

交流光伏水泵系统控制策略

徐小勇

(上海振华重工电气有限公司, 上海 200125)

摘 要: 光伏水泵系统具有无污染、全自动等优点, 且应用的场合较多, 为此设计了一种以 TMS320F28335 为主控制器的光伏水泵控制系统。控制系统中的三相异步电机调速部分采用基于空间矢量脉宽调制 (SVPWM) 方式的变压变频 (VVVF) 控制, 最大功率点跟踪部分采用恒定电压法 (CVT) 和扰动观察法结合最大功率点跟踪 (MPPT) 技术。试验结果表明系统实现最大功率点跟踪并稳定运行。

关键词: 光伏水泵系统; 空间矢量脉宽调制; 变压变频; 最大功率点跟踪

中图分类号: TM 315 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2017)06-0113-07

Control of Photovoltaic Water Pumping System

XU Xiaoyong

(Shanghai ZPMC Electric Co., Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract: The Photovoltaic (PV) pump system possesses advantages such as pollution-free and fully-automatic, which can be applied in a wide area. Thus a PV pump control system based on TMS320F28335 has been designed. The variable voltage variable frequency (VVVF) strategy based on space vector pulse width modulation (SVPWM) was employed in the speed governor of the three-phase asynchronous motor in the system. The MPPT algorithm took advantage of a combination of continuously variable transmission (CVT) and perturbation & observation (P&O) method. The proposed idea has been validated through experiment.

Key words: photovoltaic pump system; space vector pulse width modulation (SVPWM); variable voltage variable frequency (VVVF); maximum power point tracking (MPPT)

0 引 言

面对常规能源短缺和环境污染问题, 新能源的开发和利用逐渐受到广泛的关注与重视, 尤其是可持续利用的太阳能。光伏水泵系统作为太阳能的一种应用, 有着无污染、全自动、高可靠性和无人值守等优点, 特别适合光照和地下水资源丰富的区域^[1]。此外, 该系统可被广泛应用在景观喷泉、草原畜牧、海水淡化、沙漠治理等方面。因此, 光伏水泵系统的研究具有重要意义。

针对光伏水泵系统变频运行、光伏阵列电压变化范围大等特点, 为最大限度利用光伏阵列能量, 电机调速部分运用空间矢量脉宽调制 (Space Vector Pulse Width Modulation, SVPWM) 算法的变压变频 (Varuabke Viktage Varuabke Frequency,

VVVF) 控制。SVPWM 根据逆变器的不同开关模式产生的实际磁通去逼近基准磁通圆, 不但能达到较高的控制性能, 而且具有转矩脉动小、噪声低、电压利用率高等优点^[2]。最大功率点跟踪 (Maximum Power Point Tracking, MPPT) 采用恒定电压法 (Continuously Variable Transmission, CVT) 和扰动观察法 (Perturbation & Transmission, P&O) 结合的控制策略思路简单, 便于实现。

本文设计了一款以 TMS320F28335 为主控制器的交流光伏水泵系统, 分析其控制策略, 最后通过试验验证了控制策略的正确性和可行性。

1 光伏水泵系统的构成和特点

光伏水泵系统是将太阳能转化为电能去驱动水泵进行抽水的系统, 其结构如图 1 所示。主要

由光伏阵列、单级式光伏水泵逆变器、三相交流异步电机、水泵和储水等组成。此种拓扑结构无需直流升压环节,可减少电力电子变换过程,具有成本低、转换效率高优点。

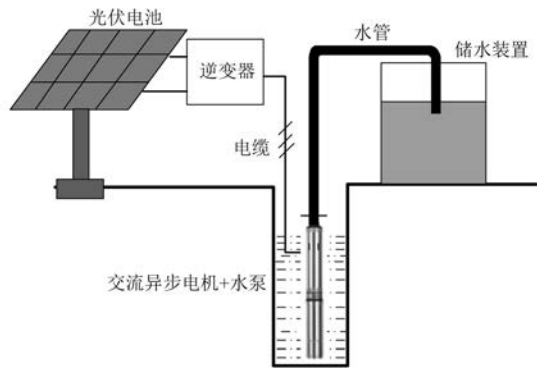


图1 光伏水泵系统结构图

2 光伏水泵系统控制策略及实现

交流光伏水泵系统的控制可分为两部分:三相异步电机控制和光伏阵列的最大功率跟踪控制。电机控制采用易实现且直流母线电压利用率高的 SVPWM 调制的 VVVF 控制,MPPT 控制采用恒压法和扰动观察法结合的控制方案。

