

太阳能光伏发电技术(6)

光伏发电系统的逆变器

中国科学院 马胜红 陆虎俞

1 逆变器工作原理

逆变器与整流器恰好相反，它的功能是将直流电转换为交流电。这种对应于整流的逆向过程，称之为“逆变”。太阳能电池在阳光照射下产生直流电，然而以直流电形式供电的系统有很大的局限性。例如：日光灯、电视机、电冰箱、电风扇等均不能直接用直流电源供电，绝大多数动力机械也是如此。此外，当供电系统需要升高电压或降低电压时，交流系统只需加一个变压器即可，而在直流系统中升、降电压的技术就要复杂得多了。因此，除单纯直流负载用户外，在离网供电系统中大都需配备逆变器。逆变器还具有自动调压或手动调压功能，可改善光伏发电系统的供电质量。

逆变器的种类很多，各自的具体工作原理、工作过程不尽相同，但是最基本的逆变过程是相同的。下面以最简单的逆变电路——单相桥式逆变电路为例，具体说明逆变器的“逆变”过程。单相桥式逆变电路如图 1(a) 所示。输入直流电压为 E ， R 代表逆变器的纯电阻性负载。当开关 K_1 、 K_3 接通时，电流流过 K_1 、 R 和 K_3 时，负载上的电压极性是左正右负；当开关 K_1 、 K_3 断开， K_2 、 K_4 接通时，电流流过 K_2 、 R 和 K_4 ，负载上的电压极性反向。若两组开关 K_1 、 K_3 、 K_2 、 K_4 以频率 f 交替切换工作时，

负载 R 上便可得到频率为 f 的交变电压 U_r ，其波形如图 1(b) 所示。该波形为一方波，其周期 $T=1/f$ 。

图 1 (a) 电路中的开关 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 实际是各种半导体开关器件的一种理想模型。逆变器电路中常用的功率开关器件有功率晶体管 (GTR)、功率场效应管 (POWER MOSFET)、可关断晶闸管 (GTO) 及快速晶闸管 (SCR) 等。近年来又研制出功耗更低、开关速度更快的绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)。

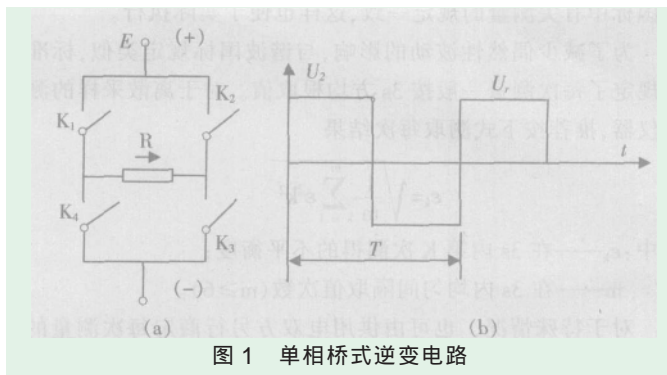


图 1 单相桥式逆变电路

图 1(a) 所示电路是逆变器的逆变过程示意图。实际上要构成一台实用型逆变器，尚需增加许多重要的功能电路及辅助电路。输出为正弦波，并具有一定保护功能的逆变器电路原理框图如图 2 所示。其工作过程简述如下：由太阳电池方阵 (或蓄电池) 送来的直流电进入逆变器主回路，经逆变转换成交流方波，再经滤波器滤波成为正弦波电压，最后由变压器升压送至用电负载。

2 逆变器类型

有关逆变器分类的方法很多，例如：根据逆变器输出交流

的分级可调节的平衡装置如图 4 所示。图中所列的两个方案的差别只是电抗器调节方式不同 (分组投切或变换抽头)。这种方案的缺点是平衡装置的容量较大 (超过负荷的功率)，而且调节范围和精度均有限。

