



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105024575 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 04

(21) 申请号 201510493520. 5

H02M 1/12(2006. 01)

(22) 申请日 2015. 08. 13

H02M 5/12(2006. 01)

(71) 申请人 南京亚派科技股份有限公司

H02J 5/00(2006. 01)

地址 210000 江苏省南京市高新区新科四路
4-8 号

B60L 7/16(2006. 01)

(72) 发明人 仇志凌 李锦 胡磊磊 朱铮平
花跃学 刘定坤 许忠元 张勇
芮国强 万里强 张明 葛文海

(74) 专利代理机构 徐州市淮海专利事务所
32205

代理人 华德明

(51) Int. Cl.

H02M 7/483(2007. 01)

H02M 7/5387(2007. 01)

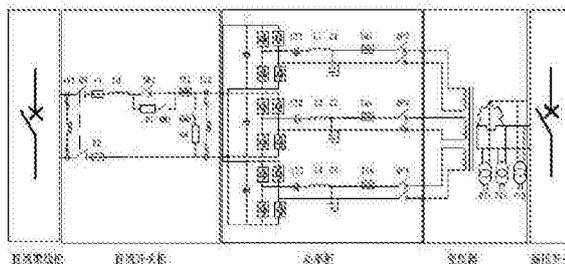
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种地铁能量回馈装置

(57) 摘要

本发明公开一种地铁能量回馈装置,包括直流开关柜、与直流开关柜电连接的功率柜、变压器,其中,功率柜包括 3 相 H 桥逆变器、交流电流互感器、逆变器侧滤波电感、交流滤波电容、第二电流霍尔传感器、交流断路器,3 相 H 桥逆变器的各相输入端分别与直流开关柜输出端相连,各相输出端分别与各自的交流互感器输入端连接,各交流互感器输出端与各自对应的滤波器输入端连接,各滤波器输出端与对应的电流霍尔传感器输入端相连,电流霍尔传感器输出端与交流断路器输出端相连,直流开关柜输入至功率柜的直流电经开关频率 f 的 3 相 H 桥单极倍频逆变,输出等效开关频率为 $2f$ 的三相脉冲交流电。该脉冲交流电经过 LCL 滤波器得到三相正弦低压交流电,低压正弦交流电经变压器升压成中压正弦交流电馈入中压电网。该装置能够有效降低谐波污染,且可靠性高、体积小、成本低。



1. 一种地铁能量回馈装置,该装置包括:直流开关柜、与直流开关柜电连接的功率柜、变压器,馈入直流触网的电能通过直流开关柜进入功率柜,功率柜将直流电转换成低压交流电,低压交流电经变压器升压成中压交流电馈入中压电网,其特征在于,

功率柜包括 3 相 H 桥逆变器、交流电流互感器、逆变器侧滤波电感、交流滤波电容、第二电流霍尔传感器、交流断路器,3 相 H 桥逆变器的各相输入端分别与直流开关柜输出端相连,各相输出端分别与各自的交流互感器输入端连接,各交流互感器输出端与各自对应的滤波器输入端连接,各滤波器输出端与对应的电流霍尔传感器输入端相连,电流霍尔传感器输出端与交流断路器输出端相连,直流开关柜输入至功率柜的直流电经开关频率 f 的 3 相 H 桥单极倍频逆变,输出等效开关频率为 $2f$ 的三相脉冲交流电,该脉冲交流电经过 LCL 滤波器得到三相正弦低压交流电。

