



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106921170 A

(43)申请公布日 2017.07.04

(21)申请号 201710036893.9

(22)申请日 2017.01.13

(71)申请人 国网山东省电力公司济南供电公司

地址 250000 山东省济南市泺源大街238号

申请人 国网山东节能服务有限公司

东北电力大学

(72)发明人 黄光政 樊相臣 李向奎 巩晓静

梁慧媛 孙琳 牛蔚然 王晶

蔡国伟 刘闯 秦广涛 万振东

(51) Int. Cl.

H02J 3/26(2006.01)

H02J 3/01(2006.01)

H02J 3/18(2006.01)

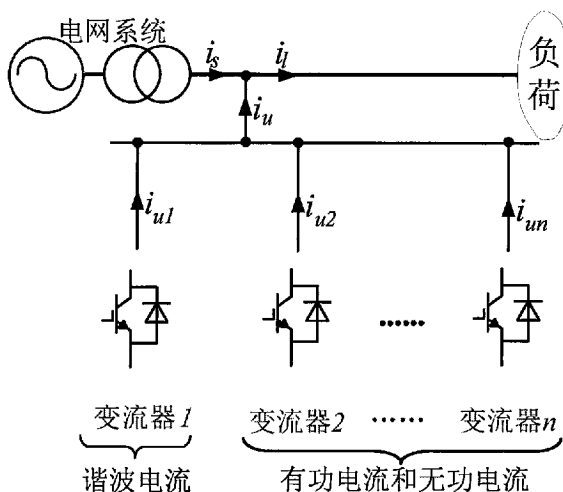
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构及控制策略

(57)摘要

本发明公开了一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构及控制策略,多个变流器并联在三相四线制电网系统中,多模块高/低性能互补协调变流器并网,采取分配补偿替代传统综合补偿控制策略,靠近变压器低压侧第一个变流器为高性能变流器,起到滤除电网三相不平衡谐波电流,其余低性能变流器平均分配控制三相不平衡有功电流和无功电流。本发明达到了平衡三相有功、无功补偿和谐波治理功能的分配控制目的,改善了电能质量,提高配电变压器功率因素,进而提高了变压器寿命及效率。



1. 一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构,其特征在于,多个变流器并联在三相四线制电网系统中,多模块高/低性能互补协调变流器并网,采取分配补偿替代传统综合补偿控制策略,靠近变压器低压侧第一个变流器为高性能变流器,起到滤除电网三相不平衡谐波电流,其余低性能变流器平均分配控制三相不平衡有功电流和无功电流。

2. 如权利要求1所述的一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构,其特征在于,所述单个变流器具有8个开关模块组成的四桥臂及LC滤波装置,其中后三个桥臂用于补偿交流配电网中正序、负序和谐波电流,可实现统一控制,第四臂用来调节交流配电网的中线电流,LC滤波器用于滤除并网电流中的高频分量。

3. 一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构控制策略,其特征在于,包括如下步骤:

采集负荷侧三相电流 i_1 ,三相电压 U_s ,利用瞬时功率法,首先进行Clarke变换,转化成 U_α 、 U_β 、 i_α 、 i_β ,此时运用瞬时功率法求得此时瞬时功率 $p=U_\alpha \cdot i_\alpha+U_\beta \cdot i_\beta$;然后求出补偿电流,进而通过将补偿电流分离成三相谐波电流、有功无功补偿电流,实现对于电流的实时补偿算法的计算;最后通过在d-q坐标系下调节 i_q 和 i_d 来控制变流器的有功有功和无功的调节,在变流器前三桥臂实现P和Q的解耦控制,变流器采用电流内环和电压外环的双环控制方式,最终实现对电网系统的电流三相不平衡的实时调整,使得任意时刻三相电流平衡。

一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构及控制策略

技术领域

[0001] 本发明涉及三相不平衡负荷综合调节系统领域,具体涉及一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构及控制策略。

背景技术

[0002] 现代化的精密实验仪器、自动化生产的控制设备、各种各样敏感性的负载等在电网中运行,它们均需要较高的电能质量。因此低电网三相四线制系统中三相不平衡电流、谐波污染、功率因数偏低等问题需要引起越来越多的重视。单个变流器实现平衡三相电流、无功补偿和谐波治理等功能,需要对开关管子有较高的耐压水平、较高的绝缘保护措施,但如果变流器需要补偿给某相的电流超出变流器本身限定值,此时可能控制失稳。

发明内容

[0003] 本发明提供了一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构及控制策略,运用多台变流器并联到三相四线制配电系统中。

[0004] 为实现上述目的,本发明采取的技术方案为:

[0005] 一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构,其特征在于,多个变流器并联在三相四线制电网系统中,多模块高/低性能互补协调变流器并网,采取分配补偿替代传统综合补偿控制策略,靠近变压器低压侧第一个变流器为高性能变流器,起到滤除电网三相不平衡谐波电流,其余低性能变流器平均分配控制三相不平衡有功电流和无功电流。

[0006] 其中,所述变流器具有8个开关模块组成的四桥臂及LC滤波装置,其中后三个桥臂用于补偿交流配电网中正序和负序谐波电流,可实现统一控制,第四臂用来调节交流配电网的中线电流,LC滤波器用于滤除并网电流中的高频分量。

[0007] 本发明还提供了一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构控制策略,包括如下步骤:

[0008] 采集负荷侧三相电流 i_1 ,三相电压 U_s ,利用瞬时功率法,首先进行Clarke变换,转化成 U_α 、 U_β 、 i_α 、 i_β ,此时运用瞬时功率法求得此时瞬时功率 $p=U_\alpha \cdot i_\alpha+U_\beta \cdot i_\beta$;然后求出补偿电流,进而通过将补偿电流分离成三相谐波电流、有功无功补偿电流,实现对于电流的实时补偿算法的计算;最后通过在d-q坐标系下调节 i_q 和 i_d 来控制变流器的有功和无功的调节,在变流器前三桥臂实现P和Q的解耦控制,变流器采用电流内环和电压外环的双环控制方式,最终实现对电网系统的电流三相不平衡的实时调整,使得任意时刻三相电流平衡。

[0009] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0010] 采取分配补偿替代传统综合补偿控制策略,通过高性能变流器补偿谐波电流,起到滤除电网三相不平衡谐波电流,其余低性能变流器平均分配控制三相不平衡有功电流和无功电流。达到平衡三相有功、无功补偿和谐波治理功能的分配控制目的,改善了电能质量,提高配电变压器功率因素,进而提高了变压器寿命及效率。

附图说明

- [0011] 图1并联在电网系统中单台变流器的拓扑结构；
 [0012] 图2多变流器并联运行在在电网系统中；
 [0013] 图3多变流器并联运行简图；
 [0014] 图4多变流器参考电流算法结构框图；
 [0015] 图5变流器1的控制策略框图；
 [0016] 图6其他n-1个变流器的控制策略框图。

具体实施方式

[0017] 为了使本发明的目的及优点更加清楚明白,以下结合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。

[0018] 本发明实施例提供了一种多变流器型三相不平衡负荷综合调节系统结构,其特征在于,多个变流器并联在三相四线制电网系统中,多模块高/低性能互补协调变流器并网,采取分配补偿替代传统综合补偿控制策略,靠近变压器低压侧第一个变流器为高性能变流器,起到滤除电网三相不平衡谐波电流,其余低性能变流器平均分配控制三相不平衡有功电流和无功电流。

[0019] 图1是单台变流器的拓扑结构,其并联在三相四线制系统中,实现三相四线制配电系统中平衡三相不对称负荷、无功补偿及谐波污染治理的功能。其具有8个开关模块组成的四桥臂及LC滤波装置。其中后三个桥臂用于补偿交流配电网中正序和负序谐波电流,可实现统一控制,第四臂主要用来调节交流配电网的中线电流,LC滤波器用于滤除并网电流中的高频分量。

[0020] 图2是多变流器简图。变流器1作为高性能变流器,主要用来滤出高频谐波,保护变压器不受谐波危害,当其余低性能变流器补偿负荷电流超限时,还可以分担一些三相不对称电流和无功补偿;变流器2……n,作为低性能变流器,主要用来平衡三相不对称电流和无功补偿。保证变压器二次侧三相电流平衡,变流器补偿电流*i*,对三相不平衡负荷进行修正,即满足

$$[0021] \quad \begin{cases} \vec{i}_s = \vec{i}_u - \vec{i}_l \\ \vec{i}_u = \vec{i}_{u1} + \vec{i}_{u2} + \dots + \vec{i}_{un} \end{cases} \quad (1)$$

[0022] 其中 $\vec{i}_s = [i_{sa} \quad i_{sb} \quad i_{sc} \quad i_{sn}]^T$,是电网系统变压器二次侧的源电流;

[0023] $\vec{i}_u = [i_{ua} \quad i_{ub} \quad i_{uc} \quad i_{un}]^T$ 是变流器补偿的各相电流; $\vec{i}_1 = [i_{1a} \quad i_{1b} \quad i_{1c} \quad i_{1n}]^T$ 指变流器1的各相电流; $\vec{i}_2 = [i_{2a} \quad i_{2b} \quad i_{2c} \quad i_{2n}]^T$ 是指变流器2的各相电流; $\vec{i}_n = [i_{na} \quad i_{nb} \quad i_{nc} \quad i_{nn}]^T$ 指变流器n的各相电流。

