

独立光伏电站系统的仿真与优化设计

茆美琴 曹仁贤 何慧若

摘要 针对独立光伏系统电站 (SPVS), 提出了基于计算机仿真计算的优化设计模型, 以期精确预测系统的运行性能, 从而在保证系统运行的前提下, 不断调整、优化系统参量, 使系统成本达到最低。文章采取了自动搜索和人机交互的动态决策方法, 有效的解决了带有蓄电池的 SPVS 的优化设计问题。

关键词 独立光伏电站; 计算机仿真; 优化设计

中图分类号 TM615

0 引言

在独立光伏系统 (SPVS) 中, 由于太阳辐射量为一个波动性极大的参量, 针对某一固定地点所做的全局优化不一定适用于另一地点, 对于带有蓄电池出储能设备的系统, 其设计更是一个难题。从已有的资料来看, 人们大多利用光伏系统安装地点的长期月平均日射量及负载日平均所需能量, 对 SPVS 进行设计。显然, 该方法显得较粗糙。本文提出了利用光伏系统安装地点的长期小时日辐射量, 小时温度数据, 对系统进行仿真计算, 以期精确预测系统的运行性能, 从而在保证系统运行性能的前提下, 不断调整、优化系统参量, 使系统成本降到最低。文中讨论了基于仿真计算的 SPVS 的优化设计模型及系统各环节的仿真数学模型。实例计算表明, 在长期小时日射、温度数据可得条件下, 上述方法能有效地解决 SPVS 的优化设计问题。

1 系统仿真模型

SPVS 的一般结构如图 1 所示, 下面分别讨论各环节的计算建模。

1.1 阵列输出功率的计算

1.1.1 简单模型

光电池温度

$$T_e = T_a + t_e I_T \quad (1)$$

式中, T_a — 环境温度, $^{\circ}\text{C}$

I_T — 阵列上的总日射, mW / cm^2

t_e — 阵列模块的温度相关系数, 其典型值为 0.3

在简单模型中, 光电池工作在最大功率点上, 且最大功率值随着光电池温度的上升而呈线形下降趋势, 即

$$P = P_0 [1 - \varepsilon (T_e - T_r)] \frac{I_T}{I_r} \quad (2)$$

式中, P — 阵列输出功率

I_T — 阵列上的日射

ε — 系数 (典型值为 $0.005 / ^{\circ}\text{C}$)

P_0 — 阵列参考功率

I_r — 参考日射

T_r — 参考温度

1. 1. 2 模型

TRW 模型将阵列 I-V 特性用解析式表示。若 I_{sc} 为短路电流， V_{oc} 为开路电压， I_m 和 V_m 分别为额定条件下最大功率点的电流和电压，则

$$I = I_{sc} \left[1 - \left(e^{(V-DV)/C_2 V_{oc}} - 1 \right) \right] + DI \quad (3)$$

式中， C_1 、 C_2 — 常数

$$C_1 = \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \cdot \exp \left(- \frac{V_m}{C_2 V_{oc}} \right) \quad (4)$$

$$C_2 = \left(\frac{V_m}{V_{oc}} - 1 \right) / \left[\ln \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right] \quad (5)$$

而

$$DI = \alpha \frac{I_T}{I_r} DT + \left(\frac{I_T}{I_r} - 1 \right) I_{sc}$$

$$DV = -\beta DT + R_6 DI \quad (6)$$

$$DT = T - T_r$$

式中 I_r, T_r —— 额定日射及温度
 I_T, T —— 任意日射及温度
 α —— 电列温度系数，A / °C
 β —— 电压温度系数，V / °C
 R_6 —— 阵列串联电阻， Ω

1. 2 蓄电池模型

1. 2. 1 简化模型

简化模型是将蓄电池看成一个恒压电压源与一个内阻的串联，并且假定充电效率为一常数。

1.2.2 Facinelli 模型

该模型针对铅酸蓄电池而言，并考虑了温度及蓄电池所处充电状对蓄电池内阻和端电压的影响^[2]，即

$$\text{放电电压} \quad V = V_d + IR_d \left\{ 1 + M_d (Q_b - Q) / (QD' + Q) \right\} \quad (7)$$

$$\text{充电电压} \quad V = V_e + IR_c \left(1 + \frac{M_c Q}{Q_c' - Q} \right) \quad (8)_2$$

