

ICS 27.160
F 12



中华人民共和国国家标准

GB/T 32826—2016

光伏发电系统建模导则

Guide for modeling photovoltaic power system

2016-08-29 发布

2017-03-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、符号..... 1

4 总则 2

5 潮流计算模型 3

6 短路电流计算模型 4

7 机电暂态分析模型 4

附录 A（资料性附录） 光伏方阵工程应用模型 7

附录 B（资料性附录） 逆变器机电暂态分析Ⅰ型模型 8

附录 C（资料性附录） 逆变器机电暂态分析Ⅱ型模型 14

附录 D（资料性附录） 逆变器机电暂态分析Ⅲ型模型 18

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出并归口。

本标准起草单位：中国电力科学研究院。

本标准主要起草人：朱凌志、丁杰、曲立楠、陈宁、施涛、葛路明、赵亮、迟永宁、董存、姜达军、李琰、安宁、赵大伟、钱敏慧、韩华玲。

光伏发电系统建模导则

1 范围

本标准规定了用于电力系统分析计算的光伏发电系统建模技术要求,模型类型包括潮流计算模型、短路电流计算模型、机电暂态分析模型。

本标准适用于通过 10(6)kV 及以上电压等级与公共电网连接的光伏发电系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 19964 光伏发电站接入电力系统技术规定

