

逆变技术在太阳能发电系统中的应用

曲学基

中国空间技术研究院

摘要: 本文简述了太阳能发电系统的结构,以家用太阳能发电系统为例来说明逆变器及其控制电路的工作原理,给出了太阳能发电系统的低频环节全桥式逆变器电路、高频环节全桥式逆变器电路和无变压器全桥式逆变器电路,综述了它们的特点,并给出了相应的控制方案。

关键词: 太阳能发电系统;全桥式逆变器;控制方案

太阳能发电是将太阳光的辐射能量转换为电能的发电技术。将太阳光的辐射能转换为电能的装置是光伏蓄电池。光伏蓄电池只能输出直流电能,必须通过逆变器将直流电变换为交流电,才能为大多数用电设备提供交流供电。所以,高变换效率是太阳能发电系统能否得到实际应用的关键因素,也就是说,太阳能发电系统中的逆变器控制技术具有关键的作用。

太阳能发电系统的结构如图1所示。从图中可以看出,系统包括光伏蓄电池和能量储存、能量变换、控制电路、保护电路等部分。本文对光伏蓄电池和能量储存不予讨论,仅对能量变换(逆变器)和控制电路作重点介绍。

逆变器拓扑族包括推挽式、半桥式、全桥式等,电路结构包括有工频变压器(低频环节)、有高频变压器(高频环节)和无变压器等多种形式。

图2为太阳能发电系统的低频环节全桥式逆变

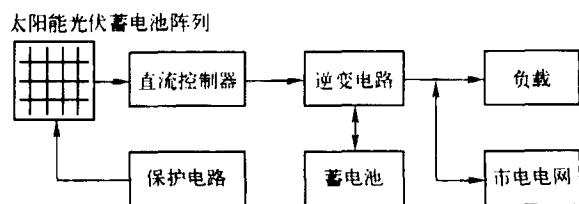


图1 太阳能发电系统的结构

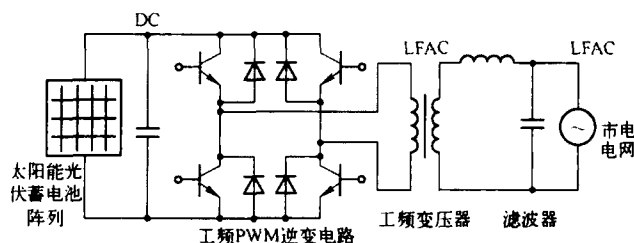


图2 太阳能发电系统的低频环节全桥式逆变器电路

器电路。在该电路中,光伏蓄电池的直流输出电压经工频PWM逆变器转变为交流电压,再经过低通滤波器得到50Hz的交流输出电压并入电网。由于季节和天气的变化,太阳能光伏阵列接受到的光照强度会有很大的变化。这就要求逆变器能在直流侧电源电压有较大范围的变化时,仍能提供稳定的交流输出。为此,会对控制电路提出较高的技术要求,如采用多种工作模式,即晴天时,系统工作在SPWM逆变模式,太阳能转变成电能后,直接给负载供电或并入电网;在多云天气时,系统工作在后备模式,由蓄电池为负载供电;在深夜、不需要为负载供电时,系统工作在整流模式,由电网为蓄电池充电。另外,工频变压器的重量和体积很大,影响了低频环节逆变器在太阳能发电系统中的推广使用。

