



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104578865 A

(43) 申请公布日 2015. 04. 29

(21) 申请号 201510018514. 4

(22) 申请日 2015. 01. 14

(71) 申请人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学  
路 2 号

(72) 发明人 张建忠 徐帅 姜永将 胡省

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所  
(普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

(51) Int. Cl.

H02M 7/483(2007. 01)

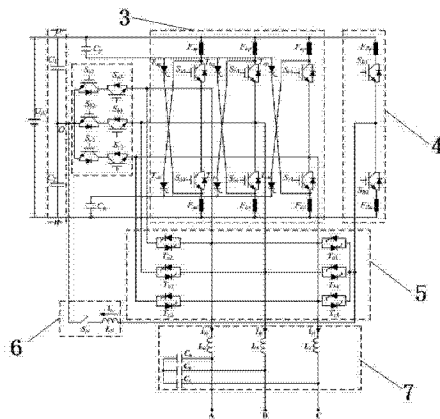
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种三电平四桥臂 T 型容错变流器及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种三电平四桥臂 T 型容错变流器及其控制方法, 该容错变流器包括直流输入电路、三电平 T 型拓扑、故障隔离电路、冗余桥臂、容错桥和交流输出电路。正常运行状态下, 当直流母线中点电压发生大幅波动时, 控制冗余桥臂相应的功率开关管导通, 通过注入电感电流来快速调节中点电压的平衡, 防止因中点电压的大幅波动引起功率开关管的过压击穿; 故障状态下, 控制容错桥相应的双向可控晶闸管导通, 使冗余桥臂代替故障桥臂投入容错运行。该容错型变流器可以容错开关管和桥臂的开路、短路故障, 输出功率和直流电压利用率不会降低。该容错型三电平四桥臂 T 型变流器可以应用于交流电机驱动系统或并网发电系统, 使系统具有较好的容错运行功能。



1. 一种三电平四桥臂 T 型容错变流器, 其特征在于, 包括直流输入电路 (1)、三电平 T 型变流器 (2)、故障隔离电路 (3)、冗余桥臂 (4)、容错桥 (5)、直流母线中点电压控制电路 (6) 和交流输出电路 (7);

冗余桥臂 (4) 与三电平 T 型变流器 (2) 并联后接至直流输入电路 (1) 的两端; 冗余桥臂 (4) 中点通过容错桥 (5) 接至交流输出电路 (7) 的一端; 直流母线中点电压控制电路 (6) 一端接至冗余桥臂 (4), 另一端接至直流输入电路 (1) 的中点; 故障隔离电路 (3) 接至三电平 T 型变流器; 交流输出电路 (7) 一端接至三电平 T 型变流器 (2), 另一端与负载或电网连接;

三电平 T 型变流器 (2) 包括中点箝位型桥臂 (21) 和两电平桥臂 (22); 中点箝位型桥臂 (21) 一端连接至两电平桥臂 (22) 的中点, 另一端连接至直流输入电路 (1) 的中点;

冗余桥臂 (4) 包括两个快速熔断器 ( $F_{Rp}$ 、 $F_{Rn}$ )、冗余桥臂功率开关管 ( $S_{R1}$ 、 $S_{R4}$ );

直流母线中点电压控制电路 (6) 包括储能电感 ( $L_N$ ) 和继电器开关 ( $S_N$ );

交流输出电路 (7) 包括三相 LC 滤波回路, 用于滤除变流器功率开关管导通和关断过程的高频开关毛刺和高次谐波电流分量。

2. 如权利要求 1 所述的一种三电平四桥臂 T 型容错变流器, 其特征在于, 所述故障隔离电路 (3) 包括下桥臂功率开关管 ( $S_{x4}$ )、上桥臂功率开关管 ( $S_{x1}$ )、上辅助电容 ( $C_p$ )、下辅助电容 ( $C_n$ )、上晶闸管 ( $T_{xp}$ )、下晶闸管 ( $T_{xn}$ )、上桥臂快速熔断器 ( $F_{xp}$ ) 和下桥臂快速熔断器 ( $F_{xn}$ ); 其中  $x = a, b, c$ ; 当隔离 A 相功率开关管的故障时,  $x = a$ ; 当隔离 B 相功率开关管的故障时,  $x = b$ ; 当隔离 C 相功率开关管的故障时,  $x = c$ ;

电源正极接入上辅助电容 ( $C_p$ ) 和上桥臂快速熔断器 ( $F_{xp}$ ), 经过上辅助电容 ( $C_p$ ) 的一路接入上晶闸管 ( $T_{xp}$ ) 阳极, 并由上晶闸管 ( $T_{xp}$ ) 阴极接入下桥臂快速熔断器 ( $F_{xn}$ ) 进口端; 经过上桥臂快速熔断器 ( $F_{xp}$ ) 的一路分为两个支路, 该两个支路一路通过上桥臂功率开关管 ( $S_{x1}$ ) 后接入下桥臂功率开关管 ( $S_{x4}$ ), 另一路接入下晶闸管 ( $T_{xn}$ ) 阳极; 下桥臂功率开关管 ( $S_{x4}$ ) 接入下桥臂快速熔断器 ( $F_{xn}$ ) 的进口端; 而下晶闸管 ( $T_{xn}$ ) 阴极通过下辅助电容 ( $C_n$ ) 接入电源负极; 下桥臂快速熔断器 ( $F_{xn}$ ) 的出口端接入电源负极。

