



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108832817 A

(43)申请公布日 2018. 11. 16

(21)申请号 201810501189.0

(22)申请日 2018.05.23

(71)申请人 昆明理工大学

地址 650093 云南省昆明市五华区学府路
253号

(72)发明人 詹跃东 朱小清 李莉

(51)Int. Cl.

H02M 3/335(2006.01)

H02M 7/5387(2007.01)

H02M 1/14(2006.01)

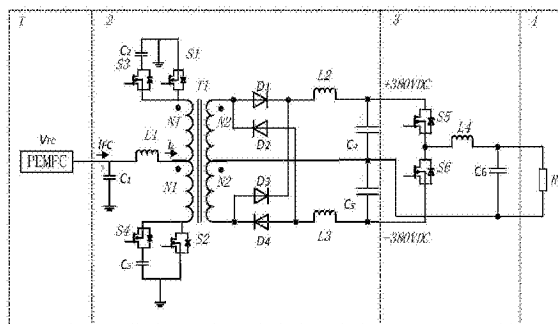
权利要求书3页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

一种减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器及方法

(57)摘要

本发明公开了一种减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器及方法,包括燃料电池、DC/DC升压变换电路、DC/AC逆变电路、负载、EPLD脉冲发生器、电压控制器、检测电路和电流纹波控制器;DC/AC逆变电路输出电压采样值、输出电流值、相位值、频率值、DC/DC升压变换电路的输出电压值、燃料电池输出电压组成电压外环控制;燃料电池输出电流与DC/DC升压变换电路的输出电压值组成电流纹波内环控制;本发明在功率变换控制器的DC/DC升压变换电路中加入有源钳位推挽式电路和全桥整流电路,通过电流纹波内环控制与电压外环控制调整DC/DC升压变换电路中的功率管占空比,进而有效的抑制输入低频电流纹波,减少电流纹波对燃料电池性能的影响,提高燃料电池寿命,应用前景较好。



1. 一种减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器, 其特征在于, 包括燃料电池 (1)、DC/DC升压变换电路 (2)、DC/AC逆变电路 (3)、负载 (4)、EPLD脉冲发生器 (5)、电压控制器 (6)、检测电路 (7) 和电流纹波控制器 (8);

所述燃料电池 (1)、DC/DC升压变换电路 (2)、DC/AC逆变电路 (3) 和负载 (4) 依次串联, 所述EPLD脉冲发生器 (5) 的输出端与DC/DC升压变换电路 (2) 的输入端连接, 所述EPLD脉冲发生器 (5) 的输入端与电流纹波控制器 (8) 的输出端连接, 所述电压控制器 (6) 的输入端与检测电路 (7) 的输出端连接, 所述电压控制器 (6) 的输出端与电流纹波控制器 (8) 的输入端连接, 所述检测电路 (7) 的输入端分别与燃料电池 (1) 的输出端、DC/DC升压变换电路 (2) 的输出端、DC/AC逆变电路 (3) 的输出端连接, 所述检测电路 (7) 的输出端分别与电压控制器 (6) 的输入端、电流纹波控制器 (8) 的输入端连接。

2. 根据权利要求1所述的减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器, 其特征在于: 所述DC/DC升压变换电路 (2) 包括输入侧滤波电容 (C1)、输入侧滤波电感 (L1)、高频变压器 (T1)、第一功率管 (S1)、第二功率管 (S2)、第三功率管 (S3)、第四功率管 (S4)、第二电容 (C2)、第三电容 (C3)、第一二极管 (D1)、第二二极管 (D2)、第三二极管 (D3)、第四二极管 (D4)、第二电感 (L2)、第三电感 (L3)、第四电解电容 (C4)、第五电解电容 (C5);

所述输入侧滤波电容 (C1) 的正极端分别连接燃料电池 (1) 的正极、输入侧滤波电感 (L1) 的一端, 所述输入侧滤波电容 (C1) 的负极端接地, 所述输入侧滤波电感 (L1) 的另一端连接高频变压器 (T1) 的原边绕组中心抽头, 所述第一功率管 (S1) 的集电极和第三功率管 (S3) 的发射极分别连接高频变压器 (T1) 原边绕组N1的同名端, 所述第三功率管 (S3) 的集电极连接第二电容 (C2) 的一端, 所述第二电容 (C2) 的另一端连接第一功率管 (S1) 的发射极并接地, 所述第二功率管 (S2) 的集电极和第四功率管 (S4) 的发射极分别连接高频变压器 (T1) 原边绕组N1的非同名端, 所述第四功率管 (S4) 的集电极连接第三电容 (C3) 的一端, 所述第三电容 (C3) 的另一端连接第二功率管 (S2) 的发射极并接地;

所述第一二极管 (D1) 的阳极和第二二极管 (D2) 的阴极分别连接高频变压器 (T1) 的副边绕组N2同名端, 所述第三二极管 (D3) 的阳极和第四二极管 (D4) 的阴极分别连接高频变压器 (T1) 的副边绕组N2非同名端, 所述第三二极管 (D3) 的阴极和第一二极管 (D1) 的阴极分别连接第二电感 (L2) 的一端, 所述第二二极管 (D2) 的阳极和第四二极管 (D4) 的阳极分别连接第三电感 (L3) 的一端, 所述第四电解电容 (C4) 的正极端连接第二电感 (L2) 的另一端, 所述第五电解电容 (C5) 的负极端连接第三电感 (L3) 的另一端, 所述第四电解电容 (C4) 的负极端与第五电解电容 (C5) 的正极端连接后再与高频变压器 (T1) 的副边绕组中心抽头连接组成N零线端, 所述第四电解电容 (C4) 的正极端输出正的直流电压, 所述第五电解电容 (C5) 的负极端输出负的直流电压。

