



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102170239 B

(45) 授权公告日 2013. 08. 14

(21) 申请号 201110097922. 5

0023 段至 0062 段及附图 2.

(22) 申请日 2011. 04. 18

CN 101771361 A, 2010. 07. 07, 说明书第 0012 段至 0019 段.

(73) 专利权人 江苏南自通华电气成套有限公司
地址 212211 江苏省镇江市扬中新坝科技园
南自路 1 号

审查员 郭星

(72) 发明人 柴继涛 周细文 吴恒荣 周金博
章辉

(74) 专利代理机构 上海海颂知识产权代理事务
所(普通合伙) 31258

代理人 何葆芳

(51) Int. Cl.

H02M 7/219(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101888190 A, 2010. 11. 17, 说明书第

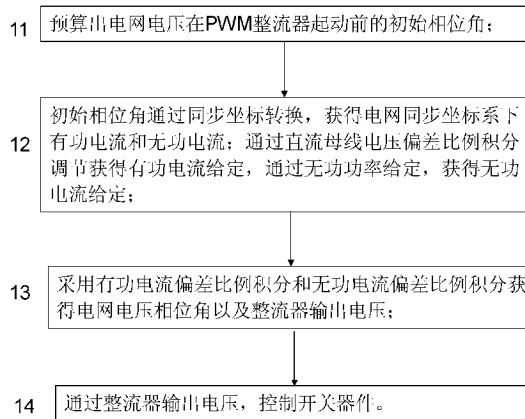
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

无电网电压传感器同步 PWM 整流器矢量控制
方法

(57) 摘要

本发明公开了一种无电网电压传感器同步 PWM 整流器矢量控制方法, 首先, 预算出电网电压在 PWM 整流器起动前的初始相位角, 然后采用同步坐标变换, 获得电网同步坐标系下有功电流和无功电流, 通过直流母线电压偏差比例积分调节获得有功电流给定, 通过无功功率给定, 获得无功电流给定。采用有功电流偏差比例积分和无功电流偏差比例积分获得电网电压相位角以及整流器输出电压, 通过整流器输出电压, 控制开关器件。本发明的矢量控制方法对于无中性点的三相对称 / 不对称电网均具有良好的性能。通过预算获得电网电压的初始相位角, 可以使整流器在单位功率因数下稳定工作, 并且无功功率也可任意可调, 达到了有电网电压传感器时的同等控制性能。



1. 一种无电网电压传感器同步 PWM 整流器矢量控制方法,其特征在于:
该矢量控制方法的具体步骤为:
 - A. 预算出电网电压在 PWM 整流器起动前的初始相位角;
 - B. 初始相位角通过同步坐标变换,获得电网同步坐标系下有功电流和无功电流;通过直流母线电压偏差比例积分调节获得有功电流给定,通过无功功率给定,获得无功电流给定;
 - C. 采用有功电流偏差比例积分和无功电流偏差比例积分获得电网电压相位角以及整流器输出电压;
 - D. 通过整流器输出电压,控制开关器件;所述的步骤 C 的具体步骤为:
 - C1. 将有功电流给定和实际有功电流通过电流偏差比例积分调节器控制获得有功电流偏差比例积分;
 - C2. 将无功电流给定和实际无功电流通过电流偏差比例积分调节器控制获得无功电流偏差比例积分;
 - C3. 通过有功电流偏差比例积分和无功电流偏差比例积分,以及电网电压前馈补偿项得出电网电压相位角和整流器输出电压。
2. 根据权利要求 1 所述的矢量控制方法,其特征在于:
所述的步骤 A 的具体步骤为:
 - A1. 在 PWM 整流器开始运行之前加若干个周期的零电压矢量;
 - A2. 通过电流霍尔传感器分别采集三相电流;
 - A3. 将三相电流经过静止三相 / 两相变换,获得两相电流量;
 - A4. 通过两相电流量观测虚拟电网磁链,获得虚拟电网磁链的初始值;
 - A5. 通过虚拟电网磁链的初始值获得电网电压的初始相位角。
3. 根据权利要求 1 所述的矢量控制方法,其特征在于:
所述的步骤 B 的具体步骤为:
 - B1. 电网电压的初始相位角通过同步坐标变换,获得电网同步坐标系下有功电流以及无功电流;
 - B2. 将直流母线电压给定以及实际直流母线电压通过电压偏差比例积分调节器控制获得有功电流给定;
 - B3. 根据功率因数和无功功率调节要求获得无功电流给定。
4. 根据权利要求 1 所述的矢量控制方法,其特征在于:
所述步骤 D 中的整流器输出电压为三相桥输出控制电压,所述开关器件为三相桥 IGBT 模块。

