



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103647453 B

(45)授权公告日 2017.01.11

(21)申请号 201310683493.9

H02M 7/48(2007.01)

(22)申请日 2013.12.13

H02J 3/38(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103647453 A

(56)对比文件

(43)申请公布日 2014.03.19

CN 202172279 U, 2012.03.21,

CN 103107723 A, 2013.05.15,

(73)专利权人 中南大学

CN 102801179 A, 2012.11.28,

CN 103208939 A, 2013.07.17,

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

曹西飞. 基于DSP的光伏逆变器.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技II辑》.2013,

(72)发明人 杨建 阮璇 栗梅 张鹏飞 孙尧 王海龙

张锦吉. 交错反激微功率光伏并网逆变器的设计.《电力电子技术》.2013, 第47卷(第4期),

(74)专利代理机构 长沙市融智专利事务所 43114

审查员 李楠

代理人 黄美成

(51) Int. Cl.

H02M 3/335(2006.01)

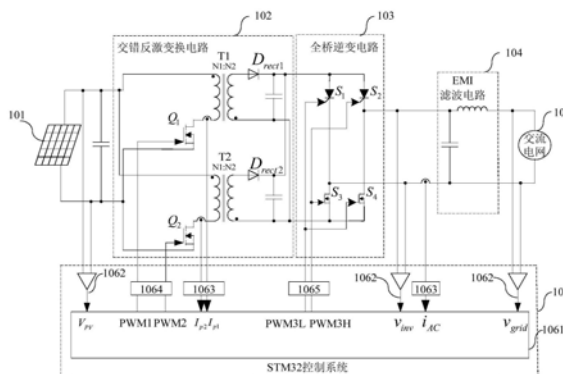
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种基于CCM模式的微逆变器及其控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于CCM模式的微逆变器及其控制方法,该微逆变器采用通用ARM芯片STM32作为微逆变器控制系统的主控芯片,利用芯片的AD转换、定时器、温度传感器和内嵌Flash等固有功能,完成微逆变器AD转换、PWM波占空比控制,掉电保护和温度保护的要求,降低系统总成本;该控制方法使得微逆变器反激变换电路工作于CCM模式,减小开关频率,使得通用ARM芯片STM32的控制得以实现,同时降低开关损耗,减小对滤波器的要求,进一步降低系统成本,提高工作效率,实测最高效率可达94.63%。



1. 一种基于CCM模式的微逆变器,包括交错反激变换电路(102)、全桥逆变电路(103)、EMI滤波电路(104)和控制系统(106),所述交错反激变换电路的输入端与光伏电池(101)相连,所述交错反激变换电路、全桥逆变电路、EMI滤波电路的输入端相连及电网(105)依次相连,所述光伏电池的两端、交错反激变换电路中的MOS管开关控制端、交错反激变换电路中变压器原边、全桥逆变电路中MOS管和晶闸管开关控制端及EMI滤波电路与电网的连接端均与控制系统相连,其特征在于,所述控制系统包括主控芯片(1061)、电压采样电路(1062)、电流采样电路(1063)、交错反激变换电路驱动电路(1064)及全桥逆变电路驱动电路(1065),电压采样电路(1062)、电流采样电路(1063)、交错反激变换电路驱动电路(1064)及全桥逆变电路驱动电路(1065)均与主控芯片(1061)相连;

所述控制系统的主控芯片为STM32芯片,STM32芯片通过交错反激变换电路驱动电路(1064)对交错反激变换电路中的MOS管 Q_1 、 Q_2 进行控制,STM32芯片通过全桥逆变电路驱动电路(1065)对全桥逆变电路中的MOS管 S_3 、 S_4 、晶闸管 S_1 、 S_2 进行控制,所述STM32芯片完成一次AD转换的时间分为两个PWM波周期,在第一个PWM周期STM32芯片利用电压采样电路(1062)和电流采样电路(1063)实时采集变压器T1原边电流 I_{p1} 、全桥逆变电路的输出电压 V_{inv} 和输出电流 i_{AC} 、电网电压 V_{grid} ,在第二个PWM周期采集光伏电池电压 V_{PV} 以及交错反激变换电路中 I_{p2} ;所述EMI滤波电路为单级LC滤波电路;

所述STM32芯片内部传感器实现对微逆变器的温度保护:

根据热传导模型和实测结果,按照以下公式预测变压器的温度,当变压器温度高于65℃时,控制芯片发出控制信号使得微逆变器中所有的开关管断开:

$$T_s = \frac{Q\delta}{A\lambda} + T_c$$

其中, $\frac{Q}{A}$ 为单位面积传递的热量, δ 为两个变压器与STM32芯片之间的距离的平均值, λ 为微逆变器机壳内胶体的导热系数, T_c 为STM32芯片内部传感器所测温度。

2. 一种基于CCM模式的微逆变器的控制方法,其特征在于,采用权利要求1所述的基于CCM模式的微逆变器,控制过程如下:

步骤1:利用STM32芯片的控制系统采集微逆变器工作过程中的数据,并对采集数据进行AD转换;

所述微逆变器工作过程中的数据包括光伏电池电压 V_{PV} ,交错反激变换电路中两个变压器原边电流 I_{p1} 、 I_{p2} ,全桥逆变电路的输出电压 V_{inv} ,全桥逆变电路的输出电流 i_{AC} ,电网电压 V_{grid} ;