3. 根据权利要求1所述的减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器, 其特征在于: 所述DC/AC逆变电路 (3) 包括第五功率管 (S5)、第六功率管 (S6)、第四电感 (L4) 第六电容 (C6);

所述第五功率管 (S5) 的集电极连接DC/DC升压变换电路 (2) 的第四电解电容 (C4) 的正极端, 所述第六功率管 (S6) 的发射极连接DC/DC升压变换电路 (2) 的第五电解电容 (C5) 的负极端, 所述第五功率管 (S5) 的发射极和第六功率管 (S6) 的集电极分别连接第四电感 (L4) 的一端, 所述第六电容 (C6) 的一端连接第四电感 (L4) 的另一端, 所述第六电容的另一端连接

DC/DC升压变换电路(2)的N零线端。

4. 根据权利要求2所述的减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器,其特征在于:所述第一功率管(S1)、第二功率管(S2)、第三功率管(S3)、第四功率管(S4)均采用MOSFET功率开关管,且第三功率管(S3)和第四功率管(S4)为零电压ZVS开通/关断。

5. 根据权利要求3所述的减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器,其特征在于:所述第五功率管(S5)、第六功率管(S6)均采用MOSFET功率开关管。

6. 根据权利要求1所述的减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器,其特征在于:所述检测电路(7)内设有一个减法器I,所述电流纹波控制器(8)中设有一个加法器、一个比例控制器、一个减法器II和一个减法器III;所述减法器I的两个负输入端分别连接DC/DC变换器(2)的正输出电压值和负输出电压值,所述减法器I的正输入端连接DC/DC变换器(2)的基准正负电压值,所述减法器I的输出端连接电压控制器(6)的输入端,所述减法器II的正输入端和负输入端分别连接燃料电池(1)的输出电流有效值和输出电流瞬间值,所述减法器II的输出端连接比例控制器的输入端,所述减法器III的正输入端和负输入端分别连接燃料电池(1)的输出电压和反馈信号,所述加法器的三个正输入端分别连接比例控制器的输出端、电压控制器(6)的输出端和减法器III经公式处理后的输出信号,所述加法器的输出端连接EPLD脉冲发生器(5)。

7. 权利要求1~6任一所述的减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器的控制方法,其特征在于,具体步骤如下:

步骤(1):所述检测电路(7)检测燃料电池(1)的输出电流瞬间值 i_{FC} ,先通过RMS有效值计算得到燃料电池(1)的输出电流的有效值 I_{FC} ,然后通过减法器求出燃料电池(1)输出电流的有效值 I_{FC} 与燃料电池的输出电流瞬间值 i_{FC} 之间的差值,得到的差值经比例控制器进行调节,得到第一组控制参数 $D_p = k_p (I_{FC} - i_{FC})$, k_p 为比例调节值,组成电流纹波内环控制的第一部分控制量;

步骤(2):检测电路(7)检测DC/DC升压变换电路(2)的输出正负直流电压 $\pm V_{BUS}$,再通过减法器I,与DC/DC升压变换电路(2)的输出正负直流电压参考值 $\pm V_{BUS.ref}$ 作差值运算,得到的差值经电压控制器(6)输出后得到电流纹波控制器(8)的输入控制值 D_c ,并组成电流纹波内环控制的第二部分控制量;

步骤(3):经检测电路(7)得到DC/AC逆变电路(3)的输出电压值 V_o 、电流值 I_o 、相位角 φ 、角频率 ω 、DC/DC升压变换电路(2)的输出电压值 V_{BUS} 、燃料电池输出电压 V_{FC} ,通过下列公式计算得到电流纹波控制器(8)的第三组控制参数 D_r :

$$D_r = (1 - D_c) - 2n \cdot \frac{V_{FC}}{V_{BUS}(t)}$$

$$= 2n \cdot \frac{V_{FC}}{V_{BUS}} \cdot \frac{\frac{V_o I_o \sin(2\omega t + \varphi)}{2\omega C_{BUS} V_{BUS}^2}}{1 + \frac{V_o I_o \sin(2\omega t + \varphi)}{2\omega C_{BUS} V_{BUS}^2}} \quad (1)$$

其中: $n = N_2/N_1$, N_1 , N_2 分别为高频变压器(T1)两侧的匝数, D_c 是控制输出占空比, $V_{BUS}(t)$ 为DC/DC升压变换电路(2)的输出电压瞬时值, C_{BUS} 为第四电解电容(C4)的电容大小, t 为时

间；

步骤(4)：将步骤(1)、步骤(2)和步骤(3)得到的三组控制参数 D_p 、 D_c 、 D_r 经过加法器相加得到EPLD脉冲发生器(5)的输入信号 D_{out} ；

步骤(5)：EPLD脉冲发生器(5)输出PWM控制信号到DC/DC升压变换电路(2)的第一功率管(S1)、第二功率管(S2)、第三功率管(S3)和第四功率管(S4)，从而控制DC/DC升压变换电路(2)的直流升压过程，达到减少输入燃料电池低频电流纹波的目的。

