

动力技术

光伏逆变器三相锁相技术与仿真

张 蕾 赵 玺

(中船重工第713研究所, 郑州 450015)

摘 要 介绍了三相光伏逆变器锁相环的基本组成和原理, 并针对同步旋转坐标的实现方法进行了详细的分析。根据锁相环的原理在 MATLAB_simulink 上建立三相锁相环的模型, 并进行了仿真实验。通过仿真实验结果验证了原理的正确性。

关键词 锁相环 光伏逆变器 MATLAB 仿真

中图法分类号 TK511.8; **文献标志码** A

能源是人类发展赖以生存的动力源泉, 随着当今世界的迅猛发展, 人类对能源需求的日益增加, 使得石油能源日益枯竭, 同时技术的发展对环境造成的影响也日益显著, 所以找到一种绿色可再生能源已成为全球共同面临的问题。太阳能作为一种新型的绿色可再生资源越来越多地进入到我们生活的各个领域, 其中太阳能发电成为太阳能利用的主要研究方向。

光伏逆变器作为太阳能发电系统的主要组成部分, 越来越多地受到人们的关注, 从而锁相环、最大功率点跟踪等光伏逆变器的主要技术成为近年来的研究热点。

1 锁相环的基本组成及主要实现方法

为了避免太阳所发电能并入电网后造成电网污染, 需要保证太阳能发电与电网电压保持同相位, 这就要求系统获得电网电压相位角。锁相环就是通过对电网电压的监测与控制得到电网电压相位的技术。

锁相环一般由鉴相器、环路滤波器、压控振荡器及分频器组成, 结构如图1所示。其基本工作原理: 鉴相器将电网电压和控制系统内部同步信号的相位差信号转变成电压, 经过环路滤波器滤波后去

控制压控振荡器, 从而改变系统内部同步信号的频率和相位, 使之与电网电压一致^[1,2]。

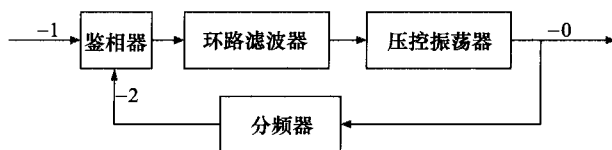


图1 锁相环结构图

锁相环的实现方法主要包括: (1) 采用硬件电路检测电网电压过零点求得相位差信号, 然后用硬件或软件实现锁相^[3]。(2) 利用同步旋转坐标变换检测角频率和相位信息。对于三相电路, 采用同步旋转坐标变换的方法实现锁相环具有更好的动态特性和较高的准确性。

2 三相锁相环同步旋转坐标变换基本原理与结构

在三相锁相环中采用同步旋转坐标变换的方法主要是将在 abc 三相静止坐标系下的电压矢量转化至两相旋转坐标系 $d-q$ 中。首先将 abc 坐标系转换至 $\alpha-\beta$ 两相静止坐标系, 其中 α 轴与三相静止坐标系的 a 轴重合, 当静止的 $\alpha-\beta$ 坐标系开始以一定速度旋转时就形成了旋转 $d-q$ 坐标系, 此时, q 轴与 a 轴夹角为 θ , 与空间电压矢量 U 夹角为 φ ^[4], 如图2所示。

当电网电压幅值,即电压合成矢量 \dot{U} 的幅值不变时, \dot{U} 的 d 轴分量 u_d 反映了 q 轴与电网电压的相位关系。 $u_d > 0$, q 轴滞后 \dot{U} , 应增大同步信号频率; $u_d < 0$, q 轴超前 \dot{U} , 应减小同步信号频率; $u_d = 0$, d 轴与 \dot{U} 同相。所以只要控制 $u_d = 0$, 就可以实现太阳能发电和电网电压同相^[5]。

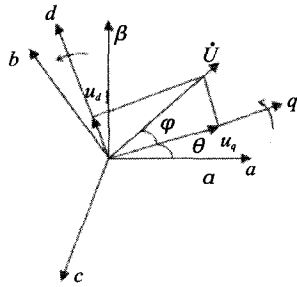


图2 矢量相位差示意图

坐标转换矩阵为:

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \sin\theta & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}$$

三相锁相环结构框图如图3所示。其中 abc/dq 和 sin/cos 共同构成鉴相器模块, 将一个 PI 控制器作为环路滤波器模块, $1/S$ 构成压控振荡器。在系统中加入 ωt 前馈能够增加系统的稳定性和准确性。