2. 如权利要求 1 所述的一种地铁能量回馈装置,其特征在于,所述 H 桥的主功率器件采用全控 IGBT 器件。

3. 如权利要求 1 所述的一种地铁能量回馈装置,其特征在于,所述变压器为三相三柱式,高压侧采用三角形接法,低压侧采用三相独立绕组。

4. 如权利要求 1 所述的一种地铁能量回馈装置,其特征在于,所述直流开关柜与功率柜通过铜排电连接。

5. 如权利要求 1-4 任意一项所述的一种地铁能量回馈装置,其特征在于,所述直流开关柜内置:依次顺序电连接的电压霍尔传感器、直流刀闸、第一直流进线熔断器 F1、直流滤波电感、直流接触器 QF1、第一电流霍尔传感器 TA1,以及,在所述直流接触器 QF1 两端并联一由电阻 R1 和直流接触器 KM1 串联构成的缓起电路,在所述第一电流霍尔传感器 TA1 输出端与所述第二直流进线熔断器 F2 输出端并联的由直流接触器 KMd 和电阻 R_d 串联构成放电回路。

一种地铁能量回馈装置

技术领域

[0001] 本发明涉及城市轨道交通供电系统技术领域,具体涉及一种地铁能量回馈装置。

背景技术

[0002] 近几年来我国城市轨道交通发展非常迅速,现有的地铁牵引供电方式采用二极管整流机组将 35/33kV 中压交流电整流成 1500V 直流,通过直流触网对地铁列车上的牵引电机供电。但是这种供电方式只能实现电能从电网到电机的单向功率流动,而电机在制动过程中工作在发电机状态,列车的机械能转换成电能。为了保证直流触网电压在安全范围内,现在基本采用电阻耗电方式吸收列车制动产生的电能,造成了电能的极大浪费,电阻产生的热量还增加了空调制冷负担,这违背了国家节能减排方针。

[0003] 随着电力电子技术的发展,能量回馈装置逐渐在地铁里得到了应用。能量回馈装置的基本原理是将电机发出的直流电能逆变成交流电回馈到电网,这样电能就得到了再生利用,有效地提高了能源的利用效率。

[0004] 国内少数高校和企业对地铁能量回馈装置进行了有益的研究和探索:北京交通大学和北京千骊驭电气有限公司的专利《一种具有无功补偿功能的能馈式牵引供电装置及控制方法》(申请号:201010601917.9)、株洲变流技术国家工程研究中心有限公司的专利《一种能馈型牵引供电装置及其控制方法》(申请号:201110118007.X)两篇专利比较具有代表性。

[0005] 在电路结构上,这两篇专利都是利用基于 IGBT(绝缘栅双极性晶体管)器件的三相逆变器将直流触网上的直流电能转换成交流电能,并通过升压变压器回馈到 35/33kV 中压电网。由于高压、大电流 IGBT 的开关频率较低,为了提高等效开关频率、减少开关纹波对电网的污染,这两篇专利通过采用两台三角载波错相 180 度的三相逆变器串联或并联,达到开关频率倍频效果。但为了避免两台三相逆变器之间的短路或环流,两台三相逆变器的交流输出不能直接并联,只能分别连接升压变低压侧两路独立绕组,倍频效果只能在升压变中压侧体现。这样逆变器的并网输出滤波器只是包含了变压器漏感的单电感滤波器,而单电感滤波器的开关纹波滤除效果有限,开关纹波将会污染电网。

[0006] 综上,这种采用单电感滤波的地铁能量回馈装置将会产生较为严重的谐波污染问题。

发明内容

[0007] 为了克服上述技术缺陷本发明提供一种地铁能量回馈装置,该装置能够有效降低谐波污染,且具有可靠性高、体积小、成本低的优势。

[0008] 本发明解决其技术问题的技术方案如下:

一种地铁能量回馈装置,该装置包括:直流开关柜、与直流开关柜电连接的功率柜、变压器,馈入直流触网的电能通过直流开关柜进入功率柜,功率柜将直流电转换成低压交流电,低压交流电经变压器升压成中压交流电馈入中压电网,其中,

