

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101667806 B

(45) 授权公告日 2012. 01. 18

(21) 申请号 200910145279. 1

(22) 申请日 2009. 05. 19

(66) 本国优先权数据

200910105696. 3 2009. 03. 04 CN

(73) 专利权人 深圳职业技术学院

地址 518055 广东省深圳市西丽湖

(72) 发明人 钟宇明

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事

务所 44268

代理人 刘文求

(51) Int. Cl.

H02P 27/08 (2006. 01)

H02M 1/088 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开平 9-37592 A, 1997. 02. 07, 说明书摘要、第 0012, 0015-0042 段、图 1-8.

US 2002/0172058 A1, 2002. 11. 21, 全文.

JP 特开平 9-182454 A, 1997. 07. 11, 全文.  
JP 特开平 9-37592 A, 1997. 02. 07, 说明书摘要、第 0012, 0015-0042 段、图 1-8.

CN 1481067 A, 2004. 03. 10, 全文.

刘述喜等. 基于快速空间矢量调制算法的三电平直接转矩预测控制系统. 《电工技术学报》. 2009, 第 24 卷 (第 2 期), 35-41.

审查员 李新瑞

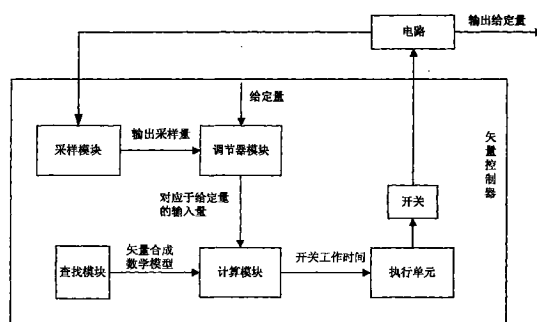
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 3 页

(54) 发明名称

三电平电路的一种空间矢量脉宽调制控制器及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了三电平电路的一种空间矢量脉宽调制控制器及其控制方法,其包括:查找模块,用于根据给定量所对应空间矢量的相位角,在空间矢量平面图中查找给定量对应的空间矢量所位于的直角三角形区域,并以所述直角三角形区域的各项点对应的开关矢量为常量建立给定量的空间矢量与各开关工作时间的矢量合成数学模型;计算模块,用于将获得的电压或电流输入量输入到所述矢量合成模型中,计算电路中各开关的工作时间,并将所述工作时间输出给所述执行单元。本发明简化了空间矢量脉宽调制的控制算法,降低了编程成本,以及硬件成本。



1. 一种用于三电平电路的空间矢量脉宽调制的方法,其特征在于,包括:

A、建立整流或逆变电路中各开关工作状态的空间矢量平面图,并用从此空间矢量平面图中中心起的射线将此空间矢量平面图均分为 12 个直角三角形;

B、根据给定量所对应的空间矢量的相位角,在空间矢量平面图中查找给定量所对应的空间矢量所位于的直角三角形区域,以所述直角三角形区域的各顶点及其各边对应的开关矢量为常量建立给定量所对应的空间矢量与各开关工作时间的矢量合成数学模型;

C、根据给定量和输出采样量的差值,获得对应于给定量的输入量;

D、将获得的输入量输入到所述矢量合成数学模型中,计算电路中各开关的工作时间,用以控制整流或逆变电路输出所述给定量,

其中,所述矢量合成数学模型为:

$$\begin{cases} T_s \cdot \vec{V}_{ref} = t'_1 \cdot \vec{A} + t'_2 \cdot \vec{B} \\ T_s = t'_0 + t'_1 + t'_2 \end{cases}$$

其中, $\vec{V}_{ref}$ 表示在空间矢量平面图中的给定量所对应的空间矢量; $\vec{A}$ 表示位于所述直角三角形斜边顶点的大矢量; $\vec{B}$ 表示位于所述直角三角形区域中与所述空间矢量平面图中心点相连的直角边顶点的中矢量; $T_s$ 表示开关周期; $t'_0$ 表示零矢量对应开关的工作时间, $t'_1$ 表示所述大矢量对应开关的工作时间, $t'_2$ 表示所述中矢量对应开关的工作时间。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤 D 包括以下步骤:

D1、采用归一化算法,将给定量所对应的空间矢量的相位角转换到参考扇区;

D2、根据所述相位角,选择所述参考扇区的矢量合成数学模型套用公式,计算各个矢量对应开关的工作时间;

D3、从计算获得的所述大矢量对应开关的工作时间中,分出一预设部分时间给小矢量,所述小矢量指所述扇形区域内位于直角三角形斜边中点的空间矢量,并重新分配所述工作时间,用以调节中点电压的平衡。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,所述步骤 D3 中,所述重新分配规则如下所示:

$$\begin{cases} t''_1 = a - N \\ t''_3 = 2N \\ t''_2 = b \\ t''_0 = z - N \end{cases}$$

其中,N表示所述预设部分时间; $t''_0$ 表示所述零矢量对应开关的实际工作时间,z表示计算获得的零矢量对应开关的工作时间; $t''_1$ 表示所述大矢量对应开关的实际工作时间,a表示计算获得的大矢量对应开关的工作时间; $t''_2$ 表示所述中矢量对应开关的实际工作时间,b表示计算获得的中矢量对应开关的工作时间; $t''_3$ 表示所述小矢量对应开关的实际工作时间。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其特征在于,所述步骤 D2 中,利用所述参考扇区的矢量合成数学模型,计算各个矢量对应开关的工作时间套用如下公式:

$$\begin{cases} a = 2mT_s \sin(\frac{\pi}{6} - \theta) \\ b = \frac{4}{\sqrt{3}}mT_s \sin \theta & 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{6} \\ z = T_s - \frac{2}{\sqrt{3}}mT_s \sin(\theta + \frac{\pi}{3}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} a = 2mT_s \sin(\theta - \frac{\pi}{6}) \\ b = \frac{4}{\sqrt{3}}mT_s \sin(\frac{\pi}{3} - \theta) & \frac{\pi}{6} \leq \theta \leq \frac{\pi}{3} \\ z = T_s - \frac{2}{\sqrt{3}}mT_s \sin(\theta + \frac{\pi}{3}) \end{cases}$$

