



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101741299 B

(45) 授权公告日 2012. 05. 30

(21) 申请号 201010032498. 1

审查员 查洁立

(22) 申请日 2010. 01. 20

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 赵克 安群涛 孙力 吴凤江
孙立志 孙光亚

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务所 23109

代理人 牟永林

(51) Int. Cl.

H02P 6/08 (2006. 01)

H02P 6/16 (2006. 01)

H02P 27/06 (2006. 01)

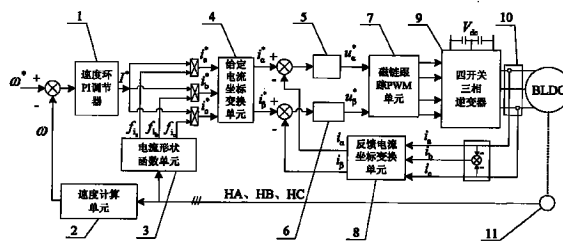
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 4 页

(54) 发明名称

四开关三相逆变器供电的无刷直流电机调速方法

(57) 摘要

四开关三相逆变器供电的无刷直流电机调速方法,属于直流电机调速领域。它解决了现有无刷直流电机控制中滞环调制的开关频率不固定的问题。它基于速度环 PI 调节器、速度计算单元、电流形状函数单元、给定电流坐标变换单元、 α 轴电流 PI 调节器、 β 轴电流 PI 调节器、磁链跟踪 PWM 单元、反馈电流坐标变换单元、四开关三相逆变器、电流传感器和霍尔磁极传感器实现,采用转速和电流双闭环控制,外环为转速环,转速环输出作为电流值给定,与电流形状函数单元分别相乘实现三相 120° 对称方波电流的给定,借助坐标变换在两相静止坐标系下构建电流闭环,再通过磁链跟踪 PWM 单元实现对四开关三相逆变器的控制。本发明用于无刷直流电机的调速控制。



1. 一种四开关三相逆变器供电的无刷直流电机调速方法,它基于速度环PI 调节器(1)、速度计算单元(2)、电流形状函数单元(3)、给定电流坐标变换单元(4)、 α 轴电流PI 调节器(5)、 β 轴电流PI 调节器(6)、磁链跟踪PWM 单元(7)、反馈电流坐标变换单元(8)、四开关三相逆变器(9)、电流传感器(10) 和霍尔磁极传感器(11) 实现,

其特征在于:

首先霍尔磁极传感器(11) 将检测到的所述无刷直流电机的转子角速度信号分别传递给速度计算单元(2) 和电流形状函数单元(3);电流传感器(10) 将检测到的所述无刷直流电机的绕组电流传递给反馈电流坐标变换单元(8);

然后速度计算单元(2) 根据检测到的所述无刷直流电机的转子角速度信号计算得到无刷直流电机的转速 ω ,将电机的转速 ω 与电机的给定转速 ω^* 作差后经速度环PI 调节器(1) 输出的电流值作为电流内环的电流给定值 I^* ;

同时电流形状函数单元(3) 根据检测到的所述无刷直流电机的转子角速度信号产生三相 120° 方波电流形状,将所述三相 120° 方波电流形状与所述电流给定值 I^* 相乘,得到三相坐标系下的电流给定值 i_a^* 、 i_b^* 和 i_c^* ,三相坐标系下的电流给定值 i_a^* 、 i_b^* 和 i_c^* 经给定电流坐标变换单元(4) 转换为两相静止坐标系下的电流给定值 i_α^* 和 i_β^* ;

同时反馈电流坐标变换单元(8) 将检测到的所述无刷直流电机的绕组电流转换后,得到两相静止坐标系下的无刷直流电机的电流值 i_α 和 i_β ,将所述电流值 i_α 与所述电流给定值 i_α^* 作差后经过 α 轴电流PI 调节器(5) 调节后,得到磁链跟踪PWM 单元(7) 的给定电压值 u_α^* ,将所述电流值 i_β 与所述电流给定值 i_β^* 作差后经过 β 轴电流PI 调节器(6) 调节后,得到磁链跟踪PWM 单元(7) 的给定电压值 u_β^* ,磁链跟踪PWM 单元(7) 根据给定电压值 u_α^* 和 u_β^* ,采用七段式空间矢量PWM 调制方法实现对四开关三相逆变器(9) 中功率开关管的导通与闭合的控制,进而实现对所述无刷直流电机的调速;

