

(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 202183601 U

(45) 授权公告日 2012. 04. 04

(21) 申请号 201120278600. 6

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

(22) 申请日 2011. 08. 02

(73) 专利权人 中国电力科学研究院

地址 100192 北京市海淀区清河小营东路  
15 号

(72) 发明人 于坤山 周胜军 乔光尧 刘颖英

(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有  
限公司 11271

代理人 徐国文

(51) Int. Cl.

H02J 3/00(2006. 01)

H02J 3/01(2006. 01)

H02J 3/18(2006. 01)

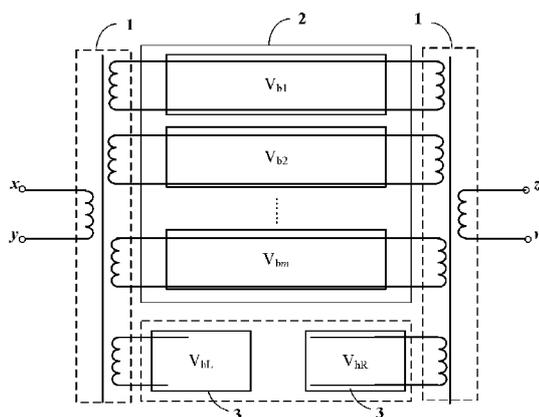
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 实用新型名称

一种差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置

(57) 摘要

本实用新型属于电气化铁路供电、电力电子技术及电能质量治理领域,具体讲涉及一种差异化补偿的电气化铁路电能质量装置,该装置包括单相多绕组变压器,通过单相多绕组变压器的副边绕组并联的 m 个背靠背的电压源变流器组成的低频模块以及高频模块;该装置分别通过单相多绕组变压器的 x, y 和 z, w 端子接于牵引变压器二次侧的两相绕组。本实用新型在装置的拓扑结构上做出了改进,基于差异化补偿的思想,采用低频和高频模块对低频分量和高频分量解耦补偿,具有减少装置开关损耗、降低装置成本、便于工业化生产的优点。



1. 一种差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置,其特征在于,所述装置包括单相多绕组变压器(1)、低频模块(2)和高频模块(3);所述单相多绕组变压器(1)的副边绕组包括并联的低频模块(2)和高频模块(3)。

2. 如权利要求1所述的差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置,其特征在于,所述低频模块(2)包括并联的电压源变流器(4);所述电压源变流器(4)包括单相二电平H桥和直流电容 $C_{bdc1}$ ;所述直流电容 $C_{bdc1}$ 两侧的单相二电平H桥相连形成“背靠背”形式。

3. 如权利要求1所述的差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置,其特征在于,所述高频模块(3)采用单相二电平H桥链式级联结构;所述单相二电平H桥包括直流电容 $C_{dch1}$ 和两个与所述直流电容 $C_{dch1}$ 并联的桥臂;所述桥臂由上下两个绝缘门极双极型晶体管和与所述绝缘门极双极型晶体管反并联的二极管组成。

4. 如权利要求2所述的差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置,其特征在于,所述单相二电平H桥包括两个桥臂;所述桥臂由上下两个绝缘门极双极型晶体管和与所述绝缘门极双极型晶体管反并联的二极管组成。

5. 如权利要求3所述的差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置,其特征在于,所述链式级联的H桥数量根据所需补偿的谐波容量和谐波次数决定。

6. 如权利要求2-3中任一项所述的差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置,其特征在于,所述直流电容 $C_{bdc1}$ 和 $C_{dch1}$ 的设计值应保证直流侧电容电压波动不超过所述电容电压额定值的 $-5\% \sim +5\%$ 。

## 一种差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置

### 技术领域

[0001] 本实用新型属于电气化铁路供电、电力电子技术及电能质量治理领域，具体讲涉及一种差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置。

### 背景技术

[0002] 电气化铁路负荷具有非线性、不对称性和波动性的特点。一方面，由于电气化铁路牵引供电系统都采用单相供电方式，电力机车为单相负荷，无论牵引变压器采取何种接线方式，都将向系统注入较大的负序电流；另一方面，由于电力机车采用电力电子变流器，因此会产生大量的谐波注入系统。此外，由于牵引变电所的负荷随供电臂内列车的数量和每一列车的运行状态随时波动，因此电气化铁路负荷还具有波动性。随着客运高速和货运重载铁路的发展，上述问题还会出现不同程度的新变化。例如，高次谐波和负序问题可能会因高速铁路和货运重载的牵引功率增大而变得更为突出。