功率柜包括 3 相 H 桥逆变器、交流电流互感器、逆变器侧滤波电感、交流滤波电容、第二电流霍尔传感器、交流断路器, 3 相 H 桥逆变器的各相输入端分别与直流开关柜输出端相连, 各相输出端分别与各自的交流互感器输入端连接, 各交流互感器输出端与各自对应的滤波器输入端连接, 各滤波器输出端与对应的电流霍尔传感器输入端相连, 电流霍尔传感器输出端与交流断路器输出端相连, 直流开关柜输入至功率柜的直流电经开关频率 f 的 3 相 H 桥单极倍频逆变, 输出等效开关频率为 $2f$ 的三相脉冲交流电, 该脉冲交流电经过 LCL 滤波器得到三相正弦低压交流电。

[0009] 功率柜中的 H 桥逆变器输出采用 LCL 滤波器, 逆变器侧滤波电感和交流滤波电容安装在功率柜中, 网侧滤波电感利用变压器漏感实现, 无需专门配备。

[0010] 进一步, 所述变压器为三相三柱式, 高压侧采用三角形接法, 低压侧采用三相独立绕组。

[0011] 进一步, 所述直流开关柜与功率柜通过铜排电连接。

[0012] 进一步, 所述直流开关柜内置: 依次顺序电连接的电压霍尔传感器、直流刀闸、第一直流进线熔断器 F1、直流滤波电感、直流接触器 QF1、第一电流霍尔传感器 TA1, 以及, 在所述直流接触器 QF1 两端并联一由电阻 R1 和直流接触器 KM1 串联构成的缓起电路, 在所述第一电流霍尔传感器 TA1 输出端与所述第二直流进线熔断器 F2 输出端并联的由直流接触器 Kmd 和电阻 Rd 串联构成放电回路。

[0013] 当列车制动时, 列车上的牵引电机工作在发电机状态, 制动机械能转换成电能馈入直流触网, 直流触网通过直流馈线柜连接到直流开关柜, 直流开关柜内置的电压霍尔传感器采集直流触网接入的直流电电压, 直流电经直流滤波电感滤波, 输入 3 相 H 桥逆变器, 逆变器采用单极倍频控制得到等效开关频率是实际开关频率两倍的三相脉冲交流电, 该脉冲交流电经过逆变器侧滤波电感、交流滤波电容、变压器漏感滤波后得到三相正弦低压交流电。交流电流互感器检测逆变器的三相输出电流, 进行快速过流保护; 所述第二电流霍尔传感器用于分别检测各自对应的三相低压交流电流, 进行电流闭环控制。三相低压交流电与变压器低压侧三相独立绕组连接, 变压器高压侧采用三角形接法与中压电网连接, 三相低压交流电经变压器升压成中压交流电馈入中压电网。

[0014] 因此, 本发明可以获得以下的有益效果:

(1) 有效降低谐波污染: 逆变电路采用 3 相 H 桥, 通过单极倍频逆变输出频率是实际开关频率的 2 倍, 且输出 $1/2U_{dc}$ 、0、 $-1/2U_{dc}$ 三种电平, 相比普通两电平电路的 U_{dc} 、 $-U_{dc}$ 输出, 能将开关纹波幅值减小一倍, 从而有效降低谐波污染。

[0015] (2) 波形质量好: H 桥的逆变输出能够直接达到 2 倍频的效果, H 桥在低压侧就能实现倍频效果, 在很大程度上保证了 LCL 滤波器的可实现性。

[0016] (3) 可靠性高: H 桥逆变器控制类利于两电平电路, 不存在 I 型三电平电路存在的内管过压风险。

[0017] (4) 减小体积、降低成本: 输出开关纹波频率高、幅值小, 能够减小输出 LCL 滤波器尺寸、降低成本; 并网变压器为三相三柱式, 高压侧三角形接法低压侧三相独立绕组, 输出电压 1kV。三相独立绕组为 3 相 H 桥提供必需的相间隔离, 变压器具有 6% 的短路阻抗, 其漏感用作逆变器输出 LCL 滤波器的网侧电感。所以, 变压器一兼三职, 具有电压耦合、低压侧相间隔离、网侧滤波电感三重功能, 降低装置成本。

