



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104617583 B

(45)授权公告日 2017.06.27

(21)申请号 201510078705.X

H02J 3/26(2006.01)

(22)申请日 2015.02.13

审查员 严开沁

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104617583 A

(43)申请公布日 2015.05.13

(73)专利权人 湖南大学

地址 410082 湖南省长沙市岳麓区麓山南路2号

(72)发明人 张志文 胡斯佳 罗隆福 李勇

(74)专利代理机构 湘潭市汇智专利事务所(普通合伙) 43108

代理人 颜昌伟

(51)Int.Cl.

H02J 3/18(2006.01)

H02J 3/01(2006.01)

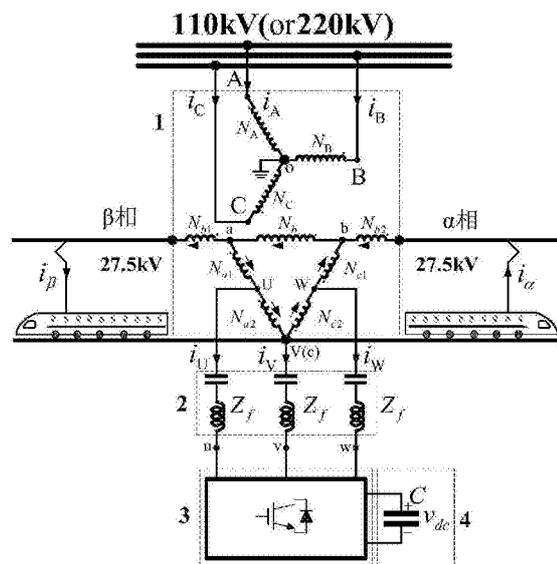
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

基于多功能平衡变压器的混合型铁路电能质量控制系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于多功能平衡变压器的混合型铁路电能质量控制系统,其特征在于,包括多功能平衡变压器、无源LC滤波支路、变流器和直流电容,所述多功能平衡变压器的一次侧与电网相连,二次侧的两相端口与牵引馈线相连为机车供电,二次侧的三相端口与无源LC滤波支路相连;所述无源LC滤波支路的另一端与变流器交流侧出线端口相连,所述变流器直流出线端口与直流电容相连。本发明无需大容量辅助降压变压器,从而提高了整个系统的集成度,大幅降低了成本、占地空间和安装难度;采用有、无源混合补偿方案使得该系统在获得较好补偿效果的同时,有利于提高PPF的可靠性,降低变流器的容量;采用平衡变压器能获得较为理想的负序抑制效果。



1. 一种基于多功能平衡变压器的混合型铁路电能质量控制系统,其特征在于,包括多功能平衡变压器、无源LC滤波支路、变流器、控制器和直流电容,所述多功能平衡变压器的一次侧与电网相连,二次侧的两相端口与牵引馈线相连为机车供电,二次侧的三相端口与无源LC滤波支路相连;所述无源LC滤波支路的另一端与变流器交流侧出线端口相连,所述变流器直流出线端口与直流电容相连,所述多功能平衡变压器二次侧的两相端口出线电压为27.5kV;二次侧三相出线端口电压可调,调整至与变流器相匹配的电压等级,可省去大容量辅助降压变压器,实现主、辅变压器的融合,大幅提高系统的集成度和性价比,所述无源LC滤波支路采用单滤波支路仅针对某一次谐波进行滤波,或采用多条滤波支路并联针对多个主要次谐波进行滤波;无源LC滤波支路用于无功补偿和滤除变流器开关高频谐波,变流器在谐波域下被控制成三个受控电压源,变流器在“Y”坐标下的等效电源 U_{Uhp} 、 U_{Vhp} 、 U_{Whp} 和在“ Δ ”坐标下的等效电源 U_{ahp} 、 U_{bhp} 、 U_{chp} 之间满足如下关系:

$$\begin{pmatrix} U_{Uhp} \\ U_{Vhp} \\ U_{Whp} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_{ahp} \\ U_{bhp} \\ U_{chp} \end{pmatrix}$$