[0003] 针对上述电气化铁路的电能质量问题，国内外已经采取了各种补偿措施。其中，比较普遍的方法是在牵引站装设固定电容 (Fixed Capacitor, FC) 补偿设备。这类设备的共同特点是在无功补偿的同时对谐波电流进行治理。但是由于这类装置属于固定补偿方式，不能灵活调节，因此补偿装置在空载或轻载时将形成无功倒送，造成母线电压升高，对机车工作不利，而在重载时无功补偿又不足，无法实现动态补偿。随着电力电子技术和柔性输配电技术的发展，静止无功补偿器 (Static Var Compensator, SVC) 和静止同步补偿器 (Static Synchronous Compensator, STATCOM) 开始应用于电气化铁路的电能质量治理。目前用于电气化铁路补偿的 SVC 通常采用单相晶闸管控制电抗器 (Thyristor Controlled Reactor, TCR) 加 FC 安装于牵引侧的方式。这种方式能够以足够的速度跟随牵引负荷频繁的变化，主要补偿低次谐波和无功功率，对负序也有一定的抑制作用。但是这种方式的缺点是：TCR 本身也产生谐波，不但影响了电网和负载，也影响其补偿性能，导致系统滤波要求增大，当完全补偿负序时，所需补偿装置的容量很大。针对电气化铁路的单相、非线性和波动特性，日本提出了基于自关断器件的大容量铁路功率调节器 (Railway Static Power Conditioner, RPC)，利用背靠背的两个大容量变流器对有功、无功及谐波进行控制，使两供电臂的负荷时刻处于平衡状态，从而实现对负序和谐波的综合补偿，是一种综合性能较好的补偿方式。

[0004] 由于电铁为高压大容量负荷，因此对 RPC 装置也具有大容量的需求，一般为几 MVA 到十几 MVA 之间。为了满足 RPC 装置大容量、输出波形质量要求高等特点，需要对 RPC 的变流器选择合适的拓扑结构。为实现上述目标，一方面，可采用电力电子器件串、并联的方式，另一方面也可采用级联、多电平变流技术和基于变压器的多重化技术等。日本的新——沼宫内牵引站采用的是基于 IGCT 构成的三电平 H 桥结构，交流侧采用了变压器串联的两重化技术降低输出电压谐波。新——八户牵引站采用的是基于 IGBT 构成的两电平 H 桥结构，交流侧采用变压器串联的四重化方式进行消谐。

[0005] 上述采用级联、多电平和多重化的技术虽然能够提高装置的容量，但是并不能很

好的解决装置多种补偿目标之间的协调问题。为了满足装置补偿谐波等频率相对较高的电能质量问题,通常需要提高所有功率器件的开关频率,这将极大的增加设备的开关损耗和成本,加重冷却系统的负担。事实上,较低的开关频率即可满足装置除谐波补偿功能以外的其他补偿需求,因此提高装置所有功率器件的开关频率是非常不经济的方案。

### 实用新型内容

[0006] 针对基波无功、负序和谐波均采用同一变流器进行补偿并不能很好的解决装置多种补偿目标之间的协调问题,装置补偿谐波需要提高所有功率器件的开关频率,会极大的增加设备的开关损耗和成本,加重冷却系统的负担等问题。本实用新型提出了一种差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置,该装置可解决电铁牵引站存在的负序、无功、谐波等问题,并且能够克服现有技术的不足,该装置能够应用于包括单相和三相 V/v 接线、Yn/d11 接线、平衡接线等牵引变压器。相对于已有的方案,本实用新型在装置的拓扑结构上做出了改进,基于差异化补偿的思想,采用低频模块对基波无功和负序、低次谐波进行补偿,高频模块对高频谐波分量补偿,低频模块的开关频率低,损耗小,可以选用电压等级和容量更大的开关器件,能提高单个低频模块的容量,相同补偿容量下可以减少低频模块数量,进而减少连接变压器的二次侧绕组数量,降低了工程实现难度和变压器的造价;由于高频模块的容量相对低频模块很小,可以采用高开关频率的开关器件,提高装置谐波补偿的能力和精度,同时具有减少装置开关损耗、降低装置成本、便于工业化生产的优点。