其中,  $T_s$  表示开关周期;  $z$  表示所述零矢量对应开关的工作时间,  $a$  表示所述大矢量对应开关的工作时间,  $b$  表示所述中矢量对应开关的工作时间;  $m = |V|/E$ ,  $|V|$  表示在空间矢量平面图中的给定量所对应的空间矢量  $\vec{V}_{ref}$  的电压幅值,  $E$  表示给所述大矢量的长度,  $\theta$  表示给定量所对应空间矢量的相位角。

5. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 若所述零矢量对应开关的实际工作时间小于零, 则去除所述零矢量, 对各个开关的工作时间重新赋值, 令  $t''_1 = a - z$ ,  $t''_3 = 2z$ ,  $t''_0 = 0$ ,  $t''_2 = b$ , 其中,  $t''_1$  表示所述大矢量对应开关的实际工作时间,  $a$  表示计算获得的大矢量对应开关的工作时间;  $t''_3$  表示所述小矢量对应开关的实际工作时间,  $z$  表示计算获得的零矢量对应开关的工作时间,  $b$  表示所述中矢量对应开关的工作时间。

6. 一种空间矢量脉宽调制控制器, 所述控制器包括:

采样模块, 用于采样电路的输出量, 获得输出采样量;

调节器模块, 用于根据给定量和输出采样量的差值, 获得对应于给定量的电压或电流输入量;

执行单元, 用于根据矢量计算获得的开关工作时间, 控制整流或逆变电路输出所述给定量;

其特征在于, 所述控制器还包括:

查找模块, 用于根据给定量所对应的空间矢量的相位角, 在空间矢量平面图中查找给定量所对应的空间矢量所位于的直角三角形区域, 并以所述直角三角形区域的各顶点对应的开关矢量为常量建立给定量所对应的空间矢量与各开关工作时间的矢量合成数学模型;

计算模块, 用于将获得的电压或电流输入量输入到所述矢量合成数学模型中, 计算电路中各开关的工作时间, 并将所述工作时间输出给所述执行单元,

其中, 所述矢量合成数学模型为:

$$\begin{cases} T_s \cdot \vec{V}_{ref} = t'_1 \cdot \vec{A} + t'_2 \cdot \vec{B} \\ T_s = t'_0 + t'_1 + t'_2 \end{cases}$$

其中,  $\vec{V}_{ref}$  表示给定量所对应的空间矢量;  $\vec{A}$  表示位于所述直角三角形斜边顶点的大矢

量； $\vec{B}$ 表示位于所述直角三角形区域中与所述空间矢量平面图中心点相连的直角边顶点的中矢量； $T_s$ 表示开关周期； $t'_{0}$ 表示所述零矢量对应开关的工作时间， $t'_{1}$ 表示所述大矢量对应开关的工作时间， $t'_{2}$ 表示所述中矢量对应开关的工作时间。

7. 根据权利要求6所述的控制器，其特征在于，所述计算模块包括：

用于将给定量所对应的空间矢量的相位角进行归一化计算转换到参考扇区的单元；

用于根据所述相位角，选择所述参考扇区的矢量合成数学模型套用公式，并计算各个矢量对应开关的工作时间的单元。

8. 根据权利要求7所述的控制器，其特征在于，所述计算模块还包括：

中点电压平衡调节单元，用于从计算获得的大矢量对应开关的工作时间中分出一预设部分时间给小矢量，所述小矢量指所述扇形区域内位于直角三角形斜边中点的空间矢量，所述大矢量指所述扇形区域内位于直角三角形斜边顶点的空间矢量。

## 三电平电路的一种空间矢量脉宽调制控制器及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种空间矢量脉宽调制 (SVPWM) 控制方法, 具体涉及一种矢量控制器及其控制方法。

### 背景技术

[0002] 通常, 三相三电平 PFC (功率因数校正) 电路的拓扑结构如图 1 所示, 其中, a、b、c 是三相交流电压输入, P、N 是直流输出, 0 点是输出端电容 C01、C02 的中点; La、Lb、Lc 是三个电感; S1、S2、S3 是若干电力电子器件 (MOSFET、IGBT 等) 及其附加电路, 起高频开关的作用, 称为开关管; D1、D2、D3、D4、D5、D6 是 6 个二极管。图 1 所示电路将 a、b、c 三端输入的三相交流电压通过矢量控制转化为 PN 端输出的直流电压, 用于提供直流母线电压。

[0003] 图 1 中的三个开关管 S1、S2、S3 的不同状态, 对应的输入端点电压有 27 种组合, 把 S1、S2、S3 的开关组合看作一个开关矢量, 每种开关状态对应一种开关矢量, 总共有 27 个开关矢量, 如图 2 所示的空间矢量图。图中 PNN 表示在这种开关状态下, 输入端点 u、v、w 的电位  $U_u = P$  点,  $U_v = N$  点,  $U_w = N$  点, 其它类同。这里定义电压空间矢量为

$$[0004] \quad V_{ref} = e_{u0} + e_{v0} \cdot e^{j120^\circ} + e_{w0} \cdot e^{-j120^\circ} \quad (I)$$

[0005] 其中,  $e_{u0}$ 、 $e_{v0}$ 、 $e_{w0}$  分别表示输入端点 u、v、w 的电压, 则上述 27 种开关矢量的分布如图 2 所示, 组成了一个大六边形, 从这个六边形可以看出, 这些开关矢量共分成 5 组:

[0006] (1) “a”组: 矢量长度最长, 称为大矢量。

[0007] (2) “b”组: 矢量长度中等, 称为中矢量。

[0008] (3) “c”组: 矢量长度最小, 称为小矢量。

[0009] (4) “d”组: 矢量与“c”组重合, 也是小矢量。

[0010] (5) “z”组: 零矢量 PPP、000、NNN。

[0011] 根据空间矢量的理论, 三相对称的正弦电压在空间上可以看作一个幅值不变、均匀旋转的矢量, 称为电压空间矢量。这个矢量的幅值代表正弦电压的幅值, 矢量的相角代表正弦电压的相位, 矢量顶点在平面上旋转的轨迹是一个圆。

[0012] 在现有的技术中, 一般都是采用以下方法: 电压空间矢量  $V_{ref}$  处于任意一个位置时, 选择包围它的最小三角形的三个顶点作为开关矢量, 由这三个开关矢量分别作用一定的时间来合成所需要的电压空间矢量。例如, 当电压矢量处于图 2 中 a1、b1、c1/d1 围成的小三角形区域中时, 选择开关矢量 a1、b1、c1/d1 来合成, 然后根据矢量合成的原理来计算各开关矢量的作用时间:

$$[0013] \quad \begin{cases} T_i \cdot \overline{V_{ref}} = t_1 \cdot \overline{a_1} + t_2 \cdot \overline{b_1} + t_3 \cdot \overline{c_1/d_1} \\ T_i = t_1 + t_2 + t_3 \end{cases} \quad (II)$$

