

# 光伏并网逆变器的控制软件设计

曹胜华，钱诗宝

(国电南京自动化股份有限公司，江苏 南京 210003)

**摘 要：**光伏发电因其清洁、安全、便利、高效等特点，已成为世界范围内重点发展的可再生能源。并网逆变器是光伏发电系统核心功率调节器件。本文介绍了并网逆变器构成和工作过程，重点阐述了并网逆变器的嵌入式控制软件设计，根据并网逆变器工作内容和各任务的实时性要求，提出嵌入式控制软件有启动、并网发电、待机、正常停机及故障等五种工作模式，通过五种工作模式之间的成功转换来完成并网逆变器系统功能。

**关键词：**并网；逆变器；控制软件；软件设计；工作模式

## 0 引言

世界常规能源供应短缺危机日益严重，化石能源的大量开发利用已成为造成自然环境污染和人类生存环境恶化的主要原因之一，寻找新能源已成为世界热点问题。在各种新能源中，太阳能资源丰富、分布广泛，是最具发展潜力的可再生能源，同时太阳能光伏发电因其清洁、安全、便利、高效等特点，已成为世界各国普遍关注和重点发展的新兴产业。经过近十年快速增长，到 2011 年，世界光伏累计装机容量达到 67.4GW，其中我国累计光伏发电装机容量达到 3GW，成为发展速度最快的产业之一。随着世界各国未来对新能源进一步重视，太阳能光伏发电必将迎来更加广阔的发展空间。

太阳能光伏发电系统是利用太阳能电池直接将太阳能转换成电能的发电系统，一般分为并网光伏发电系统和离网光伏发电系统。我国根据国情重点发展大型太阳能光伏电站，主要应用并网光伏发电系统。

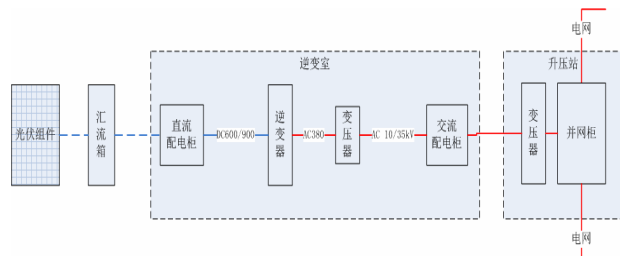


图1 并网光伏发电系统组成示意图

并网光伏发电系统主要包含：光伏组件、汇流箱、直流配电、并网逆变器、变压器及交流配电、光伏发电监控系统、升压站系统等，如图 1 所示。

其中，在光伏发电系统中并网逆变器是光伏系统核心功率调节器件，它将太阳能电池发出的直流电能转换成交流电能与电网并网发电，在新能源的开发和利用中有着至关重要的作用，因此开展并网逆变器技术研究意义重大。

## 1 并网逆变器

并网逆变器<sup>[1][2]</sup>主要包含：输入防雷器、直流断路器、直流滤波器、逆变器、LC滤波器、主（交流）接触器、交流滤波器、交流断路器、输出防雷器等，如图 2 所示。

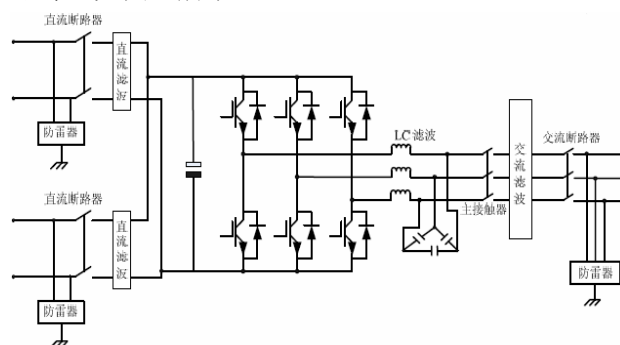


图2 并网逆变器组成示意图

输入防雷器：吸收直流侧浪涌电压。

直流断路器：控制直流电能输入。

直流滤波器：抑制直流侧高频信号传导干扰。

逆变器：通过控制电路使 IGBT 等功率开关元件按一定规律的连续开通和关断，使输出电压极性正负交替，将直流转换成与电网同频率、同相位的交流电。

LC 滤波器：滤除高频信号，产生正弦波交流电。

主（交流）接触器：控制交流电能输出。

交流滤波器：抑制交流侧高频信号传导干扰。

交流断路器：控制交流电能输出。

输出防雷器：吸收交流侧浪涌电压。

光伏组件产生的直流电能经过输入防雷器、直流断路器、直流滤波器送入逆变器，逆变器通过控制电路、主电路将直流转换成与电网同频率、同相位的交流电能输出，此交流电能经过滤波器滤波产生正弦波交流电，再经主（交流）接触器送入交流滤波器抑制高频信号传导干扰，最后经交流断路器、输出防雷器将电能馈送至电网。