所述控制器通过控制 U_{ahp} 、 U_{bhp} 、 U_{chp} 使其满足:

$$\begin{cases} U_{ahp} = \tau I_{Ah} \\ U_{bhp} = \tau I_{Bh} \\ U_{chp} = \tau I_{Ch} \end{cases}, \tau > 0$$

以期达到消除多功能平衡变压器一次侧谐波和谐振的目的,其中 I_{Ah} 、 I_{Bh} 、 I_{Ch} 为多功能平衡变压器一次侧谐波电流, τ 为大于0的常数。

2. 如权利要求1所述的基于多功能平衡变压器的混合型铁路电能质量控制系统,其特征在于,所述变流器采用基于全控型器件的三相全桥两电平拓扑或采用基于中点钳位和H桥级联的多电平拓扑结构。

基于多功能平衡变压器的混合型铁路电能质量控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及电气化铁道电能领域,特别涉及一种基于多功能平衡变压器的混合型铁路电能质量控制系统。

背景技术

[0002] 传统的供电系统通常为三相对称系统,而电气化铁道牵引供电系统为两相系统。故在将三相电变为两相电的核心环节-牵引变电所,因两相牵引负荷不平衡,大量负序电流注入公共电网,对三相电力系统的对称运行和旋转电气设备带来了严重威胁。另外,虽然新型交流电力机车已在我国部分电气化铁路中投入了使用(到2020年计划占通车总里程的13%),但由于历史所形成的原因,多数电气化铁路上依然大量运行着AC-DC型电力机车(约占通车总里程的85%),考虑到成本因素,在资源富集地区的货运专线上这一现象尤为普遍。AC-DC型电力机车所采用的相控型传动系统在牵引网中产生大量奇数次谐波和无功,奇数次谐波渗透至公共电力系统将严重影响电力系统的安全稳定运行;另外,如不对牵引网的无功进行补偿,将导致三相电力系统的公共接入端(PCC)功率因数可能低到满足不了要求,同时牵引变电所供电区段的末端电压将会大幅降低,从而严重影响铁路的运力,也将增加铁路运营商所缴纳的电费成本。加上机车负荷具有随机性和冲击性,使得上述电能质量问题也具有随机性和冲击性,从而大大增加了对其进行治理的难度。

[0003] 平衡牵引变压器是一种在电气化铁道电力系统中广泛使用的特种变压器,因其可在无需其他补偿设备的前提下最大限度地削弱负序电流,并完全抑制零序电流,被广泛应用于电能质量较差或者区位重要的牵引变电站中。在工程实践中发现,采用平衡牵引变压器能获得较为理想的负序抑制效果(注:国家标准以PCC点负序电压的95%概率大值是否大于2%对负序分量进行考核)。但该系统并不具备补偿无功和抑制谐波的功能。

[0004] 为弥补其不足,近20年来,学者及工程师们提出了多种基于IGBT或IGCT等全控型功率器件的有源拓扑结构。其中,具有代表性的结构为铁路功率调节器(下文称RPC)和有源电能质量补偿器(下文称APQC),两者均能有效应对电铁供电系统中的主要电能质量问题。但是,由于两系统直接与27.5kV牵引馈线相连,使得RPC需要在主变之外加装两台大容量单相多绕组降压变压器;APQC则需要一台结构复杂的Scott变压器作为其有源系统的接口。这些大容量辅助特种变压器不仅增加了系统的成本和占地空间,同时也在一定程度上降低了系统的可靠性。工程中它们已成为增加成本和降低系统集成度的主要因素(约占总成本的40%)。由于上述两系统结构复杂,补偿容量大,初始投资成本高,使得多数铁路建设项目对其望而却步,现仅在国外少数牵引变电所投入了实际应用。

