



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102822763 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 22

(21) 申请号 201180018422. 6

(22) 申请日 2011. 04. 05

(30) 优先权数据

2010-091896 2010. 04. 13 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 10. 10

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2011/058567 2011. 04. 05

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/129223 JA 2011. 10. 20

(73) 专利权人 株式会社日立制作所

地址 日本东京都

(72) 发明人 井上重德 加藤修治

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 韩聪

(51) Int. Cl.

G05F 1/70 (2006. 01)

H02J 3/26 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 2008-199853 A, 2008. 08. 28, 说明书第 5-17 段、附图 1、2.

JP 2007-280358 A, 2007. 10. 25, 说明书第 11-21 段、附图 1、4.

JP 2008-271634 A, 2008. 11. 06, 说明书第 20 段.

CN 1305198 C, 2007. 03. 14, 全文.

CN 101051751 A, 2007. 10. 10, 全文.

审查员 王佳玉

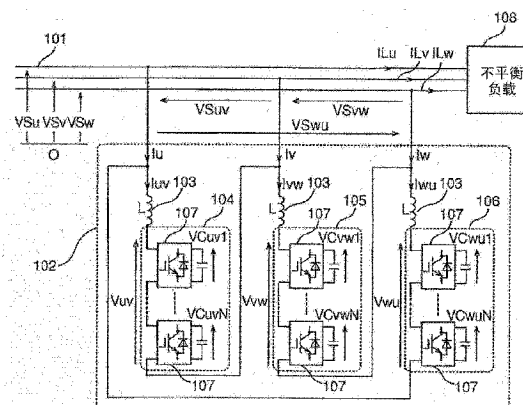
权利要求书2页 说明书10页 附图9页

(54) 发明名称

功率变换装置

(57) 摘要

本发明涉及一种功率变换装置,是由 3 个集群构成的三相功率变换装置,所述集群由一个或者多个单位单元的串联体构成,本发明提供该三相功率变换装置输出反相电流用的电路方式和控制法。功率变换装置在电力系统上联合了将集群和电抗器的串联体进行 Δ 连接而构成的 Δ 连接级联多电平变换器 (CMC),所述集群是一个或者多个单位单元的串联体,所述功率变换装置同时输出正相无功电流和反相电流,从而大致抵消基于与所述电力系统联合的其它不平衡负载的正相无功电流和反相电流。



1. 一种功率变换装置,在电力系统中联合了将集群和电抗器的串联体进行 Δ 连接而构成的 Δ 连接级联多电平变换器 (CMC),所述集群是一个或者多个单位单元的串联体,所述功率变换装置具有如下功能:

所述功率变换装置同时输出正相无功电流和反相电流,从而大致抵消基于与所述电力系统联合的其它不平衡负载的正相无功电流和反相电流,

对电力系统的电压的正相分量、功率变换装置的反相电流、各集群中流过的循环电流的指令值进行运算,并基于该指令值来控制循环电流。

2. 根据权利要求 1 所述的功率变换装置,其中,具有如下功能:

使各所述单位单元的直流电容器的两端电压平衡。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的功率变换装置,其中,具有如下功能:

将所述电力系统的电压的正相分量的相位角设为 ϕ_1 ,将所述功率变换装置的反相电流指令值或者实际的反相电流的有效值和相位角分别设为 I_2 、 δ_2 时,所述各集群流过具有大致用下式表示的有效值 I_0 和相位角 δ_0 的循环电流,

(式 1)

$$I_0 = I_2$$

(式 2)

$$\delta_0 = 2 \times \phi_1 - \delta_2 \pm \pi。$$

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的功率变换装置,其中,具有如下功能:

将所述电力系统的电压的正相分量的有效值和相位角分别设为 V_1 、 ϕ_1 ,将所述电力系统的电压的反相分量的有效值和相位角分别设为 V_2 、 ϕ_2 ,将向所述集群流动的电流的指令值或者实际的电流的正相分量的有效值和相位角分别设为 I_1 、 δ_1 ,将向所述集群流动的电流的指令值或者实际的电流的反相分量的有效值和相位角分别设为 I_2 、 δ_2 时,各集群输出具有大致用下式表示的有效值 I_0 和相位角 δ_0 的循环电流,

(式 3)

$$I_0 = -(I_1 \times V_2 \times \cos(\delta_1 - \phi_2) + I_2 \times V_1 \times \cos(\delta_2 - \phi_1)) / (V_1 \times \cos(\delta_0 - \phi_1) + V_2 \times \cos(\delta_0 - \phi_2))$$

(式 4)

$$\delta_0 = \tan^{-1}((I_1 \times V_2 \times (V_1 \times \sin(\delta_1 + \phi_1 - \phi_2) + V_2 \times \sin(\delta_1 - 2 \times \phi_2)) - I_2 \times V_1 \times (V_2 \times \sin(\delta_2 + \phi_2 - \phi_1) + V_1 \times \sin(\delta_2 - 2 \times \phi_1))) / (I_1 \times V_2 \times (V_1 \times \cos(\delta_1 + \phi_1 - \phi_2) + V_2 \times \cos(\delta_1 - 2 \times \phi_2)) - I_2 \times V_1 \times (V_2 \times \cos(\delta_2 + \phi_2 - \phi_1) - V_1 \times \cos(\delta_2 - 2 \times \phi_1))))。$$

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的功率变换装置,其中,

在检测所述电压、电流及其相位角 (V_1 , ϕ_1 , V_2 , ϕ_2 , I_1 , δ_1 , I_2 , δ_2) 时,使用以系统频率的半周期或者其整数倍为时间窗的移动平均运算。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的功率变换装置,其中,

所述单位单元是单相全桥电路。

-
7. 根据权利要求 1 或 2 所述的功率变换装置,其中,
与所述电抗器串联地连接了变压器。

功率变换装置

技术领域

[0001] 本发明涉及功率变换装置,尤其涉及由 3 个集群构成的三相功率变换装置,所述集群由一个或者多个单位单元的串联体构成。

背景技术

[0002] 级联多电平变换器(以下称为 CMC)是使用绝缘栅双极晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor,以下称为 IGBT)等的能够导通/截止控制的开关元件,能够输出所述开关元件的耐压以上的电压的电路方式。根据非专利文献 1,CMC 是将 3 个多个单位单元的串联体即集群和电抗器的串联体进行星型连接而构成的。

[0003] 根据非专利文献 1,各单位单元是单相全桥电路,具备多个开关元件和直流电容器。单位单元通过控制开关元件的导通/截止,从而输出直流电容器的两端电压(以下称为直流电压)、直流电压的反极性的电压、或者零电压。

[0004] 各集群是一个或者多个单位单元的串联体,所以各集群的输出电压(以下称为集群电压)是该集群中包含的一个或者多个单位单元的输出电压之和。在各集群包含多个单位单元的情况下,通过适当移动该集群内的各单位单元的开关时机,能够使集群电压为多电平波形。因此,通过增加各集群中包含的单位单元的个数,能够降低集群电压的高次谐波分量。

[0005] 非专利文献 1 示出了将 CMC 与电力系统联合,基于 CMC 的自激式无功功率补偿装置(以下称为 CMC-STATCOM)的实验结果。

[0006] 现有技术文献

[0007] 非专利文献

[0008] 非专利文献 1:吉井・井上・赤木:“无变压器的级联 PWM STATCOM 的直流电压控制法的研究”,电气学会半导体功率变换・产业电力电机应用研究会资料,SPC-07-115/IEA-07-38, pp. 32-36。

发明内容

[0009] (发明要解决的课题)

[0010] 在电弧炉等不平衡负载与电力系统联合的情况下,由于从不平衡负载流出的反相电流,会在电力系统的阻抗中发生不平衡的电压下降,结果在附近的电力系统的电压(以下称为系统电压)中引起不平衡。

[0011] 作为用于抑制由不平衡负载引起的系统电压的不平衡的一个方法,存在如下方法:在不平衡负载的附近联合功率变换装置,使输出与所述不平衡负载的反相电流相位相反的反相电流。

[0012] 但是,在非专利文献 1 中,公开了 CMC-STATCOM 仅输出正相无功电流的实验结果,关于输出反相电流的情况的电路方式、控制方法没有公开。

[0013] (用于解决课题的手段)

[0014] 在将 3 个集群星型连接的 CMC 输出反相电流的情况下,会在流入各集群的有功功率中产生不平衡,所以各集群中包含的单位单元的直流电压继续上升或者下降。

[0015] 为了解决上述课题,本发明提供以下的解决方案。

[0016] 本发明提供一种将 Δ 连接级联多电平变换器 (CMC) 与电力系统联合的功率变换装置,所述 Δ 连接级联多电平变换器 (CMC) 将一个或者多个单位单元的串联体即集群和电抗器的串联体进行 Δ 连接而构成。

[0017] 此外,本发明提供一种功率变换装置,在电力系统中联合了将集群和电抗器的串联体进行 Δ 连接而构成的 Δ 连接级联多电平变换器 (CMC),所述集群是一个或者多个单位单元的串联体,所述功率变换装置具有如下功能:所述功率变换装置同时输出正相无功电流和反相电流,从而大致抵消基于与电力系统联合的其它不平衡负载的正相无功电流和反相电流。

