

适用于降压型 MPPT 的同步 Cuk 电路研究

石易立

(南通航运职业技术学院 机电系, 江苏 南通 226010)

摘要:同步 Cuk 电路是适用于降压型 MPPT 的充电硬件电路,它具有结构简单、性能突出等特点,能满足 MPPT 的功能要求。用 Cadence 软件进行太阳能充电模拟仿真,系统频率为 100 kHz,结果显示输入输出波纹连续、平滑,效率达到 92%。

关键词:MPPT;Cuk 电路;同步整流

中图分类号:TM464

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2017)04-0056-05

0 引言

太阳能充电控制器是太阳能系统的一个重要组成部分,其性能直接决定了太阳能电池的利用效率。当前主流的控制方式是采用 MPPT(Maximum Power Point Tracking)控制方式,即最大功率点跟踪技术。这种充电方式可以使太阳能电池的输出始终保持在最大功率点附近,以达到尽可能大的能量输出。当太阳能电池空载时,输出电压不变达到最大称为开路电压。太阳能电池加负载后,电压减小,电流增大,当电阻减小到一定程度时,太阳能电池的输出电压与电流的乘积即输出功率达到最大,这时的输出点称为最大功率点。当太阳能电池的负载短路时,输出电流达到最大称为短路电流。正是基于太阳能电池的上述输出特点,充电控制单元使用 MPPT 控制方式使太阳能电池输出工作在最大功率点附近,达到最大的功率输出,提高太阳能电池工作效率。^[1]当前 MPPT 的控制电路的选型与电路结构普遍存在各种各样的问题。在电路选型上,有的系统只是表面理解了降压要求而选择了不适当的降压电路,导致太阳能电池的输出不能工作在最大功率点附近;有的系统选择了正确的有连续输入输出的降压电路却因为不恰当的驱动电路导致过高的系统损耗从而降低了效率。本研究的创新点在于选择了一种能适用于降压型 MPPT 的电路结构,并为之构建了合理的驱动电路,使之能在 MPPT 场合具有完善的功能和较高的效率。^[2]

1 MPPT 硬件电路工作原理

在 MPPT 控制方式中,核心电路是一个 DC/DC(直流到直流)变换电路,它可以完成从太阳能电池到蓄电池的电压变换。MPPT 硬件电路工作原理如图 1 所示。

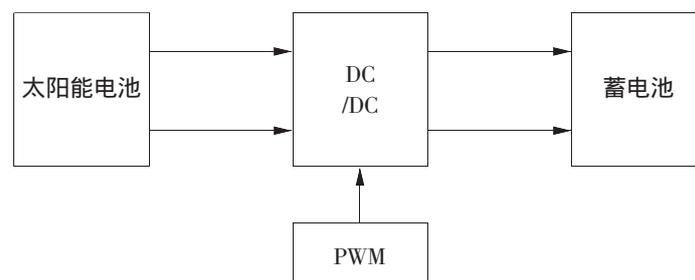


图 1 MPPT 方式硬件电路工作原理图

收稿日期:2017-06-28

作者简介:石易立(1983—),男,江苏南通人,南通航运职业技术学院机电系讲师,硕士。

主流的降压型 MPPT 充电回路需要将太阳能电池电压降压后输出到蓄电池。若要使太阳能电池输出功率保持在最大功率点,控制器就需要根据太阳能电池输出电压确定系统占空比,以保持太阳能电池输出在最大功率点附近。由于蓄电池电压基本保持恒定,所以选择合适的占空比就可以使得太阳能电池电压输出在最大功率点附近。在图 1 中,太阳能电池输出电压经过降压型 DC/DC 变换器完成降压后输出到蓄电池。调节 PWM 信号的占空比,即可调节 DC/DC 电路的降压比,以实现太阳能电池输出电压的精准控制和最大功率点跟踪的作用。

2 充电回路 DC/DC 电路选型

在降压型 DC/DC 电路中,主流的包括降压斩波电路(Buck 电路)、升降压式变换电路(Buck-boost 电路)、隔离直流变换器(Cuk 电路)三种,其工作原理如下。^[3]