[0024] 图3是以单个变流器为模块,组成多变流器共同并联运行在电网系统中的拓扑结构图。采用多台变流器共同工作,从变压器侧数起依次为变流器1、变流器2、……,可以设置变流器1开关频率为高频率工作,主要作用是用来滤波,变流器2等等的开关频率为高频率下

工作,主要功能用来平衡三相电流和无功补偿。

[0025] (4)图4是多变流器参考电流算法结构框图。图a是采集三相负荷电流 i_{1a} 、 i_{1b} 、 i_{1c} ,与三相电压 u_a 、 u_b 、 u_c ,经过abc/ $\alpha\beta$ 变换,运用瞬时功率算法求出此时瞬时功率 $p = u_a \cdot i_{\beta} + u_{\beta} \cdot i_a$,经过PLL锁相环,最终确定三相补偿电流参考值 i_{ua}^* 、 i_{ub}^* 、 i_{uc}^* ,其计算为:

$$[0026] \quad \begin{cases} i_{ua}^* = i_{1a} - i_{1ap}^* = i_{1a} - \frac{1}{3} \cdot \frac{p}{|v_a|} \angle \theta_a \\ i_{ub}^* = i_{1b} - i_{1bp}^* = i_{1b} - \frac{1}{3} \cdot \frac{p}{|v_b|} \angle \theta_b \\ i_{uc}^* = i_{1c} - i_{1cp}^* = i_{1c} - \frac{1}{3} \cdot \frac{p}{|v_c|} \angle \theta_c \\ i_{un}^* = -(i_{ua}^* + i_{ub}^* + i_{uc}^*) = -(i_{1a} + i_{1b} + i_{1c}) \end{cases} \quad (2)$$

[0027] 式中,近似认为交流配电网三相电压对称且仅含基波正序电压分量,变压器二次侧三相电压 v_a 、 v_b 、 v_c 的相角分别为 θ_a 、 θ_b 、 θ_c 。

[0028] 图4中b图是将a图中三相补偿电流参考值 i_{ua}^* 、 i_{ub}^* 、 i_{uc}^* 进行分离,分别控制多个变流器(图b中是按照两个变流器进行分析)。变流器1选定为高性能变流器,其主要功能是用来平衡或滤除需要补偿电流中的谐波电流。补偿电流参考值 i_{ua}^* 、 i_{ub}^* 、 i_{uc}^* 经低通滤波器LPF后,滤除基波电流,得到谐波电流,经过PLL锁相环的控制后,最终得到变流器1的各相电流补偿瞬时参考值。同样变流器2作为低性能变流器,经低通滤波器LPF后,滤除谐波电流,同样经过PLL锁相环的相角控制后,最终得到变流器2的各相电流补偿瞬时参考值。

[0029] 如果需要更多变流器并网控制,除去变流器1的谐波电流控制,其余 $n-1$ 个变流器的三相基波电流可变为 $\frac{1}{n-1} \cdot \overline{i_{ua}^*}$ 、 $\frac{1}{n-1} \cdot \overline{i_{ub}^*}$ 、 $\frac{1}{n-1} \cdot \overline{i_{uc}^*}$,这样实现多变流器的并网控制。

[0030] 为保证直流配电网正常供电,就应通过变流器控制 V_d 保持在设定值 V_{dref} 左右,使参考电流中应包含相应的电容充放电电流分量以调节电容电压。为此,采用比例积分(PI)控制器对 V_d 进行控制。当 $V_d < V_{dref}$,控制变流器并网电流中包含一组从交流电网侧获取的三相对称纯有功电流对电容充电;当 $V_d > V_{dref}$,控制VSC配合变压器和交流负荷将直流侧多余能量注入交流电网。 p_u 应满足的计算式为:

$$[0031] \quad \begin{cases} 0 = K_p \Delta V_d + K_i \int \Delta V_d dt \\ \Delta V_d = V_{dref} - V_d \end{cases} \quad (3)$$

[0032] 式中, K_p 、 K_i 分别为电压外环中PI控制器的比例增益和积分增益。 V_d 是变流器直流侧电容电压, V_{dref} 是电容电压设定值。

[0033] 变流器1的各相电流补偿瞬时参考值计算如下:

$$\begin{cases}
 i_{ua1} = i_{ua}^* - \overline{i_{ua}^*} + i_{\Delta a1}^* = i_{ua}^* - \overline{i_{ua}^*} + \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{u1}}{|u_a|} \angle \theta_a \\
 i_{ub1} = i_{ub}^* - \overline{i_{ub}^*} + i_{\Delta b1}^* = i_{ub}^* - \overline{i_{ub}^*} + \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{u1}}{|u_b|} \angle \theta_b \\
 i_{uc1} = i_{uc}^* - \overline{i_{uc}^*} + i_{\Delta c1}^* = i_{uc}^* - \overline{i_{uc}^*} + \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{u1}}{|u_c|} \angle \theta_c \\
 i_{un1} = 0.5 \cdot i_{un}^* = 0.5 \cdot (i_{ia} + i_{ib} + i_{ic})
 \end{cases} \quad (4)$$