3. 如权利要求 1 所述的一种三电平四桥臂 T 型容错变流器, 其特征在于, 所述容错桥 (5) 包括两组双向可控常开晶闸管, 具体为冗余 - 故障晶闸管 ( $T_{x1}$ ) 和中点 - 输出晶闸管 ( $T_{x2}$ ); 所述冗余 - 输出晶闸管 ( $T_{x1}$ ) 将冗余桥臂 (4) 连接入交流输出电路 (7); 所述中点 - 输出晶闸管 ( $T_{x2}$ ) 将中点箝位型桥臂 (21) 连接入交流输出电路; 其中  $x = a, b, c$  分别对应 A、B、C 三相。

4. 如权利要求 1 所述的一种三电平四桥臂 T 型容错变流器, 其特征在于, 所述冗余桥臂 (4) 电路中, 快速熔断器包括上快速熔断器 ( $F_{Rp}$ ) 和下快速熔断器 ( $F_{Rn}$ ); 冗余桥臂功率开关管包括上冗余桥臂功率开关管 ( $S_{R1}$ ) 和下冗余桥臂功率开关管 ( $S_{R4}$ );

电源正极通过上快速熔断器 ( $F_{Rp}$ ) 接入上冗余桥臂功率开关管 ( $S_{R1}$ ); 通过该开关管的电路分为两路, 一路接入容错桥 (5) 和直流母线中点电压控制电路 (6), 另一路依次通过下冗余桥臂功率开关管 ( $S_{R4}$ ) 和下快速熔断器 ( $F_{Rn}$ ) 后接入电源负极。

5. 一种三电平四桥臂 T 型容错变流器的控制方法, 其特征在于, 该方法包括以下步骤:

1) 正常运行步骤:

容错桥 (5) 的两组双向可控晶闸管均处于关断状态, 冗余桥臂 (4) 处于隔离状态, 继电

器开关 ( $S_N$ ) 处于打开状态, 此时直流母线中点电压控制电路 (6) 不工作;

2) 容错运行步骤:

当检测到其中一相两电平桥臂 (22) 的功率开关管发生开路或短路故障时, 首先利用该相的故障隔离电路将故障桥臂隔离, 同时触发双向可控晶闸管  $T_{x1}$  和  $T_{x2}$  导通, 从而使冗余桥臂 (4) 代替故障桥臂运行于三电平状态;  $x = a, b, c$ , 当故障相为 A 相时, 导通  $T_{a1}$  和  $T_{a2}$ ; 当故障相为 B 相时, 导通  $T_{b1}$  和  $T_{b2}$ ; 当故障相为 C 相时, 导通  $T_{c1}$  和  $T_{c2}$ ;

3) 直流母线中点电压不平衡控制步骤:

当直流母线中点电压大幅波动时, 闭合继电器开关 ( $S_N$ ), 同时控制冗余桥臂 (4) 中的上冗余桥臂功率开关管 ( $S_{R1}$ ) 或下冗余桥臂功率开关管 ( $S_{R4}$ ) 导通, 通过储能电感 ( $L_N$ ) 注入电流来快速调节中点电压。

6. 如权利要求 5 所述的一种三电平四桥臂 T 型容错变频器的控制方法, 其特征在于步骤 3) 具体为: 当上电解电容 ( $C_1$ ) 的电位高于下电解电容 ( $C_2$ ) 的电位, 且其电位差达到设定的阈值时, 控制冗余桥臂 (4) 的上冗余桥臂功率开关管 ( $S_{R1}$ ) 导通, 经储能电感 ( $L_N$ ) 形成 Boost 电路, 使直流源向下电解电容 ( $C_2$ ) 充电; 电感电流上升到给定值时, 闭合上冗余桥臂功率开关管 ( $S_{R1}$ ), 储能电感 ( $L_N$ ) 通过  $S_{R2}$  的反并联二极管续流, 将储存的电能传递给下电解电容 ( $C_2$ ), 使得下电解电容 ( $C_2$ ) 电位升高, 因为直流母线电压 ( $U_{dc}$ ) 保持不变, 从而上电解电容 ( $C_1$ ) 的电位下降;

当电位差没有达到设定的阈值时, 冗余桥臂 (4) 和直流母线电压控制电路 (6) 处于隔离状态, 系统正常运行。

## 一种三电平四桥臂 T 型容错变流器及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及多电平变流器和容错技术领域,具体涉及一种三电平四桥臂 T 型容错变流器及其控制方法。

### 背景技术

[0002] 变流器是用于实现直流到交流或者交流到直流通换的电子电子装置,按照直流侧电源性质的不同,变流器可以分为电压源型变流器和电流源型变流器。传统的两电平变流器通常应用于低压小功率的用电领域。未来电力电子技术研究的目标为高功率密度、高效率、高性能。在实现大功率变换的解决方案中,多电平电压源型变流器因其控制方式多样、输出波形谐波畸变率低、功率器件电压应力低、逆变效率高良好的特性已成为高压大功率应用的热点,例如高压电机变频调速、柔性交流输电、高压直流输电、统一电能质量调节器等领域。实际场合中应用较多的是三电平变流器技术,国内外学者对三电平变流器已经有了一些研究成果,也发现了其中存在的一些问题。目前,广泛应用的多电平变流器类型有二极管中点箝位型、飞跨电容箝位型和级联型等。三电平 T 型变流器是三电平二极管箝位型变流器的改进拓扑,其控制方法和三电平二极管箝位型变流器类似。三电平 T 型变流器融合了两电平和三电平变流器的优势,既有两电平变流器导通损耗低,器件数目少的优点,又有三电平变流器输出波形好,效率高的优点,是很有发展前景的一种三电平变流器拓扑。

