



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105676897 B

(45)授权公告日 2018.11.13

(21)申请号 201610232047.X

(22)申请日 2016.04.14

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105676897 A

(43)申请公布日 2016.06.15

(73)专利权人 重庆交通大学
地址 402247 重庆市江津区双福镇福星大道1号

(72)发明人 徐凯 吴磊 徐文轩 刘梦琪
杨飞凤

(74)专利代理机构 重庆乾乙律师事务所 50235
代理人 侯懋琪

(51)Int. Cl.
G05D 13/62(2006.01)

(56)对比文件
CN 101976083 A,2011.02.16,
CN 102868336 A,2013.01.09,
CN 103412492 A,2013.11.27,
CN 105429518 A,2016.03.23,

CN 1527170 A,2004.09.08,
CN 104935217 A,2015.09.23,
DE 102010023286 A1,2011.12.15,
JP 2004086434 A,2004.03.18,
徐凯等.变风量空调的自适应模糊PID复合控制.《计算机仿真》.2011,第28卷(第10期),全文.
曹建秋等.遗传算法优化的模糊+变论域自适应模糊PID复合控制策略.《信息与控制》.2011,第40卷(第1期),全文.
李鹏飞等.基于相邻偏差耦合的多电机模糊PID同步控制.《机械设计与研究》.2013,第29卷(第5期),全文.
刘然等.基于环形耦合控制策略的多电机同步控制研究.《控制与决策》.2011,第26卷(第6期),全文.

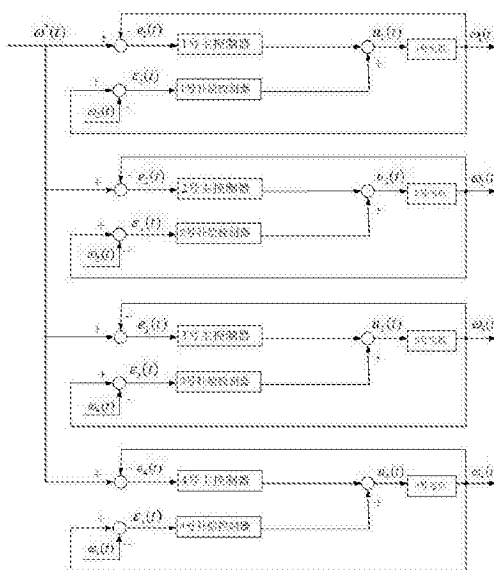
王桂荣等.基于遗传算法寻优的双电机控制系统研究.《电气传动》.2014,第44卷(第9期),全文.

审查员 冯加双

权利要求书3页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称
多电机系统智能协调控制方法

(57)摘要
一种多电机系统智能协调控制方法,其创新在于:所述多电机系统中采用的多个主控制器和多个补偿控制器的控制参数由联合整定方式同步获得;本发明的有益技术效果是:提出了一种多电机系统智能协调控制方法,该方法所涉及的PID控制参数,是在对所有主控制器和所有补偿控制器进行联合整定的条件下得到的,并且联合整定时,动态性能和同步性能在整定目标中都各自占有权重,且权重可调,技术人员可根据实际情况,对相应权重进行调节,以获得符合实际需要的PID控制参数。



CN 105676897 B

1. 一种多电机系统智能协调控制方法,其特征在于:所述多电机系统包括中央控制器、作为被控对象的多台电机、与多台电机一一对应的多个子控制器、与多台电机一一对应的多个主控制器、与多台电机一一对应的多个补偿控制器、与多台电机一一对应的多个转速传感器;

所述主控制器、子控制器和转速传感器均与中央控制器连接,所述补偿控制器的输入端与对应的子控制器连接,补偿控制器的输出端与中央控制器连接,所述中央控制器分别与多台电机的驱动装置连接;所述转速传感器设置在电机上,转速传感器用于检测电机转速;

多电机系统运行时,按如下方法进行控制:

设电机的数量为 n 台,用1至 n 的阿拉伯数字对多台电机进行编号, k 号电机所对应的主控制器、子控制器和补偿控制器分别记为 k 号主控制器、 k 号子控制器和 k 号补偿控制器, $k=1,2,3,\dots,n$;

当给定速度发生变化时,1)中央控制器通过转速传感器对各台电机的当前转速进行检测,对应1至 n 号电机的转速值分别记为转速值1、转速值2……转速值 n ;然后中央控制器根据给定速度和多个转速值,分别计算出给定速度与各个转速值之间的偏差值,对应1至 n 号电机的偏差值分别记为偏差值1、偏差值2、偏差值3……偏差值 n ;