[0035] 变流器2的各相电流补偿瞬时参考值计算如下:

$$\begin{cases}
 i_{ua2} = \overline{i_{ua}^*} + i_{\Delta a2}^* = i_{ua}^* - \overline{i_{ua}^*} + \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{u2}}{|u_a|} \angle \theta_a \\
 i_{ub2} = \overline{i_{ub}^*} + i_{\Delta b2}^* = i_{ub}^* - \overline{i_{ub}^*} + \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{u2}}{|u_b|} \angle \theta_b \\
 i_{uc2} = \overline{i_{uc}^*} + i_{\Delta c2}^* = i_{uc}^* - \overline{i_{uc}^*} + \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{u2}}{|u_c|} \angle \theta_c \\
 i_{un2} = 0.5 \cdot i_{un}^* = 0.5 \cdot (i_{ia} + i_{ib} + i_{ic})
 \end{cases} \quad (5)$$

[0037] 通过在d-q坐标系下调节 i_q 和 i_d 来控制变流器的有功和无功的的调节,在变流器前三桥臂实现P和Q的解耦控制,变流器采用电流内环和电压外环的双环控制方式。电压外环控制直流侧电压保持在 V_{dref} 上;电流内环主要实现变流器并网电流的快速跟踪,实现电流的实施控制,且内外环均采用PI调节器。相比前三桥臂,VSC第四桥臂通过简单的控制就能产生相应的补偿电流。

[0038] 基于dq同步旋转坐标下的变流器前三桥臂方程为:

$$\begin{cases}
 v_{od} = (L_f P + R_f) i_{ud} + v_{pd} - \omega L_f i_{uq} \\
 v_{oq} = (L_f P + R_f) i_{uq} + v_{pq} + \omega L_f i_{ud}
 \end{cases} \quad (6)$$

[0040] 式中:P为微分算子;d、q轴方程间存在交叉项,相互耦合。为消除耦合关系,可采用前馈解耦控制策略,解耦后的控制方程为:

$$\begin{cases}
 v_{od} = (K_{ip} + \frac{K_{il}}{s})(i_{ud}^* - i_{ud}) + v_{pd} - \omega L_f i_{uq} \\
 v_{oq} = (K_{ip} + \frac{K_{il}}{s})(i_{uq}^* - i_{uq}) + v_{pq} + \omega L_f i_{ud}
 \end{cases} \quad (7)$$

[0042] 式中: v_{pd} 、 v_{qd} 、 v_{od} 、 v_{oq} 、 i_{ud} 、 i_{uq} 分别表示变压器低压侧电压 v_p 、变流器交流侧输出电压 v_o 和并网电流 i_u 的d轴和q轴分量; K_{il} 、 K_{ip} 为电流内环比例调节增益和积分调节增益。相比前三桥臂,变流器第四桥臂通过简单的控制就能产生相应的补偿电流。

[0043] 图5为变流器1采用PWM控制的控制框图,图中没有体现电压外环是因电流 i_u 的算法中已经包含了电压外环, i_u 中含有调节 V_d 保持在 V_{ref} 上的电流分量。

[0044] 变流器2采用同样的控制策略。如果是多个变流器同时并网,除却变流器1,其余n-1个变流器控制框图如图6所示。

[0045] 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,还可以作出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应

