

一种应用于 独立光伏系统的新型逆变器

黑龙江科技学院电气与信息工程学院 ■ 杨庆江 李晔 包西平

引言

光伏发电作为一种新型的能源正受到人们的青睐,无论是个体消费者还是公共事业都能收到益处。利用独立光伏系统发电可以充分的利用太阳能,减小运营成本,避免输电损耗,减低环境污染。独立光伏系统通常是直接接近用户的中小型设备,一般由太阳电池板、蓄电池、逆变器和负荷组成。逆变器是独立光伏系统中的重要环节,作为独立光伏系统逆变器一般要满足以下几个特点:(1)光伏逆变器输出正弦波,一般来说输出的正弦波经过电感滤波输出的波形都能够满足一般用户的需要,而对于谐波要求较高的用户来说,就需要更高的去除谐波的手段。一般要求输出电压谐波 $\leq 3\%$,并具有良好的动态特性。(2)要有较高的转换效率、可靠性和较高的功率因数。(3)光伏逆变器应具有输入过压、欠压,输入过流,输出过流等各项保护功能。

一 光伏系统工作原理

光伏逆变系统可分为独立光伏系统和并网光伏系统。并网光伏系统是指太阳能发出的直流电转化为和电网同频同相的交流电,既向负载供电,也可以向电网发电,但一般应用于较大的系统中。作为家用的小型系统,独立光伏系统有其独特的优势:它体积小,便于安装使用和维护,成本较低,由于

独立光伏系统中有并网系统所没有的蓄电池部分,所以可以应用更长时间,基本能够满足普通用户的需要。独立光伏系统一般将太阳能转化为电能储存在蓄电池中,然后再逆变成为普通用户所使用的交流电。通常逆变系统中的太阳电池板被看作是电压源或者电流源,通过调整能大大提高系统的功率因数。

独立光伏系统原理图如图1所示,由太阳电池板、升压充电装置、电池组、逆变器和控制器组成。

太阳电池板接收太阳的光能,经升压充电装置给蓄电池组充电,蓄电池将电能进行储存;逆变器把蓄电池储存电能变换为我们日常需要的50Hz或60Hz的交流电压,为用电器提供电能;整个装置由控制器进行控制。

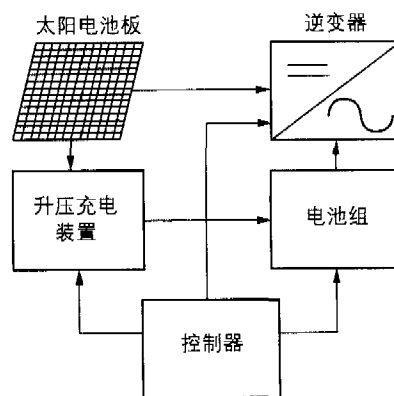


图1 光伏系统原理图

二 逆变器工作原理

独立光伏系统的逆变器较为简单,关键是如何做到效率高、体积小等优点。早期的逆变系统采用的是工频变压器,缺点是占地面积比较大,输出电压不稳定,系统转换效率不高。近年来随着 MOSFET, IGBT, IGCT 等功率器件的发展,高频逆变已经广泛应用于光伏系统中。但由于在直流输入和逆变器之间要加上一层直流升压电路才能得以实现,这样容易出现体积增大,成本增加,系统效率降低等缺点;系统通常采用前馈控制而得到较好的正弦波形,这些技术一般都是通过使用大电感或者大电容而实现的,也造成了成本的增加和效率的降低。

本文提出的单级全桥逆变器仅含有一个全桥拓扑和一个 LC 谐振回路,构造简洁、紧凑,使用 LC 谐振回路产生一系列的准正弦脉冲合成正弦波。因此,结构简单、成本低、功耗小就成了其主要特点。

系统包括一个有四个开关管组成的全桥拓扑,四个与开关管反并联的二极管,谐振电感 L_1, L_2 , 谐振电容 C_r , 分压电容 C_{d1}, C_{d2} 。假设所有的元器件均有理想的特性,谐振电路无内耗,谐振电感远小于负载端电感,逆变桥采用恒频单极性 SPWM 控制方式。在输出正弦波的正周期的每一个振荡周期中,有三个动态过程:

1 电路初态 ($t_0 \sim t_1$)