在所述七段式空间矢量PWM 调制方法中,采用在相同时间内施加两个相反方向的电压矢量来等效零矢量的作用。

2. 根据权利要求1 所述的四开关三相逆变器供电的无刷直流电机调速方法,其特征在于:所述霍尔磁极传感器(11) 为三个,由三个霍尔磁极传感器(11) 输出的信号得到所述无刷直流电机的转子角速度。

3. 根据权利要求1 或2 所述的四开关三相逆变器供电的无刷直流电机调速方法,其特征在于:所述电流传感器(10) 为两个,用来测量所述无刷直流电机的两相的电流,无刷直流电机的第三相电流由两个电流传感器(10) 测得的电流相加取反得到。

四开关三相逆变器供电的无刷直流电机调速方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种四开关三相逆变器供电的无刷直流电机调速方法,属于直流电机调速领域。

背景技术

[0002] 永磁无刷直流电机由于结构简单、调速性能好、功率密度大及运行可靠等显著优点,在伺服控制、机器人和航天航空等领域得到了日益广泛的应用。为了降低成本,四开关三相逆变器被应用于电机驱动系统中。四开关三相逆变器采用两串联电容代替六开关逆变器的一个功率管桥臂,节省了功率器件,降低了成本。同时,在六开关逆变器某一桥臂的功率管发生故障时,可以采取一定措施构建所述四开关三相逆变器继续运行,这使得电机驱动系统具有容错性。

[0003] 中国专利《基于四开关逆变桥的电机单电流传感器控制方法及装置》,公开号为CN101453182A,公开日为2009年6月10日,公开了一种基于四开关逆变桥的无刷直流电机单电流传感器的直接电流控制方法。它将单个电流传感器连接在两串联电容中点与电机绕组之间,通过采用电流和转速双闭环的控制方式,产生无刷直流电机所需的方波电流波形。同时提出了四开关三相无刷直流电机的直接电流控制方法和无电流传感器的四开关三相无刷直流驱动控制策略。

[0004] 现有四开关三相无刷直流电机的控制策略都是基于对相电流的独立检测和独立控制思想,采用滞环控制直接产生驱动无刷直流电机所需的相电流波形,存在开关频率不固定、转矩波动大等问题。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种四开关三相逆变器供电的无刷直流电机调速方法,它解决了现有无刷直流电机控制中滞环调制的开关频率不固定的问题。

[0006] 本发明基于速度环PI调节器、速度计算单元、电流形状函数单元、给定电流坐标变换单元、 α 轴电流PI调节器、 β 轴电流PI调节器、磁链跟踪PWM单元、反馈电流坐标变换单元、四开关三相逆变器、电流传感器和霍尔磁极传感器实现,

[0007] 首先霍尔磁极传感器将检测到的所述无刷直流电机的转子角速度信号分别传递给速度计算单元和电流形状函数单元;电流传感器将检测到的所述无刷直流电机的绕组电流传递给反馈电流坐标变换单元;

[0008] 然后速度计算单元根据检测到的所述无刷直流电机的转子角速度信号计算得到无刷直流电机的转速 ω ,将电机的转速 ω 与给定电机的转速 ω^* 作差后经速度环PI调节器输出的电流值作为电流内环的电流给定值 I^* ;

[0009] 同时电流形状函数单元根据检测到的所述无刷直流电机的转子角速度信号产生三相 120° 方波电流形状,将所述三相 120° 方波电流形状与所述电流给定值 I^* 相乘,得到三相坐标系下的电流给定值 i_a^* 、 i_b^* 和 i_c^* ,三相坐标系下的电流给定值 i_a^* 、 i_b^* 和 i_c^* 经给定

电流坐标变换单元转换为两相静止坐标系下的电流给定值 i_{α}^* 和 i_{β}^* ;