无电网电压传感器同步 PWM 整流器矢量控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无电网电压传感器同步 PWM 整流器的矢量控制技术,更具体地说是涉及一种无电网电压传感器同步 PWM 整流器矢量控制方法。

背景技术

[0002] 随着电力电子装置特别是整流设备的大量应用,整流设备会向电网注入了大量谐波与无功电流给电网造成了严重污染,同时再生能量无法回馈电网,造成资源的重大浪费。而 PWM 整流器具有输入电流正弦性好、能量可实现双向流动等特性,在风力发电以及无功补偿等领域获得广泛的应用。目前应用较多的是电压型 PWM 整流器,主要采用电压定向矢量控制方式,此时需要检测电网电压、输入电流以及直流母线电压。但众多的传感器以及信号处理电路会带来高成本及复杂性等问题,因而减少传感器成为 PWM 整流器的一个研究热点。现有无电网电压传感器矢量控制技术主要采用以下方法:

[0003] (1) 估计虚拟电网磁链法

[0004] 估计虚拟电网磁链方法,把 PWM 整流器中的电网电压看做是交流电机的气隙磁场在定子绕组中产生的感应电势,电抗器等的电感和电阻分别相当于电机定子绕组的漏感和电阻,因此把电网电压看成是一个虚拟的磁链的微分量,通过观测这个虚拟电网磁链来取代电网电压作为定向矢量,以达到省去电网电压传感器的目的。

[0005] (2) 估计电网电压法

[0006] 估计电网电压方法,通过对并网逆变器输出电流的积分来计算出并网侧电压,然后通过计算得出电网电压在 $\alpha\beta$ 坐标系下的数学模型从而估算出电网电压的角度信号,从而达到省去电网电压传感器的目的。

[0007] 但是估计虚拟电网磁链法存在初始磁链估计的问题,如果不带初始磁链估计的观测器或观测器设计不合理,则会导致 PWM 整流器在启动过程中产生很大电流冲击甚至无法启动。而估计电网电压法会由于在电网电压的估计中用到电流信号的分量,从而容易引入和放大噪声干扰,而且当开关频率较低时,采用近似的微分计算将造成较大的计算误差。

[0008] 目前典型 PWM 整流器系统的控制方法是通过检测电网侧电压得到电网侧电压的相位角,通过检测整流器电流和直流母线电压,完成电网侧有功功率和无功功率的控制,从而控制直流侧的电压,完成能量的传递。但现有的控制方法需要检测电网电压、电网侧电流以及直流母线电压,而众多的传感器以及信号处理电路会带来高成本及复杂性等问题,同时由于初始角度观测不准确还会带来 PWM 整流器无法启动的问题。

发明内容

[0009] 本发明的目的是提供一种无电网电压传感器同步 PWM 整流器矢量控制方法,不仅解决了现有技术中存在的 PWM 整流器需要众多的传感器和信号处理电路而导致的高成本及复杂性等问题,同时还解决了由于初始角度观测不准确而带来的 PWM 整流器无法启动的问题。

[0010] 为达到上述目的,本发明采用如下的技术方案:

[0011] 一种无电网电压传感器同步 PWM 整流器矢量控制方法,该矢量控制方法的具体步骤为:

[0012] A. 预算出电网电压在 PWM 整流器起动前的初始相位角;

[0013] B. 初始相位角通过同步坐标变换,获得电网同步坐标系下有功电流和无功电流;通过直流母线电压偏差比例积分调节获得有功电流给定,通过无功功率给定,获得无功电流给定;

[0014] C. 采用有功电流偏差比例积分和无功电流偏差比例积分获得电网电压相位角以及整流器输出电压;

[0015] D. 通过整流器输出电压,控制开关器件。

[0016] 所述的步骤 A 的具体步骤为:

[0017] A1. 在 PWM 整流器开始运行之前加若干个周期的零电压矢量;

