



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106849182 B

(45)授权公告日 2020.04.07

(21)申请号 201710182046.3

(22)申请日 2017.03.24

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106849182 A

(43)申请公布日 2017.06.13

(73)专利权人 上海电力学院  
地址 200090 上海市杨浦区平凉路2103号

(72)发明人 杨旭红 薛冰

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 赵志远

(51)Int.Cl.

H02J 3/40(2006.01)

H02J 3/38(2006.01)

(56)对比文件

CN 106026196 A,2016.10.12,

CN 103956769 A,2014.07.30,

US 2017018933 A1,2017.01.19,

CN 106532770 A,2017.03.22,

CN 106410849 A,2017.02.15,

王晓涛等.基于模糊控制的并网逆变器的研究.《电力系统保护与控制》.2011,第39卷(第9期),第97-101页.

审查员 李永亮

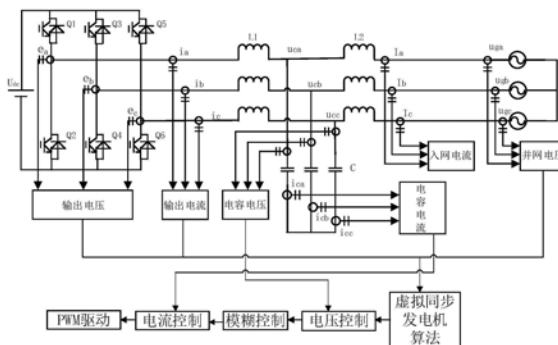
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法,包括以下步骤:S1:基于虚拟同步发电机技术,根据逆变器侧输出电压、逆变器侧输出电流和并网电压,获取相位角和虚拟同步发电机电势;S2:基于比例积分控制的电压反馈环,由步骤S1获得的虚拟同步发电机电势和采集的滤波电容电压,获取电流环参考电流;S3:基于模糊控制和比例积分控制的电流反馈环,由步骤S2获得的电流环参考电流和采集的滤波电容电流,获取三相调制波;S4:将三相调制波与载波比较得到六个开关信号,控制逆变器的关断和导通。与现有技术相比,本发明能够在保证系统稳定的前提下,提高系统达到稳定的速度,使系统具有更好的性能。



1. 一种基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法,其特征在于,该方法采用电容电压外环、电容电流内环的比例积分双环控制,并在电流内环中加入了模糊控制,包括以下步骤:

S1:基于虚拟同步发电机技术,根据逆变器侧输出电压、逆变器侧输出电流和并网电压,获取相位角 $\theta$ 和虚拟同步发电机电势 $E$ ;

S2:基于比例积分控制的电压反馈环,由步骤S1获得的虚拟同步发电机电势 $E$ 和采集的滤波电容电压 $u_c$ ,获取电流环参考电流 $i_c^*$ ;

S3:基于模糊控制和比例积分控制的电流反馈环,由步骤S2获得的电流环参考电流 $i_c^*$ 和采集的滤波电容电流 $i_c$ ,获取三相调制波;

S4:将三相调制波与载波比较得到六个开关信号,控制逆变器的关断和导通;

所述步骤S3具体为:

301:对步骤S2获得的电流环参考电流 $i_c^*$ 和采集的滤波电容电流 $i_c$ 进行基于相位角 $\theta$ 的3S/2R坐标变换,坐标变换后的电流环参考电流 $i_c^*$ 和采集的滤波电容电流 $i_c$ 的差值输入模糊控制器,得到模糊电流信号;

302:模糊电流信号输入电流内环比例积分控制器,得到调制信号,对调制信号进行基于相位角 $\theta$ 的2R/3S坐标变换,得到三相调制波。

2. 根据权利要求1所述的基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法,其特征在于,所述步骤S1中获取相位角 $\theta$ 的过程具体为:

11) 获取虚拟同步发电机输出的电磁功率 $P_e$ ,满足以下公式:

$$P_e = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c$$

式中, $e_a$ 、 $e_b$ 、 $e_c$ 为三相静止坐标系下的逆变器侧输出电压, $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 为三相静止坐标系下的逆变器侧输出电流;

12) 获取同步发电机的机械角速度 $\omega$ ,满足以下公式:

$$\begin{cases} J \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_e - D(\omega - \omega_0) \\ T_m = P_{ref} / \omega \\ T_e = P_e / \omega \end{cases}$$

式中, $J$ 为预设的虚拟同步发电机的转动惯量, $t$ 为时间, $T_m$ 为虚拟同步发电机的机械转矩, $T_e$ 为虚拟同步发电机的电磁转矩, $D$ 为预设的阻尼系数, $\omega_0$ 为预设的电网同步角速度, $P_{ref}$ 为并网逆变器的有功指令;

13) 根据同步发电机的机械角速度 $\omega$ 得到相位角 $\theta$ 。

3. 根据权利要求1所述的基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法,其特征在于,所述步骤S1中获取虚拟同步发电机电势 $E$ 的过程具体为:

21) 获取逆变器机端输出的瞬时无功功率值 $Q$ ,满足以下公式:

$$Q = [(u_{ga} - u_{gb})i_c + (u_{gb} - u_{gc})i_a + (u_{gc} - u_{ga})i_b] / \sqrt{3}$$