[0003] 采用容错技术是提高变流器系统可靠性的主要途径之一。但受当前电力电子技术水平整体限制,变流器系统的可靠性要远低于机电装置的其他部分。因此,在航空航天、电力系统和军事装备等对设备连续运行要求比较高的场合,提高变流器系统的可靠性显得尤为重要。多电平变流器的功率器件数量随着变流器电平数的增加而增加,这一方面大大增加了多电平变流器发生故障的概率。

### 发明内容

[0004] 发明目的:为了克服现有技术的不足,本发明提供三电平四桥臂 T 型容错变流器及其控制方法,通过采用冗余设计的变流器,提高了系统性能,解决三电平 T 型变流器中功率开关管发生开路或短路故障导致系统故障或停机;同时解决了电网电压畸变、负载突变、三相电流畸变等引起变流器直流母线中点电压大幅波动现象。

[0005] 技术方案:一种三电平四桥臂 T 型容错变流器,其特征在于,包括直流输入电路、三电平 T 型变流器、故障隔离电路、冗余桥臂、容错桥、直流母线中点电压控制电路和交流输出电路;

[0006] 冗余桥臂与三电平 T 型变流器并联后接至直流输入电路的两端;冗余桥臂中点通过容错桥接至交流输出电路的一端;直流母线中点电压控制电路一端接至冗余桥臂,另一端接至直流输入电路的中点;故障隔离电路接至三电平 T 型变流器;交流输出电路一端接至三电平 T 型变流器,另一端与负载或电网连接;

[0007] 三电平 T 型变流器包括中点箝位型桥臂和两电平桥臂；中点箝位型桥臂一端连接至两电平桥臂的中点，另一端连接至直流输入电路的中点；

[0008] 冗余桥臂包括两个快速熔断器、冗余桥臂功率开关管；

[0009] 直流母线中点电压控制电路包括储能电感和继电器开关；

[0010] 交流输出电路包括三相 LC 滤波回路，用于滤除变流器功率开关管导通和关断过程的高频开关毛刺和高次谐波电流分量。

[0011] 进一步的，故障隔离电路包括下桥臂功率开关管、上桥臂功率开关管、上辅助电容、下辅助电容、上晶闸管、下晶闸管、上桥臂快速熔断器和下桥臂快速熔断器；其中电源正极接入上辅助电容和上桥臂快速熔断器，经过上辅助电容的一路接入上晶闸管阳极，并由上晶闸管阴极接入下桥臂快速熔断器进口端；经过上桥臂快速熔断器的一路分为两个支路，该两个支路一路通过上桥臂功率开关管后接入下桥臂功率开关管，另一路接入下晶闸管阳极；下桥臂功率开关管接入下桥臂快速熔断器的进口端；而下晶闸管阴极通过下辅助电容接入电源负极；下桥臂快速熔断器的出口端接入电源负极。

[0012] 进一步的，容错桥包括两组双向可控常开晶闸管，具体为冗余 - 故障晶闸管和中点 - 输出晶闸管；所述冗余 - 输出晶闸管将冗余桥臂连接入交流输出电路；所述中点 - 输出晶闸管将中点箝位型桥臂连接入交流输出电路；

[0013] 进一步的，冗余桥臂电路中，快速熔断器包括上快速熔断器和下快速熔断器；冗余桥臂功率开关管包括上冗余桥臂功率开关管和下冗余桥臂功率开关管；

[0014] 电源正极通过上快速熔断器接入上冗余桥臂功率开关管；通过该开关管的电路分为两路，一路接入容错桥和直流母线中点电压控制电路，另一路依次通过下冗余桥臂功率开关管和下快速熔断器后接入电源负极。

[0015] 一种三电平四桥臂 T 型容错变流器的控制方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

[0016] 步骤 1 正常运行步骤：容错桥的两组双向可控晶闸管均处于关断状态，冗余桥臂处于隔离状态，继电器开关处于打开状态，此时直流母线中点电压控制电路不工作；

[0017] 步骤 2 容错运行步骤：当检测到其中一相两电平桥臂的功率开关管发生开路或短路故障时，首先利用该相的故障隔离电路将故障桥臂隔离，同时触发双向可控晶闸管  $T_{x1}$  和  $T_{x2}$  导通，从而使冗余桥臂代替故障桥臂运行于三电平状态； $x = a, b, c$ ，当故障相为 A 相时，导通  $T_{a1}$  和  $T_{a2}$ ；当故障相为 B 相时，导通  $T_{b1}$  和  $T_{b2}$ ；当故障相为 C 相时，导通  $T_{c1}$  和  $T_{c2}$ ；

[0018] 步骤 3 直流母线中点电压不平衡控制步骤：当直流母线中点电压大幅波动时，闭合继电器开关，同时控制冗余桥臂中的上冗余桥臂功率开关管或下冗余桥臂功率开关管导通，通过储能电感注入电流来快速调节中点电压。

[0019] 进一步的，步骤 3 具体为：当上电解电容的电位高于下电解电容的电位，且其电位差达到设定的阈值时，控制冗余桥臂的上冗余桥臂功率开关管导通，经储能电感形成 Boost 电路，使直流源向下电解电容充电；电感电流上升到给定值时，闭合上冗余桥臂功率开关管，储能电感通过下冗余桥臂功率开关管的反并联二极管续流，将储存的电能传递给下电解电容，使得下电解电容电位升高，因为直流母线电压保持不变，从而上电解电容的电位下降。

[0020] 有益效果：

[0021] 本发明针对电能转换系统中变流器部分可靠性较低的问题,公开的三电平四桥臂 T 型容错变流器及控制方法,采用冗余设计,有效解决了三电平 T 型变流器存在的两个关键性问题:

[0022] (1) 电网电压畸变、负载突变、三相电流畸变等引起变流器直流母线中点电压大幅波动现象;

[0023] (2) 变流器中功率开关管发生开路或短路故障导致系统故障或停机。

[0024] 正常运行状态下,当检测到直流母线中点电位发生波动并达到设定的阈值时,利用冗余桥臂向直流母线中点注入电感电流,可以控制中点电压的平衡,而不需要复杂的调制算法。

[0025] 故障运行状态下,该容错变流器不仅可以容错开关管的路、短路故障,还可以容错桥臂的开路和短路故障,故障重构后变流器仍可运行于三电平状态,而且输出功率和直流电压利用率不会降低。该三电平四桥臂 T 型容错变流器可以应用于交流电机驱动系统或者并网发电系统,使系统具有较好的容错运行功能。

## 附图说明

[0026] 图 1 为容错变流器框图;

[0027] 图 2 为容错变流器结构示意图;

[0028] 图 3 为基本三电平 T 型变流器拓扑结构示意图;

[0029] 图 4 为中点电压平衡控制流程图;

[0030] 图 5 为系统工作控制流程图。

## 具体实施方式

[0031] 下面结合附图对本发明做更进一步的解释。

[0032] 如图 1 所示,一种三电平四桥臂 T 型容错变流器,其特征在于,包括直流输入电路 1、三电平 T 型变流器 2、故障隔离电路 3、冗余桥臂 4、容错桥 5、直流母线中点电压控制电路 6 和交流输出电路 7;

[0033] 直流输入电路 1 由两个电解电容  $C_1$  和  $C_2$  串联构成,用于向变流器输出电能。在该变流器投入运行前,首先通过直流源向直流输入电路进行充电。

[0034] 如图 3 所示,三电平 T 型变流器 2 包括中点箝位型桥臂 21 和两电平桥臂 22;中点箝位型桥臂 21 一端连接至两电平桥臂 22 的中点,另一端连接至直流输入电路 1 的中点;

[0035] 两电平桥臂 22 每相由两个功率开关管(绝缘栅双极型晶闸管) $S_{x1}$ 、 $S_{x4}$  各反并联一个续流二极管,按照集电极与发射极相连的顺向串联构成。中点箝位型桥臂 21 每相由两个功率开关管(绝缘栅双极型晶闸管) $S_{x2}$ 、 $S_{x3}$  各反并联一个续流二极管,按照集电极与集电极相连的反相串联构成。两电平桥臂 22  $S_{a1}$ 、 $S_{b1}$ 、 $S_{c1}$  的集电极与快速熔断器串联后连接至直流输入电路 1 的正电位 p 点; $S_{a4}$ 、 $S_{b4}$ 、 $S_{c4}$  的发射极与快速熔断器串联后连接至直流输入电路 1 的负电位 n 点。中点箝位型桥臂 21 的每相由两个功率开关管  $S_{x2}$ 、 $S_{x3}$  各反并联一个续流二极管,按照集电极与集电极相连的反相串联构成。 $S_{a2}$ 、 $S_{b2}$ 、 $S_{c2}$  的发射极相连后连接至直流输入电路 1 的中点, $S_{a3}$ 、 $S_{b3}$ 、 $S_{c3}$  的发射极分别连接至 A、B、C 相两电平桥臂 22 的中点。三电平 T 型变流器与三电平二极管箝位型变流器的控制方法类似,三电平输出,共有  $3^3 = 27$  种开

关状态。以 A 相为例,其开关状态如表 1 所示:

[0036] 表 1

[0037]

开关状态	Sa1	Sa2	Sa3	Sa4	输出电压
P	on	on	off	off	$U_{dc}/2$
O	off	on	on	off	0
N	off	off	on	on	$-U_{dc}/2$

[0038] 冗余桥臂 4 与三电平 T 型变流器 2 并联后接至直流输入电路 1 的两端;冗余桥臂 4 中点通过容错桥 5 接至交流输出电路 7 的一端;直流母线中点电压控制电路 6 一端接至冗余桥臂 4,另一端接至直流输入电路 1 的中点;故障隔离电路 3 接至三电平 T 型变流器;交流输出电路 7 一端接至三电平 T 型变流器 2,另一端与负载或电网连接;

[0039] 冗余桥臂 4 包括两个快速熔断器  $F_{Rp}$ 、 $F_{Rn}$ 、冗余桥臂功率开关管  $S_{R1}$ 、 $S_{R4}$ ;

[0040] 直流母线中点电压控制电路 6 包括储能电感  $L_N$ 和继电器开关  $S_N$ ;

[0041] 交流输出电路 7 包括三相 LC 滤波回路,用于滤除变流器功率开关管导通和关断过程的高频开关毛刺和高次谐波电流分量。

[0042] 进一步的,如图 2,故障隔离电路 3 包括下桥臂功率开关管  $S_{x4}$ 、上桥臂功率开关管  $S_{x1}$ 、上辅助电容  $C_p$ 、下辅助电容  $C_n$ 、上晶闸管  $T_{xp}$ 、下晶闸管  $T_{xn}$ 、上桥臂快速熔断器  $F_{xp}$  和下桥臂快速熔断器  $F_{xn}$ ;其中  $x = a, b, c$ ;当隔离 A 相功率开关管的故障时,  $x = a$ ;当隔离 B 相功率开关管的故障时,  $x = b$ ;当隔离 C 相功率开关管的故障时,  $x = c$ ;