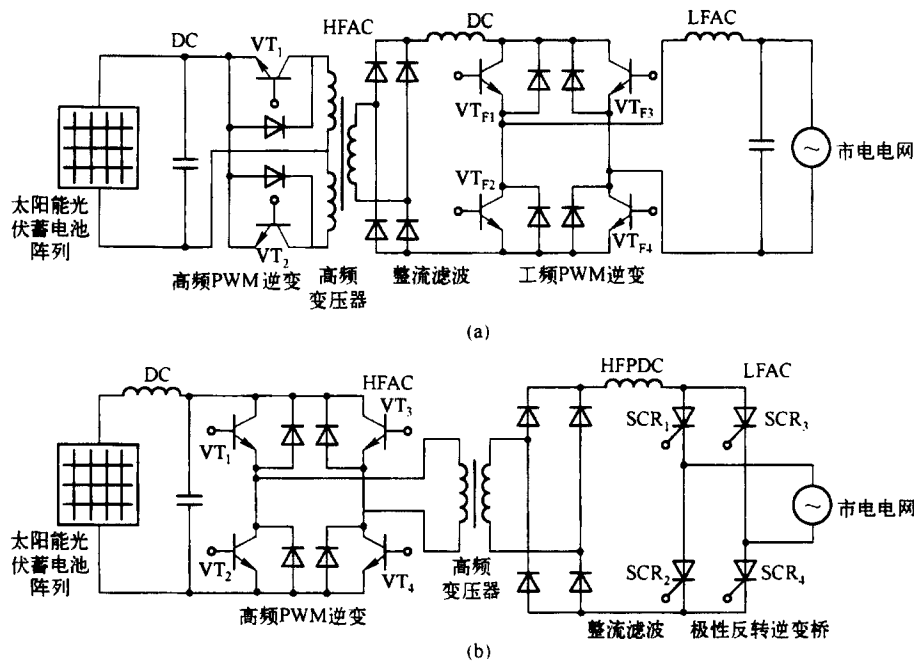


图3 太阳能发电系统的高频环节全桥式逆变器电路

图3为太阳能发电系统的高频环节全桥式逆变器电路。图3(a)的电路结构为太阳能光伏阵列—高频PWM逆变—高频变压器—整流滤波—工频PWM逆变—滤波—并入电网或负载。其中高频PWM逆变部分为推挽式逆变器,工频PWM逆变部分为全桥式逆变器。而图3(b)的电路结构为太阳能光伏阵列—高频PWM逆变—高频变压器—整流滤波—极性反转逆变桥—并入电网或负载。其中高频PWM逆变部分为全桥式逆变器,极性反转逆变桥也可视为全桥式逆变器。两种电路相比较,图3(b)的电路比图3(a)的电路少了一个低频滤波环节,其工作原理完全相同。该电路采用了高频变压器隔离方式,体积小、重量轻。但有高频逆变和工频逆变两个逆变电路,所以相对于图3(a),电路比较复杂。与图2所示电路一样,系统也可以采取多模式工作方式。

图4为太阳能发电系统的无变压器全桥式逆变器电路。该电路的主要特点是:

(1)由于没有变压器,效率高,且体

积小、重量轻、成本较低;

(2)由于采用了升压和高频SPWM控制方式,可以允许太阳能光伏阵列的输出直流电压有较宽的变化范围,其系统的交流输出电压保持稳定;

(3)要采取措施解决输入和输出之间的隔离问题。

解决输入和输出之间的隔离问题,应采取如下措施:

(1)太阳能光伏阵列的正极或负极不能直接接地。系统的接地点应在交流输出的单相三线制中性点。另外,由于太阳能光伏阵列的正、负极均没接地,

其必然对地存在等效对地电容,该电容的充放电对电路的正常工作造成影响。当其低频部分达到漏电流的保护阈值时,漏电流保护开关会切断供电电源,造成断电事故;其高频部分产生的电磁干扰会影响其他用电设备的正常工作。等效对地电容充放电电流的低频部分的影响可通过控制逆变器变换方式来消除,高频部分的影响可由滤波的办法来解决。

(2)应增设接地保护电路。在系统运行过程中,应通过零序互感器来检测太阳能光伏阵列的正、负极的接地电流。正常情况下,正、负极的接地电流应基本平衡,若不平衡电流值超过接地保护

