



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104660118 B

(45)授权公告日 2017.04.12

(21)申请号 201510105574.X

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2015.03.11

H02P 6/16(2016.01)

H02P 21/18(2016.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104660118 A

审查员 贾贺帅

(43)申请公布日 2015.05.27

(73)专利权人 南车株洲电力机车研究所有限公司

地址 412001 湖南省株洲市石峰区时代路169号

(72)发明人 何亚屏 许峻峰 冯江华 文宇良 张朝阳 肖磊 刘雄 石敏 曾小凡

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 王宝筠

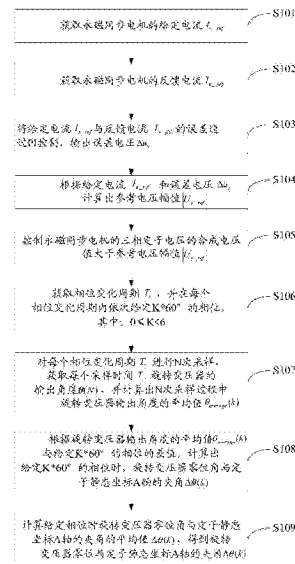
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种永磁同步电机旋转变压器零位计算方法

(57)摘要

本发明公开了一种永磁同步电机旋转变压器零位计算方法,通过采样永磁同步电机的反馈电流和给定电流,并将两者的差值加入PI控制计算出系统的误差电压,与前馈电压共同得出旋转变压器定位所需的参考电压幅值,同时通过不同的相位给定,计算出不同相位给定时的旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角,最终通过角度平均,得到精确的旋转变压器零位信息。从软件编程的角度出发,无需增加硬件成本的投入,就能实现精确的旋转变压器零位信息的计算。



1. 一种永磁同步电机旋转变压器零位计算方法,其特征在于,包括:

获取永磁同步电机的给定电流 $I_{s\_ref}$ ;

获取永磁同步电机的反馈电流 $I_{s\_fdb}$ ;

将所述给定电流 $I_{s\_ref}$ 与所述反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 的误差 $\Delta I_s$ 通过PI控制,输出误差电压 $\Delta u_s$ ;

根据所述给定电流 $I_{s\_ref}$ 和所述误差电压 $\Delta u_s$ 计算出参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ ;

控制永磁同步电机的三相定子电压的合成电压值大于所述参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ ;

获取相位变化周期 $T_s$ ,并在每个相位变化周期内依次给定 $K*60^\circ$ 的相位,其中: $0 \leq K < 6$ , $K$ 为整数;

对每个相位变化周期 $T_s$ 进行 $N$ 次采样,获取每个采样时间 $T_z$ 旋转变压器的输出角度 $\theta(N)$ ,并计算出 $N$ 次采样过程中旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{average}(k)$ ,其中: $N \geq 100$ ;

根据旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{average}(k)$ 与给定 $K*60^\circ$ 的相位的差值,计算出给定 $K*60^\circ$ 的相位时,旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta \theta(k)$ ;

计算给定相位时旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta \theta(k)$ 的平均值,得到旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta \theta$ 。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述获取永磁同步电机的给定电流 $I_{s\_ref}$ 具体为:

获取永磁同步电机的额定电流值 $I_{Motor}$ ;

获取逆变器的最大电流保护值 $I_{Inv}$ ;

根据公式 $I_{s\_ref} = k_f * \min(I_{Motor}, I_{Inv})$ 计算得到永磁同步电机的给定电流 $I_{s\_ref}$ ;其中, $k_f$ 为参考因子, $k_f = 0.85 \sim 0.9$ 。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述获取永磁同步电机的反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 具体为:

通过电流传感器采集永磁同步电机的A相电流 $I_A$ 和B相电流 $I_B$ ;

将所述A相电流 $I_A$ 和B相电流 $I_B$ 通过克拉克变换得出两相静态坐标下的电流 $I_\alpha$ 和 $I_\beta$ ,根据公式 $I_{s\_fdb} = \sqrt{I_\alpha^2 + I_\beta^2}$ 计算出永磁同步电机的反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述将所述给定电流 $I_{s\_ref}$ 与所述反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 的误差 $\Delta I_s$ 通过PI控制,输出误差电压 $\Delta u_s$ 具体为:

根据公式 $\Delta u_s = K_p \Delta I_s + K_i \frac{1}{s} \Delta I_s$ 计算出误差电压 $\Delta u_s$ 。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述给定电流 $I_{s\_ref}$ 和所述误差电压 $\Delta u_s$ 计算出参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ 具体为:

根据公式 $|U_{s\_ref}| = R_s I_{s\_ref} + \Delta u_s = R_s I_{s\_ref} + (I_{s\_ref} - I_{s\_fdb})(K_p + K_i \frac{1}{s})$

计算出参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ ;其中, $R_s$ 为永磁同步电机的电阻值。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述获取相位变化周期 $T_s$ 具体为:

