

Power Quality Evaluation Report of Photovoltaic Power Station Based on ETAP

Genyi Lin

JZ Energy Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

In the evaluation of photovoltaic system 10kV and above, it is necessary to analyze the power quality of photovoltaic system. The power quality analysis does not rely on professional simulation software, the calculation process is more complex and tedious. Especially in the large photovoltaic power station, or in the system with many nodes. Therefore, ETAP simulation software is used to model and calculate large distributed or ground power stations to reduce the workload in the preparation of power quality assessment report.

Keywords

power quality; voltage fluctuation; three-phase voltage imbalance; negative sequence current value; photovoltaic system

基于 ETAP 的光伏电站电能质量评估报告

林根义

九州能源有限公司, 中国·广东广州 510000

摘要

在光伏系统 10kV 及以上的评审中, 需要对光伏系统进行电能质量的分析。电能质量的分析不借助专业的模拟仿真软件, 计算过程较为复杂烦琐。尤其在大型的光伏电站中, 或者并网节点多的系统中。因此, 通过 ETAP 仿真软件对大型的分布式或地面电站进行建模及计算, 以减少在编制电能质量评估报告中工作量。

关键词

电能质量; 电压波动; 三相电压不平衡; 负序电流值; 光伏系统

1 引言

对于光伏电站的接入而言, 为了保证光伏系统接入到电网的稳定性, 尤其是 10kV 及以上的地面电站或者分布式电站。因此, 通过 ETAP 软件的模拟仿真来检查电能质量当中的参数是不是符合国家标准, 这是一项非常有必要进行的工作。通过一个实际的光伏建模案例, 来说明 ETAP 仿真软件是如何验证出光伏系统的电能质量各参数的限值^[1]。

2 光伏电站信息

本项目 13.32MWp 光伏发电分成 8 个单位元, 每 1 个单位的容量为 1665kW、每 2 个单位通过串联的方式逆变器升压接至并网节点, 共 4 个并网节点。4 个并网节点分别接入原有 10kV 腾讯 2 号厂房 1 号专用开关站的 G01 备用柜(10kV 腾讯丙线)、

10kV 腾讯 2 号厂房 2 号专用开关站的 G10 备用柜(10kV 蓄能二干线)、10kV 腾讯 1 号方仓专用开关站的 G10 备用柜(10kV 腾讯甲线)、10kV 腾讯 2 号方仓专用开关站的 G10 备用柜(10kV 蓄能一干线)^[2,3]。

3 ETAP 建模仿真分析

3.1 ETAP 简介

ETAP 19.0.1 版本是一款专为电力系统设计工程师设计的电力系统建模和仿真软件工具, 主要的功能包含模型的潮流分析、短路分析、弧闪、谐波分析、暂态继电保护等。

3.2 光伏电站建模仿真

根据光伏项目的基本情况, 在 ETAP 软件中选择对应的 PV 阵列、等效负荷、电缆、断路器、等效电网等元件, 输入各元件对应的具体参数, 建立图 1、2 的光伏电站模型。本次模拟仿真要计算的电能质量各参数限值, 都是依据图 1、图 2