[0014] 这种现有技术的缺点是:

[0015] (1) 矢量由包围它的最小三角形的三个顶点合成, 整个平面分成了 24 个小三角形, 数目众多。判断矢量处于哪个小三角形区域, 要根据矢量的幅值和相位角进行计算, 算

法非常复杂；

[0016] (2) 判断出矢量处于某个小三角形内部后,还有几种情况需要分析:矢量可能是由一个零矢量、两个小矢量合成,例如  $z$ 、 $c1/d1$ 、 $c6/d6$ ;可能由两个小矢量和一个中矢量合成,例如  $c1/d1$ 、 $c6/d6$ 、 $b6$ ;可能由一个小矢量、一个中矢量和一个大矢量合成,例如  $c1/d1$ 、 $b6$ 、 $a1$ ,或者  $c6/d6$ 、 $b6$ 、 $a6$ 。矢量在这几种情况下,由上式 (II) 推导出来的开关矢量作用时间的计算公式,形式是不一样的,计算非常复杂。

[0017] 总之,上述矢量控制方法计算是非常复杂的,不利于软件编程,一般需要高速的处理器,从而还增加了设计成本;如果不采用高速的处理器,则计算时间过长,限制了开关频率的提高。

## 发明内容

[0018] 本发明的目的在于提供三电平电路的一种空间矢量脉宽调制控制器及其控制方法,其简化了空间矢量调制的算法,降低了编程成本,以及硬件成本。

[0019] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0020] 本发明提供了一种用于三电平电路的空间矢量调制的方法,其包括:

[0021] A、建立整流或逆变电路中各开关工作状态的空间矢量平面图,并用从此开关空间矢量平面图中心起的射线将此空间矢量平面图均分为 12 个直角三角形;

[0022] B、根据给定量所对应空间矢量的相位角,在空间矢量平面图中查找给定量对应的空间矢量所位于的直角三角形区域,以所述直角三角形区域的各顶点对应的开关矢量为常量建立给定量的空间矢量与各开关工作时间的矢量合成数学模型;

[0023] C、根据给定量和输出采样量的差值,获得对应于给定量的输入量;

[0024] D、将获得的输入量输入到所述矢量合成数学模型中,计算电路中各开关的工作时间,用以控制整流或逆变电路输出所述给定量。

[0025] 所述的方法,其中,所述矢量合成数学模型为:

$$[0026] \begin{cases} T_s \cdot \vec{V}_{ref} = t'_1 \cdot \vec{A} + t'_2 \cdot \vec{B} \\ T_s = t'_0 + t'_1 + t'_2 \end{cases}$$

[0027] 其中,  $\vec{V}_{ref}$  表示给定量所对应的空间矢量;  $\vec{A}$  表示位于所述直角三角形斜边顶点的大矢量;  $\vec{B}$  表示位于所述直角三角形区域中与所述空间矢量平面图中心点相连的直角边顶点的中矢量;  $T_s$  表示开关周期;  $t'_0$  表示零矢量对应开关的工作时间,  $t'_1$  表示所述大矢量对应开关的工作时间,  $t'_2$  表示所述中矢量对应开关的工作时间。

[0028] 所述的方法,其中,所述步骤 D 包括以下步骤:

[0029] D1、采用归一化算法,将给定量对应的空间矢量的相位角转换到参考扇区;

[0030] D2、根据所述相位角,选择所述参考扇区的矢量合成数学模型套用公式,计算各个矢量对应开关的工作时间;

[0031] D3、从计算获得的所述大矢量对应开关的工作时间中,分出一预设部分时间给所述小矢量,并重新分配所述工作时间,用以调节中点电压的平衡。

[0032] 所述的方法,其中,所述步骤 D3 中,所述重新分配规则如下所示:

$$[0033] \quad \begin{cases} t_1'' = a - N \\ t_3'' = 2N \\ t_2'' = b \\ t_0'' = z - N \end{cases}$$

[0034] 其中, N 表示所述预设部分时间;  $t_0''$  表示所述零矢量对应开关的实际工作时间, z 表示计算获得的零矢量对应开关的工作时间;  $t_1''$  表示所述大矢量对应开关的实际工作时间, a 表示计算获得的大矢量对应开关的工作时间;  $t_2''$  表示所述中矢量对应开关的实际工作时间, b 表示计算获得的中矢量对应开关的工作时间;  $t_3''$  表示所述小矢量对应开关的实际工作时间。

[0035] 所述的方法, 其中, 所述步骤 D2 中, 利用所述参考扇区的矢量合成数学模型, 计算各个矢量对应开关的工作时间套用如下公式:

$$[0036] \quad \begin{cases} a = 2mT_s \sin(\frac{\pi}{6} - \theta) \\ b = \frac{4}{\sqrt{3}} mT_s \sin \theta \\ z = T_s - \frac{2}{\sqrt{3}} mT_s \sin(\theta + \frac{\pi}{3}) \end{cases} \quad 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{6}$$

$$[0037] \quad \begin{cases} a = 2mT_s \sin(\theta - \frac{\pi}{6}) \\ b = \frac{4}{\sqrt{3}} mT_s \sin(\frac{\pi}{3} - \theta) \\ z = T_s - \frac{2}{\sqrt{3}} mT_s \sin(\theta + \frac{\pi}{3}) \end{cases} \quad \frac{\pi}{6} \leq \theta \leq \frac{\pi}{3}$$

[0038] 其中,  $T_s$  表示开关周期; z 表示所述零矢量对应开关的工作时间, a 表示所述大矢量对应开关的工作时间, b 表示所述中矢量对应开关的工作时间;  $m = |V|/E$ , |V| 表示给定量对应于的空间参考矢量  $\vec{V}_{ref}$  的电压幅值, E 表示给所述大矢量的长度,  $\theta$  表示给定量所对应空间矢量的相位角。