2)中央控制器将多个偏差值分别发送至相应的主控制器,同时,中央控制器按如下方法将转速值发送至子控制器:对于 k 号子控制器,当 $k=n$ 时,中央控制器将转速值1和转速值 n 发送至该子控制器;当 $k\neq n$ 时,中央控制器将转速值 k 和转速值 $k+1$ 发送至该子控制器;

3)主控制器收到偏差值后,根据偏差值进行PID调节并向中央控制器输出主控制信号,对应1至 n 号电机的主控制信号分别记为主控制信号1、主控制信号2……主控制信号 n ;

4)子控制器收到转速值后,按如下方法进行处理:

对于 k 号子控制器,当 $k=n$ 时,子控制器对转速值 n 和转速值1进行求差,然后将求差结果发送至对应的补偿控制器;当 $k\neq n$ 时,子控制器对转速值 k 和转速值 $k+1$ 进行求差,然后将求差结果发送至对应的补偿控制器;

补偿控制器收到求差结果后,根据求差结果进行PID调节并向中央控制器输出补偿控制信号,对应1至 n 号电机的补偿控制信号分别记为补偿控制信号1、补偿控制信号2……补偿控制信号 n ;

5)中央控制器收到主控制信号和补偿控制信号后,将序号对应的主控制信号和补偿控制信号进行叠加,获得驱动信号,对应1至 n 号电机的驱动信号分别记为驱动信号1、驱动信号2……驱动信号 n ;然后中央控制器将驱动信号发送至相应电机的驱动装置,驱动装置根据驱动信号对电机转速进行调节,待电机进入稳态运行后,中央控制器将补偿控制器停止运行,中央控制器直接将主控制器输出的主控制信号输出至驱动装置;

所述多个补偿控制器投入运行前,按如下方法对多个主控制器和多个补偿控制器进行联合整定:

1]单个主控制器中用于PID调节的参数有比例、积分和微分三种调节参数,单个补偿控制器中用于PID调节的参数有比例、积分和微分三种控制参数,根据电机性能,为各个调节参数和各个控制参数分别设定取值范围,根据取值范围的上限确定各个调节参数和各个控制参数所对应的二进制码的长度,单个调节参数或单个控制参数所对应的二进制码记为一

个基因,则单个主控制器和单个补偿控制器共对应六个基因;编号相同的一个主控制器和一个补偿控制器形成一个单元,则多个主控制器和多个补偿控制器形成多个单元;单个单元所对应的六个基因排列在一起形成一个基因段,多个单元对应的多个基因段排列在一起形成一个染色体;染色体中的每个基因被赋上初值后,该染色体即形成一个调节个体,在各参数取值范围内采用随机赋值方式,获得多个调节个体,多个调节个体即形成一初始种群,计算出初始种群中各个调节个体的适应度 f ;

2]通过仿真试验,模拟多电机系统在给定速度发生变化时的动态调节过程,试验过程中,采用遗传算法对初始种群进行迭代处理,找到适应度 f 最大的调节个体,适应度 f 最大的调节个体记为最优个体;

3]对最优个体进行解码处理,将最优个体中的各个基因还原为相应的调节参数和控制参数,然后将调节参数和控制参数存储至对应的主控制器和补偿控制器中,整定过程完成;

所述适应度 f 的表达式为:

$$f = \alpha f_1 + (1 - \alpha) f_2$$

其中, f_1 为表征多电机系统动态性能的适应度函数, f_2 为表征多电机系统同步性能的适应度函数, α 为权重系数, α 的取值范围为(0,1]; α 的取值越趋近于0,则多电机系统的性能更偏重于多台电机之间的同步性, α 的取值越趋近于1或等于1,则多电机系统的性能更偏重于电机的动态性;

f_1 的表达式为:

$$f_1 = 1 / J_{ITAE1}$$

其中, J_{ITAE1} 为对应动态性能的ITAE性能指标;

J_{ITAE1} 的表达式为:

$$J_{ITAE1} = \int_0^T t \cdot e(t) dt$$

其中, t 为时间, T 为仿真试验过程中动态调节过程的时间长度; $e(t)$ 为各台电机的误差绝对值之和;

$e(t)$ 的表达式为:

$$e(t) = \sum_{k=1}^n |e_k(t)|$$

其中, $e_k(t)$ 为 k 号电机给定速度与之输出速度之间的误差;

$e_k(t)$ 的表达式为:

$$e_k(t) = \omega^*(t) - \omega_k(t)$$

其中, $\omega^*(t)$ 为给定速度, $\omega_k(t)$ 为 k 号电机的输出速度;

f_2 的表达式为:

$$f_2 = 1 / J_{ITAE2}$$

其中, J_{ITAE2} 为对应同步性能的ITAE性能指标;

J_{ITAE2} 的表达式为:

$$J_{ITAE2} = \int_0^T t \cdot \varepsilon(t) dt$$

其中, t 为时间, T 为仿真试验过程中动态调节过程的时间长度; $\varepsilon(t)$ 为序号相邻电机之间的误差绝对值之和;

