



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106532785 A

(43)申请公布日 2017.03.22

(21)申请号 201611233305.2

(22)申请日 2016.12.28

(71)申请人 河海大学

地址 211100 江苏省南京市江宁区佛城西路8号

(72)发明人 郭敏 孙永辉 卫志农 孙国强 张世达 秦晨 李宁

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所 (普通合伙) 32204

代理人 孟红梅

(51)Int.Cl.

H02J 3/48(2006.01)

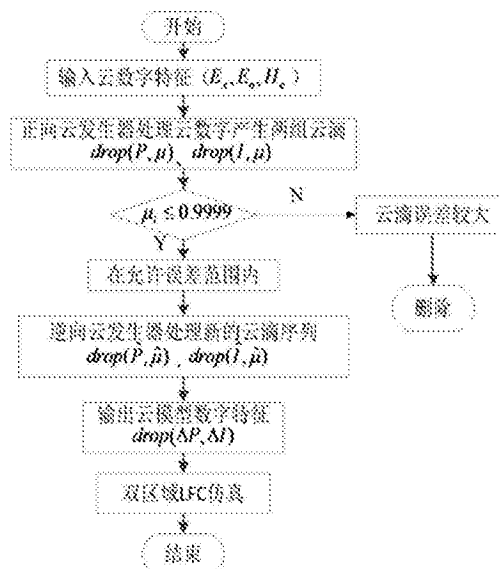
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种计及新型云模型的负荷频率控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种计及云模型的负荷频率控制方法,该方法可用于减小负荷频率控制系统中的不确定性问题带来的偏差。该方法通过建立一维云模型控制器,得到PI控制器所需要的待整定参数,再将云模型控制器接入两区域互联电力系统中,通过云模型控制器对PI整定参数进行自调整,从而实现电力系统的负荷频率控制(LFC)。本发明对联络线交换功率、区域偏差指标以及频率指标均具有很好的动态性能,能满足LFC的性能要求。



1. 一种计及新型云模型的负荷频率控制方法,其特征在于,包含如下步骤:

(1) 对区域控制偏差量E进行采样,并输入正向云发生器,以区域控制偏差量E为前件,产生一组确定度 μ ;

(2) 将步骤(1)产生的一组确定度 μ 输入后件发生器,以确定度 μ 为前件,产生两组云滴drop(P, μ)和drop(I, μ);

(3) 将步骤(2)中产生的两组云滴输入逆向云发生器,将 $\mu_i > 0.9999$ 的点剔除,得到云模型的数字特征,取处理后的期望均值作为PI参数的整定值;

(4) 将步骤(3)得到的PI参数的整定值接入双区域LFC系统。

2. 根据权利要求1所述的一种计及新型云模型的负荷频率控制方法,其特征在于,正向云发生器根据输入的偏差E及规则云前件A的3个数字特征值 $(E_{x_A}, E_{n_A}, H_{e_A})$ 产生一组确定度 μ ,具体包括:

(1.1) 根据云的数字特征 $(E_{x_A}, E_{n_A}, H_{e_A})$ 生成以期望为 E_n ,标准差为 H_e 的正态随机数 E'_n ;

(1.2) 给定定量的偏差值,计算确定度

$$\mu = e^{-\frac{(E-E_{x_A})^2}{2(E_{n_A}')^2}}$$

(1.3) 生成一个以期望为 E_x ,标准差为 E'_n 的正态随机数 x_i , x_i 称为论域空间U上的一个云滴。

3. 根据权利要求2所述的一种计及新型云模型的负荷频率控制方法,其特征在于,后件发生器根据输入规则云后件B的3个数字特征值 $(E_{x_B}, E_{n_B}, H_{e_B})$ 以及一组确定度 μ ,产生云滴drop(P, μ)、drop(I, μ),具体包括:

(2.1) 根据刺激后件云的确定度 μ 及规则云后件B的数字特征 $(E_{x_B}, E_{n_B}, H_{e_B})$,生成以 E_{n_B} 为期望值、 H_{e_B} 为方差的随机数 E'_{n_B} ;