[0018] A2. 通过电流霍尔传感器分别采集三相电流;

[0019] A3. 将三相电流经过静止三相 / 两相变换,获得两相电流量;

[0020] A4. 通过两相电流量观测虚拟电网磁链,获得虚拟电网磁链的初始值;

[0021] A5. 通过虚拟电网磁链的初始值获得电网电压的初始相位角。

[0022] 所述的步骤 B 的具体步骤为:

[0023] B1. 电网电压的初始相位角通过同步坐标变换,获得电网同步坐标系下有功电流以及无功电流;

[0024] B2. 将直流母线电压给定以及实际直流母线电压通过电压偏差比例积分调节器控制获得有功电流给定;

[0025] B3. 根据功率因数和无功功率调节要求获得无功电流给定。

[0026] 所述的步骤 C 的具体步骤为:

[0027] C1. 将有功电流给定和实际有功电流通过电流偏差比例积分调节器控制获得有功电流偏差比例积分;

[0028] C2. 将无功电流给定和实际无功电流通过电流偏差比例积分调节器控制获得无功电流偏差比例积分;

[0029] C3. 通过有功电流偏差比例积分和无功电流偏差比例积分,以及电网电压前馈补偿项得出电网电压相位角和整流器输出电压。

[0030] 所述步骤 D 中的整流器输出电压为三相桥输出控制电压,所述开关器件为三相桥 IGBT 模块。

[0031] 与现有技术相比,采用本发明的一种无电网电压传感器同步 PWM 整流器矢量控制方法,首先,预算出电网电压在 PWM 整流器起动前的初始相位角,这样可以减小 PWM 整流器起动时的冲击电流,达到保护 IGBT 器件的目的;然后,利用初始相位角通过同步坐标变换,获得电网同步坐标系下有功电流和无功电流;通过直流母线电压偏差比例积分调节获得有功电流给定,根据功率因数和无功功率调节,获得无功电流给定;采用有功电流偏差比例积分和无功电流偏差比例积分获得电网电压相位角以及整流器输出电压;通过 PWM 整流器数学模型和基尔霍夫电压电流定律,可以估算出电网电压的实时相位角,达到并网的目的。最后通过整流器输出电压,控制开关器件;通过控制开关器件,使 PWM 整流器完成负载与电网

之间的能量转换,达到 PWM 整流器同步整流的目的。本发明的矢量控制方法由于采用对电网电压相位预测,省去了电网电压传感器,完成了 PWM 整流器的并网控制,其对于无中性点的三相对称 / 不对称电网均具有良好的性能。通过预算获得电网电压的初始相位角,可以使整流器在单位功率因数下稳定工作,并且无功功率也可任意可调,达到了有电网电压传感器时的同等控制性能。本发明的矢量控制方法依据能量守恒定律和基尔霍夫电压和电流定律估算出电网电压的初始相位角,因此不需要电网电压传感器,从而简化了整流器控制系统,节约了系统的硬件成本。本发明的矢量控制方法还具有简单实用,计算量小和稳定性好等特点。

附图说明

[0032] 图 1 是本发明的无电网电压传感器同步 PWM 整流器矢量控制方法的流程示意图;

[0033] 图 2 是本发明的实施例的原理示意图,

[0034] 其中: u_a 、 u_b 、 u_c 为电网三相电压, R 为线路阻抗, L 为滤波器电感, i_a 、 i_b 、 i_c 为整流器输入电流, v_a 、 v_b 、 v_c 为整流器输出三相电压, i_{dc} 为直流母线电流, i_L 为负载电流。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图和实施例进一步说明本发明的技术方案。

[0036] 请参阅图 1 所示的一种无电网电压传感器同步 PWM 整流器矢量控制方法,该矢量控制方法的具体步骤为:

[0037] 11. 预算出电网电压在 PWM 整流器起动前的初始相位角;

[0038] 12. 利用电网电压初始相位角和整流器的输入三相电流,初始相位角通过同步坐标变换,获得电网同步坐标系下整流器输入的有功电流和无功电流;通过直流母线电压偏差比例积分调节获得有功电流给定,通过无功功率给定,获得无功电流给定;

[0039] 13. 采用有功电流偏差比例积分和无功电流偏差比例积分获得电网电压相位角以及整流器输出电压给定;

