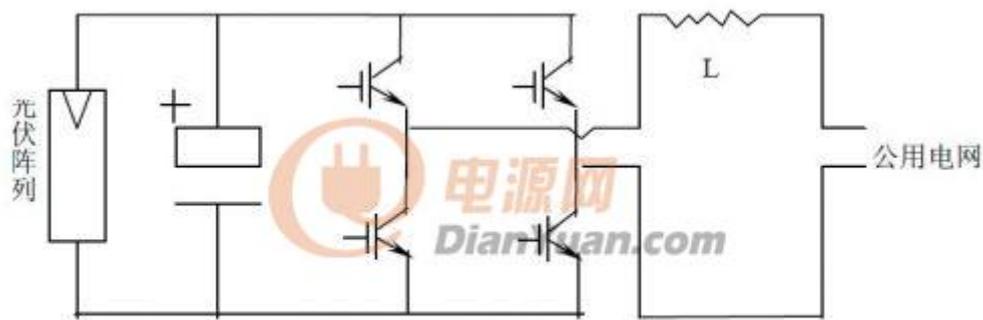


光伏逆变器的设计要求案例

太阳能光伏发电系统目前主要用于无电或缺电的边远地区，作为独立的电源给家用电器及照明设备供电。随着电力紧张、环境污染等问题的日趋严重，与公用电网并网运行的太阳能发电系统已显出越来越大的竞争力。光伏发电的并网运行，将省去独立光伏系统中的储能环节—蓄电池，从而大大减少了电站的维护。由于蓄电池的寿命较短，省去蓄电池后，发电系统的寿命可与太阳能电池的寿命相当。对于家庭住宅而言，配备光伏发电系统，可缓和白天电力紧张的局面，提高电网功率因素和降低线路损耗。光伏电站的并网发电，最终将取代常规能源发电。光伏发电的并网原理如图 1 所示。太阳能电池阵列通过正弦波脉宽调制逆变器向电网传送电能，逆变器馈送给电网的电力由阵列功率和当时当地的日照条件决定。逆变器除了具有直流—交流转换功能外，还必须具有光伏阵列的最大功率跟踪功能和各种保护功能。图 1 所示逆变器为电压型逆变器。目前，电压源型逆变器技术已日趋成熟，所需的硬件也

容易购得。本文将对电压型逆变器作进一步研究。



1 小型光伏并网电站应具备的性能

光伏电站并网运行，对逆变器提出了较高的要求。这些要求如下：

- ① 要求逆变器输出正弦波电流。光伏电站回馈给公用电网的电力，必须满足电网规定的指标，如逆变器的输出电流不能含有直流分量、逆变器输出电流的高次谐波必须尽量减少、不能对电网造成谐波污染等。
- ② 要求逆变器在负载和日照变化幅度较大的情况下均能高效运行。光伏电站的能量来自太阳能，而日照强度随气候而变化，这就要求逆变器能在不同的日照条件下均能高效运行。
- ③ 要求逆变器能使光伏阵列工作在最大功率点。太阳能电池的输出功率与日照、温度、负载的变化有关，即其输出特性具有非线性特性[1]。这就要逆变器具有最大功率跟踪功能，即不论日照、温度等如何变化，都能通过逆变器的自动调节实现阵列的最佳运行。

④要求逆变器具有体积小、可靠性高等特点。对于家用的光伏电站，其逆变器通常安装在室内或壁挂于墙上，因此对其体积、重量均有限制。另外，对整机的可靠性也提出较高的要求。由于太阳能电池的寿命均在 20 年以上，因此其配套设备的寿命也必须与其相当。