[0010] 同时反馈电流坐标变换单元将检测到的所述无刷直流电机的绕组电流转换后,得到两相静止坐标系下的无刷直流电机的电流值 i_{α} 和 i_{β} ,将所述电流值 i_{α} 与所述电流给定值 i_{α}^* 作差后经过 α 轴电流 PI 调节器调节后,得到磁链跟踪 PWM 单元的给定电压值 u_{α}^* ,将所述电流值 i_{β} 与所述电流给定值 i_{β}^* 作差后经过 β 轴电流 PI 调节器调节后,得到磁链跟踪 PWM 单元的给定电压值 u_{β}^* ,磁链跟踪 PWM 单元根据给定电压值 u_{α}^* 和 u_{β}^* ,采用七段式空间矢量 PWM 调制方法实现对四开关三相逆变器中功率开关管的导通与闭合的控制,进而实现对所述无刷直流电机的调速。

[0011] 本发明的优点是:本发明采用转速和电流双闭环控制,外环为转速环,转速环输出作为电流幅值给定,与电流形状函数分别相乘实现三相 120° 对称方波电流的给定,借助坐标变换在两相静止坐标系下构建电流闭环,再采用低开关频率的“七段式”磁链跟踪型四开关 PWM 调制策略实现对四开关三相逆变器的控制,从而克服了现有技术中滞环调制的开关频率不固定问题,实现了四开关三相无刷直流电机的稳定可靠控制,为无刷直流电机的低成本和容错驱动系统提供了解决方案。

附图说明

[0012] 图 1 为本发明调制方法的信号走向示意图;图 2 为无刷直流电机的反电势、绕组电流及三个霍尔传感输出的信号的对应关系图;图 3 为四开关三相逆变器拓扑结构及其与无刷直流电机的连接示意图;图 4 为四开关三相逆变器的空间电压矢量分布图;图 5 至图 12 中 T 表示周期, T_b 为无刷直流电机的 b 相导通时间, T_c 为无刷直流电机的 c 相导通时间, T_x 和 T_y 分别为相邻的两个基本电压矢量合成作用时间, T_0 为采用在相同时间内施加两个相反方向的电压矢量来等效零矢量的作用时间,其中图 5 为与图 4 中第 I 扇区对应的“七段式”磁链跟踪型四开关 PWM 调制波形合成矢量的作用时间图;图 6 为与图 5 对应的矢量合成结果图;图 7 为与图 4 中第 II 扇区对应的“七段式”磁链跟踪型四开关 PWM 调制波形合成矢量的作用时间图;图 8 为与图 7 对应的矢量合成结果图;图 9 为与图 4 中第 III 扇区对应的“七段式”磁链跟踪型四开关 PWM 调制波形合成矢量的作用时间图;图 10 为与图 9 对应的矢量合成结果图;图 11 为与图 4 中第 IV 扇区对应的“七段式”磁链跟踪型四开关 PWM 调制波形合成矢量的作用时间图;图 12 为与图 11 对应的矢量合成结果图;图 13 为本发明的“七段式”磁链跟踪 PWM 单元通过 DSP 由软件程序实现的流程图。

具体实施方式

[0013] 具体实施方式一:下面结合图 1- 图 13 说明本实施方式,本实施方式基于速度环 PI 调节器 1、速度计算单元 2、电流形状函数单元 3、给定电流坐标变换单元 4、 α 轴电流 PI 调节器 5、 β 轴电流 PI 调节器 6、磁链跟踪 PWM 单元 7、反馈电流坐标变换单元 8、四开关三相逆变器 9、电流传感器 10 和霍尔磁极传感器 11 实现,

[0014] 首先霍尔磁极传感器 11 将检测到的所述无刷直流电机的转子角速度信号分别传递给速度计算单元 2 和电流形状函数单元 3;电流传感器 10 将检测到的所述无刷直流电机的绕组电流传递给反馈电流坐标变换单元 8;

