

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102082515 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 23

(21) 申请号 200910232474. 8

(22) 申请日 2009. 11. 27

(73) 专利权人 南京理工大学
地址 210094 江苏省南京市孝陵卫 200 号

(72) 发明人 李磊 赵勤 胡伟 朱玲

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心
32203

代理人 唐代盛

(51) Int. Cl.

H02M 5/293 (2006. 01)

(56) 对比文件

- CN 101150286 A, 2008. 03. 26,
- CN 101039078 A, 2007. 09. 19,
- US 2009/0059633 A1, 2009. 03. 05,
- JP 平 2-13265 A, 1990. 01. 17,
- 李磊等. 两种高频交流环节 AC/AC 变换器比

较研究.《中国电机工程学报》. 2006, 第 26 卷 (第 20 期),

李磊. 高频交流环节 AC/AC 变换器研究.《中国博士学位论文全文数据库(电子期刊)》. 2005,

审查员 王宁

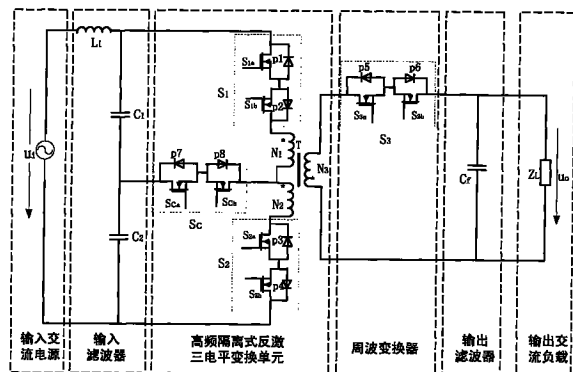
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器

(57) 摘要

本发明公开了一种基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器,该变换器的电路拓扑,由依次连接的输入高压交流电源、输入滤波器、高频隔离式反激三电平变换单元、周波变换器以及输出交流负载构成,其中高频隔离式反激三电平变换单元由两个双向功率开关、一个双向箝位功率开关和一个高频隔离式反激三绕组变压器组成,能够将输入电压转化为多种输出电压。本发明能够降低功率开关的电压应力,减少功率变换级数,提高输入侧功率因数、变换效率和功率密度;能够适用于高频电气隔离的高压交-交电能变换场合,大大拓宽了三电平交-交变换器的应用领域。



1. 一种基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器,其特征在于:该变换器由依次连接的输入交流电源、输入滤波器、高频隔离式反激三电平变换单元、周波变换器、输出滤波器和输出交流负载构成,输入滤波器由输入滤波电感 $[L_1]$ 、第一输入滤波电容 $[C_1]$ 、第二输入滤波电容 $[C_2]$ 构成,第一双向功率开关 $[S_1]$ 、第二双向功率开关 $[S_2]$ 、箝位双向功率开关 $[S_c]$ 、三绕组高频隔离变压器 $[T]$ 构成高频隔离式反激三电平变换单元,对经过滤波后的正弦电压进行三电平反激式变换得到三电平电压,第三双向功率开关 $[S_3]$ 实现周波变换器的功能,输出滤波电容 $[C_f]$ 实现输出滤波器的功能;在输出交流负载侧得到正弦交流电压 $[u_o]$;输入高压交流电源 $[u_i]$ 的参考正极与输入滤波电感 $[L_1]$ 的一端连接,输入滤波电感 $[L_1]$ 的另一端分别与第一输入滤波电容 $[C_1]$ 、第一双向功率开关 $[S_1]$ 的一端相连接,第一输入滤波电容 $[C_1]$ 的另一端分别与第二输入滤波电容 $[C_2]$ 、箝位双向功率开关 $[S_c]$ 的一端相连接,第二输入滤波电容 $[C_2]$ 的另一端分别接输入交流电源 $[u_i]$ 的参考负极和第二双向功率开关 $[S_2]$ 的一端,输入交流电源 $[u_i]$ 的参考负极接地;第一双向功率开关 $[S_1]$ 的另一端与高频隔离变压器 $[T]$ 的原边第一绕组 $[N_1]$ 的一端相连,原边第一绕组 $[N_1]$ 的另一端与原边第二绕组 $[n_2]$ 的一端以及箝位双向功率开关 $[S_c]$ 的另一端相连,原边第二绕组 $[N_2]$ 的另一端与第二双向功率开关 $[S_2]$ 的一端相连,该高频隔离变压器副边绕组 $[N_3]$ 的一端与第三双向功率开关 $[S_3]$ 的一端相连,另一端与输出滤波电容 $[C_f]$ 的一端、输出交流负载 $[Z_L]$ 的一端相连;第三双向功率开关 $[S_3]$ 的另一端与输出滤波电容 $[C_f]$ 、输出交流负载 $[Z_L]$ 的另一端相连。