2.1 系统控制实现原理

光伏水泵输出功率与转速的 3 次方成正比,同时,转速由逆变输出频率控制,故可通过调节逆变输出频率来调整负载输出特性,实现光伏阵列的输出功率始终跟踪在最大功率点处。

由图 2 所示的光伏水泵系统控制框图可知,光伏电池输出的电压值 U_{dc} 与光伏电池给定指令电压 U_{dc}^* 比较,得到误差电压 ΔU , ΔU 通过 PI 数

字调节器调节输出频率 f ,再根据 U/f 曲线确定逆变器输出电压 U_s ,然后与光伏电池输出电压 U_{dc} 一起参与 SVPWM 调制计算,实现控制逆变器输出电压与频率,进而改变电机转速,实现光伏水泵系统最大功率输出^[3]。

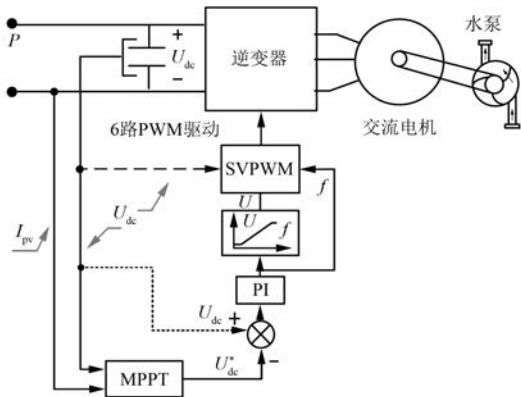


图2 光伏水泵系统控制框图

2.2 三相交流异步电机控制原理

在光伏水泵系统中,负载为水泵,对动态性能要求不太高,且 VVVF 控制易实现、调速方便且稳定可靠,因此被广泛使用。故电机调速部分采用基于 SVPWM 调制的 VVVF 控制策略。

2.2.1 SVPWM 调制与实现

SVPWM 是从交流电动机的角度出发,着眼于使交流电机获得幅值恒定的圆形旋转磁场,即正弦磁通。它以三相对称的正弦波电压供电时的理想圆形磁通轨迹为基准,通过控制逆变器的不同开关模式,使电机所形成的实际磁链有效矢量尽量逼近其理想磁链圆。

图3所示为光伏水泵系统的整体框图,其中

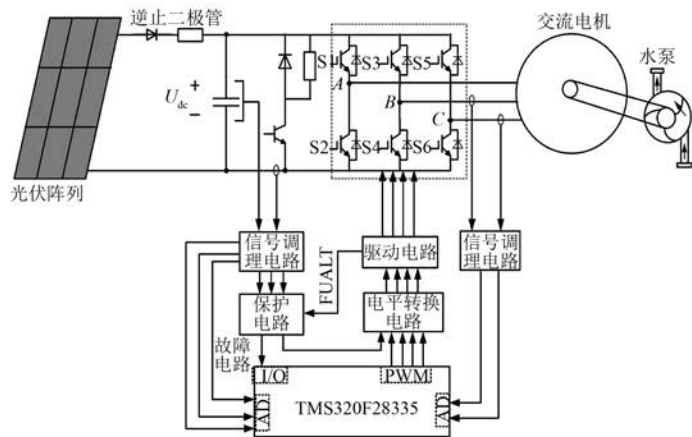


图3 光伏水泵系统整体框图

虚线部分是三相 PWM 逆变器原理图, S1~S6 是 6 个功率开关管, 如把上桥臂器件导通用“1”表示, 下桥臂器件导通用“0”表示, 则有 8 种工作状态。其中, 有 6 个工作状态是有效的, 2 个工作状态为零状态 u_0 、 u_7 。SVPWM 的基本原理就是利用 6 个开关管的 8 种工作状态来合成目标矢量 u_s , 以达到对磁通 Ψ_s 控制。