$\varepsilon(t)$ 的表达式为:

$$\varepsilon(t) = \sum_{k=1}^n |\varepsilon_k(t)|$$

其中, $\varepsilon_k(t)$ 为前一台电机与后一台电机的输出速度之间的误差;

当 $k \neq n$ 时, $\varepsilon_k(t) = \omega_k(t) - \omega_{k+1}(t)$, 当 $k = n$ 时, $\varepsilon_n(t) = \omega_n(t) - \omega_1(t)$; $\omega_k(t)$ 为 k 号电机的输出速度, $\omega_{k+1}(t)$ 为 $k+1$ 号电机的输出速度, $\omega_n(t)$ 为 n 号电机的输出速度, $\omega_1(t)$ 为 1 号电机的输出速度。

多电机系统智能协调控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种多电机控制技术,尤其涉及一种多电机系统智能协调控制方法。

背景技术

[0002] 多电机系统控制问题普遍存在于工业生产行业中,如连铸机、轧钢机、造纸机、染整机等,这些设备的产品质量和生产效率与多电机系统的动态性能和同步性能密切相关,这就对多电机系统的性能提出了较高的要求。

[0003] 在现有技术中,用于多电机系统的控制装置,大多采用工业上常用的PID(比例、积分和微分)控制器,为使多电机系统同时具备较好的动态性和同步性,现有技术中,在应用前述PID控制器时,一般有如下两种方法:

[0004] 方法一:为多电机系统中的每台电机都单独配备一个主控制器,将动态性和同步性同时作为目标函数,采用智能优化的方式对多个主控制器进行联合整定;该方法存在的问题是:虽然,整定时将动态性和同步性同时作为目标函数,但由于单台电机仅配置了一个主控制器,没有设置单独的速度同步补偿器,实际运行时,一个主控制器显然难以同时兼顾动态性和同步性这两个方面的要求;

[0005] 方法二:在方法一的基础上,为每台电机再单独配备一个速度同步补偿器,主控制器和速度同步补偿器各司其职,即主控制器用于调节各台电机自身的动态性能和稳态性能,速度同步补偿器用于控制多电机之间不失调,并保持良好的同步精度;采用方法二时,一般采用分步整定的方式来对主控制器和速度同步补偿器进行整定:首先,以每台电机的动态性为目标,逐一获得每台电机的主控制器的PID参数。接着,采用某种耦合方式,以多台电机的同步性为目标,对多台电机的速度同步补偿器的PID参数进行联合整定;与方法一相比,方法二中为每台电机都增加了相应的速度同步补偿器,理论上,采用方法二时多电机系统的同步性能指标应有所提高,但在实际工程中,却不是这样:虽然多个速度同步补偿器的PID参数是以同步性为目标联合整定获得的,但在实际控制中,速度同步补偿器的输出控制量须与主控制器的输出控制量进行叠加才能获得最终的控制信号,这就使得最终的控制信号将偏离以前主控制器以动态性为目标整定的输出控制量,从而导致电机的动态性将难以把控;产生前述问题的根本原因是,主控制器和速度同步补偿器是分步独立整定的,在后面整定速度同步补偿器时,将会对前面整定好的主控制器带来影响。

发明内容

[0006] 针对背景技术中存在的问题,本发明提出了一种多电机系统智能协调控制方法,其创新在于:所述多电机系统包括中央控制器、作为被控对象的多台电机、与多台电机一一对应的多个子控制器、与多台电机一一对应的多个主控制器、与多台电机一一对应的多个补偿控制器、与多台电机一一对应的多个转速传感器;

[0007] 所述主控制器、子控制器和转速传感器均与中央控制器连接,所述补偿控制器的输入端与对应的子控制器连接,补偿控制器的输出端与中央控制器连接,所述中央控制器

分别与多台电机的驱动装置连接;所述转速传感器设置在电机上,转速传感器用于检测电机转速;

[0008] 多电机系统运行时,按如下方法进行控制:

[0009] 设电机的数量为 n 台,用1至 n 的阿拉伯数字对多台电机进行编号, k 号电机所对应的主控制器、子控制器和补偿控制器分别记为 k 号主控制器、 k 号子控制器和 k 号补偿控制器, $k=1,2,3,\dots,n$;

[0010] 当给定速度发生变化时,1)中央控制器通过转速传感器对各台电机的当前转速进行检测,对应1至 n 号电机的转速值分别记为转速值1、转速值2……转速值 n ;然后中央控制器根据给定速度和多个转速值,分别计算出给定速度与各个转速值之间的偏差值,对应1至 n 号电机的偏差值分别记为偏差值1、偏差值2、偏差值3……偏差值 n ;