【作者简介】林根义(1990-), 男, 中国广东潮州人, 从事光伏系统电气设计工作研究。

为模型为基础。光伏接入点1至4分别为ETAP中的复合网络，在复合网络中再进行光伏电站的建模，在此就不多展开进行描述。

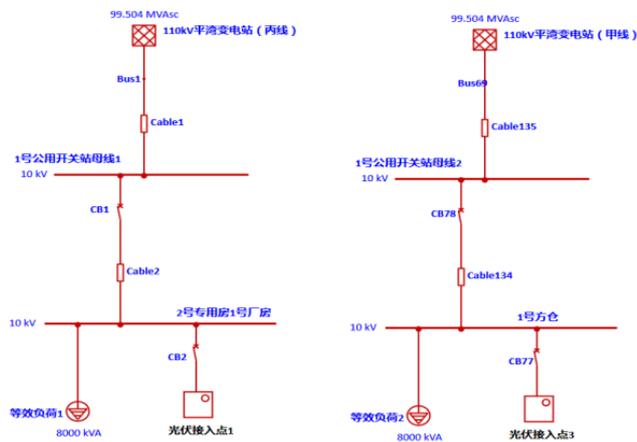


图1 ETAP中光伏电站模型1

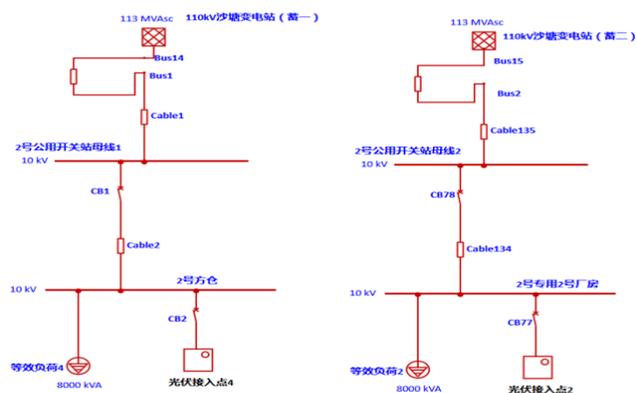


图2 ETAP中光伏电站模型2

完成建模以后，运行了对应的功能，把得到的数据运用于电能质量报告当中。下面就电能质量报告的五点内容展开一一的说明与计算，通过计算来验证是否符合中国的限值标准。

4 谐波结果

4.1 谐波计算依据

根据中华人民共和国 GB/T14549—93《电能质量——公用电网谐波》的规定^[4]，10kV系统允许的电压总谐波畸变率不超过4%，如表1所示，各次谐波谐波如表2所示。

表1 公用电网谐波电压允许值

电网标称电压 (kV)	电压总谐波畸变率 (%)	各次谐波电压含有率 (%)	
		奇次	偶次
10	4.0	3.2	1.6

表2 公用电网谐波电压允许值

电压 (kV)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)										
	2次	3次	4次	5次	6次	7次	8次	9次	10次	11次	
10	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	
	12次	13次	14次	15次	16次	17次	18次	19次	20次	21次	
	4.3	7.9	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	
	22次	23次	24次	25次							
	2.3	4.5	2.1	4.1							

4.2 谐波仿真计算结果

在ETAP中可以直接输出谐波仿真计算的表格，里面有对应的详细数据，由于篇幅问题，就不一一列出，只罗列出各并网点电压总谐波畸变率进行比较，结果如表3所示。

表3 各并网点电压总谐波畸变率

并网点	电压总谐波畸变率 (%)	标准限值 (%)	是否合格
并网点1	1.39	4	是
并网点2	1.46	4	是
并网点3	1.23	4	是
并网点4	1.33	4	是

通过表3可以看出，此项目的各并网点总谐波畸变率均小于限值4%，符合规定。

5 电压波动和闪变结果

5.1 电压波动和闪变计算依据

在高压电网中，一般 $X_L \geq R_L$ (R_L 、 X_L 分别为电网阻抗的电阻、电抗分量)。

电压波动 d 的表达式为：

$$d \approx \frac{\Delta Q_i}{S_{sc}} \times 100\%$$

式中， ΔQ_i 为无功功率的变化量； S_{sc} 为 PCC 点在正常较小方式下的短路容量。

第一级规定：满足本级规定，可以不经闪变核算，允许接入电网。对于 LV 和 MV 用户，第一级限值见表4。

表4 用户第一级限值

r, min^{-1}	$k=(\Delta S/S_{sc})_{\text{max}},\%$
$r < 10$	0.4
$10 \leq r \leq 200$	0.2
$200 < r$	0.1

注：表中 ΔS 为波动视在功率的变动， S_{sc} 为 PCC 短路容量

5.2 电压波动和闪变仿真计算结果

运用公式，每个并网点按照正常10%装机容量（取

0.33MW) 变动, 无功出力按最大范围变动 (P: 3.33MW, Q: +0.8Mvar~-0.8Mvar, Q 变动范围 1.6Mvar) 进行计算^[5]。同时, 进行特殊情况下 50% 出力变动计算; 不考虑主变压器下动态无功补偿装置的无功出力; 电站出力波动情况下各 PCC 点电压波动计算结果如表 5 所示。