如图 4 所示为电压空间矢量图, 按 6 个有效工作矢量将电压矢量空间分为对称的 6 个扇区, 当期望的输出电压矢量落在某个扇区内时, 就用与期望输出电压矢量相邻的两个有效矢量合成期望的输出矢量。以第一扇区为例, 用 u_1 和 u_2 的组合就可构成所期望的电压空间矢量 u_s , 其中 U_s 为 u_s 的幅值; θ 为输出电压矢量与扇区起始边的夹角; 在一个开关周期 T_s 中, u_1 的作用时间为 t_1 , u_2 的作用时间为 t_2 , 零矢量的作用时间 t_0 。

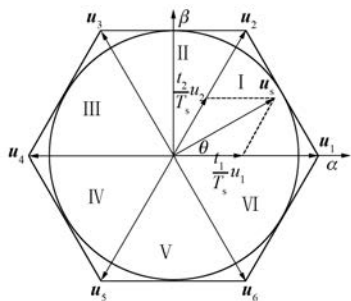


图 4 空间电压矢量图

由正弦定理可得

$$\frac{\frac{t_1}{T_s} \sqrt{\frac{2}{3}} U_d}{\sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right)} = \frac{\frac{t_2}{T_s} \sqrt{\frac{2}{3}} U_d}{\sin\theta} = \frac{U_s}{\sin \frac{2\pi}{3}} \quad (1)$$

进一步整理式(1)可得

$$\begin{cases} t_1 = \frac{\sqrt{2} U_s}{U_d} T_s \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right) \\ t_2 = \frac{\sqrt{2} U_s}{U_d} T_s \sin\theta \\ t_0 = T_s - t_1 - t_2 \end{cases} \quad (2)$$

本文采用零矢量分布的 SVPWM 调制方法^[4]。此种调制方式将零矢量平均分为 4 份, 在开关周期的首、尾各放 1 份, 在中间放 2 份, 将两个基本电压矢量 u_1 、 u_2 的作用时间 t_1 、 t_2 平分为二后, 插在零矢量间, 按开关损耗较小的原则, 首、尾

的零矢量取 u_0 , 中间的零矢量取 u_7 。图 5 为第一扇区内逆变器输出的三相 PWM 波形和各电压矢量作用时间, 通过此种方法确定其他扇区电压矢量作用时间。

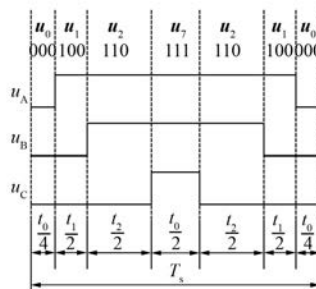


图 5 零矢量分布的 SVPWM 实现

如图 6 所示为经过 RC 滤波后的 SVPWM 波形, PWM 波输出为马鞍波, 其相位相差 120° , 表明 SVPWM 调制算法的软件编写的正确性。

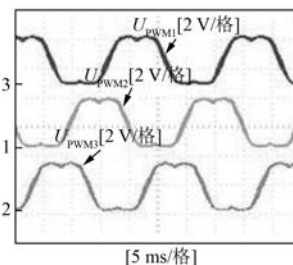


图 6 经过 RC 滤波的 SVPWM 波形

2.2.2 VVVF 控制原理

在光伏水泵系统控制中, 为了充分利用电机铁心, 发挥电机产生转矩的能力, 需保持气隙磁通 Φ_m 为额定值 Φ_{mN} 不变。

$$\frac{U_s}{f} = 4.44 N_s k_{N_s} \Phi_m = \text{constant} \quad (3)$$

如式(3)所示, 在调速过程中应在改变定子工作频率 f 的同时, 相应改变逆变器输出电压 U_s , 以保证三相交流异步电机调速过程中的 U_s/f 为恒定值, 保证电机恒磁通运行。

2.3 光伏水泵系统的 MPPT 原理及实现

光伏阵列具有如图 7 所示的伏安特性, L 为光伏水泵系统(光伏电池+控制器+电机+水泵)的负载特性曲线。负载特性曲线与不同光照强度时的光伏阵列特性曲线相交于 a 、 b 、 c 、 d 、 e 等点, 为系统当前的工作点, 并非光伏阵列可提供的最大功率点 a_1 、 b_1 、 c_1 、 d_1 、 e_1 , 图中阴影线所示的面积是