[0015] 然后速度计算单元 2 根据检测到的所述无刷直流电机的转子角速度信号计算得

到无刷直流电机的转速 ω , 将电机的转速 ω 与给定电机的转速 ω^* 作差后经速度环 PI 调节器 1 输出的电流值作为电流内环的电流给定值 I^* ;

[0016] 同时电流形状函数单元 3 根据检测到的所述无刷直流电机的转子角速度信号产生三相 120° 方波电流形状, 将所述三相 120° 方波电流形状与所述电流给定值 I^* 相乘, 得到三相坐标系下的电流给定值 i_a^* 、 i_b^* 和 i_c^* , 三相坐标系下的电流给定值 i_a^* 、 i_b^* 和 i_c^* 经给定电流坐标变换单元 4 转换为两相静止坐标系下的电流给定值 i_α^* 和 i_β^* ;

[0017] 同时反馈电流坐标变换单元 8 将检测到的所述无刷直流电机的绕组电流转换后, 得到两相静止坐标系下的无刷直流电机的电流值 i_α 和 i_β , 将所述电流值 i_α 与所述电流给定值 i_α^* 作差后经过 α 轴电流 PI 调节器 5 调节后, 得到磁链跟踪 PWM 单元 7 的给定电压值 u_α^* , 将所述电流值 i_β 与所述电流给定值 i_β^* 作差后经过 β 轴电流 PI 调节器 6 调节后, 得到磁链跟踪 PWM 单元 7 的给定电压值 u_β^* , 磁链跟踪 PWM 单元 7 根据给定电压值 u_α^* 和 u_β^* , 采用七段式空间矢量 PWM 调制方法实现对四开关三相逆变器 9 中功率开关管的导通与闭合的控制, 进而实现对所述无刷直流电机的调速; 所述霍尔磁极传感器 11 为三个, 由三个霍尔磁极传感器 11 输出的信号得到所述无刷直流电机的转子角速度; 所述电流传感器 10 为两个, 用来测量所述无刷直流电机的两相的电流, 无刷直流电机的第三相电流由两个电流传感器 10 测得的电流相加取反得到。

[0018] 工作原理: 本发明方法的实现采用了对无刷直流电机转速环和电流环双闭环结构的控制, 外环为转速环, 转速反馈 ω 由三个霍尔磁极传感器 11 的输出信号 HA、HB 和 HC 经速度计算单元 2 计算得到, 与给定电机的转速值 ω^* 作差后经速度环 PI 调节器 1 输出的电流值作为内环的给定 I^* 。内环为电流环, 电流环建立在两相静止的 α 、 β 坐标系下。四开关三相逆变器 9 的驱动信号由磁链跟踪 PWM 单元 7 的调制方式产生, 磁链跟踪四开关 PWM 调制建立在两相静止坐标系下, 并采用“七段式”的开关模式分配方式, 以降低逆变器功率器件的开关频率。下面对部分功能单元和实现方式做详细说明:

[0019] 1、电流形状函数单元 3:

[0020] 电流形状函数单元 3 用于根据三个霍尔磁极传感器 11 输出的信号 HA、HB 和 HC 完成三相电流形状的给定。三个霍尔磁极传感器 11 布置的位置需满足分别与反电势平顶波同相位 120° 的方波起始点对应。转子角速度根据无刷直流电机的运行原理, 只有控制绕组电流为与反电势平顶波同相位 120° 的方波, 才能实现无刷直流电机转矩的平稳运行, 电机反电势、绕组电流及霍尔信号的对应关系应为图 2 所示。

[0021] 由电流形状函数单元 3 输出的函数值随霍尔信号的对应关系如表 1 所示。表 1 的第一列为三个霍尔磁极传感器 11 的输出信号 HA、HB 和 HC, 第二列为与霍尔磁极传感器 11 的输出信号 HA、HB 和 HC 对应的转子位置, 第三、四、五列分别为无刷直流电机 a、b、c 相电流形状。本发明中电流形状函数单元 3 的功能通过 DSP 实现, 霍尔磁极传感器 11 输出的逻辑信号经调理电路送入到 DSP 的 CAP 管脚, 利用 DSP 的捕获功能捕获霍尔信号的跳沿, 并配合 CAP 管脚的 I/O 口功能, 实现霍尔信号高低电平的判断。