2. 根据权利要求1所述的基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器,其特征在于:所述的第一双向功率开关 $[S_1]$ 、第二双向功率开关 $[S_2]$ 、第三双向功率开关 $[S_3]$ 、箝位双向功率开关 $[S_c]$ 都是由两个单个的功率开关管反向串联而构成承受正向、反向的电压应力和电流应力的开关,具有双向阻断功能。

3. 根据权利要求2所述的基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器,其特征在于:第一双向功率开关 $[S_1]$ 包括第一功率开关管 $[S_{1a}]$ 、第二功率开关管 $[S_{1b}]$ 、第一二极管 $[p_1]$ 、第二二极管 $[p_2]$;第一功率开关管 $[S_{1a}]$ 的源极接第二功率开关管 $[S_{1b}]$ 的源极,第一功率开关管 $[S_{1a}]$ 的源极还接第一二极管 $[p_1]$ 的阳极,第一功率开关管 $[S_{1b}]$ 的漏极接第一二极管 $[p_1]$ 阴极,第二功率开关管 $[S_{1b}]$ 的源极接第二二极管 $[p_2]$ 的阳极,第二功率开关管 $[S_{1b}]$ 的漏极接第二二极管 $[p_2]$ 的阴极。

4. 根据权利要求1所述的基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器,其特征在于:第二双向功率开关 $[S_2]$ 包括第三功率开关管 $[S_{2a}]$ 、第四功率开关管 $[S_{2b}]$ 、第三二极管 $[p_3]$ 、第四二极管 $[p_4]$,第三功率开关管 $[S_{2a}]$ 的源极接第四功率开关管 $[S_{2b}]$ 的源极,第三功率开关管 $[S_{2a}]$ 的源极还接第三二极管 $[p_3]$ 的阳极,第三功率开关管 $[S_{2a}]$ 的漏极接第三二极管 $[p_3]$ 的阴极,第四功率开关管 $[S_{2a}]$ 的源极接第四二极管 $[p_4]$ 阴极,第四功率开关管 $[S_{2b}]$ 的漏极接第四二极管 $[p_4]$ 阳极。

5. 根据权利要求1所述的基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器,其特征在于:第三双向功率开关 $[S_3]$ 包括第五功率升关管 $[S_{3a}]$ 、第六功率升关管 $[S_{3b}]$ 、第五二极管 $[p_5]$ 、第六二极管 $[p_6]$,第五功率升关管 $[S_{3a}]$ 的源极接第六功率升关管 $[S_{3b}]$ 的源极,第五功率升关管 $[S_{3a}]$ 的源极还接第五二极管 $[p_5]$ 的阳极,第五功率升关管 $[S_{3a}]$ 的漏极接第五二极管 $[p_5]$ 的阴极,第六功率升关管 $[S_{3b}]$ 的源极接第六二极管 $[p_6]$ 阴极,第