[0043] 电源正极接入上辅助电容  $C_p$ 和上桥臂快速熔断器  $F_{xp}$ ,经过上辅助电容  $C_p$ 的一路接入上晶闸管  $T_{xp}$ 阳极,并由上晶闸管  $T_{xp}$ 阴极接入下桥臂快速熔断器  $F_{xn}$ 进口端;经过上桥臂快速熔断器  $F_{xp}$ 的一路分为两个支路,该两个支路一路通过上桥臂功率开关管  $S_{x1}$ 后接入下桥臂功率开关管  $S_{x4}$ ,另一路接入下晶闸管  $T_{xn}$ 阳极;下桥臂功率开关管  $S_{x4}$ 接入下桥臂快速熔断器  $F_{xn}$ 的进口端;而下晶闸管  $T_{xn}$ 阴极通过下辅助电容  $C_n$ 接入电源负极;下桥臂快速熔断器  $F_{xn}$ 的出口端接入电源负极。

[0044] 即,上辅助电容  $C_p$ 、晶闸管  $T_{ap}$ 、 $F_{an}$ 构成故障隔离电路用来隔离 A 相下桥臂功率开关管  $S_{a4}$ 的短路或开路故障;下辅助电容  $C_n$ 、晶闸管  $T_{an}$ 、 $F_{ap}$ 构成的故障隔离电路用来隔离 A 相上桥臂功率开关管  $S_{a1}$ 的短路或开路故障,同理,B、C 相的故障隔离方法类似。

[0045] 进一步的,容错桥 5 包括两组双向可控常开晶闸管,具体为冗余-故障晶闸管  $T_{x1}$ 和中点-输出晶闸管  $T_{x2}$ ;所述冗余-输出晶闸管  $T_{x1}$ 将冗余桥臂 4 连接入交流输出电路 7;所述中点-输出晶闸管  $T_{x2}$ 将中点箝位型桥臂 21 连接入交流输出电路;其中  $x = a, b, c$  分别对应 A、B、C 三相。

[0046] 当 A 相两电平桥臂功率开关管发生开路或短路故障时,首先利用 A 相的故障隔离电路将故障桥臂隔离,同时触发双向可控晶闸管  $T_{a1}$ 和  $T_{a2}$ 导通,从而使冗余桥臂 4 代替故障桥臂运行于三电平状态。同理,当 B、C 相两电平桥臂功率开关管发生开路或短路故障时,利用故障隔离电路并同时触发相应的双向可控晶闸管,可以隔离故障并使冗余桥臂代替故障桥臂投入容错运行。当 A 相中点箝位型桥臂功率开关管发生开路或短路故障时,此时 A 相运行于两电平状态,B、C 相仍运行于三电平状态。

[0047] 4、如权利要求 1 所述的一种三电平四桥臂 T 型容错变流器,其特征在于,所述冗余桥臂 4 电路中,快速熔断器包括上速熔断器  $F_{Rp}$  和下快速熔断器  $F_{Rn}$ ;冗余桥臂功率开关管包括上冗余桥臂功率开关管  $S_{R1}$  和下冗余桥臂功率开关管  $S_{R4}$ ;

[0048] 电源正极通过上速熔断器  $F_{Rp}$  接入上冗余桥臂功率开关管  $S_{R1}$ ;通过该开关管的电路分为两路,一路接入容错桥 5 和直流母线中点电压控制电路 6,另一路依次通过下冗余桥臂功率开关管  $S_{R4}$  和下快速熔断器  $F_{Rn}$  后接入电源负极。

[0049] 如图 4 所示为直流母线中点电压控制流程图。所述直流母线中点电压控制电路 6 由储能电感  $L_N$  和继电器开关  $S_N$  构成。继电器开关  $S_N$  的一端连接至冗余桥臂 4 的中点,另一端与储能电感的一端相连,储能电感的另一端接至直流输入电路 1 的中点。其控制原理为:当检测到直流母线中点电压大幅波动时,控制继电器  $S_N$  闭合,同时控制冗余桥臂 4 功率开关管的开关状态,通过向直流母线中点注入电感电流来控制中点电压的平衡。

[0050] 如图 5 为三相四桥臂 T 型容错变流器系统工作控制流程图,包括三种运行状态下的控制方法。

[0051] 一种三电平四桥臂 T 型容错变流器的控制方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

[0052] 步骤 1、正常运行步骤:

[0053] 容错桥 5 的两组双向可控晶闸管均处于关断状态,冗余桥臂 4 处于隔离状态,继电器开关  $S_N$  处于打开状态,此时直流母线中点电压控制电路 6 不工作,三电平 T 型变流器正常运行。

[0054] 步骤 2、容错运行步骤:

[0055] 当检测到其中一相两电平桥臂 22 的功率开关管发生开路或短路故障时,首先利用该相的故障隔离电路将故障桥臂隔离,同时触发双向可控晶闸管  $T_{x1}$  和  $T_{x2}$  导通,从而使冗余桥臂 4 代替故障桥臂运行于三电平状态; $x = a, b, c$ ,当故障相为 A 相时,导通  $T_{a1}$  和  $T_{a2}$ ;当故障相为 B 相时,导通  $T_{b1}$  和  $T_{b2}$ ;当故障相为 C 相时,导通  $T_{c1}$  和  $T_{c2}$ ;