式中,  $u_{ga}$ 、 $u_{gb}$ 、 $u_{gc}$ 为三相静止坐标系下的并网电压,  $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 为三相静止坐标系下的逆变器侧输出电流;

22) 获取无功功率调节电势  $\Delta E_q$ , 满足以下公式:

$$\Delta E_q = K_q (Q_{ref} - Q)$$

式中,  $K_q$ 为无功调节系数,  $Q_{ref}$ 为并网逆变器的无功指令;

23) 获取虚拟同步发电机电势  $E$ , 满足以下公式:

$$E = E_0 + \Delta E_q$$

式中,  $E_0$ 为预设的虚拟同步发电机的空载电势。

4. 根据权利要求1所述的基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法, 其特征在于, 所述步骤S2具体为: 步骤S1获得的虚拟同步发电机电势  $E$  与采集的滤波电容电压  $u_c$  的差值输入电压外环比例积分控制器, 得到电流环参考电流  $i_c^*$ 。

5. 根据权利要求4所述的基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法, 其特征在于, 所述电压外环比例积分控制器的比例系数  $K_{up}$  取值范围为0.001-0.005, 电压外环比例积分控制器的积分系数  $K_{ui}$  取值范围为0.005-0.05。

6. 根据权利要求5所述的基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法, 其特征在于, 所述电流内环比例积分控制器的比例系数  $K_{ip}$  取值范围为10-15, 电流内环比例积分控制器的积分系数  $K_{ii}$  取值范围为480-550。

## 基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及逆变器控制领域,尤其是涉及一种基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法。

### 背景技术

[0002] 随着经济的快速发展,全球能源危机和环境问题的日益加强。同时,煤、石油等传统能源对环境的污染加重,因此,针对新能源合理应用的分布式发电得到越来越多的关注。由于大多数分布式能源都要通过逆变器接入电网,所以逆变器控制技术的研究显得尤为重要。伴随着更多的控制方法的研究与应用,一些更为先进的控制策略被逐步应用在系统中。其中,智能控制更是被越来越广泛的应用。

[0003] 虚拟同步发电机,是在基于电力电子逆变器并网的分布式发电系统中,借助配备的储能环节,并采用适当的并网逆变器控制算法,使基于并网逆变器的分布式电源从外特性上模拟或部分模拟出同步发电机的频率及电压控制特性,从而改善分布式系统的稳定性。

[0004] 从系统稳定性进行分析得出基于并网电流单环控制无法使系统稳定运行,因此提出双环控制系统。采用电容电压和电容电流双环控制,而且电压外环与电流内环都采用比例积分控制,并且电压环输出信号作为电流环的参考电流。

[0005] 目前,在三相逆变器并网情况下,常见的电流控制主要分为PI控制、模糊控制、专家控制等。其中对并网电流的控制研究主要集中在并网稳态控制方面。模糊控制是一种非线性控制,数学模型简单,控制灵活适应性强,而且它可以总结人的控制行为,把人的控制行为规律用模糊语言固化为模糊控制规则,从而进行控制的一种控制方式。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法,是在虚拟同步发电机基础上,对LCL滤波并网逆变器提供一种新的直接电流控制方法,该方法在传统的控制基础上,采用电容电压外环、电容电流内环的比例积分双环控制,但是在此控制基础上为了提高系统的相应速度,在电流内环中加入了模糊控制,实现对LCL滤波器并网逆变器的入网电流控制,相比原有控制方法,该方法能够在保证系统稳定的前提下,提高系统达到稳定的速度,即提高系统的响应速度,使系统具有更好的性能。

[0007] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0008] 一种基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法包括以下步骤:

[0009] S1:基于虚拟同步发电机技术,根据逆变器侧输出电压、逆变器侧输出电流和并网电压,获取相位角 $\theta$ 和虚拟同步发电机电势 $E$ ;

[0010] S2:基于比例积分控制的电压反馈环,由步骤S1获得的虚拟同步发电机电势 $E$ 和采集的滤波电容电压 $u_c$ ,获取电流环参考电流 $i_c^*$ ;

[0011] S3:基于模糊控制和比例积分控制的电流反馈环,由步骤S2获得的电流环参考电流  $i_c^*$  和采集的滤波电容电流  $i_c$ ,获取三相调制波;

[0012] S4:将三相调制波与载波比较得到六个开关信号,控制逆变器的关断和导通。

[0013] 所述步骤S1中获取相位角  $\theta$  的过程具体为:

[0014] 11) 获取虚拟同步发电机输出的电磁功率  $P_e$ ,满足以下公式:

$$[0015] \quad P_e = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c$$

[0016] 式中,  $e_a$ 、 $e_b$ 、 $e_c$  为三相静止坐标系下的逆变器侧输出电压,  $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$  为三相静止坐标系下的逆变器侧输出电流;

[0017] 12) 获取同步发电机的机械角速度  $\omega$ ,满足以下公式:

$$[0018] \quad \begin{cases} J \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_e - D(\omega - \omega_0) \\ T_m = P_{ref} / \omega \\ T_e = P_e / \omega \end{cases}$$