六功率开关管 $[S_{3b}]$ 的漏极接第六二极管 $[p_6]$ 阳极。

6. 根据权利要求 1 所述的基于反激变换器的高频隔离式交 - 交型三电平交 - 交变换器,其特征在於:箝位双向功率开关 $[S_c]$ 包括第七功率开关管 $[S_{ca}]$ 、第八功率开关管 $[S_{cb}]$ 、第七二极管 $[p_7]$ 、第八二极管 $[p_8]$,第七功率开关管 $[S_{ca}]$ 的源极接第八功率开关管 $[S_{cb}]$ 的源极,第七功率开关管 $[S_{ca}]$ 的源极还接第七二极管 $[p_7]$ 的阳极,第七功率开关管 $[S_{ca}]$ 的漏极接第七二极管 $[p_7]$ 的阴极,第八功率开关管 $[S_{cb}]$ 的源极接第八二极管 $[p_8]$ 阴极,第八功率开关管 $[S_{cb}]$ 的漏极接第八二极管 $[p_8]$ 阳极。

基于反激变换器的高频隔离式交 - 交型三电平交 - 交变换器

技术领域

[0001] 本发明属于电力电子变换技术,特别是一种基于反激变换器的高频隔离式交 - 交型三电平交 - 交变换器。

背景技术

[0002] 交 - 交 (AC-AC) 变换技术是应用功率半导体器件,将某一频率和幅值的交流电能转换成同一或另一频率和幅值的交流电能的一种变流技术,广泛地应用于国防、工矿企业、科研院所、大学实验室和日常生活中。

[0003] 迄今为止,国内外电力电子研究人员对于交 - 交变换器的研究,主要集中在非电气隔离式、低频和高频电气隔离式等两电平交 - 交变换器;对于多电平变换器的研究,主要集中在多电平 DC-DC、DC-AC 和 AC-DC 变换器,而对于多电平交 - 交变换器的研究则非常少,且仅仅局限于非隔离式、低频或中频隔离式交 - 直 - 交型多电平交 - 交变换器和 Buck 型非隔离式交 - 交型三电平交 - 交变换器。交 - 直 - 交型多电平交 - 交变换器和 Buck 型非隔离式交 - 交型三电平交 - 交变换器虽然各具优点,但前者存在电路拓扑复杂、功率变换级数多、输入侧功率因数低、变换效率偏低、功率密度低等缺陷;而后者存在拓扑形式单一、只能实现降压变换、无电气隔离等缺陷。

[0004] M. Glinka 等人提出了一种中频隔离式交 - 直 - 交型多电平交 - 交变换器 (“Anew AC/AC multilevel converter family”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2005, Vol. 52, No. 3, pp. 662 ~ 669.), 其电路结构由模块化多电平交 - 交变换器 (M²LC)、中频变压器、整流器、逆变器和滤波器等构成,具有电气隔离、输出电压可控、模块化、适用于高压交 - 交变换等优点,但存在拓扑复杂、功率变换级数多 (低频交流 LFAC- 直流 DC- 中频交流 MFAC- 直流 DC- 低频交流 LFAC)、输入侧功率因数低、变换效率和功率密度低、体积重量大、控制复杂等缺陷。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种具有拓扑简洁、高频电气隔离、两级功率变换 (低频交流 LFAC- 高频交流 HFAC- 低频交流 LFAC)、双向功率流、输入侧功率因数高、变换效率和功率密度高、适用于高压交 - 交电能变换场合的基于反激变换器的高频隔离式交 - 交型三电平交 - 交变换器。

[0006] 实现本发明目的的技术解决方案为:本发明基于反激变换器的高频隔离式交 - 交型三电平交 - 交变换器,其特征在于:该变换器由依次连接的输入交流电源、输入滤波器、高频隔离式反激三电平变换单元、周波变换器、输出滤波器和输出交流负载构成,该变换器将不稳定的高压交流电变换成稳定或可调的同频正弦交流电,并降低功率变换级数、实现高频电气隔离、适用于高压交 - 交变换场合,输入高压交流电源的参考正极与输入滤波电感的一端连接,输入滤波电感的另一端分别与第一输入滤波电容、第一双向功率开关管的