[0018] 此外,本发明提供一种功率变换装置,使电力系统与将集群和电抗器的串联体进行 Δ 连接而构成的 Δ 连接级联多电平变换器 (CMC) 联合,所述集群是一个或者多个单位单元的串联体,所述功率变换装置具有如下功能:使所述各单位单元的直流电容器的两端电压平衡。

[0019] 此外,本发明提供一种功率变换装置,使电力系统与将集群和电抗器的串联体进行 Δ 连接而构成的 Δ 连接级联多电平变换器 (CMC) 联合,所述集群是一个或者多个单位单元的串联体,所述功率变换装置具有如下功能:将所述电力系统的电压的正相分量的相位角设为 $\phi 1$,将所述功率变换装置的反相电流指令值或者实际的反相电流的有效值和相位角分别设为 $I 2$ 、 $\delta 2$ 时,所述各集群流过具有大致用下式表示的有效值 $I 0$ 和相位角 $\delta 0$ 的循环电流,

[0020] (式 1)

[0021] $I 0 = I 2$

[0022] (式 2)

[0023] $\delta 0 = 2 \times \phi 1 - \delta 2 \pm \pi$ 。

[0024] 此外,本发明提供一种功率变换装置,使电力系统与将集群和电抗器的串联体进行 Δ 连接而构成的 Δ 连接级联多电平变换器 (CMC) 联合,所述集群是一个或者多个单位单元的串联体,所述功率变换装置具有如下功能:将所述电力系统的电压的正相分量的有效值和相位角分别设为 $V 1$ 、 $\phi 1$,将所述电力系统的电压的反相分量的有效值和相位角分别设为 $V 2$ 、 $\phi 2$,将向所述集群流动的电流的指令值或者实际的电流的正相分量的有效值和相位角分别设为 $I 1$ 、 $\delta 1$,将向所述集群流动的电流的指令值或者实际的电流的反相分量的有效值和相位角分别设为 $I 2$ 、 $\delta 2$ 时,各集群输出具有大致用下式表示的有效值 $I 0$ 和相位角 $\delta 0$ 的循环电流,

[0025] (式 3)

[0026] $I 0 = -(I 1 \times V 2 \times \cos(\delta 1 - \phi 2) + I 2 \times V 1 \times \cos(\delta 2 - \phi$

[0027] $1)) / (V 1 \times \cos(\delta 0 - \phi 1) + V 2 \times \cos(\delta 0 - \phi 2))$

[0028] (式 4)

[0029] $\delta 0 = \tan^{-1}((I 1 \times V 2 \times (V 1 \times \sin(\delta 1 + \phi 1 - \phi 2) + V 2 \times$

[0030] $\sin(\delta 1 - 2 \times \phi 2)) - I 2 \times V 1 \times (V 2 \times \sin(\delta 2 + \phi 2$

[0031] $-\phi 1)+V1 \times \sin(\delta 2-2 \times \phi 1)))/(I1 \times V2 \times$
[0032] $(V1 \times \cos(\delta 1+\phi 1-\phi 2)+V2 \times \cos(\delta 1-2 \times \phi 2$
[0033] $))-I2 \times V1 \times (V2 \times \cos(\delta 2-\phi 2+\phi 1)-V1 \times \cos$
[0034] $(\delta 2-2 \times \phi 1)))$ 。

[0035] 此外,本发明提供一种功率变换装置,使电力系统与将集群和电抗器的串联体进行 Δ 连接而构成的 Δ 连接级联多电平变换器(CMC)联合,所述集群是一个或者多个单位单元的串联体,在检测 $V1, \phi 1, V2, \phi 2, I1, \delta 1, I2, \delta 2$ 时,使用以系统频率的半周期或者其整数倍为时间窗的移动平均运算。

[0036] (发明效果)

[0037] 通过如本发明那样控制所述循环电流的振幅和相位,在各集群中同时流动正相无功电流和反相电流的状态下,3个集群的电压和电流分别正交。因此,在各集群中不流入有功功率。

[0038] 因此,根据本发明,使用3个由一个或多个单位单元的串联体即集群和电抗器的串联体构成的功率变换装置,能够进行不平衡负载的正相无功电流和反相电流的补偿。

附图说明

[0039] 图1是 Δ 连接 CMC-STATCOM 主电路图。
[0040] 图2是全桥形单位单元。
[0041] 图3是控制框图。
[0042] 图4是补偿电流指令值运算器。
[0043] 图5是前馈运算器。
[0044] 图6是集群平衡控制部。
[0045] 图7是本发明的波形例。
[0046] 图8是反相电压对应形前馈运算器。
[0047] 图9是使用实际电流的控制模块。
[0048] 图10是使用实际电流的前馈运算器。

具体实施方式

[0049] 以下,使用附图来说明本发明的实施例。

[0050] 实施例1

[0051] 对本发明的第1实施例进行说明。

[0052] 在实施例1中,使用由集群和电抗器的3个串联体构成的功率变换装置,能够进行不平衡负载的正相无功电流和反相电流的补偿,所述集群是一个或多个单位单元的串联体。

[0053] 以下,使用图1来说明实施例1的整体结构。

[0054] 与电力系统101连接的功率变换装置102由3个电抗器103、uv相集群104、vw相集群105、wu相集群106构成。在本说明书中,有时不区分uv、vw、wu相集群104~106,仅称为集群。

[0055] 在各集群104~106的每一个上串联连接有电抗器103。uv相集群104和电抗器

103 的串联体的一端连接于电力系统的 u 相,另一端连接于 v 相。vw 相集群 105 和电抗器 103 的串联体的一端连接于电力系统的 v 相,另一端连接于 w 相。wu 相集群 106 和电抗器 103 的串联体的一端连接于电力系统的 w 相,另一端连接于 u 相。

[0056] 各集群 104 ~ 106 的每一个是一个或者多个单位单元 107 的串联体。图 1 中在各单元连接了 N 个单位单元。在各集群 104 ~ 106 中,按照从靠近电抗器 103 的一侧开始为第 1 单元、第 2 单元的方式附加编号。对于单位单元 107 的内部结构在后面叙述。

[0057] 在电力系统 101 上连接了不平衡负载 108。不平衡负载 108 从电力系统 101 引入正相有功电流、正相无功电流、反相电流的全部或者任意组合。

[0058] 以下,定义各电压、电流。

[0059] 将电力系统 101 的相电压设为 V_{Su} 、 V_{Sv} 、 V_{Sw} 。另外,0 点是 $V_{Su}+V_{Sv}+V_{Sw}=0$ 的假想中性点。此外,将电力系统 101 的线间电压设为 V_{Suv} 、 V_{Svw} 、 V_{Swu} 。

[0060] 将从电力系统 101 向功率变换装置 102 流动的电流设为 I_u 、 I_v 、 I_w 。此外,将向电抗器 103 和各集群 104 ~ 106 中流动的电流设为 I_{uv} 、 I_{vw} 、 I_{wu} 。

[0061] 将各集群 104 ~ 106 的输出电压(集群电压)分别设为 V_{uv} 、 V_{vw} 、 V_{wu} 。

[0062] 进而,将各集群 104 ~ 106 中包含的单位单元的直流电压设为 V_{Cij} 。其中, $i = uv, vw, wu$,若将各集群中包含的单位单元 107 的个数设为 N,则 $j = 1, 2, \dots, N$ 。

[0063] 以下,使用图 2 来说明单位单元 107 的内部构成。另外,图 2 图示了 i 相第 j 单元($i = uv, vw, wu; j = 1, 2, \dots, N$)。

[0064] 单位单元 107 是由 x 相上侧元件 201、x 相下侧元件 202、y 相上侧元件 203、y 相下侧元件 204、直流电容器 205 构成的单相全桥电路,通过控制各元件 201 ~ 204 的开关,作为以 y 点为基准的 x 点的电压 V_{ij} ,输出 $V_{ij} = 0$, $V_{ij} = V_{Cij}$ 、或者 $V_{ij} = -V_{Cij}$ 。

[0065] 另外,在图 2 中,用 IGBT 的记号图示了各元件 201 ~ 204,但是只要是能够控制导通/截止的开关元件,就可以代替 IGBT 来使用,例如门控晶闸管(Gate Turn-Off Thyristor, GTO),门极换流晶闸管(Gate-Commutated Turn-Off Thyristor, GCT),金属氧化物半导体场效应晶体管(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, MOSFET)等。

[0066] 图 1 的各集群 104 ~ 106 是 M 个单位单元 107 的串联体。因此,各集群电压 V_{uv} 、 V_{vw} 、 V_{wu} 分别是 M 个单位单元 107 的输出电压 V_{ij} 之和,可写作 $V_{uv} = V_{uv1}+V_{uv2}+\dots+V_{uvN}$, $V_{vw} = V_{vw1}+V_{vw2}+\dots+V_{vwN}$, $V_{wu} = V_{wu1}+V_{wu2}+\dots+V_{wuN}$ 。

[0067] 因此,通过对各单位单元进行脉宽调制(Pulse-Width Modulation, PWM)控制,能够控制各集群电压 V_{uv} 、 V_{vw} 、 V_{wu} 。