视为本发明的保护范围。

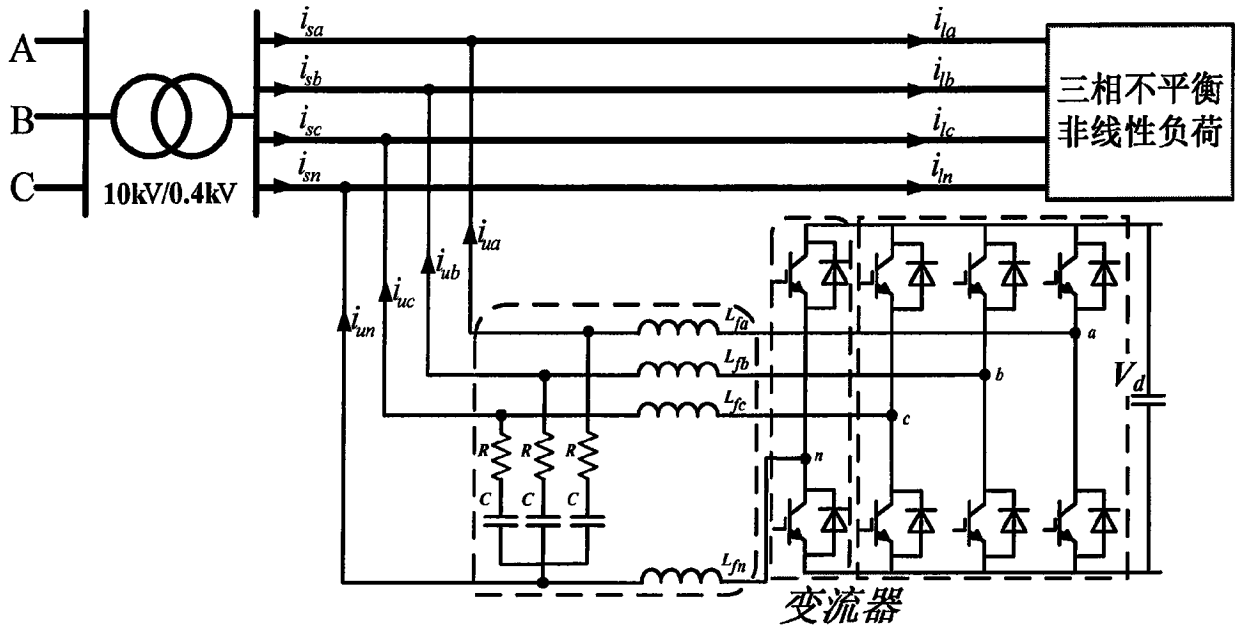


图1