一端相连接,第一输入滤波电容的另一端分别与第二输入滤波电容、箝位双向功率开关的一端相连接,第二输入滤波电容的另一端分别接输入交流电源的参考负极和第二双向功率开关管的另一端,输入交流电源的参考负极接地;所述的输入滤波器由输入滤波电感、第一输入滤波电容、第二输入滤波电容构成;第一双向功率开关管的另一端与高频隔离变压器的原边第一绕组的一端相连,原边第一绕组的另一端与原边第二绕组的一端以及箝位双向功率开关的另一端相连,原边第二绕组的另一端与第二双向功率开关的另一端相连,该高频隔离变压器副边绕组的一端与第三双向功率开关的一端相连,另一端与输出滤波电容的一端、输出交流负载的一端相连;所述的第一双向功率开关管、第二双向功率开关管、箝位双向功率开关、三绕组高频隔离变压器构成高频隔离式反激三电平变换单元,对经过滤波后的正弦电压进行三电平反激式变换得到三电平电压;所述的第三双向功率开关实现周波变换器的功能,该第三双向功率开关的另一端与输出滤波电容、输出交流负载的另一端相连;所述的输出滤波电容实现输出滤波器的功能,输出交流负载侧得到正弦交流电压。

[0007] 本发明与现有技术相比,其显著优点:本发明是实现新型电力电子变压器和正弦交流调压器等的关键技术基础,在民用、国防和工业等领域的高压交-交电能变换场合,具有广泛的应用前景。由于具有拓扑简洁、高频电气隔离、两级功率变换(低频交流 LFAC-高频交流 HFAC-低频交流 LFAC)、双向功率流等优点,因而相对于中频隔离式交-直-交型三电平交-交变换器,本发明可以提高变换效率和功率密度、减小体积和重量、并提高输入侧功率因数;由于采用了三电平技术,因而相对于两电平交-交变换器,本发明可以适用于高压交-交变换场合,并可以大大减小输出滤波器的体积和重量、提高输出波形质量。

附图说明

[0008] 附图为本发明基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器的电路拓扑图。

具体实施方式

[0009] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

[0010] 结合附图,本发明基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器,由依次连接的输入交流电源 u_1 、输入滤波器、高频隔离式反激三电平变换单元、周波变换器、输出滤波器和输出交流负载构成,该变换器将不稳定的高压交流电变换成稳定或可调的同频正弦交流电,并降低功率变换级数、实现高频电气隔离、适用于高压交-交变换场合,即输入滤波电感 L_1 、第一输入滤波电容 C_1 、第二输入滤波电容 C_2 构成输入滤波器,该滤波器对输入交流电源 u_1 进行滤波;所述的将经输入滤波器滤波后的输入电压转化为双极性多电平输出电压 u_{N1} 的高频隔离式反激三电平变换单元的一个输出端与周波变换器的一端相连;所述的周波变换器由第三双向功率开关 S_3 构成,将经高频隔离式反激三电平变换单元隔离、传输的输出电压转化为单极性多电平输出电压;所述的周波变换器的一端与三绕组高频隔离变压器的副边绕组 N_3 的一端连接,另一端与输出滤波电容 C_f 的一端和输出交流负载 Z_L 的一端连接,该输出滤波电容 C_f 、输出交流负载 Z_L 的另一端与次级绕组 N_3 的另一端相连接,所述的输出滤波电容 C_f 构成输出滤波器,该输出滤波器滤除所述的周波变换器的输出电压中的高次谐波,从而在输出交流负载侧得到高质量的正弦交流电压 u_o 。