步骤2:由最大功率点跟踪法计算微逆变器的输出电流 i_{AC} 的参考电流 I_{ACREF} ;

步骤3:根据 I_{ACREF} 和 $|i_{AC}|$ 的差值对 i_{AC} 进行PI控制,得到交错反激变换电路中的MOS管 Q_1 和 Q_2 的动态占空比 d_{CCM} ;

步骤4:计算CCM模式下交错反激变换电路中MOS管开关 Q_1 和 Q_2 的稳态占空比 D_{CCM} ;

$$D_{CCM} = \frac{|V_{grid}|}{(nV_{PV} + |V_{grid}|)}$$

其中, V_{grid} 为电网电压, V_{PV} 为光伏电池电压, $n = \frac{N_2}{N_1}$ 为交错反激变换电路中变压器的副边与原边之比;

步骤5: 计算最终占空比 $D = D_{\text{CCM}} + d_{\text{CCM}}$;

步骤6: 根据最终占空比 D 控制交错反激变换电路中MOS管开关 Q_1 和 Q_2 的通断;

步骤7: 当电网电压 V_{grid} 的幅值大于0时, STM32芯片发出控制信号通过全桥逆变电路驱动电路(1065)控制全桥逆变电路中的晶闸管 S_2 、MOS管 S_3 导通, 晶闸管 S_1 、MOS管 S_4 断开, 反之, STM32芯片发出控制信号通过全桥逆变电路驱动电路(1065)控制全桥逆变电路中晶闸管 S_2 、MOS管 S_3 断开, 晶闸管 S_1 、MOS管 S_4 导通;

所述STM32芯片内部传感器实现对微逆变器的温度保护:

根据热传导模型和实测结果, 按照以下公式预测变压器的温度, 当变压器温度高于65℃时, 控制芯片发出控制信号使得微逆变器中所有的开关管断开:

$$T_s = \frac{Q\delta}{A\lambda} + T_c$$

其中, $\frac{Q}{A}$ 为单位面积传递的热量, δ 为两个变压器与STM32芯片之间的距离的平均值, λ 为微逆变器机壳内胶体的导热系数, T_c 为STM32芯片内部传感器所测温度。

3. 根据权利要求2所述的基于CCM模式的微逆变器的控制方法, 其特征在于, 所述STM32芯片利用定时器TIM1, 采用中央对齐计数模式输出两路PWM波, 所述两路PWM波是PWM1和PWM2, STM32芯片通过PWM1和PWM2分别控制交错反激变换电路中MOS管 Q_1 和 Q_2 的通断, PWM1相位超前PWM2相位半个PWM波周期, 两者的频率均为50kHz。

4. 根据权利要求3所述的基于CCM模式的微逆变器的控制方法, 其特征在于, 所述步骤1中的完成一次AD转换的时间为两个PWM波周期, 在第一个PWM波周期转换交错反激变换电路中变压器T1的原边电流 I_{p1} , 全桥逆变电路输出电压 V_{inv} , 全桥逆变电路输出电流 i_{AC} 和电网电压 V_{grid} ; 在第二个PWM波周期转换交错反激变换电路中变压器T2的原边电流 I_{p2} 、光伏电池电压 V_{PV} 。

5. 根据权利要求2所述的基于CCM模式的微逆变器的控制方法, 其特征在于, 所述微逆变器利用STM32芯片内部嵌入式Flash进行掉电保护, 记录现场及恢复现场;

所述记录现场是指记录当前数据, 包括所有的AD转换数据和微逆变器工作状态, 微逆变器工作状态包括启动模式、错误模式及运行模式三种, 由控制芯片提供;

每个控制周期STM32芯片记录一次现场数据, STM32芯片掉电时, 上一控制周期现场数据存储于Flash中, 当芯片再次上电时, STM32芯片读取Flash中的现场数据, 恢复掉电前的工作。

一种基于CCM模式的微逆变器及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于CCM模式的微逆变器及其控制方法。

背景技术

[0002] 光伏电池产生的电能并入电网之前,必须通过逆变器逆变,使其达到电网标准,才能并网。光伏发电系统越来越趋向于采用分布式微逆变器作为直流-交流的转换工具,而大规模集成电路、DSP技术的飞速发展,使微逆变器的全数字控制得以实现。

[0003] 反激变换电路是微逆变器主电路的组成部分之一,其工作模式分为CCM(电流连续模式)和DCM(电流断续模式)。与DCM模式相比,CCM模式反激变换电路变压器原边和副边峰值电流小,对MOSFET和二极管的电流应力要求低,元器件成本低;同时CCM模式开关频率低,纹波损耗小,改善了电磁兼容性;且CCM模式效率高,波形品质好,THD \leq 3%;虽然CCM模式下反激变换电路变压器较大,但磁通密度变化幅度小,铁芯损耗也小;而由于CCM模式下尖峰电压不高,所以滤波器简单,继而降低成本。

[0004] 然而,CCM模式微逆变器为非最小相位系统,PI控制参数校正比较复杂,且CCM模式下反激变换电路变压器较大,所以目前微逆变器反激变换电路较多采用DCM模式,国内外市场上还未出现CCM模式的微逆变器。

发明内容

[0005] 本发明提出一种基于CCM模式的微逆变器及其控制方法,其目的在于,采用通用ARM芯片STM32作为控制系统的主控芯片,使交错反激变换电路工作于CCM模式,降低开关频率和损耗,减小对滤波器的要求,从而降低微逆变器的成本,提高微逆变器的工作效率。