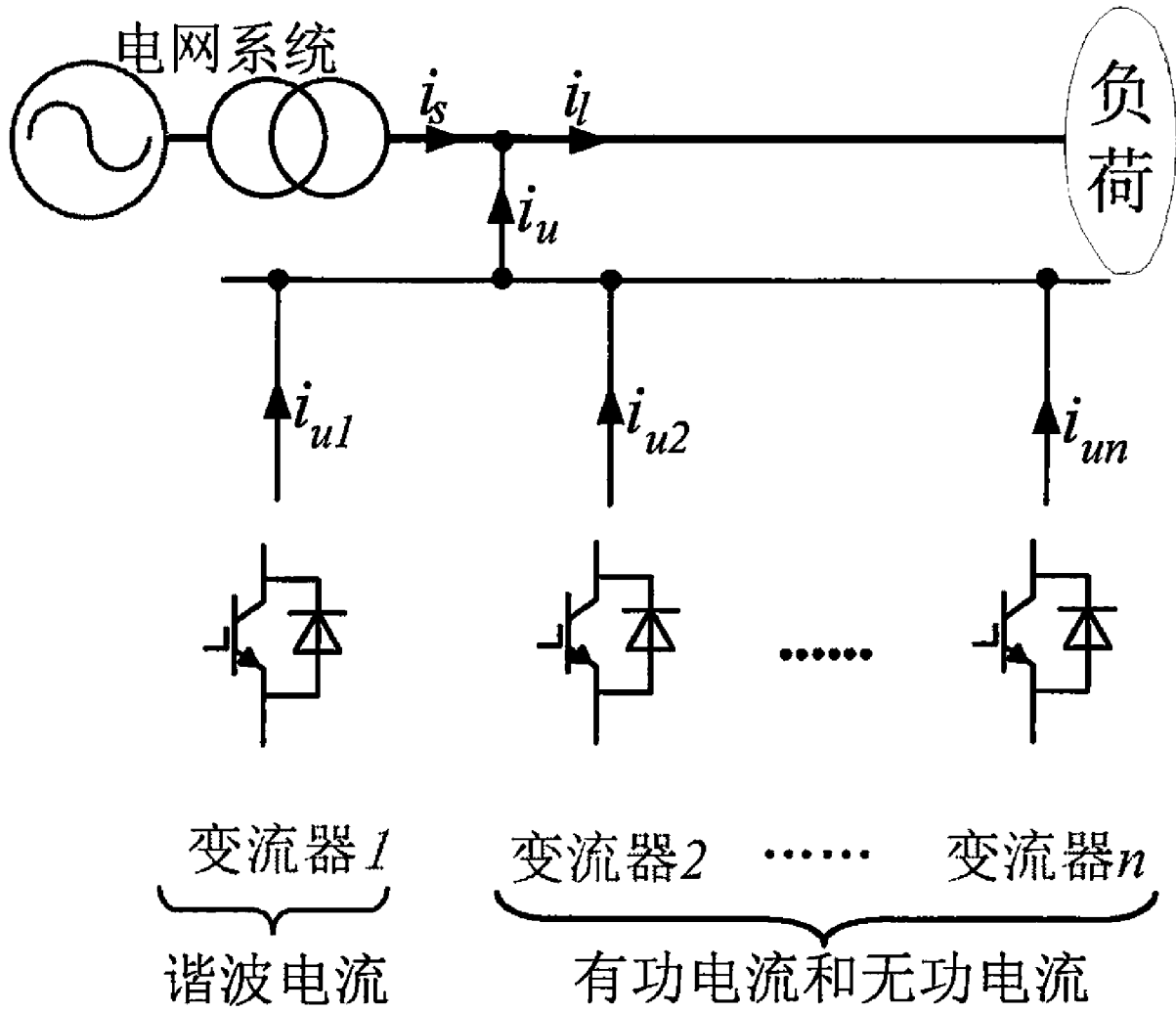


图2

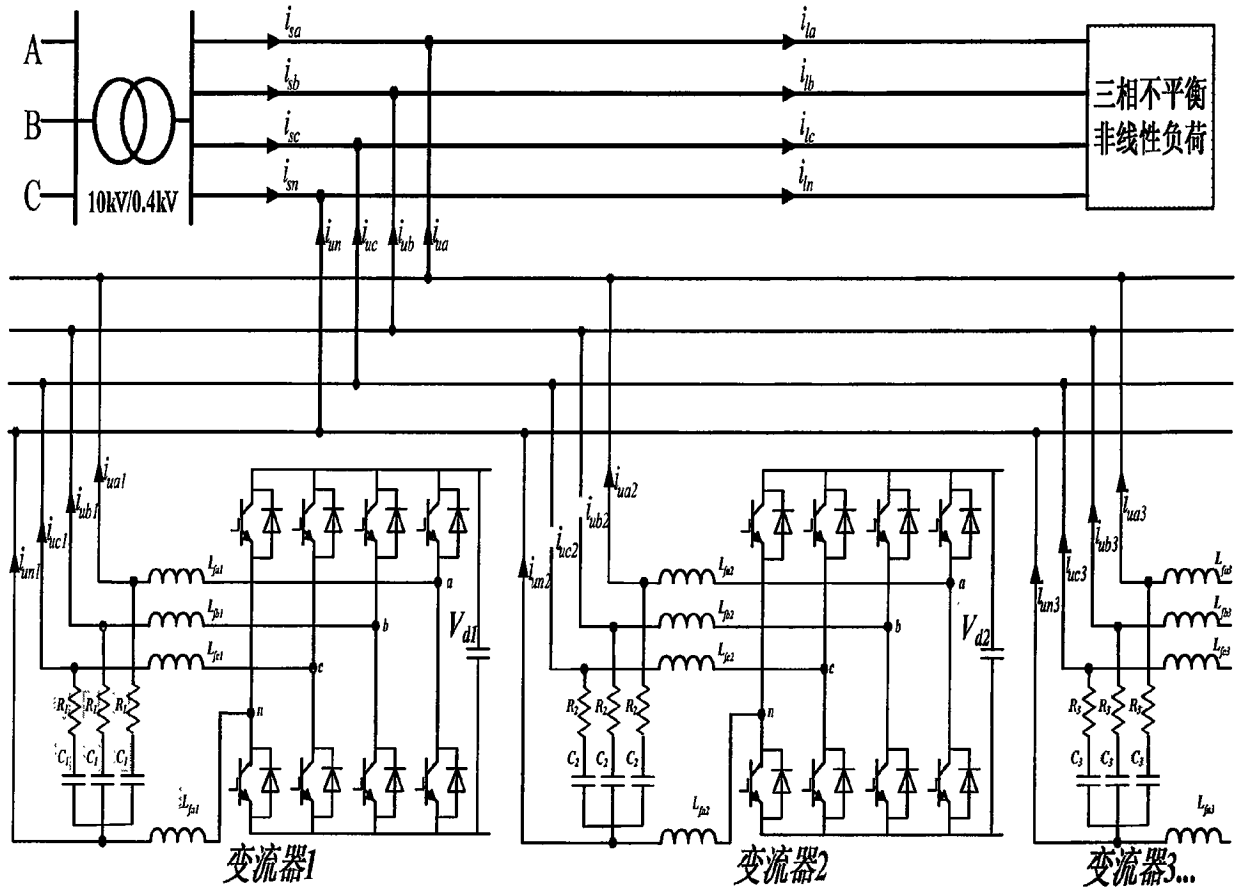