为保证太阳能光伏并网发电系统能正常并网发电，国际和国内出台很多标准和要求，如《国家电网公司光伏电站接入电网技术规定（试行）》、《GB/T 19939-2005：光伏系统并网技术要求》、《GB/T 20046-2006：光伏（PV）系统电网接口特性》等，这些标准和要求都是通过并网逆变器来实现的。通过并网逆变器能实现高转换效率、先进的最大功率点跟踪（MPPT）、宽电压输入范围、先进的反孤岛、完善的系统保护、低的电流输出谐波、完善的有功功率和无功功率调节、低电压穿越等功能。由于并网逆变器任务多，实时性要求高，因此并网逆变器采用美国 TI 公司专用嵌入式控制芯片（DSP），通过优化控制软件设计来达到并网发电要求。

## 2 并网逆变器控制软件设计

由于并网逆变器需要完成实时信息采集，实时分析计算，实时最大功率点跟踪，实时保护，实时运行优化，实时输出功率调节等工作，所以并网逆变器是一个高度自主的实时工作系统。因此必须有高可靠的嵌入式控制软件。

### 2.1 工作模式

根据并网逆变器工作内容，分析各任务的实时性要求，提出嵌入式控制软件有启动、并网发电、待机、正常停机及故障五种工作模式<sup>[3]</sup>。

1) 启动：是指从完全停机状态开机至并网发电模式的准备阶段。在此模式下，系统进行全面自检，并不断地检测光伏组件是否具有足够的能量进行并网发电。

2) 并网发电：是指并网逆变器将光伏阵列的直流电逆变成交流电并入电网的工作模式。这个工作模式有二种工作方式。第一种是最大功率点跟踪

（MPPT）控制方式，为了尽可能地输出最大功率，系统采用最大功率点跟踪（MPPT）控制方式，即必须保证系统在不论何种日照及温度条件下，始终使太阳能电池阵列输出处于最大功率状态。第二种是上网功率调节控制方式，为了保证电网安全稳定运行，系统输出（上网）的有功功率和无功功率都受电网调度严格控制，以尽可能满足电网要求。

3) 待机：在系统正常工作条件下，由于光伏阵列输出能量暂时不足以持续并网发电而处于的一种等待工作模式。在此模式下，逆变器每 5min 一次检测光伏组件是否具有足够的能量进行并网发电。

4) 正常停机：在系统正常工作条件下，由于光伏阵列输出能量长时间不足或收到停机命令，使网侧主接触器断开而脱离电网后的一种等待工作状态。在此模式下，不断地检测光伏组件是否具有足够的能量进行并网发电，同时不断监测运行命令。

5) 故障：当系统检测到故障时，如果系统正处于并网发电状态，立刻断开网侧交流断路器，脱离电网，同时通过报警灯点亮、蜂鸣器发出响声、液晶显示屏显示当前故障方式，给用户提示故障和处理信息。在此模式下，以给用户提示故障和处理信息为主，同时在发生故障 5 分钟后系统自动检测故障是否已经排除，系统能否正常工作。

### 2.2 工作模式转换

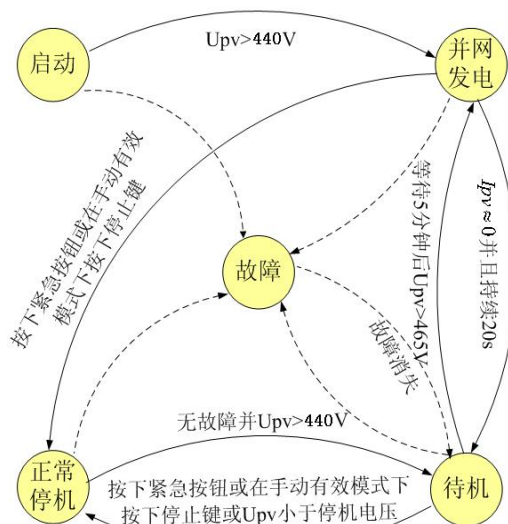


图3 逆变器工作模式转换过程

并网逆变器的嵌入式控制软件就是不停的在这五种工作模式之间进行转换来完成系统功能。图 3 并网逆变器工作模式转换过程（其中：Upv 为光伏阵列直流输出电压；Ipv 为光伏阵列直流输出电流）。