[0068] 在没有特别说明的情况下,本说明书着眼于集群电压 V_{uv} 、 V_{vw} 、 V_{wu} 、电抗器 103 和集群 104 ~ 106 中流动的电流 I_{uv} 、 I_{vw} 、 I_{wu} 中包含的基波分量来对发明的原理和效果进行说明。

[0069] 以下,使用图 3 来说明本发明的功率变换装置的控制方法和本发明的原理。另外,图 3 是表示图 1 中没有图示的控制装置内的控制模块的图。

[0070] 控制装置检测电力系统 101 的线间电压 V_{Suv} 、 V_{Svw} 、 V_{Swu} ,并且通过对它们进行正相 dq 变换,从而获得正相 d 轴电压 V_d 和正相 q 轴电压 V_q 。此外,控制装置检测向电抗器流动的电流 I_{uv} 、 I_{vw} 、 I_{wu} ,并且通过对它们进行正相 dq 变换,从而获得正相 d 轴电流 I_{d1} 和

正相 q 轴电流 I_{q1} 。进而,控制装置检测向电抗器流动的电流 I_{uv} 、 I_{vw} 、 I_{wu} ,并且通过对它们进行反相 dq 变换,从而获得反相 d 轴电流 I_{d2} 和反相 q 轴电流 I_{q2} 。将所获得的 V_d 、 V_q 、 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} 提供给电流控制器 308。

[0071] 另外,在本说明书中,设正相 dq 变换模块 306 和反相 dq 变换模块的基准相位角与全部电力系统 101 的 uv 相线间电压 V_{Suv} 大致同步。

[0072] 电流控制器运算来自电流控制器的各集群电压指令值 V_{uvcc}^* 、 V_{vwcc}^* 、 V_{wucc}^* ,使得电流 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} 与各自的指令值 I_{d1}^* 、 I_{q1}^* 、 I_{d2}^* 、 I_{q2}^* 一致。

[0073] 正相 d 轴电流指令值 I_{d1}^* 和其他电流指令值 I_{q1}^* 、 I_{d2}^* 、 I_{q2}^* 采用不同的方法来提供。

[0074] 正相 d 轴电流指令值 I_{d1}^* 由全平均直流电压控制部 303 提供。

[0075] 正相 q 轴电流指令值 I_{q1}^* 、反相 d 轴电流指令值 I_{d2}^* 、反相 q 轴电流指令值 I_{q2}^* 由不平衡负载 108 的电流(以下称为负载电流) I_{Lu} 、 I_{Lv} 、 I_{Lw} 通过补偿电流指令值运算部 305 来提供。对于补偿电流指令值运算部 305 的内部构成,后面叙述。

[0076] 控制装置检测各单位单元 107 的直流电压 V_{Cuvj} 、 V_{Cvwj} 、 V_{Cwuj} ,并且使它们通过低通滤波器(以下称为 LPF) 301 来获得 V_{Cuvfj} 、 V_{Cvwfj} 、 V_{Cwufj} ($j = 1, 2, \dots, N$)。

[0077] 平均值运算器 302 按照下式运算各集群内的直流电压的平均值(以下称为集群平均直流电压) V_{Cu} 、 V_{Cv} 、 V_{Cw} 。

[0078] (式 5)

[0079] $V_{Cuv} = (V_{Cuvf1} + V_{Cuvf2} + \dots + V_{CuvfN}) / N$

[0080] $V_{Cvw} = (V_{Cvwf1} + V_{Cvwf2} + \dots + V_{CvwfN}) / N$

[0081] $V_{Cwu} = (V_{Cwuf1} + V_{Cwuf2} + \dots + V_{CwufN}) / N$

[0082] 全平均直流电压控制部 303 运算 V_{Cuv} 、 V_{Cvw} 、 V_{Cwu} 的平均值(以下称为全平均直流电压) $V_C = (V_{Cuv} + V_{Cvw} + V_{Cwu}) / 3$,对指令值 V_C^* 和 V_C 的误差乘以全平均直流电压控制增益 304 来运算正相 d 轴电流指令值 I_{d1}^* ,并且将其提供给电流控制器 308。

[0083] 前馈运算器 310 根据反相 d 轴电流指令值 I_{d2}^* 、反相 q 轴电流指令值 I_{q2}^* 、和系统电压 V_{Suv} 、 V_{Svw} 、 V_{Swu} ,运算各集群 104 ~ 106 的流入流出有功功率成为零的循环电流指令值前馈项 I_{OFF}^* 。

[0084] 集群平衡控制部 311 根据集群平均直流电压 V_{Cuv} 、 V_{Cvw} 、 V_{Cwu} 和全平均直流电压 V_C ,运算集群平衡控制中使用的循环电流指令值反馈项 I_{OFB}^* 。由此,集群平衡控制部 311 提供使各单位单元的直流电压平衡的功能。对于集群平衡控制部 311 的内部构成,后面叙述。

[0085] 循环电流控制部 312 将循环电流指令值前馈项 I_{OFF}^* 和循环电流指令值反馈项 I_{OFB}^* 之和 ($I_{OFF}^* + I_{OFB}^*$) 与实际的循环电流 I_0 相比较,并且乘以循环电流控制增益 313 来运算零相电压指令值 V_0 。进而,将所获得的 V_0 与来自电流控制器的各集群电压指令值 V_{uvcc}^* 、 V_{vwcc}^* 、 V_{wucc}^* 相加,获得集群电压指令值 V_{uv}^* 、 V_{vw}^* 、 V_{wu}^* 。

[0086] 电压指令值分配器 309 使集群电压指令值 V_{uv}^* 、 V_{vw}^* 、 V_{wu}^* 分别除以单元数 N ,向各单位单元 107 分配输出电压指令 V_{ij}^* ($i = uv, vw, wu, j = 1, 2, \dots, N$)。

[0087] 以下,使用图 4 来说明补偿电流指令值运算部 305 的内部构成。

[0088] 补偿电流指令值运算部 305 检测负载电流 I_{Lu} 、 I_{Lv} 、 I_{Lw} ,并且通过正相 dq 变换模

块和移动平均运算器 401 来运算正相 d 轴电流 $\langle ILd1 \rangle$ 、正相 q 轴电流 $\langle ILq1 \rangle$ 。此外,根据 ILu 、 ILv 、 ILw ,通过反相 dq 变换模块和移动平均运算器 401 来运算反相 d 轴电流 $\langle ILd1 \rangle$ 、反相 q 轴电流 $\langle ILq1 \rangle$ 。这里,移动平均运算器 401 的时间窗是系统的半周期或者其整数倍。

[0089] 所获得的 $\langle ILd1 \rangle$ 、 $\langle ILq1 \rangle$ 、 $\langle ILd2 \rangle$ 、 $\langle ILq2 \rangle$ 中除了 $\langle ILd1 \rangle$ 之外剩下的 3 个,使电力系统 101 的未图示的上位阻抗的电抗成分发生电压下降。

[0090] 负载的正相 q 轴电流 $\langle ILq1 \rangle$ 使系统电压的振幅变化。此外,负载的反相 d 轴、q 轴电流 $\langle ILd2 \rangle$ 、 $\langle ILq2 \rangle$ 使系统电压的不平衡率增加。因此,希望从功率变换装置 102 输出与 $\langle ILq1 \rangle$ 、 $\langle ILd2 \rangle$ 、 $\langle ILq2 \rangle$ 反相位的电流,抑制系统电压的振幅的变化、和不平衡率的增加。

[0091] 因此,用下式提供功率变换装置 102 的电流指令值 I_{q1}^* 、 I_{d2}^* 、 I_{q2}^* 。

[0092] (式 6)

$$[0093] \quad I_{q1}^* = -\langle ILq1 \rangle$$

$$[0094] \quad I_{d2}^* = -\langle ILd2 \rangle$$

$$[0095] \quad I_{q2}^* = -\langle ILq2 \rangle$$

[0096] 如前所述,电流控制器 308 进行使实际的电流 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} 与被提供的电流指令值 I_{q1}^* 、 I_{d2}^* 、 I_{q2}^* 一致的控制。

[0097] 以下,使用图 5 来说明前馈运算器 310 的内部构成。

[0098] 前馈运算器 310 通过正交坐标 / 极坐标变换模块 501,根据所提供的电流指令值 I_{d2}^* 、 I_{q2}^* 的矢量 $[I_{d2}^*, I_{q2}^*]$ 的大小和偏角,获得反相电流有效值 I_2 、正相电流相位角 δ_2 。

[0099] 此外,前馈运算器 310 使用正相 dq 变换模块 306 对电力系统 101 的相电压 V_{Su} 、 V_{Sv} 、 V_{Sw} 进行反相 dq 变换,进而通过移动平均运算器 401,运算以系统半周期为时间窗的移动平均,获得正相 d 轴电压 $\langle Vd1 \rangle$ 、正相 q 轴电压 $\langle Vq1 \rangle$ 。进而,通过正交坐标 / 极坐标变换模块 501,根据矢量 $[\langle Vd2 \rangle, \langle Vq2 \rangle]$ 的大小和偏角,获得正相电压有效值 V_1 、反相电压相位角 ϕ_1 。

