

光伏并网接入配电网的太阳能发电系统设计

于立岩, 吴迪迪, 满 成, 马成忠

(国网铁岭供电公司, 辽宁 铁岭 112000)

摘要: 对配电网发电系统进行设计, 可以减少电网输电时产生的故障, 提高配电网运行效率; 当前方法利用一次性能源, 例如石油、煤炭以及天然气等化石能源实现发电系统的设计; 由于化石能源在本质上, 是数万年以来由太阳能辐射至地球的一部分能源, 该能源消耗快, 导致发电系统运行不稳定; 为此, 提出光伏并网接入配电网的太阳能发电系统设计方法; 该方法对光伏并网接入配电网进行研究, 利用图解的方式详细介绍并网点及接入点, 系统的硬件部分通过光伏阵列以及一体化框架、逆变单元 VSR、交流配电单元以及放电模块和系统电源电路, 组建太阳能光伏并网接入配电网发电系统构造; 采用三相桥结构对太阳能发电系统电路进行设计, 太阳能发电系统的温度采样模块设计中, 利用的是温度传感器 AD590, 根据 TLP250 驱动 Power MOSFET 完成放电控制模块的组建, 依据光伏阵列、利用 80C196MC 等可逆变流控制组建光伏并网逆变模块; 系统的软件部分利用构建光伏并网接入配电网的太阳能发电数学模型实现; 实验证明, 所提方法有效利用再生资源与绿色能源, 实现发电系统的稳定设计。

关键词: 光伏并网; 配电网; 太阳能发电

Pv System is Connected to the Grid's Solar Power System Design

Yu Liyan, Wu Didi, Man Cheng, Ma Chengzhong

(State Grid Tieling Power Electric Supply Company, Tieling 112000, China)

Abstract: Design of the power grid system can reduce the failure of power grid transmission and improve the efficiency of the distribution network. The current approach uses one-off energy sources such as oil, coal and natural gas to generate power generation systems. Because the fossil energy, in essence, is tens of thousands of years by the part of the solar radiation to the earth's energy, the energy consumption is fast, lead to an unstable power system operation. In this paper, the design method of solar power generation system for the grid connection of photovoltaic network is proposed. The method of photovoltaic (pv) grid access distribution network are studied, using the graphical method was introduced in detail and the network and access point, the hardware part of the system through the photovoltaic array and integration framework and inverter unit VSR, AC power distribution unit and discharge power supply circuit module and system, to form a solar photovoltaic (pv) grid access power distribution network system construction. Three-phase bridge structure to design circuit for solar Power generation system, solar Power generation system of temperature sampling module design, using the temperature sensor AD590, according to the TLP250 drive Power MOSFET control module to form a complete discharge, on the basis of photovoltaic array, using 80C196MC can flow control inverter, including photovoltaic (pv) grid inverter module. The software part of the system is implemented using the solar power generation mathematical model that builds the photovoltaic network connected to the grid. The experimental results show that the proposed method effectively uses renewable resources and green energy, and realizes the stable design of power generation system.

Keywords: photovoltaic (pv) grid; power distribution network; solar power generation

0 引言

利用太阳能实现光伏发电, 源自于 20 世纪的 70 年代, 如今全世界均已安装了光伏发电系统^[1]。该系统多集中在通信、交通信号以及边远地区的供电, 这些系统大多是属于相对独立的光伏发电系统。独立的光伏发电系统必须配备相对复杂的存储能量系统, 对其应用的限制很大, 而光伏并网发电不需要配置复杂的存储能量系统, 不仅可以节省投资, 还可以提高供电的可靠性^[2]。我国作为世界光伏电池制造第一大国, 太阳能资源丰富, 促进了我国光伏发电的发展。将分布式的发电系统利用微网, 接入至配电网运行, 和大电网互相支撑, 是发挥分布式的发电系统比较有效的方式^[3]。联网供电已成为我国电力行业发展中的主流方向, 光伏并网对配电网正常运行, 有着很大的影响, 使光伏并网接入配电网的发展成为了当今的讨论热