发明内容

[0005] 针对现有技术存在的上述技术问题,本发明的目的是提供一种结构简单、安装简便、占地空间小、成本低、补偿容量小的基于多功能平衡变压器的混合型铁路电能质量控制系统。

[0006] 为实现上述目的,本发明的一种基于多功能平衡变压器的混合型铁路电能质量控制系统,包括多功能平衡变压器、无源LC滤波支路、变流器和直流电容,所述多功能平衡变压器的一次侧与电网相连,二次侧的两相端口与牵引馈线相连为机车供电,二次侧的三相端口与无源LC滤波支路相连;所述无源LC滤波支路的另一端与变流器交流侧出线端口相连,所述变流器直流出线端口与直流电容相连。

[0007] 所述多功能平衡变压器二次侧的两相端口出线电压为27.5kV,为机车供电;二次侧三相出线端口电压可调,能与其他功补系统相连对牵引变电所的电能质量进行综合治理,同时也能为牵引变电所提供电能。

[0008] 所述所述无源LC滤波支路采用单滤波支路仅针对某一次谐波进行滤波,或采用多条滤波支路并联针对多个主要次谐波进行滤波;滤波支路用于无功补偿和滤除变流器开关高频谐波。

[0009] 所述变流器既可采用基于全控型器件的三相全桥两电平拓扑,也可采用基于中点钳位和H桥级联的多电平拓扑结构。有源部分可进一步提高无源滤波支路的滤波性能,抑制因负荷波动所引起的三相滤波效果不一致,以及阻尼系统的串、并联谐振。

[0010] 本发明的有益效果在于:

[0011] (1) 由于MPBT二次侧三相出线处的绕组具有匝比可调的特点,在设计时选取恰当匝比,可使有源系统能直接与主变压器相连,省去了大容量特种辅助变压器。因此,该拓扑结构显著提高了整个系统的集成度,大幅降低了成本、占地空间和安装难度。

[0012] (2) 采用有、无源系统相结合的混合补偿方案。考虑到MPBT的漏抗,无源滤波器(简称为PPF)采用最小阻抗原理设计,用来滤除主要次谐波,并对无功进行补偿。有源部分可进一步提高系统的滤波效果,降低其受负荷波动的影响和发生谐振的风险。因此本系统在获得较好补偿效果的同时,有利于提高PPF的可靠性,降低变流器的容量。

[0013] (3) 充分利用MPBT自身所固有的负序和零序电流抑制能力,在相同负荷条件下,与非平衡变压器(如:Y/ Δ 变压器,V/v变压器等)相比,MPBT一次侧具有更低的负序电压、电流95%概率大值(注:国家标准以PCC点负序电压含有率(负序电压/正序电压 \times 100%)的95%概率大值是否大于2%对负序分量进行考核)。工程实践发现,采用平衡变压器能获得较为理想的负序抑制效果。

附图说明

[0014] 图1是本发明系统的整体电路结构框图;

[0015] 图2是本发明的谐波域等效电路结构图;

[0016] 图3是本发明的控制系统结构图。

具体实施方式

[0017] 下面通过实例结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0018] 如图1所示,本系统包括多功能平衡变压器1、无源LC滤波支路2、变流器3和直流电容4。多功能平衡变压器1的一次侧与110kV或220kV高压电网相连,二次侧的两相端口与牵引馈线相连为机车供电,二次侧的三相端口U、V和W与无源滤波支路2相连,无源滤波支路2的另一端与变流器3交流侧出线端口u、v和w相连,变流器3直流出线端口与直流侧电容4相

连。

[0019] 多功能平衡变压器1的一次侧与110kV或220kV高压电网相连,一方面将三相高压电降至两互相垂直的27.5kV单相电,为机车供电;另一方面,通过适当调整UV和VW绕组的匝数可将U、V、W抽头处电压降至一适当值,为无源LC滤波支路2和变流器3和直流电容4所组成的混合功补滤波系统提供合适的三相电压,以满足有源功率器件的使用条件,提高系统的可靠性。

