

1-15-2021

## Impact of Number of Solar Cells in Parallel/Series and Temperature on Junction Capacitance

Zhigang Zhao

*School of Mechatronic Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;*

Chunjie Zhang

*School of Mechatronic Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;*

Gao Pu

*School of Mechatronic Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;*

Hutang Sang

*School of Mechatronic Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;*

*See next page for additional authors*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Impact of Number of Solar Cells in Parallel/Series and Temperature on Junction Capacitance

## Abstract

**Abstract:** The study to the dynamic parameters of the photovoltaic cell is of crucial importance for the design of the corresponding afterward stage controller in the photovoltaic power generation system. Beginning with the analysis to physical mechanism of the photovoltaic cell, more accurate equivalent formulation of the junction voltage and bias voltage of the photovoltaic cells /module/array was deduced, *and the explicit formulation between the bias voltage and output voltage was received by using the Lambert W function based on equivalent series resistance and the saturation current. The formulation was adopted which combined the engineering mathematics model and intrinsic carrier concentration to deduce the precise relation between the equivalent capacitance and the temperature.* The simulated analysis was made to the impact of the equivalent junction capacitance respectively under different serial/parallel numbers and different temperatures. The simulated result is in accordance with the experimental result of parts of literatures, which verifies the validity of the theory.

## Keywords

photovoltaic cells, photovoltaic module (array), dynamic model, junction capacitance, temperature

## Authors

Zhigang Zhao, Chunjie Zhang, Gao Pu, Hutang Sang, and Xiaoqian Li

## Recommended Citation

Zhao Zhigang, Zhang Chunjie, Gao Pu, Sang Hutang, Li Xiaoqian. Impact of Number of Solar Cells in Parallel/Series and Temperature on Junction Capacitance[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(6): 1394-1400.

## 串并联个数和温度对光伏电池结电容的影响研究

赵志刚, 张纯杰, 高溥, 桑虎堂, 李晓黔

(兰州交通大学机电工程学院, 兰州 730070)

**摘要:** 研究光伏电池的动态参数对设计光伏发电系统相应后级控制器至关重要。从分析光伏电池物理机理出发, 推导出光伏电池单体/模组/阵列的结电容与偏置电压之间的较精确表达式; 在提取模型中等效串联电阻和饱和电流的值得基础上, 使用 Lambert  $W$  函数推导出偏置电压与输出电压之间的显式表达式; 采用工程数学模型结合本征载流子浓度表达式推导了结电容与温度的较精确关系式; 分别在不同串并联个数和温度下对结电容的影响做了仿真分析。仿真结果与部分文献的实验结果相吻合, 验证了理论的正确性。

**关键词:** 光伏电池; 光伏模组(阵列); 动态模型; 结电容; 温度

中图分类号: TM615      文献标识码: A      文章编号: 1004-731X (2015) 06-1394-07  
DOI: 10. 16182/j. cnki. joss. 2015. 06. 034

## Impact of Number of Solar Cells in Parallel/Series and Temperature on Junction Capacitance

Zhao Zhigang, Zhang Chunjie, Gao Pu, Sang Hutang, Li Xiaoqian

(School of Mechatronic Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The study to the dynamic parameters of the photovoltaic cell is of crucial importance for the design of the corresponding afterward stage controller in the photovoltaic power generation system. Beginning with the analysis to physical mechanism of the photovoltaic cell, more accurate equivalent formulation of the junction voltage and bias voltage of the photovoltaic cells /module/array was deduced, and the explicit formulation between the bias voltage and output voltage was received by using the Lambert  $W$  function based on equivalent series resistance and the saturation current. The formulation was adopted which combined the engineering mathematics model and intrinsic carrier concentration to deduce the precise relation between the equivalent capacitance and the temperature. The simulated analysis was made to the impact of the equivalent junction capacitance respectively under different serial/parallel numbers and different temperatures. The simulated result is in accordance with the experimental result of parts of literatures, which verifies the validity of the theory.