获取永磁同步电机的直轴同步电感 $L_d$ 和交轴同步电感 $L_q$ ,根据公式 $T_s = M * \frac{2R_s}{L_d + L_q}$ 计算

出相位变化周期 $T_s$ ;其中, $M$ 为电气时间常数, $M=5\sim 10$ , $R_s$ 为永磁同步电机的电阻值。

7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述计算出 $N$ 次采样过程中旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{\text{average}}(k)$ 的理论计算公式为:

$$\theta_{\text{average}} = \frac{\sum \theta(N)}{N}, \text{其中: } N \geq 100.$$

8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{\text{average}}(k)$ 与给定 $K*60^\circ$ 的相位的差值,计算出给定 $K*60^\circ$ 的相位时,旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta(k)$ 具体为:

当 $K=0$ 时,  $\Delta\theta(0^\circ) = \theta_{\text{average}}(0^\circ) - 0^\circ$ ;

当 $K=1$ 时,  $\Delta\theta(60^\circ) = \theta_{\text{average}}(60^\circ) - 60^\circ$ ;

当 $K=2$ 时,  $\Delta\theta(120^\circ) = \theta_{\text{average}}(120^\circ) - 120^\circ$ ;

当 $K=3$ 时,  $\Delta\theta(180^\circ) = \theta_{\text{average}}(180^\circ) - 180^\circ$ ;

当 $K=4$ 时,  $\Delta\theta(240^\circ) = \theta_{\text{average}}(240^\circ) - 240^\circ$ ;

当 $K=5$ 时,  $\Delta\theta(300^\circ) = \theta_{\text{average}}(300^\circ) - 300^\circ$ 。

9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述计算给定相位时旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta(k)$ 的平均值具体为:

根据公式:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta\theta(0^\circ) + \Delta\theta(60^\circ) + \Delta\theta(120^\circ) + \Delta\theta(180^\circ) + \Delta\theta(240^\circ) + \Delta\theta(300^\circ)}{6} \text{ 计算出旋转变压器}$$

零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta$ 。

## 一种永磁同步电机旋转变压器零位计算方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及永磁同步电机的控制技术领域,尤其涉及一种永磁同步电机旋转变压器零位计算方法。

### 背景技术

[0002] 随着国际社会对低碳经济和节能减排要求的日益提高,永磁同步电机传动系统凭借其性能优势在伺服系统、电动汽车、轨道交通、采暖通风、石油、钻井、电梯、流程工业、船舶推进、风力发电、航空航天和国防等诸多领域得到广泛的应用。

[0003] 决定永磁同步电机控制性能的关键因素为转子的位置和速度信息,因为转子位置信息直接影响到交、直流电流角度分配,进一步影响永磁同步电机工作时的功率因素及系统的无功发热损耗及永磁同步电机去磁电流;直接影响反馈转矩的计算,使系统的出力受到影响;同时,直接影响转速环,甚至在高精度的方波控制中,转速信号的精度直接影响着三相电流的平衡度。因此,精准的位置和转速信号在整个永磁同步电机传动系统中尤为重要。

[0004] 目前,永磁同步电机的位置和转速信息采集主要来自旋转变压器及对应的解码芯片,旋转变压器通过检测自身零位与转子中心轴的角度差来检测转子实际转过的角度,而控制所需要的位置信息是定子静态坐标A轴与实际转子中心轴的角度,旋转变压器的起始零点与定子静态坐标A轴之间存在角度差 $\Delta\theta$ ,因此,必须在解码后的位置补偿上 $\Delta\theta$ 才是控制所需的位置信息,如果不消除 $\Delta\theta$ 引起的位置偏差,将在相同电流情况下,控制电机处于正反方向旋转两种状态,实际电机发挥力矩存在大偏差,容易使得牵引系统产生过流故障,同时,偏差较大使电机发挥相同力矩需要更多去磁电流,严重时会导致电机转子失磁,直接降低系统的可靠性。因此,必须进行定子静态坐标A轴与旋转变压器零位之间的夹角计算,即计算 $\Delta\theta$ 。

[0005] 现有技术中,主要是通过采用串接分压电阻,并控制逆变器三相峭壁开关的通断的方式,对定子静态坐标A轴与旋转变压器零位之间的夹角 $\Delta\theta$ 进行计算;或者从电机设计角度及制造工艺的角度,将旋转变压器零位的位置安装与定子绕组A轴重合,从而消除旋转变压器的起始零点与定子静态坐标A轴之间存在角度差 $\Delta\theta$ 等方式。由此可以看出,现有技术的实现方式增加了硬件成本投入,通用性差,对电机生产制造的工艺要求高,且计算的旋转变压器零位信息误差较大不能保证其精度。

### 发明内容

[0006] 本发明提供了一种永磁同步电机旋转变压器零位计算方法,从软件编程的角度出发,无需增加硬件成本的投入,就能实现精确的旋转变压器零位信息的计算。

[0007] 本发明提供了一种永磁同步电机旋转变压器零位计算方法,包括:

[0008] 获取永磁同步电机的给定电流 $I_{s\_ref}$ ;

[0009] 获取永磁同步电机的反馈电流 $I_{s\_fdb}$ ;

[0010] 将所述给定电流 $I_{s\_ref}$ 与所述反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 的误差 $\Delta I_s$ 通过PI控制,输出误差电压 $\Delta u_s$ ;

[0011] 根据所述给定电流 $I_{s\_ref}$ 和所述误差电压 $\Delta u_s$ 计算出参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ ;

[0012] 控制永磁同步电机的三相定子电压的合成电压值大于所述参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ ;