[0006] STM32系列处理器是专为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用而设计的基于ARMCortex-M3内核,同时也是通用型处理器。STM32系列处理器的ARM Cortex-M3内核集成嵌入式Flash和SRAM存储器,完全满足目前微逆变器所要求的代码效率;STM32系列处理器的嵌入式Flash存储器和RAM存储器,可在芯片掉电时记录现场,从而恢复现场;STM32系列处理器所包含的定时器、快速I/O端口等功能可方便快捷地实现微逆变器中PWM波生成,而其本身具有AD转换器,无需外置AD芯片即可完成AD转换;STM32系列处理器内部包含温度传感器,可根据热传导模型和实测结果预测功率器件或变压器的温度来进行保护;STM32系列处理器内部包含晶振,无需外设晶振,节约成本。

[0007] 一种基于CCM模式的微逆变器,包括交错反激变换电路102、全桥逆变电路103、EMI滤波电路104和控制系统106,所述交错反激变换电路的输入端与光伏电池101相连,所述交错反激变换电路、全桥逆变电路、EMI滤波电路的输入端相连及电网105依次相连,所述光伏电池的两端、交错反激变换电路中的MOS管开关控制端、交错反激变换电路中变压器原边、全桥逆变电路中MOS管和晶闸管开关控制端及EMI滤波电路与电网的连接端均与控制系统相连,所述控制系统包括主控芯片1061、电压采样电路1062、电流采样电路1063、交错反激变换电路驱动电路1064及全桥逆变电路驱动电路1065,电压采样电路1062、电流采样电路

1063、交错反激变换电路驱动电路1064及全桥逆变电路驱动电路1065均与主控芯片1061相连；

[0008] 所述控制系统的主控芯片为STM32芯片，STM32芯片通过交错反激变换电路驱动电路1064对交错反激变换电路中的MOS管 Q_1 、 Q_2 进行控制，STM32芯片通过全桥逆变电路驱动电路1065对全桥逆变电路中的MOS管 S_3 、 S_4 、晶闸管 S_1 、 S_2 进行控制，STM32芯片利用电压采样电路1062和电流采样电路1063实时采集全桥逆变电路的输出电压 V_{inv} 和输出电流 i_{AC} 、光伏电池电压 V_{PV} 、交错反激变换电路中两个变压器原边电流 I_{p1} 、 I_{p2} 以及电网电压 V_{grid} ；所述EMI滤波电路为单级LC滤波电路，用于对全桥逆变电路输出的正弦电流进行滤波，使输出电流波形平滑。

[0009] 交错反激变换电路102包括第一变压器T1、第二变压器T2、功率MOS管 Q_1 、 Q_2 及电力二极管 D_{rect1} 和 D_{rect2} ；

[0010] 第一反向阻断型功率开关 Q_1 的S极接光伏电池的负极，第一反向阻断型功率开关 Q_1 的D极通过第一变压器T1的原边接光伏电池的正极；第二反向阻断型功率开关 Q_2 的S极接光伏电池的负极，第二反向阻断型功率开关 Q_2 的D极通过第二变压器T2的原边接光伏电池的正极；

[0011] 第一变压器T1的副边绕组的非同名端接 D_{rect1} 的正极， D_{rect1} 的负极接 S_1 和 S_2 的正极；第二变压器T2的副边绕组的非同名端 D_{rect2} 的正极， D_{rect2} 的负极与 D_{rect1} 的负极相连；MOS管 S_3 和 S_4 的S极以及第一变压器T1和第二变压器T2副边绕组的同名端接在一起；

[0012] 全桥逆变电路103包括晶闸管 S_1 、 S_2 和MOS管 S_3 、 S_4 ， S_2 和 S_3 构成正向换流桥臂， S_3 的D极与滤波电容和电网相连， S_2 的负极通过滤波电感与电网相连； S_1 和 S_4 构成反向换流桥臂， S_1 的负极与滤波电容和电网相连， S_4 的D极通过滤波电感与电网相连。

[0013] 一种基于CCM模式的微逆变器的控制方法，采用上述的基于CCM模式的微逆变器，控制过程如下：

[0014] 步骤1：利用STM32芯片的控制系统采集微逆变器工作过程中的数据，并对采集数据进行AD转换；

[0015] 所述微逆变器工作过程中的数据包括光伏电池电压 V_{PV} ，交错反激变换电路中两个变压器原边电流 I_{p1} 、 I_{p2} ，全桥逆变电路的输出电压 V_{inv} ，全桥逆变电路的输出电流 i_{AC} ，电网电压 V_{grid} ；

[0016] 步骤2：由最大功率点跟踪法计算微逆变器的输出电流 i_{AC} 的参考电流 I_{ACREF} ；

[0017] 步骤3：根据 I_{ACREF} 和 $|i_{AC}|$ 的差值对 i_{AC} 进行PI控制，得到交错反激变换电路中的MOS管 Q_1 和 Q_2 的动态占空比 d_{CCM} ；

[0018] 步骤4：计算CCM模式下交错反激变换电路中MOS管开关 Q_1 和 Q_2 的稳态占空比 D_{CCM} ；

$$[0019] \quad D_{CCM} = \frac{|V_{grid}|}{(nV_{PV} + |V_{grid}|)}$$

[0020] 其中， V_{grid} 为电网电压， V_{PV} 为光伏电池电压， $n = \frac{N_2}{N_1}$ 为交错反激变换电路中变压器的副边与原边之比；