⑤要求在市电断电状况下逆变器在有日照时能够单独供电。

2 正弦波电压型逆变器的实现

光伏发电并网运行时的电路原理如图 2 所示。 U_p 为逆变器输出电压， U_u 为电网电压， R 为线路电阻， L 为串联电抗器， I_z 则为回馈电网的电流。为保证回馈功率因数为 1，回馈电流的相位必须与电网电压的相位一致。以电网电压 U_u 为参考，则 I_z 与 U_u 同相位，其矢量图如图 3 所示。内阻 R 两端的电压 U_R 与电网电压相位一致，而电抗器两端电压 U_L 的相位则落后于 U_R 90°。由此可以求得 U_p 的相位和幅值：

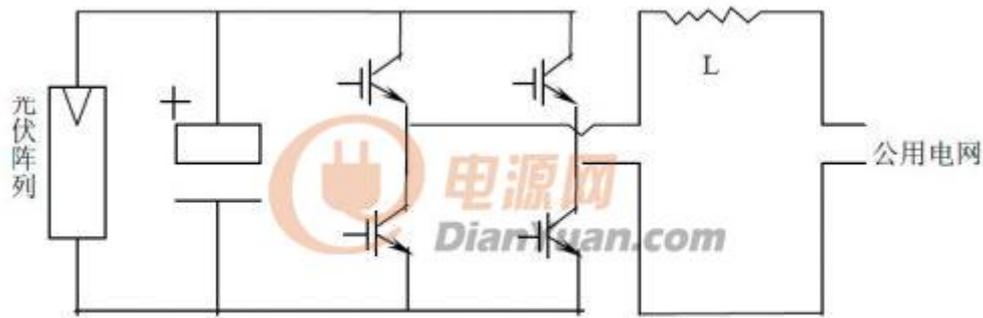
$$U_p = I_z \cdot (R + \omega L) + U_u$$

其中 ω 为公用电网角频率。实际电路中， U_u 的

摘要提出了并网发电所需的光伏逆变器的设计要求。设计时采用电压源型逆变器实现光伏发电的并网运行，并采用 16 位微处理器和 IGBT 功率器件改善逆变器的输出波形。

太阳能光伏发电系统目前主要用于无电或缺电的边远地区，作为独立的电源给家用电器及照明设备供电。随着电力紧张、环境污染等问题的日趋严重，与公用电网并网运行的太阳能发电系统已显出越来越大的竞争力。光伏发电的并网运行，将省去独立光伏系统中的储能环节—蓄电池，从而大大减少了电站的维护。由于蓄电池的寿命较短，省去蓄电池后，发电系统的寿命可与太阳能电池的寿命相当。对于家庭住宅而言，配备光伏发电系统，可缓和白天电力紧张的局面，提高电网功率因素和降低线路损耗。光伏电站的并网发电，最终将取代常规能源发电。光伏发电的并网原理如图 1 所示。太阳能电池阵列通过正弦波脉宽调制逆变器向电网传送电能，逆变器馈送给电网的电力由阵列功率和当时当地的日照条件决定。逆变器除了具有直流—交流转换功能外，还必须具有光伏阵列的最大功率跟踪功能和各种保护功能。图 1 所示逆变器为电压型逆变器。目前，电压源型逆变器技术已日趋成熟，所需的硬件也