表 5 10kV 系统各 PCC 点电压波动计算结果

并网点名称	并网点短路容量	有功功率变化	无功功率变化	功率波动引起 PCC 点电压波动	电压波动限值
并网点 1	126.18	0.33	0.5328	0.4222	3
	126.18	1.665	2.664	2.112	3
并网点 2	107.63	0.33	0.5328	0.4950	3
	107.63	1.665	2.664	2.4751	3
并网点 3	117.27	0.33	0.5328	0.4543	3
	117.27	1.665	2.664	2.2716	3
并网点 4	105.27	0.33	0.5328	0.5061	3
	105.27	1.665	2.664	2.5306	3

第一级评估: 为提高光伏电站的效率, 投入运行的光伏电站均采用了最大功率追踪 (MPPT) 控制, 但是当外界辐照度、温度变动发生变化时, 其输出功率必然随之变动。根据最严重的情况, 取光伏电站每分钟的波动视在功率为额定功率的 10%, 即光伏电站每个接入点的容量 $\Delta S_{ma} \times = 3.33 \times 10 / 100 = 0.333\text{MW}$, 则 PCC 点的计算结果如表 6 所示。

表 6 闪变第一级评估计算结果

PCC	$\Delta S_{ma} \times / S_{sc}$	限值	评定结果
10kV 腾讯 2 号厂房 1 号专用开关站	0.263%	< 0.4%	合格
10kV 腾讯 2 号厂房 2 号专用开关站	0.309%	< 0.4%	合格
10kV 腾讯 1 号方仓专用开关站	0.283%	< 0.4%	合格
10kV 腾讯 1 号方仓专用开关站	0.316%	< 0.4%	合格

通过表 5 可以看出来, 此项目的电压波动小于限值, 均不超过 3% 国标值, 符合规定; 通过表 6 可看出 4 个 PCC 点满足第一级评估的规定, 无需进行第二级评估符合规定。

6 三相电压不平衡度结果

6.1 三相电压不平衡度计算依据

设公共连接点的正序阻抗与负序阻抗相等^[1], 则电压的负序不平衡度为:

$$\varepsilon_{U_2} = \frac{\sqrt{3}I_2 U_L}{S_k} \times 100(\%) \quad (1)$$

式 (1 中), ε_{U_2} 为负序电压不平衡度, 单位为 %; I_2 为负序电流值, 单位为安 (A); S_k 为公共连接点的三相短路容量, 单位为伏安 (VA); U_L 为线电压, 单位为伏 (V)。

6.2 三相电压不平衡度仿真计算结果

根据 ETAP 仿真软件, 仿真计算了腾讯清远云计算数据中心光伏发电并网引起公共连接点的负序电流值, 并计算得出电能质量考核点负序不平衡度, 计算结果如表 7 所示。

表 7 系统考核点电能质量考核点负序不平衡度及零序不平衡度结果

公共连接点	负序电流值	负序电压不平衡度	限值
10kV 腾讯 2 号厂房 1 号专用开关站	0.115kA	0.879%	1.3%
10kV 腾讯 2 号厂房 2 号专用开关站	0.084kA	0.784%	1.3%
10kV 腾讯 1 号方仓专用开关站	0.101kA	0.865%	1.3%
10kV 腾讯 1 号方仓专用开关站	0.079kA	0.753%	1.3%

通过表 7 可以看出来, 此项目的三相电压不平衡度的负序电压不平衡度低于国标 1.3% 的限值, 符合规定。

7 电压偏差结果

7.1 电压偏差计算依据

电压偏差指实际运行电压对系统标称电压的偏差相对值, 以百分数表示。其计算公式如式:

$$\delta U = \frac{U_{re} - U_N}{U_N} \times 100\%$$

式中, δU 为电压偏差; U_{re} 为运行电压, kV; U_N 为系统标称电压, kV。其中, 本项目取值 10kV。

7.2 电压偏差仿真计算结果

根据 ETAP 仿真软件, 仿真计算了此项目并网引起公共连接点的电压偏差。计算结果如表 8 所示。

表 8 系统考核点的电压偏差

公共连接点	运行电压	电压偏差	限值
10kV 腾讯 2 号厂房 1 号专用开关站	9.98	-0.2%	±7%
10kV 腾讯 2 号厂房 2 号专用开关站	9.44	-5.6%	±7%
10kV 腾讯 1 号方仓专用开关站	9.81	-1.9%	±7%
10kV 腾讯 1 号方仓专用开关站	9.39	-6.1%	±7%