[0056] 具体举例来说:当检测到 A 相两电平桥臂功率开关管发生开路或短路故障时,首先利用 A 相的故障隔离电路将故障桥臂隔离,同时触发双向可控晶闸管  $T_{a1}$  和  $T_{a2}$  导通,从而使冗余桥臂 4 代替故障桥臂运行于三电平状态。同理,当 B、C 相两电平桥臂功率开关管发生开路或短路故障时,利用故障隔离电路并同时触发相应的双向可控晶闸管,可以隔离故障并使冗余桥臂 4 代替故障桥臂投入容错运行。当 A 相中点箝位型桥臂功率开关管发生开路或短路故障时,此时 A 相运行于两电平状态,B、C 相仍运行于三电平状态,重构后变流器的最大调制度不变。

[0057] 步骤 3、直流母线中点电压不平衡控制步骤:

[0058] 当电网电压波动、负载突变、三相电流畸变等造成直流母线中点电压大幅波动时,将会导致一些功率开关管的电压应力过大,从而影响功率开关管的寿命。为确保功率开关管工作在安全工作区,闭合继电器开关  $S_N$ ,同时控制冗余桥臂 4 中的上冗余桥臂功率开关管  $S_{R1}$  或下冗余桥臂功率开关管  $S_{R4}$  导通,通过储能电感  $L_N$  注入电流来快速调节中点电压。

[0059] 具体为:当上电解电容  $C_1$  的电位高于下电解电容  $C_2$  的电位,且其电位差达到设定的阈值时,控制冗余桥臂 4 的上冗余桥臂功率开关管  $S_{R1}$  导通,经储能电感  $L_N$  形成 Boost 电路,使直流源向下电解电容  $C_2$  充电;电感电流上升到给定值时,闭合上冗余桥臂功率开关管



$S_{R1}$ , 储能电感  $L_N$  通过  $S_{R2}$  的反并联二极管续流, 将储存的电能传递给下电解电容  $C_2$ , 使得下电解电容  $C_2$  电位升高, 因为直流母线电压  $U_{dc}$  保持不变, 从而上电解电容  $C_1$  的电位下降;

[0060] 同理, 当电解电容  $C_1$  的电位低于  $C_2$  的电位时, 类似的方法可以调节中点电位的平衡。

[0061] 当中点电位波动较小没有达到设定阈值时, 冗余桥臂 4 和直流母线电压控制电路 6 处于隔离状态, 系统正常运行。

[0062] 正常运行状态下, 当直流母线中点电压发生大幅波动时, 控制冗余桥臂相应的功率开关管导通, 通过注入电感电流来快速调节中点电压的平衡, 防止因中点电压的大幅波动引起功率开关管的过压击穿; 故障状态下, 控制容错桥相应的双向可控晶闸管导通, 使冗余桥臂代替故障桥臂投入容错运行。

[0063] 以上所述仅是本发明的优选实施方式, 应当指出, 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明原理的前提下, 还可以做出若干改进和润饰, 这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