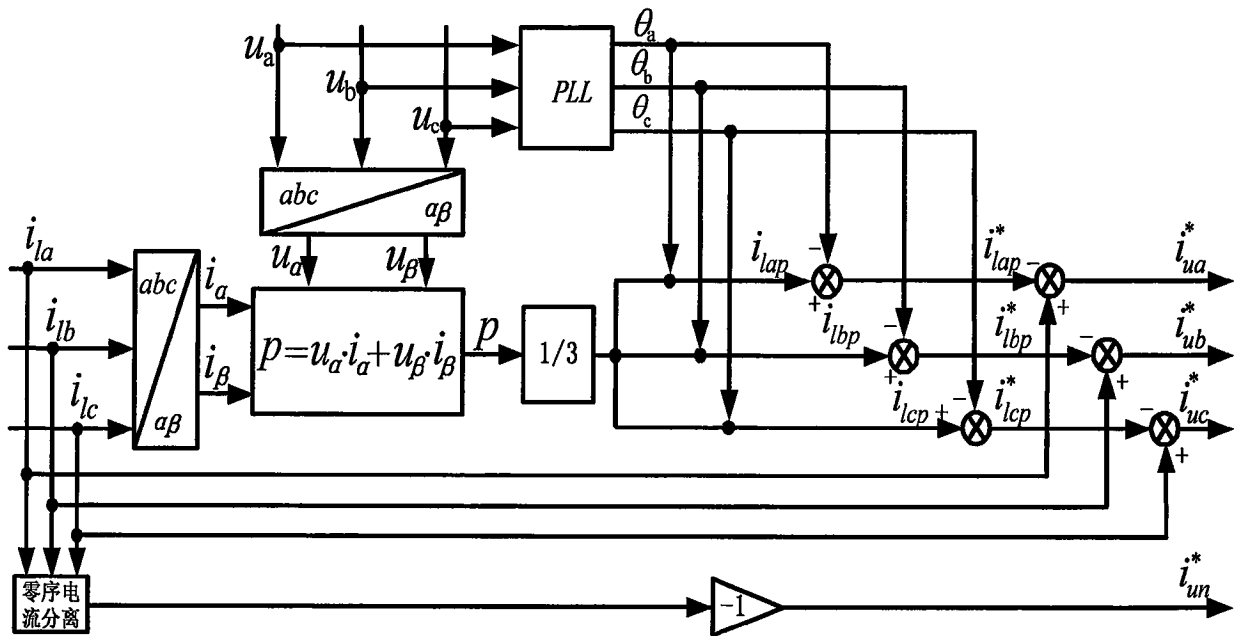
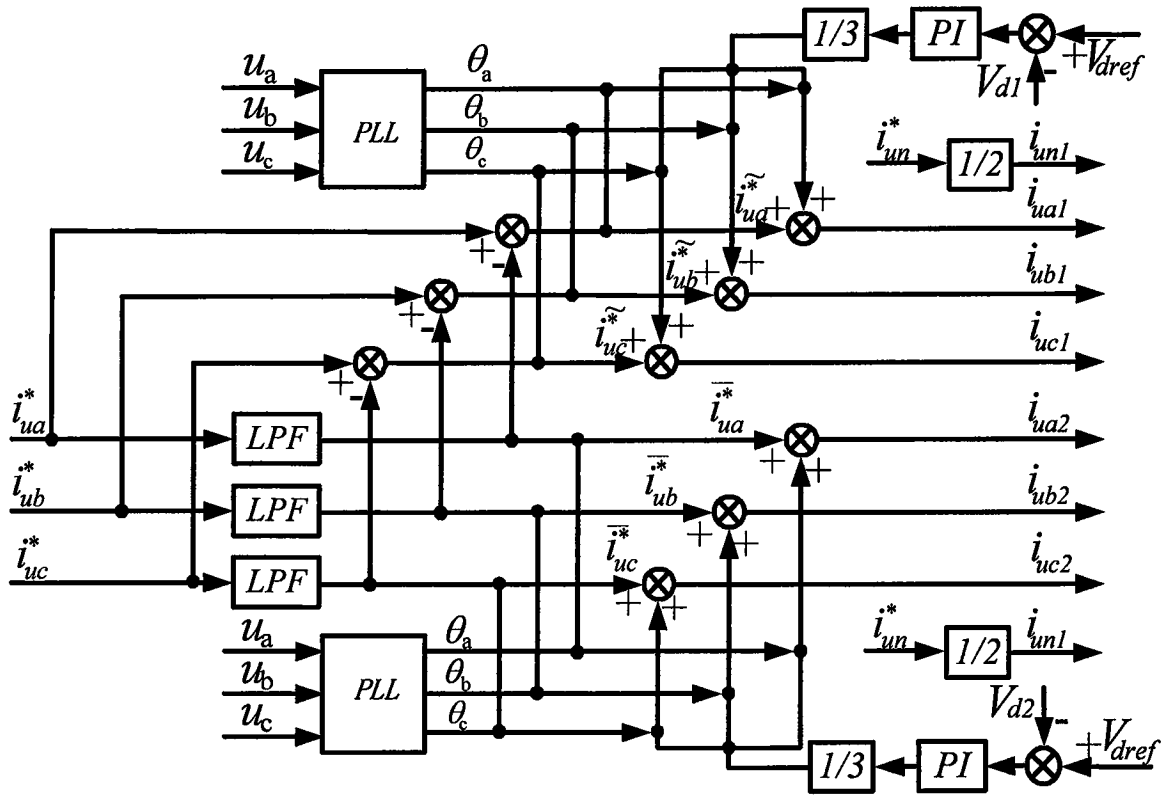