[0013] 获取相位变化周期 $T_s$ ,并在每个相位变化周期内依次给定 $K*60^\circ$ 的相位,其中: $0 \leq K < 6$ , $K$ 为整数;

[0014] 对每个相位变化周期 $T_s$ 进行 $N$ 次采样,获取每个采样时间 $T_z$ 旋转变压器的输出角度 $\theta(N)$ ,并计算出 $N$ 次采样过程中旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{average}(k)$ ,其中: $N \geq 100$ ;

[0015] 根据旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{average}(k)$ 与给定 $K*60^\circ$ 的相位的差值,计算出给定 $K*60^\circ$ 的相位时,旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta \theta(k)$ ;

[0016] 计算给定相位时旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta \theta(k)$ 的平均值,得到旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta \theta$ 。

[0017] 优选地,所述获取永磁同步电机的给定电流 $I_{s\_ref}$ 具体为:

[0018] 获取永磁同步电机的额定电流值 $I_{Motor}$ ;

[0019] 获取逆变器的最大电流保护值 $I_{Inv}$ ;

[0020] 根据公式 $I_{s\_ref} = k_f * \min(I_{Motor}, I_{Inv})$ 计算得到永磁同步电机的给定电流 $I_{s\_ref}$ ;其中, $k_f$ 为参考因子, $k_f = 0.85 \sim 0.9$ 。

[0021] 优选地,所述获取永磁同步电机的反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 具体为:

[0022] 通过电流传感器采集永磁同步电机的A相电流 $I_A$ 和B相电流 $I_B$ ;

[0023] 将所述A相电流 $I_A$ 和B相电流 $I_B$ 通过克拉克变换出两相静态坐标下的电流 $I_\alpha$ 和 $I_\beta$ ,根据公式 $I_{s\_fdb} = \sqrt{I_\alpha^2 + I_\beta^2}$ 计算出永磁同步电机的反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 。

[0024] 优选地,所述将所述给定电流 $I_{s\_ref}$ 与所述反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 的误差 $\Delta I_s$ 通过PI控制,输出误差电压 $\Delta u_s$ 具体为:

[0025] 根据公式 $\Delta u_s = K_p \Delta I_s + K_i \frac{1}{s} \Delta I_s$ 计算出误差电压 $\Delta u_s$ 。

[0026] 优选地,所述根据所述给定电流 $I_{s\_ref}$ 和所述误差电压 $\Delta u_s$ 计算出参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ 具体为:

[0027] 根据公式 $|U_{s\_ref}| = R_s I_{s\_ref} + \Delta u_s = R_s I_{s\_ref} + (I_{s\_ref} - I_{s\_fdb})(K_p + K_i \frac{1}{s})$ 计算出参考电

压幅值 $|U_{s\_ref}|$ ;其中, $R_s$ 为永磁同步电机的电阻值。

[0028] 优选地,所述获取相位变化周期 $T_s$ 具体为:

[0029] 获取永磁同步电机的直轴同步电感 $L_d$ 和交轴同步电感 $L_q$ ,根据公式 $T_s = M * \frac{2R_s}{L_d + L_q}$

计算出相位变化周期 $T_s$ ;其中, $M$ 为电气时间常数, $M = 5 \sim 10$ , $R_s$ 为永磁同步电机的电阻值。

[0030] 优选地,所述计算出 $N$ 次采样过程中旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{average}(k)$ 的理论计算公式为:

$$[0031] \quad \theta_{average} = \frac{\sum \theta(N)}{N}, \text{ 其中: } N \geq 100.$$

[0032] 优选地,所述根据旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{average}(k)$ 与给定 $K*60^\circ$ 的相位的差值,计算出给定 $K*60^\circ$ 的相位时,旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta(k)$ 具体为:

$$[0033] \quad \text{当 } K=0 \text{ 时, } \Delta\theta(0^\circ) = \theta_{average}(0^\circ) - 0^\circ;$$

$$[0034] \quad \text{当 } K=1 \text{ 时, } \Delta\theta(60^\circ) = \theta_{average}(60^\circ) - 60^\circ;$$

$$[0035] \quad \text{当 } K=2 \text{ 时, } \Delta\theta(120^\circ) = \theta_{average}(120^\circ) - 120^\circ;$$

$$[0036] \quad \text{当 } K=3 \text{ 时, } \Delta\theta(180^\circ) = \theta_{average}(180^\circ) - 180^\circ;$$

$$[0037] \quad \text{当 } K=4 \text{ 时, } \Delta\theta(240^\circ) = \theta_{average}(240^\circ) - 240^\circ;$$

$$[0038] \quad \text{当 } K=5 \text{ 时, } \Delta\theta(300^\circ) = \theta_{average}(300^\circ) - 300^\circ.$$

[0039] 优选地,所述计算给定相位时旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta(k)$ 的平均值具体为:

[0040] 根据公式:

$$[0041] \quad \Delta\theta = \frac{\Delta\theta(0^\circ) + \Delta\theta(60^\circ) + \Delta\theta(120^\circ) + \Delta\theta(180^\circ) + \Delta\theta(240^\circ) + \Delta\theta(300^\circ)}{6} \text{ 计算出旋转变}$$