(2.2) 如果输入 μ 激活的是规则前件的上升沿 $x_A \leq E_{x_A}$,则规则后件激活上升沿 $x_B = E_{x_B} - E'_{n_B} \times \sqrt{-(-2 \ln \mu)}$;

(2.3) 如果输入 μ 激活的是规则前件的下降沿 $x_A > E_{x_A}$,则规则后件激活下降沿 $x_B = E_{x_B} + E'_{n_B} \times \sqrt{-(-2 \ln \mu)}$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种计及新型云模型的负荷频率控制方法,其特征在于,逆向云发生器根据输入的两组云滴得到云模型的数字特征,具体包括:

(3.1) 在计算过程中,将 $\mu_i > 0.9999$ 的点剔除,剩下m个云滴;

(3.2) 将m个云滴的平均值作为期望的估计值: $\hat{E}_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i$, $i=1, \dots, m$;

(3.3) 计算 $z_i = -\frac{(x_i - \hat{E}_i)}{2 \ln \mu_i}$, $i=1, \dots, m$;

(3.4) 求 z_i 的算术平均值 $\bar{z} = \frac{z_1 + \dots + z_m}{m}$ 及方差 $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (z_i - \bar{z})^2}{m-1}$;

(3.5) 计算云的其中一个数字特征熵 E_n 估计值： $\hat{E}_n = (\bar{z}^2 - \frac{S^2}{2})^{\frac{1}{4}}$ ；

(3.6) 计算云的其中一个数字特征超熵 H_e 估计值：

$$\hat{H}_e = (\bar{z} - (\bar{z}^2 - \frac{S^2}{2})^{\frac{1}{2}})^{\frac{1}{2}}。$$

一种计及新型云模型的负荷频率控制方法

技术领域

[0001] 本发明提出一种计及云模型的负荷频率控制方法,该方法适用于互联电力系统的干扰性控制及能有效提升系统的鲁棒性,属于电网频率控制技术领域。

背景技术

[0002] 现代电网趋向于高电压、远距离的发展,其结构和运行方式更为复杂。大规模互联电网能有效解决各地区间能源资源与负荷分布的不平衡问题,实现能源资源的优化配置和利用。但在取得巨大运行效益和投资效益的同时,也不得不承受着更大的潜在风险,特别是很多跨区域、远距离大功率输电线路和系统间弱联络线的出现,增加了发生系统发生事故和大面积停电的几率,加上电力市场化改革的实施,管理机构的更迭及新型发电方式的市场参与,使电力系统安全和稳定运行面临更大的挑战。

[0003] 电力系统频率是衡量交流互联电网运行的电能质量和安全状态的重要技术指标之一,保证系统频率符合相关标准是保障互联电网安全稳定运行的基本任务。负荷频率控制是自动发电控制的核心部分,是维持互联电网频率和联络线交换功率按计划值安全稳定运行的重要手段。因此,如何改进频率控制以适应传统电网向含大规模风电并网的转变,是现代电网频率稳定的重要研究课题。所以解决电网运行过程中的外部和内部的不确定问题和随机性问题,是本发明研究的重点和难点。

发明内容

[0004] 发明目的:本发明目的在于提出一种计及新型云模型的负荷频率控制方法,设计适于LFC的云PI控制器,实现定性到定量的不确定关系,用以改变发电机组调速系统的基准功率运行点,增加或减少机组的有功输出维持频率在额定条件下运行方式,使系统的供需平衡达到稳定。

[0005] 技术方案:为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种计及新型云模型的负荷频率控制方法,包含如下步骤:

[0007] (1) 对区域控制偏差量E进行采样,并输入正向云发生器,以区域控制偏差量E为前件,产生一组确定度 μ ;

[0008] (2) 将步骤(1)产生的一组确定度 μ 输入后件发生器,以确定度 μ 为前件,产生两组云滴drop(P, μ)和drop(I, μ);

[0009] (3) 将步骤(2)中产生的两组云滴输入逆向云发生器,将 $\mu_i > 0.9999$ 的点剔除,得到云模型的数字特征,取处理后的期望均值作为PI参数的整定值;

[0010] (4) 将步骤(3)得到的PI参数的整定值接入双区域LFC系统。

[0011] 正向云发生器根据输入的偏差E及规则云前件A的3个数字特征值 $(E_{x_A}, E_{n_A}, H_{e_A})$ 产生一组确定度 μ ,具体包括:

[0012] (1.1) 根据云的数字特征 $(E_{x_A}, E_{n_A}, H_{e_A})$ 生成以期望为 E_n ,标准差为 H_e 的正态随机数 E'_n ;

[0013] (1.2) 给定定量的偏差值, 计算确定度

$$[0014] \quad \mu = e^{-\frac{(E-E_{x_A})^2}{2(E_{n_A})^2}}$$

[0015] (1.3) 生成一个以期望为 E_x , 标准差为 E'_n 的正态随机数 x_i , x_i 称为论域空间U上的一个云滴。

[0016] 后件发生器根据输入规则云后件B的3个数字特征值 $(E_{x_B}, E_{n_B}, H_{e_B})$ 以及一组确定度 μ , 产生云滴drop(P, μ)、drop(I, μ), 具体包括:

[0017] (2.1) 根据刺激后件云的确定度 μ 及规则云后件B的数字特征 $(E_{x_B}, E_{n_B}, H_{e_B})$, 生成以 E_{n_B} 为期望值、 H_{e_B} 为方差的随机数 E'_{n_B} ;

[0018] (2.2) 如果输入 μ 激活的是规则前件的上升沿 $x_A \leq E_{x_A}$, 则规则后件激活上升沿 $x_B = E_{x_B} - E'_{n_B} \times \sqrt{-(-2 \ln \mu)}$;

[0019] (2.3) 如果输入 μ 激活的是规则前件的下降沿 $x_A > E_{x_A}$, 则规则后件激活下降沿 $x_B = E_{x_B} + E'_{n_B} \times \sqrt{-(-2 \ln \mu)}$ 。

[0020] 逆向云发生器根据输入的两组云滴得到云模型的数字特征, 具体包括:

[0021] (3.1) 在计算过程中, 将 $\mu_i > 0.9999$ 的点剔除, 剩下m个云滴;

[0022] (3.2) 将m个云滴的平均值作为期望的估计值: $\hat{E}_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i$, $i=1, \dots, m$;

[0023] (3.3) 计算 $z_i = -\frac{(x_i - \hat{E}_i)}{2 \ln \mu_i}$ $i=1, \dots, m$;

[0024] (3.4) 求 z_i 的算术平均值 $\bar{z} = \frac{z_1 + \dots + z_m}{m}$ 及方差 $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (z_i - \bar{z})^2}{m-1}$;

[0025] (3.5) 计算云的其中一个数字特征熵 E_n 估计值: $\hat{E}_n = (\bar{z}^2 - \frac{S^2}{2})^{\frac{1}{4}}$;

[0026] (3.6) 计算云的其中一个数字特征超熵 H_e 估计值:

$$[0027] \quad \hat{H}_e = (\bar{z} - (\bar{z}^2 - \frac{S^2}{2})^{\frac{1}{4}})^2$$

[0028] 有益效果: 本发明的计及云模型的负荷频率控制方法, 可用于减小负荷频率控制系统中的不确定性问题带来的偏差。通过建立一维云模型控制器, 得到PI控制器所需要的待整定参数。然后, 将云模型控制器接入两区域互联电力系统中, 通过云模型控制器对PI整定参数进行自调整, 从而实现电力系统的负荷频率控制(LFC)。本发明对联络线交换功率、区域偏差指标以及频率指标均具有很好的动态性能, 能满足LFC的性能要求。本发明在云模型控制器实现中使用云期望曲线方程拟合确定度的云图, 通过增大云滴N的数目, 去除隶属度大于0.9999的点, 充分利用云滴的x和y坐标值, 使得该方法更为精确。

附图说明

[0029] 图1为本发明中计及云模型的负荷频率方法流程图;

- [0030] 图2为两区域LFC系统模型图；
 [0031] 图3为云PI控制器的仿真模型图；
 [0032] 图4为时域信号下的两区域频率偏差图。

具体实施方式

[0033] 以下结合附图和实例对本发明的实施作进一步说明。

[0034] (1) 基于LFC的云模型PI控制器的建立

[0035] LFC所实现的是输入偏差到控制器输出控制量之间的映射关系,在电力系统中受到各种随机因素的影响和干扰,其映射关系具有不确定性;云模型所实现的是定性到定量的之间不确定映射关系,因而可以将云模型应用在LFC中,图1为基于云模型的负荷频率方法流程图。