[0040] 14. 通过整流器输出电压给定,控制开关器件。

[0041] 其中整流器输出电压为三相桥输出控制电压,所述开关器件为三相桥 IGBT 模块。

[0042] 再请参阅图 2 所示的 PWM 整流器的原理示意图,利用电流霍尔传感器分别采集三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c ,利用电压霍尔传感器采集直流母线电压 U_{dc} ,将三相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 经过静止三相 / 两相变换,得到两相静止坐标系下 α 轴电流分量 I_α 和 β 轴电流分量 I_β ,其中

$$[0043] \quad \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 1 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

[0044] 在 PWM 整流器开始运行之前,令整流器输出有功电压给定 $V_{dref} = 0$ 和无功电压给定 $V_{qref} = 0$,运行五个开关周期的零电压矢量,得到虚拟电网磁链在 α 轴分量 $\psi_\alpha(k+1)$ 和 β 轴分量 $\psi_\beta(k+1)$,由电网磁链在 α 轴分量 $\psi_\alpha(k+1)$ 和 β 轴分量 $\psi_\beta(k+1)$,估算出在 PWM 整流器起动前电网电压的初始相位角 θ_0 ,方程如下:

$$[0045] \quad \begin{cases} \psi_{\alpha}(k+1) = \frac{L i_{\beta}(k+1) - i_{\beta}(k)}{w T} \\ \psi_{\beta}(k+1) = -\frac{L i_{\alpha}(k+1) - i_{\alpha}(k)}{w T} \end{cases}, (k = 0, 1, 2, 3, 4);$$

[0046] 其中L为网侧电感值 ;w 为电网电压的角频率 ;T 为系统模拟量采样周期 ; $i_{\alpha}(k)$ 和 $i_{\beta}(k)$ 为第 k 个开关周期的两相静止坐标系下 α 轴电流分量和 β 轴电流分量。

$$[0047] \quad \theta_0(k+1) = \alpha \tan 2\left(\frac{\psi_{\beta}(k+1)}{\psi_{\alpha}(k+1)}\right), (k = 0, 1, 2, 3, 4),$$

[0048] 其中 $\theta_0(k+1)$ 为在 PWM 整流器起动前电网电压初始相位角在第 k 个开关周期的估计值。

[0049] 利用电网电压初始相位角 θ_0 , 通过坐标旋转变换, 得到电网同步坐标下有功电流 I_d 和无功电流 I_q ; 将直流母线电压给定 U_{dref} 和实际直流母线电压通过 PI 调节器控制得到有功电流给定 I_{dref} ; 根据无功调节要求, 得到无功电流给定 I_{qref} , 其方程如下 :

$$[0050] \quad \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha} \\ I_{\beta} \end{bmatrix}$$

[0051] 将有功电流 I_d 和无功电流 I_q 分别进行截止频率为 50Hz 的低通滤波器得到滤波后的有功电流 I_{df} 和滤波后的无功电流 I_{qf} , 将有功电流给定 I_{dref} 和滤波后的有功电流 I_{df} 进行 PI 调节得到有功电压给定 V_{d1} , 将无功电流给定 I_{qref} 和滤波后的无功电流 I_{qf} 进行 PI 调节得到无功电压给定 V_{q1} ; 由有功电压给定 V_{d1} 和无功电压给定 V_{q1} 得到电网电压的相位角 θ 和整流器输出控制参考电压 V_{dref} 和 V_{qref} 。

[0052] 依据基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律, 可以得出 PWM 整流器三相回路的电压方程 :

$$[0053] \quad \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_A \\ v_B \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} R + L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix};$$

$$[0054] \quad C \frac{du_{dc}}{dt} = i_{dc} - i_L;$$

[0055] 其中 u 代表电网相电压, v 代表整流器输出电压, i 代表整流器输出电流, L 为滤波器电感, R 为线路等效电阻。

[0056] 经三相坐标到 dqn 坐标变换得 :

$$[0057] \quad \begin{cases} u_d = v_d - Ri_d + \omega Li_q - L \frac{d}{dt} i_d \\ u_q = v_q - Ri_q - \omega Li_d - L \frac{d}{dt} i_q \end{cases}$$