[0011] 2)中央控制器将多个偏差值分别发送至相应的主控制器,同时,中央控制器按如下方法将转速值发送至子控制器:对于 k 号子控制器,当 $k=n$ 时,中央控制器将转速值1和转速值 n 发送至该子控制器;当 $k\neq n$ 时,中央控制器将转速值 k 和转速值 $k+1$ 发送至该子控制器;

[0012] 3)主控制器收到偏差值后,根据偏差值进行PID调节并向中央控制器输出主控制信号,对应1至 n 号电机的主控制信号分别记为主控制信号1、主控制信号2……主控制信号 n ;

[0013] 4)子控制器收到转速值后,按如下方法进行处理:

[0014] 对于 k 号子控制器,当 $k=n$ 时,子控制器对转速值 n 和转速值1进行求差,然后将求差结果发送至对应的补偿控制器;当 $k\neq n$ 时,子控制器对转速值 k 和转速值 $k+1$ 进行求差,然后将求差结果发送至对应的补偿控制器;

[0015] 补偿控制器收到求差结果后,根据求差结果进行PID调节并向中央控制器输出补偿控制信号,对应1至 n 号电机的补偿控制信号分别记为补偿控制信号1、补偿控制信号2……补偿控制信号 n ;

[0016] 5)中央控制器收到主控制信号和补偿控制信号后,将序号对应的主控制信号和补偿控制信号进行叠加,获得驱动信号,对应1至 n 号电机的驱动信号分别记为驱动信号1、驱动信号2……驱动信号 n ;然后中央控制器将驱动信号发送至相应电机的驱动装置,驱动装置根据驱动信号对电机转速进行调节,待电机进入稳态运行后,中央控制器将补偿控制器停止运行,中央控制器直接将主控制器输出的主控制信号输出至驱动装置;

[0017] 所述多个补偿控制器投入运行前,按如下方法对多个主控制器和多个补偿控制器进行联合整定:

[0018] 1]单个主控制器中用于PID调节的参数有比例、积分和微分三种调节参数,单个补偿控制器中用于PID调节的参数有比例、积分和微分三种控制参数。根据电机性能,为各个调节参数和各个控制参数分别设定取值范围,根据取值范围的上限确定各个调节参数和各个控制参数所对应的二进制码的长度,单个调节参数或单个控制参数所对应的二进制码记为一个基因,则单个主控制器和单个补偿控制器共对应六个基因;编号相同的一个主控制器和一个补偿控制器形成一个单元,则多个主控制器和多个补偿控制器形成多个单元;单个单元所对应的六个基因排列在一起形成一个基因段,多个单元对应的多个基因段排列在一起形成一个染色体;染色体中的每个基因被赋上初值后,该染色体即形成一个调节个

体,在各参数取值范围内采用随机赋值方式,获得多个调节个体,多个调节个体即形成一初始种群,计算出初始种群中各个调节个体的适应度 f ;

[0019] 2]通过仿真试验,模拟多电机系统在给定速度发生变化时的动态调节过程,试验过程中,采用遗传算法对初始种群进行迭代处理,找到适应度 f 最大的调节个体,适应度 f 最大的调节个体记为最优个体;

[0020] 3]对最优个体进行解码处理,将最优个体中的各个基因还原为相应的调节参数和控制参数,然后将调节参数和控制参数存储至对应的主控制器和补偿控制器中,整定过程完成;

[0021] 所述适应度 f 的表达式为:

$$[0022] \quad f = \alpha f_1 + (1 - \alpha) f_2$$

[0023] 其中, f_1 为表征多电机系统动态性能的适应度函数, f_2 为表征多电机系统同步性能的适应度函数, α 为权重系数, α 的取值范围为 $(0, 1]$; α 的取值越趋近于0,则多电机系统的性能更偏重于多台电机之间的同步性, α 的取值越趋近于1或等于1,则多电机系统的性能更偏重于电机的动态性;

[0024] f_1 的表达式为:

$$[0025] \quad f_1 = 1 / J_{ITAE1}$$

[0026] 其中, J_{ITAE1} 为对应动态性能的ITAE性能指标;

[0027] J_{ITAE1} 的表达式为:

$$[0028] \quad J_{ITAE1} = \int_0^T t \cdot e(t) dt$$

[0029] 其中, t 为时间, T 为仿真试验过程中动态调节过程的时间长度; $e(t)$ 为各台电机的误差绝对值之和;

[0030] $e(t)$ 的表达式为:

$$[0031] \quad e(t) = \sum_{k=1}^n |e_k(t)|$$

[0032] 其中, $e_k(t)$ 为 k 号电机给定速度与之输出速度之间的误差;