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

光伏发电系统 photovoltaic(PV) power system

利用光伏电池的光生伏特效应,将太阳辐射能直接转换成电能的发电系统,一般包含变压器、逆变器和光伏方阵,以及相关辅助设施等。

3.1.2

逆变器 inverter

将直流电变换成交流电的设备。

3.1.3

光伏发电单元 photovoltaic (PV) power unit

光伏发电系统中,一定数量的光伏组件以串并联的方式连接,通过直流汇流箱和直流配电柜多级汇集,经光伏逆变器逆变与升压变压器升压成符合电网频率和电压要求的电源。

3.1.4

并网点 point of interconnection

对于有升压站的光伏发电系统,指升压站高压侧母线或节点,对于无升压站的光伏发电系统,指光伏发电系统的输出汇总点。

3.1.5

最大功率点跟踪 maximum power point tracking

利用控制方法使光伏方阵运行在最大输出功率点。

3.1.6

故障穿越 fault ride through

当电力系统事故或扰动引起光伏发电系统并网点电压或频率变化时,在一定的电压、频率变化范围和时间间隔内,光伏电站能够保证不脱网连续运行。

3.1.7

功率型节点 PQ node

电力系统潮流计算中的一种节点类型,该节点有功功率和无功功率注入为给定值,电压幅值和相角为待求量。

3.1.8

电压型节点 PV node

电力系统潮流计算中的一种节点类型,该节点有功功率注入和电压幅值为给定值,电压相角和无功功率注入为待求量。

3.2 符号和代号

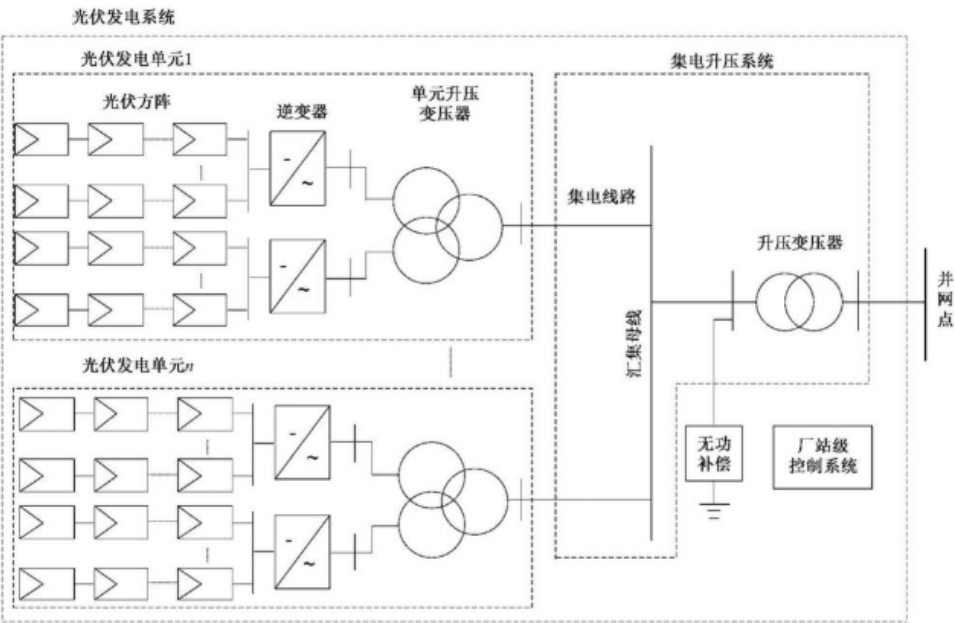
下列符号和代号适用于本文件。

- $\dot{I}_{ac}$ —— 机电暂态分析模型中,逆变器交流侧三相电流相量。
- I_{array} —— 机电暂态分析模型中,光伏方阵输出电流。
- I_N —— 逆变器交流侧额定电流。
- I_S —— 短路电流计算模型中,逆变器交流侧最大输出电流,即电流饱和限值。
- P —— 机电暂态分析模型中,逆变器输出有功功率。
- P_1 —— 机电暂态分析模型中,光伏发电单元 1 输出有功功率。
- P_n —— 机电暂态分析模型中,光伏发电单元 n 输出有功功率。
- P_{ord} —— 机电暂态分析模型中,逆变器有功功率控制指令。
- $P_{ord,1}$ —— 机电暂态分析模型中,厂站级控制系统对光伏发电单元 1 的有功功率控制指令。
- $P_{ord,n}$ —— 机电暂态分析模型中,厂站级控制系统对光伏发电单元 n 的有功功率控制指令。
- Q —— 机电暂态分析模型中,逆变器输出无功功率。
- Q_1 —— 机电暂态分析模型中,光伏发电单元 1 输出无功功率。
- Q_n —— 机电暂态分析模型中,光伏发电单元 n 输出无功功率。
- Q_{ord} —— 机电暂态分析模型中,逆变器无功功率控制指令。
- $Q_{ord,1}$ —— 机电暂态分析模型中,厂站级控制系统对光伏发电单元 1 的无功功率控制指令。
- $Q_{ord,n}$ —— 机电暂态分析模型中,厂站级控制系统对光伏发电单元 n 的无功功率控制指令。
- U_{dc} —— 机电暂态分析模型中,逆变器直流侧电压。
- U_m —— 机电暂态分析模型中,光伏方阵最大功率点电压。
- $\dot{U}_{term}$ —— 机电暂态分析模型中,逆变器交流侧三相电压相量。