[0020] 无源LC滤波支路2采用谐波频率下最小阻抗原理设计而成,它可以采用只针对某次谐波的单支路方案,也可以采用针对多个主要次谐波的多支路并联方案。如图2所示,在不考虑变流器3的作用下(即变流器3的 Δ 等效受控电源 U_{ahp} 、 U_{bhp} 和 $U_{chp}=0$),为满足变压器谐波磁动势为0的要求,无源LC滤波支路2的 Δ 等效谐波 Z_{Fh} 阻抗应满足:

$$[0021] \begin{cases} (1 + \frac{K_2}{K_3})Z_{Fh}|_{h=3} + Z_{3h}|_{h=3} = 0 \\ (1 + \frac{K_2}{K_3})Z_{Fh}|_{h=5} + Z_{3h}|_{h=5} = 0 \\ (1 + \frac{K_2}{K_3})Z_{Fh}|_{h=7} + Z_{3h}|_{h=7} = 0 \\ 3U_{3l-ph}^2 / |Z_{Fh}|_{h=1}| = Q_C \end{cases} \quad (1)$$

[0022] 其中

[0023]

$$Z_{Fh}|_{h=n} = j(n\omega L_3 - \frac{1}{n\omega C_3}) \parallel j(n\omega L_5 - \frac{1}{n\omega C_5}) \parallel j(n\omega L_7 - \frac{1}{n\omega C_7}), n=1,3,5,7 \quad (2)$$

[0024] L_n 、 C_n 为无源LC滤波支路2在n次谐波频率下的电感、电容, Z_{3h} 为图2中绕组UV和VW的谐波等值漏阻抗, U_{3l-ph} 为多功能平衡变压器U、V、W端口的基波额定线电压, Q_C 为系统需补偿的三相无功功率。虽然式(1)-(2)是针对3、5、7次谐波进行设计的,但是去掉式(1)中第一至第三个等式中的任意两个,以及式(2)中的任意两个并联项,即可针对3、5、7中某一次谐波进行设计。式(1)-(2)所示的关于以L和C为未知变量的非线性方程组难以求得解析解,实际中一般采用数值算法。

[0025] 对于三相变流器系统,可以既采用三相全桥拓扑结构,也可以采用中点钳位和H桥级联的多电平结构。但是无论采用哪种拓扑,三相变流器系统在谐波域下应被控制成三个受控电压源。如图1所示,经简单“Y- Δ ”变换可得如图2所示的本系统的谐波域等效电路(注:图2中下标“h”代表各变量的谐波分量)。三相变流器系统在“Y”坐标下的等效电源 U_{Uhp} 、 U_{Vhp} 、 U_{Whp} 和在“ Δ ”坐标下的等效电源 U_{ahp} 、 U_{bhp} 、 U_{chp} (图2)之间满足如下关系:

$$[0026] \begin{pmatrix} U_{Uhp} \\ U_{Vhp} \\ U_{Whp} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_{ahp} \\ U_{bhp} \\ U_{chp} \end{pmatrix} \quad (3)$$

[0027] 本发明通过控制 U_{ahp} 、 U_{bhp} 、 U_{chp} 使其满足:

$$[0028] \quad \begin{cases} U_{ahp} = \tau I_{Ah} \\ U_{bhp} = \tau I_{Bh}, \tau > 0 \\ U_{chp} = \tau I_{Ch} \end{cases} \quad (4)$$

