KSP_s$$

式中： P 为光伏发电系统装机的峰值功率； K 为光伏板安装平面布局经验系数，一般可以取 0.7 值； S 为光伏安装场地面积； P_s 为单位面积光伏（单晶硅或多晶硅）发电装机容量经验值，一般取 0.15 kW/m²[2]。计算得 500 kV 变电站峰值装机功率为 P_h 约 52.5 kW，在后续计算中选取 50 kW 来计算。

主控楼屋顶和巡检楼屋顶布置了变电站主要光伏电源，而且主控室内有两段 380 V 母线供电系统，每段母线的负荷约 100 kW，该负荷远远大于光伏的发电功率。因此接入主控制室的 380 V 母线，如图 2 所示，不但可以将光伏电能就近送入负

荷中心，而且可以减少从中央配电室流到主控室的潮流，减少电能损耗，减少工程造价。

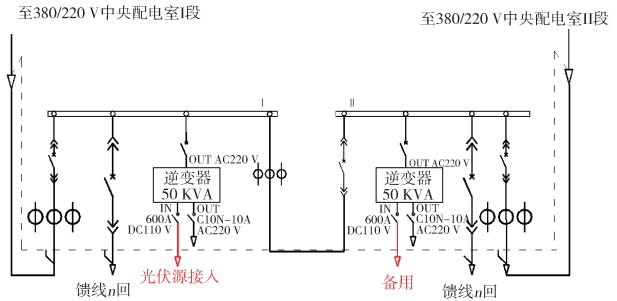


图 2 光伏电源接入主控楼配电系统

Fig. 2 PV generation connected to 500 kV substation

3 光伏发电的特性与建模

光伏发电系统最基础的能量转换单元是光伏电池，当前不同型号光伏电池可用不同电路模型来进行仿真。如单晶硅光伏电池，如图 3、图 4 所示，可以采用二极管等效电路模型仿真，它非线性二极管、电流源相并联组成，并串接光伏电池的内阻[3-4]。

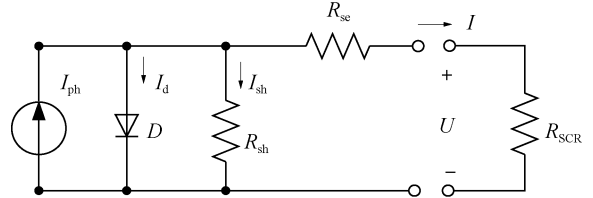


图 3 光伏电池模型示意图

Fig. 3 Model of PV battery

因为单个光伏模块发电功率很小，工程应用中将很多光伏模块进行串或并联后组成光伏阵列，以提高光伏的输出功率和电压。因为一般串并联的光伏模块均采用相同品牌及型号，因此我们认为所有的光伏模块的参数是一样的，做仿真模型时忽略连接电阻，得到如图 5 所示的光伏阵列等效电路，图中， N_p 、 N_s 分别为并联、串联的光伏模块数。光伏阵列的伏安关系满足式(1)[5]。

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_{os} \left\{ \exp \left[\frac{q}{AKT} \left(\frac{U}{N_s} + \frac{IR_{se}}{N_p} \right) \right] - 1 \right\} - \frac{N_p}{R_{sh}} \left(\frac{U}{N_s} + \frac{IR_{se}}{N_p} \right) \quad (1)$$