点^[4]。当前光伏并网接入配电网的发电系统设计方法, 无法提高再生能源利用率, 系统的稳定性较差^[5]。由此, 如何实现发电系统稳定可靠的设计, 成为了当前必须解决的问题。而光伏并网接入配电网的太阳能发电系统设计方法, 可以对光伏并网接入配电网发电系统进行高效稳定的设计, 提高了系统的运行效率, 同时也提高了再生能源对社会发展起到的作用^[6]。也正是因为能源短缺与环境污染给社会发展带来了很大的压力, 所以光伏发电受到了多方学者以及专家的高度关注和深度研究, 以下是几种比较优秀的发电系统设计方法^[7]。

文献 [8] 方法中, 分布式的光伏发电系统与配电网进行连接之后, 会引起电压越限, 不仅会影响配电网安全可靠地运行, 还会限制配电网的并网能力。方法内部从电压降落的角度对光伏发电系统的输出有功功率, 无功功率和光伏并网点电压间的关系进行了研究。并提出了光伏发电系统的电压调整策略。在正常的情况下, 这个策略通过本地的电流信息, 对并网点的电流进行调整, 同时也对电压进行调整, 紧急情况下, 根据简单通信, 将同一馈线上光伏发电系统一起进行电压调节。

收稿日期: 2017-06-20; 修回日期: 2017-08-23。

作者简介: 于立岩(1978-), 男, 吉林镇赉人, 技师, 主要从事配电网线路运维管理方向的研究。

实验证明,该方法提高了并网点电压的合格率,但是耗时较长。文献 [9] 方法首先搭建基于 Simulink 分布式的光伏并网发电系统,以及具体配电网仿真模型,再在此基础上,在电压偏差与节点电压以及负荷电流谐波含量的角度,对分布式的光伏并网发电系统中,并网的位置以及并网的容量对配电网,电能质量影响程度进行了定量分析。实验结果表明该方法中,并网的位置越接近线路的末端,光伏发电系统对配电网电能的影响就越大,但该方法运行时较为复杂。文献 [10] 方法中,针对光伏发电系统的出力因素对光伏发电的影响,分别构建相应时序数学模型,并将运行状态系数引入进来,表征设备运行的状态对发电系统出力因素的影响。把光照资源波动性以及设备运行的状态进行结合,获得光伏发电系统多状态时序的出力模型。根据序贯蒙特卡罗法实现含有光伏发电的配电网的可靠性评估,利用不同指标衡量光伏发电,对配电网可靠性影响。实验结果表明,该方法可有效提高配电网供电效率,但供电的精度低。

1 光伏并网接入配电网的太阳能发电系统

1.1 光伏并网接入配电网示意图

要得到光伏并网接入配电网的太阳能发电系统,首先要对光伏并网接入配电网进行研究。图 1 为光伏并网接入配电网示意图。

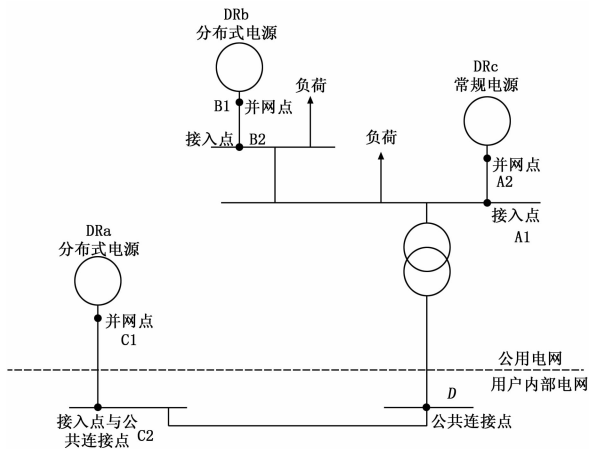


图 1 光伏并网接入配电网示意图

图中对并网点的介绍:对于升压站中的分布式电源,其并网点是分布式电源的升压站高压站中侧母线或者节点,对无升压站分布式电源,其并网点是分布式电源输出汇总点。A1 和 B1 是分布式电源 A 和 B 的并网点, C1 是常规电源 C 中的并网点。