[0021] 步骤5：计算最终占空比 $D = D_{CCM} + d_{CCM}$ ；

[0022] 步骤6：根据最终占空比 D 控制交错反激变换电路中MOS管开关 Q_1 和 Q_2 的通断；

[0023] 步骤7:当电网电压 v_{grid} 的幅值大于0时,STM32芯片发出控制信号通过全桥逆变电路驱动电路1065控制全桥逆变电路中的晶闸管 S_2 、MOS管 S_3 导通,晶闸管 S_1 、MOS管 S_4 断开,反之,STM32芯片发出控制信号通过全桥逆变电路驱动电路1065控制全桥逆变电路中晶闸管 S_2 、MOS管 S_3 断开,晶闸管 S_1 、MOS管 S_4 导通。

[0024] 所述STM32芯片利用定时器TIM1,采用中央对齐计数模式输出两路PWM波,所述两路PWM波是PWM1和PWM2,STM32芯片通过PWM1和PWM2分别控制交错反激变换电路中MOS管 Q_1 和 Q_2 的通断,PWM1相位超前PWM2相位半个PWM波周期,两者的频率均为50kHz。

[0025] 所述步骤1中的完成一次AD转换的时间为两个PWM波周期,在第一个PWM波周期转换交错反激变换电路中变压器T1的原边电流 I_{p1} ,全桥逆变电路输出电压 v_{inv} ,全桥逆变电路输出 i_{AC} 和电网电压 v_{grid} ;在第二个PWM波周期转换交错反激变换电路中变压器T2的原边电流 I_{p2} 、光伏电池电压 V_{PV} 。

[0026] 利用STM32芯片控制系统对微逆变器进行温度保护:

[0027] 根据热传导模型和实测结果,按照以下公式预测变压器的温度,当变压器温度高于65℃时,控制芯片发出控制信号使得微逆变器中所有的开关管断开:

$$[0028] \quad T_s = \frac{Q\delta}{A\lambda} + T_c$$

[0029] 其中, $\frac{Q}{A}$ 为单位面积传递的热量, δ 为两个变压器与STM32芯片之间的距离的平均值, λ 为微逆变器机壳内胶体的导热系数, T_c 为STM32芯片内部传感器所测温度。

[0030] 所述微逆变器利用STM32芯片内部嵌入式Flash进行掉电保护,记录现场及恢复现场;

[0031] 所述记录现场是指记录当前数据,包括所有的AD转换数据和微逆变器工作状态,微逆变器工作状态包括启动模式、错误模式及运行模式三种,由控制芯片提供;

[0032] 每个控制周期STM32芯片记录一次现场数据,STM32芯片掉电时,上一控制周期现场数据存储于Flash中,当芯片再次上电时,STM32芯片读取Flash中的现场数据,恢复掉电前的工作。

[0033] 有益效果

[0034] 本发明提供了一种基于CCM模式的微逆变器及其控制方法,该微逆变器采用通用ARM芯片STM32作为微逆变器控制系统的主控芯片,利用芯片的AD转换、定时器、温度传感器和内嵌Flash等固有功能,完成微逆变器AD转换、PWM波占空比控制,掉电保护和温度保护的要求,降低系统总成本;该控制方法使得微逆变器反激变换电路工作于CCM模式,减小开关频率,使得通用ARM芯片STM32的控制得以实现,同时降低开关损耗,减小对滤波器的要求,进一步降低系统成本,提高工作效率,实测最高效率可达94.63%。

附图说明

[0035] 图1为本发明的微逆变器结构示意图;

[0036] 图2为本发明基于CCM模式的微逆变器的控制方法流程图;

[0037] 图3为本发明微逆变器CCM模式控制方案图;

[0038] 图4为本发明微逆变器单个反激变换电路CCM模式工作波形图;

- [0039] 图5为本发明微逆变器交错反激变换电路主开关PWM波占空比控制示意图；
[0040] 图6为本发明微逆变器AD转换示意图；
[0041] 图7为本发明微逆变器工作状态转换示意图。

具体实施方式

[0042] 下面将结合附图和实施例对本发明做进一步的说明。

[0043] 如图1所示,为本发明一种基于CCM模式的微逆变器的结构示意图,包括交错反激变换电路102、全桥逆变电路103、EMI滤波电路104和控制系统106,所述交错反激变换电路的输入端与光伏电池101相连,所述交错反激变换电路、全桥逆变电路、EMI滤波电路的输入端相连及电网105依次相连,所述光伏电池的两端、交错反激变换电路中的MOS管开关控制端、交错反激变换电路中变压器原边、全桥逆变电路各开关控制端、全桥逆变电路输出端及EMI滤波电路与电网的连接端均与控制系统相连,其特征在于,所述控制系统包括主控芯片1061、电压采样电路1062、电流采样电路1063、交错反激变换电路驱动电路1064及全桥逆变电路驱动电路1065,电压采样电路1062、电流采样电路1063、交错反激变换电路驱动电路1064及全桥逆变电路驱动电路1065均与主控芯片1061相连;