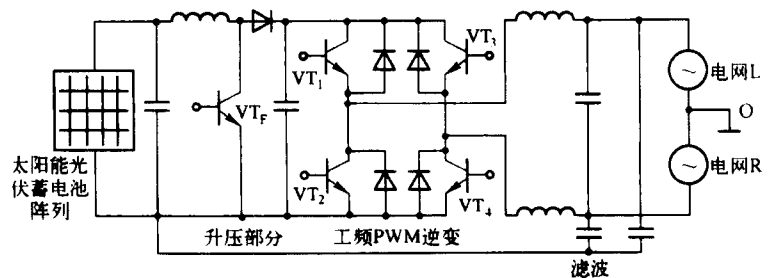


图4 太阳能发电系统的无变压器全桥式逆变器电路

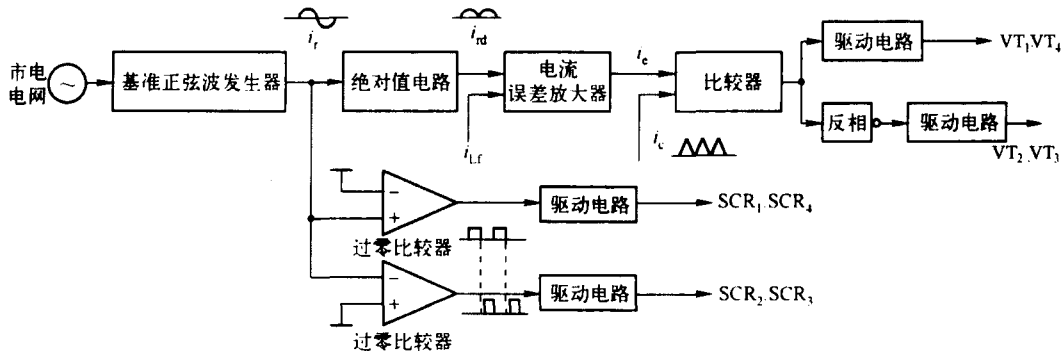


图5 太阳能发电系统的逆变器的控制方案(一)

电路的阈值,说明太阳能光伏阵列的正极或负极有可能接地,此时,接地保护电路动作,切断逆变器的输出,系统停止工作。

上面介绍了三种类型的太阳能发电系统的逆变器电路,它们的控制方案是不同的。由于低频环节逆变器近来已少见应用,这里仅对后两种逆变器电路的控制方案予以简单介绍。

太阳能发电系统的逆变器的控制方案(一)如图5所示。该控制方案适用于高频环节逆变器电路。控制方案(二)如图6所示,该方案适用于无变压器全桥式逆变器电路。

(1)高频环节逆变器电路的控制方案

在图5所示的控制方案中,基准正弦波发生器是与市电电网电压同步的,它提供基准电流信号 i_r ,经绝对值电路得到与逆变器输出电流(电感电流) i_L 同极性的参考信号 i_{rd} , i_{rd} 与 i_L 的反馈信号 i_{Lf} 在电流误差放大器中进行比较放大,得到误差信号 i_e , i_e 与三角形载波 i_c 比较,得到SPWM控制信号,通过驱动电路分别驱动VT₁、VT₄和VT₂、VT₃[见图3(b)]。为避免同一桥臂上的两只开关管同时导通,两组SPWM控制信号之间应存在死区时间。调节SPWM控制信号的占空比,可以调节逆变器的输出电流 i_L ,使其达到稳定。

基准电流信号 i_r 通过两个过零比较器得到两组驱动信号,分别驱动SCR₁、SCR₄和SCR₂、SCR₃,得到工频输出,并并入电网。同样,两组驱动信号之间应存在死区时间。

(2)无变压器逆变器电路的控制方案

在图6所示的控制方案中,通过面板设置太阳能发电系统的发电量,即逆变器电路的输出功率,直流最佳工作点追踪单元根据发电量计算并提供电流指令 i_r , i_r 与电感电流 i_L 的反馈值 i_{Lf} 在电流误差放大器中进行比较放大,得到误差电流信号 i_e , i_e 与三角形载波电流信号比较,得到SPWM控制信号,通过驱动器分别驱动VT₁、VT₄和VT₂、VT₃(见图4)。两组SPWM控制信号之间应存在死区时间。调节SPWM控制信号的占空比,可以调节逆变器的输出电流 i_L ,使其达到稳定。

由于天气的原因,太阳能光伏阵列的直流输出电压不是恒定的,为了使逆变器直流侧的电源电压保持稳定,在图4的电路中,增加了升压部分。在图6中,太阳能光伏阵列的输出电压 U_{GF} 与逆变器直流侧电源电压的反馈值 U_{DCF} 在电压误差放大器中进行比较放大,得到的误差信号控制PWM的输出信号占空比,以期升压电路的输出达到逆变器所需要的直流侧电源电压值。

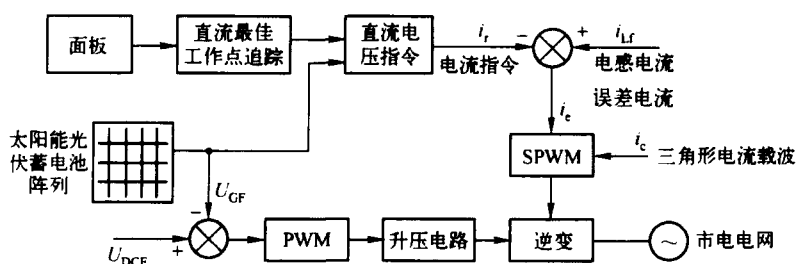


图6 太阳能发电系统的逆变器的控制方案(二)