[0019] 式中,  $J$  为预设的虚拟同步发电机的转动惯量,  $t$  为时间,  $T_m$  为虚拟同步发电机的机械转矩,  $T_e$  为虚拟同步发电机的电磁转矩,  $D$  为预设的阻尼系数,  $\omega_0$  为预设的电网同步角速度,  $P_{ref}$  为并网逆变器的有功指令;

[0020] 13) 根据同步发电机的机械角速度  $\omega$  得到相位角  $\theta$ 。

[0021] 所述步骤S1中获取虚拟同步发电机电势  $E$  的过程具体为:

[0022] 21) 获取逆变器机端输出的瞬时无功功率值  $Q$ ,满足以下公式:

$$[0023] \quad Q = [(u_{ga} - u_{gb})i_c + (u_{gb} - u_{gc})i_a + (u_{gc} - u_{ga})i_b] / \sqrt{3}$$

[0024] 式中,  $u_{ga}$ 、 $u_{gb}$ 、 $u_{gc}$  为三相静止坐标系下的并网电压,  $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$  为三相静止坐标系下的逆变器侧输出电流;

[0025] 22) 获取无功功率调节电势  $\Delta E_q$ ,满足以下公式:

$$[0026] \quad \Delta E_q = K_q (Q_{ref} - Q)$$

[0027] 式中,  $K_q$  为无功调节系数,  $Q_{ref}$  为并网逆变器的无功指令;

[0028] 23) 获取虚拟同步发电机电势  $E$ ,满足以下公式:

$$[0029] \quad E = E_0 + \Delta E_q$$

[0030] 式中,  $E_0$  为预设的虚拟同步发电机的空载电势。

[0031] 所述步骤S2具体为:步骤S1获得的虚拟同步发电机电势  $E$  与采集的滤波电容电压  $u_c$  的差值输入电压外环比例积分控制器,得到电流环参考电流  $i_c^*$ 。

[0032] 所述电压外环比例积分控制器的比例系数  $K_{up}$  取值范围为 0.001-0.005,电压外环比例积分控制器的积分系数  $K_{ui}$  取值范围为 0.005-0.05。

[0033] 所述步骤S3具体为:

[0034] 301:对步骤S2获得的电流环参考电流  $i_c^*$  和采集的滤波电容电流  $i_c$  进行基于相位角  $\theta$  的 3S/2R 坐标变换,坐标变换后的电流环参考电流  $i_c^*$  和采集的滤波电容电流  $i_c$  的差值输入

模糊控制器,得到模糊电流信号;

[0035] 302:模糊电流信号输入电流内环比例积分控制器,得到调制信号,对调制信号进行基于相位角 $\theta$ 的2R/3S坐标变换,得到三相调制波。

[0036] 所述电流内环比例积分控制器的比例系数 $K_{ip}$ 取值范围为10-15,电流内环比例积分控制器的积分系数 $K_{ii}$ 取值范围为480-550。

[0037] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0038] 1、采用双环控制增大了系统阻尼,有效抑制了系统谐振峰值,提高了系统稳定性,相比于传统的PI控制,加入模糊控制对参数进行实时调整,提高系统的动态性能,加快系统的相应速度和稳态精度,加入模糊的控制系统具有更大的稳定裕度,且响应速度加快。

[0039] 2、电压反馈环采用比例积分控制,以实现电压的零稳态误差控制,同时使系统还能具有较快的动态响应性能。电压环输出为电流环参考电流,电流环采用模糊比例积分控制,以提高响应速度。

[0040] 3、模糊控制具有可以根据非线性系统的相应误差,进行在线参数调整,从而达到控制目的。且模糊控制不需建立复杂的数学模型,控制灵活适应性强,将控制行为规律用模糊语言固化为模糊控制规则,从而进行控制。通过仿真实验证明加入模糊控制之后的系统比未加模糊的系统反应更迅速,跟踪效果好,且达到稳定的时间短。

[0041] 4、本发明方法拥有控制精度高,响应速度快等优点,可推广到其它单相或者三相并网逆变器的控制方法当中。通过仿真实验证明使用本发明方法控制输出的三相并网电流符合并网电流的频率要求,且曲线光滑,无谐波能够更好的并网,且输出的三相并网电压符合并网电压的幅值和频率要求。

[0042] 5、本发明对电压外环比例积分控制器的控制参数合理设计, $K_{up}$ 与 $K_{ui}$ 的优选取值范围可以更好地减小超调量以及缩短反应时间,提高系统工作的稳定性,减小稳态误差。

[0043] 6、本发明对电流内环比例积分控制器的控制参数合理设计, $K_{ip}$ 的优选取值范围可以更好地利用比例控制提高系统的稳定性, $K_{ii}$ 的优选取值范围可以更好地利用积分控制减少电流环稳态误差,这样双环控制下具有动态响应快、误差小的特点。

## 附图说明

[0044] 图1为本发明方法应用的系统结构示意图;

[0045] 图2为本发明方法控制原理框图;

[0046] 图3为虚拟同步发电机工作原理图;

[0047] 图4为仿真实验中电流内环伯德图;

[0048] 图5为仿真实验中电压外环伯德图;

[0049] 图6为仿真实验中加入模糊控制前后的A相入网电流比较图;

[0050] 图7为仿真实验中使用本发明方法后的三相入网电流图;