附图说明

[0018] 图 1 是本发明公开的一种地铁能量回馈装置结构示意图。

具体实施方式

[0019] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0020] 一种地铁能量回馈装置，包括：直流开关柜、与直流开关柜电通过铜排电连接的功率柜、变压器，馈入直流触网的电能通过直流开关柜进入功率柜，功率柜将直流电转换成低压交流电，低压交流电经变压器升压成中压交流电馈入中压电网，其中，功率柜包括 3 相 H 桥逆变器、交流电流互感器、逆变器侧滤波电感、交流滤波电容、第二电流霍尔传感器、交流断路器，3 相 H 桥逆变器的各相输入端分别与直流开关柜输出端相连，各相输出端分别与各自的交流互感器输入端连接，各交流互感器输出端与各自对应的滤波器输入端连接，各滤波器输出端与对应的电流霍尔传感器输入端相连，电流霍尔传感器输出端与交流断路器输出端相连，直流开关柜输入至功率柜的直流电经开关频率 f 的 3 相 H 桥单极倍频逆变，输出等效开关频率为 $2f$ 的三相脉冲交流电。该脉冲交流电经过 LCL 滤波器得到三相正弦低压交流电。变压器为三相三柱式，高压侧采用三角形接法，低压侧采用三相独立绕组。功率柜中的 H 桥逆变器输出采用 LCL 滤波器，逆变器侧滤波电感和交流滤波电容安装在功率柜中，网侧滤波电感利用变压器漏感实现，无需专门配备。

[0021] 所述直流开关柜内置：依次顺序电连接的电压霍尔传感器、直流刀闸、第一直流进线熔断器 F1、直流滤波电感、直流接触器 QF1、第一电流霍尔传感器 TA1，以及，在所述直流接触器 QF1 两端并联一由电阻 R1 和直流接触器 KM1 串联构成的缓起电路，在所述第一电流霍尔传感器 TA1 输出端与所述第二直流进线熔断器 F2 输出端并联的由直流接触器 KMd 和电阻 Rd 串联构成放电回路。

[0022] 结合附图 1 作进一步说明：

当列车制动时，列车上的牵引电机工作在发电机状态，制动机械能转换成电能馈入直流触网，然后通过直流开关柜进入功率柜，功率柜将直流转换成交流，变压器将功率柜输出的低压交流升压成中压馈入中压电网，如图 1 所示的各个部件如下：

直流馈线柜：地铁直流触网通过直流馈线柜连接到直流开关柜，提供直流短路、过流保护功能；

直流开关柜：TV1 为电压霍尔传感器，检测直流触网电压，若直流触网电压高于设定的阈值，通常设置为 1700V，则主控制器（基于 TI DSP，安装在直流开关柜中）控制逆变柜往中压电网回馈电能；QS 为直流刀闸，通过直流开关柜门观察窗向操作人员提示刀闸触点的闭合 / 分断情况，来显示回馈装置直流开关柜与直流触网是否连接；F1、F2 为直流进线熔断器，用于在装置发生短路故障时快速切断装置与直流触网的连接，避免影响直流触网的正常运行；Ld 为直流滤波电感，防止功率柜的开关频率纹波污染直流触网；QF1 为直流接触器，能够在故障状态下快速切断回馈装置与直流触网的连接；电阻 R1 和直流接触器 KM1 构

成缓起电路,在本回馈装置启动过程中为功率柜的直流电容进行预充电;TA1 为电流霍尔传感器,检测回馈装置的输入直流电流;直流接触器 Kmd 和电阻 Rd 构成放电回路,在回馈装置关闭后泄放直流电容储存的电荷;TV2 为电压霍尔传感器,检测直流电容电压。