**Keywords:** photovoltaic cells; photovoltaic module (array); dynamic model; junction capacitance; temperature

## 引言

为了使光伏发电系统实现高功率密度、小体积和轻质量, 降低发电成本, 需要追踪光伏电池的最

大功率点。同时, 需要在光伏系统中引入高速开关模式的功率调节器<sup>[1]</sup>, 考虑到光伏电池的输出特性受温度变化敏感, 光伏电池的工作会受到高频变化的扰动, 存在一些交流/动态参数, 而最重要的动态参数之一为光伏电池结电容, 反映了在温度或频率的变化时, 光伏电池某一工作点电压的变化特性, 增加了光伏电池等效电路的容性, 进而影响最大功率点的追踪和光伏发电系统的稳定性。因此,



收稿日期: 2014-05-29      修回日期: 2014-07-16;  
作者简介: 赵志刚(1975-), 男, 甘肃庆阳人, 博士, 副教授, 研究方向为光伏发电技术等; 张纯杰(1989-), 男, 甘肃金昌, 硕士生, 研究方向为光伏发电系统的建模。

<http://www.china-simulation.com>

• 1394 •

研究光伏电池的动态参数(尤其是结电容)对动态模型的确立以及后级转换器相关参数的优化设计具有指导作用<sup>[2-3]</sup>。

少有文献深入研究光伏电池/模组/阵列的动态参数。文献[2,4]推导出了光伏电池单体的动态模型参数的表达式,但推导的结电容的表达式并没有考虑由于部分遮光等非均一工况下产生的反向偏置电压的情形;文献[5]得出结电容是由势垒电容和扩散电容组成,但只是给出了光伏电池单体的结电容表达式,没有扩展到光伏模组/阵列的情形;文献[6]全面考虑了反向偏置和正向偏置时光伏模组的结电容,阐述了结电容与偏置电压的关系,但光伏电池的输出特性由光伏电池的输出电压表征,故推导出的结电容表达式不能反映结电容对光伏电池输出特性的影响;文献[7]定性总结了光伏电池的串/并联个数对结电容的影响,但缺乏定量的分析。

本文首先分析了光伏电池等效电路在非稳态条件下的电容效应、阻抗效应和感抗效应,得出光伏电池的动态模型;其次,推导出光伏电池单体/模组/阵列的势垒电容、扩散电容和结电容与偏置电压之间的较精确关系式;在此基础上,从提取光伏电池非动态参数出发,根据光伏电池的输出特性表达式推导出偏置电压和光伏电池输出电压之间的显示表达式;然后推导了结电容与温度之间的较精确表达式;最后分别在串并联个数变化、不同温度下对结电容的影响做了仿真分析,并给出了定性的结论。

## 1 光伏电池单体的动态模型

作为一个大平面 PN 结的光伏电池单体,建模时可以等效为光生电流源和包含了等效串并联电阻的理想二极管,故能表现出以势垒电容( $C_j$ )和扩散电容( $C_d$ )为主导的电容特性,同时产生小信号输出阻抗( $r$ )。为了避免在较大正向偏置电压和高频扰动的工况下 PN 结产生较高的容性和阻抗效应,引入一个寄生电感( $L$ )与等效串联电阻( $R_s$ )串联。其动

态模型电路如图 1 所示。

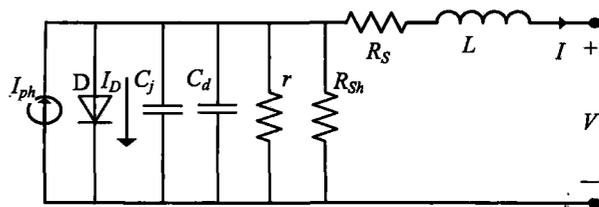


图1 光伏电池的动态电路模型

势垒电容,表现在耗尽区边缘的多数载流子随偏置电压的时域变化时,引起 PN 结交界处的势垒区电荷数量的改变。设光伏电池 PN 结为突结,可以表示为<sup>[8]</sup>:

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V_d}{V_{bi}}}} \quad (1)$$

$$C_{j0} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{si} A}{\sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon_{si}}{q} \left( \frac{N_A \cdot N_D}{N_A + N_D} \right) V_{bi}}} \quad (2)$$

$$V_{bi} = V_t \ln \left( \frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right) \quad (3)$$