[0051] 图8为仿真实验中使用本发明方法后的三相并网电压图。

## 具体实施方式

[0052] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于

下述的实施例。

[0053] 如图1所示,并网逆变器系统包括依次连接的直流输入电压源 $U_{dc}$ 、三相逆变器(开关管Q1-Q6)和LCL滤波器(逆变侧电感L1、滤波电容C和负载侧电感L2),以及用于检测电压电流的检测变送器,其中, $e_a$ 、 $e_b$ 、 $e_c$ 为三相静止坐标系下的逆变器侧输出电压, $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 为三相静止坐标系下的逆变器侧输出电流, $u_{ga}$ 、 $u_{gb}$ 、 $u_{gc}$ 为三相静止坐标系下的并网电压, $u_{ca}$ 、 $u_{cb}$ 、 $u_{cc}$ 为三相静止坐标系下的滤波电容电压, $i_{ca}$ 、 $i_{cb}$ 、 $i_{cc}$ 为三相静止坐标系下的滤波电容电流, $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 为三相静止坐标系下的入网电流。本发明针对并网逆变器的输出电压电流质量要求提出基于模糊控制和虚拟同步发电机的逆变器并网控制方法,包括以下步骤:

[0054] S1:基于虚拟同步发电机技术,根据逆变器侧输出电压、逆变器侧输出电流和并网电压,获取相位角 $\theta$ 和虚拟同步发电机电势 $E$ ;具体为:

[0055] 1) 获取相位角 $\theta$ :

[0056] 11) 获取虚拟同步发电机输出的电磁功率 $P_e$ ,满足以下公式:

[0057]  $P_e = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c$ ;

[0058] 12) 获取同步发电机的机械角速度 $\omega$ ,满足以下公式:

$$[0059] \begin{cases} J \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_e - D(\omega - \omega_0) \\ T_m = P_{ref} / \omega \\ T_e = P_e / \omega \end{cases}$$

[0060] 式中, $J$ 为预设的虚拟同步发电机的转动惯量, $t$ 为时间, $T_m$ 为虚拟同步发电机的机械转矩, $T_e$ 为虚拟同步发电机的电磁转矩, $D$ 为预设的阻尼系数, $\omega_0$ 为预设的电网同步角速度, $P_{ref}$ 为并网逆变器的有功指令,本实施例中, $J=0.5$ , $\omega_0=100\pi$ , $D=20$ ;

[0061] 13) 根据同步发电机的机械角速度 $\omega$ 得到相位角 $\theta$ 。

[0062] 2) 获取虚拟同步发电机电势 $E$ :

[0063] 21) 获取逆变器机端输出的瞬时无功功率值 $Q$ ,满足以下公式:

$$[0064] Q = [(u_{ga} - u_{gb})i_c + (u_{gb} - u_{gc})i_a + (u_{gc} - u_{ga})i_b] / \sqrt{3} \quad ;$$

[0065] 22) 获取无功功率调节电势 $\Delta E_q$ ,满足以下公式:

$$[0066] \Delta E_q = K_q (Q_{ref} - Q)$$

[0067] 式中, $K_q$ 为无功调节系数, $Q_{ref}$ 为并网逆变器的无功指令;

[0068] 23) 获取虚拟同步发电机电势 $E$ ,满足以下公式:

$$[0069] E = E_0 + \Delta E_q$$

[0070] 式中, $E_0$ 为预设的虚拟同步发电机的空载电势。

[0071] S2:基于比例积分控制的电压反馈环,步骤S1获得的虚拟同步发电机电势 $E$ 与采集的滤波电容电压 $u_c$ 的差值输入电压外环比例积分控制器,得到电流环参考电流 $i_c^*$ 。采用比例积分控制,以实现电压的零稳态误差控制,同时使系统还能具有较快的动态响应性能。

[0072] 电压外环比例积分控制器的比例系数 $K_{up}$ 取值范围为0.001-0.005,电压外环比例积分控制器的积分系数 $K_{ui}$ 取值范围为0.005-0.05。

[0073] 虚拟同步发电机技术的工作原理如图3所示,图3中, $L$ 为虚拟同步发电机的同步电

感,  $T_D$ 为虚拟同步发电机的阻尼转矩。

[0074] S3:基于模糊控制和比例积分控制的电流反馈环,由步骤S2获得的电流环参考电流  $i_c^*$  和采集的滤波电容电流  $i_c$ ,获取三相调制波;具体为:

[0075] 301:对步骤S2获得的电流环参考电流  $i_c^*$  和采集的滤波电容电流  $i_c$ 进行基于相位角  $\theta$ 的3S/2R坐标变换,坐标变换后的电流环参考电流  $i_c^*$  和采集的滤波电容电流  $i_c$ 的差值输入模糊控制器,得到模糊电流信号;

[0076] 302:模糊电流信号输入电流内环比例积分控制器,得到调制信号,对调制信号进行基于相位角  $\theta$ 的2R/3S坐标变换,得到三相调制波。

[0077] 电流内环比例积分控制器的比例系数  $K_{ip}$ 取值范围为10-15,电流内环比例积分控制器的积分系数  $K_{ii}$ 取值范围为480-550。

[0078] 其中模糊控制器中误差  $e$ 和误差变化率  $ec$ 对  $\Delta K_P$ 和  $\Delta K_I$ 的模糊规则如下表所示:

EC	E						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB/NB	PB/NB	PM/NM	PM/NM	PS/NS	ZE/ZE	ZE/ZE
NM	PB/NB	PB/NB	PM/NM	PS/NS	PS/NS	ZE/ZE	NS/ZE
[0079] NS	PM/NB	PM/NM	PM/NS	PS/NS	ZE/ZE	NS/PS	NS/PS
ZE	PM/NM	PM/NM	PS/NS	ZE/ZE	NS/PS	NM/PM	NM/PM
PS	PS/NM	PS/NS	ZE/ZE	NS/PS	NS/PS	NM/PM	NM/PB
PM	PS/ZE	ZE/ZE	NS/PS	NM/PS	NM/PM	NM/PB	NB/PB
PB	ZE/ZE	ZE/ZE	NM/PS	NM/PM	NM/PM	NB/PB	NB/PB

[0080] 其中,PB、PM、PS、ZO、NS、NM、NB分别代表正大、正中、正小、零、负小、负中、负大。

[0081] S4:三相调制波输入SPWM模块,将三相调制波与三角波发生器发生的载波比较得到六个开关信号,开关信号经过驱动电路控制逆变器的关断和导通,进而控制并网逆变器系统入网电流的幅值和相位以及并网电流质量。在双环控制的基础下,提高了系统的稳定性,加入模糊控制之后,使系统的相应速度更快。

[0082] 为说明本发明的正确性和可行性,对一台LCL型三相并网逆变器系统进行仿真验证。仿真参数为:直流电压源电压700V,电网电压有效值220V,SPWM的开关频率为15KHz,LCL滤波器参数为  $L1=L2=5\text{mH}$ ,  $C=20\mu\text{F}$ 。

[0083] 比例积分控制的数学模型为

$$[0084] \quad G(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$

[0085] 由附图2中双环控制原理,可得:使用了双环控制的逆变器系统,具有更好的抗干扰能力和较快的动态特性。

[0086] 电流内环截止频率2000Hz,  $K_{pwm} = U_{dc} / \sqrt{3}$ ,电压电流环都看作单位反馈,阻尼比



$\zeta = 1/\sqrt{2}$ , 自然频率2500rad/s,  $K_{up}=0.0023$ ,  $K_{ui}=0.035$ ,  $K_{ip}=14.1$ ,  $K_{ii}=519$ 。

[0087] 电流内环的伯德图如图4所示,电压外环的伯德图如图5所示,可以看出比例积分控制能够较好的控制阻尼,使系统更加稳定,而且系统具有更快的动态响应和抗干扰能力。

[0088] 图6是加入模糊控制的A相入网电流和未加模糊的A相入网电流相比较,模糊控制可以根据非线性系统的相应误差,进行在线参数调整,从而达到控制目的。从图中可以看出,加入模糊控制之后比未加之前的打到稳定的时间更短,证明加入模糊控制之后的系统比未加模糊的系统反应更迅速,跟踪效果好,且达到稳定的时间短。

[0089] 图7为三相入网电流图,从图中可以看出达到稳定的幅值为18A,周期为0.02s,符合并网电流的频率要求,且曲线光滑,无谐波能够更好的并网;图7为三相并网电压图,从图中可以看出达到稳定的幅值为311V,周期0.02s,均符合并网电压的幅值和频率要求。