2.1 Buck 电路

Buck 电路原理如图 2 所示。

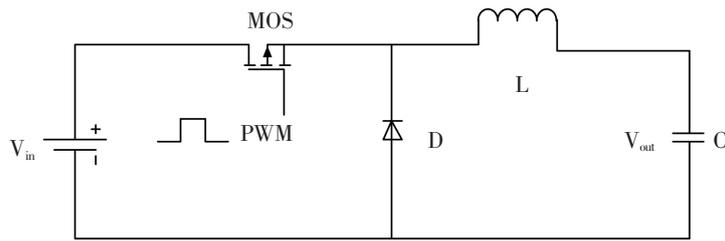


图 2 Buck 电路工作原理图

在图 2 中,PWM 信号控制 MOS 管的关断。当 PWM 为高电平时 MOS 管导通,输入电压通过回路对电感电容充电;当 PWM 为低电平时,MOS 管断开,电感电流通过二极管放电。整个输出电压如式(1)所示。

$$V_o = D \times V_i \quad (1)$$

式(1)中 D 为占空比, V_i 为输入电压, V_o 为输出电压。该电路中由于 MOS 管处于不停的打开闭合过程中,使得输入端若是太阳能电池的输出电压的话,太阳能电池就同样处于不断的导通与断开的过程中,不能使输出电压连续地保持在最大功率点附近,在这种情况下所以 Buck 电路不能作为 MPPT 控制方式的 DC/DC 变换电路。

2.2 Buck-boost 电路

Buck-boost 电路原理如图 3 所示。

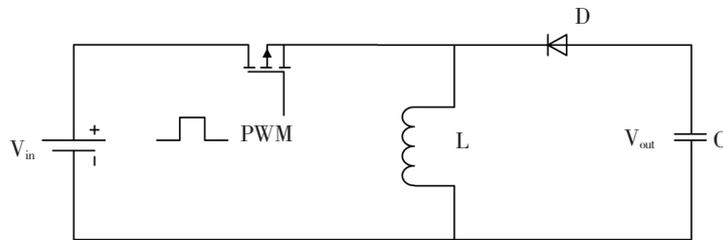


图 3 Buck-boost 电路工作原理图

在图 3 中,PWM 信号控制 MOS 管的关断。当 PWM 为高电平时,MOS 管导通,输入回路对电感充电。当 PWM 为低电平时,MOS 管断开,电感通过二极管组成放电回路,所以输出电压与输入电压反向。输出电压如式(2)所示。

$$V_o = V_i \times \frac{D}{1-D} \quad (2)$$

式(2)中 D 为占空比, V_i 为输入电压, V_o 为输出电压。当 D 大于 0.5 时为升压,小于 0.5 时为降压。该电路的输入结构与 Buck 电路一样,不断处于导通断开过程中,同样会使太阳能电池的输出电压不能连续保持在最大功率点附近,所以同样不能作为 MPPT 控制方式的 DC/DC 变换电路。

2.3 Cuk 电路

Cuk 电路原理如图 4 所示。

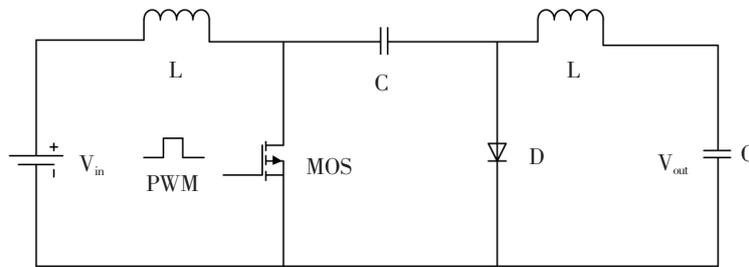


图 4 Cuk 电路工作原理图

在图 4 中 ,PWM 信号控制 MOS 管的关断。当 PWM 为高电平时 MOS 管导通 ,两个电感充电 ,二极管 D 截止。当 PWM 为低电平时 ,MOS 管断开 ,两个电感放电 ,二极管导通。输出电压与输入电压反向 ,如式(3)所示。式中 D 为占空比 , V_i 为输入电压 , V_o 为输出电压。当 D 大于 0.5 时为升压 ,当 D 小于 0.5 时为降压。由于 Cuk 电路的输入端与输出端连接有两个电感 ,这样的结构既能完成升降压功能 ,又可使输入输出的电流电压保持连续波形 ,可用作 MPPT 控制方式的 DC/DC 变换电路。所以本文采用 Cuk 电路作为实验电路。

$$V_o = -V_i \times \frac{D}{1-D} \tag{3}$$

3 高效同步 Cuk 电路

太阳能控制系统承受的电压电流都是强电领域的数量级 ,所以提高整体效率成了至关重要的研究方向。本文选用 Cuk 电路作为大功率 MPPT 太阳能控制系统的主变换电路 ,二极管 D 中承受着巨大电流 ,要减少损耗 ,可以考虑将基本 Cuk 电路改变成同步 Cuk 电路 ,如图 5 所示。