[0100] 发明人们发现为了使各集群 104 ~ 106 的流入有功功率为零,只要使具有根据以上获得的 I_2 、 δ_2 、 V_1 、 ϕ_1 用下式表示的有效值 I_0 和相位角 δ_0 的循环电流指令值前馈项 I_{0FF}^* 流入集群即可。

[0101] 对于本发明的机制,后面叙述。

[0102] (式 7)

$$[0103] \quad I_0 = I_2$$

[0104] (式 8)

$$[0105] \quad \delta_0 = 2 \times \phi_1 - \delta_2 \pm \pi$$

[0106] 上式如下式那样书写,在数学上也是等效的,在图 5 中描绘了使用了下式的框图。

[0107] (式 9)

$$[0108] \quad I_0 = -I_2$$

[0109] (式 10)

$$[0110] \quad \delta_0 = 2 \times \phi_1 - \delta_2$$

[0111] 正弦波发生器 502 产生循环电流指令值前馈项 I_{0FF}^* ,作为具有有效值 I_0 、相位角 δ_0 的正弦波信号。

[0112] 前馈运算器 310 即使不采用与图 4 所示的模块完全相同的算法,只要能够输出与(式 7)~(式 10)在数学上等价的信号,则也能够采用其他算法。

[0113] 以下,使用图 6 来说明集群平衡控制部 311 的内部构成。

[0114] 集群平衡控制部 311 运算被提供的全平均直流电压 VC 与集群平均直流电压 VC_{uv} 、 VC_{vw} 、 VC_{wu} 之差即 ΔVC_{uv} 、 ΔVC_{vw} 、 ΔVC_{wu} 。使用 $\alpha\beta$ 变换模块 601 对所获得的 ΔVC_{uv} 、 ΔVC_{vw} 、 ΔVC_{wu} 进行 $\alpha\beta$ 变换,作为 $\alpha\beta$ 轴上的矢量而得到 $[\Delta VC_{\alpha}, \Delta VC_{\beta}]$ 。进而,通过正交坐标/极坐标变换模块 602,运算矢量 $[\Delta VC_{\alpha}, \Delta VC_{\beta}]$ 的大小 ΔVC 和偏角 ξ 。

[0115] 此外,集群平衡控制部 311 根据被提供的正相 d 轴电压 V_d 和正相 q 轴电压 V_q 的矢量 $[V_d, V_q]$,通过正交坐标/极坐标变换模块 501 运算矢量 $[V_d, V_q]$ 的偏角 ϕ_1 、即系统 uv 相线间电压的相位角。

[0116] 正弦波发生器 502 输出循环电流指令值反馈项 I_{OFB}^* ,作为具有将 ΔVC 和集群平衡控制增益 603 相乘而得到的有效值 I_0 和相位角 $\delta_0 = \phi_1 - \xi$ 的正弦波信号。

[0117] 以下,对于由本发明获得的效果,使用图 7 来进行说明。

[0118] 图 7 是进行了本发明的控制的情况的各部的概略波形,从上到下是:电力系统 101 的线间电压 V_{Suv} 、 V_{Svw} 、 V_{Swu} 的概略波形;向电抗器 103 和各集群 104~106 流动的电流 I_{uv} 、 I_{vw} 、 I_{wu} 的概略波形;循环电流 $(I_{OFF}+I_{OFB})$ 的概略波形;直流电压 VC_{uvj} 、 VC_{vwj} 、 VC_{wuj} 的概略波形;通过 LPF301 而观测到的直流电压 VC_{uvfj} 、 VC_{vwfj} 、 VC_{wufj} 的概略波形。另外,图 7 假设循环电流指令值 I_0 理想地追随于指令值 $(I_{OFF}^*+I_{OFB}^*)$ 而进行了描绘。

[0119] 此外,图 7 的横轴是时间或者相位角,纵轴用任意单位 (arbitrary unit :a.u.) 表示了电压、电流的振幅。

[0120] 在电流 I_{uv} 、 I_{vw} 、 I_{wu} 含有反相电流的期间,流动循环电流 I_0 。

[0121] 以下说明本发明的机制。

[0122] 通过使由循环电流控制部 312 控制的循环电流 I_0 与电抗器 103 和各集群 104~106 的电流 I_{uv}^* 、 I_{vw}^* 、 I_{wu}^* 叠加,从而 V_{uv} 与 I_{uv} 的相位差、 V_{vw} 与 I_{vw} 的相位差、 V_{wu} 与 I_{wu} 的相位差即使在 I_{uv} 、 I_{vw} 、 I_{wu} 中含有反相分量的情况下也为 90° 。即,各集群中流入流出的有功功率成为零。因此,各集群的流入流出有功功率成为零,能够抑制直流电压不平衡的发生。

[0123] 在本发明中,零相反馈项 I_{OFB}^* 用于抑制由使用部件的特性偏差等引起的直流电压不平衡的发生。

[0124] 在本实施例的功率变换装置 102 中,各集群 104~106 通过电抗器 103 连接于电力系统 101。

[0125] 本发明也可以适用于各集群 104~106 通过变压器来代替电抗器 103 连接于电力系统 101 的情况。

[0126] 此外,本发明也可以适用于各集群 104~106 通过电抗器 103 和变压器连接于电力系统 101 的情况。

[0127] 实施例 2

[0128] 针对本发明的第 2 实施例进行说明。

[0129] 在实施例 1 中,向前馈运算器 310 提供了反相电流指令值 I_{d2}^* 、 I_{q2}^* 。另一方面,在实施例 2 中,代替 I_{d2}^* 、 I_{q2}^* ,提供实际的反相电流 I_{d2} 、 I_{q2} 。

[0130] 据此,即使在由于某些干扰,电流控制器 308 不能按照意图对电流进行控制的情况下,即在 $I_{d2} \neq I_{d2}^*$ 、 $I_{q2} \neq I_{q2}^*$ 的情况下,也能够获得使流入各集群 104 ~ 106 的有功功率大致为零的效果。

[0131] 实施例 1 和实施例 2 的不同点是控制模块和前馈运算器。因此,以下使用图 8 和图 9 来说明实施例 2 的控制模块和前馈运算器。

[0132] 在图 8 的控制模块中,将电流 I_{uv} 、 I_{vw} 、 I_{wu} 提供给前馈运算器 801。

[0133] 接下来,使用图 9 来说明前馈运算器 801 的内部构成。

[0134] 前馈运算器 801 使用反相 dq 变换模块 307 对电流 I_{uv} 、 I_{vw} 、 I_{wu} 进行反相 dq 变换,进而通过移动平均运算器 401 运算以系统半周期为时间窗的移动平均,获得反相 d 轴电流 $\langle I_{d2} \rangle$ 和反相 q 轴电流 $\langle I_{q2} \rangle$ 。进而,通过正交坐标 / 极坐标变换模块 501,根据矢量 $[\langle I_{d2} \rangle, \langle I_{q2} \rangle]$ 的大小和偏角得到反相电流的有效值 I_2 和相位角 δ_2 。

[0135] 此外,前馈运算器 801 使用正相 dq 变换模块 306 对电力系统 101 的相电压 V_{Su} 、 V_{Sv} 、 V_{Sw} 进行反相 dq 变换,进而通过移动平均运算器 401 运算以系统半周期为时间窗的移动平均,得到正相 d 轴电压 $\langle V_{d1} \rangle$ 、正相 q 轴电压 $\langle V_{q1} \rangle$ 。进而,通过正交坐标 / 极坐标变换模块 501,根据矢量 $[\langle V_{d1} \rangle, \langle V_{q1} \rangle]$ 的大小和偏角得到正相电压有效值 V_1 、反相电压相位角 ϕ_1 。

[0136] 发明人们发现为了使各集群 104 ~ 106 的流入有功功率为零,使具有根据以上获得的 I_2 、 δ_2 、 V_1 、 ϕ_1 用下式表示的有效值 I_0 和相位角 δ_0 的循环电流指令值前馈项 I_{OFF}^* 流入集群即可。

[0137] (式 11)

[0138] $I_0 = I_2$

[0139] (式 12)

[0140] $\delta_0 = 2 \times \phi_1 - \delta_2 \pm \pi$

[0141] 上式如下式那样书写,在数学上也是等效的,在图 5 中描绘了使用下式的框图。

[0142] (式 13)

[0143] $I_0 = -I_2$

[0144] (式 14)

[0145] $\delta_0 = 2 \times \phi_1 - \delta_2$

[0146] 正弦波发生器 502 产生循环电流指令值前馈项 I_{OFF}^* ,作为具有有效值 I_0 、相位角 δ_0 的正弦波信号。

[0147] 除了以上所说明的控制模块(图 3)和前馈运算器 801 以外,与实施例 1 相同。

[0148] 实施例 3

[0149] 针对本发明的第 3 实施例进行说明。

[0150] 在实施例 3 中,电力系统 101 的电压为三相不平衡,即使在含有反相分量的情况下,也可以与实施例 1、2 同样地获得能够使各集群 104 ~ 106 的流入流出有功功率为零的效果。