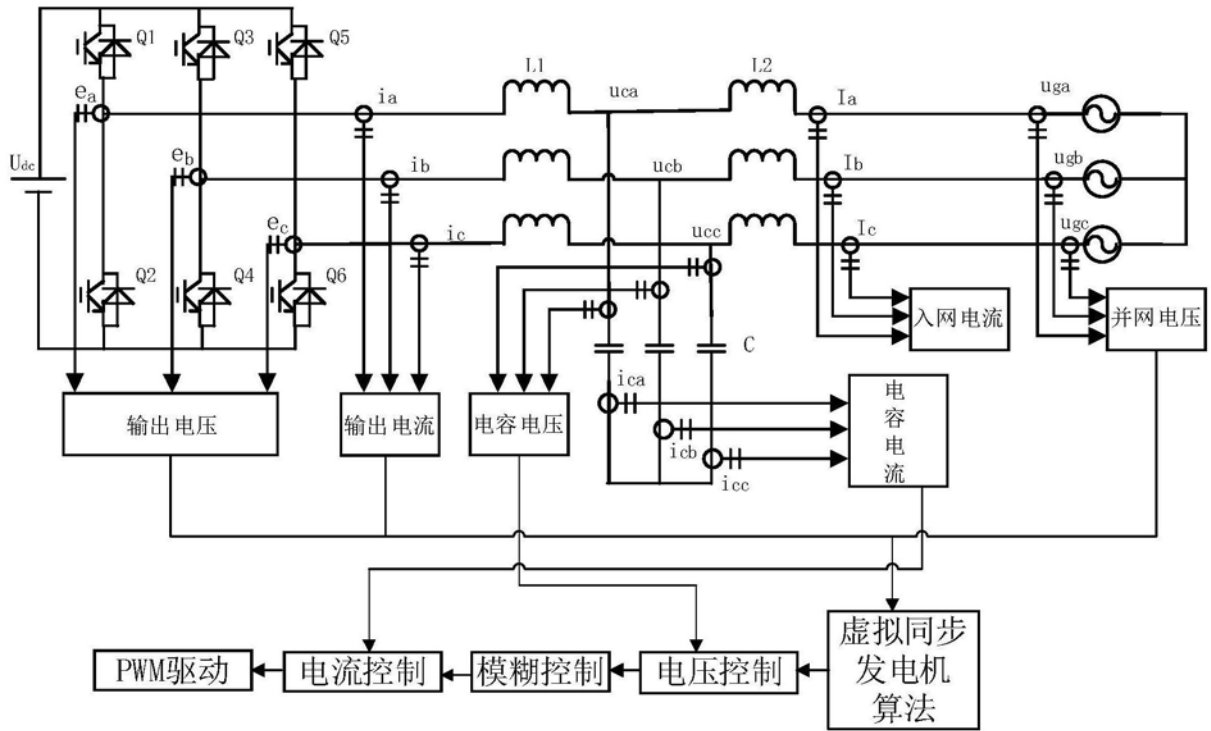


图1

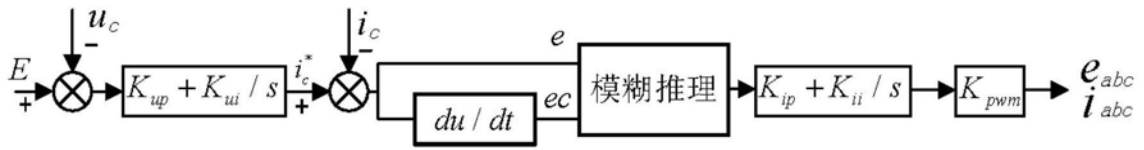


图2

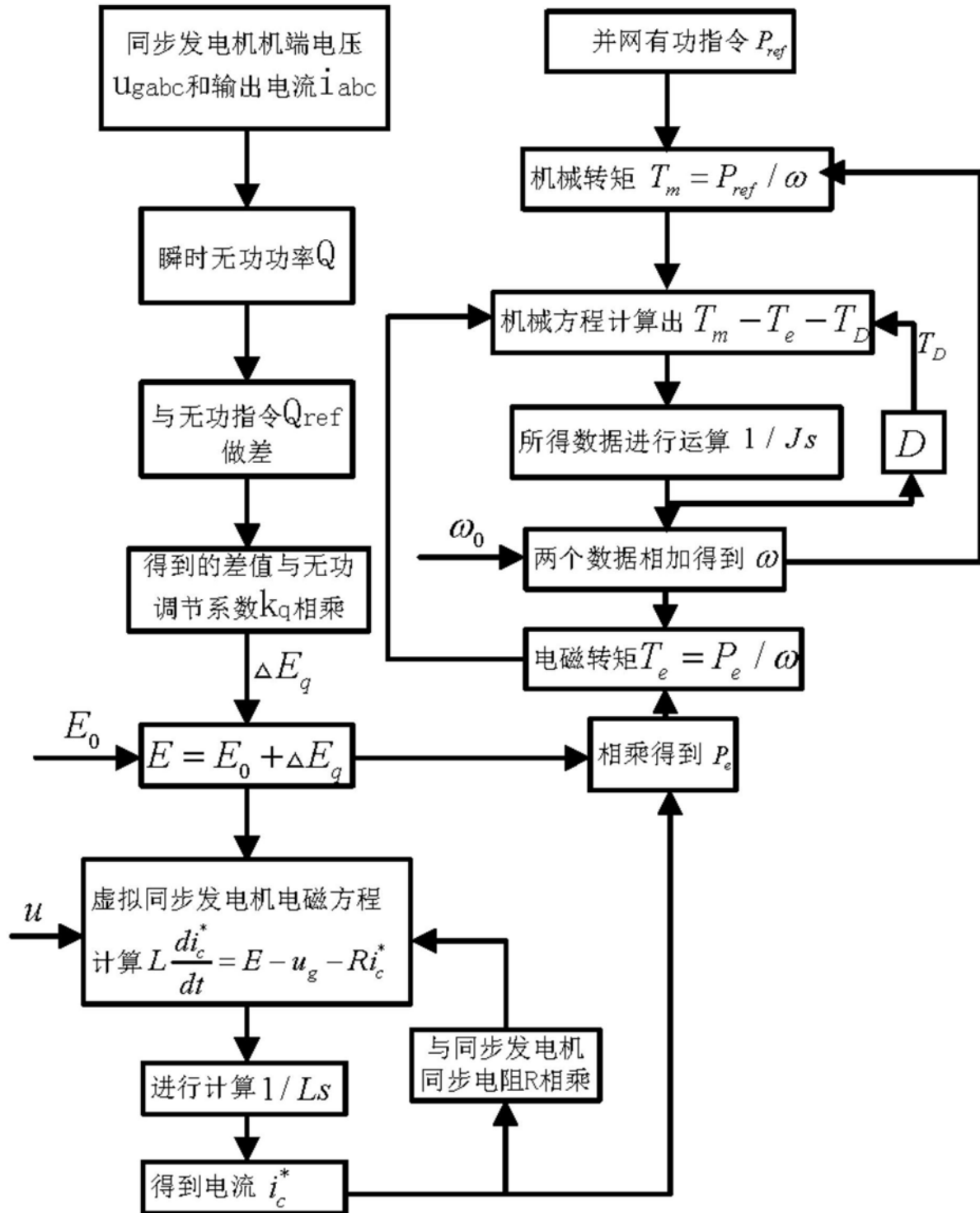