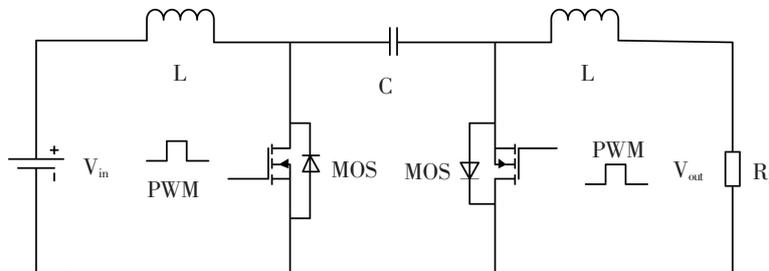


图 5 同步 Cuk 电路工作原理图

在图 5 中 ,将图 4 中的二极管 D 改成一个 MOS 管。该 MOS 管的管压降在大电流情况下要远远小于二极管 ,可大大降低整体功耗。在电路工作时 ,要求两个 MOS 管交替导通 ,达到高度同步性 ,这样的电路称为同步 Cuk 电路。同步 Cuk 电路在大大降低整体功耗的同时 ,对驱动电路也提出了很高的要求 ,如图 6 所示。

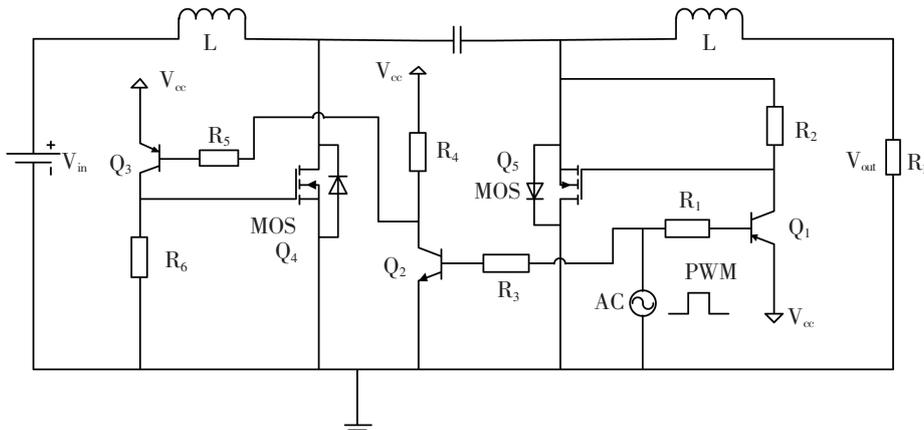


图 6 同步 Cuk 驱动电路原理示意图

在图6所示原理电路中,AC电源由一个提供方波PWM信号的电源组成。NPN管Q2及R3、R4组成一个简单反相器,将PWM信号反向输出。PNP管Q1与R1、R2组成Q5的驱动电路,PNP管Q3与R5、R6组成Q4驱动电路。当PWM信号为高电平时,Q1管截止,R2上电压为0,Q5截止;反相器输出低电平,Q3饱和导通,R6上电压为 $V_{cc}(+5V)$,Q4管导通。当PWM信号为低电平时,Q1管饱和导通,R2上电压为 $V_{cc}(+5V)$,Q5管导通,此时反相器输出高电平,Q3管截止,R6上电压为0,Q4截止。以此往复,Q4与Q5管交替导通,实现了同步Cuk电路的功能。^[4]但在图6所示原理电路中,R2与R6电阻的作用至关重要。若这两电阻太大,就影响到Q4、Q5截止时的放电周期。Q4、Q5管截止时, C_{cs} 电容会通过R2与R6电阻放电。若R2与R6电阻较大,就会使放电周期大大增加,从而影响电路的同步性,使得整体功耗急剧增加。若R2与R6电阻太小,虽然可以减小Q4、Q5截止时的放电周期,从而提高同步性,却使 V_{cc} 提供的功率急剧增大,同样提高了系统功耗。如何调和这两个系统设计矛盾点成为同步Cuk电路设计的关键。^[5]改进后的驱动电路如图7所示。