[0023] 功率柜:逆变器为 3 相 H 桥,采用单极倍频技术,逆变输出频率是实际开关频率的 2 倍,且输出 $1/2U_{dc}$ 、0、 $-1/2U_{dc}$ 三种电平,相比普通两电平电路的 U_{dc} 、 $-U_{dc}$ 输出,能将开关纹波幅值减小一倍。输出开关纹波频率高、幅值小,能够减小输出 LCL 滤波器尺寸、降低成本;当直流开关柜的 TV1 检测到直流触网电压高于设定的阈值,主控制器(基于 TI DSP,安装在直流开关柜中)通过光纤控制逆变器把直流开关柜过来的直流电转换成交流电,送给变压器;CT1、CT2、CT3 为交流电流互感器,分别检测逆变器三相输出电流,进行快速过流保护;L1、L2、L3 分别是每相的逆变器侧滤波电感;C1、C2、C3 分别是每相的交流滤波电容;TA2、TA3、TA4 是电流霍尔传感器,分别检测三相输出电流,用于电流闭环控制;QF2、QF3、QF4 分别是每相的交流断路器,用于过流保护。

[0024] 变压器:将功率柜输出的低压交流升压到中压,馈入中压电网;变压器为三相三柱式,高压侧三角形接法,连接 35/33kV 电网,低压侧三相独立绕组,输出电压 1kV;三相独立绕组为 3 相 H 桥提供必需的相间隔离。变压器具有 6% 的短路阻抗,其漏感用作逆变器输出 LCL 滤波器的网侧电感。所以,变压器一兼三职,具有电压耦合、低压侧相间隔离、网侧滤波电感三重功能;PT1、PT2、PT3 是交流电压互感器,用于检测电网电压,给主控制器(基于 TI DSP,安装在直流开关柜中)提供电网同步信号并进行电网电压前馈控制。H 桥主功率器件采用高压、大功率全控 IGBT 器件。

[0025] 回馈装置变压器通过高压开关连接到中压电网,提供交流短路、过流保护。本实施例具有如下优点:

(1) 逆变电路采用 3 相 H 桥,采用单极倍频技术,逆变输出频率是实际开关频率的 2 倍,且输出 $1/2U_{dc}$ 、0、 $-1/2U_{dc}$ 三种电平,相比普通两电平电路的 U_{dc} 、 $-U_{dc}$ 输出,能将开关纹波幅值减小一倍,输出开关纹波频率高、幅值小,能够减小输出 LCL 滤波器尺寸、降低成本;

(2) H 桥的逆变输出能够直接达到 2 倍频的效果,与采用两个三相桥进行载波移相串、并联只能在变压器高压侧得到倍频效果有本质不同,H 桥在低压侧就能实现倍频效果,很大程度保证了 LCL 滤波器的可实现性;

(3) 并网变压器为三相三柱式,高压侧三角形接法,连接 35/33kV 电网,低压侧三相独立绕组,输出电压 1kV。三相独立绕组为 3 相 H 桥提供必需的相间隔离。变压器具有 6% 的短路阻抗,其漏感用作逆变器输出 LCL 滤波器的网侧电感。所以,变压器一兼三职,具有电压耦合、低压侧相间隔离、网侧滤波电感三重功能

(4) 3 相 H 桥输出采用 LCL 滤波器,逆变器侧滤波电感 L1、L2、L3,交流滤波电容 C1、C2、C3 均为单相独立,网侧滤波电感利用变压器漏感实现。

[0026] 中国专利文献 CN201210233309 中也使用了 H 桥电路,但该 H 桥采用半控晶闸管,与本实施例采用全控 IGBT,及单极倍频 PWM 控制方式有本质不同;本实施例采用 LCL 滤波器,其中网侧电感利用变压器漏感,文献中只是利用变压器漏感做了单 L 滤波;文献变压器低压侧采用多绕组结构,本实施例只有三相绕组。

[0027] 中国专利文献 CN201310179540 中能量反馈到低压电网,本实施例反馈到中压电网,该专利文献采用单相变压器,本实施例采用三相三柱变压器,变压器体积更小、重量更