[0022] 表 1

[0023]

霍尔信号 (HA、HB、 HC)	转子位置 θ	$f_{ia}(\theta)$	$f_{ib}(\theta)$	$f_{ic}(\theta)$
101	$0^\circ \sim 60^\circ$	1	-1	0
100	$60^\circ \sim 120^\circ$	1	0	-1
110	$120^\circ \sim 180^\circ$	0	1	-1
010	$180^\circ \sim 240^\circ$	-1	1	0
011	$240^\circ \sim 300^\circ$	-1	0	1
001	$300^\circ \sim 360^\circ$	0	-1	1

[0024] 2、磁链跟踪 PWM 单元 7：

[0025] 本发明方法通过磁链跟踪 PWM 单元 7 实现对四开关三相逆变器 9 的控制。图 3 所示，四开关三相逆变器 9 共有四种开关模式，形成四个基本电压矢量 $U_0(00)$ 、 $U_1(01)$ 、 $U_2(10)$ 和 $U_3(11)$ ，将空间矢量分成 I、II、III 和 IV 四个扇区，如图 4 所示。四个基本电压矢量幅值并不相等，组成一个菱形，使得其控制磁链的自由度降低，难度加大。在任意的一个扇区内，参考电压矢量 U_r 由相邻的两个基本电压矢量合成，作用时间分别为 T_x 和 T_y 。由于没有零矢量，采用在相同时间内施加两个相反方向的电压矢量来等效零矢量的作用，作用时间为 T_0 ，为了减小这两个相反方向的电压矢量引起的磁链波动，采用细分施加的方式；同时，为减少开关次数和抑制谐波，确定开关模式的分配原则：每一调制周期以 $U_0(00)$ 开始并结束，同一桥臂上开关器件的开关状态只改变两次。图 6 中所示，第一扇区的参考电压矢量 U_r 由 $(\frac{T_0}{4} + \frac{T_x}{2})U_0$ 、 $\frac{T_y}{2}U_2$ 、 $\frac{T_0}{2}U_3$ 、 $\frac{T_y}{2}U_2$ 和 $(\frac{T_x}{2} + \frac{T_0}{4})U_0$ 五个时间矢量合成；同样图 8、图 10 和图 12 分别表示了相应扇区的参考电压矢量 U_r 的矢量合成。