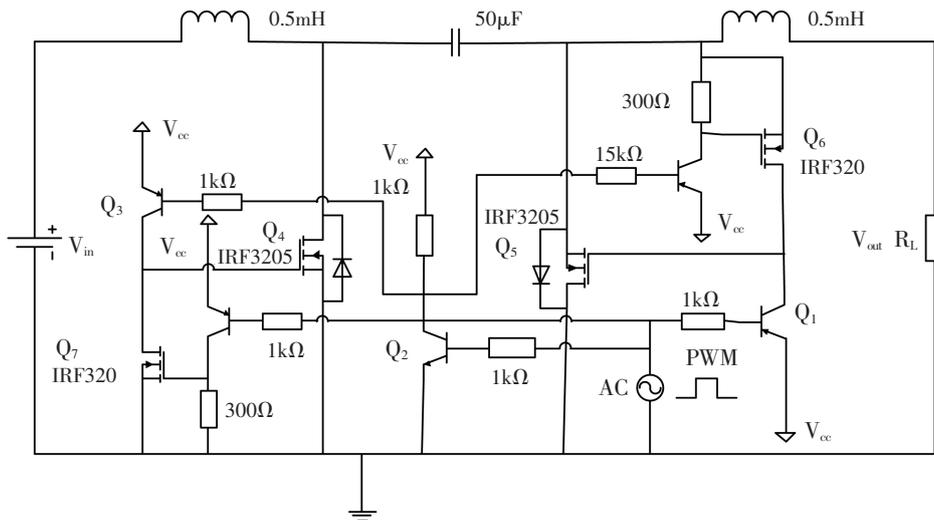


图7 高效同步 Cuk 电路驱动电路详细示意图

在图7所示的驱动电路图中,将原R2与R6电阻由2个MOS管取代。当Q4、Q5需要截止放电时,MOS管Q6、Q7工作的饱和区呈现出低电阻,就可使放电时间迅速减小。而当Q4、Q5需要导通时,MOS管Q6、Q7工作的截止区呈现出高电阻,管压降就可以是高电压,正好满足Q4、Q5管的导通。^[6-7]

4 模拟仿真

综合上述工作原理,最后用Cadence软件模拟上述同步Cuk电路的工作过程,进而仿真MPPT太阳能充电的工作原理。模拟仿真电路图如图8所示。Q4、Q5管采用IRF3205型功率MOS管,Q6、Q7管采用IRF320型MOS管,2个电感分别都为0.5mH,电容为50μF,PWM频率为100kHz,上升沿和下降沿分别都为100ns,占空比D设为0.42,输入电压模拟太阳能电池板最大功率点时的电压18V。在此情况下进行模拟仿真,其结果如图8-11所示。

由图8可知,输出平均电压为12.4V时,波形连续,在输入电压为18V的情况下,能满足MPPT对于DC/DC电路的要求,电压输出波纹较小,波幅变化率为1.6%,性能良好,总体基本符合要求。由图9与图10可以看出,Q4管与Q5管在导通时通过电流均达到13.5A,截止时为0A,且一管导通一管截止,同步性较好。主要的功率损耗来自于Q4管上升沿和Q5管下降沿的间隙期,在这个间隙期内,缘于Q4管的D、S间电容放电的时间原因导致了电流突变并且导致了功率损耗的突变,这将直接导致效率的降低。在今后的电路改进中应着重关注这一点。图11反映了输出功率为96W且波形连续,可计算出电流为7.74A。同理,输入功率为104W且波形连续,可计算出电流为5.78A。另外,整个驱动电路电源电压 V_{cc} 的功耗大部分时间保持在0.2W左右,对整体电路的损耗而言可忽略不计。在占空比 $D=0.42$ 时,同步Cuk电路的转换效率经过计算后为92%。