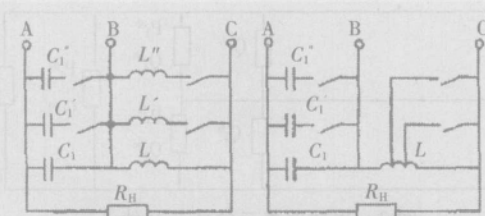


图 4 分级可调节的平衡装置

若三相负荷不平衡，且功率因数较低，则可以用三相不同容量的电容器组作平衡装置，如图 5 所示。装置的总容量由无

功功率补偿条件来确定。电容器的三相容量分配使负序电流得到补偿。一般情况下，可用两相容性元件接到不同的线电压上来实现。

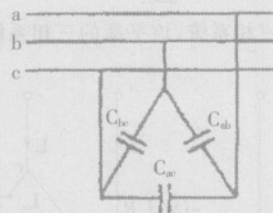


图 5 利用电容器的装置

诸如电弧炉等不对称的冲击负荷造成的电力系统三相电压的严重不平衡，应该用有快速响应特性的平衡化装置来解决。目前电力工程上常用具有分相补偿性能的静止型无功补偿装置，例如 TSC(TSF)、TCR 和 MCR 可以用于这类负荷的补偿。

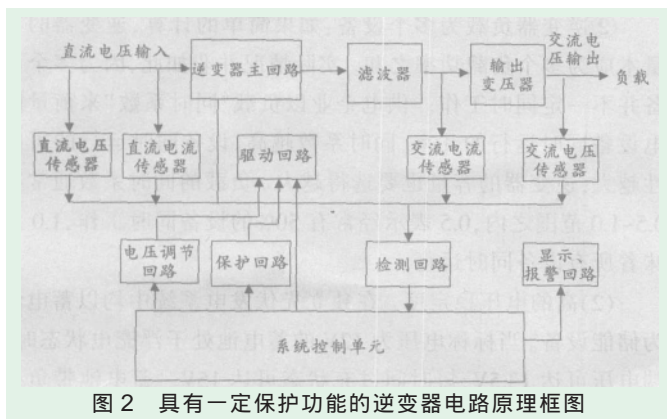


图2 具有一定保护功能的逆变器电路原理框图

电压的相数,可分为单相逆变器和三相逆变器;根据逆变器使用的半导体器件类型不同,又可分为晶体管逆变器、晶闸管逆变器及可关断晶闸管逆变器等。根据逆变器线路原理的不同,还可分为自激振荡型逆变器、阶梯波叠加型逆变器和宽脉调制型逆变器等等。为了便于光电用户选用逆变器,这里仅以逆变器输出交流电压波形的不同进行分类,并对不同输出波形的逆变器特点做一简要说明。

2.1 方波逆变器

方波逆变器输出的交流电压波形为方波,如图3(a)所示。此类逆变器所使用的逆变线路也不完全相同,但共同的特点是线路比较简单,使用的功率开关管数量很少。设计功率一般在几十瓦至几百瓦之间。方波逆变器的优点是:价格便宜、维修简单。缺点是:由于方波电压中含有大量高次谐波,在以变压器为负载的用电器中将产生附加损耗,对收音机和某些通讯设备也有干扰。此外,这类逆变器有调压范围不够宽,保护功能不够完善,噪声比较大等缺点。

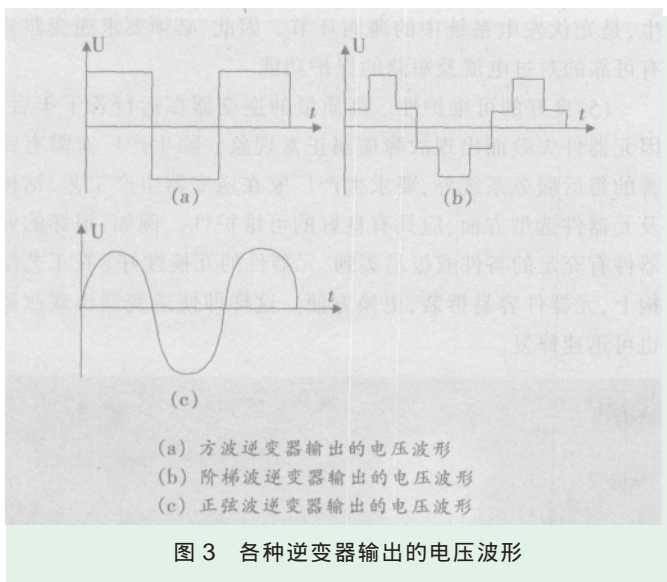


图3 各种逆变器输出的电压波形

2.2 阶梯波逆变器

此类逆变器输出的交流电压波形为阶梯波,如图3(b)所示。逆变器实现阶梯波输出也有多种不同的线路,输出波形的阶梯数目差别很大。阶梯波逆变器的优点是:输出波形比方波有明显改善,高次谐波含量减少,当阶梯达到17个以上对输