[0033] $e_k(t)$ 的表达式为:

$$[0034] \quad e_k(t) = \omega^*(t) - \omega_k(t)$$

[0035] 其中, $\omega^*(t)$ 为给定速度, $\omega_k(t)$ 为 k 号电机的输出速度;

[0036] f_2 的表达式为:

$$[0037] \quad f_2 = 1 / J_{ITAE2}$$

[0038] 其中, J_{ITAE2} 为对应同步性能的ITAE性能指标;

[0039] J_{ITAE2} 的表达式为:

$$[0040] \quad J_{ITAE2} = \int_0^T t \cdot \varepsilon(t) dt$$

[0041] 其中, t 为时间, T 为仿真试验过程中动态调节过程的时间长度; $\varepsilon(t)$ 为序号相邻电机之间的误差绝对值之和;

[0042] $\varepsilon(t)$ 的表达式为:

$$[0043] \quad \varepsilon(t) = \sum_{k=1}^n |\varepsilon_k(t)|$$

[0044] 其中, $\varepsilon_k(t)$ 为前一台电机与后一台电机的输出速度之间的误差;

[0045] 当 $k \neq n$ 时, $\varepsilon_k(t) = \omega_k(t) - \omega_{k+1}(t)$, 当 $k = n$ 时, $\varepsilon_n(t) = \omega_n(t) - \omega_1(t)$; $\omega_k(t)$ 为 k 号电机的输出速度, $\omega_{k+1}(t)$ 为 $k+1$ 号电机的输出速度, $\omega_n(t)$ 为 n 号电机的输出速度, $\omega_1(t)$ 为 1 号电机的输出速度。

[0046] 本发明的原理是:背景技术中的方法二不失为一种改善多电机系统性能的较好思路,但由于其整定方式所存在的固有缺陷,导致其性能不尽如人意。于是发明人考虑,能否用一种新的整定方式对主控制器和速度同步补偿器进行联合整定,从而使最终的控制信号既能兼顾多电机系统的动态性,又能兼顾多电机系统的同步性,或者使动态性和同步性各自在控制系统中所占的权重为可控的,而非如方法二所述那样“难以把控”;顺着这一思路,发明人进行了大量的实验研究,并最终得到了本发明的方案。

[0047] 在本发明中,通过 $f = \alpha f_1 + (1-\alpha) f_2$ 对整定目标中的动态性能和同步性能进行了权重分配,通过调节 α 的大小,我们就能对整定目标的倾向性进行把控,如欲使最终整定出的控制器参数更加倾向于电机的动态性能,则可将 α 的取值取得较大,如欲使最终整定出的控制器参数更加倾向于电机的同步性能,则可将 α 的取值取得较小,如欲使最终整定出的控制器参数既能兼顾动态性能又能兼顾同步性能,则可将 α 取适中值;当 α 取值确定后,多个主控制器和多个补偿控制器的参数在同一整定目标条件下联合整定得到,这就避免了分步整定时,在后面整定中将会对前面的整定造成影响的问题;在明悉了本发明的方案后,本领域技术人员可根据实际需要和具体的控制目的,通过试验合理确定出 α 的取值;关于遗传算法:基于遗传算法的公知性,以及考虑到遗传算法在本发明中并非改进的核心,而仅是作为一种算法工具,因此本发明对其具体的迭代处理过程介绍得较为粗略,若有不尽之处,本领域技术人员应以现有文献中所公开的遗传算法迭代处理方式理解本发明。

[0048] 本发明的有益技术效果是:提出了一种多电机系统智能协调控制方法,该方法所涉及的PID控制参数,是在对所有主控制器和所有补偿控制器进行联合整定的条件下得到的,并且联合整定时,动态性能和同步性能在整定目标中都各自占有权重,且权重可调,技术人员可根据实际情况,对相应权重进行调节,以获得符合实际需要的PID控制参数。

附图说明

[0049] 图1为本发明的系统原理图(以4台电机为例);

[0050] 图中各个标记所对应的名称分别为:给定速度 $\omega^*(t)$ 、1号电机的输出速度 $\omega_1(t)$ 、2号电机的输出速度 $\omega_2(t)$ 、3号电机的输出速度 $\omega_3(t)$ 、4号电机的输出速度 $\omega_4(t)$ 、1号电机给定速度与之输出速度之间的误差 $e_1(t)$ 、2号电机给定速度与之输出速度之间的误差 $e_2(t)$ 、3号电机给定速度与之输出速度之间的误差 $e_3(t)$ 、4号电机给定速度与之输出速度之间的误差 $e_4(t)$ 、1号电机与2号电机的输出速度之间的误差 $\varepsilon_1(t)$ 、2号电机与3号电机的输出速度之间的误差 $\varepsilon_2(t)$ 、3号电机与4号电机的输出速度之间的误差 $\varepsilon_3(t)$ 、4号电机与1号电机的输出速度之间的误差 $\varepsilon_4(t)$ 、驱动信号 $1u_1(t)$ 、驱动信号 $2u_2(t)$ 、驱动信号 $3u_3(t)$ 、驱动信号 $4u_4(t)$ 。