[0044] 所述控制系统的主控芯片为STM32芯片,STM32芯片通过交错反激变换电路驱动电路1064对交错反激变换电路中的MOS管 Q_1 、 Q_2 进行控制,STM32芯片通过全桥逆变电路驱动电路1065对全桥逆变电路中的MOS管 S_3 、 S_4 、晶闸管 S_1 、 S_2 进行控制,STM32芯片利用电压采样电路1062和电流采样电路1063实时采集全桥逆变电路的输出电压 V_{inv} 和输出电流 i_{AC} 、光伏电池电压 V_{PV} 、交错反激变换电路中两个变压器原边电流 I_{p1} 、 I_{p2} 以及电网电压 V_{grid} ;所述EMI滤波电路为单级LC滤波电路,用于对全桥逆变电路输出的正弦电流进行滤波,使输出电流波形平滑。

[0045] 交错反激变换电路102包括第一变压器 T_1 、第二变压器 T_2 、功率MOS管 Q_1 、 Q_2 及电力二极管 D_{rect1} 和 D_{rect2} ;用于将光伏电池101产生的直流电流整流成正弦半波绝对值电流,该过程为DC-DC变换,正弦半波绝对值电流形状为正弦波的绝对值,可描述为 $A|\sin\omega t|$ 。

[0046] 第一反向阻断型功率开关 Q_1 的S极接光伏电池的负极,第一反向阻断型功率开关 Q_1 的D极通过第一变压器 T_1 的原边接光伏电池的正极;第二反向阻断型功率开关 Q_2 的S极接光伏电池的负极,第二反向阻断型功率开关 Q_2 的D极通过第二变压器 T_2 的原边接光伏电池的正极;

[0047] 第一变压器 T_1 的副边绕组的非同名端接 D_{rect1} 的正极, D_{rect1} 的负极接 S_1 和 S_2 的正极;第二变压器 T_2 的副边绕组的非同名端 D_{rect2} 的正极, D_{rect2} 的负极与 D_{rect1} 的负极相连;MOS管 S_3 和 S_4 的S极以及第一变压器 T_1 和第二变压器 T_2 副边绕组的同名端接在一起;

[0048] 全桥逆变电路103包括晶闸管 S_1 、 S_2 和MOS管 S_3 、 S_4 ;用于将交错反激变换电路102输出的正弦半波绝对值电流逆变成正弦交流电流,可描述为 $A\sin\omega t$,该过程为DC-AC变换。

[0049] S_2 和 S_3 构成正向换流桥臂, S_3 的D极与滤波电容和电网相连, S_2 的负极通过滤波电感与电网相连; S_1 和 S_4 构成反向换流桥臂, S_1 的负极与滤波电容和电网相连, S_4 的D极通过滤波电感与电网相连。

[0050] 一种基于CCM模式的微逆变器的控制方法,如图2所示的流程图,采用上述的基于CCM模式的微逆变器,控制过程如下:

[0051] 步骤1:利用STM32芯片的控制系统采集微逆变器工作过程中的数据,并对采集数据进行AD转换;

[0052] 所述微逆变器工作过程中的数据包括光伏电池电压 V_{PV} ,交错反激变换电路中两个变压器原边电流 I_{p1} 、 I_{p2} ,全桥逆变电路的输出电压 v_{inv} ,全桥逆变电路的输出电流 i_{AC} ,电网电压 v_{grid} ;

[0053] 步骤2:由最大功率点跟踪法计算微逆变器的输出电流 i_{AC} 的参考电流 I_{ACREF} ;

[0054] 步骤3:根据 I_{ACREF} 和 $|i_{AC}|$ 的差值对 i_{AC} 进行PI控制,得到交错反激变换电路中的MOS管 Q_1 和 Q_2 的动态占空比 d_{CCM} ;

[0055] 步骤4:计算CCM模式下交错反激变换电路中MOS管开关 Q_1 和 Q_2 的稳态占空比 D_{CCM} ;

$$[0056] \quad D_{CCM} = \frac{|V_{grid}|}{(nV_{PV} + |V_{grid}|)}$$

[0057] 其中, V_{grid} 为电网电压, V_{PV} 为光伏电池电压, $n = \frac{N_2}{N_1}$ 为交错反激变换电路中变压器的副边与原边之比;

[0058] 步骤5:计算最终占空比 $D = D_{CCM} + d_{CCM}$;

[0059] 步骤6:根据最终占空比 D 控制交错反激变换电路中MOS管开关 Q_1 和 Q_2 的通断;

[0060] 步骤7:当电网电压 v_{grid} 的幅值大于0时,STM32芯片发出控制信号通过全桥逆变电路驱动电路1065控制全桥逆变电路中的晶闸管 S_2 、MOS管 S_3 导通,晶闸管 S_1 、MOS管 S_4 断开,反之,STM32芯片发出控制信号通过全桥逆变电路驱动电路1065控制全桥逆变电路中晶闸管 S_2 、MOS管 S_3 断开,晶闸管 S_1 、MOS管 S_4 导通。

[0061] 如图3所示,为本发明微逆变器CCM模式控制方案图。所述微逆变器采用CCM模式电流连续模式控制交错反激变换电路的主开关管,在CCM模式下,反激变换电路中的变压器副边电流在开关关断期间不会下降到零。CCM模式稳态占空比计算公式为

$$[0062] \quad D_{CCM} = \frac{|V_{grid}|}{(nV_{PV} + |V_{grid}|)}$$

[0063] 其中, V_{grid} 为电网电压, V_{PV} 为光伏电池板电压, $n = \frac{N_2}{N_1}$ 为反激变换电路中变压器的变比。