图中的接入点指的是电源与电网的连接处,这个电网可能是公共的电网,也有可能是用户的电网。A2 和 B2 点是分布式电源 A 和 B 的接入点, C2 是常规电源中 C 的接入点。

图中的公共连接点是指发电或用电系统接入公用的电网连接处。图中的 C2 和 D 点都是公共连接点。

1.2 太阳能发电系统

根据上述的光伏并网接入配电网的示意图,经过研究分析,得到太阳能发电系统的主要构造,图 2 为光伏并网接入配电网的太阳能发电系统整体示意图。

光伏并网接入配电网的太阳能发电系统构造中,包含光伏

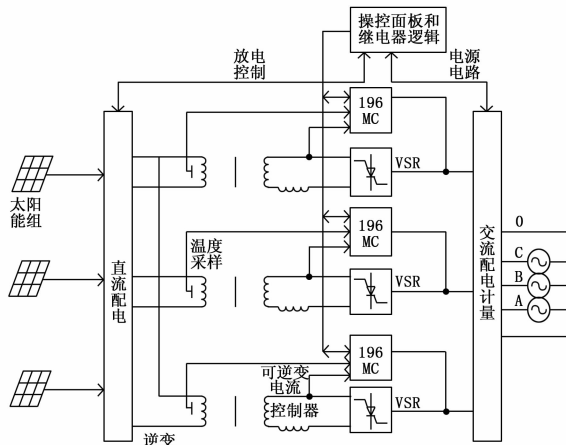


图 2 太阳能光伏并网接入配电网发电系统构造

阵列以及一体化框架、逆变单元 VSR、直流配电单元、计量单元、交流配电单元和安全保护系统以及放电模块和系统电源电路等。

图中在光伏阵列输出端以及配电网侧,三相四线制配电的输入端,设置了避雷装置,这样可以保障发电系统的安全运行。图中的逆变单元、计量单元、交流配电单元以及安全保护系统均装在立式机柜中。

该系统采用 13 串 9 并,一共 117 块太阳能组件阵列构成,以最终组件 3 个独立的单相并网逆变器接入三相电网,各太阳能组件额定的功率为 85 W。该设计的优点是发电系统容易维护,且系统运行的可靠性高,就算某一相发生故障,其他的两相还能够继续发电。

图中的光伏阵列朝向与仰角为:朝南偏西 45 度与 15 度。这样的设计不仅考虑到了要尽量多吸收太阳能,而且还考虑到了太阳能发电位置结构要求。

1.3 太阳能发电各子系统设计

在光伏并网接入配电网的太阳能发电系统设计中,其整体构造,包含了很多子系统或模块,这些子系统或者子模块对太阳能发电系统的整体运行起着重要的作用。下面对这些子系统进行详细描述。

1.3.1 太阳能发电系统主电路

图 3 中的太阳能发电电路采用的是三相桥结构,其中的电压利用电感和电网进行连接,实现光伏系统并网运行,在并网运行的模式下,发电系统控制的目标为,使逆变器所输出的正弦波电流频率以及相位和电网电压频率与相位相同,电源的电流大小根据光伏阵列所出出的功率来决定。

1.3.2 太阳能发电系统温度采样模块设计

在太阳能发电系统的温度采样模块设计中,采用的是温度传感器 AD590,根据该传感器采集发电系统的温度,从而保障光伏并网接入配电网的太阳能发电系统运行的更好。对于传感器 AD590,如果采集温度为 T ,那么通过传感器电流大小为: $I_r = AT$,其中 A 代表转换系数,一般情况下 A 为 $1 \mu A/K$, LM358 芯片同相输出端的电压为: $u_p = I_r \times R_{28}$, LM358 芯片反相输出端的电压为: $u_N = V_{CC} / (R_{21} + R_{22} + R_{23} + R_{24}) R_{24}$,因此: $u_0 = (u_N - u_p) \times A_f$ 。其中, A_f 代表放大运算电路放大增益。根据上述参数,发电系统温度采样模块可以更