[0007] 本实用新型的目的是采用下述技术方案实现的:

[0008] 一种差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置,其改进之处在于,所述装置包括单相多绕组变压器、低频模块和高频模块;所述单相多绕组变压器的副边绕组包括并联的低频模块和高频模块。

[0009] 本实用新型提供的一种优选的技术方案是:所述低频模块包括并联的电压源变流器;所述电压源变流器包括单相二电平 H 桥和直流电容  $C_{bdc_i}$ ;所述直流电容  $C_{bdc_i}$  两侧的单相二电平 H 桥相连形成“背靠背”形式。

[0010] 本实用新型提供的第二优选的技术方案是:所述高频模块采用单相二电平 H 桥链式级联结构;所述单相二电平 H 桥包括直流电容  $C_{dch_i}$  和两个与所述直流电容  $C_{dch_i}$  并联的桥臂;所述桥臂由上下两个绝缘门极双极型晶体管和与所述绝缘门极双极型晶体管反并联的二极管组成。

[0011] 本实用新型提供的第三优选的技术方案是:所述单相二电平 H 桥包括两个桥臂;所述桥臂由上下两个绝缘门极双极型晶体管和与所述绝缘门极双极型晶体管反并联的二极管组成。

[0012] 本实用新型提供的第四优选的技术方案是:所述链式级联的 H 桥数量根据所需补偿的谐波容量和谐波次数决定。

[0013] 本实用新型提供的第五优选的技术方案是:所述直流电容  $C_{bdc_i}$  和  $C_{dch_i}$  的设计值应保证直流侧电容电压波动不超过所述电容电压额定值的  $-5\% \sim +5\%$ 。

[0014] 与现有技术相比,本实用新型达到的有益效果是:

[0015] 1、本实用新型采用低频模块实现装置负序补偿和无功补偿的功能,低频模块为多个电压源变流器并联的结构,相互并联的电压源变流器采用载波移相的脉冲分配控制技

术,可以有效的抑制变流器自身产生的谐波量,使多绕组变压器的原边获得良好的谐波抑制特性;其中,每个电压源变流器均采用单相二电平H桥结构,两侧的变流器直流侧相连形成“背靠背”形式;并且只需选取具有较低开关频率的自关断器件就可满足低频模块的输出需求,每个低频模块完全相同,有利于标准化生产;

[0016] 2、本实用新型采用高频模块实现装置的高频分量补偿功能,高频模块采用单相二电平H桥级联结构,级联的H桥数量根据所需补偿的谐波容量和谐波次数等因素决定,同样采用载波移相控制技术抵消变流器自身的高次谐波,该结构能够在相同的容量等级下用较低开关频率获得较高的等效开关频率,具有良好的波形输出特性和谐波电流补偿能力;与低频模块不同,高频模块的每个H桥均有独立的直流电容对其提供电压支撑,并不采取“背靠背”方式,能够实现对两供电臂高频分量的分别补偿;

[0017] 3、本实用新型用低频模块补偿负序和无功问题,用高频模块补偿谐波问题,可有效的减小选择大容量高开关频率器件的困难,减小开关频率,降低装置损耗;同时,也可减小较大的低频分量与较小的高频分量同时输出时装置难以提高高频分量补偿精度的困难;

[0018] 4、本实用新型对基波电流和谐波电流分别补偿的方式,避免了大容量功率器件高开关频率的要求;对低频模块和高频模块解耦控制的方法,也可避免基波和谐波叠加时谐波补偿精度难以保证的问题,可有效的提高装置的补偿性能,降低装置规模和造价。

#### 附图说明

[0019] 图1是依据本实用新型的基于差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置主电路结构示意图,其中:1:单相多绕组变压器;2:低频模块;3:高频模块;

[0020] 图2是本实用新型的第m个单个“背靠背”低频模块的电压源变流器的结构示意图;