式中,  $\epsilon_0$  表示自由空间的介电常数,其值约为  $8.86 \times 10^{-14}$  F/cm,  $\epsilon_{si}$  表示硅介电常数,取为 11.7<sup>[8]</sup>,  $V_d$  为偏置电压,  $V_{bi}$  为接触电势差,  $N_A$  为受主浓度,  $N_D$  为施主浓度,对于硅材料,  $N_A$  为  $1.015 \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_D$  为  $1.020 \text{ cm}^{-3}$ <sup>[9]</sup>;  $C_{j0}$  表示偏置电压为 0 时的势垒电容;  $n_i$  表示本征载流子浓度。

扩散电容( $C_j$ ),体现在少数载流子数量分布随偏置电压变化的快慢程度。可以定义为<sup>[7]</sup>:

$$C_d = \frac{dQ}{dV_d} = \frac{\tau_p}{r} = \frac{\tau_p (I_s + I_d)}{V_t} \quad (4)$$

其中,  $\tau_p$  表示少数载流子的寿命,取为  $1 \mu\text{s}$ <sup>[9]</sup>;  $r$  为小信号输出阻抗。

势垒电容与扩散电容以并联方式构成光伏电池结电容( $C$ ),在数值上等价为两容值之和<sup>[5]</sup>:

$$C = C_j + C_d \quad (5)$$

同样的,小信号输出阻抗与等效并联电阻以并

联方式构成动态并联电阻( $R_p$ )。因此图 1 可以等效为图 2<sup>[10]</sup>。

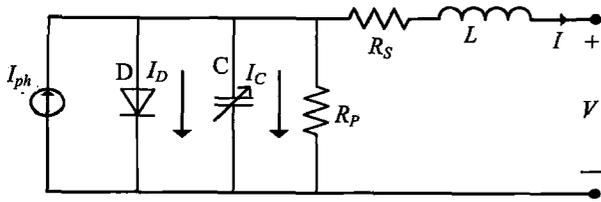


图2 光伏电池的动态等效电路模型

## 2 光伏电池非动态参数的提取

光伏电池非动态参数的提取是建立光伏电池模型的关键和提取光伏电池动态模型参数的前提。根据现有厂商提供的硅太阳能电池的参数,建立光伏电池的模型,同时,做如下假设:

(1) 忽略等效并联电阻对光伏系统的影响,即  $R_{sh} \rightarrow \infty$ ;

(2) 忽略光伏电池等效电路输出短路时流过二极管反向漏电流,则可以近似为:  $I_{ph}=I_{sc}$ ;

(3) 光伏电池为 1 个理想的 PN 结,即理想因子  $n=1$ ;

根据基尔霍夫定律和肖克利二极管方程列出光伏电池单体的 I-V 特性曲线方程<sup>[11]</sup>:

$$I = I_{sc} - I_s \left[ \exp\left(\frac{IR_s + V}{V_t}\right) - 1 \right] \quad (6)$$

$$V_t = \frac{KT}{q} \quad (7)$$

其中,  $I_s$  表示流过二极管的反向饱和电流,  $V_t$  表示热电压,  $K$  为波兹曼常数,  $q$  为电子电荷,  $T$  为光伏电池表面温度。

当光伏电池处于开路状态时,  $V=V_{oc}, I=0$ , 带入方程(6)可提取出反向饱和电流的大小:

$$I_s = \frac{I_{sc}}{\exp(V_{oc}/V_t) - 1} \quad (8)$$

当光伏电池工作在最大功率点时,  $V=V_m, I=I_m$ , 由此提取出等效光伏电池单体串联电阻的大小, 即:

$$R_s = \frac{1}{I_m} \left( V_t \ln\left(1 + \frac{I_{sc} - I_m}{I_s}\right) - V_m \right) \quad (9)$$