电路初态 T_1, T_3 导通,开关管 T_3 实现了零电压开通,谐振电感 L_1 开始储能,而电容 C_r 对负载放电,其它器件处于断态模式,输出电压 $U_0 = U_{Cr}$ 谐振电感电流 i_{L1} 这种状态一直到 t_1 (如图 2)。

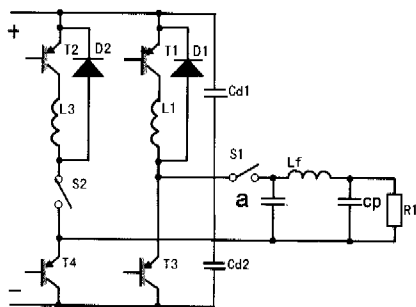


图 2 电路初态

$$U_{Cr} = U_{Cr}(0) - \frac{1}{C_r} \int_{t_0}^{t_1} i_{if} dt \quad (1)$$

$$I_{L1} = \frac{1}{L_r} \int_{t_0}^{t_1} V_d dt \quad (2)$$

2 谐振期 ($t_1 \sim t_2$)

当 $t = t_1^+$ 时, T_3 关断,忽略 T_3 电流下降时间, i_{T3} 瞬时突降为零,续流二极管 D_2 导通,电路进入谐振状态,能量从电感 L_1 转移到谐振电容 C_r , 这个过程一直持续到 t_2 。谐振期间 C_r 充电使得 U_0 上升(图 3)。

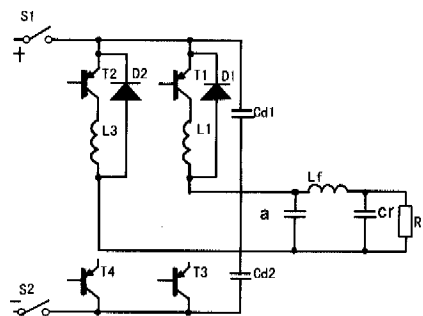


图 3 谐振期

$$i_{if} = I_{L1} \cos \omega_1 t' \quad (3)$$

$$U_{cr} = U_{cr} \cos \omega_1 t' + Z I_{L1} \sin \omega_1 t' \quad (4)$$

$$I_{L1} = I_{if} - \frac{U_{cr}}{Z} \sin \omega_1 t' \quad (5)$$

$$\text{其中 } t' = t - t_1, \omega_r = \frac{1}{L_1 C_r}, Z^2 = \frac{L_1}{C_r}$$

上组式表示,在谐振中 U_{Cr} 上升,而输出电流 i_{if} 按照余弦规律下降。

3 线性放电阶段

当 $t = t_2^+$ 时谐振电感 L_1 的能量完全转移到谐振电容 C_r 中,此时续流二极管 D_2 关断,主电路的所有器件都处于关断状态,能量开始从谐振电容 C_r 供给负载,一直到下一个振荡周期的开始(图 4)。

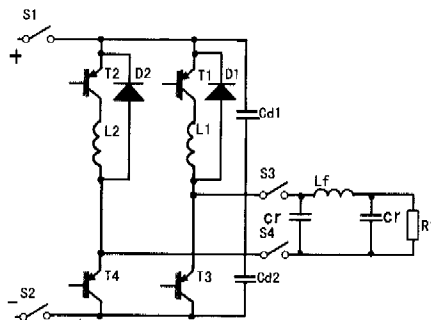


图 4 线性放电阶段

$$U_{cr} = U_{cr2} - \frac{1}{C_r} \int_{t_2}^{t_3} i_{if} dt \quad (6)$$

$$i_{L1} = 0 \quad (7)$$

由以上的工作过程分析可知,每个振荡周期都会产生准正弦脉冲,它是合成正弦波的因素,输出正弦波是由一系列准正弦波脉冲组成的。当正弦波输出负半周时,开关管 T_2 、 T_4 以及谐振电感 L_2 工作。