[0064] 此外,所述微逆变器采用简单的PI电流环控制,在STM32中各数据均以正的Q15格式进行计算,参考电流 I_{ACREF} 也是正弦整流直流电流形式,对 I_{ACREF} 与PI电流环控制调节后产生的动态占空比 d_{CCM} 与 D_{CCM} 相加,最终占空比 D 控制交错反激变换电路主开关。利用功率计连接光伏电池输出与所述微逆变器输出,测量微逆变器的输入功率和输出功率,微逆变器的输入功率为光伏电池的输出功率,以微逆变器输出功率与输入功率之比计算效率,实测最高效率可达94.63%。

[0065] 如图4所示,为本发明微逆变器单个反激变换电路CCM模式工作波形图, Φ 、 I_p 和 I_s 分别为所述微逆变器单个反激变换电路的变压器磁通、原边电流和副边电流。 $t_0 \sim t_1$ 时间段,主开关开通,变压器原边储存能量,原边电流 I_p 不断增加; $t_1 \sim T_s$ 时段,主开关关断,变压器原边储存的能量开始向副边传递,副边电流 I_s 从最大值开始减小。CCM模式下,变压器副边电流 I_s 还未降为零之前就进入下一周期。

[0066] 如图5所示,为本发明微逆变器交错反激变换电路主开关PWM波占空比控制示意图,所述STM32芯片利用定时器TIM1,采用中央对齐计数模式输出两路PWM波,所述两路PWM波是PWM1和PWM2,STM32芯片通过PWM1和PWM2分别控制交错反激变换电路中MOS管Q₁和Q₂的通断,PWM1相位超前PWM2相位半个PWM波周期,两者的频率均为50kHz。

[0067] 具体工作方式:交错反激变换电路主开关Q₁和Q₂的占空比所对应的Q15格式数据存储于比较寄存器CMP1和CMP2中,STM32芯片高级定时器TIM1进行中央对齐计数模式,先加法计数,后减法计数,计数频率为120MHz。每个PWM波周期CMP1和CMP2均和TIM1中的计数值比较,当TIM1的计数值大于CMP1时,PWM1输出高电平,当TIM1的计数值小于CMP2时,PWM2输出高电平,因此PWM2落后PWM1半个周期,如此形成交错工作。

[0068] 如图6所示,为本发明微逆变器AD转换示意图,所述步骤1中的完成一次AD转换的时间为两个PWM波周期,在第一个PWM波周期转换交错反激变换电路中变压器T1的原边电流I_{p1},全桥逆变电路输出电压v_{inv},全桥逆变电路输出电流i_{AC}和电网电压v_{grid};在第二个PWM波周期转换交错反激变换电路中变压器T2的原边电流I_{p2}、光伏电池电压V_{PV}。

[0069] 如图7所示,为本发明微逆变器工作状态转换图,微逆变器工作状态包括:启动模式、错误模式、运行模式。

[0070] 启动模式:保持10s,若无故障则进入运行模式,若有故障则进入错误模式;

[0071] 错误模式:若无故障并维持500ms则进入启动模式,若有故障则保持错误模式;

[0072] 运行模式:若有故障则进入错误模式,若无故障则保持运行模式。

[0073] 所述微逆变器工作状态转换过程中需要针对温度进行故障检测。

[0074] 所述微逆变器利用STM32芯片内部温度传感器进行温度保护:

[0075] 根据热传导模型和实测结果,按照以下公式预测变压器的温度,当变压器温度高于65℃时,控制芯片发出控制信号使得微逆变器中所有的开关管断开:

$$[0076] \quad T_s = \frac{Q\delta}{A\lambda} + T_c$$

[0077] 其中, $\frac{Q}{A}$ 为单位面积传递的热量, δ 为两个变压器与STM32芯片之间的距离的平均值, λ 为微逆变器机壳内胶体的导热系数, T_c 为STM32芯片内部传感器所测温度。

[0078] 例如:STM32芯片内部传感器所测温度 $T_c=40^\circ\text{C}$,微逆变器机壳内胶体的导热系数 $\lambda=1.5\text{W}/(\text{m}\times^\circ\text{C})$,两个变压器与STM32芯片之间的距离的平均值为 $\delta=0.05\text{m}$,单位面积传递的热量 $\frac{Q}{A}=150\text{W}/\text{m}^2$,则推算出变压器温度为 41.5°C 。

[0079] 所述微逆变器利用STM32芯片内部嵌入式Flash进行掉电保护,记录现场及恢复现场;

[0080] 所述记录现场是指记录当前数据,包括所有的AD转换数据和微逆变器工作状态,微逆变器工作状态包括启动模式、错误模式及运行模式三种,由控制芯片提供;

[0081] 每个控制周期STM32芯片记录一次现场数据,STM32芯片掉电时,上一控制周期现场数据存储于Flash中,当芯片再次上电时,STM32芯片读取Flash中的现场数据,恢复掉电前的工作。

[0082] 工作于启动模式的微逆变器,STM32突然掉电,其工作模式已记录在Flash中,当芯

片再次上电时,恢复到启动模式继续工作。

[0083] 本发明以较佳实例公开如上,但其并不限定本发明。本发明的保护范围以本发明权利要求界定的范围为准。任何本领域技术人员在不脱离本发明的精神范围内,都可以做出适当的变动和修改。