出波形可实现准正弦波。当采用无变压器输出时,整机效率很高。缺点是:阶梯波叠加线路使用的功率开关管较多,其中有些线路形式还要求有多组直流电源输入,这给太阳能电池方阵的分组与接线和蓄电池的均衡充电均带来麻烦。此外,阶梯波电压对收音机和某些通讯设备仍有一些高频干扰。

2.3 正弦波逆变器

正弦波逆变器输出的交流电压波形为正弦波,如图3(c)所示。正弦波逆变器的优点是:输出波形好,失真度很低,对收音机及通讯设备无干扰,噪声也很低。此外,保护功能齐全,整机效率高。缺点是:线路相对复杂,对维修技术要求高,价格较贵。

介绍上述三种类型逆变器,有利于光电系统开发人员和用户对逆变器进行识别和选型。实际上,波形相同的逆变器在线路原理,使用器件及控制方法等方面仍有很大区别。

2.4 组合式三相逆变器

传统的三相逆变器用在单相与三相负载混合系统中,经常由于三相负载不平衡而使逆变器无法正常运行。近年来开发一种由单相逆变器组成的三相逆变器,称为组合式三相逆变器,其原理示意图如图4所示。图中A、B、C为三个独立的单相逆变器。与普通单相逆变器不同的是,实际运行时三个逆变器的A、B、C输出端形成相位相差120°的50周波电压。线电压380V、相电压220V。在三相负载不平衡时,逆变器仍可以正常工作,这是组合式三相逆变器的突出特点。

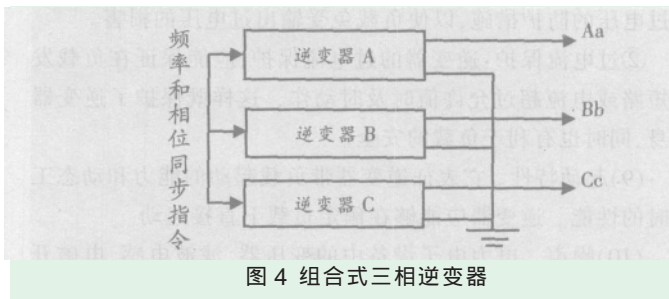


图4 组合式三相逆变器

3 确定逆变器技术条件

对逆变器的技术性能进行科学的评价,对用户正确的了解和选用光伏发电系统中的逆变器十分重要。

3.1 逆变器主要技术性能

表征逆变器性能的基本参数与技术条件内容很多,这里仅就评价逆变器时经常用到的部分技术参数做一扼要说明。

(1) 额定输出电压。在规定的输入直流电压允许波动范围内,它表示逆变器输出的额定电压值。对输出额定电压值的稳定度有如下规定:

在逆变器稳态运行时,电压波动范围应有一个限定,例如其偏差不超过额定值的 $\pm 3\%$ 或 $\pm 5\%$ 。

在负载突变(额定负载的0%~50%~100%)或有其它干扰因素影响动态情况下,其输出电压偏差不应超过额定值的 $\pm 8\%$ 或 $\pm 10\%$ 。

(2) 输出电压的不平衡度。在正常工作条件下,逆变器输

出三相电压的不平衡度(逆序分量对正序分量之比)应不超过一个规定值,通常以百分数表示,如5%或8%等等。

(3) 电压波形失真度。当逆变器输出电压为正弦波时,应规定允许的最大波形失真度(或谐波含量)。通常以输出电压的总波形失真度表示,对三相逆变器其值不应超过5%;单相逆变器其值不应超过10%。

(4) 额定输出频率。逆变器输出交流电压的频率应是一个相对稳定值,通常为工频50Hz(赫兹)。正常工作条件下其偏差应在50Hz±1%以内。

(5) 负载功率因数。负载功率因数表征逆变器带感性负载或容性负载的能力。在正弦波条件下,负载功率因数为0.7~0.9(滞后),额定值为0.9。

(6) 额定输出电流(或额定输出容量)。它表示在规定的负载功率因数范围内,逆变器的额定输出电流。有些逆变器产品给出的是额定输出容量,其单位以VA(伏安)或kVA(千伏安)表示。逆变器的额定容量是当输出功率因数为1(即纯阻性负载)时,额定输出电压与额定输出电流的乘积。