[0039] 所述的方法, 其中, 若所述零矢量对应开关的实际工作时间小于零, 则去除所述零矢量, 对各个开关的工作时间重新赋值, 令  $t_1'' = a - z$ ,  $t_3'' = 2z$ ,  $t_0'' = 0$ ,  $t_2'' = b$ , 其中,  $t_1''$  表示所述大矢量对应开关的实际工作时间, a 表示计算获得的大矢量对应开关的工作时间;  $t_3''$  表示所述小矢量对应开关的实际工作时间, z 表示计算获得的零矢量对应开关的工作时间, b 表示所述中矢量对应开关的工作时间。

[0040] 基于上述方法, 本发明还提供了一种空间矢量脉宽调制控制器, 所述控制器包括: 采样模块, 用于采样电路的输出量, 获得输出采样量; 调节器模块用于根据给定量和输出采样量的差值, 获得对应于给定量的电压或电流输入量; 执行单元, 用于根据矢量计算获得的开关工作时间, 控制整流或逆变电路输出所述给定量; 所述控制器还包括: 查找模块, 用于根据给定量所对应空间矢量的相位角, 在空间矢量平面图中查找给定量所对应的空间矢量所位于的直角三角形区域, 并以所述直角三角形区域的各顶点对应的开关矢量为常量建立给定量所对应的空间矢量与各开关工作时间的矢量合成数学模型; 计算模块, 用于将获

得的电压或电流输入量输入到所述矢量合成数学模型中,计算电路中各开关的工作时间,并将所述工作时间输出给所述执行单元,其中,所述矢量合成数学模型为:

$$[0041] \quad \begin{cases} T_s \cdot \vec{V}_{ref} = t'_1 \cdot \vec{A} + t'_2 \cdot \vec{B} \\ T_s = t'_0 + t'_1 + t'_2 \end{cases}$$

[0042] 其中,  $\vec{V}_{ref}$  表示给定量所对应的空间矢量;  $\vec{A}$  表示位于所述直角三角形斜边顶点的大矢量;  $\vec{B}$  表示位于所述直角三角形区域中与所述空间矢量平面图中心点相连的直角边顶点的中矢量;  $T_s$  表示开关周期;  $t'_0$  表示所述零矢量对应开关的工作时间,  $t'_1$  表示所述大矢量对应开关的工作时间,  $t'_2$  表示所述中矢量对应开关的工作时间。

[0043] 所述的控制器,其中,所述计算模块包括:

[0044] 用于将给定量所对应的空间矢量的相位角进行归一化计算转换到参考扇区的单元;

[0045] 用于根据所述相位角,选择所述参考扇区的矢量合成数学模型套用公式,并计算各个矢量对应开关的工作时间的单元。

[0046] 所述的控制器,其中,所述计算模块还包括:

[0047] 中点电压平衡调节单元,用于从计算获得的大矢量对应开关的工作时间中分出一预设部分时间给所述小矢量,此大矢量指所述扇形区域内位于直角三角形斜边顶点的空间矢量,此小矢量指所述扇形区域内位于直角三角形斜边中点的空间矢量。

[0048] 发明效果:本发明提供一种新的空间矢量脉宽调制控制算法,其将矢量控制平面划分为 12 个直角三角形区域;空间矢量由包围它的直角三角形的三个顶点对应的开关矢量(一个零矢量、一个中矢量和一个大矢量)合成;大矢量的作用时间中分出一部分给小矢量,进行输出电压平衡的调节。相对于现有技术,本发明的方法只需要将平面划分为 12 个区域,数目少了一半;并且只需要根据空间矢量的相位角,就可得出矢量所处的直角三角形区域,这种区域判断是非常简单的。另外,从矢量合成数学模型可以看出,本发明的方法利用每个直角三角形的顶点对应的都是一个零矢量、一个中矢量和一个大矢量,即可达到了与两电平电路类似的简单算法,方法简单,易操作,易编程,并且降低了对处理器速度的要求。可见,本发明简化了空间矢量脉宽调制的控制算法,降低了编程成本,以及硬件成本。

[0049] 附图说明

[0050] 图 1 为三相三电平 PFC(功率因数校正)电路的拓扑结构示意图;

[0051] 图 2 为三相三电平电路的空间矢量图;

[0052] 图 3 为本发明矢量控制器的结构示意图;

[0053] 图 4 为本发明空间矢量调制方法的流程图。

## 具体实施方式

[0054] 本发明提供了三电平电路的一种空间矢量脉宽调制(SVPWM)控制器的控制方法,其过程如下所示:

[0055] 首先,建立整流或逆变电路中各开关工作状态的开关空间矢量平面图,并用从此开关空间矢量平面图中心起的射线将此空间矢量平面图均分为 12 个直角三角形;

[0056] 然后,根据给定量所对应空间矢量的相位角,在空间矢量平面图中,查找给定量对



应的空间矢量所位于的直角三角形区域,以所述直角三角形区域的各顶点对应的开关矢量为常量建立给定量的空间矢量与各开关工作时间的矢量合成数学模型,这里直角三角形区域的顶点开关矢量包括:位于所述空间矢量平面图中心点的零矢量、位于直角三角形区域中与所述中心点相连的直角边顶点的中矢量、位于直角三角形斜边顶点的大矢量、位于直角三角形斜边中点的小矢量;

[0057] 其次,根据给定量和输出采样量的差值,获得对应于给定量的输入量;

[0058] 最后,将获得的输入量输入到所述矢量合成数学模型中,计算电路中各开关的工作时间,用以控制整流或逆变电路输出所述给定量。

[0059] 本发明的基本原理是,将空间矢量平面图中的每一个扇区均分为 2 个直角三角形区域,即整个空间矢量平面图均分为 12 个直角三角形。比如在扇区 I 中, z、c1/d1、a1、b1 构成直角三角形区域 1, z、c2/d2、a2、b1 构成直角三角形 2。然后,利用直角三角形的三个顶点和斜边中点共 4 个开关矢量来合成所需要的电压空间矢量,如下式建立矢量合成数学模型:

[0060]

$$\begin{cases} T_s \cdot \vec{V}_{ref} = t_0 \cdot \vec{Z} + t_1 \cdot \vec{A} + t_2 \cdot \vec{B} + t_3 \cdot \vec{C} \\ T_s = t_0 + t_1 + t_2 + t_3 \end{cases} \quad (1)$$