一种减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器及方法,具体涉及一种将燃料电池产生的直流电通过功率变换控制器,转换成供负载使用的交流电或并网发电,属于新能源燃料电池发电技术、电力电子技术和控制技术领域。

背景技术

[0002] 能源危机和环境污染两大问题是当今世界面临的两大难题,我国在近几十年投入了大量的人力、物力和财力在新能源发电技术上,许多高校、研究院和大型公司着力于研究、开发解决新能源发电的各项技术难题。太阳能、风能、核能、潮汐能、地热能和生物质能发电、燃料电池发电等新能源发电得到飞跃的发展。其中燃料电池发电作为新型发电技术,主要以消耗氢能或者燃料中的化学能为基础,将化学能转为电能的装置,不仅可以克服太阳能伴随的间歇性、风能的随机性和核能发电的不安全性等缺点,可以作为移动发电装置广泛应用于移动汽车或者发电站中,还可以作为其他新能源发电的补偿,在用电高峰时减少其他新能源发电的负担。

[0003] 燃料电池发出的为低电压和大电流直流电,需要功率变换控制器将燃料电池与负载或电网连接起来。通过功率变换控制器将低电压、大电流的直流电转换为满足负载使用的直流电或交流电,或者满足并网要求的交流电。功率变换控制器是实现燃料电池与负载之间、市电电网之间能量的传递与转换的关键环节。燃料电池寿命和性能受工作温度、湿度、燃料流量、空气或氧化剂、负载波动大小、低频电流纹波等因素影响,目前的燃料电池工作寿命问题是一个重要的研究课题,其中低频电流纹波会在燃料电池发电中主要会引起燃料利用率降低、输出特性变差和缩短燃料电池寿命三个问题。

[0004] 因此,功率变换控制器的设计与开发,需要考虑的技术问题有:第一,当燃料电池作为发电来源时,不同于普通电池工作原理,燃料电池是一种将燃料中的化学能直接转化为直流电的电化学能量装置,是一种输出电压低,电流较大的直流电源,不太符合直接给负载供电的要求,因此需要将燃料电池进行升压至合理范围,以满足负载使用。第二,在满足负载使用后,由于燃料电池的工作状态、工作压力、温度、反应物流量、反应物湿度、电流纹波等工作条件都会影响燃料电池本身性能和寿命,电池外特性较软,因此除了让燃料电池正常工作在合适的温度、湿度、压力、流量等条件下,还应当尽可能提高燃料电池的使用效率和使用寿命,研究表明,输入低频电流纹波对燃料电池的输出电压、燃料利用率和使用寿命有很大的影响。为提高燃料电池发电系统的寿命,应当减少输入低频电流纹波对燃料电池本身的伤害。

[0005] 因此,设计一种满足上述技术要求的体积小、成本低,功耗低、效率高、安全可靠、使用寿命长且能一种减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器,并采用先进的控制技术方法是发展趋势。

发明内容

[0006] 本发明的目的之一在于提供一种减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器，它适用于燃料电池发电系统，针对现有燃料电池功率变换控制器输出低频电流纹波较高，减少低频电流纹波对燃料电池本身寿命和性能等影响，同时具备成本低、功耗低、效率高、安全可靠、使用寿命长等特点。

[0007] 本发明通过以下的技术方案予以实现：

[0008] 一种减少燃料电池电流纹波的功率变换控制器，包括燃料电池、DC/DC升压变换电路、DC/AC逆变电路、负载、EPLD脉冲发生器、电压控制器、检测电路和电流纹波控制器；

[0009] 所述燃料电池、DC/DC升压变换电路、DC/AC逆变电路和负载依次串联，所述EPLD脉冲发生器的输出端与DC/DC升压变换电路的输入端连接，所述EPLD脉冲发生器的输入端与电流纹波控制器的输出端连接，所述电压控制器的输入端与检测电路的输出端连接，所述电压控制器的输出端与电流纹波控制器的输入端连接，所述检测电路的输入端分别与燃料电池的输出端、DC/DC升压变换电路的输出端、DC/AC逆变电路的输出端连接，所述检测电路的输出端分别与电压控制器的输入端、电流纹波控制器的输入端连接。

[0010] 所述DC/DC升压变换电路包括输入侧滤波电容C1、输入侧滤波电感L1、高频变压器T1、第一功率管S1、第二功率管S2、第三功率管S3、第四功率管S4、第二电容C2、第三电容C3、第一二极管D1、第二二极管D2、第三二极管D3、第四二极管D4、第二电感L2、第三电感L3、第四电解电容C4、第五电解电容C5；

[0011] 所述输入侧滤波电容C1的正极端分别连接燃料电池的正极、输入侧滤波电感L1的一端，所述输入侧滤波电容C1的负极端接地，所述输入侧滤波电感L1的另一端连接高频变压器T1的原边绕组中心抽头，所述第一功率管S1的集电极和第三功率管S3的发射极分别连接高频变压器T1原边绕组N1的同名端，所述第三功率管S3的集电极连接第二电容C2的一端，所述第二电容C2的另一端连接第一功率管S1的发射极并接地，所述第二功率管S2的集电极和第四功率管S4的发射极分别连接高频变压器T1原边绕组N1的非同名端，所述第四功率管S4的集电极连接第三电容C3的一端，所述第三电容C3的另一端连接第二功率管S2的发射极并接地；