压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta$ 。

[0042] 由上述方案可知,本发明提供了一种永磁同步电机旋转变压器零位计算方法通过采样永磁同步电机的反馈电流和给定电流,并将两者的差值加入PI控制计算出系统的误差电压,与前馈电压共同得出旋转变压器定位所需的参考电压幅值,同时通过不同的相位给定,计算出不同相位给定时的旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角,最终通过角度平均,得到精确的旋转变压器零位信息。从软件编程的角度出发,无需增加硬件成本的投入,就能实现精确的旋转变压器零位信息的计算。

## 附图说明

[0043] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0044] 图1为转子位置检测示意图;

[0045] 图2为本发明实施例公开的一种永磁同步电机旋转变压器零位计算方法流程图;

[0046] 图3为本发明实施例公开的旋转变压器零位计算的原理图;

[0047] 图4为本发明实施例公开的旋转变压器零位计算系统的框图;

[0048] 图5为本发明实施例公开的相位给定时序图。

## 具体实施方式

[0049] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于

本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0050] 在对本发明进行介绍之前,首先对为什么需要对永磁同步电机旋转变压器的零位进行计算进行说明。

[0051] 如图1所示,为转子位置检测示意图,在对永磁同步电机进行控制的过程中,需要用到的角度为图1中定子A轴绕组与转子D轴之间的夹角信息 $\theta_{act}$ ,由于旋转变压器零位与定子A轴绕组之间存在偏差 $\Delta\theta$ ,因此,在控制过程中必须将旋转变压器输出的位置 $\theta_{ref}$ 补偿上 $\Delta\theta$ 后,才能得到真正的控制所需的位置信息 $\theta_{act}$ ,补偿公式为: $\theta_{act}=\theta_{ref}+\Delta\theta$ 。由此,本发明提供了一种简单、可靠的永磁同步电机旋转变压器零位计算方法。

[0052] 如图2所示,为本发明实施例公开的一种永磁同步电机旋转变压器零位计算方法,包括以下步骤:

[0053] S101、获取永磁同步电机的给定电流 $I_{s\_ref}$ ;

[0054] S102、获取永磁同步电机的反馈电流 $I_{s\_fdb}$ ;

[0055] S103、将给定电流 $I_{s\_ref}$ 与反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 的误差 $\Delta I_s$ 通过PI控制,输出误差电压 $\Delta u_s$ ;

[0056] S104、根据给定电流 $I_{s\_ref}$ 和误差电压 $\Delta u_s$ 计算出参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ ;

[0057] S105、控制永磁同步电机的三相定子电压的合成电压值大于参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ ;

[0058] S106、获取相位变化周期 $T_s$ ,并在每个相位变化周期内依次给定 $K*60^\circ$ 的相位,其中: $0\leq K<6$ , $K$ 为整数;

[0059] S107、对每个相位变化周期 $T_s$ 进行 $N$ 次采样,获取每个采样时间 $T_z$ 旋转变压器的输出角度 $\theta(N)$ ,并计算出 $N$ 次采样过程中旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{average}(k)$ ,其中: $N\geq 100$ ;

[0060] S108、根据旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{average}(k)$ 与给定 $K*60^\circ$ 的相位的差值,计算出给定 $K*60^\circ$ 的相位时,旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta(k)$ ;

[0061] S109、计算给定相位时旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta(k)$ 的平均值,得到旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta$ 。

[0062] 具体的工作过程为:当需要对永磁同步电机旋转变压器零位信息进行计算时,首先通过获取永磁同步电机的给定电流 $I_{s\_ref}$ 和反馈电流 $I_{s\_fdb}$ ,并将给定电流 $I_{s\_ref}$ 与反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 的误差 $\Delta I_s$ 通过PI控制,输出误差电压 $\Delta u_s$ ;然后根据给定电流 $I_{s\_ref}$ 和误差电压 $\Delta u_s$ 计算出参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ ,控制永磁同步电机的三相定子电压的合成电压值大于参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ 。

[0063] 由于转子永磁体的存在,永磁同步电机处于静止状态,当合成电压的幅值超过一定值时,电压产生的磁链与永磁体磁链发生作用,就会将转子吸合到定子三相电压的合成电压的位置,如图3所示,旋转变压器输出的角度为合成电压 $U_s$ 与旋转变压器零位的夹角 $\theta_{s0}$ ,此时,转子与旋转变压器零位之间的夹角 $\theta_{ref}=\theta_{s0}$ 。由于合成电压的相位已知为 $\theta_s$ ,因此,根据公式 $\Delta\theta=\theta_{s0}-\theta_s=\theta_{ref}-\theta_s$ 即可求解出旋转变压器零位与定子A轴之间的夹角。

[0064] 由上述推理可知,当控制控制永磁同步电机的三相定子电压的合成电压值大于参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ 之后,需给定合适的合成电压的相位。根据空间矢量调制(SVPWM)原理可

知,电压矢量合成主要依靠有效边矢量和零矢量完成,由于旋转变压器零位计算时,所需要的电压较小,如果还是按照两个边矢量和零矢量合成,每个边矢量分的时间较少,容易受死区等非线性因素的干扰,使得合成电压的相位容易发生偏差,因此,控制三相电压 $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$ ,使其合成电压矢量的相位位于六边形的边矢量上,即将旋转变压器零位计算所需的合成电压的相位分别给定为 $K*60^\circ$ ,其中: $0 \leq K < 6$ ;即 $\theta_s = 0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ, 300^\circ$ 。