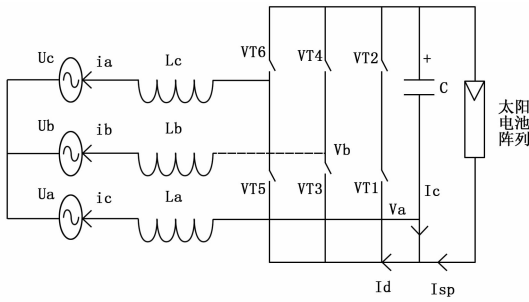


图 3 太阳能发电系统主电路

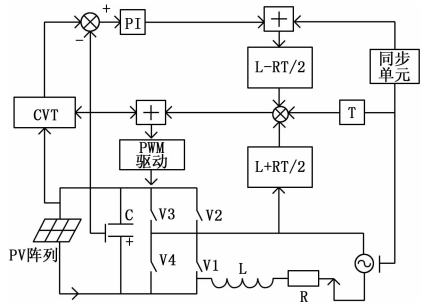


图 6 光伏并网逆变模块设计

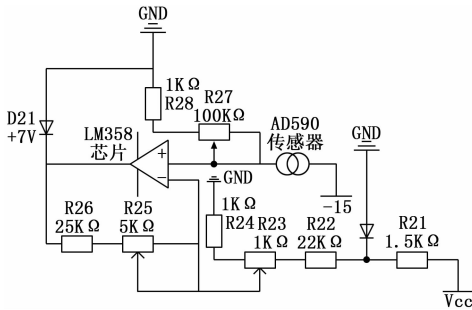


图 4 太阳能发电系统温度采样模块设计

2 太阳能发电系统设计

以上述的各项硬件条件为基础, 建立光伏并网接入配电网的太阳能发电数学模型, 根据各个硬件和该数学模型完成太阳能发电系统的设计。下面是软件部分的详细步骤。

众所周知, 光伏发电虽然不等同于太阳能发电, 但其是太阳能发电中最重要的表达方式之一, 下面假设光伏发电数学模型等同于太阳能发电数学模型, 进而完成太阳能发电数学模型的建立。实际应用时, 光伏模块一般是利用串并联方式, 构建成 $M \times N$ 光伏阵列, 其中, M 和 N 代表光伏模块串联合并联数。所以利用 Matlab 建立光伏并网接入配电网的太阳能发电数学模型。

假设有任意的太阳辐射强度 R (W/m^2), 任意的环境温度 T_a ($^{\circ}C$), 可得光伏电池的温度 T_c ($^{\circ}C$) 为:

$$T_c = T_a + t_c R \quad (1)$$

式中, t_c 代表光伏电池的温度系数。 I_{sc} 代表光伏发电系统短路电流, V_{oc} 代表光伏电池开路电压, I_m 与 V_m 代表光伏发电系统中最佳工作电流与电压, 假设将式 (1) 所得值作为参考, 那么当光伏阵列的电压为 U 时, 它对应的电流 I 为:

$$I = T_c I_{sc} (1 - C_1 (e^{V/C_2 MV_{oc}} - 1)) \quad (2)$$

式中,

$$C_1 = (1 - I_m / I_{sc}) e^{-V_m / C_2 MV_{oc}} \quad (3)$$

$$C_2 = (V_m / V_{oc} - 1) / \ln(1 - I_m / I_{sc}) \quad (4)$$

其中: C_1 和 C_2 分别代表发电系统的电容, 由于考虑到太阳的辐射变化, 以及环境温度的影响, 则:

$$I = T_c I_{sc} (1 - C_1 (e^{V-DV/C_2 MV_{oc}} - 1)) + DI \quad (5)$$

式中,

$$DI = \alpha \times R / R_{ref} \times DT + (R / R_{ref} - 1) \times T_c I_{sc} \quad (6)$$