## 3 光伏模组/阵列的结电容

光伏电池非动态参数的提取是求解光伏电池/模组/阵列结电容的前提和基础; 求解光伏电池 I-V 特性显示方程是实现偏置电压和光伏电池输出电压之间转换关系的桥梁。对于由光伏电池单体以串/并联的方式组成的光伏模组/阵列, 其 I-V 特性曲线在方程(6)的基础上改写为:

$$I_{tot} = N_p I_{sc} - N_p I_s \cdot \exp\left(\frac{I_{tot} R_s}{N_p V_t} + \frac{V_{tot}}{N_s V_t}\right) + N_p I_s \quad (10)$$

式中,  $I_{tot}$  和  $V_{tot}$  分别为光伏模组/阵列的电流和电压。注意到, 方程(10)为隐式方程, 采用 Lambert W 函数进行显式转换<sup>[12]</sup>:

$$I_{tot} = N_p (I_s + I_{sc}) - \frac{N_p V_t}{R_s} \text{LambertW}(x) \quad (11)$$

$$x = \frac{R_s I_s}{V_t} \exp\left(\frac{V_{tot}}{N_s V_t} + \frac{R_s (I_{sc} + I_s)}{V_t}\right) \quad (12)$$

光伏模组/阵列势垒电容根据方程(1)修改为<sup>[6]</sup>:

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V_d}{N_s V_{bi}}}} \quad (13)$$

其中,  $V_d$  表示 PN 结偏置电压, 结合方程(11)转化为关于  $V$  的显式方程:

$$V_d = \frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} = \frac{V}{N_s} + \frac{R_s}{N_p} (I_s + I_{sc}) - \frac{V_t}{N_p} \text{LambertW}(x) \quad (14)$$

光伏模组/阵列的扩散电容可由方程(4)修改为:

$$C_d = \frac{\tau_p N_p (I_s + I_d)}{V_t} \quad (15)$$

$$I_d = I_s \{ \exp[(V + IR_s)/V_t] - 1 \} \quad (16)$$

注意到, 用肖克利方程(16)表示的  $I_d$  是 1 个多

变量方程, 结合方程(11)-(12)转化关于  $V$  的方程:

$$N_p I_d = N_p I_{sc} - I_{tot} = -N_p I_s + \frac{N_p V_t}{R_s} \text{LambertW}(x) \quad (17)$$

结合方程(15)、(17)推导出光伏模组/阵列扩散电容的表达式:

$$C_d = \frac{N_p \tau_p}{R_s} \text{LambertW}(x) \quad (18)$$

由方程(5)、(13)和(18)推导出光伏模组/阵列的结电容的表达式为:

$$C = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V_d}{V_{bi}}}} + \frac{N_p \tau_p}{R_s} \text{LambertW}(x) \quad (19)$$

### 4 温度对光伏电池结电容的影响

温度的影响是多方面的。分析方程(3)、(12)、(14)和(19)可知: 温度的变化会引起热电压( $V_t$ )、接触电势差( $V_{bi}$ )、偏置电压( $V_d$ )等参数的变化。其中, 温度对  $V_t$  产生直接影响, 进而影响扩散电容  $C_d$ ; 温度对  $V_{bi}$  的影响间接地表现在温度对本征载流子浓度( $n_i$ )的影响,  $V_{bi}$  的变化直接影响势垒电容  $C_{j0}$ ; 温度对  $V_d$  的影响体现在温度对光伏电池  $I$ - $V$  特性曲线的影响, 即需要校正光伏厂商提供的参数; 温度变化下  $C_d$  和  $C_{j0}$  相应的变化直接影响结电容  $C$ 。图 3 详细地表示了温度对光伏电池结电容的影响过程。

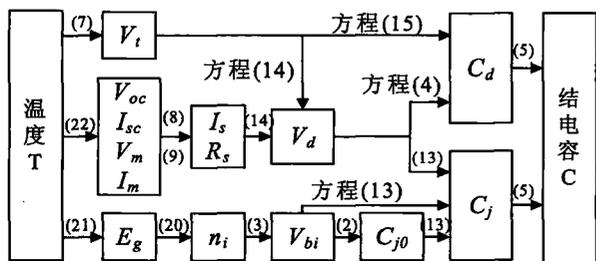


图3 温度对结电容的影响示意图

首先需要分析温度对本征载流子浓度的影响: 本征载流子浓度与禁带宽度有关<sup>[13]</sup>:

$$n_i(T) = aT^3 \exp\left(-\frac{E_g(T)}{2V_t}\right) \quad (20)$$

考虑到硅太阳能电池在大气层的工作环境(温度为 250 K-350 K, 为常温环境), 禁带宽度与温度值近似成正比<sup>[13]</sup>:

$$E_g(T) = E_g(0) - bT \quad (21)$$

对于硅而言,  $E_g(0) = 1.206 \text{ eV}$ <sup>[13]</sup>, 在  $T = 300 \text{ K}$  时的本征载流子浓度约为  $1.449 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ <sup>[7]</sup>, 结合文献[14]对参数  $a$  进行修正, 修正结果为  $0.756 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \text{ K}^{-3/2}$ 。

其次, 需要分析温度对  $I$ - $V$  特性曲线的影响: 温度对光伏输出特性的影响表现在光伏电池模型已知参数随温度的变化, 故现对厂商提供的光伏电池参数进行温度校准(取太阳辐射强度  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ ):

$$\begin{aligned} \Delta T &= T - T_{ref} \\ I'_{sc} &= I_{sc}(1 + c\Delta T) \\ I'_m &= I_m(1 + c\Delta T) \\ V'_{oc} &= V_{oc}(1 - d\Delta T) \\ V'_m &= V_m(1 - d\Delta T) \end{aligned} \quad (22)$$

取  $c = 0.002 \text{ 5/}^\circ\text{C}$ ,  $d = 0.002 \text{ 88/}^\circ\text{C}$ <sup>[15]</sup>。根据方程(22)已修正的参数带入方程(8)、(9)提取出  $R_s$  和  $I_s$ , 结合方程(4)、(5)、(13)、(14)、(22)推导出结电容与温度的关系。

### 5 仿真实验

首先提取光伏电池非动态未知参数: 现提供实验室某型号的多晶硅光伏模组的详细参数, 如表 1 所示。

名称	数值
功率( $P$ )	20 W
开路电压( $V_{oc}$ )	21.5 V
短路电流( $I_{sc}$ )	1.3 A
最大功率点电流( $I_m$ )	1.14 A
最大功率点电压( $V_m$ )	18 V
串联个数( $N_s$ )	36 个
并联个数( $N_p$ )	1 个
光伏电池单体面积( $\text{mm}^2$ )	24 mm × 155 mm

在 Mat lab 环境下,将提供的参数代入方程(8)、(9), 计算出反向饱和电流和光伏电池单体等效串联电阻的大小分别为  $R_s=34.11 \text{ m}\Omega$ ,  $I_s=1.255 \times 10^{-10} \text{ A}$ ; 然后参考文献[9]提供的硅光伏电池参数代入方程(2)和(3), 计算出接触电势差和零偏置电压的势垒电容在 300 K(常温)下的值分别为:  $V_{br}=0.874 \text{ 5 V}$ ,  $C_{j0}=0.362 \text{ 3 } \mu\text{F}$ 。

图 4 给出了光伏电池单体输出电压变化时, 势垒电容( $C_j$ )、扩散电容( $C_d$ )和结电容 $C$ 的响应曲线。可以看出, 当电压处于反向偏置时,  $C_d$  的值几乎为零,  $C_j$  占主导地位, 并随着电压值的增加而缓慢增大; 当电压处于正向偏置时, 大约在 0~0.3 V 的范围内,  $C_d$  的值仍然很小, 可以忽略; 大于 0.3 V,  $C_d$  开始呈现指数形式的增长, 并在电压为 0.435 V 时  $C_d$  和  $C_j$  产生交点。可以认为: 在大于 0.8  $V_{oc}$  时,  $C_d$  的值远大于  $C_j$ , 并占主导地位; 在 0~0.6  $V_{oc}$  范围内,  $C_j$  的值远大于  $C_d$ , 并占主导地位; 在 0.6~0.8  $V_{oc}$  范围内  $C$  的值为  $C_d$  和  $C_j$  的容值之和。需要注意的是,  $C$  不能呈现无限的指数增长, 而在电压值适宜的反向偏置和 0~ $V_{oc}$  范围内的正向偏置情况下有效, 超出此范围,  $C$  的表达式失效。