被浪费的阵列容量^[5]。为了匹配光伏阵列输出特性与负载曲线,光伏水泵系统 MPPT 技术被广泛应用,使得系统工作在 $P_{\max}$ 位置。

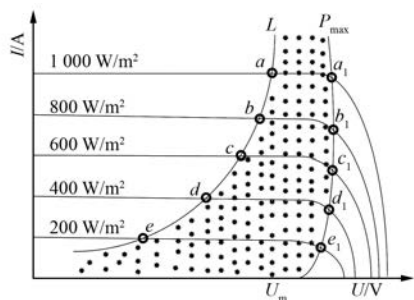


图 7 光伏阵列输出特性与负载匹配曲线

2.3.1 光伏水泵系统 CVT 的 MPPT 原理

光伏电池的 $I-U$ 特性曲线如图 8 所示,温度相同,不同光照强度下光伏电池输出的最大功率点几乎分布于某一电压的两侧附近,故可以采用 CVT 方式近似获得光伏电池的最大功率输出。控制策略实现如图 2 所示,具体跟踪过程如下:通过人为给定恒定值 $U_{dc}^* = U_{mp}$,在运行过程中,当 $U_{dc} > U_{dc}^*$ 时,通过 PI 调节器实现输出频率增加;当 $U_{dc} < U_{dc}^*$ 时,减少输出频率,最终实现光伏电池输出电压稳定在近似最大功率点处的电压 U_{mp} 。

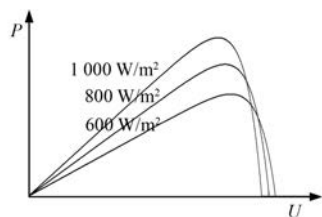


图 8 光伏电池的特性曲线

2.3.2 光伏水泵系统 P&O 的 MPPT 原理

CVT 的 MPPT 无法实现真正意义上的 MPPT,故采用扰动观察法的 MPPT 策略。光伏水泵系统 P&O 的 MPPT 的原理是通过扰动光伏阵列的给定电压,结合输出功率 $P = U_{dc} I_{pv}$ 的关系,计算扰动前后光伏阵列的输出功率 P_1 和 P_2 。如图 9 所示,当 $P_2 > P_1$ 时,下一次则向相同的方向继续扰动光伏阵列的输出电压,将此电压作为光伏电池给定指令电压 U_{dc}^* ,与光伏电池输出的电压值 U_{dc} 与比较,得到误差电压 ΔU , ΔU 通过 PI 数字调节器调节输出频率 f ,最终实现光伏阵列工作

在最大功率点 C 附近。反之,往相反的方向扰动光伏阵列的输出电压。

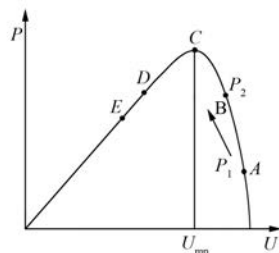


图 9 扰动观测法的工作过程

为使光伏阵列工作点较快地工作于最大功率点附近,同时提高算法的准确和可靠性,本文采用 CVT 方式的最大功率点跟踪方法起动,将 CVT 的电压设定 $0.8U_{oc}$,此过程结束后再通过扰动观察法来调节 CVT 的给定值,从实现光伏电池最大功率输出。

2.4 光伏水泵系统软件实现

系统的控制软件主要由主程序和 PWM 中断子程序组成。主程序完成函数声明、全局变量定义、系统初始化、GPIO 模块初始化、PI 控制器参数初始化、PWM 模块、AD 采样模块初始化和保护电路解锁子程序。PWM 中断程序主要实现直流母线电流、电压和逆变器输出电流的实时采样,故障保护,系统关机和控制算法实现子程序。其中,控制算法实现子程序包括 MPPT 控制算法子程序、PI 调节器输出频率子程序和 SVPWM 控制算法子程序。

2.4.1 MPPT 控制算法子程序

光伏水泵系统在起动过程中,对三相异步电机不加软起动控制时,起动电流是其额定运行时的 4 倍左右,当光伏阵列输出功率较小时,电机起动会迅速拉低光伏阵列的电压,造成电动机无法起动^[6]。因此,在光伏水泵系统中设计软起动是有必要的。软起动流程如图 10 所示。光伏水泵系统起动时,令起始给定参考电压 U_{dc}^* 等于光伏电池开路电压 $U_{oc} = 350$ V,每隔一定的时间将参考电压给定值 U_{dc}^* 减 1,直到给定值为 300 V,光伏水泵系统软起动结束。