[0021] 图3是本实用新型的高频模块 $V_{HL}$ 或 $V_{HR}$ 级联结构示意图。

#### 具体实施方式

[0022] 下面结合附图和具体实施例对本实用新型的具体实施方式做进一步的详细说明。

[0023] 本实用新型差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置主电路结构示意图如图1所示,该装置包括两个单相多绕组变压器1,每个单相多绕组变压器1的副边绕组包括并联的低频模块2和高频模块3。该装置分别通过单相多绕组变压器1的x、y和z以及w端子分别接于牵引变压器二次侧的两相绕组。

[0024] 本实用新型采用单相多绕组变压器1实现多个电压源变流器的并联和电气隔离功能。对于低频模块2,变压器副边各绕组与原边绕组之间的互阻抗基本相等;对于高频模块3,为了保证其良好的高频分量输出效果,需采取措施降低变压器绕组的漏抗,例如采用特殊材料、增大导线截面等措施。

[0025] 本实用新型采用低频模块实现装置负序补偿和无功补偿的功能。本实用新型的第m个单个“背靠背”低频模块的电压源变流器的结构示意图如图2所示,低频模块2为m个电压源变流器4并联的结构,相互并联的电压源变流器4采用载波移相的脉冲分配控制技术,可以有效的抑制变流器自身产生的谐波量,使多绕组变压器的原边获得良好的谐波抑制特

性；其中，每个电压源变流器 4 均采用单相二电平 H 桥结构，每个电压源变流器 4 包括单相二电平 H 桥和直流电容  $C_{bde1}$ ；直流电容  $C_{bde1}$  两侧的 H 桥变流器直流侧相连形成“背靠背”形式，并且只需选取具有较低开关频率的自关断器件就可满足低频模块 2 的输出需求，其中，单相二电平 H 桥包括两个桥臂；每个桥臂由上下两个绝缘门极双极型晶体管 IGBT 和与每个绝缘门极双极型晶体管 IGBT 反并联的二极管组成；每个低频模块 2 的结构完全相同，有利于标准化生产。

[0026] 本实用新型采用高频模块实现装置的高频分量补偿功能。本实用新型的高频模块  $V_{hl}$  或  $V_{hr}$  级联结构示意图如图 3 所示，高频模块采用单相二电平 H 桥链式级联结构；单相二电平 H 桥包括直流电容  $C_{dch1}$  和两个与直流电容  $C_{dch1}$  并联的桥臂；每个桥臂由上下两个绝缘门极双极型晶体管和与每个绝缘门极双极型晶体管反并联的二极管组成；级联的 H 桥数量根据所需补偿的谐波容量和谐波次数等因素决定，其中  $C_{dch1}$  起到支撑直流电压的作用。高频模块 3 同样采用载波移相脉冲分配控制技术抵消 H 桥变流器自身的高次谐波。该结构能够在相同的容量等级下用较低开关频率获得较高的等效开关频率，具有良好的波形输出特性和谐波电流补偿能力。与低频模块不同，高频模块的每个 H 桥均有独立的直流电容对其提供电压支撑，并不采取“背靠背”方式，能够实现对两供电臂高频分量的分别补偿。