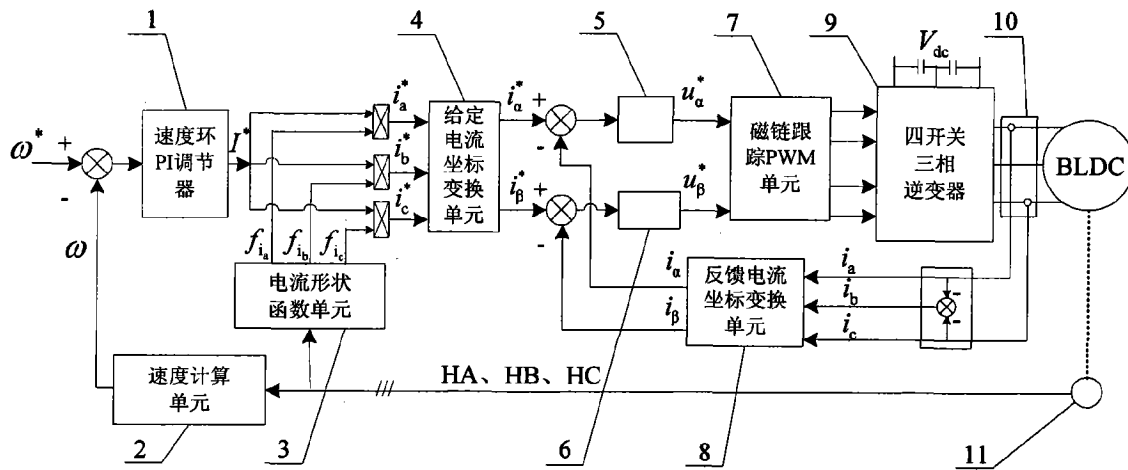


图 1

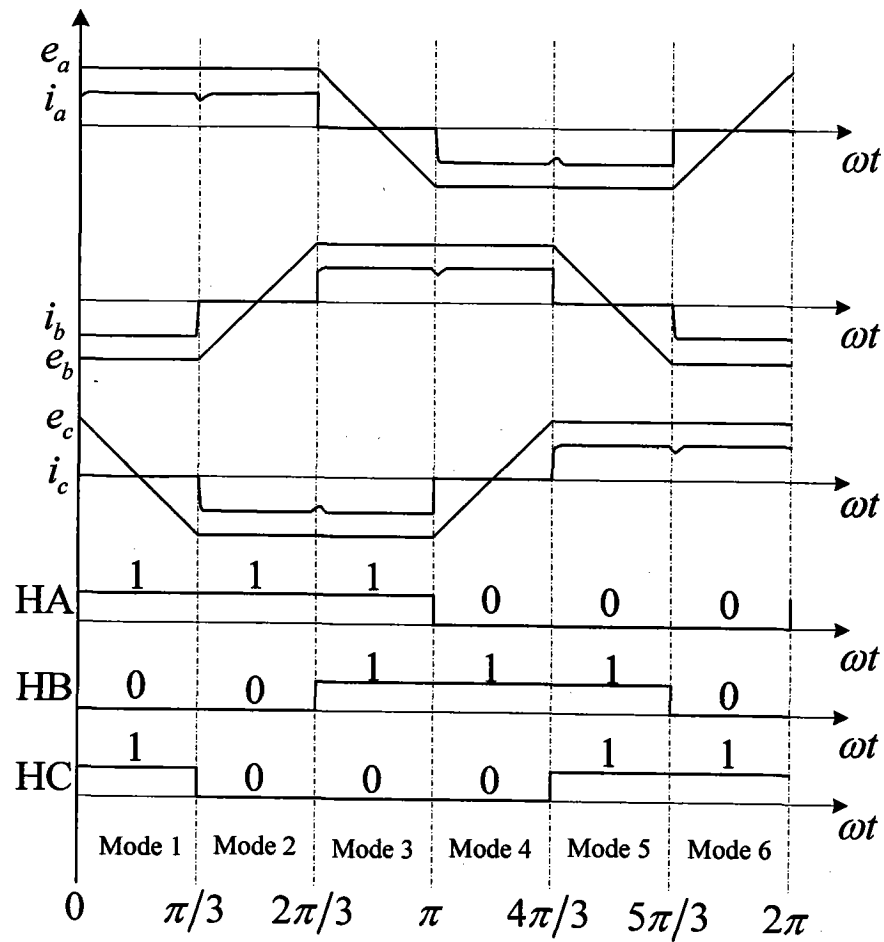


图 2

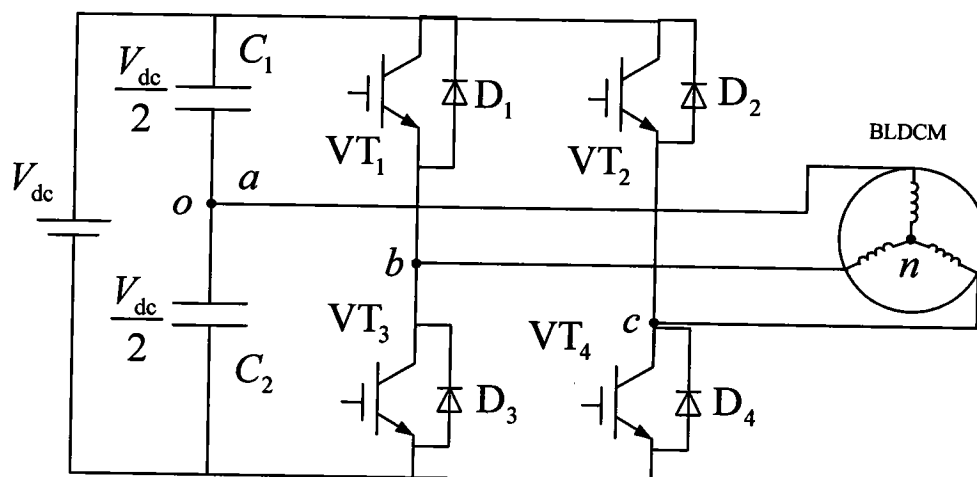


图 3

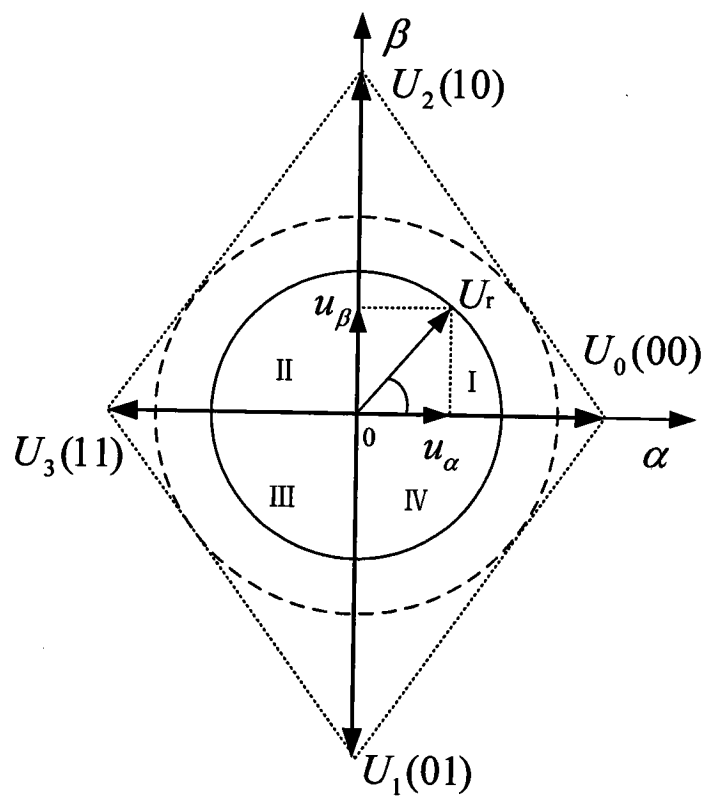


图 4