采用软起动方式的 CVT 算法,可使光伏电池快速工作在最大功率点附近,提高系统的可靠性,但是,无法自动跟踪最大功率点处。故软起动结

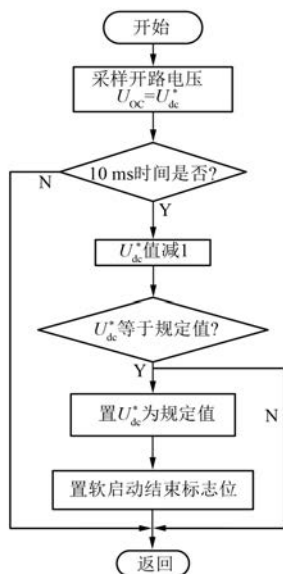


图 10 软启动流程图

结束后执行定步长扰动观察法的 MPPT 算法, 在程序中设定每隔一段时间调用一次 MPPT 子程序, 更新一下给定电压值 U_{dc}^* 后经过 PI 控制器调节输出频率, 使母线电压向最大功率点电压靠近。MPPT 算法子程序如图 11 所示。

2.4.2 SVPWM 控制算法子程序

SVPWM 控制算法子程序流程图如图 12 所示, 逆变器输出频率 f 由 PI 调节器后经输出限幅环节得到计算结果, 根据 U/f 关系获得 U_s , 通过采样电路获得直流母线电压 U_{dc} 值。在获得 SVPWM 算法子程序入口参数后, 计算相电压向量旋转增加的角度 $\Delta\theta = \frac{2\pi f}{f_{pwm}}$, 其中 f_{pwm} 为 PWM 中断周期。将相电压向量旋转增加的角度与前一个 PWM 中断周期获得的 θ 相加, 得到空间电压矢量角 θ_0 , 再计算调制度 M_0 , 其中调制度 M_0 的计算需要建立正弦表, 正弦表将 $0 \sim 60^\circ$ 均分为 1 365 份, 可保证数据高精度。根据 θ_0 进行扇区判断和扇区内角度 θ 的计算, 通过查正弦表得到数值, 根据式(2)计算 t_0 、 t_1 和 t_2 , 再根据各扇区 PWM 波切换时间, 将此值写入 PWM 模块的三个占空比寄存器 CMPR1、CMPR2 和 CMPR3 中, 完成 SVPWM 算法子程序。

3 试验结果及分析

本文设计的光伏水泵系统的试验系统电源采

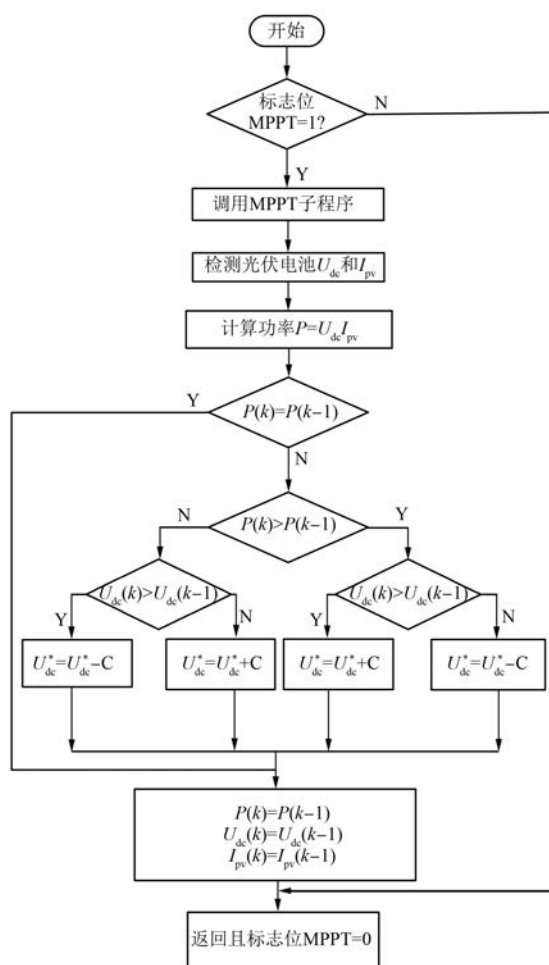


图 11 MPPT 算法程序流程图

用型号为 Chroma 62150-1000S 光伏模拟器替代光伏阵列, 设置光伏模拟器 $I-U$ 曲线, 其中开路电压 U_{oc} 为 350 V、开路电流 I_{sc} 为 4 A、最大功率点电压 U_{mp} 为 291.6 V、最大功率点电流 I_{mp} 为 3.15 A。