[0061] 其中,  $\vec{V}_{ref}$  表示给定量所对应的空间矢量;  $\vec{Z}$  表示位于所述空间矢量平面图中心点的零矢量;  $\vec{A}$  表示位于所述直角三角形斜边顶点的大矢量;  $\vec{B}$  表示位于所述直角三角形区域中与所述空间矢量平面图中心点相连的直角边顶点的中矢量;  $\vec{C}$  表示位于所述直角三角形斜边中点的小矢量;  $T_s$  表示开关周期,对应于电路中开关管的开关频率;  $t_0$  表示所述零矢量对应开关的作用时间,  $t_1$  表示所述大矢量对应开关的作用时间,  $t_2$  表示所述中矢量的作用时间,  $t_3$  表示所述小矢量对应开关的作用时间。

[0062] 上述公式 (1) 不是独立的,会有无穷组解,需要对式 (1) 进行分析,简化公式:

[0063] 1、 $\vec{Z}$  表示位于所述空间矢量平面图中心点的零矢量,所以  $t_0 \cdot \vec{Z}$  实际等于零。

[0064] 2、根据空间矢量图图 2 所示,注意到开关大矢量  $\vec{A}$  的相位角与小矢量  $\vec{C}$  相同,大矢量  $\vec{A}$  的幅值是小矢量  $\vec{C}$  的 2 倍。所以小矢量  $\vec{C}$  可以用大矢量  $\vec{A}$  来代替,只是作用时间缩小一半,这样代替后合成的空间矢量是等效的。所以,在合成矢量时,可以暂时把小矢量去除,空间矢量只由一个大矢量、一个中矢量和一个零矢量合成,即:

[0065]

$$\begin{cases} T_s \cdot \vec{V}_{ref} = t'_0 \cdot \vec{A} + t'_2 \cdot \vec{B} \\ T_s = t'_0 + t'_1 + t'_2 \end{cases} \quad (2)$$

[0066] 其中,  $\vec{V}_{ref}$  表示给定量所对应的空间矢量;  $\vec{A}$  表示位于所述直角三角形斜边顶点的大矢量;  $\vec{B}$  表示位于所述直角三角形区域中与所述空间矢量平面图中心点相连的直角边顶点的中矢量;  $T_s$  表示开关周期;  $t'_0$  表示所述零矢量对应开关的工作时间,  $t'_1$  表示所述大矢量对应开关的工作时间,  $t'_2$  表示所述中矢量对应开关的工作时间。

[0067] 由上述公式 (2) 看出,空间矢量只由直角三角形的三个顶点合成即可。开关矢量

只有一个零矢量、一个中矢量和一个大矢量,达到了与两电平电路类似的简单算法,两电平电路的空间矢量算法就是由一个零矢量和两个非零矢量合成。因为:

$$[0068] \quad \begin{cases} \vec{V}_{ref} = |V|e^{j\theta} \\ \vec{A} = E \\ \vec{B} = \frac{\sqrt{3}E}{2}e^{j\frac{\pi}{6}} \end{cases} \quad (3)$$

[0069] 其中, E 为大矢量  $\vec{A}$  的幅值。将上述公式 (3) 代入上述公式 (2) 即可以解得相对应的开关工作时间了。

[0070] 以下以一个具体的实施例来说明。如图 2 所示,根据图 1 的拓扑结构获得开关矢量的空间矢量图,并把平面划分为 12 个直角三角形区域,如图 2 所示, z、c1/d1、a1、b1 构成一个直角三角形, z、c2/d3、a2、b1 构成一个直角三角形……。当空间矢量处于某一个直角三角形区域内时,用直角三角形的三个顶点和斜边中点共 4 个开关矢量来合成所需要的电压空间矢量。例如,当空间矢量处于直角三角形区域 1 内时,由 z、c1/d1、a1、b1 这 4 个开关矢量来合成,则矢量合成数学模型可以表示为下式:

$$[0071] \quad \begin{cases} T_s \cdot \vec{V}_{ref} = t_0 \cdot \vec{z} + t_a \cdot \vec{a}_1 + t_b \cdot \vec{b}_1 + t_{cd} \cdot \vec{c}_1 \vec{d}_1 \\ T_s = t_0 + t_a + t_b + t_{cd} \end{cases} \quad (4)$$

[0072] 按照上述条件简化后得,

$$[0073] \quad \begin{cases} T_s \cdot \vec{V}_{ref} = t_a \cdot \vec{a}_1 + t_b \cdot \vec{b}_1 \\ T_s = t_0 + t_a + t_b \end{cases} \quad (5)$$

[0074] 上述公式中,  $\vec{z}$  表示零矢量;  $\vec{a}$  表示大矢量;  $\vec{b}$  表示中矢量;  $\vec{c}_1 \vec{d}_1$  表示小矢量  $c_1 d_1$ , 如图 2 所示;  $T_s$  表示电路中开关管的开关周期;  $t_0$  表示所述零矢量对应开关的作用时间,  $t_a$  表示大矢量对应开关的作用时间,  $t_b$  表示中矢量的作用时间,  $t_{cd}$  表示小矢量  $c_1 d_1$  对应开关的作用时间。

[0075] 根据上述公式 (3) 的已知条件解上述公式 (5) 得:

$$[0076] \quad \begin{cases} T_s \cdot |V|(\cos\theta + j\sin\theta) = t_a \cdot E + t_b \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} E(\cos\frac{\pi}{6} + j\sin\frac{\pi}{6}) \\ T_s = t_0 + t_a + t_b \end{cases} \quad (6)$$

[0077] 解得:

$$\begin{cases} t_a = 2mT_s \sin(\frac{\pi}{6} - \theta) \\ t_b = \frac{4}{\sqrt{3}} mT_s \sin\theta \quad (0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{6}) \\ t_0 = T_s - \frac{2}{\sqrt{3}} mT_s \sin(\theta + \frac{\pi}{3}) \end{cases} \quad (7)$$

[0078] 式中,  $m = |V|/E$ ,  $\theta$  表示给定量所对应空间矢量的相位角。

[0079] 如图 2 所示,当空间矢量处于 a2、b1、z 围成的直角三角形区域 2 内时,同理可以求得各开关矢量的作用时间为:

$$[0080] \quad \begin{cases} t_a = 2mT_s \sin(\theta - \frac{\pi}{6}) \\ t_b = \frac{4}{\sqrt{3}} mT_s \sin(\frac{\pi}{3} - \theta) \quad (\frac{\pi}{6} \leq \theta \leq \frac{\pi}{3}) \\ t_0 = T_s - \frac{2}{\sqrt{3}} mT_s \sin(\theta + \frac{\pi}{3}) \end{cases} \quad (8)$$