由表8可知,此项目并网引起公共连接点的电压偏差数值小于限值±7%,符合标准。

8 无功补偿结果

8.1 无功补偿计算依据

光伏电站逆变器可发出无功功率,但考虑电站能为系统提供一定的无功储备容量,需配置无功补偿装置。光伏电站无功补偿容量应结合实际接入电网情况确定,其配置的容性无功补偿容量应为光伏电站额定出力时升压变压器无功损耗、线路无功损耗及线路充电功率之和,其配置的感性无功补偿容量应能够补偿全部线路的充电功率^[6]。

8.1.1 线路无功损耗计算公式

$$Q_L = 3I_e^2 \beta^2 X_L \times L \times 10^{-3}$$

Q_L 为线路电抗产生的无功损耗, Kvar; I_e 为变压器额定电流, A; β 为变压器负载率,取值为0.6; X_L 为线路等值电抗, Ω ; L 为线路长度, km。

8.1.2 线路充电功率计算公式

$$Q_C = U^2 \omega C / 1000 = U^2 2\pi f c L / 1000$$

Q_C 为线路电纳产生的充电功率, Kvar; U 为线路额定线电压, kV; f 为电力系统频率,取值为50Hz; C 为导线单相对地电容 μF ; c 为单位长度导线单相对地电容, $\mu\text{F}/\text{km}$ 。

8.1.3 变压器的无功损耗计算公式

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

Q_T 为变压器无功损耗, kvar; $U_K\%$ 为变压器阻抗电压占额定电压的百分数; $I_0\%$ 为变压器空载电流百分数; S 为变压器的计算功率, kVA; S_N 为变压器额定容量 kVA。

8.2 无功补偿仿真计算结果

根据上面计算公式,可以算出光伏电站无功功率损耗及充电功率,具体数据可以查看表9。

表9 光伏电站无功功率损耗及充电功率

序号	分类	总无功损耗 (kvar)	充电功率 (kvar)	备注
1	1600kVA 升压变	959.6	/	8台1600kVA箱变,短路电压百分比6%,空载电流百分值1%。
2	10kV 电缆线路	174.1	-29.4	YJV22-3*70mm ² /566m、YJV22-3*120mm ² /2220m
	合计	1133.7	-29.4	

为了增强光伏电站低电压耐受能力,降低脱网概率,建议光伏电站安装静止无功发生器(SVG),将计算结果取整,整个光伏电站容性无功补偿容量为1200kvar,感性无功补偿容量为1200kvar。考虑到每个地区电网规定补偿的容量不一样,补偿容量可配置在20%~30%之间。本项目按照25%配置,共有4个并网点,每个并网点配置容性800kvar~感性800kvar,总补偿容量为容性3200kvar~感性3200kvar,远远超出了计算的数据,满足要求^[7]。

9 结语

通过ETAP软件模拟仿真并且输入对应参数,把原本复杂的电能质量计算过程简化。得到了我们需要的谐波、电压波动和闪变、三相电压不平衡度、电压偏差、无功补偿数值,来核对是否符合规范要求。

参考文献

- [1] 中国航空规划设计研究总院有限公司组编.工业与民用配电设计手册第四版[M].北京:中国电力出版社,2016.
- [2] 陈丽.基于ETAP的光伏电站并网电能质量评估[J].河北电力技术,2017(04):59-62.
- [3] Chen Li.Impacts of Photovoltaic Power Station on Grid's Power Quality Based on ETAP.[J].HEBEI Electric Power, 2017,8(4):59-62.
- [4] GB/T14549—1993 电能质量 公用电网谐波[S].
- [5] GB/T12326—2008 电能质量 电压波动跟闪变[S].
- [6] GB/T15543—2008 电能质量 三相电压不平衡[S].
- [7] GB12325—2008 电能质量 供电电压允许偏差[S].