[0151] 实施例 3 的特征在于,将实施例 2 的图 9 所示的前馈运算器 801 置换为图 10 所示的反相电压对应形前馈运算器 1001。

[0152] 反相电流对应形前馈运算器 1001 使电流 I_{uv} 、 I_{vw} 、 I_{wu} 通过正相 dq 变换模块 306、

移动平均运算器 401 从而获得正相 d 轴电流 $\langle Id1 \rangle$ 、正相 q 轴电流 $\langle Iq1 \rangle$ 。进而,通过正交坐标 / 极坐标变换器 501 根据矢量 $[\langle Id1 \rangle, \langle Iq1 \rangle]$ 的大小和偏角得到正相电流有效值 $I1$ 、正相电流相位角 $\delta 1$ 。

[0153] 反相电流对应形前馈运算器 1001 使电流 Iu 、 Iv 、 Iw 通过反相 dq 变换模块 307、移动平均运算器 401 从而获得反相 d 轴电流 $\langle Id2 \rangle$ 、反相 q 轴电流 $\langle Iq2 \rangle$ 。进而,通过正交坐标 / 极坐标变换器 501 根据矢量 $[\langle Id2 \rangle, \langle Iq2 \rangle]$ 的大小和偏角得到反相电流有效值 $I2$ 、反相电流相位角 $\delta 2$ 。

[0154] 反相电流对应形前馈运算器 1001 使电压 $VSuv$ 、 $VSvw$ 、 $VSuw$ 通过正相 dq 变换模块 306、移动平均运算器 401 从而获得正相 d 轴电压 $\langle Vd1 \rangle$ 、正相 q 轴电压 $\langle Vq1 \rangle$ 。进而,通过正交坐标 / 极坐标变换器 501 根据矢量 $[\langle Vd1 \rangle, \langle Vq1 \rangle]$ 的大小和偏角得到正相电压有效值 $V1$ 、正相电压相位角 $\phi 1$ 。

[0155] 反相电流对应形前馈运算器 1001 使电压 $VSuv$ 、 $VSvw$ 、 $VSuw$ 通过反相 dq 变换模块 307、移动平均运算器 401 从而获得反相 d 轴电压 $\langle Vd2 \rangle$ 、反相 q 轴电压 $\langle Vq2 \rangle$ 。进而,通过正交坐标 / 极坐标变换器 501 根据矢量 $[\langle Vd2 \rangle, \langle Vq2 \rangle]$ 的大小和偏角得到正相电压有效值 $V2$ 、正相电压相位角 $\phi 2$ 。

[0156] 发明人们发现即使在电压 $VSuv$ 、 $VSvw$ 、 $VSuw$ 含有反相分量的情况下,通过将具有用下式表示的有效值 $I0$ 和相位角 $\delta 0$ 的循环电流指令值前馈项 $I0FF^*$ 提供给循环电流控制部 312,从而能够使各集群的流入流出有功功率为零。

[0157] (式 14)

[0158] $I0 = -(I1 \times V2 \times \cos(\delta 1 - \phi 2) + I2 \times V1 \times \cos(\delta 2 - \phi$

[0159] $1)) / (V1 \times \cos(\delta 0 - \phi 1) + V2 \times \cos(\delta 0 - \phi 2))$

[0160] (式 15)

[0161] $\delta 0 = \tan^{-1}((I1 \times V2 \times (V1 \times \sin(\delta 1 + \phi 1 - \phi 2) + V2 \times$

[0162] $\sin(\delta 1 - 2 \times \phi 2)) - I2 \times V1 \times (V2 \times \sin(\delta 2 + \phi 2$

[0163] $- \phi 1) + V1 \times \sin(\delta 2 - 2 \times \phi 1))) / (I1 \times V2 \times$

[0164] $(V1 \times \cos(\delta 1 + \phi 1 - \phi 2) + V2 \times \cos(\delta 1 - 2 \times \phi 2$

[0165] $) - I2 \times V1 \times (V2 \times \cos(\delta 2 - \phi 2 + \phi 1) - V1 \times \cos$

[0166] $(\delta 2 - 2 \times \phi 1)))$

[0167] 若使具有用上式表示的有效值 $I0$ 和相位角 $\delta 0$ 的零相叠加到流过集群的电流 Iuv 、 Ivw 、 Iwu ,则 Vuv 与 Iuv 的相位差、 Vvw 与 Ivw 的相位差、 Vwu 与 Iwu 的相位差全部变为 90° 。即,对各集群流入流出的有功功率成为零,能够抑制直流电压不平衡的发生。

[0168] 另外,前馈运算器 1001 即使不采用与图 10 所示的模块完全相同的算法,只要能够输出与(式 14)、(式 15)在数学上等价的信号,则也可以采用其他算法。

[0169] 在本实施例的功率变换装置 102 中,各集群 104 ~ 106 通过电抗器 103 连接于电力系统 101。

[0170] 本发明也可以适用于各集群 104 ~ 106 通过变压器来代替电抗器 103 连接于电力系统 101 的情况。

[0171] 此外,本发明也可以适用于各集群 104 ~ 106 通过电抗器 103 和变压器连接于电力系统 101 的情况。

[0172] 符号说明

[0173] 101- 电力系统 ;102- 功率变换装置 ;103- 电抗器 ;104-uv 相集群 ;105-vw 相集群 ;106-wu 相集群 ;107- 单位单元 ;201-x 相上侧元件 ;202-x 相下侧元件 ;203-y 相上侧元件 ;204-y 相下侧元件 ;205- 直流电容器 ;301- 低通滤波器 (LPF) ;302- 平均值运算器 ;303- 全平均直流电压控制部 ;304- 全平均直流电压控制增益 ;305- 补偿电流指令值运算部 ;306- 正相 dq 变换模块 ;307- 反相 dq 变换模块 ;308- 电流控制器 ;309- 电压指令值分配器 ;310- 前馈运算器 ;311- 集群平衡控制部 ;312- 循环电流控制部 ;313- 循环电流控制增益 ;401- 移动平均运算器 ;501- 正交坐标 / 极坐标变换器 ;502- 正弦波发生器 ;601- α β 变换模块 ;602- 正交坐标 / 极坐标变换模块 ;603- 集群平衡控制增益 ;801- 使用实际电流的前馈运算器 ;1001- 反相电压对应形前馈运算器。