三 系统谐振的实现

根据以下 8~12 构成系统仿真数学模型。

在一个工作周期中,谐振电感 L_1 上流过的平均电流 i_{L1} , 谐振电容 C_r 平均电压 V_{cr} 的表达式如下:

$$i_{L1} = \frac{V_m d_k T}{2 L_1} (d_k + d'_k) \quad (8)$$

$$V_{cr} = \frac{1}{T} \left\{ \begin{aligned} & d_k T V_r(t_0) - \frac{i_{if}}{2 C_r} [(d_k T)^2 + (1 - d_k T - d'_k T)^2] \\ & + [V_{cr}(t_0) - \frac{i_{if}}{C_r} d_k T] \left[\frac{\sin \omega_r d'_k T}{\omega_r} + (1 - d_k T - d'_k T) \cos \omega_r d_k T \right] \\ & + \frac{Z}{\omega_r} \left[\frac{V_m}{L_1} d_k T - i_{if} \right] [1 - \cos \omega_r d_k T + \omega_r (1 - d_k T + d'_k T) \sin \omega_r d'_k T] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中

$$d_k = \frac{t_1 - t_0}{T} \quad (10)$$

$$d'_k = \frac{t_2 - t_1}{T} = \frac{V_m}{V_r} d_k \quad (11)$$

$$V_{cr}(t_0) = \frac{1}{1 - \cos \omega_r d'_k T} \left\{ \begin{aligned} & \frac{-i_{if} d_k T}{C_r} \cos \omega_r d'_k T + \\ & Z \left[\frac{V_m d_k T}{L_1} - i_{if} \right] \sin \omega_r d'_k T \\ & \frac{-i_{if} d_k T}{C_r} (1 - d_k - d'_k) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

四 仿真模拟试验结果

假设通过蓄电池组的串联,系统输入电压为 144V,系统开关管的开关频率为 20KHz,谐振频率为 10KHz,通过计算可以得到:谐振电路电感为 2.3 μ H,电容 2.75 μ F,负载阻抗 $Z=1.79 \Omega$ 。图 5 所示是开关管 T_3 、 T_1 在一个工频周期中的导通状态,图 6 为系统在轻载的情况下的电压输出波形。

进一步的现场试验在进行中。

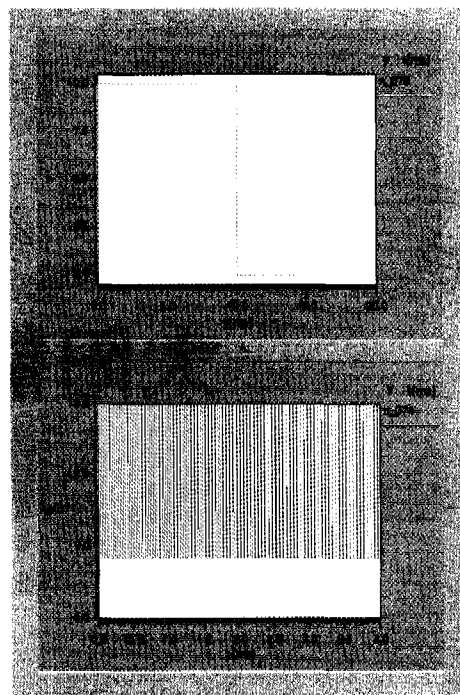


图 5 开关管 T_1 、 T_3 导通状态

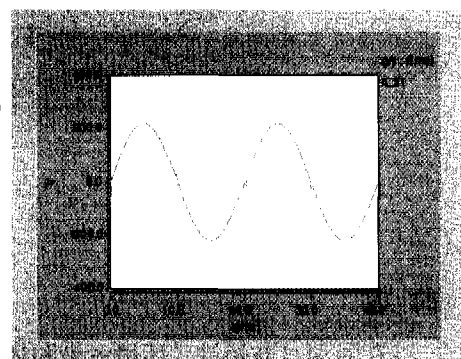


图 6 输出电压波形

五 结论

在功率小于 1kW 以下的独立光伏系统中,新型的单级 Buck-Boost 全桥逆变电路构成的逆变器电路仅含有一个全桥拓扑和一个 LC 谐振回路,直流侧不需要大电感和大电容进行滤波,不含其它多余的元件,结构简单、体积小、重量轻,系统容易实现。经测定同样功率条件下,该新型逆变器的生产成本比常规逆变器约低 40%;转换效率高,输入电压可以在 100~150V 之间波动,输出电压的 THD 较小;利用主电路的谐振实现了主开关器件的 ZCS,降低了开关损耗。(参考文献编者略)