潜水泵参数如下: 额定功率 $P = 800$ W; 额定电流 $I = 3.5$ A; 额定电压 $U = 220$ V; 额定转速 $n = 1\,500$ r/min; 额定频率 $f = 50$ Hz; 光伏水泵逆变器主要参数: IPM 模块为 FP25R12KE3; 主控芯片 TMS320F28335; 驱动芯片 ACPL-T350。

为验证光伏水泵系统控制策略的可行性和正确性, 进行了 CVT MPPT 起动试验、扰动观察法 MPPT 起动试验、功率跳变时 CVT MPPT 试验和扰动观察法 MPPT 试验。

3.1 CVT MPPT 起动试验

设置光伏电池最终给定指令电压 $U_{dc}^* = 300$ V。图 13 所示为采用 CVT 模式下的 MPPT

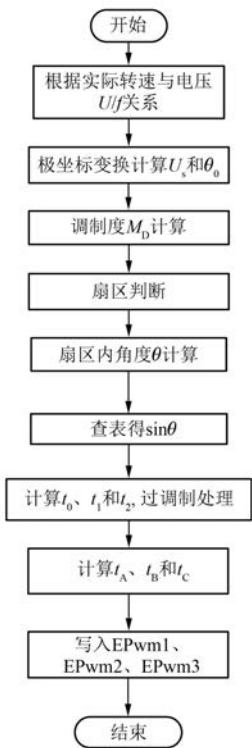


图 12 SVPWM 控制算法子程序

控制的系统起动时的直流侧电压、电流变化曲线。从波形可知,系统直流母线不断下降,最终稳定 300 V,直流母线电流最终约 3 A,电机运行频率为 45.9 Hz,系统实现了 CVT 最大功率跟踪点的跟踪。

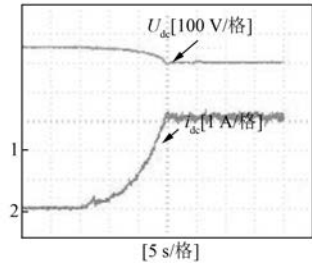


图 13 CVT MPPT 起动过程波形图

3.2 P&O MPPT 起动试验

图 14 所示为采用 CVT 和扰动观察法结合的 MPPT 控制的系统起动时的直流侧电压、电流变化曲线。控制策略上采用给定 CVT 值为 300 V 的起动方式,当起动结束后进行扰动观察法的 MPPT。由波形可知,母线电压最终稳定在约 292 V,直流母线电流为 3.15 A,输出功率在 918 W 左右波动,水泵输出频率为 46.7 Hz。相比于 CVT MPPT,输出功

率增加了 18 W,电机转速也提高了 0.8 Hz。试验结果表明本文采用 CVT 和扰动观察法的最大功率跟踪控制算法的正确性,其中,本文采用扰动观察法算法可实现真正意义上的 MPPT。

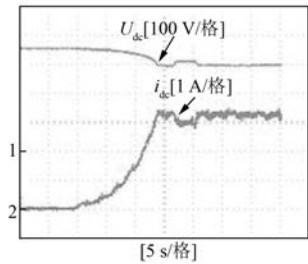


图 14 CVT 和扰动观察法起动过程波形图

3.3 功率跳变时的最大功率跟踪试验

为验证光伏水泵系统对外界环境变化的抗干扰能力,通过光伏电源设置 2 条光伏曲线,曲线 I 参数 U_{oc} 为 350 V、 I_{sc} 为 4 A、 U_{mp} 为 292 V、 I_{mp} 为 3.15 A;曲线 II 参数 U_{oc} 为 350 V、 I_{sc} 为 3 A、 U_{mp} 为 292 V、 I_{mp} 为 2.31 A。通过切换曲线分别对 CVT 最大功率跟踪功能进行测试。