[0081] 通过上述原理说明可见,本发明提供的新算法的优点是:(1)只需根据矢量的相位角即可判断出矢量处于哪个直角三角形区域,算法非常简单(与判断扇区一样简单);(2)每个扇区只分为2个区域,开关矢量作用时间只有2组计算公式,比如公式(7)和(8)。

[0082] 需要说明的是,以上简化计算时小矢量完全用大矢量代替了,从矢量合成的角度来说是可以的。但小矢量也有一定的作用,就是可以调节输出上、下两个电容电压的平衡(称为输出电压的平衡)。例如矢量c1作用相当于给图1中的电容C01充电,矢量d1作用相当于给图1中的电容C02充电。所以可以再进行如下改进:空间矢量由一个零矢量、一个中矢量和一个大矢量合成,按照(7)或(8)式求得它们分别作用的时间 $t_0$ 、 $t_a$ 、 $t_b$ 。然后再从大矢量的作用时间 $t_a$ 中分出一部分(比如10%)给小矢量,进行输出电压平衡的调节(例如分配固定的时间,或者一定比例,或者根据输出电压的不平衡度来分配等方法,一般分配一小部分即可实现调节平衡的功能),当然零矢量的作用时间 $t_0$ 也做相应的调整,以满足各矢量的作用时间之和等于周期 $T_s$ 。零矢量的作用时间大小对矢量合成是没有影响的。这里时间分配规则如下所示:

$$[0083] \quad \begin{cases} t_1'' = a - N \\ t_3'' = 2N \\ t_2'' = b \\ t_0'' = z - N \end{cases} \quad (9)$$

[0084] 其中, N表示所述预设部分时间,这里的预设部分的时间分配有几种方法:(1)所述大矢量对应开关工作时间乘以一比例系数K;(2)固定的时间;(3)一个随中点电压不平衡度的程度而变化的值; $t_0''$ 表示所述零矢量对应开关的实际工作时间, z表示计算获得的零矢量对应开关的工作时间; $t_1''$ 表示所述大矢量对应开关的实际工作时间, a表示计算获得的大矢量对应开关的工作时间; $t_2''$ 表示所述中矢量对应开关的实际工作时间, b表示计算获得的大矢量对应开关的工作时间; $t_3''$ 表示所述中矢量对应开关的实际工作时间。以下就比例系数K取10%进行详细说明。

[0085] 例如,矢量由z、b1、a1合成,当图1中电容C01两端的电压 $U_{c1}$ 小于电容C02两端的电压 $U_{c2}$ 时, a1的作用时间分出一部分给c1(P00),比如a1的作用时间变为90% $t_a$ ;反之,当 $U_{c1}$ 大于 $U_{c2}$ 时, a1的作用时间分出一部分给d1(ONN),计算规则如下所示:

$$[0086] \quad \begin{cases} t_a' = t_a \cdot 90\% \\ t_c' = t_a \cdot 20\% \text{ (if } U_{c1} < U_{c2}) \\ t_b' = t_b \\ t_0' = t_0 - t_a \cdot 10\% \end{cases} \quad (10)$$

$$[0087] \quad \begin{cases} t'_a = t_a \cdot 90\% \\ t'_d = t_a \cdot 20\% \text{ (if } U_{c1} > U_{c2}) \\ t'_b = t_b \\ t'_0 = t_0 - t_a \cdot 10\% \end{cases} \quad (11)$$

[0088] 式 (10) 或式 (11) 若算得  $t'_0 < 0$ , 则此时不再需要零矢量, 即  $t'_0 = 0$ , 把大矢量的作用时间  $t_a$  里分配  $t_0$  的时间给小矢量即可, 即:

[0089]

$$\begin{cases} t'_a = t_a - t_0 \\ t'_c \text{ (或 } t'_d) = 2t_0 \\ t'_b = t_b \\ t'_0 = 0 \end{cases} \quad (12)$$

[0090] 基于上述方法, 在实际操作时可以针对每一个给定量采用上述流程进行反复建立数学模型, 然后套用公式进行计算。

[0091] 此外, 基于本发明 SVPWM 方法对矢量空间图的划分结构, 以下举例说明本发明应用到编程上具体实现方式。如图 4 所示, 其给出了一种方法流程示意图。

[0092] 步骤 100、根据当前给定量所对应空间矢量的相位角  $\theta$ , 在空间矢量平面图中查找给定量对应的空间矢量所位于的直角三角形区域, 判断位于哪个扇区;

[0093] 步骤 200、根据当前给定量和输出采样量的差值, 获得对应于给定量的输入量;

[0094] 步骤 300、将获得的电压或电流输入量输入到当前矢量合成数学模型中, 计算获得整流或逆变电路中各开关的工作时间, 在图 4 中的具体实现步骤如下:

[0095] 首先, 令  $\theta = \theta - k \cdot 60^\circ$ , 采用归一化算法将给定量对应的空间矢量的相位角转换到参考扇区, 如图 2 所示, 假设参考扇区包括直角三角形区域 1 和直角三角形区域 2, 其直角三角形区域 1 由  $z$ 、 $c1/d1$ 、 $a1$ 、 $b1$  这 4 个开关矢量构成, 而直角三角形区域 2 由  $z$ 、 $c2/d2$ 、 $a2$ 、 $b1$  这 4 个开关矢量构成, 那么, 相应的开关工作时间的计算为上述公式 (7) 或 (8)。

[0096] 然后, 判断  $\theta$  是否小于  $30^\circ$ , 如果是则说明其在参考扇区 1 内套用公式 (7) 计算各开关对应的时间, 如果否, 则说明其在参考扇区 2 内套用公式 (8) 计算各开关对应的时间。

[0097] 其次, 如果需要进行中点电压平衡控制, 则需要从计算获得的大矢量对应开关的工作时间中, 分出一预设部分时间给所述小矢量, 并重新分配 所述工作时间, 用以调节中点电压的平衡, 其具体计算规则可以参见上述公式 (10) 或 (11)。

[0098] 为了避免因预设部分时间分配过多而导致零矢量作用时间小于零的不合理现象发生, 还增加了一步判断步骤, 即判断所述零矢量对应开关的实际工作时间是否小于零, 若小于零, 则去除零矢量, 根据上述公式 (12) 对各个开关的工作时间重新赋值, 即令公式 (9) 中的  $t''_1 = a-z$ ,  $t''_3 = 2z$ ,  $t''_0 = 0$ ,  $t''_2 = b$ 。