轻、成本更低,且本实施例采用 LCL 滤波器,其中网侧电感利用变压器漏感,该发明只是利用变压器漏感做了单 L 滤波。

[0028] 本实施例采用的 H 桥与现有装置中较常使用的 I 型三电平电路对比,具有如下优势:

(1) 两种电路都能输出 $1/2U_{dc}$ 、0、 $-1/2U_{dc}$ 三种电平,相比普通两电平电路的 U_{dc} 、 $-U_{dc}$ 输出,都能将开关纹波幅值减小一倍

(2) 在相同直流母线电压输入下, I 型三电平管子承受电压只有 H 桥的一半,可以采用更低耐压的管子。由于低压管子开关速度、损耗都优于高压管子,因此可以运行在更高的开关频率下。但 H 桥可以采用单极倍频技术,输出相电压开关频率可以提升为实际开关频率的 2 倍。这样,两种电路逆变输出开关频率相同

(3) 三相 H 桥需要相间隔离, I 型三电平无需隔离就可以直接构成三相桥,且由于三相三线电路中纹波能够部分抵消,开关纹波优于 H 桥

(4) H 桥只有 2 个管子串联, I 型三电平需要 4 个管子串联,相比前者增加了在异常工况下内管过压的风险,可靠性不如 H 桥

(5) 在逆变状态下 H 桥 4 个管子损耗分布均匀, I 型三电平损耗分布不均,外管损耗明显大于其他管子,可靠性不如 H 桥。

[0029] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,本发明要求保护范围由所附的权利要求书、说明书及其等效物界定。

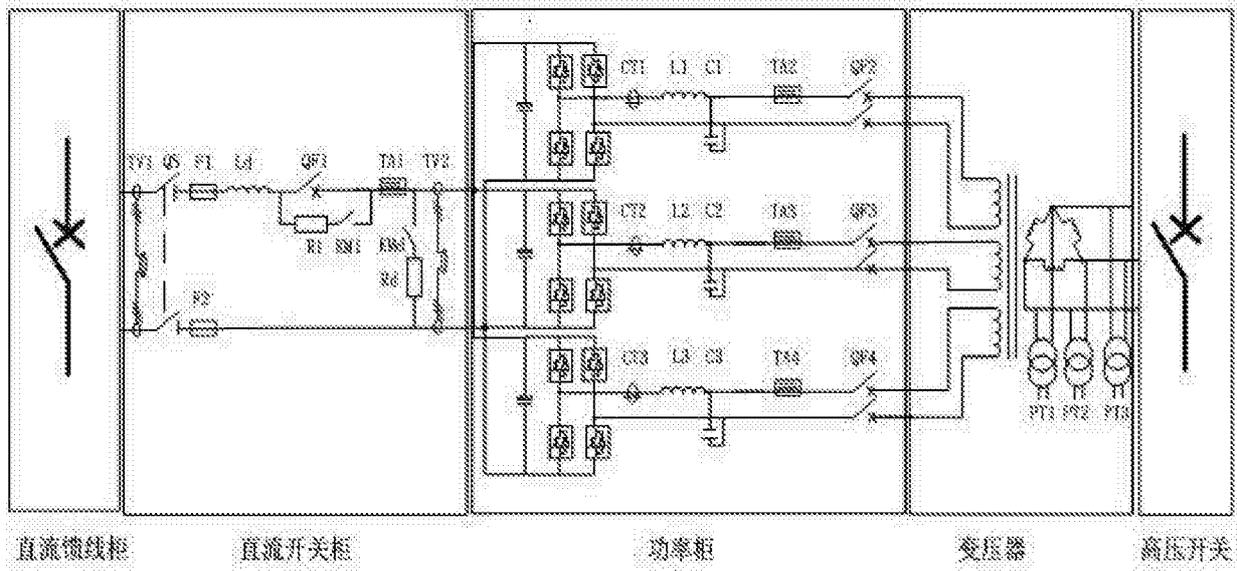


图 1