图3

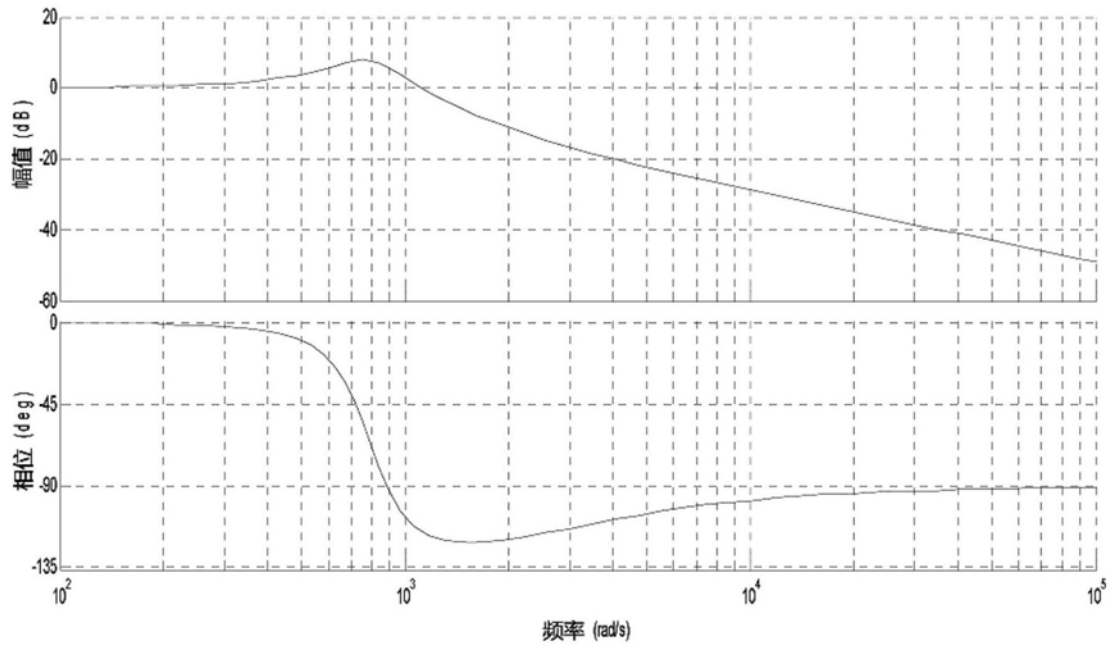


图4

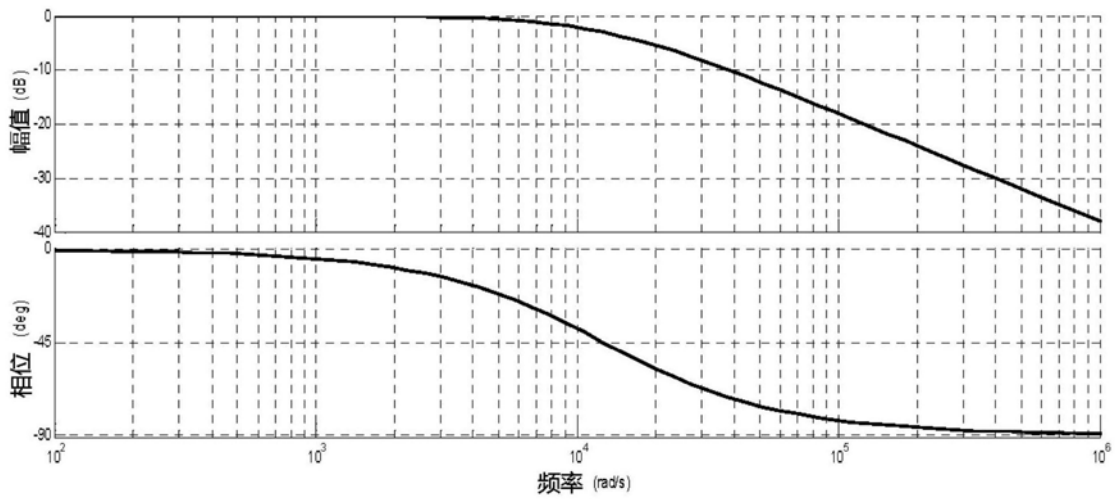


图5