[0029] 以期达到消除MPBT一次侧谐波和谐振的目的。其中 I_{Ah} 、 I_{Bh} 、 I_{Ch} 为主变一次侧谐波电流， τ 为大于0的常数。

[0030] 下面介绍本发明控制系统的工作机理：

[0031] 如图1所示，首先定义如下参数：

$$[0032] \quad \begin{cases} N_A = N_B = N_C = N_I \\ N_a = N_b = N_c = N_{II} \\ N_a = N_{a1} + N_{a2} \\ N_c = N_{c1} + N_{c2} \\ N_{b1} = N_{b2} = 0.366 N_{II} \end{cases}, \begin{cases} Z_A = Z_B = Z_C = Z_I \\ Z_b = \lambda Z_a = \lambda Z_c = \lambda Z_{II} \\ Z_a = Z_{a1} + Z_{a2} \\ Z_c = Z_{c1} + Z_{c2} \\ Z_{a2} = Z_{c2} = x Z_{II} \end{cases} \quad (5)$$

[0033] 其中 N_k 和 Z_k 为绕组 k 的匝数和等值阻抗($k=A, B, C; a, b, c; a_1, a_2; c_1, c_2$)。为满足平衡条件，应使 $\lambda=2.732$ ， $x=1.577y$ (注： $y=N_{a2}/N_a=N_{c2}/N_c$)。在设计时，改变 y 的值可对 U 、 V 、 W 的端口电压进行相应调整。

[0034] 由磁势平衡关系和基本电路定理可得MPBT一、二次侧的基本电流传递关系如下：

$$[0035] \quad \begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = B_1 \begin{pmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{pmatrix} + B_2 \begin{pmatrix} I_U \\ I_W \end{pmatrix} \quad (6)$$

[0036] 其中：

$$[0037] \quad B_1 = m_1 \begin{pmatrix} \underbrace{-\sqrt{3}+1}_{d_1} & \underbrace{\sqrt{3}+1}_{d_2} \\ -2 & \underbrace{-2}_{d_3} \\ \sqrt{3}+1 & -\sqrt{3}+1 \end{pmatrix},$$

$$B_2 = m_2 \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 1 \\ -1 & -2 \end{pmatrix}, \quad m_1 = \frac{\sqrt{3}N_{II}}{6N_I}, \quad m_2 = \frac{xN_{II}}{(3+\sqrt{3})N_I}。$$

[0038] 由式(6)可以得到如下结论：

[0039] (1) 由于 B_1 、 B_2 列之和为0，故主变一次侧不含零序电流。

[0040] (2) 当两相负载电流 I_α 和 I_β 对称且三相负载电流 I_U 、 I_V 和 I_W 也对称时(由于三相系统无中线，实际上只有两个电流是独立变量，这里取 I_U 和 I_W 作为独立变量)，则一次侧三相电流 I_A 、 I_B 和 I_C 也对称，既无零序电流，也无负序电流。

[0041] (3) 通过控制 I_U 和 I_W ，即控制变流器可以达到控制一次侧三相电流 I_A 、 I_B 和 I_C 的目的，使一次侧三相电流满足所需要的性能指标(对称性、谐波、功率因数等)。

[0042] 下面本发明控制系统作详细介绍：

[0043] 本系统的控制器，如图3所示。将检测到的主变一次侧电流 i_A 、 i_B 和 i_C 依次通过正、负Park变换（即： $P(\omega t)$ 和 $P(-\omega t)$ ），低通滤波器（LPF）和正、负反Park变换得到 i_A 、 i_B 和 i_C 中的基波正、负序分量： $i_{A(+)}$ 、 $i_{B(+)}$ 和 $i_{C(+)}$ ； $i_{A(-)}$ 、 $i_{B(-)}$ 和 $i_{C(-)}$ 。将他们从各自相瞬时电流中分离出来，即可得到A、B、C三相的谐波电流分量 i_{Ah} 、 i_{Bh} 和 i_{Ch} 。参照式（3）～（4）最终可得到本发明变频器的调制信号为：

$$[0044] \quad \begin{pmatrix} u_{Uhp} \\ u_{Vhp} \\ u_{Whp} \end{pmatrix} = \frac{\tau}{3} \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{Ah} \\ i_{Bh} \\ i_{Ch} \end{pmatrix} \quad (8)$$