$$DV = -\beta \times DT - R_s \times DT \quad (7)$$

$$DT = T_c - T_{ref} \quad (8)$$

式中, R_{ref} 和 T_{ref} 分别代表太阳辐射与光伏电池温度的参考值, 通常取值为 $1kW/m^2$, $25^{\circ}C$, α 代表在参考的日照下, 发电系统电流变化温度的系数, β 代表参考日光下, 系统电压变化温度的系数, R_s 代表光伏串联电阻, 而 R_s 是由下式决定的:

$$R_s = \frac{N}{N_p} R_{s,ref} = \frac{N}{N_p} \left(\frac{A_{ref} \ln \left(1 - \frac{I_{m,ref}}{I_{sc,ref}} \right)}{-V_{m,ref} + V_{oc,ref}} \right) / I_{m,ref} \quad (9)$$

$$A_{ref} = \frac{T_{ref} \mu V_{oc} - V_{oc,ref} + \epsilon N_s}{\mu I_{sc,ref} - 3} \quad (10)$$

式中, ϵ 代表材料性能, $\epsilon = 1.12eV$, $I_{m,ref}$, $V_{m,ref}$ 代表光伏阵列短路电流与开路电源, μV_{oc} , μI_{sc} 代表光伏阵列开路电压与短

好地进行自维护。

1.3.3 太阳能发电系统放电控制模块

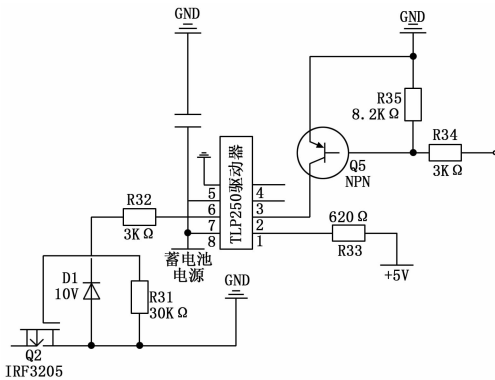


图 5 太阳能发电系统放电控制模块设计

太阳能发电系统中的放电控制模块采用 TLP250 驱动 Power MOSFET, 当作系统充放电模块内的开关器件。系统的充放电模块大致相似, 所在这里以放电控制模块作为代表。上图的放电模块电路中, 选择的是 IR 公司生产的 Power MOSFET IRF3205 当作放电控制开关管。MSP430 给出高电平时, Q5 导通。

TLP250 输出高电平, 其中 IRF3205 栅源电压钳位在 10 V。这个时候 MOSFET 导通, 放电模块向负载供电, 与之相反的是, 放电控制端发出低电平时, Q5 截止, IRF3205 栅源电压将小于阈值电压, 且 MOSFET 不可导通, 这相当于控制开关处于断开的状态, 放电模块不可向负载进行供电。

1.3.4 光伏并网逆变模块

图中的光伏网逆变模块由光伏阵列、近似最大功率的点跟踪、电压型的可逆脉宽调制整流器以及利用 80C196MC 组建的可逆变流控制模块构成。

路电流温度的系数, N_s 代表光伏阵列单元串联数, N 代表光伏阵列串联数, N_p 代表光伏阵列并联数。利用上述发电系统的各项参数完成其数学建模, 其软件实现流程如下图 7 所示。