从上述分析可得出,该Cuk电路能满足MPPT的功能要求且效率较高。

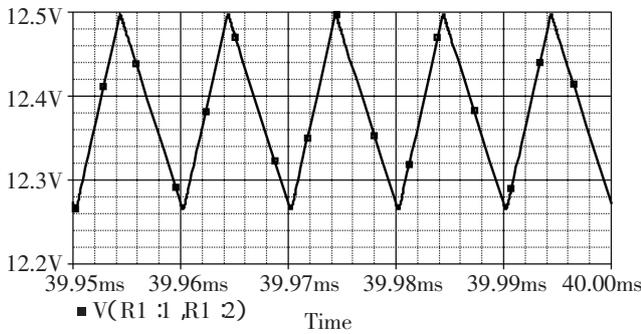


图 8 占空比为 0.42 时输出电压示意图

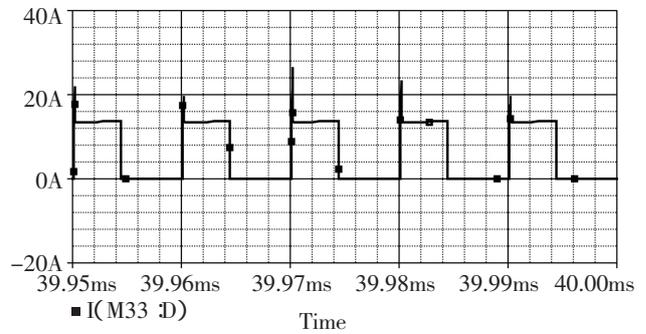


图 9 Q4 管电流示意图

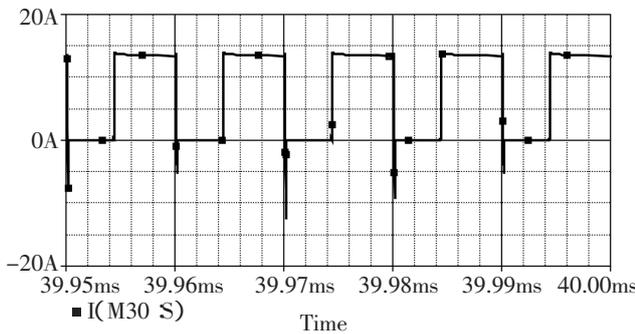


图 10 Q5 管电流示意图

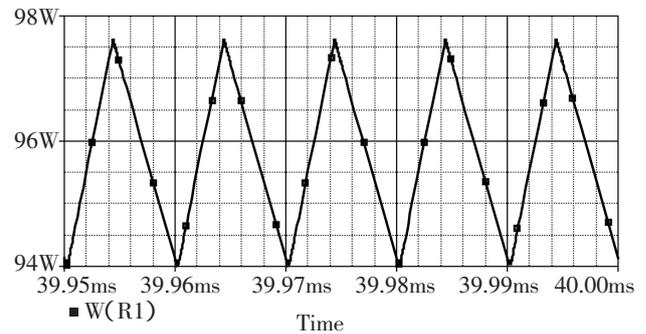


图 11 负载输出功率示意图

5 结束语

综上所述,文章提出的同步 Cuk 电路输入输出波形连续,转换效率较高,符合 MPPT 控制系统的原理要求,结构简单,性能突出,在降压型 MPPT 太阳能控制系统硬件电路中具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1]余礼杰.基于 MPPT 的微小卫星电源系统的设计、实现与优化[D].杭州:浙江大学,2016.
- [2]罗明玲.微小卫星电源系统 MPPT 模块的设计与实现[D].杭州:浙江大学,2014.
- [3]康华光.电子技术基础模拟部分(5 版)[M].北京:高等教育出版社,2008.
- [4]毕查德·拉扎维.模拟 CMOS 集成电路设计[M].陈贵灿,程军,张瑞智,译.西安:西安交通大学出版社,2003.
- [5]曹京生.电工技术[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2007.
- [6]石易立.一种高效同步 boost 电路[J].微型机与应用,2016(13):34-36.
- [7]王锋,张森,胡小明,等.新型 Cuk 电路及其在光伏系统中的应用[J].电力电子技术,2009(5):26-28.

Research on Synchronous Cuk Circuit Applicable for Buck MPPT

SHI Yi-li

(Dept. of Mechatronics, Nantong Vocational & Technical Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: The synchronous Cuk circuit is applicable for buck MPPT charging hardware circuit. It is featured by simple structure, outstanding performance etc., which can meet the functional requirements of MPPT. By using Cadence software to simulate solar charging, the system frequency being 100kHz, the results show that the input and output ripple appears continuous and smooth, the efficiency up to 92%.

Key words: MPPT; Cuk circuit; Synchronous rectification