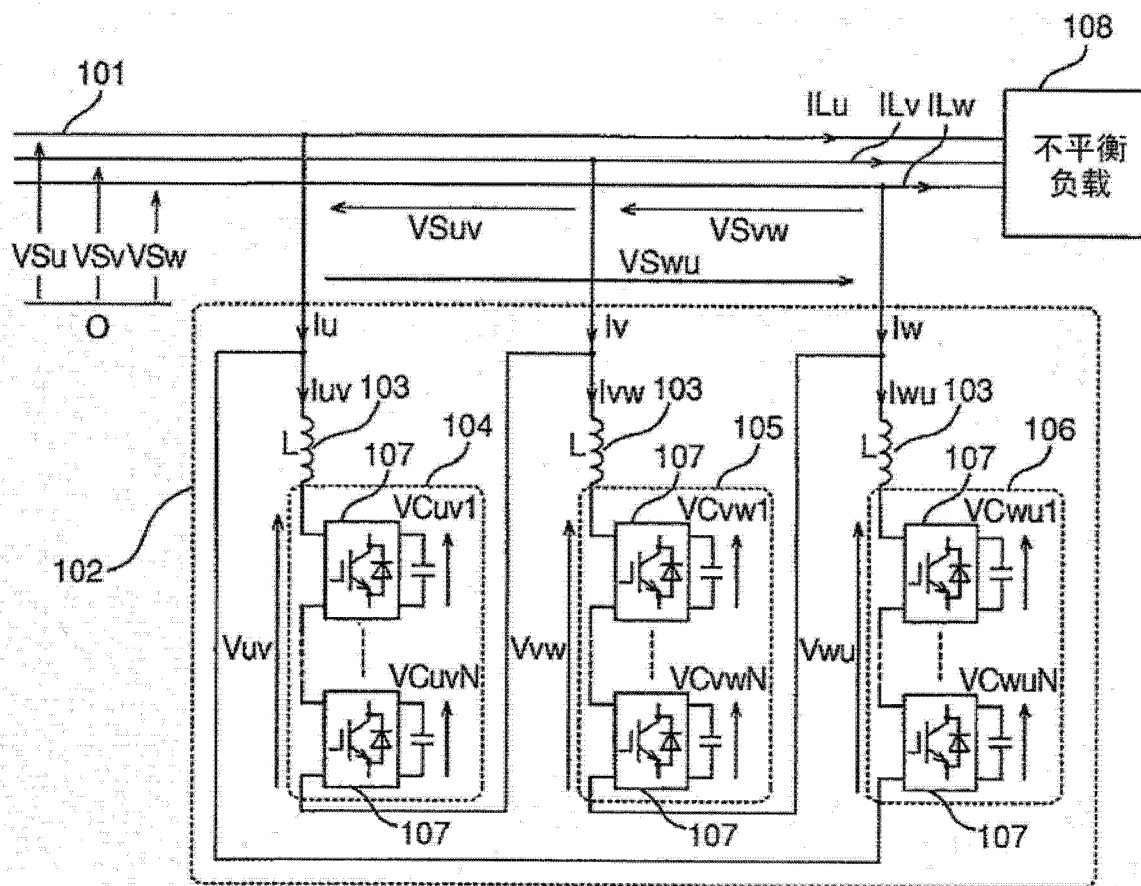


图 1

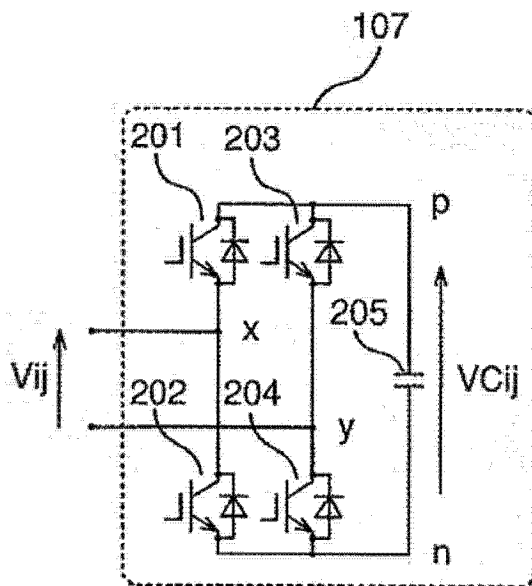


图 2

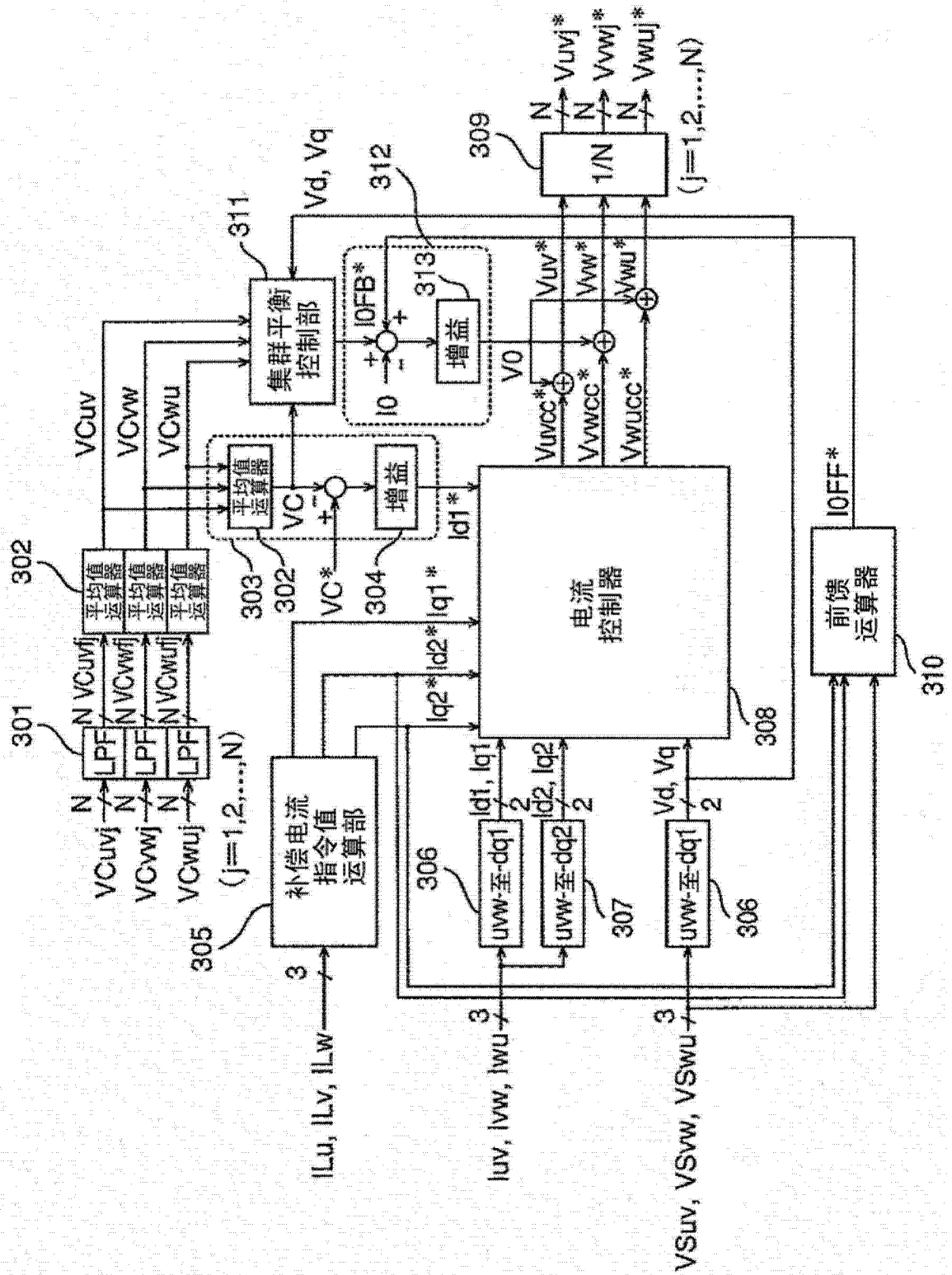


图 3