在采用 CVT MPPT 控制方式时,参考电压给定 300 V。光伏水泵系统稳定运行在曲线 II 上,切换光伏模拟器电源到曲线 I 上。由图 15 功率上升跳变时的电压和电流波形可知,电流由 2 A 上升到 3 A,直流侧电压最终稳定在 300 V,光伏模拟器输出功率由 598 W 变为 897 W,系统可快速跟踪到最大功率点,并稳定运行。

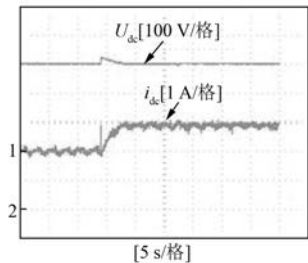


图 15 功率上升跳变时的电压、电流波形

图 16 所示为曲线 I 跳变到曲线 II 时的最大功率跟踪试验波形图。其中,电流值由 3 A 降低到 2 A,光伏电源输出功率由 897 W 变成 598 W,光伏水泵系统电机运行频率由 47 Hz 快速改变为 38 Hz,系统稳定运行。试验结果表明,功率跳变时,采用 CVT MPPT 控制算法可实现最大功率点跟踪。

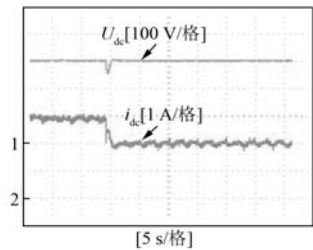


图 16 功率下降跳变时的电压电流波形

4 结 语

本文在设计的光伏水泵系统试验平台上,通过试验验证控制策略的可行性。其中,由 CVT MPPT 起动试验波形可知,通过软起动方式可解决电机起动电流过大问题,系统可平稳的起动,并稳定运行在最大功率点附近;扰动观察法 MPPT 起动试验可实现真正意义 MPPT;由功率跳变试验可知环境变化时系统可快速准确地跟踪到最大功率点并稳定运行。

(上接第 103 页)

发现 2 号磁极绕组线圈数量多于其他磁极线圈。具体分析流程如图 4 所示。

表 1 各磁极电阻值及波形重合度判定

参数名称	1 号磁极	2 号磁极	3 号磁极
对地绝缘电阻/MΩ	46	49	42
直流电阻/MΩ	0.053	0.058	0.053
与其他磁极的波形重合度	高	低	高

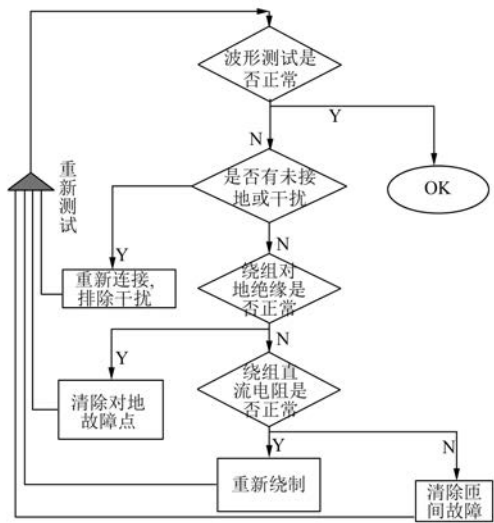


图 4 分析流程图

【参考文献】

[1] MEAH K, ULA S, BARRETT S. Solar photovoltaic water pumping—opportunities and challenges [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008, 12(4): 1162-1175.

[2] 江东流,莫岳平,黄海田,等.SVPWM 方法在光伏水泵控制系统中的应用[J].电工电气,2012(8): 39-42.

[3] 苏建徽.光伏水泵系统及其控制的研究[D].合肥:合肥工业大学,2003.

[4] 阮毅,陈伯时.电力拖动自动控制系统——运动控制系统[M].北京:机械工业出版社,2009.

[5] 何慧若,余世杰,沈维祥,等.光伏水泵系统负载配置的最优选择[J].太阳能学报,1992,13(4): 315-320.

[6] 邓高峰.基于 SVPWM 光伏水泵控制系统的设计[D].广州:华南理工大学,2013.