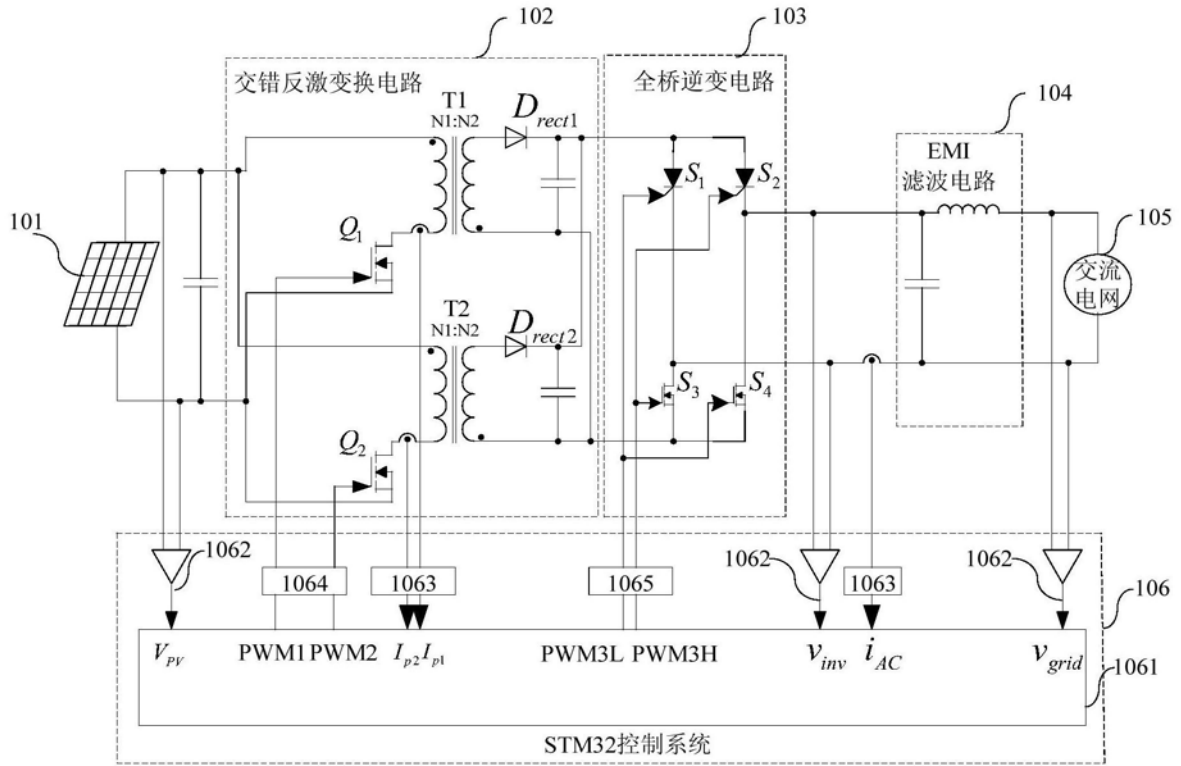


图1

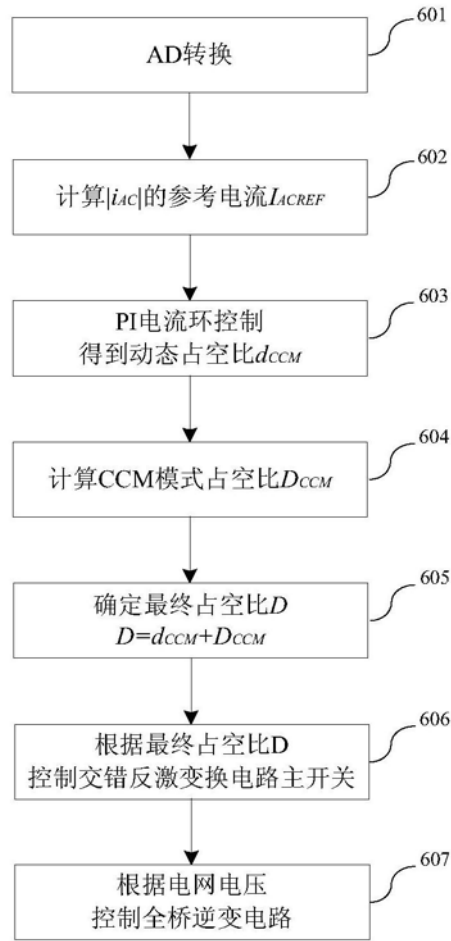


图2

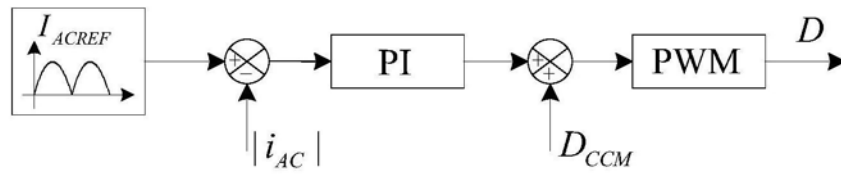


图3

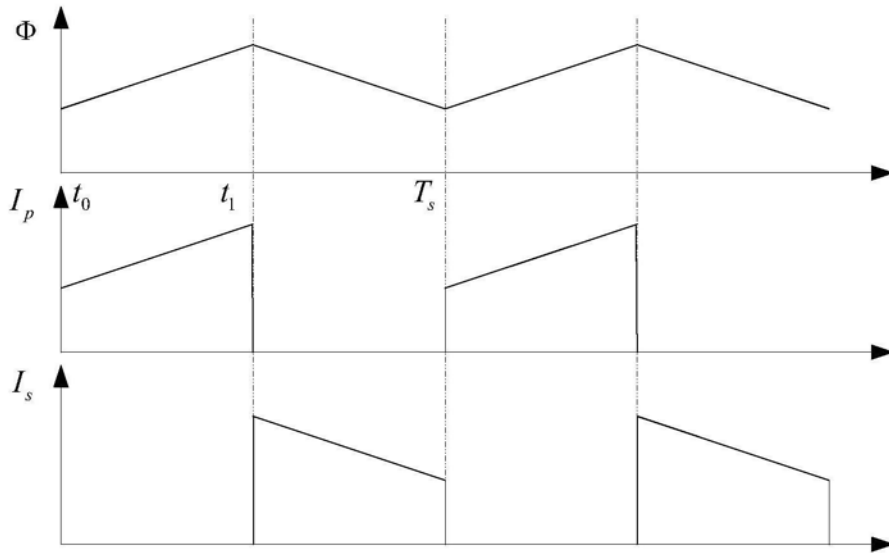