[0012] 所述第一二极管D1的阳极和第二二极管D2的阴极分别连接高频变压器T1的副边绕组N2同名端，所述第三二极管D3的阳极和第四二极管D4的阴极分别连接高频变压器T1的副边绕组N2非同名端，所述第三二极管D3的阴极和第一二极管D1的阴极分别连接第二电感L2的一端，所述第二二极管D2的阳极和第四二极管D4的阳极分别连接第三电感L3的一端，所述第四电解电容C4的正极端连接第二电感L2的另一端，所述第五电解电容C5的负极端连接第三电感L3的另一端，所述第四电解电容C4的负极端与第五电解电容C5的正极端连接后再与高频变压器T1的副边绕组中心抽头连接组成N零线端，所述第四电解电容C4的正极端输出正的直流电压，所述第五电解电容C5的负极端输出负的直流电压。

[0013] 所述DC/AC逆变电路包括第五功率管S5、第六功率管S6、第四电感L4第六电容C6；

[0014] 所述第五功率管S5的集电极连接DC/DC升压变换电路的第四电解电容C4的正极端，所述第六功率管S6的发射极连接DC/DC升压变换电路的第五电解电容C5的负极端，所述第五功率管S5的发射极和第六功率管S6的集电极分别连接第四电感L4的一端，所述第六电容C6的一端连接第四电感L4的另一端，所述第六电容的另一端连接DC/DC升压变换电路的N零线端。

[0015] 所述第一功率管S1、第二功率管S2、第三功率管S3、第四功率管S4均采用MOSFET功率开关管,且第三功率管S3和第四功率管S4为零电压ZVS开通/关断。

[0016] 所述第五功率管S5、第六功率管S6均采用MOSFET功率开关管,所述功率变换控制器通过对有源钳位推挽式升压变换器和半桥式逆变电路采用脉冲宽度调制(PWM)控制和正弦脉宽调制(SPWM),将燃料电池具有输出低电压、大电流特性的直流电升压到正负直流电压 $\pm V_{BUS}$,并通过半桥逆变电路逆变成交流电流供负载使用。

[0017] 所述检测电路内设有一个减法器I,所述电流纹波控制器中设有一个加法器、一个比例(P)控制器、一个减法器II和一个减法器III;

[0018] 所述减法器I的两个负输入端分别连接DC/DC变换器的正输出电压值和负输出电压值,所述减法器I的正输入端连接DC/DC变换器的基准正负电压值,所述减法器I的输出端连接电压控制器的输入端,所述减法器II的正输入端和负输入端分别连接燃料电池的输出电流有效值和输出电流瞬间值,所述减法器II的输出端连接比例(P)控制器的输入端,所述减法器III的正输入端和负输入端分别连接燃料电池的输出电压和反馈信号,所述加法器的三个正输入端分别连接比例(P)控制器的输出端、电压控制器的输出端和减法器III经公式处理后的输出信号,所述加法器的输出端连接EPLD脉冲发生器。

[0019] 本发明的目的之二在于提供一种利用上述控制器进行控制的方法,具体步骤如下:

[0020] 步骤(1):所述检测电路(7)检测燃料电池(1)的输出电流瞬间值 i_{FC} ,先通过RMS有效值计算得到燃料电池(1)的输出电流的有效值 I_{FC} ,然后通过减法器求出燃料电池(1)输出电流的有效值 I_{FC} 与燃料电池的输出电流瞬间值 i_{FC} 之间的差值,得到的差值经比例(P)控制器进行调节,得到第一组控制参数 $D_p = k_p (I_{FC} - i_{FC})$, k_p 为比例调节值,组成电流纹波内环控制的第一部分控制量;

[0021] 步骤(2):检测电路(7)检测DC/DC升压变换电路(2)的输出正负直流电压 $\pm V_{BUS}$,再通过减法器I,与DC/DC升压变换电路(2)的输出正负直流电压参考值 $\pm V_{BUS.ref}$ 作差值运算,得到的差值经电压控制器(6)输出后得到电流纹波控制器(8)的输入控制值 D_c ,并组成电流纹波内环控制的第二部分控制量;

[0022] 步骤(3):经检测电路(7)得到DC/AC逆变电路(3)的输出电压值 V_o 、电流值 I_o 、相位角 φ 、角频率 ω 、DC/DC升压变换电路(2)的输出电压值 V_{BUS} 、燃料电池输出电压 V_{FC} ,通过下列公式计算得到电流纹波控制器(8)的第三组控制参数 D_r ;

$$D_r = (1 - D_c) - 2n \cdot \frac{V_{FC}}{v_{BUS}(t)}$$

$$[0023] \quad = 2n \cdot \frac{V_{FC}}{V_{BUS}} \cdot \frac{\frac{V_o I_o \sin(2\omega t + \varphi)}{2\omega C_{BUS} V_{BUS}^2}}{1 + \frac{V_o I_o \sin(2\omega t + \varphi)}{2\omega C_{BUS} V_{BUS}^2}}$$

[0024] 其中: $n = N_2/N_1$, N_1 , N_2 分别为高频变压器(T1)两侧的匝数, D_c 是控制输出占空比, $v_{BUS}(t)$ 为DC/DC升压变换电路(2)的输出电压瞬时值, C_{BUS} 为第四电解电容(C4)的电容大小, t 为时间;