[0027] 低频模块和高频模块的个数需根据补偿容量、所选功率器件电压电流定额、工程造价等因素等综合考虑后确定。

[0028] 本实用新型的一个 20MVA 差异化补偿的电气化铁路电能质量治理装置的实施例详细说明如下：

[0029] 首先，根据本实用新型装置的谐波补偿容量及次数确定高频模块的相关参数。根据新——沼宫内牵引站和新——八户牵引站 RPC 补偿容量配置工程经验，装置的谐波补偿容量占总容量的 20%，因此可确定装置的高频模块容量为 4MVA，单侧容量为 2MVA。普通电气化铁路的谐波次数主要在 19 次以下、高速铁路谐波次数可达到几 kHz。从工程实用化和谐波国标限制角度考虑，可将 25 次以下谐波作为高频模块的补偿目标，而更高次的谐波可考虑用无源高通滤波器滤除。对于 25 次及以下谐波，为了获得较好的跟踪补偿效果，高频模块功率器件的开关频率为： $f_{kh} \geq 10 \times 25 \times 50 = 12.5 \text{kHz}$ 。可见，高频模块对器件的开关频率要求很高。如果采用高频 IGBT 器件 FZ800R12KE3 (1200V/800A)，采用两个 IGBT 器件并联的方式提高通流能力，两只 IGBT 器件并联时通过电流为 800A，为了保证 IGBT 器件不过流，则级联后所需电压源变流器的输出电压至少为  $2\text{MVA}/800\text{A} = 2.5\text{kV}$ 。当直流侧电压取 750V，考虑直流侧电压的  $-5\% \sim +5\%$  的波动，额定情况下时调制比取 0.85，则单个二电平 H 桥变流器交流侧输出额定电压为  $750 \times 0.95 \times 0.85 / \sqrt{2} \approx 428\text{V}$ ，则级联数量为  $N = 2\text{MVA} / 0.8\text{kA} / 0.428\text{kV} \approx 5.84$ ，考虑冗余情况则可确定高频模块中单相二电平 H 桥级联个数为 7 个。7 个级联时调制比取 0.8，则输出电压为  $750 \times 0.95 \times 0.8 \times 7 / \sqrt{2} \approx 2.82\text{kV}$ ；考虑一个高频模块退出运行，6 个高频模块运行时，调制比取最大值 0.95，则输出电压为  $750 \times 0.95 \times 0.95 \times 6 / \sqrt{2} \approx 2.87\text{kV}$ ，两种运行方式下均可满足输出电压大于 2.5kV 的要求，能够保证 IGBT 器件不过流。综上计算，可以确定高频模块变压器绕组变比为 27.5kV : 2.82kV。

[0030] 然后，根据本实用新型装置的基波补偿容量确定低频模块的相关参数。由于装置的基波补偿容量占总容量的 80%，因此可确定装置的低频模块容量为 16MVA，单侧 8MVA。由于基波电流频率为  $f_1 = 50\text{Hz}$ ，为了很好的跟踪补偿基波分量，减小输出谐波含量，低频模块

中的电压源变流器的功率器件开关频率为： $f_{kb} \geq 10 \times f_1 = 500\text{Hz}$ 。因此，低频模块对功率器件的开关频率要求较低，可采用目前应用较多的 IGBT 器件 FZ1500R33HE3 (3300V/1500A)，直流侧电压取 1.65kV，同时考虑直流侧电压  $-5\% \sim +5\%$  的波动，调制比取 0.85，则单个 H 桥的交流侧电压为  $1.65 \times 0.95 \times 0.85 / \sqrt{2} \approx 0.94\text{kV}$ ，采用两个 IGBT 器件并联的方式提高通流能力，则单个 H 桥变流器容量为  $0.94\text{kV} \times 1.5\text{kA} = 1.41\text{MVA}$ ，则可确定则可确定低频模块数量和变压器二次侧绕组的数量均为 6 个，低频模块每个绕组变比为  $27.5\text{kV} : 0.94\text{kV}$ 。

[0031] 由此可见，对基波电流和谐波电流分别补偿的方式，避免了大容量功率器件 IGBT 高开关频率的要求。对低频模块和谐波模块解耦控制的方法，也可避免基波和谐波叠加时谐波补偿精度难以保证的问题，可有效的提高本实用新型装置的补偿性能，降低装置规模和造价。

[0032] 实际上，由于低次谐波电流值较大，因此也可采取低频模块补偿低次谐波、高频模块仅用于补偿高次谐波的方式对装置进行优化，以进一步减小高频模块器件的耐压要求和级联数量。

[0033] 最后应当说明的是：以上实施例仅用以说明本申请的技术方案而非对其保护范围的限制，尽管参照上述实施例对本申请进行了详细的说明，所属领域的普通技术人员应当理解：本领域技术人员阅读本申请后依然可对申请的具体实施方式进行种种变更、修改或者等同替换，这些变更、修改或者等同替换，其均在其申请待批的权利要求范围之内。