可以根据式(1)，利用 matlab 可建立光伏阵列仿真模型，此模型可模拟仿真计算在各种光照强度、温度下光伏阵列的伏安特性曲线及输出 $P-V$ 特

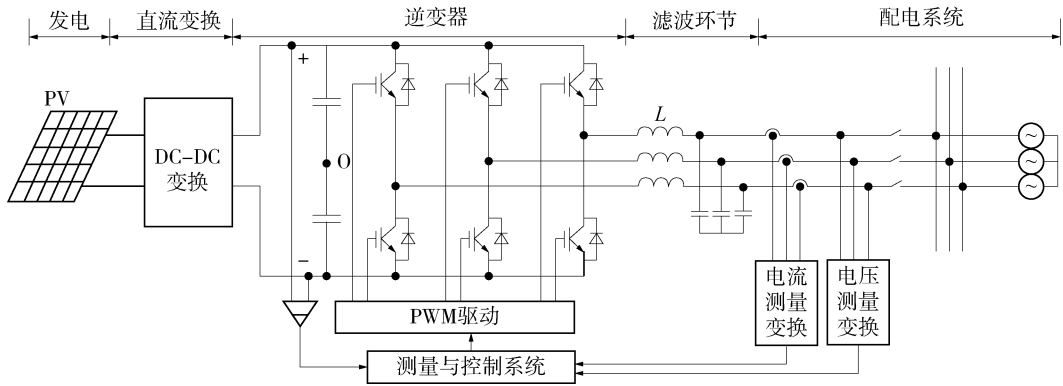


图4 光伏输电示意图

Fig. 4 PV transmission

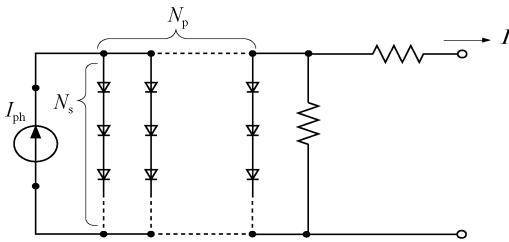


图5 光伏阵列等效电路

Fig. 5 Equivalent circuit of PV array

性曲线。太阳能电池组件输出功率呈现负的温度特性，即当温度升高时，虽然太阳能电池的工作电流有所增加，但工作电压却下降的更多，因此总的输出功率是下降的，所以应尽量使太阳能电池工作在较低的温度下。

4 站用电保护的配置及定值

参考某500 kV变电站站用电接线，简化站用电接线，如图6所示，站用电实际设备参数如下：

35 kV站用变型号为：SCZ11-800/34.5 ($\pm 4 \times$

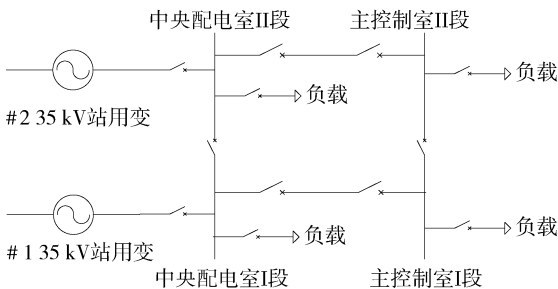


图6 站用电简化接线

Fig. 6 Simple structure of station power

2.5%) / 0.4kVD, yn11Uk = 6.5%。

35 kV站用变保护采用南瑞继保的PCS-9621N型保护，35 kV侧保护CT为400/1 A，380 V侧零序CT为500/1。

中央配电室(站用变低压侧出线)380 V进线开关型号MVS16N版本6.0 V。

中央配电室至主控制室380 V出线、主控室380 V进线开关型号MVS06N版本6.0 V。

中央配电室380 V母线I、II段负荷各为200 kW，主控制室380 V母线I、II段负荷各为100 kW，中央配电室到主控制室电缆长度200 m，截面(3 × 150 + 70) m²。

根据《中国南方电网地区电网继电保护整定原则》计算站用电系统的定值如下：

1) 35 kV侧电流I段保护：躲站用变低压侧故障整定 $I_{z1} = 0.288$ kA，变低侧电流26.6 kA，时间定值取0 s切站用变两侧。

2) 35 kV侧电流II段：躲站用变额定电流 $I_{z2} = 17.15$ A，CT变比为400/1，II段定值最小值为0.05，因此实际整定 $I_{z2} = 20$ A，换算到变低380 V侧电流1.85 kA，时间定值取0.6 s，保护出口动作切两侧。

3) 380 V侧零序电流保护：可按躲不平衡电流整定 $I_0 = 375$ A，时间定值可参考取2 s，保护出口动作切变压器两侧。

根据设备厂家提供的MVSN厂家资料型号及相关参数380 V进线开关定值表如表1所示。主控室380 V进线开关定值表如表2所示。

表 1 中央配电室 380 V 进线开关定值表

Tab. 1 Relay protection setting of central power room circuit breaker

定值名称	定值	动作值/kA	动作时间/s
长延时电流 I_r	0.6	0.96	2.50(1.44 kA)
长延时跳闸延时 t_r	0.5	0.96	0.70(5.76 kA)
短延时脱扣 I_{sd}	6.0	5.76	0.35(9.60 kA)
短延时跳闸延时 t_{sd}	0.4(开)	5.76	0.35(9.60 kA)
瞬时脱扣 I_i	10.0	16.00	0.05
接地故障脱扣 I_g	A	—	—
接地故障跳闸延时 t_g	0.4(开)	—	—

表 2 主控制室 380 V 进线开关定值表

Tab. 2 Relay protection setting of control room circuit breaker

定值名称	定值	动作值/kA	动作时间/s
长延时电流 I_r	0.4	0.252	2.50(0.378 kA)
长延时跳闸延时 t_r	0.5	0.252	0.70(1.512 kA)
短延时脱扣 I_{sd}	6.0	1.512	0.35(2.52 kA)
短延时跳闸延时 t_{sd}	0.4(开)	1.512	0.35(2.52 kA)
瞬时脱扣 I_i	4.0	2.520	0.05
接地故障脱扣 I_g	A	—	—
接地故障跳闸延时 t_g	0.4(开)	—	—