式中, Q ——蓄电池容量, Ah
 R_d 、 R_c ——蓄电池内阻
 V_d 、 V_c ——蓄电池开路电压, 均与温度有关

$$R_d = a_d + b_d/Q_D \quad (9)$$

$$R_c = a_c + b_c/Q_c \quad (10)$$

$$V_c = C_{1c} + C_{2c}T \quad (11)$$

$$V_d = C_{1d} + C_{2d}T \quad (12)$$

式中, T ——温度
 Q_c 、 Q_b ——参数, 与温度有关

$$Q_C = Q_{ef2}T^2 + Q_{ef1}T + Q_{ef0} \quad (13)$$

$$Q_D = Q_{df1}T + Q_{df0} \quad (14)$$

关于该模型中其他系数情况, 详见文献[2]。

2 优化数学模型

本文采用太阳电池和蓄电池作为 SPVS 优化问题的目标函数, 以 SPVS 的性能指标^[3]作约束函数, 即

$$\min f(X) = C_a N_a + C_b N_b \quad (15)$$

$F(X)$ -----目标函数

C_a 、 C_b -----分别为太阳电池和蓄电池的价格

N_a 、 N_b -----分别为太阳电池和蓄电池的个数

$g_i(X)(i=1\dots6)$ -----约束函数, 是基于对 SPVS 系统的计算机仿真计算而得到的

$$s. t. \begin{cases} g_1(X) \leq \varepsilon_1 & \text{---负载损失} \\ g_2(X) \leq \varepsilon_2 & \text{---过充损失} \\ g_3(X) \leq \varepsilon_3 & \text{---蓄电池最小充电率} \\ g_4(X) \leq \varepsilon_4 & \text{---蓄电池最高充电率} \\ g_5(X) \leq \varepsilon_5 & \text{---蓄电池内阻消耗的能量} \\ g_6(X) \leq \varepsilon_6 & \text{---系统电压非匹配产生的损失} \end{cases}$$

X -----优化向量, 这里取太阳电池阵列倾角, 太阳电池串并联数, 蓄电池串并联数等 5 个变量

$\varepsilon_i (i = 1, \dots, 6) (\varepsilon_i > 0)$ -----性能指标的宽容量, 不同的负载, 其对电源要求各不相同, 通过控制 ε_i , 可以达到, 满足不同负载要求。

3 优化方法

对模型 (15) 而言, 由于目标函数 $f(\mathbf{X})$, 性能约束函数 $g_i(\mathbf{X})$ 与优化变量 \mathbf{X} 之间很难表示成解析表达式。因此, 设计方案的寻优算法只能采取有约束的直接搜索法, 为使搜索更加有效, 在优化设计软件实现的过程中, 本文采取动态交互式决策方法, 即在决策一个方案的取舍时, 除了计算机自动判断外, 还允许设计人员参与决策, 由人机共同决定变量的变化及方案的取舍。其决策过程如图 2 所示。

4 优化实例

本文利用上述优化数学模型及优化方法对一光伏空调系列进行了优化设计。该光伏系统的用户要求如下: 安装地点: 合肥; 地理纬度: 31.25° ; 负载最大功率为 500W; 逆变器输入电压为 110V; 太阳能电池组件的性能参数为: $I_m = 2.13A$, $V_m = 16.4V$, $V_{oc} = 20.2V$, $P_w = 35W$; 蓄电池模块为 NP38-12; 最长阴两天按 3 天计, 空调每天工作时间按 12h 计。

设计结果见表 1。

表 1

	名称	优化前	优化后
优化变量	太阳能电池阵列倾角	31.5(°)	46(°)
	太阳能电池串联数	7	7
	太阳能电池并联数	9	6
	蓄电池串联数	9	9
	蓄电池并联数	4	3
性能函数	负载损失 (%)	0 (%)	0(%)
	过充损失 (%)	30	2
	蓄电池最小充电率	80	78
	蓄电池最大充电率	100	100
	蓄电池内阻损失 (%)	5	1
	系统电压非匹配损失	0	0
	目标值 (元)	115641	78462

需要说明的是, 上述结果是建立在 6 月 1 日 24h 日射及温度数据之上的, 若所取仿真时间不同, 其结果必会有所不同。但这并不影响 结果的变化趋势。

5 结论

本文提出了基于计算机仿真计算的 SPVS 的优化设计模型及人机交互的动态决策方法, 由于所采用的仿真步长为 5min, 故所得结果精度大为提高。实例计算表明: 在长期小时日射数据及温度数据可得的情况下, 上述方法能有效的解决 SPVS 的优化设计问题。