容易购得。本文将对电压型逆变器作进一步研究。



1 小型光伏并网电站应具备的性能

光伏电站并网运行，对逆变器提出了较高的要求。这些要求如下：

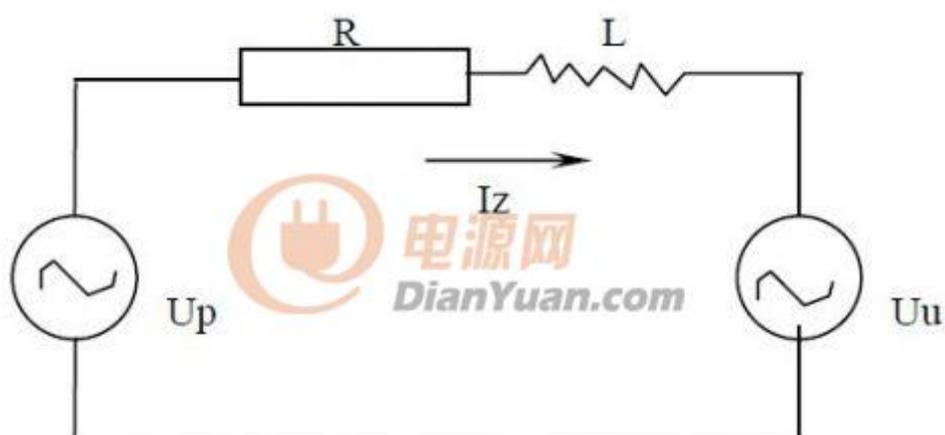
- ① 要求逆变器输出正弦波电流。光伏电站回馈给公用电网的电力，必须满足电网规定的指标，如逆变器的输出电流不能含有直流分量、逆变器输出电流的高次谐波必须尽量减少、不能对电网造成谐波污染等。
- ② 要求逆变器在负载和日照变化幅度较大的情况下均能高效运行。光伏电站的能量来自太阳能，而日照强度随气候而变化，这就要求逆变器能在不同的日照条件下均能高效运行。
- ③ 要求逆变器能使光伏阵列工作在最大功率点。太阳能电池的输出功率与日照、温度、负载的变化有关，即其输出特性具有非线性特性[1]。这就要逆变器具有最大功率跟踪功能，即不论日照、温度等如何变化，都能通过逆变器的自动调节实现阵列的最佳运行。
- ④ 要求逆变器具有体积小、可靠性高等特点。对于家用的光伏电站，其逆变器通常安装在室内或壁挂于墙上，因此对其体积、重量均有限制。另外，对整机的可靠性也提出较高的要求。由于太阳能电池的寿命均在 20 年以上，因此其配套设备的寿命也必须与其相当。
- ⑤ 要求在市电断电状况下逆变器在有日照时能够单独供电。

2 正弦波电压型逆变器的实现

光伏发电并网运行时的电路原理如图 2 所示。 U_p 为逆变器输出电压， U_u 为电网电压， R 为线路电阻， L 为串联电抗器， I_z 则为回馈电网的电流。为保证回馈功率因数为 1，回馈电流的相位必须与电网电压的相位一致。以电网电压 U_u 为参考，则 I_z 与 U_u 同相位，其矢量图如图 3 所示。内阻 R 两端的电压 U_R 与电网电压相位一致，而电抗器两端电压 U_L 的相位则落后于 $U_R 90^\circ$ 。由此可以求得 U_p 的相位和幅值：

$$U_p = I_z \cdot (R + \omega L) + U_u$$

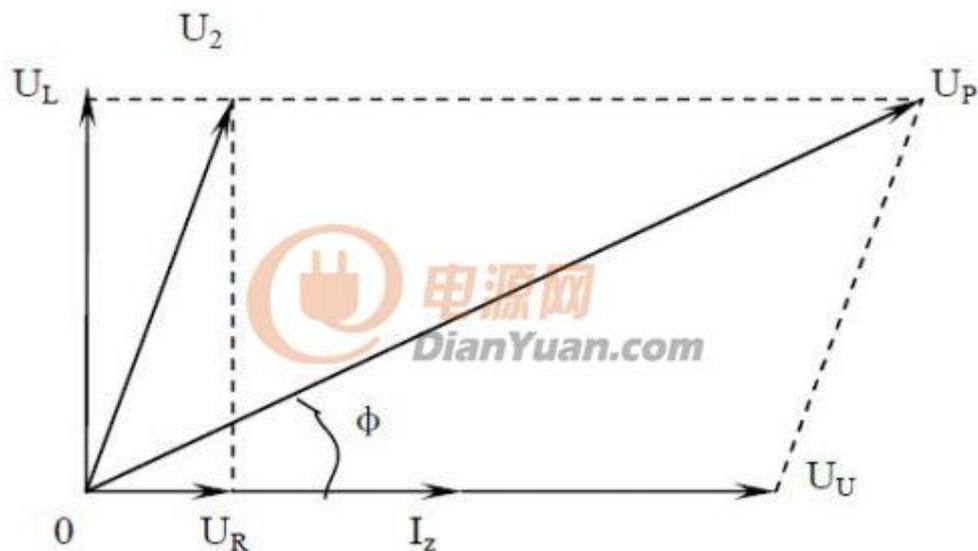
其中 ω 为公用电网角频率。实际电路中, U_u 的位、周期和幅值由电压传感器检测得到。由于在实际系统中 R 是很难得到的, 因此回馈电流 I_z 的相位必须采用电流负反馈来实现, 回馈电流 I_z 的相位角的参考相位即为公用电网相位。用电流互感器随时检测 I_z , 确保 I_z 与电网电压相位一致, 以实现功率因数为 1 的回馈发电。