具体实施方式

[0051] 一种多电机系统智能协调控制方法,其创新在于:所述多电机系统包括中央控制

器、作为被控对象的多台电机、与多台电机一一对应的多个子控制器、与多台电机一一对应的多个主控制器、与多台电机一一对应的多个补偿控制器、与多台电机一一对应的多个转速传感器；

[0052] 所述主控制器、子控制器和转速传感器均与中央控制器连接，所述补偿控制器的输入端与对应的子控制器连接，补偿控制器的输出端与中央控制器连接，所述中央控制器分别与多台电机的驱动装置连接；所述转速传感器设置在电机上，转速传感器用于检测电机转速；

[0053] 多电机系统运行时，按如下方法进行控制：

[0054] 设电机的数量为 n 台，用1至 n 的阿拉伯数字对多台电机进行编号， k 号电机所对应的主控制器、子控制器和补偿控制器分别记为 k 号主控制器、 k 号子控制器和 k 号补偿控制器， $k=1, 2, 3, \dots, n$ ；

[0055] 当给定速度发生变化时，1) 中央控制器通过转速传感器对各台电机的当前转速进行检测，对应1至 n 号电机的转速值分别记为转速值1、转速值2……转速值 n ；然后中央控制器根据给定速度和多个转速值，分别计算出给定速度与各个转速值之间的偏差值，对应1至 n 号电机的偏差值分别记为偏差值1、偏差值2、偏差值3……偏差值 n ；

[0056] 2) 中央控制器将多个偏差值分别发送至相应的主控制器，同时，中央控制器按如下方法将转速值发送至子控制器：对于 k 号子控制器，当 $k=n$ 时，中央控制器将转速值1和转速值 n 发送至该子控制器；当 $k \neq n$ 时，中央控制器将转速值 k 和转速值 $k+1$ 发送至该子控制器；

[0057] 3) 主控制器收到偏差值后，根据偏差值进行PID调节并向中央控制器输出主控制信号，对应1至 n 号电机的主控制信号分别记为主控制信号1、主控制信号2……主控制信号 n ；

[0058] 4) 子控制器收到转速值后，按如下方法进行处理：

[0059] 对于 k 号子控制器，当 $k=n$ 时，子控制器对转速值 n 和转速值1进行求差，然后将求差结果发送至对应的补偿控制器；当 $k \neq n$ 时，子控制器对转速值 k 和转速值 $k+1$ 进行求差，然后将求差结果发送至对应的补偿控制器；

[0060] 补偿控制器收到求差结果后，根据求差结果进行PID调节并向中央控制器输出补偿控制信号，对应1至 n 号电机的补偿控制信号分别记为补偿控制信号1、补偿控制信号2……补偿控制信号 n ；

[0061] 5) 中央控制器收到主控制信号和补偿控制信号后，将序号对应的主控制信号和补偿控制信号进行叠加，获得驱动信号，对应1至 n 号电机的驱动信号分别记为驱动信号1、驱动信号2……驱动信号 n ；然后中央控制器将驱动信号发送至相应电机的驱动装置，驱动装置根据驱动信号对电机转速进行调节，待电机进入稳态运行后，中央控制器将补偿控制器停止运行，中央控制器直接将主控制器输出的主控制信号输出至驱动装置；

[0062] 所述多个补偿控制器投入运行前，按如下方法对多个主控制器和多个补偿控制器进行联合整定：

[0063] 1] 单个主控制器中用于PID调节的参数有比例、积分和微分三种调节参数，单个补偿控制器中用于PID调节的参数有比例、积分和微分三种控制参数，根据电机性能，为各个调节参数和各个控制参数分别设定取值范围，根据取值范围的上限确定各个调节参数和各

个控制参数所对应的二进制码的长度,单个调节参数或单个控制参数所对应的二进制码记为一个基因,则单个主控制器和单个补偿控制器共对应六个基因;编号相同的一个主控制器和一个补偿控制器形成一个单元,则多个主控制器和多个补偿控制器形成多个单元;单个单元所对应的六个基因排列在一起形成一个基因段,多个单元对应的多个基因段排列在一起形成一个染色体;染色体中的每个基因被赋上初值后,该染色体即形成一个调节个体,在各参数取值范围内采用随机赋值方式,获得多个调节个体,多个调节个体即形成一初始种群,计算出初始种群中各个调节个体的适应度 f ;

[0064] 2]通过仿真试验,模拟多电机系统在给定速度发生变化时的动态调节过程,试验过程中,采用遗传算法对初始种群进行迭代处理,找到适应度 f 最大的调节个体,适应度 f 最大的调节个体记为最优个体;