(7) 额定效率。逆变器的效率是在规定的工作条件下,其输出功率对输入功率之比,以百分数表示。逆变器在额定输出容量下的效率为满负荷效率,10%额定输出容量下的效率为低负荷效率。

(8) 保护功能。

过电压保护:对于没有电压稳定措施的逆变器,应有输出过电压的防护措施,以使负载免受输出过电压的损害。

过电流保护:逆变器的过电流保护,应能保证在负载发生短路或电流超过允许值时及时动作,这样既保护了逆变器自身,同时也有利于负载的安全。

(9) 起动特性。它表征逆变器带负载起动的能力和动态工作时的性能。逆变器应能够在额定负载下直接起动。

(10) 噪声。电力电子设备中的变压器、滤波电感、电磁开关及风扇等部件均会产生噪音。逆变器正常运行时,其噪声应不超过80dB,小型逆变器的噪声应不超过65dB。

3.2 逆变器的选择

在光伏发电系统选用逆变器时,首先确定逆变器几个最主要的技术参数:额定输出电压,如三相380V还是单相220V;输入直流电压范围;输出电压波形,如正弦波、梯形波或方波;冷却方式,如自然风冷、强迫风冷或水冷等。

除上述几个主要技术参数外,选择逆变器时还应注意以下技术要求:

(1) 额定容量和大的过载能力。选择逆变器额定容量和过载能力的原则如下:

逆变器负载为单一设备:用电设备为纯阻性负载或功率因数大于0.9时,逆变器的额定容量应为负载设备容量乘以一个容量安全系数k(倍),此时k取1.15~1.25;用电设备功率因数小于0.9时,逆变器的容量安全系数k取1.25~1.5;当用电设备为水泵或电动机时,逆变器还应具有较大的短时电流过载能力。

逆变器负载为多个设备:如果简单的计算,逆变器的容量本应为多个负载功率之和。实际情况并非如此,因为多个设备并不一定同时工作。供电企业以负载“同时系数”来衡量用电设备同时运行的几率,同时系数越高,设备同时运行的可能性越大,逆变器的容量也要选得越大。负载的同时系数通常在0.5~1.0范围之内,0.5表示经常有50%的设备同时工作,1.0意味着所有设备同时运行。

(2) 高的电压稳定度。在独立光伏发电系统中均以蓄电池为储能设备。当标称电压为12V的蓄电池处于浮充电状态时,端电压可达13.5V,短时间过充状态可达15V。蓄电池带负荷放电终了时端电压可降至10.5V或更低。蓄电池端电压起伏可达标称电压的30%左右。这就要求逆变器具有良好的调压性能,才能保证光伏发电系统以稳定的交流电压向用户供电。

(3) 额定效率和低负荷效率。整机效率高是光伏发电用逆变器区别于通用型逆变器的一个显著特点。10千瓦级的通用型逆变器实际效率只有70%~80%,将其用于光伏发电系统时将带来总发电量20%~30%的电能损耗。在设计光伏发电系统专用逆变器时,应特别注意减少自身功率损耗,提高整机效率。这是提高光伏发电系统技术经济指标的一项重要措施。

在整机效率方面,对光伏发电专用逆变器的要求是:千瓦级以下逆变器额定效率应80%~85%,低负荷效率65%~75%;10千瓦级以上的逆变器额定效率应85%~90%,低负荷效率70%~80%。

(4) 过电流保护与短路保护功能。光伏发电系统正常运行过程中,因负载故障、人员误操作及外界干扰等原因,而引起的供电系统过流或短路是完全可能的。逆变器对外电路过电流、短路现象最为敏感,由此引起的逆变器损坏现象时有发生,是光伏发电系统中的薄弱环节。因此,必须要求逆变器具有可靠的对过电流及短路的保护功能。

(5) 良好的可维护性。高质量的逆变器在运行若干年后,因元器件失效而出现故障应属正常现象。除生产厂家需有完善的售后服务系统外,要求生产厂家在逆变器生产工艺、结构及元器件选型方面,应具有良好的可维护性。例如:损坏的元器件有充足的备件或极易买到,元器件的互换性好。在工艺结构上,元器件容易拆装,更换方便。这样即使逆变器出现故障也可迅速修复。