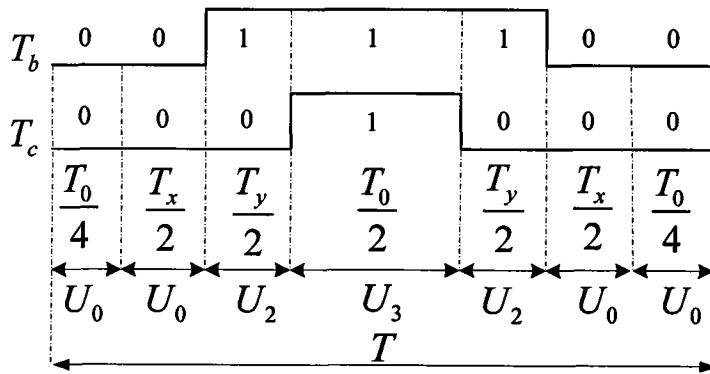


图 5

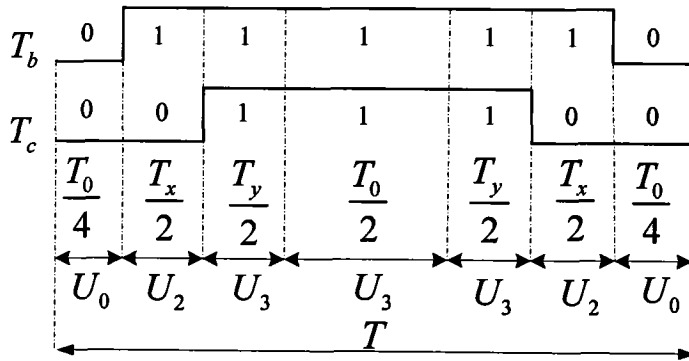


图 7

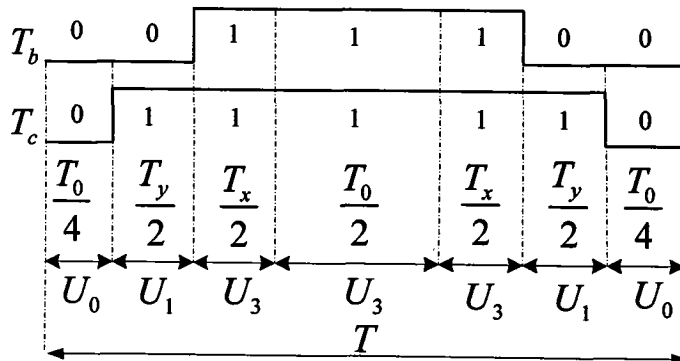


图 9

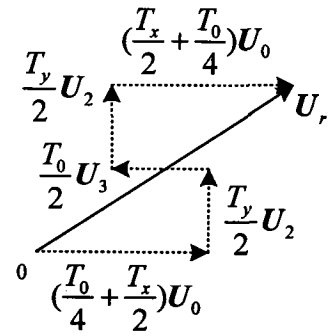


图 6

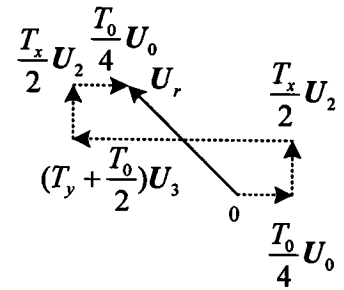