[0065] 3]对最优个体进行解码处理,将最优个体中的各个基因还原为相应的调节参数和控制参数,然后将调节参数和控制参数存储至对应的主控制器和补偿控制器中,整定过程完成;

[0066] 所述适应度 f 的表达式为:

$$[0067] \quad f = \alpha f_1 + (1 - \alpha) f_2$$

[0068] 其中, f_1 为表征多电机系统动态性能的适应度函数, f_2 为表征多电机系统同步性能的适应度函数, α 为权重系数, α 的取值范围为(0,1]; α 的取值越趋近于0,则多电机系统的性能更偏重于多台电机之间的同步性, α 的取值越趋近于1或等于1,则多电机系统的性能更偏重于电机的动态性;

[0069] f_1 的表达式为:

$$[0070] \quad f_1 = 1 / J_{ITAE1}$$

[0071] 其中, J_{ITAE1} 为对应动态性能的ITAE性能指标;

[0072] J_{ITAE1} 的表达式为:

$$[0073] \quad J_{ITAE1} = \int_0^T t \cdot e(t) dt$$

[0074] 其中, t 为时间, T 为仿真试验过程中动态调节过程的时间长度; $e(t)$ 为各台电机的误差绝对值之和;

[0075] $e(t)$ 的表达式为:

$$[0076] \quad e(t) = \sum_{k=1}^n |e_k(t)|$$

[0077] 其中, $e_k(t)$ 为 k 号电机给定速度与之输出速度之间的误差;

[0078] $e_k(t)$ 的表达式为:

$$[0079] \quad e_k(t) = \omega^*(t) - \omega_k(t)$$

[0080] 其中, $\omega^*(t)$ 为给定速度, $\omega_k(t)$ 为 k 号电机的输出速度;

[0081] f_2 的表达式为:

$$[0082] \quad f_2 = 1 / J_{ITAE2}$$

[0083] 其中, J_{ITAE2} 为对应同步性能的ITAE性能指标;

[0084] J_{ITAE2} 的表达式为:

$$[0085] \quad J_{ITAE2} = \int_0^T t \cdot \varepsilon(t) dt$$

[0086] 其中, t 为时间, T 为仿真试验过程中动态调节过程的时间长度; $\varepsilon(t)$ 为序号相邻电机之间的误差绝对值之和;

[0087] $\varepsilon(t)$ 的表达式为:

[0088]
$$\varepsilon(t) = \sum_{k=1}^n |\varepsilon_k(t)|$$

[0089] 其中, $\varepsilon_k(t)$ 为前一台电机与后一台电机的输出速度之间的误差;

[0090] 当 $k \neq n$ 时, $\varepsilon_k(t) = \omega_k(t) - \omega_{k+1}(t)$, 当 $k = n$ 时, $\varepsilon_n(t) = \omega_n(t) - \omega_1(t)$; $\omega_k(t)$ 为 k 号电机的输出速度, $\omega_{k+1}(t)$ 为 $k+1$ 号电机的输出速度, $\omega_n(t)$ 为 n 号电机的输出速度, $\omega_1(t)$ 为 1 号电机的输出速度。

[0091] 图1是以4台电机为例的本发明的系统原理图;

[0092] 以YS系列的4台三相交流异步电机搭建多电机系统, 各台电机的额定功率 P_{e1} 、 P_{e2} 、 P_{e3} 和 P_{e4} 分别为: $P_{e1} = P_{e3} = 2.2\text{kW}$, $P_{e2} = P_{e4} = 2.0\text{kW}$; 各台电机的定子电阻 R_{s1} 、 R_{s2} 、 R_{s3} 和 R_{s4} 分别为:

[0093] $R_{s1} = 0.47 \Omega$, $R_{s2} = 0.49 \Omega$, $R_{s3} = 0.53 \Omega$, $R_{s4} = 0.51 \Omega$; 各台电机的极对数均为2; 各台电机的转动惯量 J_1 、 J_2 、 J_3 和 J_4 分别为: $J_1 = J_3 = 7.2 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$, $J_2 = J_4 = 6.8 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$; 在权重系数 α 分别取0.4和0.85的条件下, 分别对多电机系统中的多个主控制器和多个补偿控制器进行联合整定, 然后将整定好的主控制器和补偿控制器分别投入运行并进行仿真试验: 在多电机系统启动后, 将给定转速设定为 $\omega^*(t) = 1000 \text{rpm}$, 在多电机系统运行的过程中, 对动态性能指标和同步性能指标进行连续监测, 监测到的动态性能指标和同步性能指标如下表所示:

[0094]