[0065] 给定合适的合成电压的相位后,获取相位变化周期 $T_s$ ,并对每个相位变化周期 $T_s$ 进行N次采样,获取每个采样时间 $T_z$ 旋转变压器的输出角度 $\theta(N)$ ,并计算出N次采样过程中旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{\text{average}}(k)$ ;然后根据图3所示的计算原理,根据旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{\text{average}}(k)$ 与给定 $K*60^\circ$ 的相位的差值,计算出给定 $K*60^\circ$ 的相位时,旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta(k)$ ;最后,求取给定相位时旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta(k)$ 的平均值,得到旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta$ 。

[0066] 在上述实施例中,通过采样永磁同步电机的反馈电流和给定电流,并将两者的差值加入PI控制计算出系统的误差电压,与前馈电压共同得出旋转变压器定位所需的参考电压幅值,同时通过不同的相位给定,计算出不同相位给定时的旋转变压器零位角与定子静态坐标A轴的夹角,最终通过角度平均,得到精确的旋转变压器零位信息。本发明从软件编程的角度出发,与现有技术相比,无需增加硬件成本的投入,就能够简单、可靠、精确的实现旋转变压器零位信息的计算。

[0067] 具体的,在上述实施例中,旋转变压器零位计算系统的框图如图4所示。步骤S101获取永磁同步电机的给定电流 $I_{s\_ref}$ ,是通过获取永磁同步电机的额定电流值 $I_{\text{Motor}}$ 和逆变器的最大电流保护值 $I_{\text{Inv}}$ ,然后将额定电流值 $I_{\text{Motor}}$ 和最大电流保护值 $I_{\text{Inv}}$ 进行比较,根据计算公式 $I_{s\_ref} = k_f * \min(I_{\text{Motor}}, I_{\text{Inv}})$ 计算出永磁同步电机的给定电流 $I_{s\_ref}$ 。其中, $k_f$ 为参考因子,从系统发热最小、永磁同步电机转子脱离齿槽转矩束缚两个因素出发,经过大量仿真和实验验证后,推导出当参考因子 $k_f = 0.85 \sim 0.9$ 时,效果最佳。

[0068] 步骤S102获取永磁同步电机的反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 是通过电流传感器采集永磁同步电机的A相电流 $I_A$ 和B相电流 $I_B$ ,然后将A相电流 $I_A$ 和B相电流 $I_B$ 通过clark变化出两相静态坐标下的电流 $I_\alpha$ 和 $I_\beta$ ,然后根据公式 $I_{s\_fdb} = \sqrt{I_\alpha^2 + I_\beta^2}$ 计算出永磁同步电机的反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 。

[0069] 步骤S103中的误差电压 $\Delta u_s$ 是通过将给定电流 $I_{s\_ref}$ 与反馈电流 $I_{s\_fdb}$ 的误差 $\Delta I_s$ 通过PI控制,根据公式 $\Delta u_s = K_p \Delta I_s + K_i s \Delta I_s$ 计算出来的。

[0070] 步骤S104根据给定电流 $I_{s\_ref}$ 和误差电压 $\Delta u_s$ 计算出参考电压幅值 $|U_{s\_ref}|$ ,是通过计算公式 $|U_{s\_ref}| = R_s I_{s\_ref} + \Delta u_s = R_s I_{s\_ref} + (I_{s\_ref} - I_{s\_fdb})(K_p + K_i \frac{1}{s})$ 计算出来的,其中, $R_s$ 为永磁同步电机的电阻值。

[0071] 步骤S106中获取相位变化周期,是通过获取永磁同步电机的直轴同步电感 $L_d$ 和交轴同步电感 $L_q$ ,然后根据计算公式 $T_s = M * \frac{2R_s}{L_d + L_q}$ 计算出来的,其中, $M$ 为电气时间常数, $R_s$

为永磁同步电机的电阻值。其中,为了使计算效果更加精确,电气时间常数的选择范围为 $M = 5 \sim 10$ 。步骤S106中在每个相位变化周期内,相位给定时序图如图5所示,通过给定6次不



同的相位,将会使得转子位于6个不同的位置,旋转变压器输出的角度 $\theta_{s0}$ 分别为 $\theta(0^\circ)$ , $\theta(60^\circ)$ , $\theta(120^\circ)$ , $\theta(180^\circ)$ , $\theta(240^\circ)$ 和 $\theta(300^\circ)$ 。

[0072] 步骤S107中旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{average}(k)$ 是首先对每个相位变化周期 $T_s$ 进行N次采样,在整个计算中为了保证计算精度一般将采样次数N设定为 $N \geq 100$ ,然后根据公式 $T_z = T_s/N$ 计算出每个采样时间 $T_z$ ,随后采样每一个采样时间旋转变压器的输出角度 $\theta(N)$ ,最后根据公式

$$\theta_{average} = \frac{\sum \theta(N)}{N}$$

$\theta_{average}(k)$ 。

[0073] 步骤S108中计算在对应得给定相位时,旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta$ 是根据图3所示的旋转变压器零位计算的原理,根据旋转变压器输出角度的平均值 $\theta_{average}(k)$ 与对应给定相位的差值计算得到的。具体的:

[0074] 当 $K=0$ 时, $\Delta\theta(0^\circ) = \theta_{average}(0^\circ) - 0^\circ$ ;

[0075] 当 $K=1$ 时, $\Delta\theta(60^\circ) = \theta_{average}(60^\circ) - 60^\circ$ ;

[0076] 当 $K=2$ 时, $\Delta\theta(120^\circ) = \theta_{average}(120^\circ) - 120^\circ$ ;

[0077] 当 $K=3$ 时, $\Delta\theta(180^\circ) = \theta_{average}(180^\circ) - 180^\circ$ ;

[0078] 当 $K=4$ 时, $\Delta\theta(240^\circ) = \theta_{average}(240^\circ) - 240^\circ$ ;

[0079] 当 $K=5$ 时, $\Delta\theta(300^\circ) = \theta_{average}(300^\circ) - 300^\circ$ 。

[0080] 当分别求取出了六个给定相位对应的旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta$ 后,然后根据公式:

$$[0081] \quad \Delta\theta = \frac{\Delta\theta(0^\circ) + \Delta\theta(60^\circ) + \Delta\theta(120^\circ) + \Delta\theta(180^\circ) + \Delta\theta(240^\circ) + \Delta\theta(300^\circ)}{6}$$

[0082] 最终计算出旋转变压器零位与定子静态坐标A轴的夹角 $\Delta\theta$ 。

[0083] 综上所述,本发明一方面单纯从算法出发,通过软件编程自动完成永磁同步电机旋转变压器的初始零位与定子静态坐标A轴夹角的计算,在永磁同步电机出厂时就能完成,相比现有技术中串电阻分电压方式,或者通过电机生产、制造工艺固定旋转变压器零位的方式,本发明通用性强,未知永磁同步电机与未知逆变器都能完成,降低成本的同时节省项目开发时间。

[0084] 另一方面,利用了电流PI控制器得出系统的非线性电压,有效的解决了不同工况及硬件环境带来的电压误差,并结合定位参考电压前馈分量,计算参考电压的幅值,而相位直接给定,容易得到旋转变压器定位时的合成电压信息,因此本发明简而易行。

[0085] 另一方面,利用圆周内每 $60^\circ$ 定位一次,且每次定位过程中引入了 $N \geq 100$ 次平均值,消除由于调制方式带来的转矩脉动误差,同时将6次计算的旋转变压器零位取平均值,消除了计算误差。

[0086] 另一方面,同时考虑系统的安全、系统发热、永磁同步电机转子完全脱离齿槽转矩等因素,对给定电流的幅值,旋转变压器零位计算周期给出计算公式,充分保障了旋转变压器零位计算的可靠性。

[0087] 本实施例方法所述的功能如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算设备可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明实施例

对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算设备(可以是个人计算机,服务器,移动计算设备或者网络设备)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM,Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM,Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0088] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其它实施例的不同之处,各个实施例之间相同或相似部分互相参见即可。