图3



(a)



(b)

图4

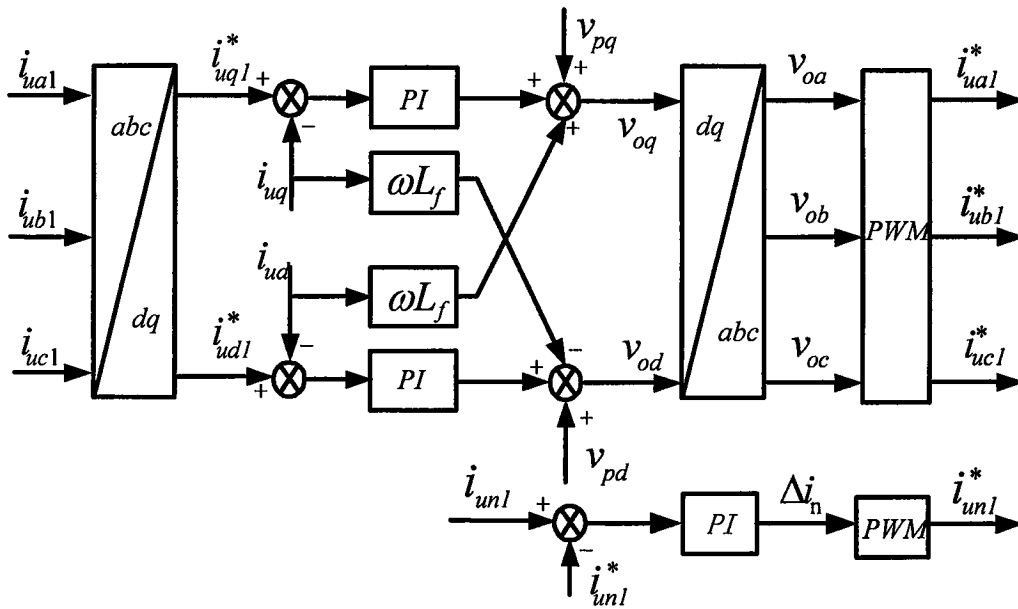


图5

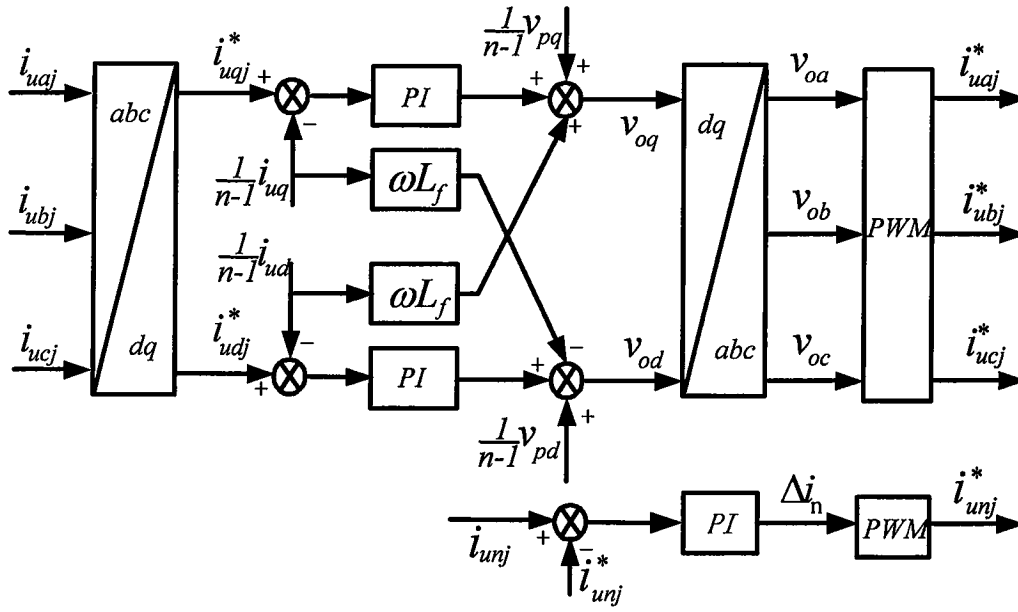


图6