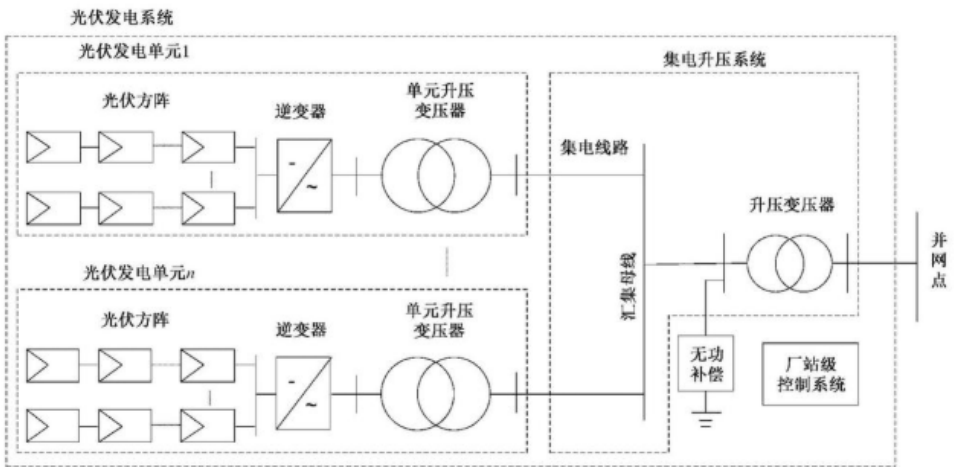
4 总则

4.1 光伏发电系统模型应能满足大型电力系统分析计算的需求,应在广泛使用的电力系统分析软件中实现。

4.2 光伏发电系统由多个光伏发电单元、集电线路、站内升压变压器、站内无功补偿装置以及厂站级控制系统等组成,如图 1 所示。光伏发电系统的模型由光伏发电单元模型、站内集电升压系统模型及厂站级控制系统模型构成,无功补偿设备应单独建模。



a) 光伏发电系统典型结构一



b) 光伏发电系统典型结构二

图 1 光伏发电系统典型结构

5 潮流计算模型

- 5.1 电力系统潮流计算中,光伏发电系统模型宜等值为单机模型。
- 5.2 根据不同的控制模式,光伏发电系统宜视为 PQ 节点和 PV 节点。
 - 5.2.1 PQ 节点:功率控制模式下,光伏发电系统的有功功率和无功功率按设定值给出。
 - 5.2.2 PV 节点:电压控制模式下,光伏发电系统的有功功率和电压幅值按设定值给出;光伏发电系统的无功功率应按照实际的最大、最小能力设定上下限,当无功功率达到限值时应自动转为 PQ 节点。

5.3 宜根据光伏发电系统接入电压等级确定单机模型中升压变压器级数,如图 2 所示。

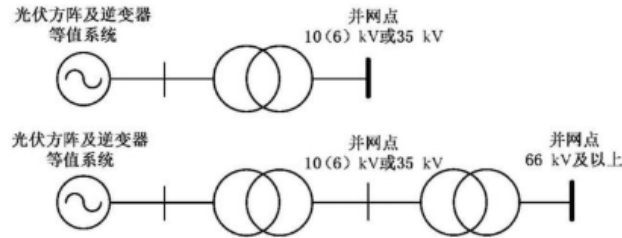


图 2 光伏发电系统潮流计算模型

6 短路电流计算模型

6.1 光伏发电系统的短路电流为电力系统发生三相短路故障时光伏发电系统输出的最大电流。

6.2 交流侧短路故障时,逆变器宜等效为一个电流源,其最大输出电流为电流饱和限值 I_S :

$$I_S = k \cdot I_N$$

式中:

I_S ——逆变器最大输出电流,即电流饱和限值,标么值;

I_N ——逆变器额定电流,标么值;

k ——逆变器电流饱和系数,典型值取 1.2~1.5。

6.3 光伏发电系统网侧短路故障时,光伏发电系统短路电流可取系统内全部逆变器短路电流叠加之和。

7 机电暂态分析模型

7.1 基本要求

7.1.1 机电暂态分析模型应能模拟光伏发电系统的有功功率控制、无功功率控制、故障穿越等电气控制特性,并能反映环境变化、电力系统故障或扰动时光伏发电系统并网点的电气特性,且通过测试验证。

7.1.2 机电暂态分析模型应能满足步长为 1 ms~10 ms 机电暂态仿真计算的需求,并能够根据潮流计算结果完成初始化。

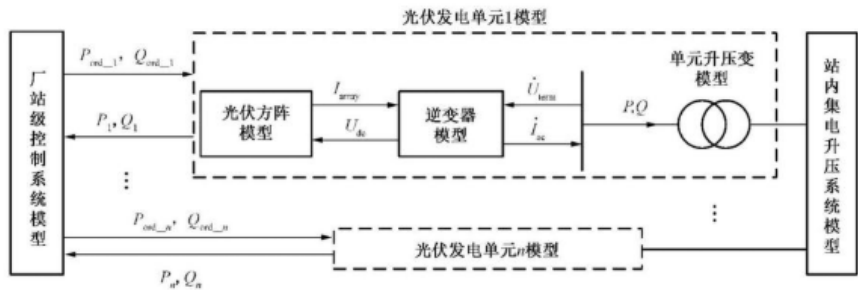
7.1.3 机电暂态分析模型宜包含所有光伏发电单元模型、站内集电升压系统模型,以及厂站级控制系统模型。对于多个由同一型号、相同容量的光伏方阵和逆变器构成的光伏发电单元,可用倍乘方式等值为单一单元。