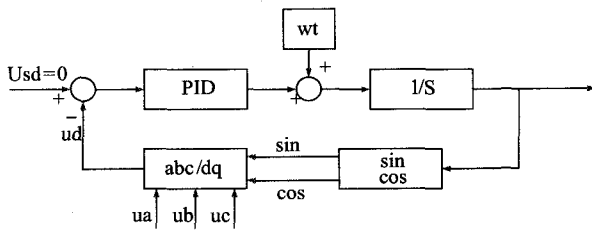


图3 三相锁相环结构框图

3 建模与仿真

通过对三相锁相环工作原理以及基本结构的分析, 利用 Matlab_simulink 软件对其进行仿真, 仿真模型如图4所示。其中三相电网电压可以通过三

个相位互差 $2\pi/3$ 的正弦发生器模块构成, ωt 取电网标准频率 50 Hz, 通过调节控制参数 k_p, k_i , 控制 $u_d = 0$ 。此时的相位 θ 就是电网电压的相位。

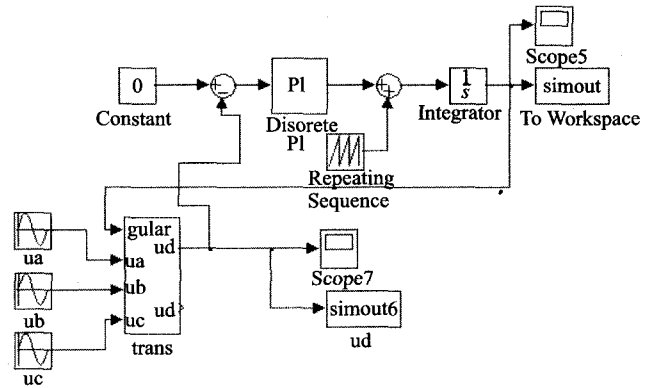
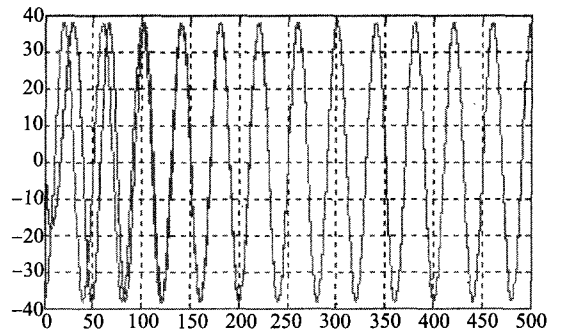
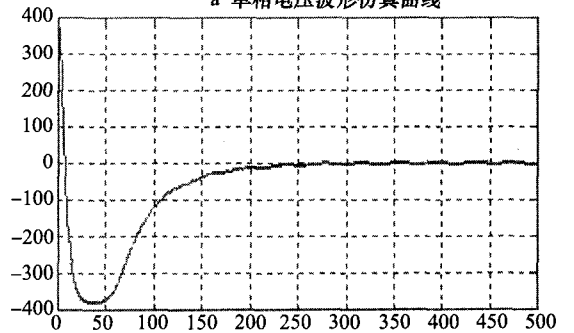


图4 三相锁相环仿真模型

当设定电网电压 A 相相位为初始 $\pi/2, k_p = 0.6, k_i = 0.15$ 时仿真结果如图5所示。



a 单相电压波形仿真曲线



b u_d 仿真曲线

图5 三相锁相环模型仿真曲线

通过仿真图可以看出, 产生的电压波形通过短时间的调整后和电网电压实现同步, 同时, u_d 也逐

渐逼近零。从而验证了通过坐标变换实现三相锁相环的正确性。

4 结论

本文介绍了光伏逆变器锁相环技术的基本原理与结构,并针对三相逆变器同步旋转坐标变换的方法进行了详细的分析,利用 Matlab_simulink 对系统进行了建模与仿真,通过仿真实验验证了该方法在原理上的正确性,为下一步的研究与实验奠定了良好的理论基础。

参 考 文 献

- 1 据兴宝,徐至新,邹建龙,等.基于 DSP 的三相软件锁相环设计.通信电源技术,2004;(10):1—2
- 2 刘 飞,徐鹏威,陈国强,等.基于 LCL 滤波器的三相光伏并网控制系统研究.太阳能学报,2008;(8):967—969
- 3 赵 为.太阳能光伏并网发电系统的研究.合肥:合肥工业大学博士研究生论文,2003;(2):53—67
- 4 WU Bin.大功率变频器及交流传动.卫三民,苏位峰,译.北京:机械工业出版社,2007;233—236
- 5 潘龙懿,李 治.基于同步旋转坐标变换的单项锁相环设计.内蒙古石油化工,2008;(24):80—81

Research and Simulation about the SPLL of Photovoltaic Inverter

ZHANG Lei,ZHAO Xi

(713 Research Institute,Zhengzhou 450015,P. R. China)

[**Abstract**] Elements and structure about the SPLL are described,Analysed the way of coordinate transformation. and in the use of modules and programming under the MATLAB_simulink, the modeling of the system is completed and carried out simulation experiments.

[**Key words**] SPLL photovoltaic inverter MATLAB simulation