下面详细介绍转换过程。

1) 并网逆变器从完全停机状态开机, 进入启动工作模式, 系统进行全面自检, 当自检正常后, 通过检测光伏阵列直流输出电压是否大于 440V ( $U_{pv} > 440V$ ) 来判断是否具有足够的能量进行并网发电, 当  $U_{pv} > 440V$  时, 转换到并网发电工作模式, 否则继续运行在启动工作模式。

2) 并网发电工作模式不断将光伏阵列的直流电逆变成交流电并入电网。通过检测光伏阵列直流输出电流是否大于 0 ( $I_{pv} > 0$ ) 来判断是否具有足够的能量进行并网发电, 当  $I_{pv} \approx 0$  且持续 20s 后, 转换到待机工作模式, 否则继续运行在并网发电工作模式, 同时不断监测是否收到停机命令, 当收到停机命令后转换到正常停机工作模式。并网发电模式还需要实时监测并网逆变器输出电源和电网电源情况, 以便随时进行工作状态调节和对异常情况启动保护动作。

3) 待机工作模式是一种和电网连接但不输出功率的等待工作模式。通过检测光伏阵列直流输出电压来判断是否具有足够的能量进行并网发电, 当处于待机工作模式 5min 后检测  $U_{pv} > 465V$  时, 转换到并网发电工作模式, 当检测  $U_{pv}$  小于设置的停机电压时, 转换到正常停机工作模式, 同时不断监测是否收到停机命令, 当收到停机命令后转换到正常停机工作模式, 否则继续运行在待机工作模式。

4) 正常停机工作模式是一种和电网断开连接(即网侧主接触器断开而脱离电网)的等待工作模式。通过检测光伏阵列直流输出电压是否大于 440V ( $U_{pv} > 440V$ ) 来判断是否具有足够的能量进行并网发电, 当  $U_{pv} > 440V$  时, 转换到待机工作模式, 否则继续运行在正常停机工作模式。

5) 故障工作模式是一种和电网断开连接(即网侧断路器断开而脱离电网)的故障报警工作模式。当启动工作模式、并网发电工作模式、待机工作模式、正常停机工作模式出现异常工作状态后都转换到故障工作模式, 严重故障发生后必须人工取消故障

报警后才能恢复工作, 非严重故障只要故障消失将转换到待机工作模式, 相关工作条件满足后将能转换到并网发电工作模式。

并网逆变器通过以上介绍五种工作模式之间转换来完成并网逆变器系统功能。

### 3 结论

光伏发电因其清洁、安全、便利、高效等特点, 已成为世界范围内重点发展的可再生能源。并网逆变器是光伏发电系统核心功率调节器件。本文介绍了并网逆变器构成和工作过程, 重点阐述了并网逆变器的嵌入式控制软件设计, 根据并网逆变器工作内容和各任务的实时性要求, 提出嵌入式控制软件有启动、并网发电、待机、正常停机及故障等五种工作模式, 通过五种工作模式之间的成功转换来完成并网逆变器系统功能。随着未来光伏发电产业的发展, 更大功率的并网逆变器将得到研究和应用, 相应的嵌入式控制软件将得到进一步完善和提高。

#### 参考文献:

- [1] 时智勇. 三相单级式光伏并网发电系统综合控制与应用[D]. 北京: 北京交通大学电气工程学院, 2009.
- [2] 张琪祁. 大型光伏电站接入电网的技术和特性研究[D]. 杭州: 浙江大学电气工程学院, 2011.
- [3] 温昱. 软件架构设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.

#### 作者简介:

曹胜华(1968-), 男, 湖北人, 工学硕士, 高级工程师, 主要研究方向嵌入式系统与智能控制、电机控制系统设计、电力电子技术应用, E-mail: csh\_usm@yahoo.com.cn。