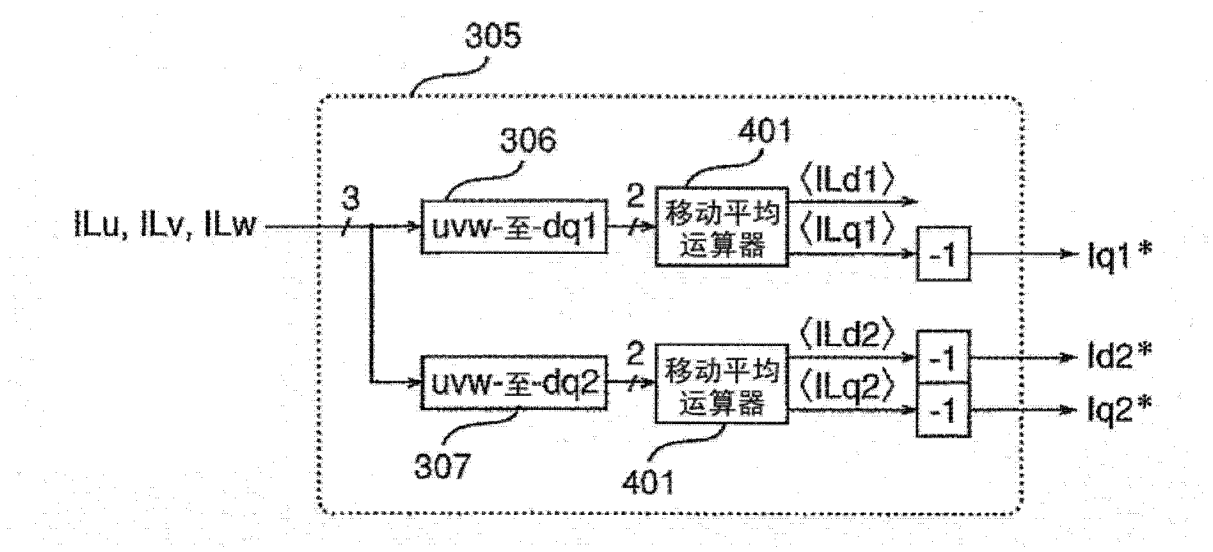


图 4

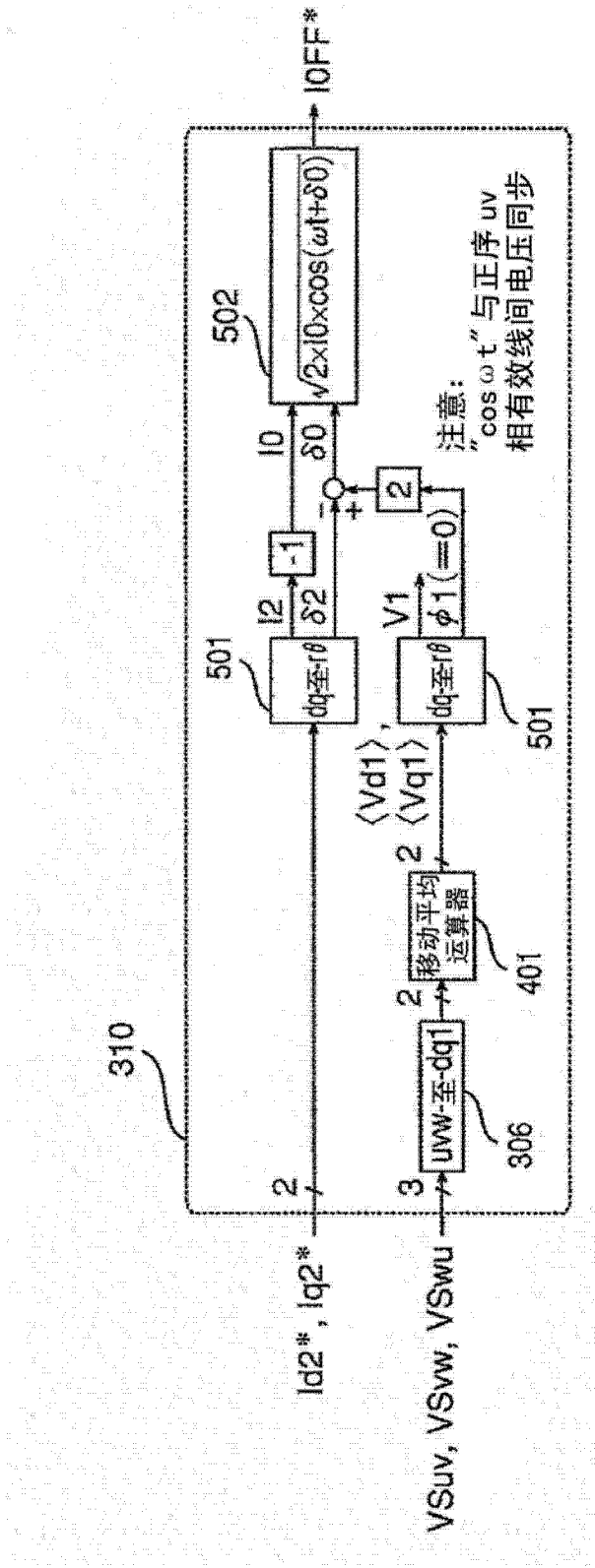


图 5

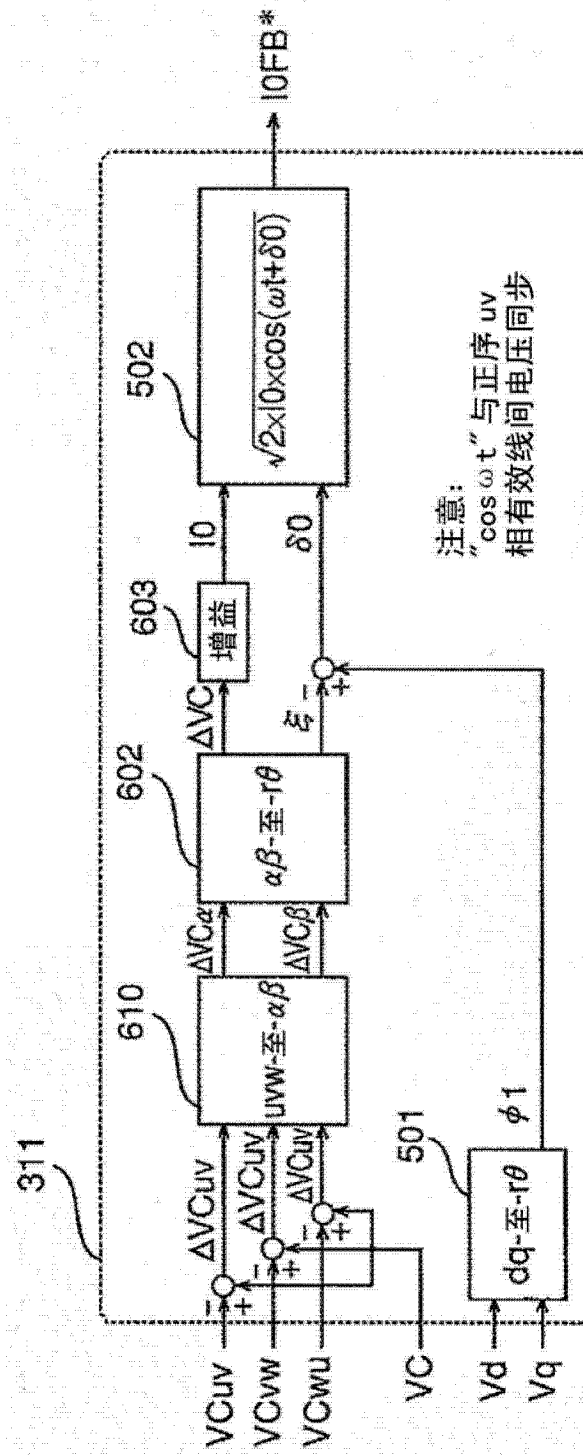


图 6

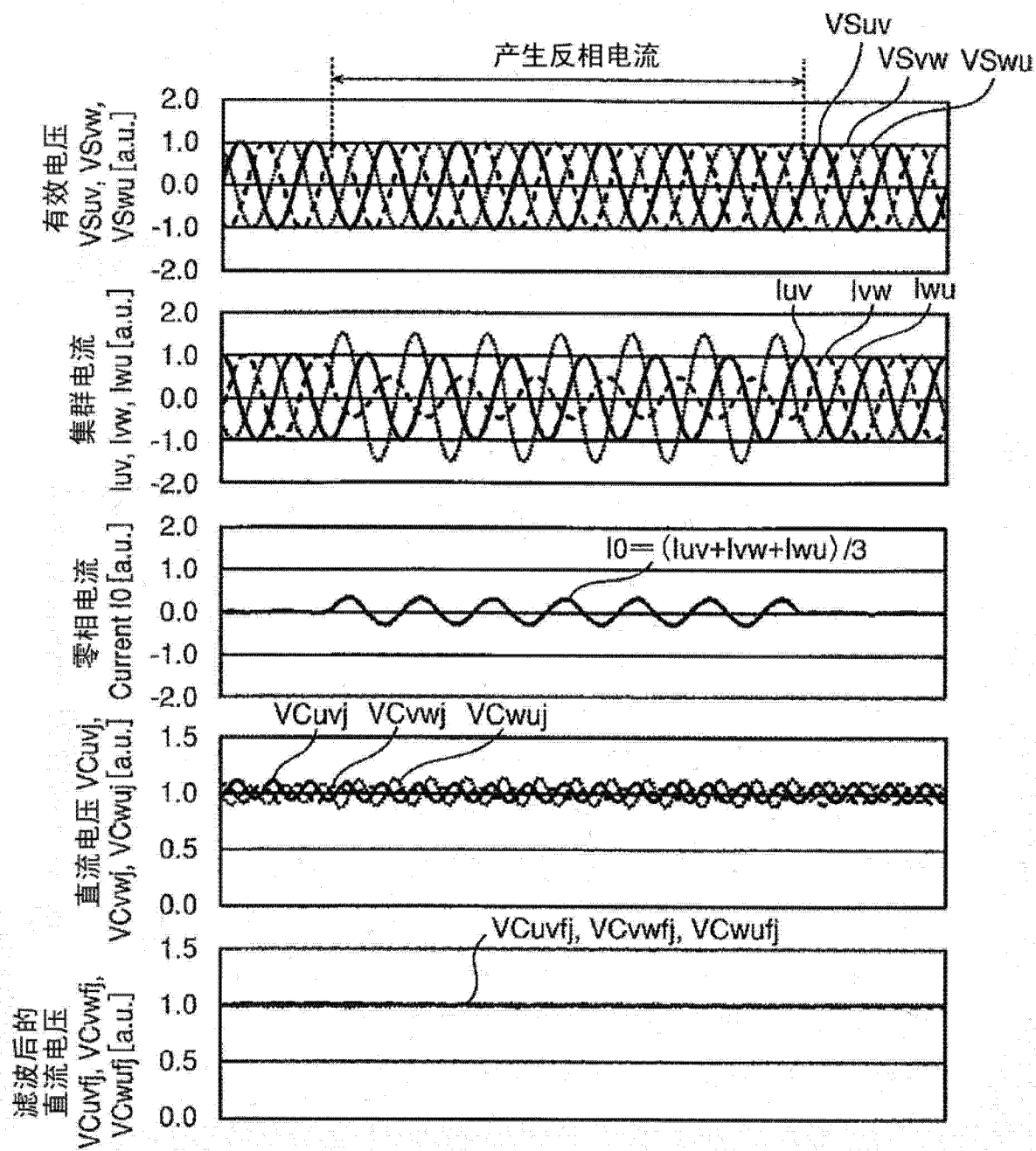