[0099] 400、根据计算获得的开关工作时间控制整流或逆变电路工作, 按照当前给定量输出。

[0100] 当空间矢量位于其它扇区时, 直接将上述第 300 步骤中参考扇区的矢量合成数学模型旋转  $K \times 60$  度,  $K$  为大于等于 1 的自然数后, 进行矢量计算。这样工作流程就不需要重复进行直角三角形区域的查找过程, 而可以直接利用之前计算用的矢量合成数学模型, 节

省了操作步骤,从而减少了编程步骤,降低了计算量。如图 2 所示,这里的参考扇区选择了直角三角形区域 1 和直角三角形区域 2,所以开关作用时间的计算公式参见公式 (7) 和公式 (8);如果将参考扇区选择在其他直角三角形区域的话,可以参见上述公式推导过程的原理,获得相应的开关作用时间的计算公式,并套用图 4 所示的方法流程,实现空间矢量脉宽调制。

[0101] 综上所述,本发明给出的这种新的 SVPWM 方法相对于现有技术具有以下几点优点:

[0102] (1) 将空间矢量平面划分为 12 个区域,数目少了一半。

[0103] (2) 只需要根据空间矢量的相位角,就可得出矢量所处的直角三角形区域,这种区域判断是非常简单的,并且还减少了套用公式的数量,从图 4 所示的流程图可以看出,本发明在进行开关作用时间计算时,只需要套用两个计算公式即可。

[0104] (3) 每个直角三角形的顶点对应的都是一个零矢量、一个中矢量和一个大矢量,达到了与两电平电路类似的简单算法,便于编程计算,降低了对处理器的处理速度要求,从而降低了成本。

[0105] (4) 推导出  $z$ 、 $a_1$ 、 $b_1$  构成的直角三角形区域和  $z$ 、 $a_2$ 、 $b_1$  构成的直角三角形区域内的开关矢量的作用时间计算公式后,其它的可以通过旋转  $k*60$  度后直接套用同样的公式,更进一步的便于编程计算,降低了对处理器的处理速度要求,从而降低了成本。

[0106] 同理,基于上述方法,本发明还可以通过编程或者添加硬件的方式在现有的矢量控制器中增加相应的功能模块,以实现上述功能。所以,本发明提供的矢量控制器,如图 3 所示,其包括:采样模块,用于采样电路的输出量,获得输出采样量;调节器模块,用于根据给定量和输出采样量的差值,获得对应于给定量的电压或电流输入量;执行单元,用于根据矢量计算获得的开关工作时间,控制整流或逆变电路输出所述给定量。更主要的是,其还包括:查找模块,用于根据给定量所对应空间矢量的相位角,在空间矢量平面图中查找给定量对应的空间矢量所位于的直角三角形区域,并以所述直角三角形区域的各顶点对应的开关矢量为常量建立给定量的空间矢量与各开关工作时间的矢量合成数学模型;计算模块,用于将获得的电压或电流输入量输入到所述矢量合成模型中,计算电路中各开关的工作时间,并将所述工作时间输出给所述执行单元。并且,为了减少计算量,在计算模块中还添加有:用于将给定量对应的空间矢量的相位角进行归一化计算转换到参考扇区的单元;用于根据所述相位角,选择所述参考扇区的矢量合成数学模型套用公式,并计算各个矢量对应开关的工作时间的单元。

[0107] 为了实现中点电压平衡调节,所述计算模块还包括:中点电压平衡调节单元,用于从计算获得的大矢量对应开关的工作时间中分出一预设部分时间给所述小矢量,此大矢量指所述扇形区域内位于直角三角形斜边顶点的空间矢量,此小矢量指所述扇形区域内位于直角三角形斜边中点的空间矢量。上述各个功能模块的具体实现原理可以参见上述方法的详细说明。

[0108] 图 1 给出的三相电平 PFC 的拓扑结构,其中开关管  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  还可以采用其他的变形形式,不过不管图 1 是采用什么样的开关管  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  的变形结构,或者其它的三相三电平整流/逆变电路,均可以适用本发明的 SVPWM 方法和 SVPWM 控制器。上述各具体步骤的举例说明较为具体,并不能因此而认为是对本发明的专利保护范围的限制,本发明的专利