[0058] 依据上述公式, 可以得到整流器输出参考电压 v_{dref} 和 v_{qref} :

$$[0059] \quad \begin{cases} v_{dref} = u_d + \omega Li_q + \left(K_{pP} + \frac{K_{iP}}{s}\right) (i_{dref} - i_d) \\ v_{qref} = u_q - \omega Li_d + \left(K_{pQ} + \frac{K_{iQ}}{s}\right) (i_{qref} - i_q) \end{cases}$$

[0060] 其中 ωLi_q 和 ωLi_d 为补偿项, u_d 和 u_q 为电网电压的前馈补偿项。

[0061] 令：
$$\begin{cases} \Delta v_d = (K_{pP} + \frac{K_{iP}}{s})(i_{dref} - i_d) \\ \Delta v_q = (K_{pQ} + \frac{K_{iQ}}{s})(i_{qref} - i_q) \end{cases}$$
, 依据上述公式, 可以得到电网电压相角的变化率

$\Delta \theta$:

[0062]
$$\Delta \theta = \tan^{-1} \frac{\Delta v_q}{u_d + \Delta v_d};$$

[0063] 对电网电压相位角进行 PI 控制得电网电压的角频率 w 和电网电压的相位角 θ :

[0064]
$$w = (k_{pf} + \frac{k_{if}}{s})\Delta \theta;$$

[0065]
$$\theta = \frac{1}{s}w$$

[0066] 利用电网电压相位角和整流器在 dqn 坐标系下给定输出电压 v_{dref} 和 v_{qref} , 可以得到整流器在两相静止坐标系下给定输出电压 $v_{\alpha ref}$ 和 $v_{\beta ref}$:

[0067]
$$\begin{bmatrix} v_{\alpha ref} \\ v_{\beta ref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{dref} \\ v_{qref} \end{bmatrix}$$

[0068]
$$\begin{bmatrix} u_{aref} \\ u_{bref} \\ u_{cref} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{\alpha ref} \\ v_{\beta ref} \end{bmatrix}$$

[0069] 利用相电压的输出期望 u_{aref} 、 u_{bref} 、 u_{cref} , 可以计算得到 PWM 三相整流桥开关时间 (T_a, T_b, T_c), 根据开关时间控制器发出开关指令 (S_a, S_b, S_c), 控制三相整流器 IGBT 模块开关动作。

[0070] 本技术领域中的普通技术人员应当认识到, 以上的实施例仅是用来说明本发明的目的, 而并非用作对本发明的限定, 只要在本发明的实质范围内, 对以上所述实施例的变化、变型都将落在本发明的权利要求的范围内。

- 11 预算出电网电压在PWM整流器起动前的初始相位角；
- 12 初始相位角通过同步坐标转换，获得电网同步坐标系下有功电流和无功电流；通过直流母线电压偏差比例积分调节获得有功电流给定，通过无功功率给定，获得无功电流给定；
- 13 采用有功电流偏差比例积分和无功电流偏差比例积分获得电网电压相位角以及整流器输出电压；
- 14 通过整流器输出电压，控制开关器件。

图 1

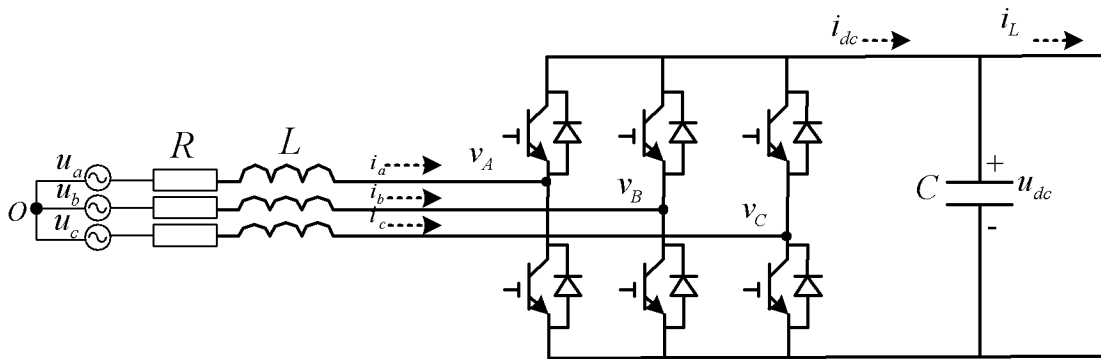


图 2