

# 分布式光伏发电并网数字化建模与仿真

杜 琛

宁夏国信检研科技有限公司 宁夏 银川 750026

**【摘要】**要提高光伏发电综合利用效率,就必须开展分布式光伏发电并网控制技术的研究。采用最大值(MPPT)控制策略,对分布式光伏并网过程进行建模,并对其进行仿真,分析不同光强条件下的光伏系统出力随光强的变化规律。同时,采用 MPPT 控制器对分布式光伏系统的最大功率进行跟踪,从而使分布式光伏系统的最大功率得到有效提升。在此基础上,提出基于滑动薄膜控制的光伏并网逆变器的新方法。仿真结果表明,控制策略能够高效跟踪最大输出,从而达到分布式光伏发电并网系统的运行要求。本文对分布式光伏发电并网数字化建模与仿真进行了详细探讨

**【关键词】**光伏发电;滑膜控制;输出功率;网压

随着我国日益严重的能源危机与环境问题,我国的清洁能源开发工作得到了极大的发展。太阳能是一种新型的无公害能源,由于其无污染、安全、稳定、易于获取等特点而备受关注。无论是在近期、远期、能源环保方面,还是在偏远、特定的应用领域,都有着巨大发展潜力。因此,对太阳能电池板的研究具有重要价值和现实意义。

## 1. 新能源发电的背景和意义

能源已成为人类赖以生存与发展的重要力量与资源。随着社会发展与进步,矿物资源储备也越来越少。在我国,根据政府数据,近年,中国的石油进口量就达到了 1.5 亿吨!在当前消费水平下,中国现有的能量储备最多只能维持 50 年。值得庆幸的是,在科技进步过程中,人们已经发现了许多新能源,如核能、地热、潮汐能、风力和太阳能。由于化石能源的限制以及环保压力,许多国家都加大了对这种新的、绿色、可再生能源的开发力度。目前,德国和丹麦等国的新能源电力装机容量已达相当高的程度。为了推动可再生能源发展,世界各地不但在可再生能源技术的研发上不断增加投资,而且在立法和政策上都纷纷出台各种措施,对可再生能源开发与利用进行了积极扶持,并加速了可再生能源的发展速度。特别是《中华人民共和国可再生能源法》的出台,可以促进可再生能源开发,促进了我国发展循环经济,综合各种方面因素来看,太阳能绝对是一种适合于可持续发展理想的绿色能源,并且它还将会是 21 世纪最主要的一种能源。

## 2. 光伏电池模型

光伏电池是太阳能发电系统的一个重要组成部分,它的主要功能是以电能替代光能。通过分析太阳能电池在电力网中的输出量,可以得到太阳能电池在电力网中所需要的能量。太阳能电池基于 PN 结光生电压的特点,

将所接受的光转换成直流电,具有与二极管相似的特性。在最大功率点(MPPT)控制下,采用二极管(MPPT)模型对光伏系统进行建模,建立相应的等效数学模型。

基于电子电路理论,建立太阳能电池的 I-V 方程。其表达式如下:

$$I = I_{ph} - [ \exp(q(V + I R_s) / n K N_s T) - 1 ] I_{sh} \quad (1)$$

其中,  $I_{ph}$  为光生电流,  $q$  为电量,  $V$  为电压,  $I$  为电流,  $R_s$  表示一个等值的串联电阻,  $n$  表示一个电荷数,  $K$  表示蓄电池的短时间内的电流, 其中,  $N_s$  为系统所需供电功率的个数,  $T$  为系统工作温度,  $I_{sh}$  表示一个平行的等值电流。

光生电流  $I_{ph}$  在不同光照条件下可通过下式计算得到:

$$I_{ph} = [ I_{sc} + K_i (T - 298) ] 10 G / G_0 \quad (2)$$

其中  $G$  为太阳辐射量。通过在(1)中替换(0,  $I_{sc}$ ), 可以得到短路电流  $I_{sc}$ 。

在等效电路中的函数表达式:

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 [ \exp(q(I_{sc} R_s) / n K N_s T) - 1 ] - I_{sc} R_s R_{sh} \quad (3)$$

将( $V_{oc}$ , 0)代入式(1)中, 当等效电路在分布式光伏系统中处于开路状态下, 有以下式:

$$I_{ph} - I_0 [ \exp(q V_{oc} / n K N_s T) - 1 ] - V_{oc} R_{sh} = 0 \quad (4)$$

式中,  $V_{oc}$  为光伏发电系统的开路电压,  $I_0$  为二极管中出现的逆饱和电流, 其可由下式计算出:

$$I_0 = I_{rs} T^n (j_3 \times \exp(-E_{go} / T))^{-1} n K \quad (5)$$

其中,  $E_{go}$  为半导体禁带能量;  $I_{rs}$  表示在标准的环境下, 二极管有逆变的饱和电流。

按照以上步骤建立了一个分布式光伏发电系统中的光伏电池等价数学模型, 其中的详细参数见表 1。

表 1 参数信息

参数	具体数值
电流温度系数	0.016( %/°C )
最大功率	230.04( W )
电压温度系数	-0.31( %/°C )
单元模块	72
最大功率点电流	5.68( A )
开路电压	48.2( V )
最大功率点电压	40.5( V )
短路电流	6.05( A )

### 3. 光伏电池阵列的建模

#### 3.1. 光伏电池阵列的数学模型

太阳能电池的基本性能可以表示为电流与电压的关系，而电流与电压的关系则由其它一组参量表示。其中，光辐射对太阳光辐射的影响最大，主要取决于太阳光辐射对电池表面的影响。它由串并联电阻、二极管和光生电流三部分构成，即光生电流，在照明条件不变的情况下，它可以被等价为一个恒流源。当负载连接到电池的两个端部时，其端部的电压会反馈到 P-N 结，从而导致光生电流的反向变化。在此基础上，提出一种基于 SP-N 结深度、半导体材料纯度及接触电阻的串联等效电阻 R。较大的串联电阻会导致线损增加，降低光电转换效率，旁通电阻和从蓄电池到接地的漏电呈反比例关系。

#### 3.2. 逆变电路设计

电网可以被看作是一个具有无限大容量的交流电压源，如果要确保系统的稳定运行，就需要对并网系统的输出电压幅度与相位口都进行严格控制。在这样的情况下，电力系统中很容易产生回路，造成系统的不稳定。本文提出了一种基于单相全桥的单相全桥脉宽调制逆变器，该逆变器由 4 个功率半导体器件和 1 个输出电感组成。脉宽调制逆变器要输出与电网电压同相的电流，进而获得单位功率因数，因此，通过电流反馈控制方案，可以实现对 4 个功率开关的通断，减少负荷变化带来的影响。本项目提出了一种电流滞环反馈控制策略，通过滞环控制策略，通过对设定的并网电流的正弦波与真实并网电流进行比较，得到误差信号，再通过该控制策略，生成脉冲宽度调制信号，从而实现对电源开关的控制，从而使得并网电流的频率和相位均为正弦波，且与网电流具有相同的频率和相位<sup>[1]</sup>。

### 4. 太阳光光照强度模型

下面将重点对一个固定地点一天之内的光照强度变化进行分析和模拟。通常，一个特定地点一日的强光

可以看作是一个随机变量，它符合某种分布法则。通过对实测数据的分析，得出白天的光强变化趋势符合正态性分布。

举例而言，以内蒙为例，其光照强度在上午 6 点时为光伏发电系统工作的最小限度，在中午 13:00-14:00 时为一日中最大限度，在下午 5:30 时则下降至光伏发电系统工作的最小限度。一天中的光线强度可以这样来进行建模:上午 6 点，按时间顺序呈直线上升，这时，系统就会启动，在 13 点到 14 点之间，最大值出现在 13 点到 14 点之间，然后，按时间顺序呈直线下降，在 5 点 30 分时，最小值出现，这时，系统就会停止运行。为便于分析，对每一节进行特定功能化处理，并考虑到各种扰动(如影子、云等)，取方差 0.001(标么值)。从实际情况来看，最佳的分布形式应该是 Beta 分布，其概率密度分布为:

$$\beta_{m,n} = \frac{1}{B(m,n)} x^{m-1} (1-x)^{n-1}$$

这里 m, n 是一个正数, Euler 的一个 B 函数是一个规整因子 B(m, n), 并且它的值满足下面的公式:

$$B(m,n) \int_0^1 x^{m-1} (1-x)^{n-1} dx = \frac{\Gamma(m)\Gamma(n)}{\Gamma(m,n)}$$

$\Gamma(\cdot)$  作为 gamma 的函数, m, n 的取值应根据实际情况而定, 因为在进行模拟的过程中, m, n 很难确定, 而且 Beta 分布序列的生成也很困难, 所以可以使用经过改进的正态分布来取代 Beta 分布。在确定了光强随机变量的分布、平均值、方差之后, 就可以进行模拟, 得出光强模型如下<sup>[2]</sup>:

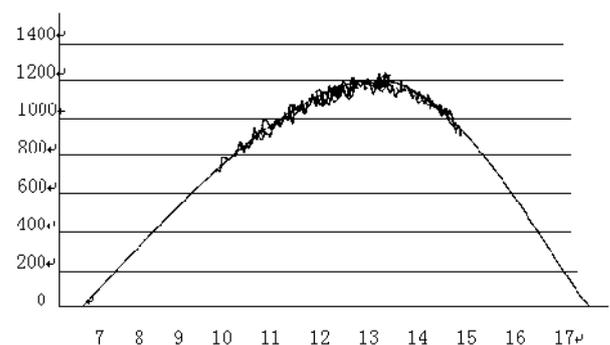


图 2 内蒙古地区一天内光照强度变化曲线

### 5. 光伏发电 MPPT 技术

在太阳能光伏发电系统中，太阳能的利用不仅取决于太阳能电池自身的性能，而且还受到周围环境、温度等诸多因素的影响。在各种外部环境下，太阳能电池的最大输出可以达到一个单一的最大输出。所以，对太阳

能光伏发电系统而言,应该寻找最佳的太阳能电池,使其在最大程度上转化为电能。最大功率点跟踪技术是通过太阳能电池进行控制来达到最大输出功率的技术。由于受到环境温度、辐照度等因素的影响,其工作状态呈现出明显非线性,所以用数学模型来准确描述其工作状态是困难的。如果能够利用控制器来实时调整负荷的阻抗,并使之与光伏电池的输出阻抗相一致,则可达最大功率点最大值<sup>[3]</sup>。

## 6. 结语

总之,由于具有得天独厚的区位优势,我们拥有比世界上大部分国家更好的太阳能资源。在实现“美好中国”和实现“节能减排”目标下,开展太阳能光伏并网

技术研究已成为我国实现“绿色低碳”目标的必由之路。在交流电网电压不平衡、逆变系统被干扰的情况下,由于受到系统参数的影响,并网逆变器在系统中的输出电流波形畸变率很大,因此,在这种情况下,有必要开展并网控制技术的研究,以增强电网的鲁棒性和适应性。

## 【参考文献】

[1]林燕.分布式光伏接入对电网调控运行的影响及解决对策[J].光源与照明,2022,No.175(12):97-99.

[2]谭勇林.新能源发电技术在电力系统中的应用[J].光源与照明,2022,No.175(12):240-242.

[3]刘景龙,郭韵.分布式光伏发电并网数字化建模与仿真[J].计算机仿真,2022,39(09):96-100.