[0036] 在图1中,通过云发生器对区域控制偏差量E采样,已知云的3个数字特征后,经规则前件随机产生一组确定度 μ ,这些确定度随机刺激规则后件产生两组云滴drop(P_i, μ_i)和drop(I_i, μ_i),将所有产生的云滴通过逆向云发生器计算出该云模型的数字特征 ΔP 和 ΔI ,进而得到PI参数的整定值,具体过程如下:

[0037] 1) 对区域控制偏差量E进行采样,并输入正向云发生器,以区域控制偏差量E为前件,产生一组确定度 μ 。

[0038] 其中,正向云发生器根据输入的偏差E及规则云前件A的3个数字特征值($E_{x_A}, E_{n_A}, H_{e_A}$)产生一组确定度 μ ,方法为:

[0039] (1.1) 根据云的数字特征($E_{x_A}, E_{n_A}, H_{e_A}$)生成以期望为 E_n ,标准差为 H_e 的正态随机数 E'_n ;

[0040] (1.2) 给定定量的偏差值,计算确定度

$$[0041] \quad \mu = e^{-\frac{(E-E_{x_A})^2}{2(E'_{n_A})^2}}$$

[0042] (1.3) 生成一个以期望为 E_x ,标准差为 E'_n 的正态随机数 x_i , x_i 称为论域空间U上的一个云滴。

[0043] 2) 将步骤1)产生的一组确定度 μ 分别输入后件发生器,以确定度 μ 为前件,产生两组云滴drop(P_i, μ_i)和drop(I_i, μ_i)。

[0044] 其中后件发生器根据输入规则云后件B的3个数字特征值($E_{x_B}, E_{n_B}, H_{e_B}$)以及一组确定度 μ ,产生云滴drop(P, μ)、drop(I, μ),方法为:

[0045] (2.1) 根据刺激后件云的确定度 μ 及规则云后件B的数字特征($E_{x_B}, E_{n_B}, H_{e_B}$),生成以 E_{n_B} 为期望值、 H_{e_B} 为方差的随机数 E'_{n_B} ;

[0046] (2.2) 如果输入 μ 激活的是规则前件的上升沿 $x_A \leq E_{x_A}$,则规则后件激活上升沿 $x_B = E_{x_B} - E'_{n_B} \times \sqrt{-(-2 \ln \mu)}$;

[0047] (2.3) 如果输入 μ 激活的是规则前件的下降沿 $x_A > E_{x_A}$,则规则后件激活下降沿 $x_B = E_{x_B} + E'_{n_B} \times \sqrt{-(-2 \ln \mu)}$ 。

[0048] 3) 将步骤2)产生的云滴去除 $\mu \geq 0.9999$ 的点,经过逆向云发生器处理得出一维云

的三个数字特征,取处理后的期望均值作为PI参数的整定值。

[0049] 其中逆向云发生器根据输入的两组云滴得到云模型的数字特征,方法为:

[0050] (3.1) 在计算过程中,将 $\mu_i > 0.9999$ 的点剔除,剩下 m 个云滴;

[0051] (3.2) 将 m 个云滴的平均值作为期望的估计值: $\hat{E}_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i$, $i=1, \dots, m$;

[0052] (3.3) 计算 $z_i = -\frac{(x_i - \hat{E}_i)}{2 \ln \mu_i}$ $i=1, \dots, m$;

[0053] (3.4) 求 z_i 的算术平均值 $\bar{z} = \frac{z_1 + \dots + z_m}{m}$ 及方差 $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (z_i - \bar{z})^2}{m-1}$;

[0054] (3.5) 计算云的其中一个数字特征熵 E_n 估计值: $\hat{E}_n = (\bar{z}^2 - \frac{S^2}{2})^{\frac{1}{4}}$;

[0055] (3.6) 计算云的其中一个数字特征超熵 H_e 估计值:

[0056] $\hat{H}_e = (\bar{z} - (\bar{z}^2 - \frac{S^2}{2})^{\frac{1}{2}})^2$ 。

[0057] (2) 负荷频率控制系统模型的建立

[0058] 电力系统是具有高度的非线性、参数不确定性的动态系统;其蒸汽调节阀的延迟特性,汽轮机的调速器死区以及各个参数时间的不确定性表现尤为突出。负荷频率控制系统主要由调速器、发电机组、原动机和电网环节等组成,图2为两区域LFC系统模型。

[0059] 1) 发电机模型

[0060] 发电机是重要的环节之一,发电机用以满足电力系统的供需平衡。

[0061] $\Delta P_m - \Delta P_e = M s \Delta \omega$

[0062] 其中, ΔP_m 为原动机的机械功率变化量; ΔP_e 为发电机电磁功率变化量; M 为机组转动惯量; $\Delta \omega$ 为角频率变化量。

[0063] 2) 负荷模型

[0064] 负荷是电力系统的重要组成部分之一,其数学模型的准确程度对电力系统暂态分析结构的精确度有很大的影响。对频率敏感性负荷即负荷频率特性表示如下:

[0065] $\Delta P_{Lf} = D \Delta \omega$

[0066] 电磁功率变化量可表示为: $\Delta P_e = \Delta P_L + \Delta P_{Lf} = \Delta P_L + D \Delta \omega$

[0067] 其中, ΔP_L 为频率不敏感部分的负荷变化量; ΔP_{Lf} 为频率敏感部分的负荷变化量; D 为区域的负荷阻尼系数。

[0068] 3) 调速器原动机模型

[0069] 调速器对电网频率起主要作用,电网频率的变化直接反映至机组功角的变化,一次调频作用的调速系统的负反馈环节,将起到稳定系统频率的作用。对调速器的传递函数表达式如下:

[0070] $(\Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta \omega) = (1 + s T_G) \Delta P_w$

[0071] 其中, ΔP_{ref} 为机组的基准功率; R 为调差系数; T_G 为调速器的时间惯性常数; ΔP_w 为汽轮机阀门对应的功率变化量。

[0072] 采用非再热式汽轮机模型

$$[0073] \quad \Delta P_w = (1 + sT_t) \Delta P_m$$

[0074] 其中, T_t 为再热式汽轮机时间常数。

[0075] 4) 联络线功率模型

[0076] 通过一条联络线与其它机组或区域相连, 取联络线功率的线性化近似表达:

$$[0077] \quad \Delta P_{tie} = \frac{T_{12}}{s} (\Delta \omega_1 - \Delta \omega_2)$$

[0078] 其中, ΔP_{tie} 为联络线功率的变化量; T_{12} 为联络线功率的同步系数; $\Delta \omega_1$ 、 $\Delta \omega_2$ 为区域1、2的角频率变化量。

[0079] 5) ACE是LFC的目标之一, 由控制区的频率偏差和联络线功率偏差得到:

$$[0080] \quad ACE = \Delta P_{tie} - 10B \Delta f$$

[0081] 其中, B 为控制区的频率响应系数; Δf 为控制区的控制偏差。

[0082] (3) 设计LFC的云PI控制器, 图3为云PI控制器的仿真模型

[0083] 在图3中, In1是ACE的输入端, 由Matlab/S函数编写的云模型控制器, 经过云模型规则的设置, 实现对P、I的实时自调整。

[0084] 建立云模型发生器的规则前件和规则后件并进行归一化处理, 设定区域控制偏差量 e 、整定值 ΔP 和 ΔI 论域均为 $[-1, 1]$, 按其大小划分为5个部分, 分别表征为“负大”、“负小”、“零”、“正小”、“正大”, 可按 $(-0.1, 0.06, 0.0005)$ 、 $(-0.05, 0.06, 0.0005)$ 、 $(0, 0.06, 0.0005)$ 、 $(0.05, 0.06, 0.0005)$ 、 $(0.1, 0.06, 0.0005)$ 表示, 将各个参变量输入到按照前面所建立好的多规则控制器之中, 即完成基于云模型的自适应PI控制器的建立。