[0089] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

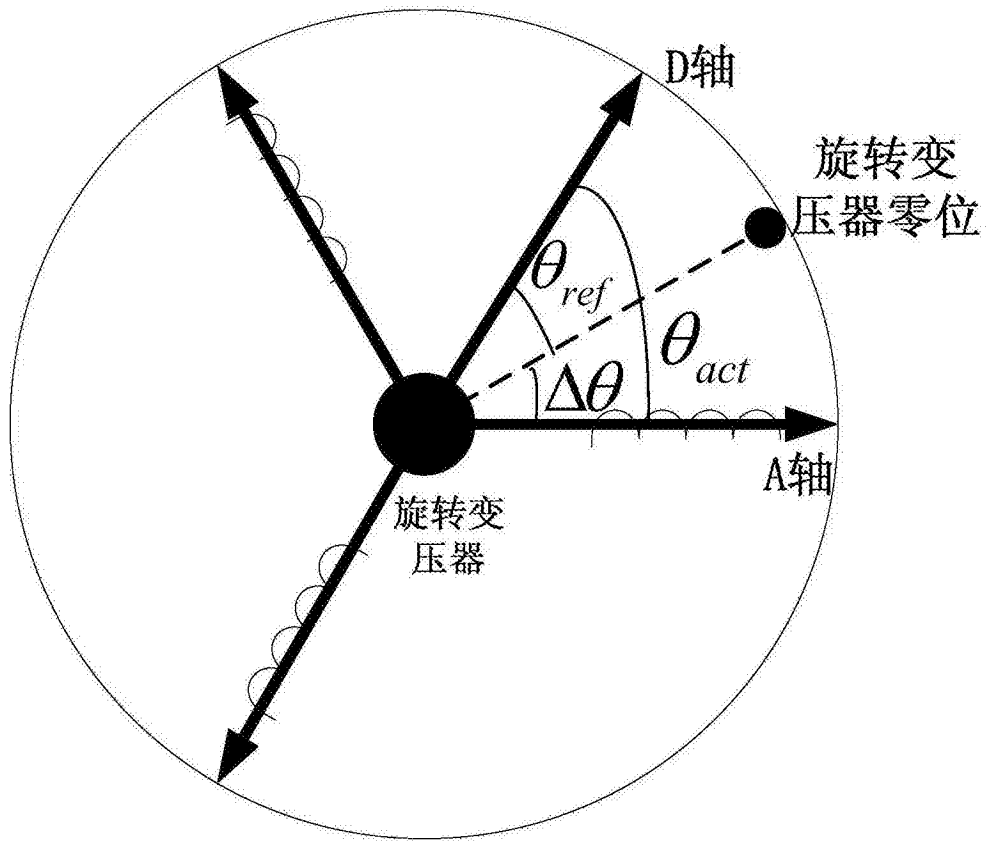


图1

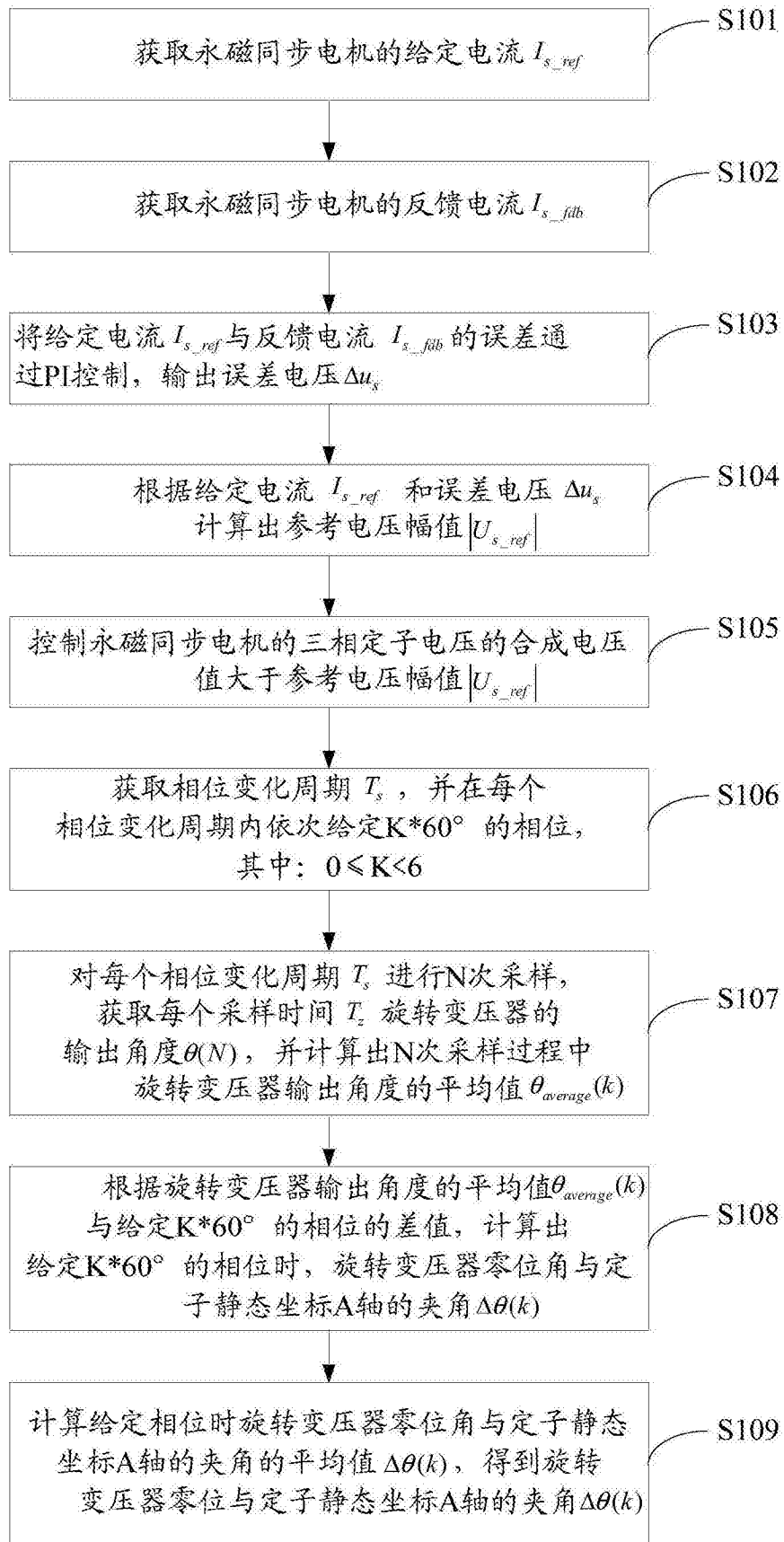