[0045] 另外，直流侧电压 u_{dc} 经由PI通过与主变交换少量基波正序无功实现稳压控制。

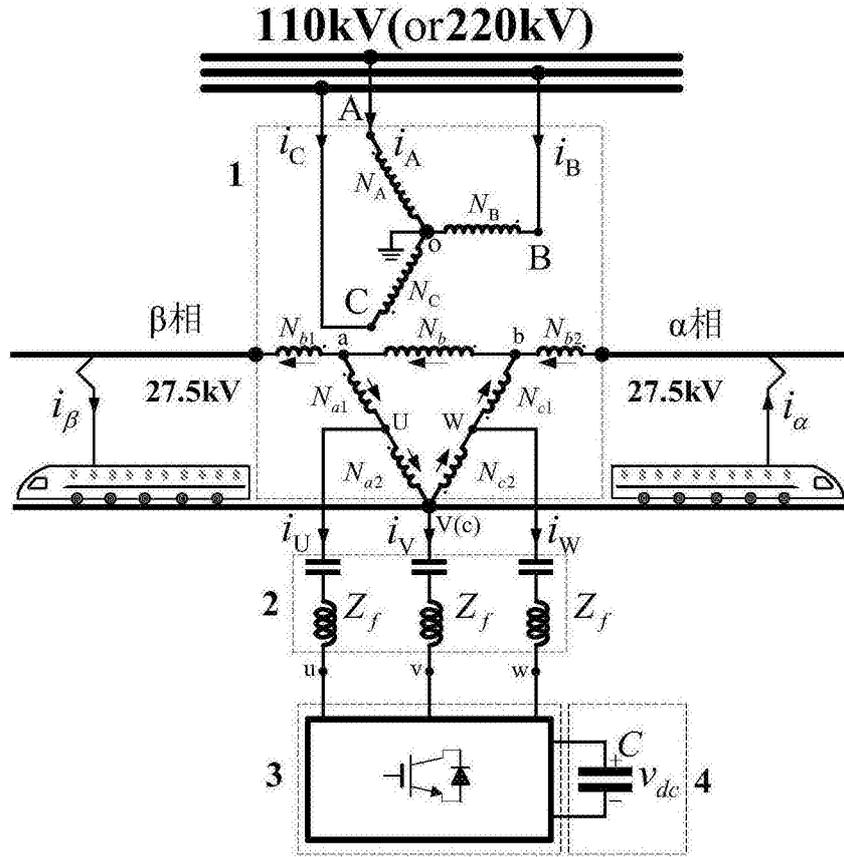