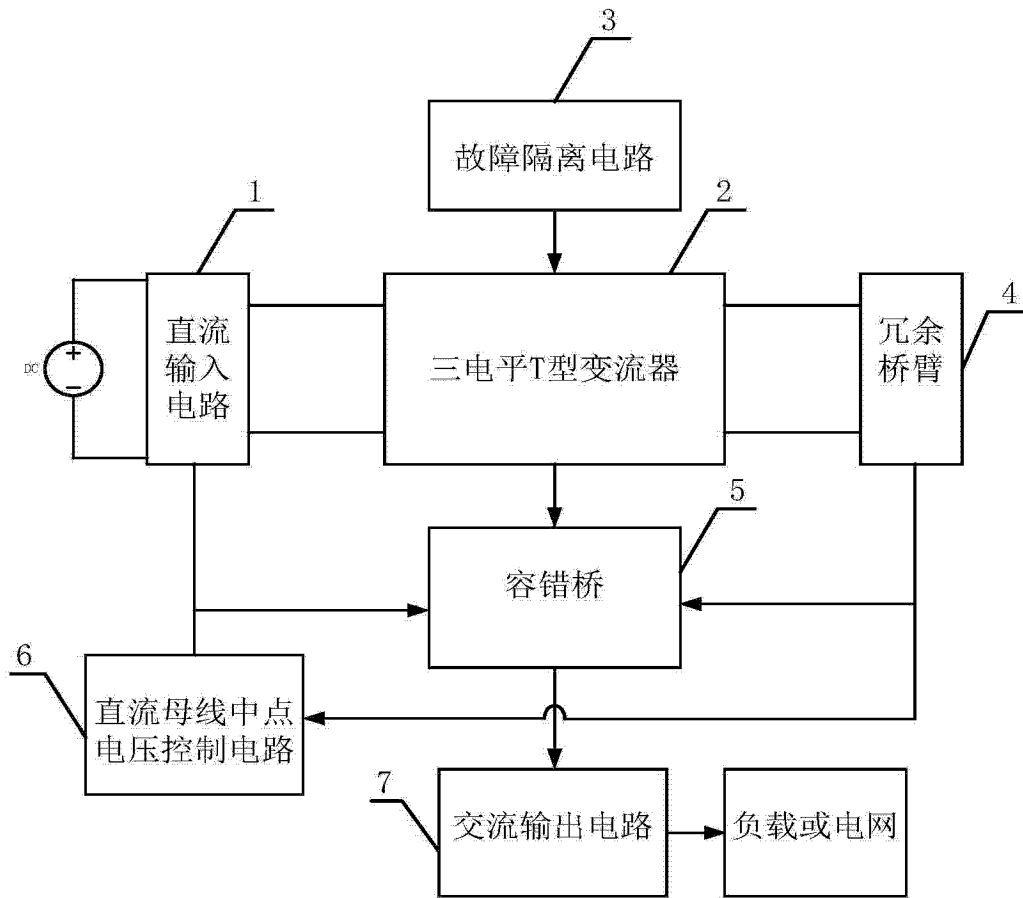


图 1

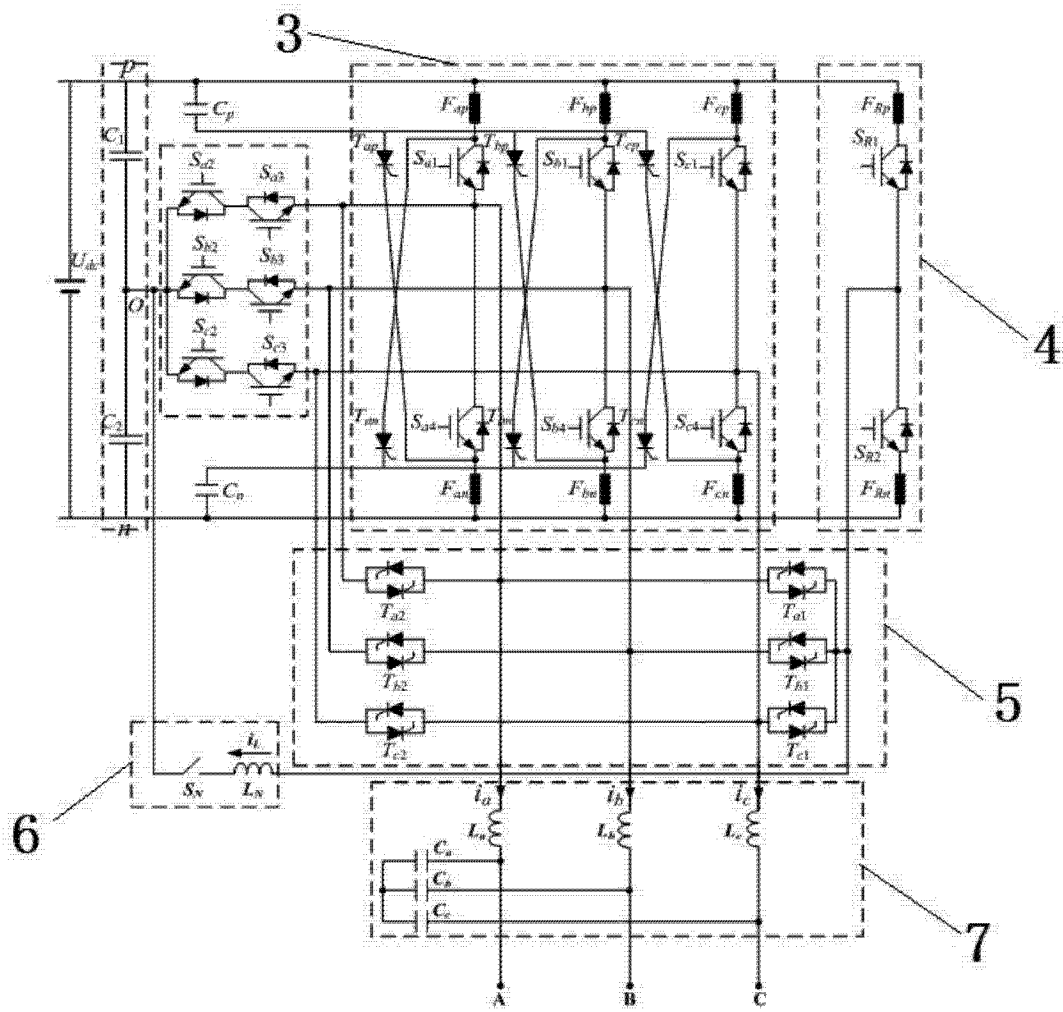


图 2

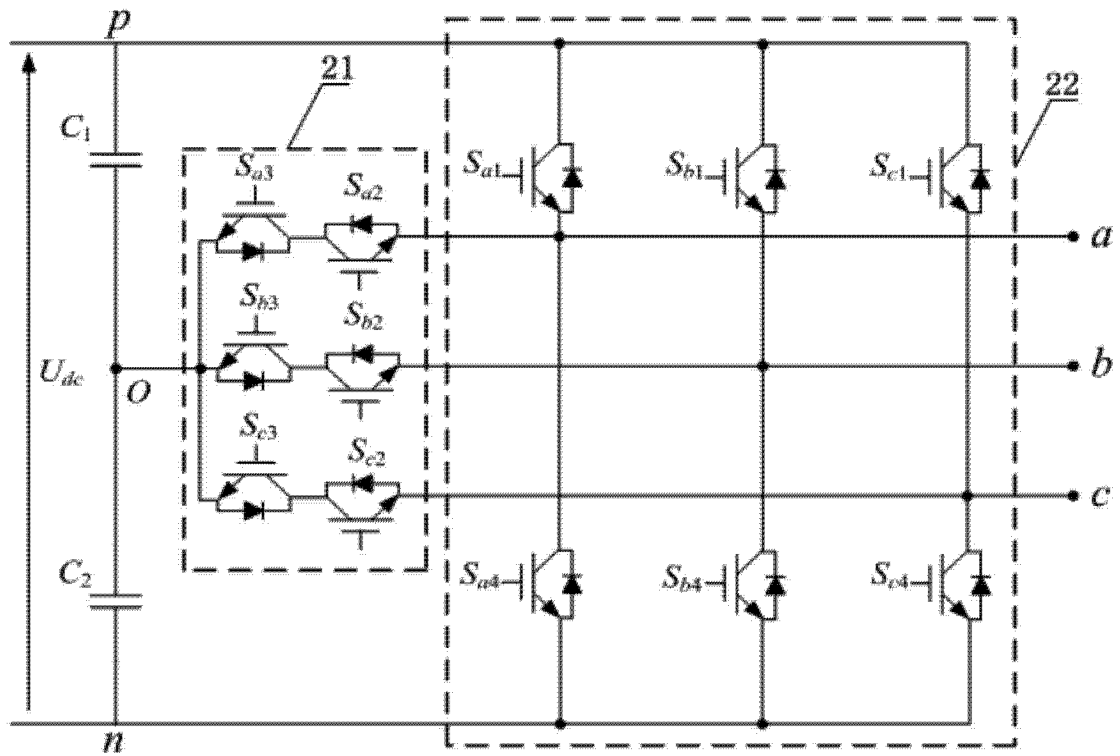