7.1.4 机电暂态分析模型参数应采用标么值,基准容量宜选取光伏发电系统内全部逆变器额定功率之和。

7.2 模型构成

7.2.1 光伏发电系统的机电暂态详细模型应由多个光伏发电单元模型、站内集电升压系统模型以及厂站级控制系统模型构成,如图 3 所示。

7.2.2 光伏发电单元机电暂态分析模型应包含光伏方阵模型、逆变器模型、单元升压变压器模型三个部分。



说明：

$\dot{I}_{ac}$ ——机电暂态分析模型中，逆变器交流侧三相电流相量；

I_{array} ——机电暂态分析模型中，光伏方阵输出电流；

P ——机电暂态分析模型中，逆变器输出有功功率；

P_1 ——机电暂态分析模型中，光伏发电单元 1 输出有功功率；

P_n ——机电暂态分析模型中，光伏发电单元 n 输出有功功率；

P_{ord_1} ——机电暂态分析模型中，厂站级控制系统对光伏发电单元 1 的有功功率控制指令；

P_{ord_n} ——机电暂态分析模型中，厂站级控制系统对光伏发电单元 n 的有功功率控制指令；

Q ——机电暂态分析模型中，逆变器输出无功功率；

Q_1 ——机电暂态分析模型中，光伏发电单元 1 输出无功功率；

Q_n ——机电暂态分析模型中，光伏发电单元 n 输出无功功率；

Q_{ord_1} ——机电暂态分析模型中，厂站级控制系统对光伏发电单元 1 的无功功率控制指令；

Q_{ord_n} ——机电暂态分析模型中，厂站级控制系统对光伏发电单元 n 的无功功率控制指令；

U_{dc} ——机电暂态分析模型中，逆变器直流侧电压；

$\dot{U}_{term}$ ——机电暂态分析模型中，逆变器交流侧三相电压相量。

图 3 光伏发电系统机电暂态分析模型连接关系

7.2.3 光伏方阵模型应能反映不同辐照度和温度下光伏方阵的光电转换特性，光伏方阵模型可按附录 A 工程应用模型建立。

7.2.4 逆变器模型应能反映逆变器并网电气特性，至少应包括并网接口和控制保护两部分，其连接关系如图 4 所示。逆变器模型可按附录 B 的 I 型、附录 C 的 II 型或者附录 D 的 III 型模型建立。