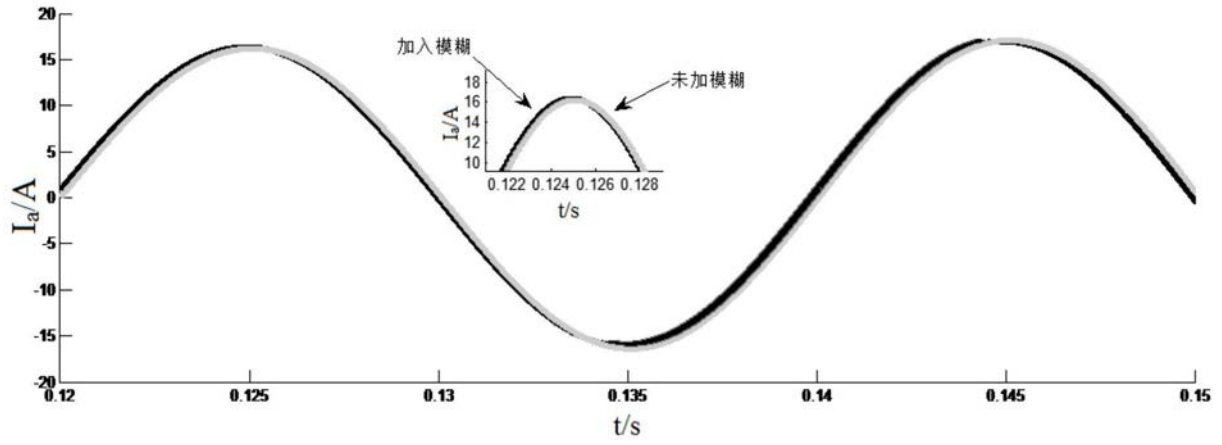


图6

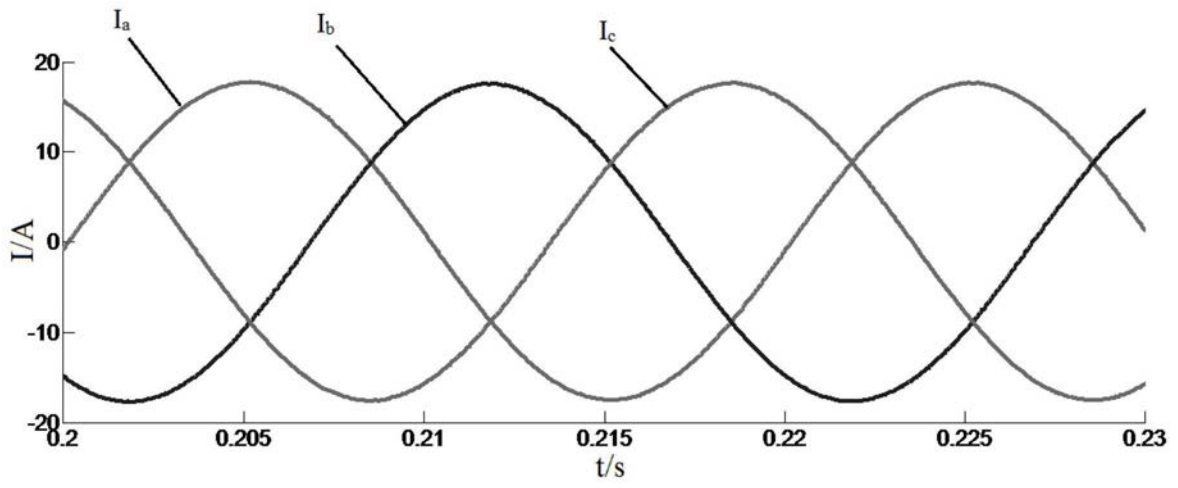


图7

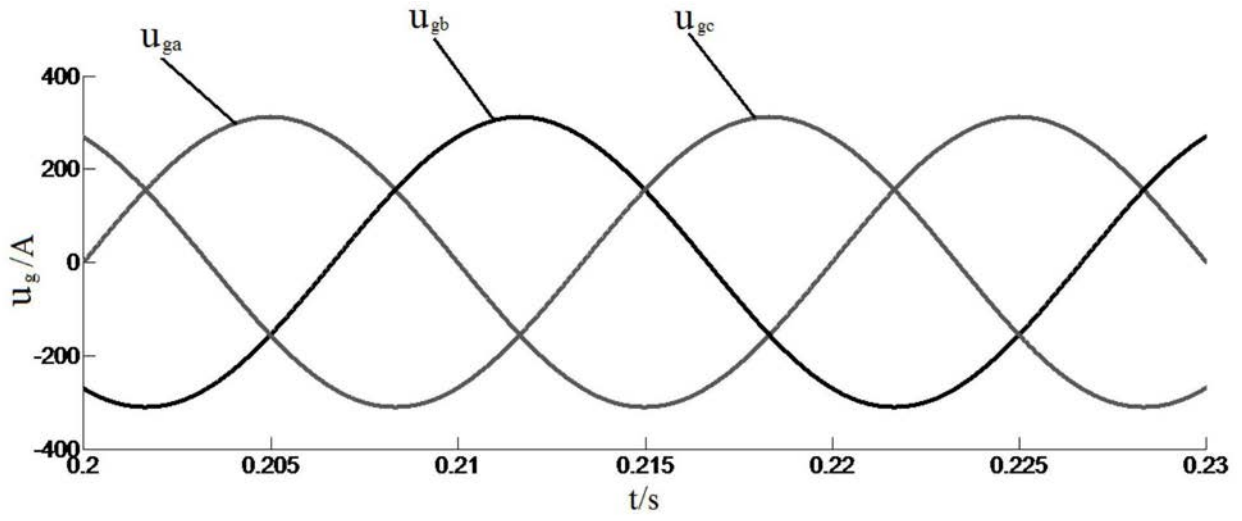


图8