权重	$\alpha = 0.4$				$\alpha = 0.85$				
动态性能指标	电机序号	1	2	3	4	1	2	3	4
	调节时间 (s)	0.0293	0.0293	0.0287	0.0289	0.0158	0.0155	0.0137	0.0139
	ITAE 指标	0.1805	0.1803	0.1793	0.1797	0.0873	0.0868	0.0850	0.0861
同步性能指标	误差序号	$\varepsilon_1(t)$	$\varepsilon_2(t)$	$\varepsilon_3(t)$	$\varepsilon_4(t)$	$\varepsilon'_1(t)$	$\varepsilon'_2(t)$	$\varepsilon'_3(t)$	$\varepsilon'_4(t)$
	不同步最大误差 (%)	0.463	0.451	0.502	0.472	3.587	3.566	3.776	3.692

[0095] 从表中可见, 相比于 α 取0.4的情况, α 取0.85时, 系统的控制参数更加倾向于系统的动态性能。

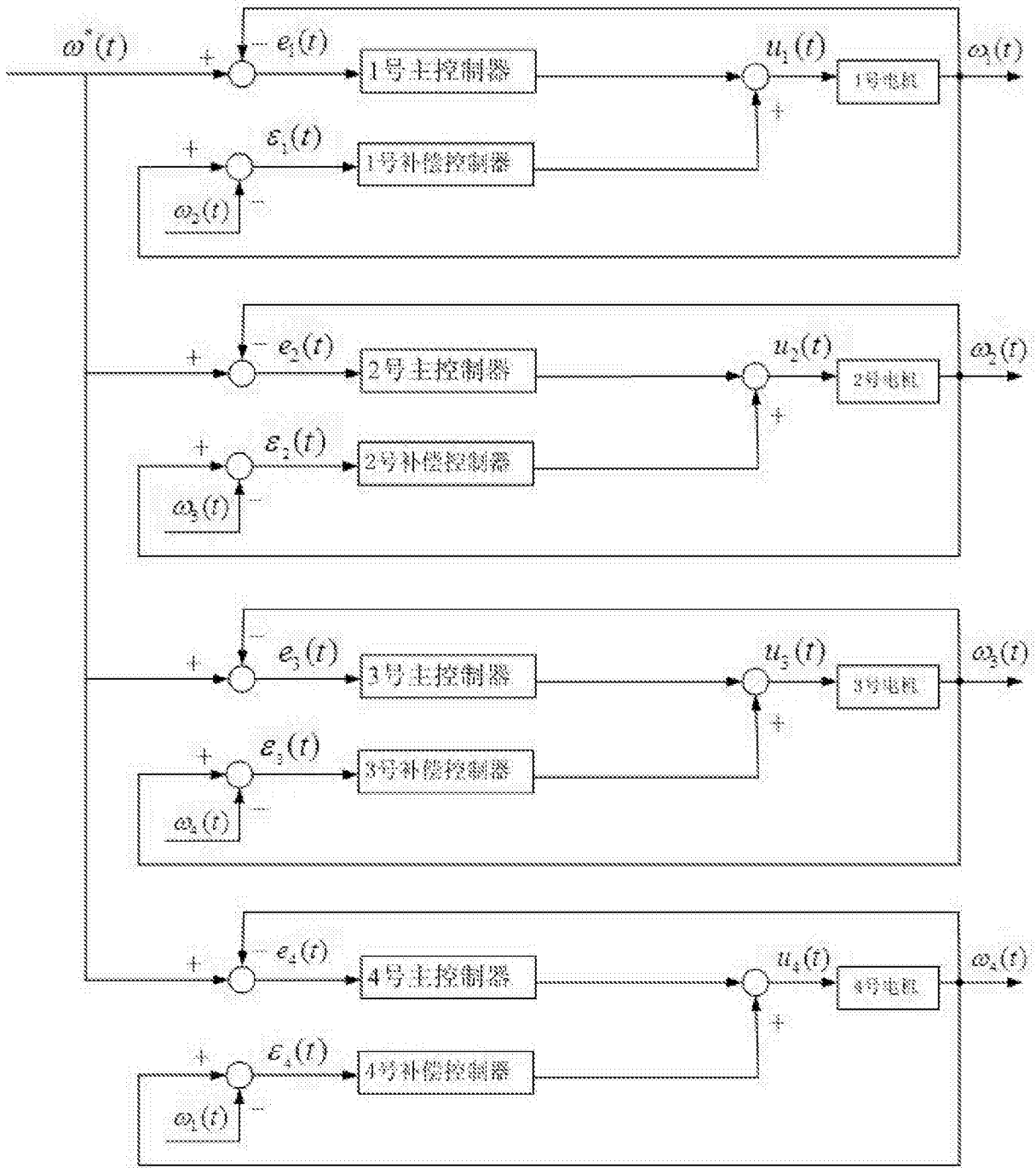


图1