[0085] (4) 在Matlab/Simulink搭建仿真模块(云模型控制器由函数编写), 对两区域频率偏差和两区域的联络线ACE进行仿真。图4表明, 采用新型云模型的负荷频率控制方法, 能够较快的达到稳定值, 并抑制了偏差波动, 具有良好的控制效果。

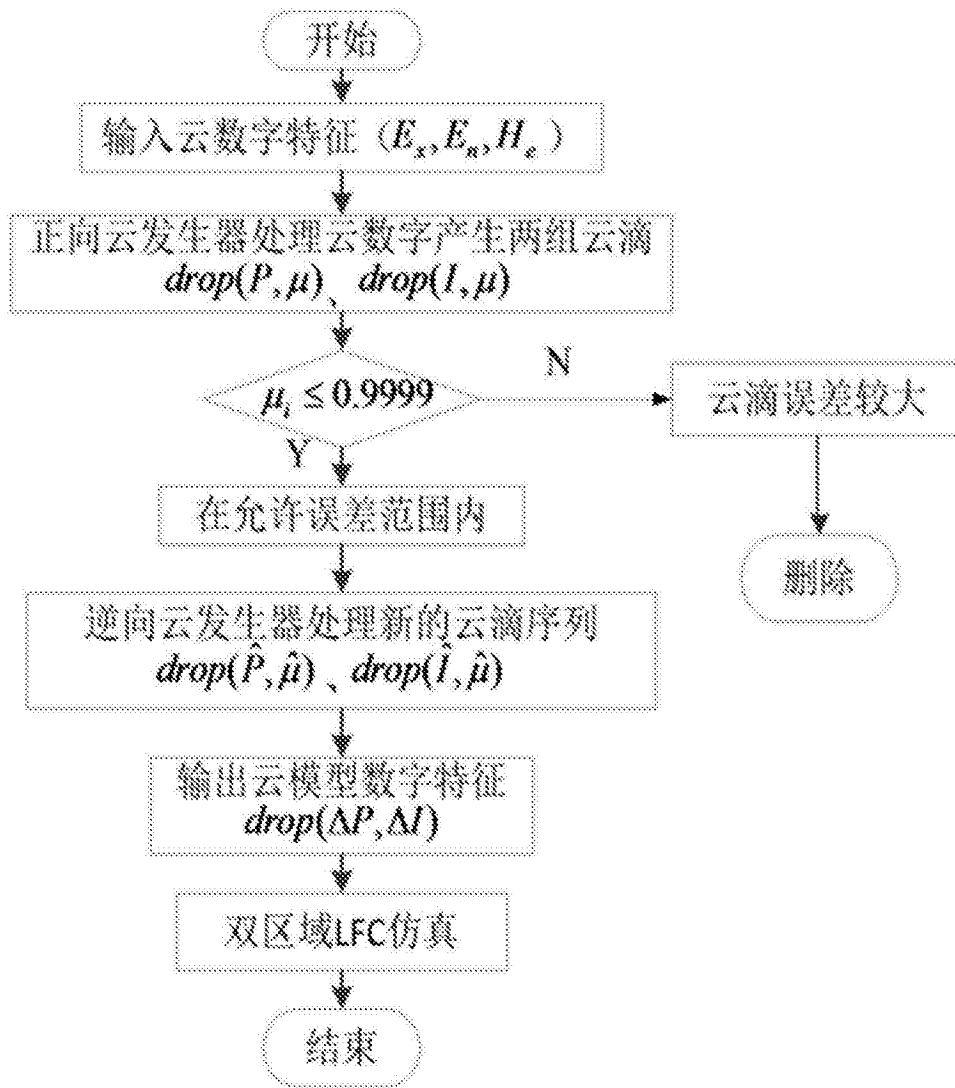


图1

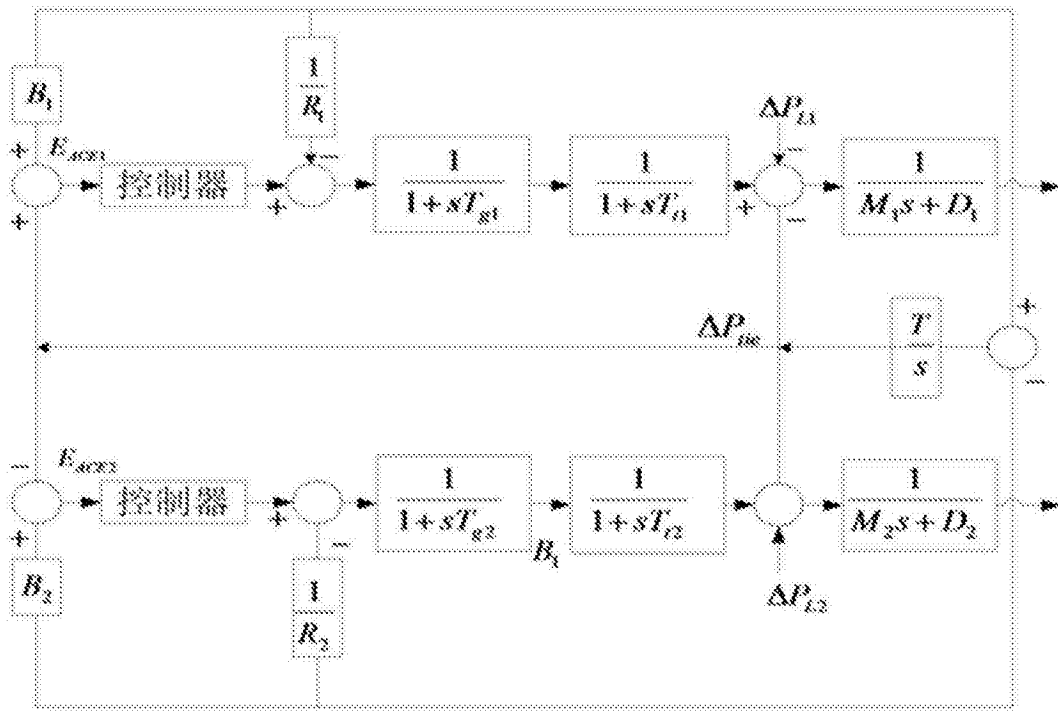


图2

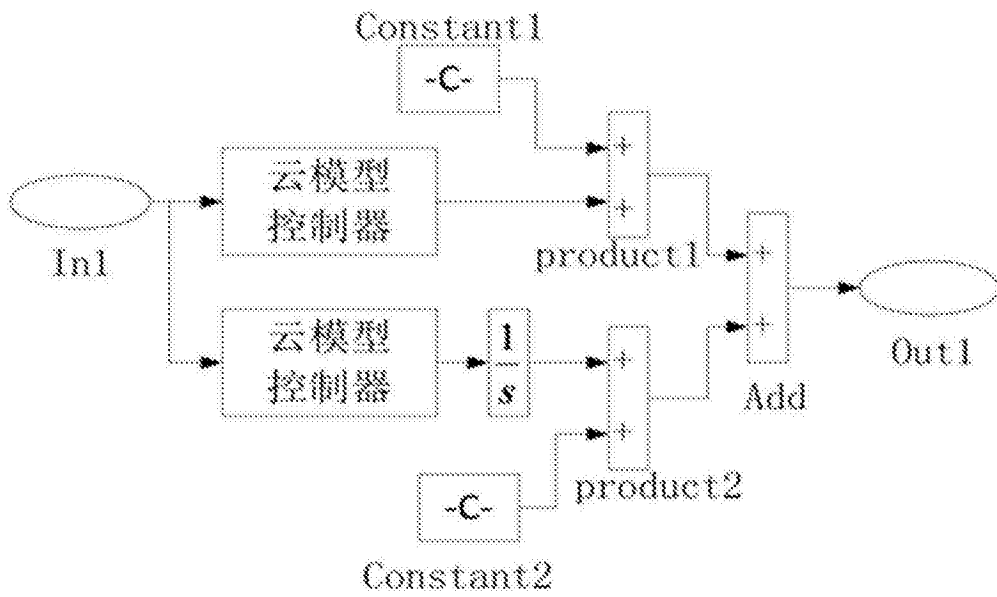