图 3

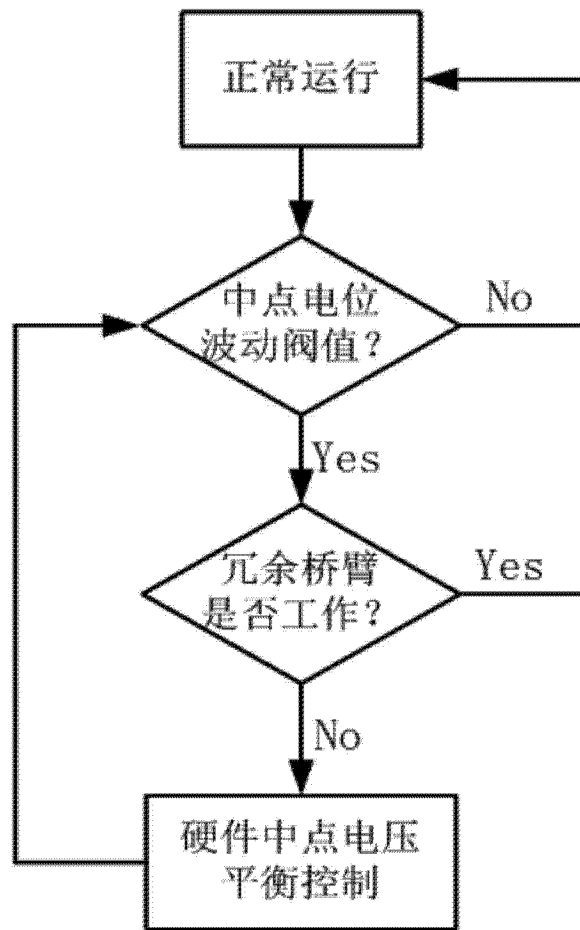


图 4

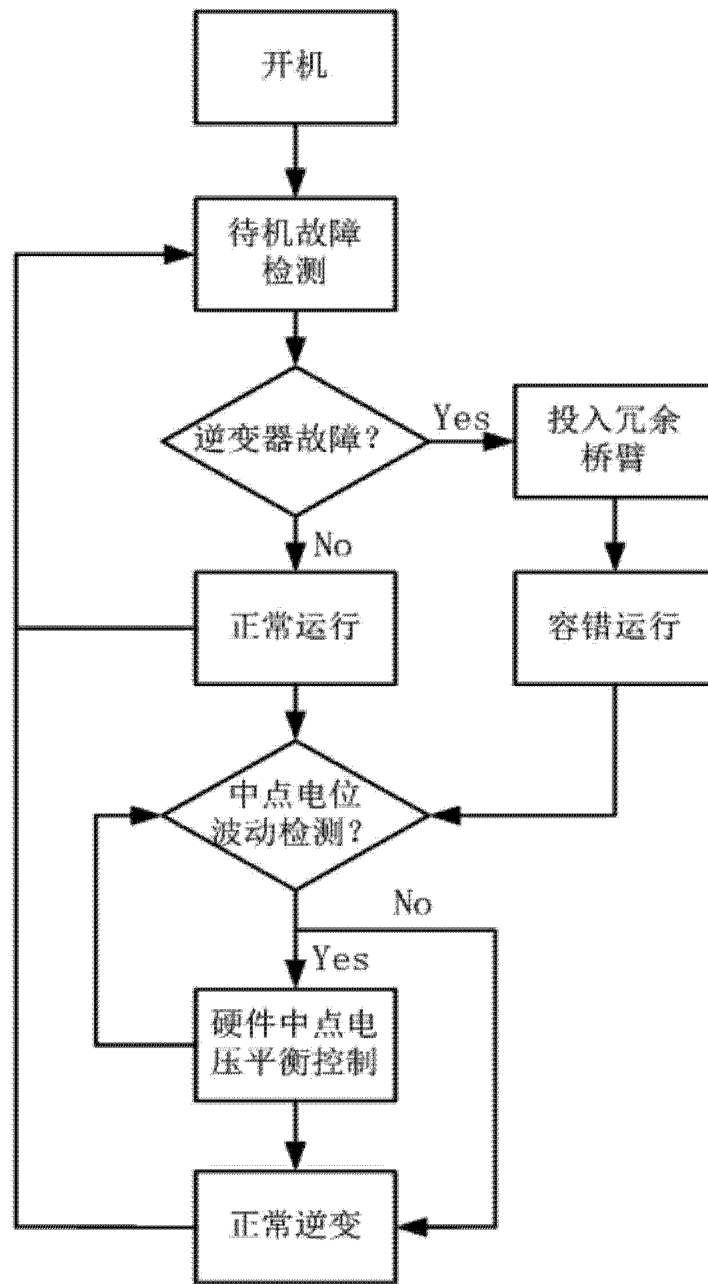


图 5