[0025] 步骤(4):将步骤(1)、步骤(2)和步骤(3)得到的三组控制参数 D_p 、 D_c 、 D_r 经过加法器

相加得到EPLD脉冲发生器(5)的输入信号 D_{out} ;

[0026] 步骤(5):EPLD脉冲发生器(5)输出PWM控制信号到DC/DC升压变换电路(2)的第一功率管(S1)、第二功率管(S2)、第三功率管(S3)和第四功率管(S4),从而控制DC/DC升压变换电路(2)的直流升压过程,达到减少输入燃料电池低频电流纹波的目的。

[0027] 本发明与现有技术相比的有益效果如下:

[0028] (1) 本发明减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器能够抑制低频电流纹波对燃料电池本身造成危害,提高燃料电池燃料利用率、提高燃料电池性能和延长燃料电池寿命。

[0029] (2) 本发明减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器直流升压电路采用有源钳位推挽式升压电路和桥式整流电路的拓扑结构,占空比 D 即可工作在大于0.5又可以工作在小于0.5的范围,可输入电压变化范围宽,且实现了输入输出电气隔离。

[0030] (3) 本发明减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器直流升压电路中输出的是正负直流电,后级采用半桥式逆变电路,只需要简单控制就能将正负直流电逆变成交流电。

[0031] (4) 本发明的减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器直流升压电路中第三功率管和第四功率管均实现零电压(ZVS)开通和零电压(ZVS)关断,桥式整流电路中的第一二极管、第二二极管、第三二极管和第四二极管为零电流(ZCS)关断,降低系统损耗。

[0032] (5) 本发明的控制方法为闭环控制,在不增加额外功率器件的情况下,能有效的减少低频电流纹波对燃料电池的危害,提高燃料电池寿命和性能。

[0033] (6) 本发明减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器和控制方法具有安全可靠、成本低、效率高、使用寿命长等优点。

附图说明

[0034] 图1为本发明减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器的电路图;

[0035] 图2为本发明减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器的闭环控制方法示意图。

具体实施方式

[0036] 以下结合附图对本发明作进一步说明。

[0037] 实施例1:如图1~2所示,本减少燃料电池低频电流纹波的功率变换控制器,包括燃料电池1、DC/DC升压变换电路2、DC/AC逆变电路3、负载4、EPLD脉冲发生器5、电压控制器6、检测电路7和电流纹波控制器8;

[0038] 所述燃料电池1、DC/DC升压变换电路2、DC/AC逆变电路3和负载4依次串联,所述EPLD脉冲发生器5的输出端与DC/DC升压变换电路2的输入端连接,所述EPLD脉冲发生器5的输入端与电流纹波控制器8的输出端连接,所述电压控制器6的输入端与检测电路7的输出端连接,所述电压控制器6的输出端与电流纹波控制器8的输入端连接,所述检测电路7的输入端分别与燃料电池1的输出端、DC/DC升压变换电路2的输出端、DC/AC逆变电路3的输出端连接,所述检测电路7的输出端分别与电压控制器6的输入端、电流纹波控制器8的输入端连接。

[0039] 所述DC/DC升压变换电路2包括输入侧滤波电容C1、输入侧滤波电感L1、高频变压器T1、第一功率管S1、第二功率管S2、第三功率管S3、第四功率管S4、第二电容C2、第三电容C3、第一二极管D1、第二二极管D2、第三二极管D3、第四二极管D4、第二电感L2、第三电感L3、第四电解电容C4、第五电解电容C5；

[0040] 所述输入侧滤波电容C1的正极端分别连接燃料电池1的正极、输入侧滤波电感L1的一端，所述输入侧滤波电容C1的负极端接地，所述输入侧滤波电感L1的另一端连接高频变压器T1的原边绕组中心抽头，所述第一功率管S1的集电极和第三功率管S3的发射极分别连接高频变压器T1原边绕组N1的同名端，所述第三功率管S3的集电极连接第二电容C2的一端，所述第二电容C2的另一端连接第一功率管S1的发射极并接地，所述第二功率管S2的集电极和第四功率管S4的发射极分别连接高频变压器T1原边绕组N1的非同名端，所述第四功率管S4的集电极连接第三电容C3的一端，所述第三电容C3的另一端连接第二功率管S2的发射极并接地；

[0041] 所述第一二极管D1的阳极和第二二极管D2的阴极分别连接高频变压器T1的副边绕组N2同名端，所述第三二极管D3的阳极和第四二极管D4的阴极分别连接高频变压器T1的副边绕组N2非同名端，所述第三二极管D3的阴极和第一二极管D1的阴极分别连接第二电感L2的一端，所述第二二极管D2的阳极和第四二极管D4的阳极分别连接第三电感L3的一端，所述第四电解电容C4的正极端连接第二电感L2的另一端，所述第五电解电容C5的负极端连接第三电感L3的另一端，所述第四电解电容C4的负极端与第五电解电容C5的正极端连接后再与高频变压器T1的副边绕组中心抽头连接组成N零线端，所述第四电解电容C4的正极端输出正的直流电压，所述第五电解电容C5的负极端输出负的直流电压。