图2

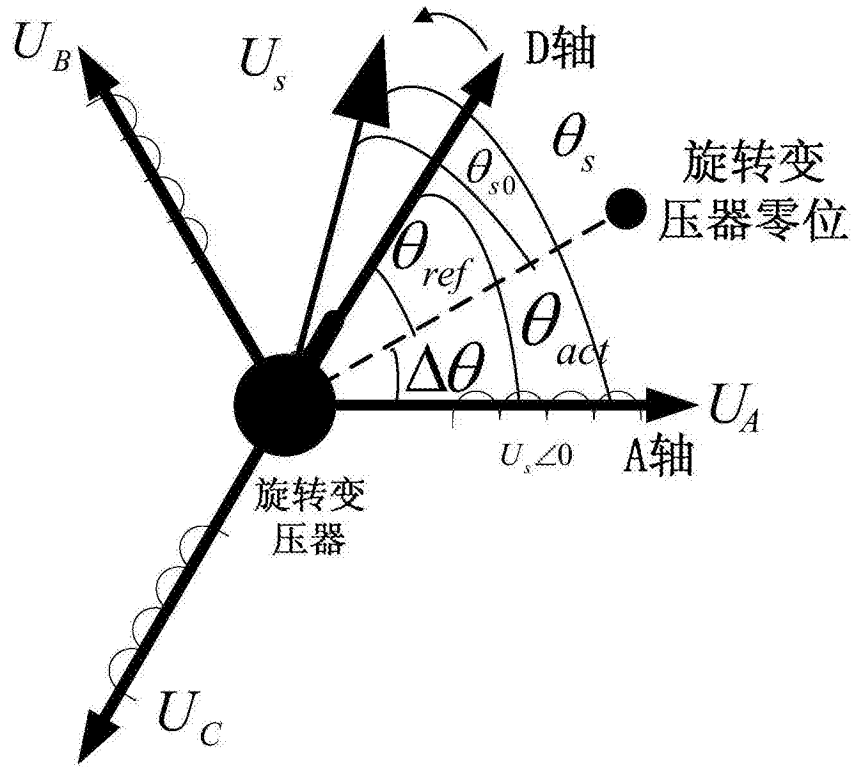


图3

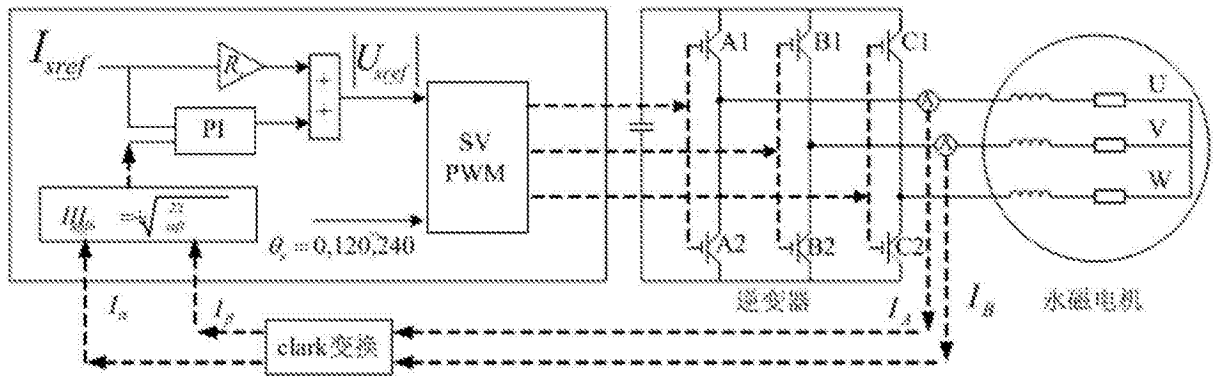


图4

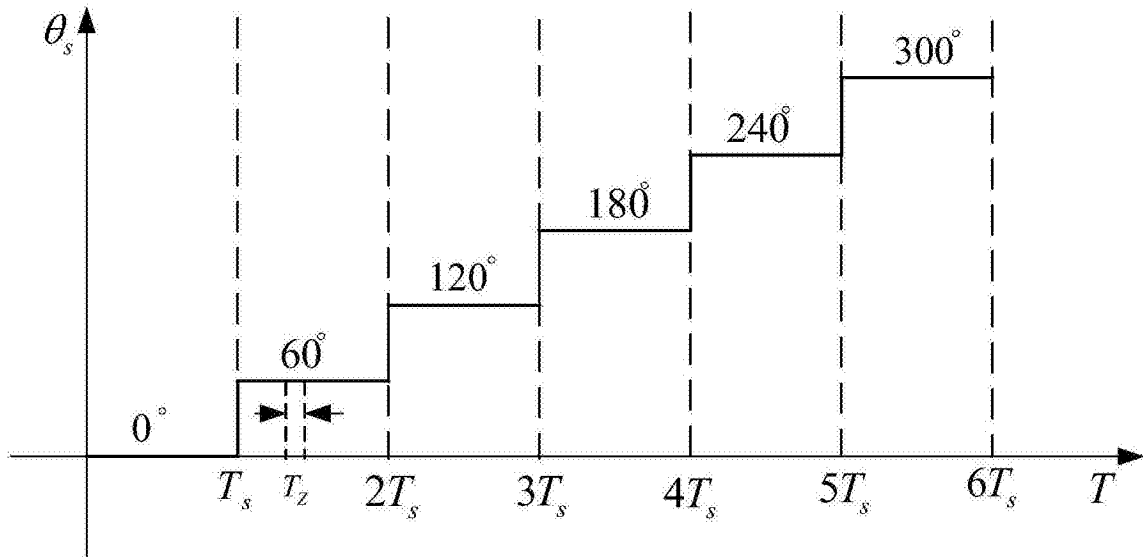


图5