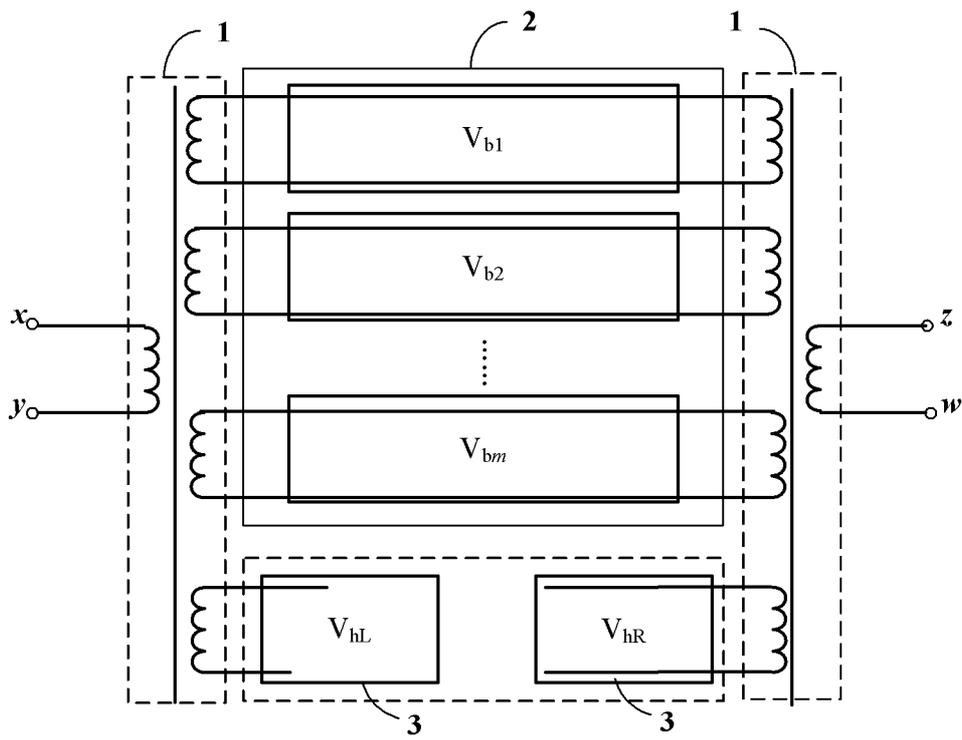


图 1

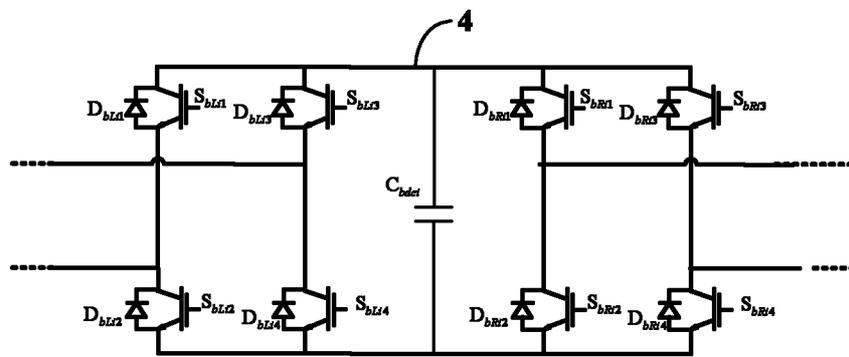


图 2

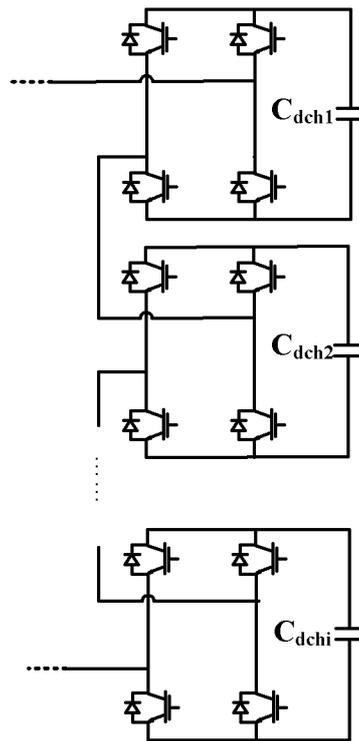


图 3