5 光伏接入站用电系统对站用电保护的影响

据图 6 所示站用电系统的简化接线在 Matlab 中建立仿真故障模型,如图 7 所示。利用该模型对光伏接入站用电后站用电系统进行故障仿真,可较真实模拟光伏接入后对变电站站用电保护的影响。

站用变低压侧三相短路故障,得到仿真计算结果如图 8、图 9 所示波形。虽然光伏电源在主控制室 380 V 母线接入,但对于站用变低压侧故障时电流影响比较小,站用变低压侧故障时电流约 19 kA,380 V 进线开关(型号 MVS16N)的瞬时脱扣定值 16 kA 在 0.05 s 动作,站用变保护 II 段定值 1.85 kA 在 0.6 s 动作,因此原有的保护定值保护能够正确动作。

光伏对站用变低压侧故障点的反馈电流大约为 180 A,该电流反向流过主控制室 380 V 进线开关(型号 MVS06N),流经 380 V 电缆至故障点。该进线开关的长延时保护设置按 252 A 动作电流设置,因此无法切除故障。可采取由站用变保护发联跳信号至光伏监控装置切除光伏电源。

400 V 电缆末端接地三相短路故障,得到仿真计算结果如图 10、图 11 所示波形。虽然光伏电源在主控制室 380 V 母线接入,但对于 400 V 电缆末

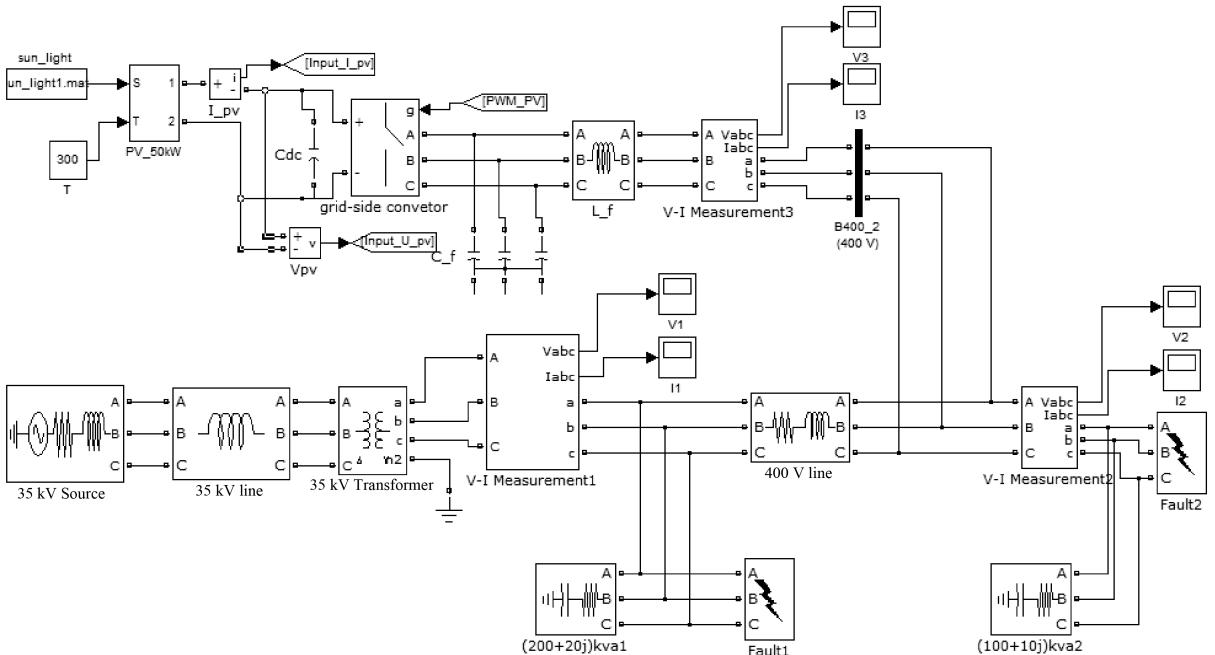


图 7 Matlab 仿真模型

Fig. 7 Matlab simulation model

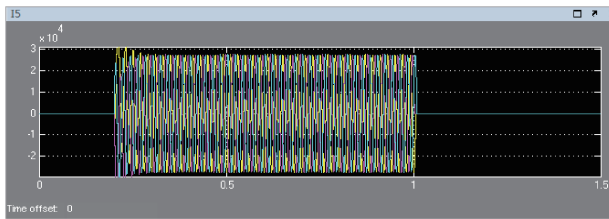


图8 站用变低压侧三相短路, 故障点故障电流

Fig. 8 Short-circuit current of substation transformer 380 V bus after PV access

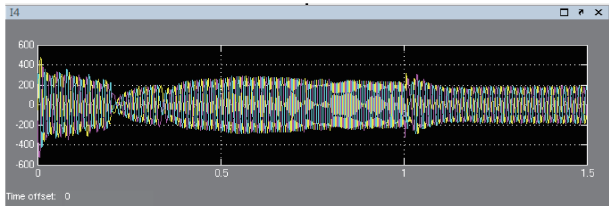


图9 站用变低压侧三相短路, 光伏对故障点反馈电流

Fig. 9 Feedback current of 380 V bus after PV access

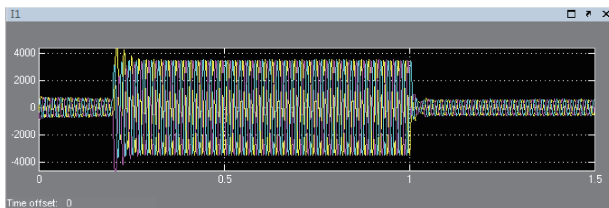


图10 380 V 电缆末端三相短路, 站用变低压侧电流

Fig. 10 Short-circuit current of substation transformer 380 V bus after PV access

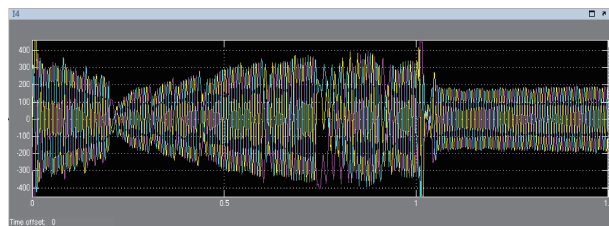


图11 380 V 电缆末端三相短路, 光伏对故障点反馈电流

Fig. 11 Feedback current of 380 V bus after PV access

端接地短路故障时, 站用变保护测得故障电流影响比较小, 站用变保护测得故障电流约 2.6 kA, 中央配电室的 380 V 出线开关(型号 MVS06N)的瞬时脱扣定值 2.52 kA 在 0.05 s 动作, 站用变保护 II 段定值 1.85 kA 在 0.6 s 动作, 因此原有的保护定值保护能够正确动作。

光伏对故障点反馈电流大约为 212 A, 该电流反向流过主控制室 380 V 进线开关(型号 MVS06N), 流经 400 V 电缆至故障点。该进线开

关(型号 MVS06N)的长延时保护设置按 252 A 动作电流设置, 因此无法切除故障。可采取由站用变保护发联跳信号至光伏监控装置切除光伏电源。

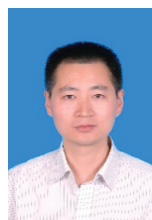