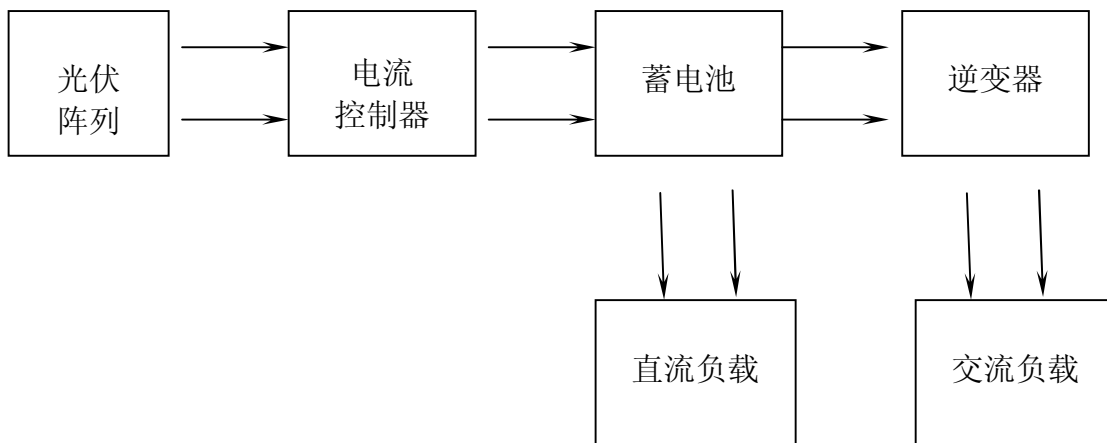


图 1

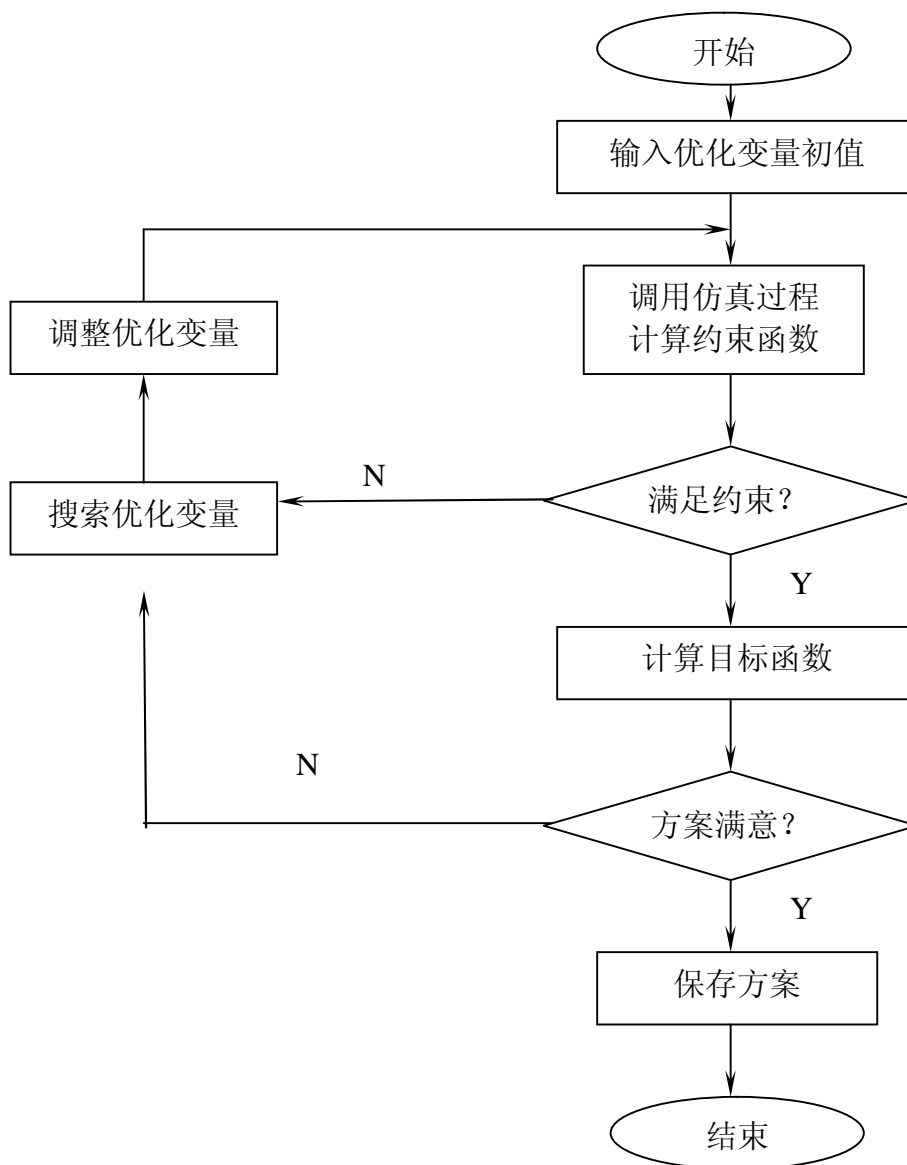


图 2

参 考 文 献

- 1 王斯成. 光伏电源系统的计算机辅助设计. 太阳能学报, 1986, 7(3): 251
- 2 Facinelli W A. Modelling and simulation of lead-acid batteries for photovoltaic system : [dissertation]. Tempe: Arizona State University, 1983
- 3 茆美琴, 何慧若. 独立光伏电站系统的性能评价. 新能源, 1996(10): 1

THE SIMULATION AND OPTIMAL DESIGN OF STAND-ALONE PHOTOVOLTAIC STATION

Mao Meiqin Cao Renxian He Huiruo

Abstract This paper presents an optimal design model for stand-alone photovoltaic station (SPVS). The model is based on the computer simulation. A method combining automatic search with man-machine interactive decision is adopted, with which the optimal design problem of SPVS with battery is efficiently solved.

Key Words stand-alone photovoltaic station, computer simulation, optimal design

i

ⁱ 《独立光伏电站系统的仿真与优化设计》1997年发表于《合肥工业大学学报（自然科学版）》第5期。