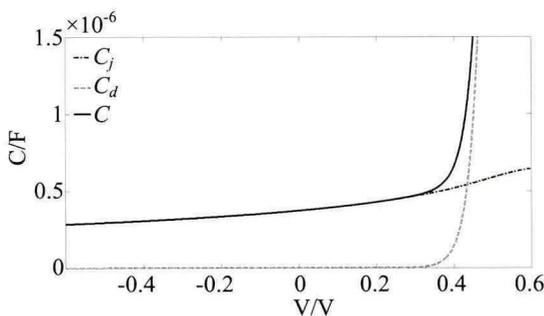


图4 势垒电容、扩散电容和结电容与光伏电池单体电压的关系

图 5 分别给出了光伏电池单体的  $I-V$ ,  $P-V$  和  $C-V$  特性曲线。可以看出: 随着电压的增加, 结电容呈现“先慢后快”的增长趋势, 且增长幅度较大, 所以不能忽视非线性结电容对光伏电池输出特性的影响。

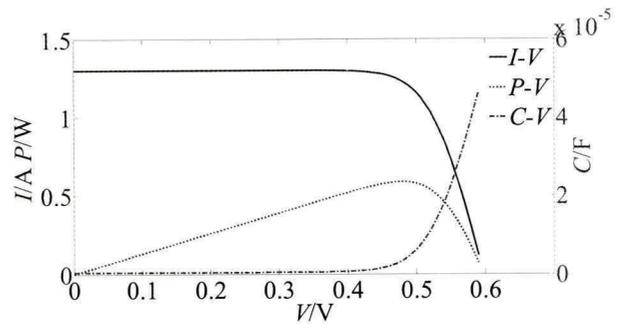


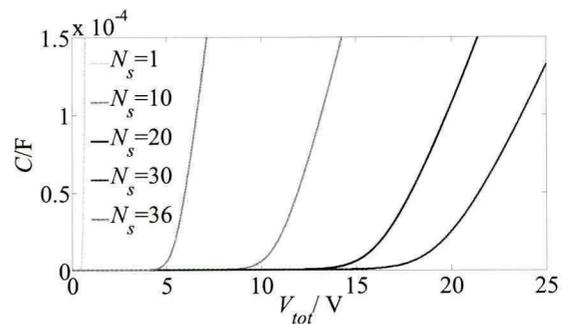
图5 光伏电池的I-V, P-V和C-V特性曲线

图 6 给出了不同串联个数光伏电池单体对结电容的影响。显然, 增加  $N_s$  的数目会降低电路的容性, 当  $N_s$  增加到一定数值时,  $C$  的降低趋于平稳。当串联个数为 36 时(即为光伏模组), 在短路电流、最大功率点和开路电压三点的结电容分别为:  $0.362 \text{ 6 } \mu\text{F}$ ,  $5.951 \text{ 6 } \mu\text{F}$  和  $53.065 \mu\text{F}$ 。当串联个数非常大时,  $C$  趋于一个常数, 即:

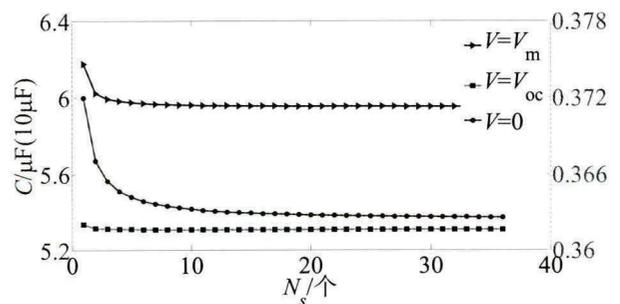
$$\lim_{\substack{N_s \rightarrow \infty \\ V=V_m}} (C) = 5.9484 \mu\text{F}$$

$$\lim_{\substack{N_s \rightarrow \infty \\ V=V_{oc}}} (C) = 51.064 \mu\text{F}$$

$$\lim_{\substack{N_s \rightarrow \infty \\ I=I_{sc}}} (C) = 0.3623 \mu\text{F}$$