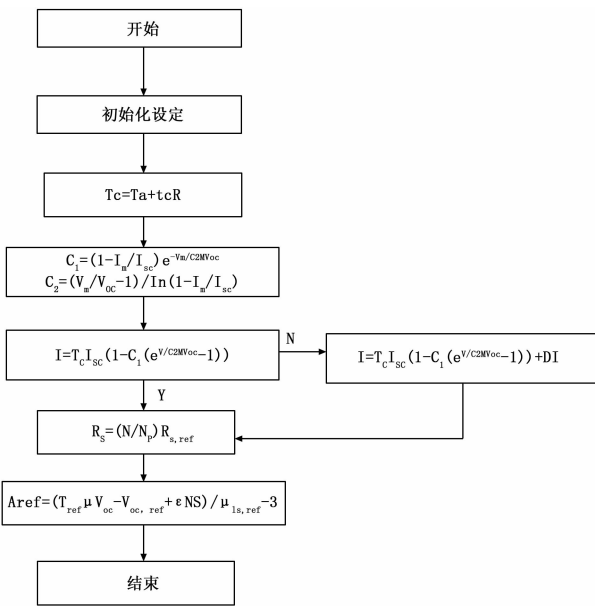


图 7 软件实现流程图

3 实验及结果分析

为了证明光伏并网接入配电网的太阳能发电系统设计方法的整体有效性, 需要进行一次相关的实验分析。在 POSIX 环境下搭建实验平台, 实验数据取自于某省配电网系统。

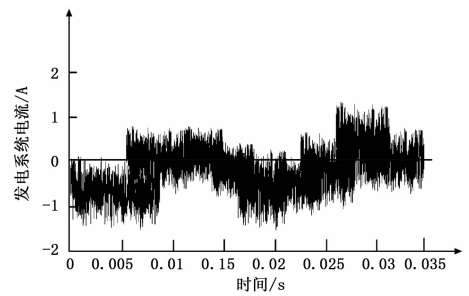
3.1 实验步骤

- 1) 测量 3 种方法下系统的电网电流, 观察其电流波动情况;
- 2) 测量 3 种方法下系统的电网电压, 观察其电压波动情况;
- 3) 将 3 种方法设计出的发电系统在相同的条件下重启 5 次, 观察不同方法发电系统启动时间 (s)。

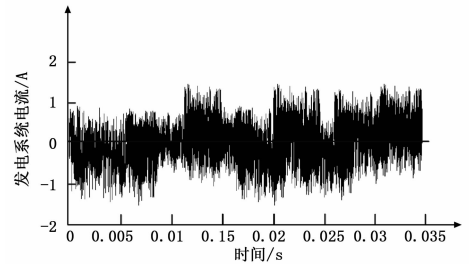
3.2 实验结果分析

当本文方法所设计的系统进入运行时, 实验对实际电网电压与电流方面进行测量, 获得的电网电流总畸变率以及功率数目满足国际的电网标准。当电网功率是 62.3 W 时, 其功率因数是 0.959, 电流的总谐波畸变率是 12.4%。图 8 是不同方法发电系统电流 (A) 波形浮动对比。图 9 是不同方法发电系统电压 (V) 波动对比。表 1 是不同方法发电系统启动时间 (s) 对比。

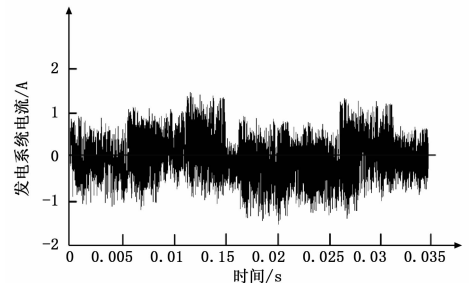
由图 8 可知, 文献 [8] 方法内部从电压降落的角度对光伏发电系统的输出有功功率, 无功功率和光伏并网点的电压间的关系进行了研究。并提出了光伏发电系统的电流调整策略。过程当中, 并没有设置电流的调整参数, 导致电流不稳定, 电流波形波动较大。文献 [9] 方法在电压偏差与节点电压以及负荷电流谐波含量的角度, 对分布式的光伏并网发电系统, 并网的位置以及并网的容量对配电网, 电能质量影响程度进行了定量分析。没有定性分析步骤, 由此使文献 [9] 方法发电系统电流波形浮动相对较大。文献 [10] 方法根据序贯蒙特卡罗法实现含有光伏发电的配电网的可靠性评估, 利用不同指标衡