[0011] 本发明基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器,由依次连接的输入交流电源、输入滤波器、高频隔离式反激三电平变换单元、周波变换器、输出滤波器和输出交流负载构成,输入高压交流电源 u_i 的参考正极与输入滤波电感 L_1 的一端连接,输入滤波电感 L_1 的另一端分别与第一输入滤波电容 C_1 、第一双向功率开关管 S_1 的一端相连接,第一输入滤波电容 C_1 的另一端分别与第二输入滤波电容 C_2 、箝位双向功率开关 S_c 的一端相连接,第二输入滤波电容 C_2 的另一端分别接输入交流电源 u_i 的参考负极和第二双向功率开关管 S_2 的另一端,输入交流电源 u_i 的参考负极接地;所述的输入滤波器由输入滤波电感 L_1 、第一输入滤波电容 C_1 、第二输入滤波电容 C_2 构成,该滤波器对输入交流电源 u_i 进行滤波;第一双向功率开关管 S_1 的另一端与高频隔离变压器 T 的原边第一绕组 N_1 的一端相连,原边第一绕组 N_1 的另一端与原边第二绕组 N_2 的一端以及箝位双向功率开关 S_c 的另一端相连,原边第二绕组 N_2 的另一端与第二双向功率开关 S_2 的另一端相连,该三绕组高频隔离变压器副边绕组 N_3 的一端与第三双向功率开关 S_3 的一端相连,另一端与输出滤波电容 C_f 的一端、输出交流负载 Z_L 的一端相连;所述的第一双向功率开关管 S_1 、第二双向功率开关管 S_2 、箝位双向功率开关 S_c 、三绕组高频隔离变压器 T 构成高频隔离式反激三电平变换单元,对经过滤波后的正弦电压进行三电平反激式变换得到三电平电压;所述的第三双向功率开关 S_3 实现周波变换器的功能,将经高频隔离式反激三电平变换单元隔离、传输的输出电压转化为单极性多电平输出电压,该第三双向功率开关 S_3 的另一端与输出滤波电容 C_f 、输出交流负载 Z_L 的另一端相连;所述的输出滤波电容 C_f 实现输出滤波器的功能,该输出滤波器滤除所述的周波变换器的输出电压中的高次谐波,从而在输出交流负载侧得到高质量的正弦交流电压 u_o 。

[0012] 本发明基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器,所述的第一双向功率开关 S_1 、第二双向功率开关 S_2 、第三双向功率开关 S_3 、箝位双向功率开关 S_c 都是由两个单个的功率开关管反向串联而构成承受正向、反向的电压应力和电流应力的开关,具有双向阻断功能。

[0013] 第一双向功率开关管 S_1 包括第一功率开关管 S_{1a} 、第二功率开关管 S_{1b} 、第一二极管 p_1 、第二二极管 p_2 ;第一功率开关管 S_{1a} 的源极接第二功率开关管 S_{1b} 的源极,第一功率开关管 S_{1a} 的源极还接第一二极管 p_1 的阳极,第一功率开关管 S_{1a} 的漏极接第一二极管 p_1 阴极,第二功率开关管 S_{1b} 的源极接第二二极管 p_2 的阳极,第二功率开关管 S_{1b} 的漏极接第二二极管 p_2 的阴极。该双向功率开关在正弦电压的正负半周分别通过控制电路实现开通和关断,对输入的正弦交流电压进行调制解调,因为是由两个单个的功率开关管反向串联而构成来承受正向、反向的电压应力和电流应力的开关,所以具有双向阻断功能。

[0014] 第二双向功率开关 S_2 包括第三功率开关管 S_{2a} 、第四功率开关管 S_{2b} 、第三二极管 p_3 、第四二极管 p_4 ,第三功率开关管 S_{2a} 的源极接第四功率开关管 S_{2b} 的源极,第三功率开关管 S_{2a} 的源极还接第三二极管 p_3 的阳极,第三功率开关管 S_{2a} 的漏极接第三二极管 p_3 的阴极,第四功率开关管 S_{2b} 的源极接第四二极管 p_4 阴极,第四功率开关管 S_{2b} 的漏极接第四二极管 p_4 阳极;该双向功率开关在正弦电压的正负半周分别通过控制电路实现开通和关断,对输入的正弦交流电压进行调制解调,因为是由两个单个的功率开关管反向串联而构成来承受正向、反向的电压应力和电流应力的开关,所以具有双向阻断功能。