收稿日期: 2016 -09 -20

5 结 语

根据工厂以往实例发现,发电机运行中出现仅与无功有关的振动,检修中转子交流阻抗明显下降,振动曲线与励磁电流曲线相比滞后,发电机空载特性曲线下降,轴电压升高,转子绕组分担电压偏差较大,转子电流增大而无功功率却相对减小等现象都是转子匝间短路的特征表现,应尽快予以验证并处理。通过操作发现,PJ 测试仪器能快速方便地发现低至 1 匝的匝间短路,且经过十倍的冲击测试,能同时将潜在的匝间短路击穿,从而暴露出问题,并结合微欧计这一高精度的电阻测试仪来判断,可以更好地将转子匝间短路问题控制在转子生产环节。根据图 4 的验证分析步骤,基本可以将转子匝间故障的现象排除掉,从而增强产品的可靠性,提高最终成品出厂的品质。

【参考文献】

[1] 旋转电机试验要求: IACS.UR E13[S].

[2] 电压为1 kV 以上至 15 kV 的系统之统一要求: IACS.UR E11[S].

[3] 中国船级社.中国船级社钢质海船入级规范第 4 分册[M].北京:人民交通出版社,2015.

[4] 马国斌,王小辉.发电机转子匝间短路故障原因及检测方法[J].电工技术,2016(6): 96-97.

收稿日期: 2017 -04 -12

《电机与控制应用》合订本征订



《电机与控制应用》是上海电器科学研究所（集团）有限公司主办的全国中文核心期刊。上海电器科学研究所始建于1953年，是中国最大的多领域、综合性电工产品研究开发机构，上海市高新技术企业。电科所在电工行业内，从技术、检测、标准及人才优势等方面都具有举足轻重的地位，国内外对其关注程度都相当高。

《电机与控制应用》创刊于1959年，是经国家新闻出版总署批准注册，由上海电器科学研究所（集团）有限公司主办的具有专业权威的电工技术类科技期刊。每月10日出版，国内外公开发行，邮发代号4-199。在近半个世纪的岁月中，该杂志为我国中小型电机行业的技术进步与发展做出了巨大的贡献，在中国电机及其应用领域享有很高的影响。

名称	价格（元/套）
2008年《电机与控制应用》合订本	200
2009年《电机与控制应用》合订本	200
2010年《电机与控制应用》合订本	200
2013年《电机与控制应用》合订本	200
2014年《电机与控制应用》合订本	200
2015年《电机与控制应用》杂志全年散本	144
2016年《电机与控制应用》杂志全年散本	144

订阅方式

1、编辑部订阅：

邮局汇款：（200063）上海市普陀区武宁路509号17楼

《电机与控制应用》编辑部

2、邮局订阅：具体咨询当地邮局，邮发代号4-199。

3、网上订刊渠道：我得杂志网（<http://www.myzazhi.cn>） 蜘蛛网（<http://www.spider.com.cn>）

电子版购买可登陆读览天下网（<http://emca.dooland.com>）

4、海外读者订阅：可致电中国国际图书贸易集团有限公司

亚洲地区订刊电话010-68433109 欧美地区订刊电话010-68433119

联系方式：

期刊：《电机与控制应用》编辑部 地址：上海市普陀区武宁路509号17楼（200063）

电话：021-62574990-221、745 传真：021-32230809

网站：<http://motor-abc.chinaelc.cn> 电子邮箱：emca@seari.com.cn

携手节能减排 悠享生活空间

让你我从点滴做起



《电机与控制应用》杂志社宣

电机与控制应用

中文核心期刊 / 中国科技核心期刊

专业缔造权威 服务创造价值

高效节能 绿色电机

我们专注于

电机技术的研究

电机系统节能的解决方案

电机保护与控制技术的报道



扫描二维码
关注电机与控制应用

《电机与控制应用》创刊于1959年，由上海电器科学研究所（集团）有限公司主办的具有专业权威的电工技术类科技期刊。每月10日出版，国内外公开发售，邮发代号4-199，杂志集电科所在电工行业内，从技术研发、产品检测、标准制定及人才优势等各方面资源，专业服务于行业与用户，为我国中小型电机行业的技术进步与发展做出了巨大的贡献，在中国电机及其应用领域享有很高的影响力。

《电机与控制应用》编辑部
电话：021-62574990-221

地址：上海市武宁路509号17楼
传真：021-32230809

邮编：200063
E-mail: emca@seari.com.cn