图1

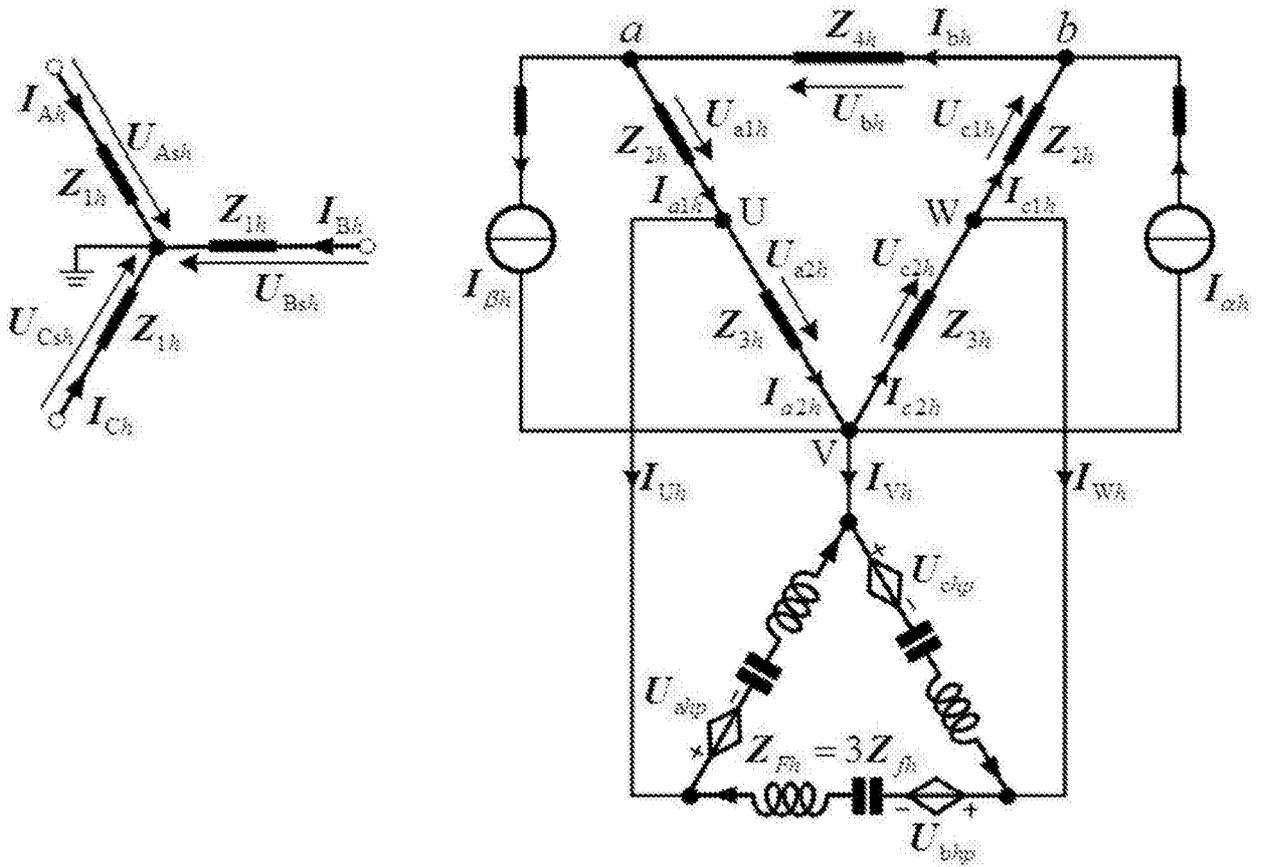


图2

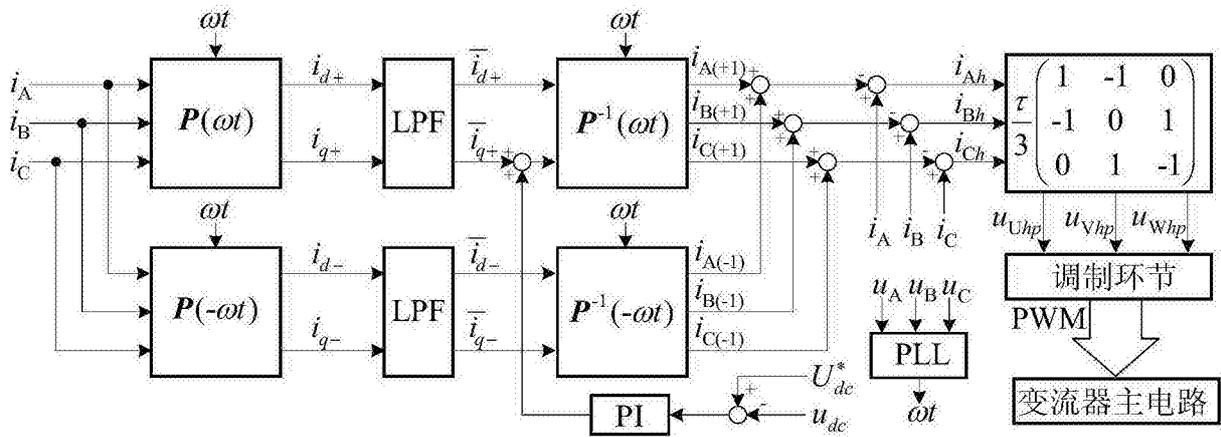


图3