[0042] 所述DC/AC逆变电路3包括第五功率管S5、第六功率管S6、第四电感L4第六电容C6；

[0043] 所述第五功率管S5的集电极连接DC/DC升压变换电路2的第四电解电容C4的正极端，所述第六功率管S6的发射极连接DC/DC升压变换电路2的第五电解电容C5的负极端，所述第五功率管S5的发射极和第六功率管S6的集电极分别连接第四电感L4的一端，所述第六电容C6的一端连接第四电感L4的另一端，所述第六电容的另一端连接DC/DC升压变换电路2的N零线端。

[0044] 所述第一功率管S1、第二功率管S2、第三功率管S3、第四功率管S4均采用MOSFET功率开关管，且第三功率管S3和第四功率管S4为零电压ZVS开通/关断。

[0045] 所述第五功率管S5、第六功率管S6均采用MOSFET功率开关管。

[0046] 所述检测电路7内设有一个减法器I，所述电流纹波控制器8中设有一个加法器、一个比例(P)控制器、一个减法器II和一个减法器III；

[0047] 所述减法器I的两个负输入端分别连接DC/DC变换器2的正输出电压值和负输出电压值，所述减法器I的正输入端连接DC/DC变换器2的基准正负电压值，所述减法器I的输出端连接电压控制器6的输入端，所述减法器II的正输入端和负输入端分别连接燃料电池1的输出电流有效值和输出电流瞬间值，所述减法器II的输出端连接比例(P)控制器的输入端，所述减法器III的正输入端和负输入端分别连接燃料电池1的输出电压和反馈信号，所述加法器的三个正输入端分别连接比例(P)控制器的输出端、电压控制器6的输出端和减法器III经公式处理后的输出信号，所述加法器的输出端连接EPLD脉冲发生器5。

[0048] 本实施例中第五功率管S5和第六功率管S6经正弦脉宽调制(SPWM)控制信号控制

开通和关断时间占空比,能将正负直流电逆变成交流电。具体工作原理可以表示为:第五功率管S5和第六功率管S6交替导通,且第五功率管S5截止期间第六功率管S6以固定频率但占空比不同进行导通和截止,相反,当第六功率管S6截止期间第五功率管S5以固定频率但占空比不同进行导通和截止。本发明中,直流升压电路输出正电压为+380V,低电平为-380V,中值为0V。逆变后交流电通过第四电感L4和第六电容C6滤波后正好为正弦波,供后级负载4使用。

[0049] 所述DC/AC逆变电路3输出瞬时电压和瞬时电流可以表示为:

$$[0050] \quad v_o(t) = \sqrt{2}V_o \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$[0051] \quad i_o(t) = \sqrt{2}I_o \cos(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

[0052] $v_o(t)$ 、 $i_o(t)$ 分别表示为DC/AC逆变电路3输出瞬时电压和瞬时电流, V_o 、 I_o 分别为输出电压和电流的幅值, ω 为工频角频率, t 为时间, φ 为相位,将上式(1)和(2)相乘得到DC/AC逆变电路3的输出功率为:

$$[0053] \quad P_o(t) = v_o(t)i_o(t) = V_o I_o [\cos(2\omega t + \varphi) + \cos(\varphi)] \quad (3)$$

[0054] 假设功率变换控制器各器件为理想元件,因此功率变换控制器的损耗较低。忽略功率变换控制器的损耗后,根据能量守恒定律则有燃料电池输出功率等于DC/AC逆变电路3的输入功率:

$$[0055] \quad V_{FC} I_{FC}(t) = V_{BUS} I_{BUS}^*(t) = P_o(t) \quad (4)$$

[0056] 其中 V_{FC} 、 I_{FC} 为燃料电池输出电压和输出电流, I_{BUS}^* 为DC/DC升压变换电路2直流母线上电流,由纯直流电流和两倍工频正弦电流两部分组成。

[0057] 由公式4推出:

$$[0058] \quad I_{BUS}^*(t) = \frac{P_o(t)}{V_{BUS}} = \frac{V_o I_o}{V_{BUS}} [\cos(2\omega t + \varphi) + \cos(\varphi)] \quad (5)$$

[0059] 由公式5中可以得出,功率变换控制器中直流升压侧输出电流含有2倍工频电流。尽管直流电压侧有电容器,但由于电容不是无限大,两倍工频的低频电流纹波LFCR就可以通过电容器充放电,这样直流电压侧电容器两端的电压可以表示为:

[0060]

$$\begin{aligned} v_{BUS}(t) &= V_{BUS} + \frac{1}{C_{BUS}} \int I_{BUS}^* dt = V_{BUS} + \frac{1}{C_{BUS}} \int \frac{V_o I_o}{V_{BUS}} [\cos(2\omega t + \varphi) + \cos(\varphi)] dt \\ &= V_{BUS} [1 + \frac{V_o I_o}{2\omega C_{BUS} V_{BUS}^2} \sin(2\omega t + \varphi)] \end{aligned} \quad (6)$$