图 8

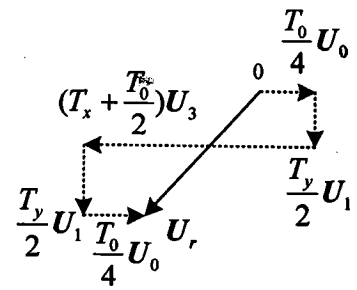


图 10

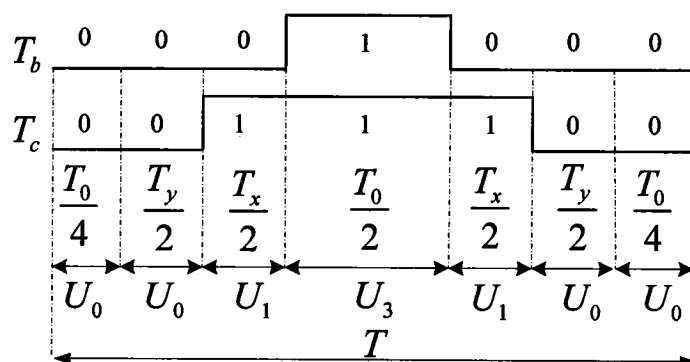


图 11

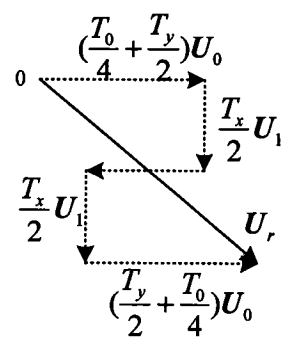


图 12

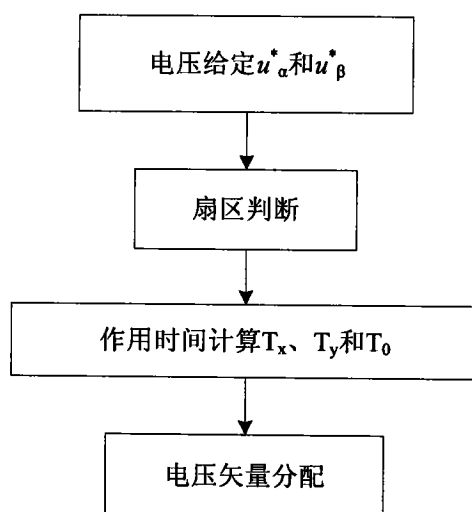


图 13