6 结论

本文主要介绍了 500 kV 变电站站用电光伏接入后, 原站用电系统适应性以及控制研究。主要得出的结论有如下: (1) 50 kW 光伏的接入, 对站用电原来保护系统无影响; (2) 站用电系统的站用变低压侧发生故障时, 原有站用电保护能够正确动作, 不需要增加额外的保护; (3) 需对原站用电保护跳闸进行改进, 原站用电保护装置、备自投装置动作时, 增加联切切光伏电源的回路。

参考文献:

- [1] 工业与信息化部. 2015 年中国光伏产业发展形势展望[J]. 电器工业, 2015(2): 22-24.
Ministry of Industry and Information Technology. 2015 China PV industry development outlook[J]. China Electrical Equipment Industry, 2015(2): 22-24.
- [2] 谭茂强, 陈虎, 杨生华. 分布式光伏电站在特高压换流站的应用[J]. 广东电力, 2014, 27(10): 23-26.
TAN M Q, CHEN H, YANG S H. Application of distributed photovoltaic power station in UHV converter station[J]. Guangdong Electric Power, 2014, 27(10): 23-26.
- [3] 李鹏. 分布式发电微网系统暂态时域仿真方法研究-(三)算例实现与仿真验证[J]. 电力系统自动化, 2013, 33(4): 35-43.
LI P. Methodology of transient simulation in tim domain for DG and microgrid (3): ease study and validation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(4): 35-43.
- [4] 郭芳, 邓长虹, 廖毅, 等. 基于改进 MPPT 算法的微电网电能质量改善作用研究[J]. 南方能源建设, 2015, 2(1): 71-76.
GUO F, DENG C H, LIAO Y, et al. Research on the improvement of micro-grid power quality base on the advanced MPPT algorithm [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(1): 71-76.
- [5] 施世鸿, 郭芳. 光伏发电在 500 kV 变电站的应用及影响[J]. 中国电力, 2014, 47(12): 105-109+116.
SHI S H, GUO F. Application of PV generation in 500 kV substation and its impact analysis [J]. China Electric Power, 2014, 47(12): 105-109+116.

作者简介:



ZHANG X G

张旭光

1981-, 男, 浙江浦江人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电气二次设计工作 (e-mail) zhangxuguang@gedi.com.cn。

(责任编辑 高春萌)