[0015] 第三双向功率开关 S_3 包括第五功率开关管 S_{3a} 、第六功率开关管 S_{3b} 、第五二极管

p_5 、第六二极管 p_6 ，第五功率开关管 S_{3a} 的源极接第六功率开关管 S_{3b} 的源极，第五功率开关管 S_{3a} 的源极还接第五二极管 p_5 的阳极，第五功率开关管 S_{3a} 的漏极接第五二极管 p_5 的阴极，第六功率开关管 S_{3b} 的源极接第六二极管 p_6 阴极，第六功率开关管 S_{3b} 的漏极接第六二极管 p_6 阳极；该双向功率开关在正弦电压的正负半周分别通过控制电路实现开通和关断对经过高频隔离式反激三电平变换单元调制解调后的正弦交流电压进行周波变换，在电压的正负半周均能导通和关断，因为是由两个单个的功率开关管反向串联而构成来承受正向、反向的电压应力和电流应力的开关，因而也具有双向阻断功能。

[0016] 箝位双向功率开关 S_c 包括第七功率开关管 S_{ca} 、第八功率开关管 S_{cb} 、第七二极管 p_7 、第八二极管 p_8 ，第七功率开关管 S_{ca} 的源极接第八功率开关管 S_{cb} 的源极，第七功率开关管 S_{ca} 的源极还接第七二极管 p_7 的阳极，第七功率开关管 S_{ca} 的漏极接第七二极管 p_7 的阴极，第八功率开关管 S_{cb} 的源极接第八二极管 p_8 阴极，第八功率开关管 S_{cb} 的漏极接第八二极管 p_8 阳极。该双向功率开关在正弦电压的正负半周分别通过控制电路实现开通和关断，从而将第一输出滤波电容 C_1 和第二输入滤波电容 C_2 间的电压嵌位在中点处，因为是由两个单个的功率开关管反向串联而构成来承受正向、反向的电压应力和电流应力的开关，所以具有双向阻断功能。

[0017] 本发明基于反激变换器的高频隔离式交-交型三电平交-交变换器的基本工作原理如下：该变换器可以采用有源箝位的脉宽调制 (PWM) 斩波的控制方式。当不稳定的高压输入交流电源 u_i 向交流输出负载 Z_L 传递功率时，输入滤波器首先对输入交流电源 u_i 的高次谐波进行滤除，滤除后的电压经过高频隔离式反激三电平变换单元将其调制成双极性、多电平 (u_i 、 $u_i/2$ 、 0 、 $-u_i/2$ 、 $-u_i$) 的高频脉冲电压 u_{N1} ，经高频隔离变压器的隔离、传输后，周波变换器将其解调成单极性、多电平 ($u_i N_2/N_1$ 、 $\frac{u_i N_2}{2N_1}$ 、 0 、 $-\frac{u_i N_2}{2N_1}$ 、 $-u_i N_2/N_1$) 的低频脉冲

电压再经输出滤波器进行输出滤波后得到稳定或可调的同频正弦交流电压 u_o ，其中变换器的控制电路可根据输出交流负载 Z_L 的容性、感性、阻性等性质进行调整，从而在输出端得到稳定或可调的电压。

[0018] 相对于中频隔离式交-直-交型多电平交-交变换器，本发明的电路结构仅具有两级功率变换（低频交流 LFAC-高频交流 HFAC-低频交流 LFAC）、且具有高频电气隔离，因而该变换器可提高输入侧功率因数、变换效率、功率密度和可靠性，并减少体积、重量。由于本发明的电路结构采用双向功率开关来取代单个的功率开关，因而可实现双向功率流、并且其每个单个的功率开关所承受的电压应力为两电平交-交变换器的一半，从而可以广泛应用于高压交-交变换场合。另外，相对于两电平交-交变换器，由于本发明的电路结构中的周波变换器的输出电压为多电平的电压波形，改善了频谱特性，因而可减小输出滤波器的体积和重量、并提高输出波形质量。