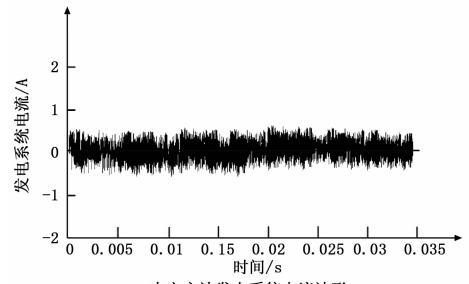
文献[8]方法发电系统电流波形



文献[9]方法发电系统电流波形



文献[10]方法发电系统电流波形



本文方法发电系统电流波形

图 8 不同方法电网电流波动对比

量光伏发电, 对配电网可靠性影响。在可靠性评估的过程中虽然设置了不同的指标, 但是并没有发电系统电流波形这一指标, 系统在运行时电流波形不稳定, 上下浮动大。而本文所提方法发电系统由 117 块太阳能组件阵列构成, 以最终组件 3 个独立的单相并网逆变系统接入三相电网, 各太阳能组件额定的功率为 85 W。就算某一相发生故障, 其他的两相还能够继续发电, 这对系统电流波形的稳定性来说, 无疑是一种保障, 减小了电流波形的波动幅度。

通过对不同方法发电系统电压波动的对比可以明显看出, 本文方法具有稳定性强的优势。本文方法放电控制模块采用的是 TLP250 驱动 Power MOSFET, 当作系统充放电模块内的开关器件, 减小了系统电压波动。进一步证明了本文方法的可靠性和稳定性。

将文献方法和本文方法设计出的发电系统在相同的条件下重启 5 次, 观察不同方法发电系统启动时间 (s)。

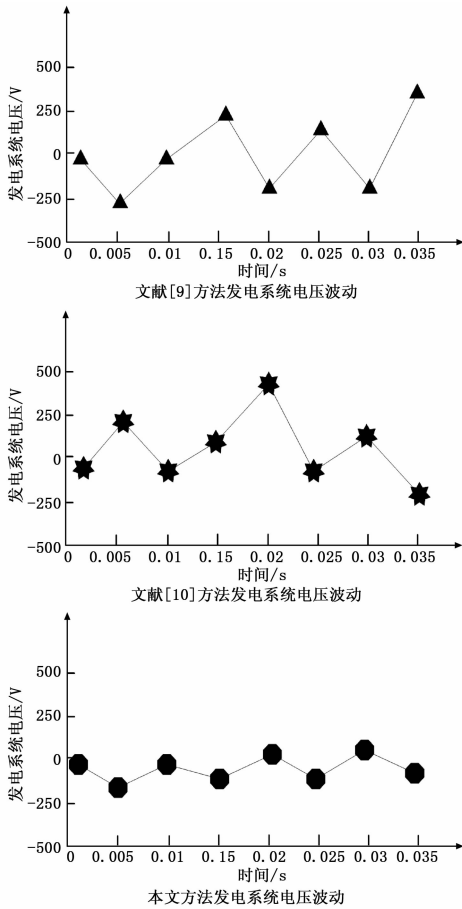


图 9 不同方法发电系统电压波动对比

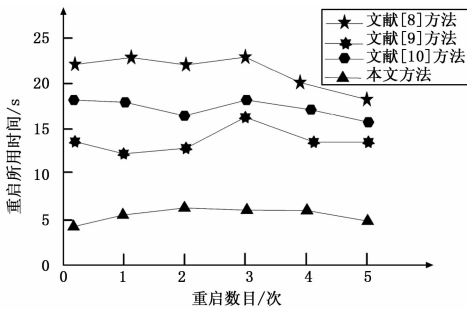


图 10 不同方法发电系统启动时间对比

分析图 10 可知, 本文方法的启动速度明显优于文献方法启动速度。因为本文方法在硬件的基础上, 建立了光伏并网接入配电网的太阳能发电数学模型, 与系统的硬件进行结合, 有利于系统的运行效率和启动时间。以上数据进一步证明了本文