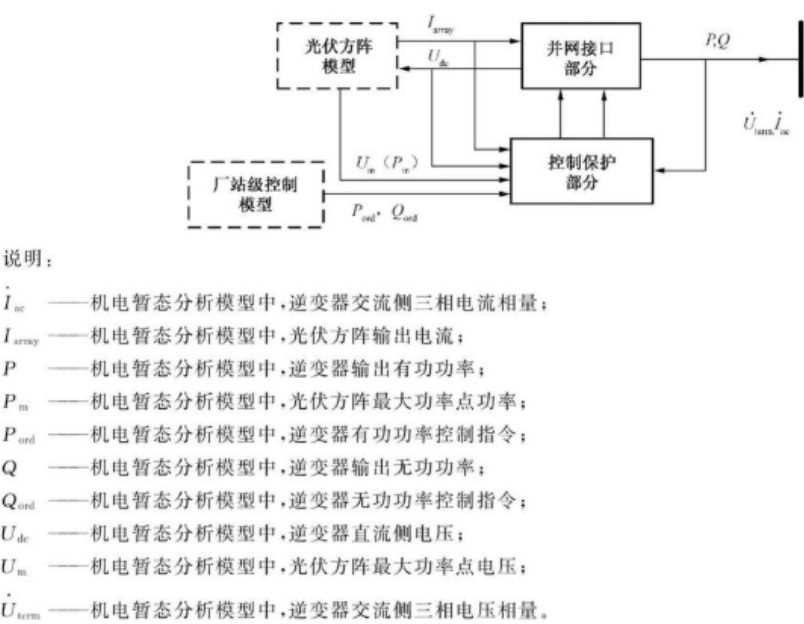


图 4 逆变器机电暂态分析模型连接关系

附录 A
(资料性附录)
光伏方阵工程应用模型

光伏方阵工程应用模型模拟不同辐照度和温度下光伏方阵的光电转换特性。输入量包括：太阳辐照度 S ，工作温度 T ，光伏方阵直流工作电压 U_{dc} ；输出量为光伏方阵输出电流 I_{array} 。

在给定太阳辐照度 S 和工作温度 T 下，光伏方阵 I - V 特性如下式表示：

$$\begin{aligned} I_m &= I_{m_sta} \cdot \frac{S}{S_{ref}} \cdot [1 + a(T - T_{ref})] \\ U_m &= U_{m_sta} \cdot [1 - c(T - T_{ref})] \cdot \ln[e + b(S - S_{ref})] \\ I_{SC} &= I_{SC_sta} \cdot \frac{S}{S_{ref}} \cdot [1 + a(T - T_{ref})] \\ U_{OC} &= U_{OC_sta} \cdot [1 - c(T - T_{ref})] \cdot \ln[e + b(S - S_{ref})] \\ P_m &= U_m \cdot I_m \\ I_{array} &= I_{SC} [1 - \alpha(e^{\beta U_{dc}} - 1)] \end{aligned}$$

其中，

$$\begin{aligned} \alpha &= \left(\frac{I_{SC_sta} - I_{m_sta}}{I_{SC_sta}} \right)^{\frac{U_{OC_sta}}{U_{OC_sta} - U_{m_sta}}} \\ \beta &= \frac{1}{U_{OC}} \ln \left(\frac{1 + \alpha}{\alpha} \right) \end{aligned}$$

式中：

- a —— 计算常数，由硅材料构成的光伏方阵典型值为 $0.0025/^\circ\text{C}$ ；
 - b —— 计算常数，由硅材料构成的光伏方阵典型值为 0.0005 ；
 - c —— 计算常数，由硅材料构成的光伏方阵典型值为 $0.00288/^\circ\text{C}$ ；
 - I_{array} —— 光伏方阵输出电流，单位为安培(A)；
 - I_m —— 光伏方阵最大功率点电流，单位为安培(A)；
 - I_{m_sta} —— 光伏方阵标准测试条件最大功率点电流，单位为安培(A)；
 - I_{SC} —— 光伏方阵短路电流，单位为安培(A)；
 - I_{SC_sta} —— 光伏方阵标准测试条件短路电流，单位为安培(A)；
 - P_m —— 光伏方阵最大功率点功率，单位为瓦特(W)；
 - S —— 太阳辐照度，单位为瓦特每平方米(W/m^2)；
 - S_{ref} —— 标准测试条件下的太阳辐照度， $S_{ref} = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$ ；
 - T —— 光伏方阵工作温度，单位为摄氏度($^\circ\text{C}$)；
 - T_{ref} —— 标准测试条件下的工作温度， $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$ ；
 - U_{dc} —— 光伏方阵直流工作电压，即逆变器直流侧电压，单位为伏特(V)；
 - U_m —— 光伏方阵最大功率点电压，单位为伏特(V)；
 - U_{m_sta} —— 光伏方阵标准测试条件下最大功率点电压，单位为伏特(V)；
 - U_{OC} —— 光伏方阵开路电压，单位为伏特(V)；
 - U_{OC_sta} —— 光伏方阵标准测试条件下开路电压，单位为伏特(V)。
- 工作温度 T 与环境温度 T_{air} 、太阳辐照度 S 的关系式：

$$T = T_{air} + K \cdot S$$

式中：

- K —— 计算常数，由硅材料构成的光伏方阵典型值为 $0.03^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ 。