(a) C-V



(b) C- $N_s$ (红色曲线的单位为  $10 \mu\text{F}$ , 其他的为  $1 \mu\text{F}$ )

图6 光伏电池的串联个数对结电容的影响

图 7 给出了不同并联个数光伏电池单体对结电容的影响。同样可以得到: 增加  $N_p$  的数目会增强电路的容性, 且  $C$  的增加与  $N_p$  的大小近似呈线性增长关系。图 8 给出了在  $1000 \text{ W/m}^2$  太阳辐射强度下光伏电池单体分别在低温( $T=250 \text{ K}$ )、常温( $T=300 \text{ K}$ )和高温( $T=350 \text{ K}$ )三个工作温度下  $C$  的变化曲线(仿真结果与文献[1,16]的实验结果相吻合)。据图可知, 温度的升高会引起  $C$  的增加: 在反向偏置和小电压正向偏置下温度对  $C$  的影响较小, 在  $0.4 \text{ V}$  电压之后, 温度对  $C$  的影响较大(此范围包括最大功率点), 会影响最大功率点的追踪。

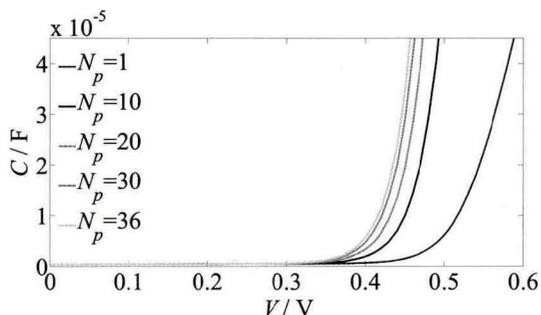


图7 光伏电池的并联个数对结电容的影响

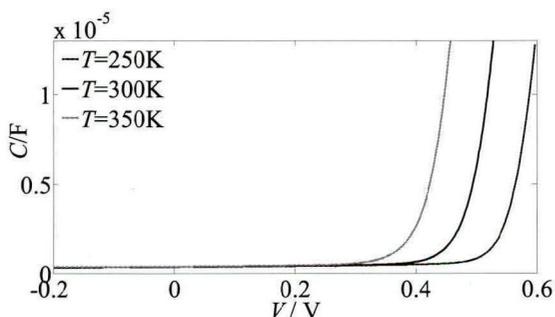


图8 温度对结电容的影响

## 6 结论

本文根据硅太阳能电池的物理机理和实际工况, 得出了包含非线性结电容和寄生电感的光伏电池动态电路模型; 推导出光伏电池/模组/阵列的结电容与光伏电池输出电压的较精确表达式; 校正了随光伏电池温度变化的相关参数并得出光伏电池的结电容与光伏电池温度与输出电压的关系; 最后对不同串/并联个数、不同温度下的结电容进行了仿

真研究。研究结果表明:

(1) 工作在正向偏置的光伏电池结电容, 在小电压范围内, 工作在势垒电容主导区域, 即结电容的大小等于势垒电容  $C_j$  的值; 在大电压范围内, 工作在扩散电容主导区域, 即结电容的大小近似等于扩散电容值; 工作在中等电压范围内, 结电容的大小等于势垒电容和扩散电容的大小之和;

(2) 最大功率点在扩散电容  $C_d$  主导区域, 其结电容的大小可以近似等于扩散电容的值;

(3) 光伏模组的结电容  $C$  与任意单路光伏阵列 ( $N_p=1$ ) 的容值非常接近, 可以认为: 在并联个数相等的前提下, 光伏阵列的结电容可用光伏模组的结电容代替;

(4) 增加并联  $N_p$  个数会成倍增加结电容  $C$  的大小。在实际应用中, 在不影响容量设计的前提下, 应尽量降低光伏阵列的并联个数;