[0061] 其中, v_{BUS} 为电容器两端的电压值, C_{BUS} 为电容器的电容大小,当燃料电池输出电压可以视为电流控制电压源时,其电流包含100Hz或120Hz的谐波,燃料电池输出电流可以表示为:

$$[0062] \quad I_{FC}(t) = V_{BUS}(t) I_{BUS}^*(t) / V_{FC} \quad (7)$$

[0063] 有源钳位推挽式DC/DC变换器的输出侧电压和PEMFC电池电压的关系可以表示为:

$$[0064] \quad \frac{V_{BUS}}{V_{FC}} = \frac{2n}{1-D_c} \quad (8)$$

[0065] 其中, $n = N_2/N_1$, N_1 , N_2 分别为高频变压器(T1)两侧的匝数, n 为高频变压器的变比,

D_c 表示为控制直流侧电压的占空比,功率管占空比 $D_{out}=D_c+D_r$, D_r 为电流纹波抑制占空比。由公式(8)可以推出

$$[0066] \quad \frac{v_{BUS}(t)}{V_{FC}} = \frac{2n}{1-D_{out}} = \frac{2n}{1-(D_c+D_r)} \quad (9)$$

[0067] 由上化简可得:

$$[0068] \quad D_r = (1 - D_c) - 2n \cdot \frac{V_{FC}}{v_{BUS}(t)}$$

$$[0069] \quad = 2n \cdot \frac{V_{FC}}{V_{BUS}} \cdot \frac{\frac{V_0 I_0 \sin(2\omega t + \varphi)}{2\omega C_{BUS} V_{BUS}^2}}{1 + \frac{V_0 I_0 \sin(2\omega t + \varphi)}{2\omega C_{BUS} V_{BUS}^2}} \quad (10)$$

[0070] 通过以上的分析,如图2所示,可以形成一个闭环控制方法,用以减少燃料电池的低频电流纹波,具体步骤如下:

[0071] 步骤(1):所述检测电路7检测燃料电池1的输出电流瞬间值 i_{FC} ,先通过RMS有效值计算得到燃料电池1的输出电流的有效值 I_{FC} ,然后通过减法器求出燃料电池1输出电流的有效值 I_{FC} 与燃料电池的输出电流瞬间值 i_{FC} 之间的差值,得到的差值经比例(P)控制器进行调节,得到第一组控制参数 $D_p = k_p (I_{FC} - i_{FC})$, k_p 为比例调节值,组成电流纹波内环控制的第一部分控制量;

[0072] 步骤(2):检测电路7检测DC/DC升压变换电路2的输出正负直流电压 $\pm V_{BUS}$,再通过减法器I,与DC/DC升压变换电路2的输出正负直流电压参考值 $\pm V_{BUS,ref}$ 作差值运算,得到的差值经电压控制器6输出后得到电流纹波控制器8的输入控制值 D_c ,并组成电流纹波内环控制的第二部分控制量;

[0073] 步骤(3):经检测电路7得到DC/AC逆变电路3的输出电压值 V_0 、电流值 I_0 、相位角 φ 、角频率 ω 、DC/DC升压变换电路2的输出电压值 V_{BUS} 、燃料电池输出电压 V_{FC} ,通过下列公式计算得到电流纹波控制器8的第三组控制参数 D_r ;

$$D_r = (1 - D_c) - 2n \cdot \frac{V_{FC}}{v_{BUS}(t)}$$

$$[0074] \quad = 2n \cdot \frac{V_{FC}}{V_{BUS}} \cdot \frac{\frac{V_0 I_0 \sin(2\omega t + \varphi)}{2\omega C_{BUS} V_{BUS}^2}}{1 + \frac{V_0 I_0 \sin(2\omega t + \varphi)}{2\omega C_{BUS} V_{BUS}^2}} \quad (1)$$

[0075] 其中: $n=N_2/N_1$, N_1 , N_2 分别为高频变压器T1两侧的匝数, D_c 是控制输出占空比, $v_{BUS}(t)$ 为DC/DC升压变换电路2的输出电压瞬时值, C_{BUS} 为第四电解电容C4的电容大小, t 为时间;

[0076] 步骤(4):将步骤(1)、步骤(2)和步骤(3)得到的三组控制参数 D_p 、 D_c 、 D_r 经过加法器相加得到EPLD脉冲发生器5的输入信号 D_{out} ;

[0077] 步骤(5):EPLD脉冲发生器5输出PWM控制信号到DC/DC升压变换电路2的第一功率管S1、第二功率管S2、第三功率管S3和第四功率管S4,从而控制DC/DC升压变换电路2的直流升压过程,达到减少输入燃料电池低频电流纹波的目的。

[0078] 上面结合附图对本发明的具体实施例作了详细说明,但是本发明并不限于上述实施例,在本领域普通技术人员所具备的知识范围内,还可以在不脱离本发明宗旨的前提下作出各种变化。