图 7

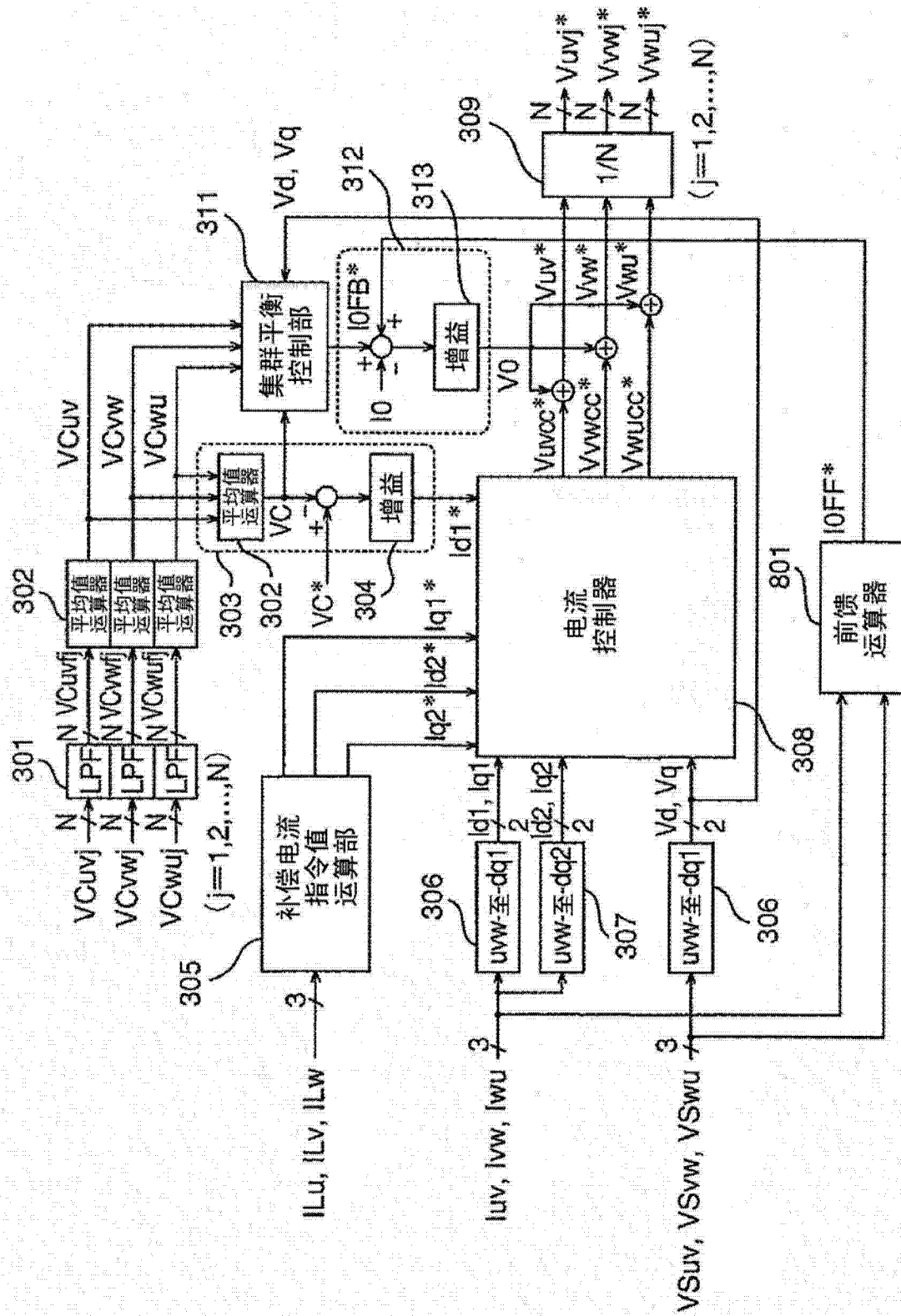


图 8

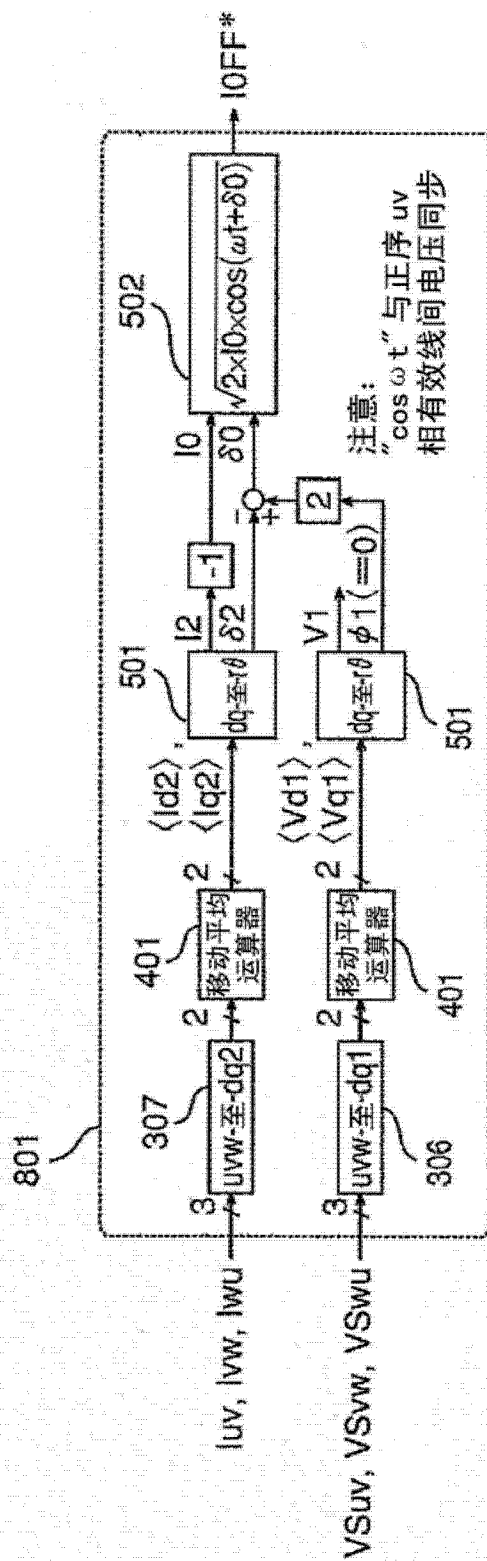


图 9

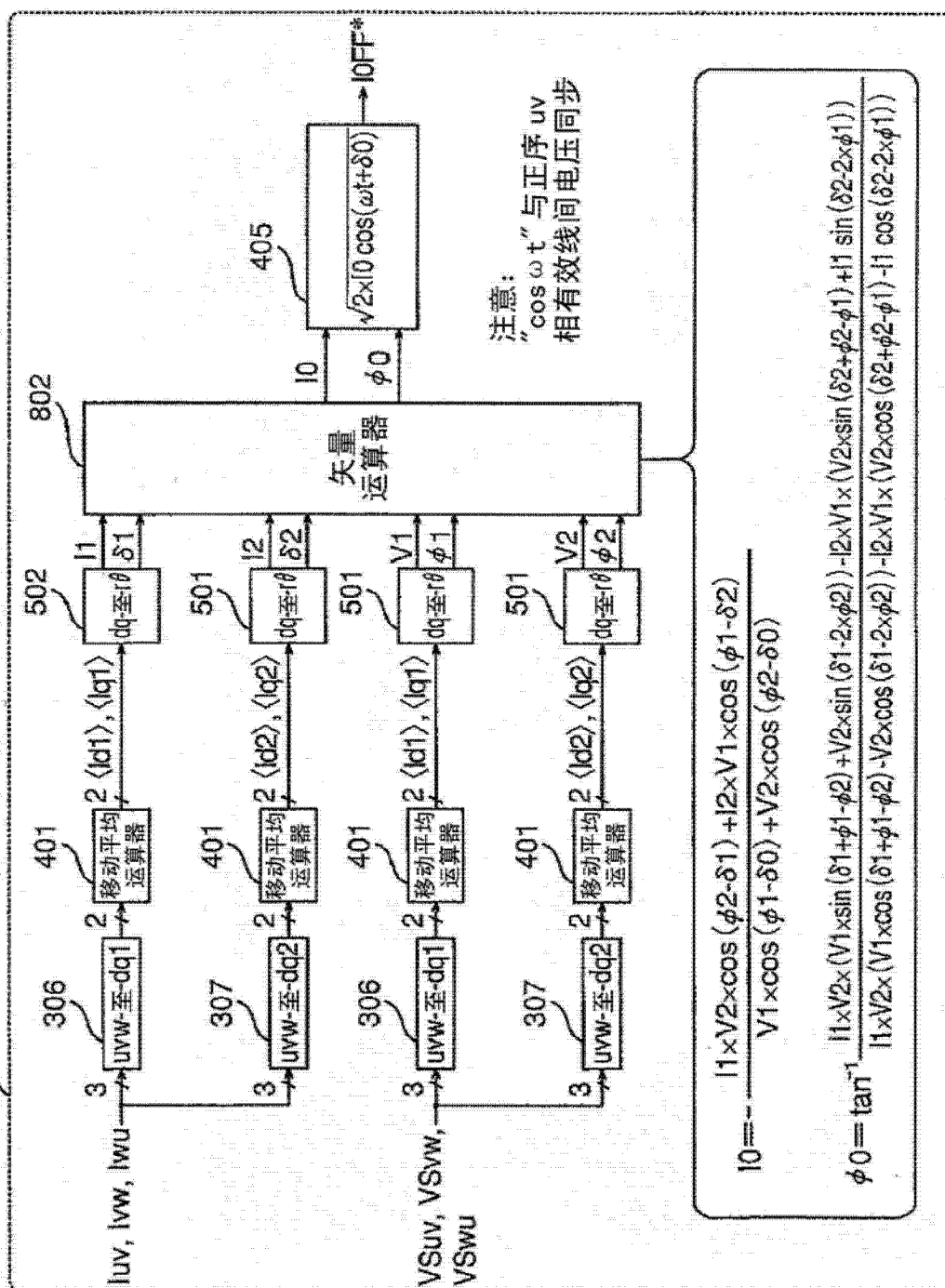


图 10