(5) 对扩散电容主导区域的结电容受光伏电池温度的变化影响较大, 且随温度的升高而增大。

## 参考文献:

- [1] Hiranmoy Mandal, J Nagaraju. GaAs/Ge and Silicon Solar Cell Capacitance Measurement Using Triangular Wave Method [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells (S0927-0248), 2007, 91(8): 696-700.
- [2] 秦岭, 谢少军, 杨晨, 等. 太阳能电池的动态模型和动态特性 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(7): 19-26.
- [3] R Anil Kumar, MS Suresh, J Nagaraju. Time Domain Technique to Measure Solar Cell Capacitance [J]. Review of Scientific Instruments (S0034-6748), 2003, 74(7): 3516-3519.
- [4] Maria Carmela Di piazza, Massimiliano Luna, Gianpaolo Vitale. Dynamic PV Model Parameter Identification By Least-squares Regression [J]. IEEE Journal of Photovoltaics (S2156-3381), 2013, 3(2): 799-806.
- [5] Krishna, H. A. , Misra, N. K. , Suresh, M. S. . Solar Cell as a Capacitive Temperature Sensor [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems (S0018-9251), 2011, 47(2): 782-789.
- [6] Katherine A Kim, Chenyang Xu, Lei Jin, et al. A Dynamic Photovoltaic Model Incorporating Capacitive and Reverse-bias Characteristics [J]. IEEE Journal of

- Photovoltaic (S2156-3381), 2013, 3(4): 1334-1341.
- [7] Maria Carmela Di Piazza, Gianpaolo Vitale. Photovoltaic Sources [M]// Green Energy and Technology. London, United Kingdom: Springer London, 2013: 173-202.
- [8] Badih El-kareh. Silicon Devices and Process Integration [M]// Springer Science. New York, USA: Springer, 2009.
- [9] 熊绍珍, 朱美芳. 太阳能电池基础与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 10.
- [10] Pankaj Yadav, Brijesh Tripathi, Kavita Pandey, *et al.* Effect of Varying Concentration and Temperature on Steady and Dynamic Parameters of Low Concentration Photovoltaic Energy System [J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems (S0142-0615), 2014, 61(10): 101-110.
- [11] Marius Paulescu, Eugenia Paulescu, Paul Gravila, *et al.* Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation [M]. USA: Springer, 2013.
- [12] F Ghani, Mike Duke, J Carson. Numerical Calculation of Series and Shunt Resistance of a Photovoltaic Cell Using the Lambert W function: Experimental Evaluation [J]. Solar Energy (S0038-092X), 2013, 87 (1): 246-253.
- [13] 郑苾, 黄勤, 孟江生, 等. 低温区硅的禁带宽度和本征载流子浓度与温度的关系 [J]. 低温物理学报, 1991, 13(2): 122-125.
- [14] 王东, 杨冠东, 刘富德. 光伏电池原理及应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2014: 28.
- [15] 苏建徽, 余世杰, 赵为, 等. 硅太阳能电池工程用数学模型 [J]. 太阳能学报, 2001, 22(4): 409-412.
- [16] R Anil Kumar, MS Suresh, J Nagaraju. Silicon (BSFR) Solar Cell Ac Parameters at Different Temperatures [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells (S0927-0248), 2005, 85(3): 397-406.

## 《系统仿真学报》荣获“2014 中国最具国际影响力学术期刊”证书

由中国学术期刊（光盘版）电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心，以美国汤森路透 Web of Science 收录的 1.2 万余种期刊为引文统计源，首次研制发布了 2012《中国学术期刊国际引证年报》（CAJ-IJCR 年报）。第一次给出了我国 5600 余种中外文学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标，并采用了新的国际影响力综合评价指标 CI 对期刊排序，发布了“中国最具国际影响力学术期刊”（排序 TOP5%）和“中国国际影响力优秀学术期刊”（排序 TOP5-10%），在国内外学术界产生了较大反响。之后，2013 年版年报，将引文统计源期刊扩展到 1.44 万多种。目前，2014 版国际、国内年报与 TOP5%和 TOP5-10%期刊的遴选业已完成，《系统仿真学报》被列入“2014 中国最具国际影响力学术期刊”行列。

我学报连续 2 年被列入 TOP5%国内一流的中国最具国际影响力学术期刊，走向世界，进入国际一流，指日可待！