所提方法具有高速性。

实验证明, 本文所提方法可以稳定快速地对光伏并网接入配电网的发电系统进行设计。

4 结束语

采用当前方法对发电系统设计时, 无法对其进行高效设计, 导致系统运行速度慢, 稳定性差, 而提出的光伏并网接入配电网的太阳能发电系统设计方法, 可以设计出稳定灵活的发电系统, 并通过实验证明, 该方法运行稳定, 电压和电流的波动幅度小, 系统启动时间短, 是一种比较优秀的发电系统设计方法。

存在的问题:

- 1) 光伏模块挡住在线监测, 确定模块中数个串联电阻内存在问题的电阻, 可以及时地报告和排除遮挡部分或是问题部分;
- 2) 对于不同电网电流的控制器作进一步研究, 死区的时间补偿效果要进行进一步分析, 从而获取谐波畸变更小电流注入电网;
- 3) 要进一步完善逆变结构, 直到其不受电网故障的影响;
- 4) 多个光伏并网接入配电网时, 应再多研究其对配电网性能等方面的影响, 尤其是当各光伏逆变参考的电流不同, 且发出波形不同时, 要对电流的控制进行充分讨论。

参考文献:

[1] 杨秋霞, 刘大鹏, 王海臣, 等. 光伏并网发电与电能质量调节统一控制系统 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (5): 69-74.

[2] 马 娟, 宋凤丹, 陈 昊, 等. 量子点敏化太阳能电池研究进展 [J]. 化工进展, 2015, 34 (10): 3601-3608.

[3] 周 晓, 朱艳林, 王艳艳. 基于组态王的配电网监测系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (5): 1731-1733.

[4] 李丽芳, 江 冰, 吉正洵, 等. 光伏发电系统 MPPT 控制仿真模型 [J]. 计算机仿真, 2015, 32 (4): 116-119.

[5] 彭治国, 祁正伟, 蔡卓康, 等. 电子束辐照对多晶硅太阳能电池电学性能的影响 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16 (36): 180-183.

[6] 杨 帆, 程 坦, YangFan, 等. 光伏发电系统中能效最优倾角的计算方法研究 [J]. 科技通报, 2016, 32 (1): 158-162.

[7] 杨雪蛟, 李 征. 家庭并离网一体光伏发电系统的能量管理策略 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (2): 112-116.

[8] 陶维青, 鲁胜清, 杨 刚, 等. 低压配网中光伏发电系统调压策略 [J]. 可再生能源, 2015, 33 (9): 1323-1328.

[9] 韩富佳, 王 淳. 基于 Matlab 的分布式光伏并网发电系统对配电网电能质量的影响 [J]. 电测与仪表, 2015, 52 (14): 16-21.

[10] 吴红斌, 王 蕾. 光伏发电系统建模及对配电网可靠性影响研究 [J]. 太阳能学报, 2016, 37 (5): 1197-1204.

(上接第 81 页)

[3] 李玉街. 智能模糊控制技术在中央空调节能控制中的应用 [J]. 电力需求侧管理, 2007 (5): 77-78.

[4] 李 巧, 徐晓宁, 蒋仁娇, 等. VAV 空调系统总风量控制方法探讨 [J]. 建筑科学, 2014 (10): 47-50.

[5] 王丹凤, 李书臣, 翟春艳, 等. 基于神经网络参数优化的迭代学习控制算 [J]. 河南科技大学学报 (自然科学版), 2008 (6): 42-44.

[6] 陈 娟. 迭代学习控制方法在注塑机注射保压全过程中的应用

[D]. 沈阳: 东北大学, 2008.

[7] 徐 敏. 基于迭代学习控制理论的励磁控制研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2005.

[8] 魏燕定. 提高迭代自学习控制算法收敛速度初探 [J]. 控制理论与应用, 2001 (2): 314-316.

[9] 于洪林. 平板硫化机的现状和发展趋势 [J]. 橡胶技术与装备, 1995 (5): 22-28.