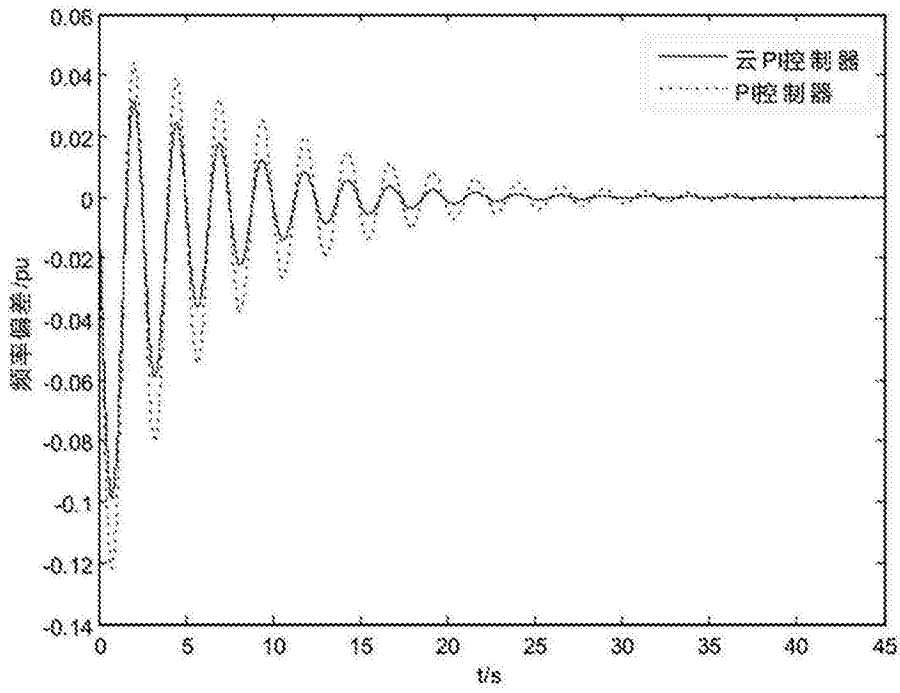
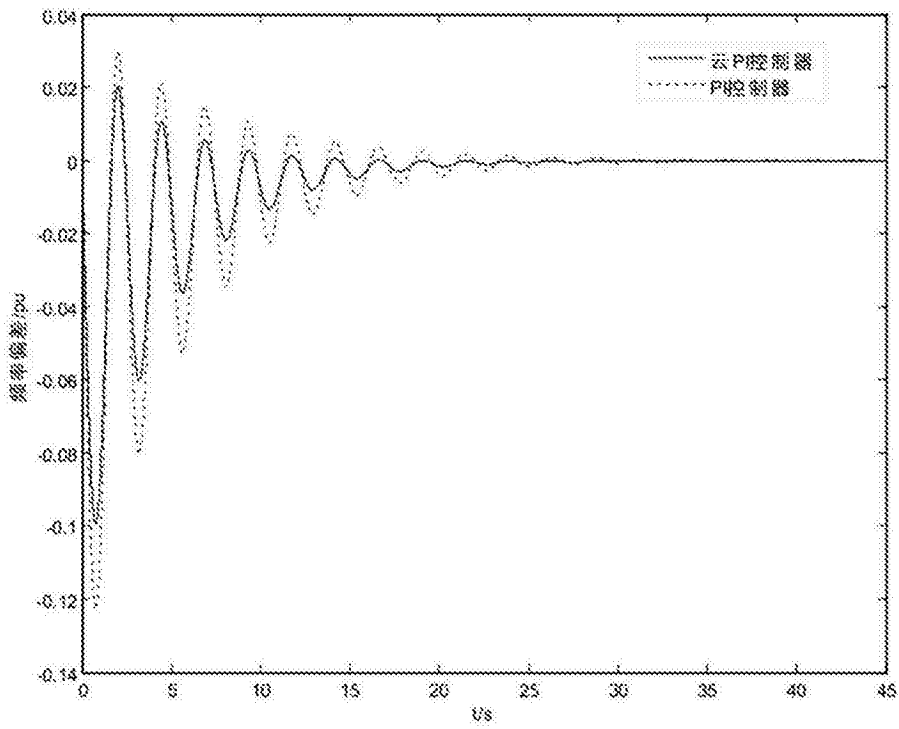


图3



(a)



(b)

图4