保护范围应以所附权利要求为准。

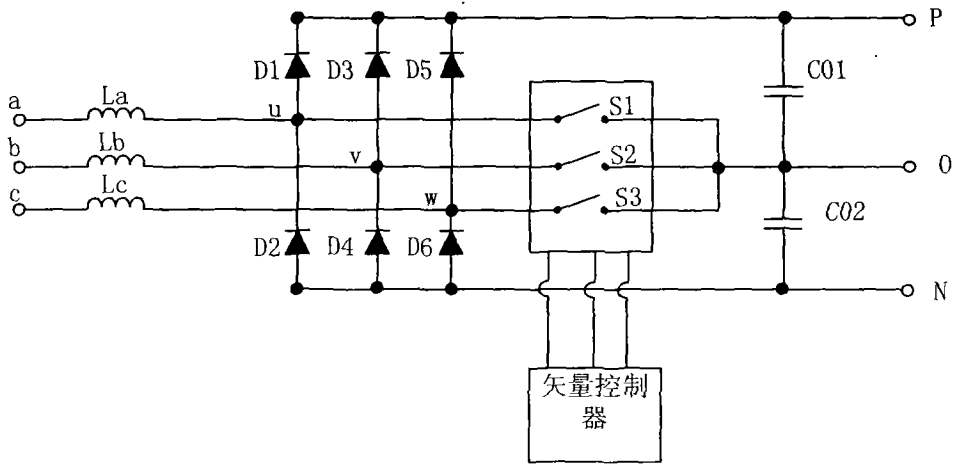


图 1

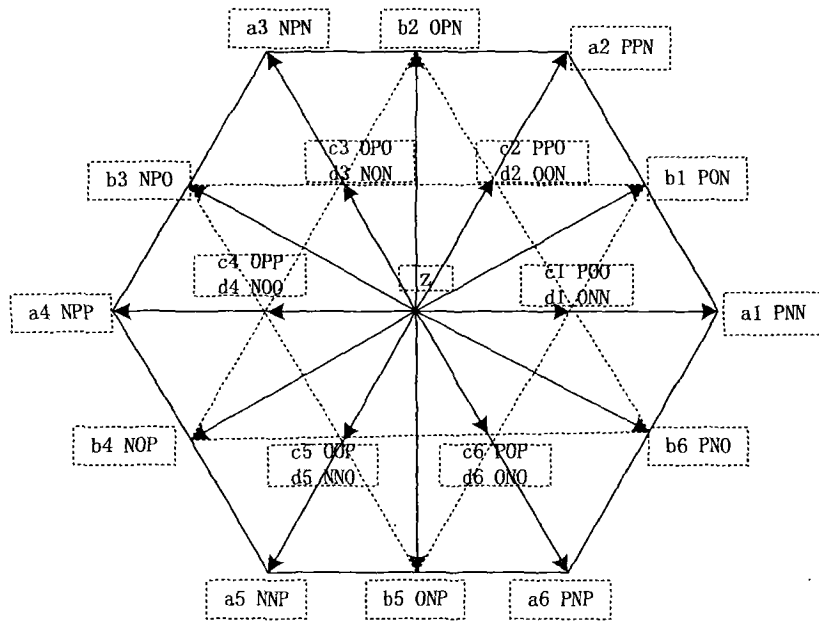


图 2

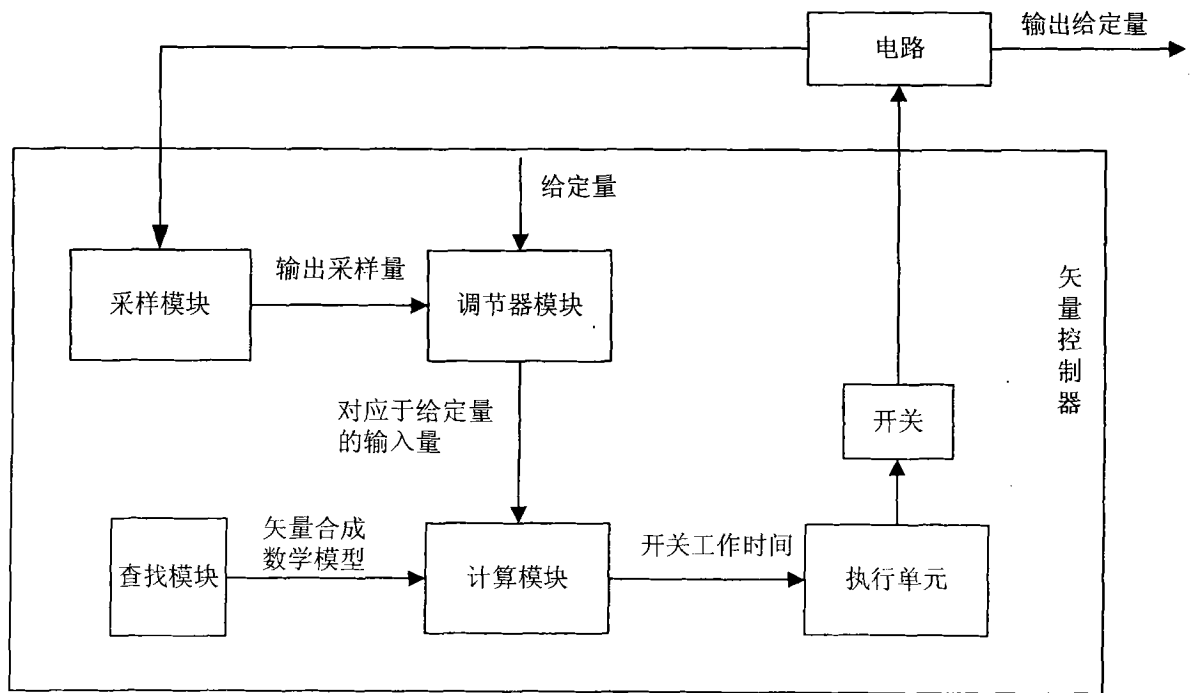


图 3



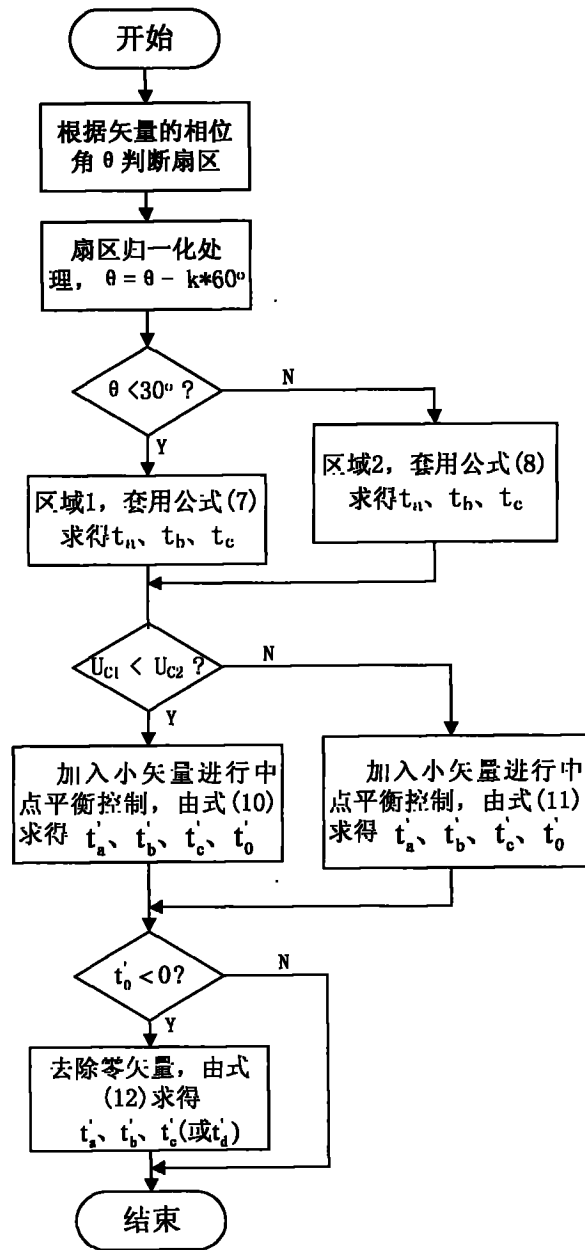


图 4