实用的光伏发电并网运行专用逆变器结构如图 4 所示。逆变器主电路功率管采用 IGBT, 容量为 50A、600V, 型号为 2MBI50N-060。隔离驱动电路采用东芝公司生产的 TLP250。逆变器的控制部分由微处理器完成。主控芯片采用 INTEL 公司最新推出的逆变或电机驱动专用 16 位微处理器 87C196MC, 该芯片除了具有 16 位运算指令外, 还具有专用的脉宽调制 (PWM) 输出口 [2], 包括一个 10 位 A/D 转换器、一个事件处理阵列、两个 16 位定时器和一个三相波形发生器。三相波形发生器的每相均能输出两路死区时间可以设定的 PWM 信号。

这就给逆变应用场合提供了很多便利。微处理器主要完成电网、相位实时检测、电流相位反馈控制、光伏阵列最大功率跟踪以及实时正弦波脉宽调制信号发生, 其工作过程如下: 公用电网的电压和相位经过霍尔电压传感器送给微处理器的 A/D 转换器, 微处理器将回馈电流的相位与公用电网的电压相位作比较, 其误差信号通过 PID 调节后送给 PWM 脉宽调制器, 这就完成了功率因数为 1 的电回馈过程。微处理器完成的另一项主要工作是实现光伏阵列的最大功率输出。光伏阵列的输出电压和电流分别由电压、电流传感器检测并相乘, 得到阵列输出功率, 然后调节 PWM 输出占空比。这个占空比的调节实质上就是调节回馈电压大小, 从而实现最大功率寻优。

从图 3 可以得知, 当 U_p 的幅值变化时, 回馈电流与电网电压之间的相位角 ϕ 也将有一定的变化。由于电流相位已实现了反馈控制, 因此自然实现了相位与幅值的解耦控制, 使微处理器的处理过程更简便。另外, 光伏发电并网运行还必须考虑公用电网停电时的工作状况。常规的光伏发电并网系统, 在公用电网停电时则停止逆变器工作。若在白天, 其实光伏阵列仍能继续发电。



其工作原理如下：当公用电网断电时，电网侧相当于短路状态，此时并网运行的逆变器将由于过载而自动保护。当微处理器检测过载时，除封锁 SPWM 信号外，还将断开继电器 RE，此时若光伏阵列有能量输出，逆变器将在单独运行状态下运行。单独运行时控制相对简单，即为交流电压的负反馈状态，微处理器通过检测逆变器输出电压并与参考电压（通常为 220V）比较，然后控制 PWM 输出占空比，实现逆变和稳压运行。当然，单独运行的前提是光伏阵列在当时能够提供足够的功率。若负载太大或日照条件较差，则逆变器无法输出足够的功率，光伏阵列的端电压即会下降，从而使输出交流电压降低而进入低压保护状态。当电网恢复供电时，将自动切换至回馈状态。

3 结论

采用 16 位微处理器和高速 IGBT 功率模块实现了中、小容量光伏电站的并网发电。本文描述的光伏发电的并网运行逆变器，不仅具有较高的效率和畸变小的输出电流波形，而且在电网断电的情况下能够单独运行，具有一定的推广应用前景