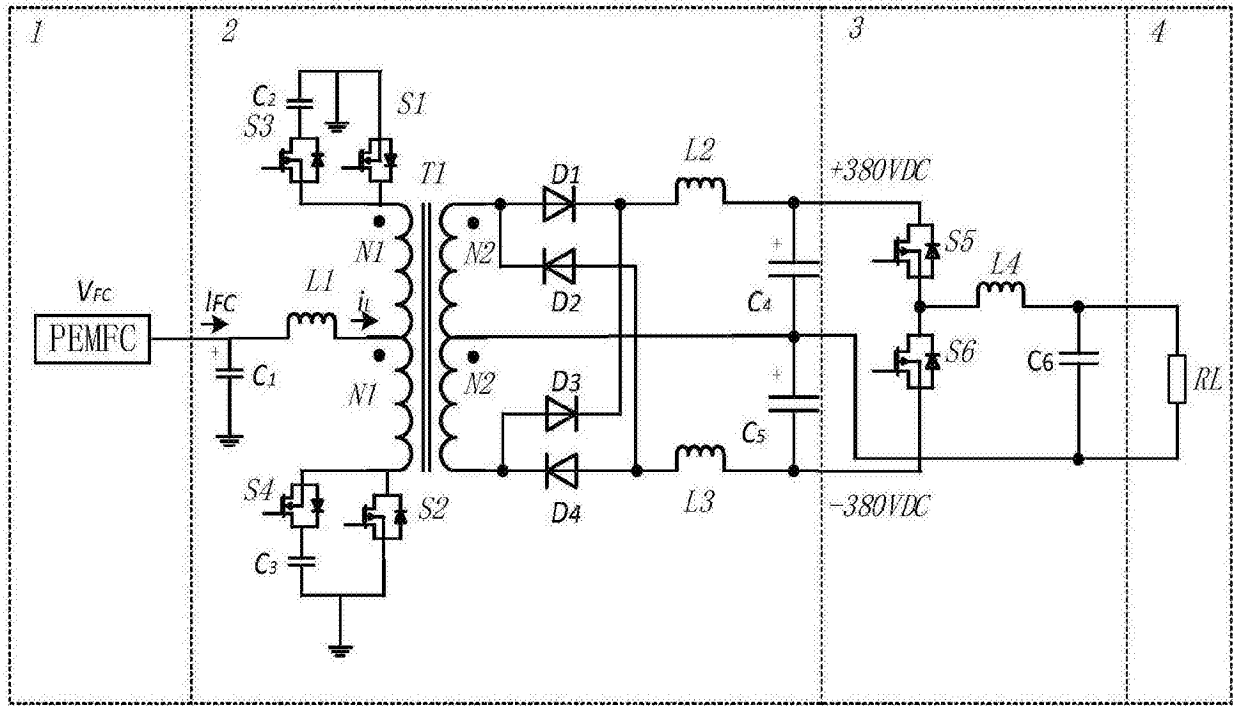


图1

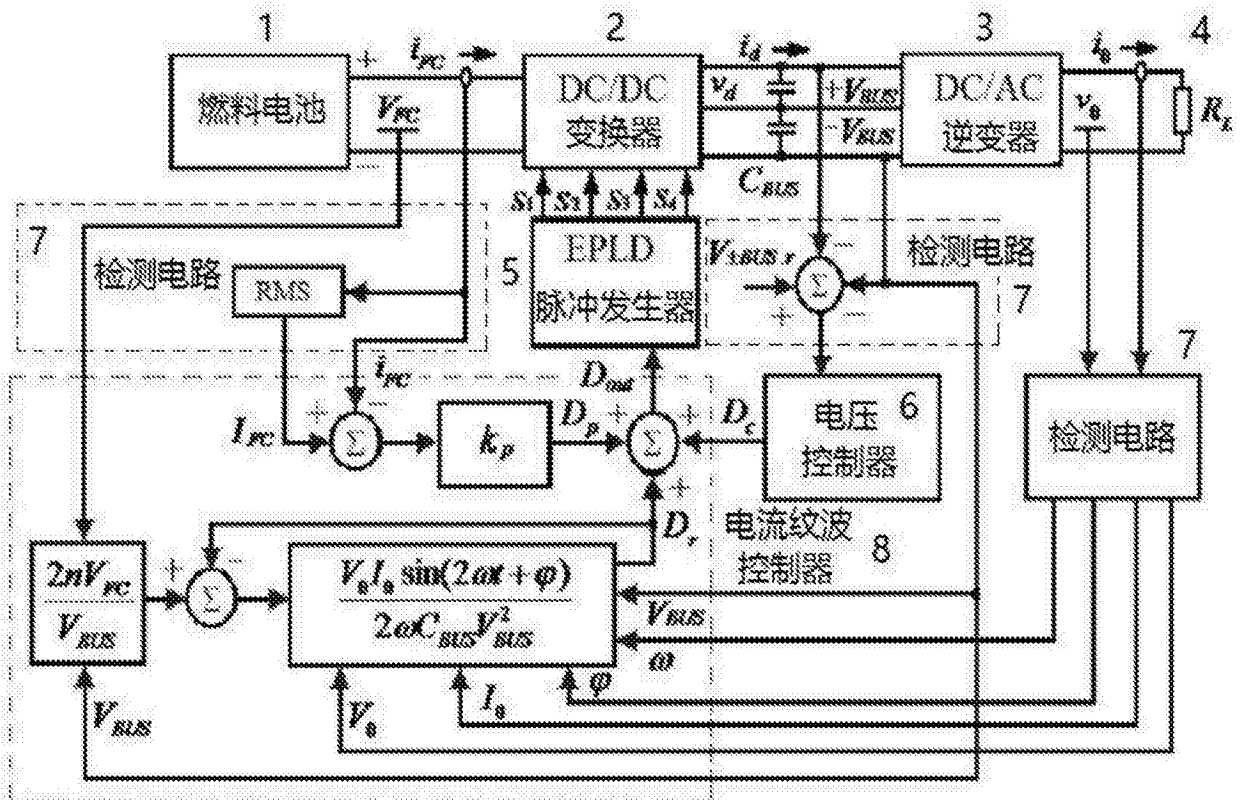


图2