图4

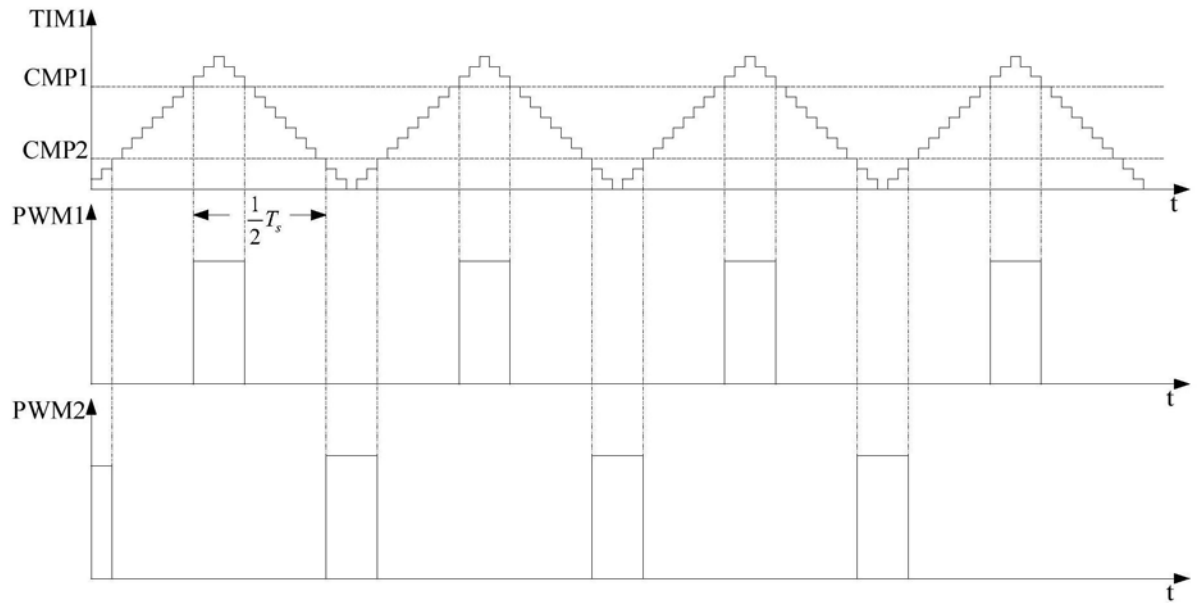


图5

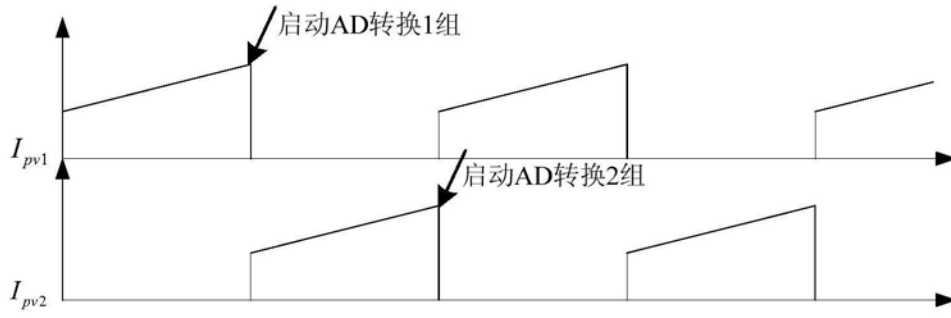


图6

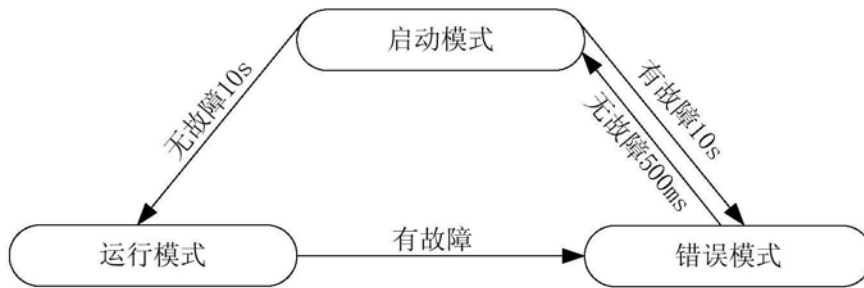


图7