



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102854795 B

(45) 授权公告日 2015.01.28

(21) 申请号 201210318079.3

审查员 盛琳

(22) 申请日 2012.08.31

(73) 专利权人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381 号

(72) 发明人 田新良 杨苹 张金国

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

代理人 何淑珍

(51) Int. Cl.

G05B 13/00 (2006.01)

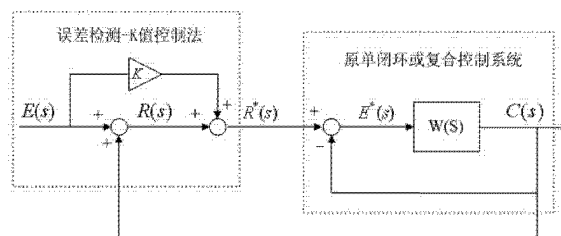
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

消除测量误差和稳态误差的误差检测-K值控制法

(57) 摘要

本发明公开了消除测量误差和稳态误差的误差检测-K值控制法,属于自动控制领域。其具体方法为:在原控制系统基础上,增加了消除测量误差和稳态误差的误差检测-K值控制法,从而构成新控制系统,新控制系统将直接检测系统的输出值 $C(s)$ 和误差信号 $E(s)$,而不检测输出期望值 $R(s)$,而是由 $R(s) = E(s) + C(s)$ 得到输出期望值 $R(s)$,再将原控制系统的输出期望值 $R(s)$ 变为期望值 $R(s)$ 加上 K 倍误差信号 $E(s)$ 作为原有控制系统新的输出期望值 $R^*(s)$ 。该方法通过控制的方式彻底消除控制系统的测量误差。同时,该方法通过 K 值可对多控制对象中的每一个控制对象的开环增益进行单独调节,从而便于实现每个控制对象开环增益的最优化,减少了控制系统的调试难度,使系统的稳态误差降到最低



1. 一种消除测量误差和稳态误差的误差检测-K值控制法,其特征在于:在原控制系统基础上,增加了消除测量误差和稳态误差的误差检测-K值控制环节,从而构成新闭环控制系统,新闭环控制系统将直接检测原控制系统的输出值 $C(s)$ 和误差信号 $E(s)$,不检测输出期望值 $R(s)$,而是由 $R(s) = E(s) + C(s)$ 得到输出期望值 $R(s)$,再将原控制系统的输出期望值 $R(s)$ 变为期望值 $R(s)$ 加上 K 倍误差信号 $E(s)$ 作为原控制系统新的输出期望值 $R^*(s)$;

所述原控制系统为单闭环或者任意复合控制系统;

所述 K 值的取值是依据新闭环控制系统的输出值来确定,K 值取值方法:先通过等步长爬山法取 K 值,比较不同 K 值下新闭环控制系统的输出值,从而逼近 K 值的最优值区域,然后再通过变步长爬山法,比较不同 K 值下新闭环控制系统的输出值,来精确 K 值的最优解。

消除测量误差和稳态误差的误差检测 -K 值控制法

技术领域

[0001] 本发明涉及自动控制技术领域，具体涉及一种消除测量误差和稳态误差的误差检测 -K 值控制法。

背景技术

[0002] 在自动控制领域，系统的输出量 $C(s)$ 、误差信号 $E(s)$ 都是通过测量得到的，很多时候输出期望值 $R(s)$ 也是通过测量得到的。然而由于周围环境不理想、测量方法不完善、电子元器件不精密等因素的限制，任何测量都不会绝对精确。无论用什么测量方法，测得的结果与被测量实际数值总会存在一定差别，这种差别称为测量误差。实际应用中，测量误差无所不在，大大影响了控制系统的控制精度。传统的控制系统里，工程技术人员只能通过选用昂贵的精密电子元器件检测物理量，来减少测量误差。为此付出了高昂的成本，而效果并不理想。如果能够通过控制的方式消除测量误差，将大大提高控制系统精度，减少测量成本，推动整个自动控制领域的发展。

[0003] 为了减小系统的给定或扰动稳态误差，一般采用提高开环传递函数中串联积分环节的阶次 N ，或增大系统的开环放大系数 K_k 的方法。增大开环增益理论上很容易实现，但现代控制系统大部分很复杂，为多闭环的复合控制系统，系统控制调节的物理对象有多个，如何将多个控制对象的开环增益调试到最佳，既能减小稳态误差，又能保证系统的稳定性，这在传统的控制方法里是一个非常大的难题。如果能够对每一个控制对象的开环增益进行单独调试，那么很简单就能将每个控制对象的开环增益调试到最优。但在复合控制系统里，由于多控制变量的存在，最终输出的总误差信号 $E(s)$ 里通常含有多个误差分量，想要对这多个误差分量进行单独调节必须先要利用复杂的数学变换将每一个误差分量分离出来，再进行调节，这样不仅使整个控制算法变得复杂，而且带来了计算误差。如果能够在输出总误差信号 $E(s)$ 之前就能够测量到每一个误差分量并单独进行调节，那么以上问题就能迎刃而解。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供消除测量误差和稳态误差的误差检测 -K 值控制法，使系统通过控制的方式就能彻底消除测量误差。同时，该方法通过 K 值可对多控制对象中的每一个控制对象的开环增益进行单独调节，从而便于实现每个控制对象开环增益的最优化，减少了控制系统的调试难度，使系统的稳态误差降到最低，具体技术方案如下。

[0005] 一种消除测量误差和稳态误差的误差检测 -K 值控制法，在原控制系统基础上，增加了消除测量误差和稳态误差的误差检测 -K 值控制环节，从而构成新控制系统，新控制系统将直接检测原控制系统的输出值 $C(s)$ 和误差信号 $E(s)$ ，不检测输出期望值 $R(s)$ ，而是由 $R(s) = E(s) + C(s)$ 得到输出期望值 $R(s)$ ，再将原控制系统的输出期望值 $R(s)$ 变为期望值

$R(s)$ 加上 K 倍误差信号 $E(s)$ 作为原控制系统新的输出期望值 $R^*(s)$ 。

[0006] 所述原控制系统为单闭环或者任意复合控制系统。

[0007] 所述 K 值的取值是依据闭环系统的输出值来确定, K 值取值方法: 先通过等步长爬山法取 K 值, 比较不同 K 值下闭环系统的输出值, 从而逼近 K 值的最优值区域, 然后再通过变步长爬山法, 比较不同 K 值下闭环系统的输出值, 来精确 K 值的最优解。

[0008] 与现有技术相比, 本发明的技术效果和优点在于: 误差检测 $-K$ 值控制法通过控制的方式彻底消除了控制系统的测量误差, 工程技术人员不再需要通过选用昂贵精密电子元器件检测物理量的方式, 来减少测量误差, 只需要选用普通的电子元器件来测量物理量即可。这不但大大减少测量成本, 也大大提高控制系统的控制精度。误差检测 $-K$ 值控制法利用 K 值对原控制系统的开环增益进行单独调节, 从而便于实现每个控制对象开环增益的最优化, 减少了控制系统的调试难度, 使系统的稳态误差降到最低。

附图说明

[0009] 图 1 为本发明误差检测 $-K$ 值控制法的原理方框图。

具体实施方式

[0010] 以下结合所有附图和实例对本发明的实施作进一步说明, 但本发明的实施和保护不限于此。

[0011] 消除测量误差和稳态误差的误差检测 $-K$ 值控制法包括以下步骤:

[0012] 1) 检测控制系统的误差信号 $E(s)$;

[0013] 2) 检测控制系统的输出量 $C(s)$;

[0014] 3) 求输出期望值 $R(s)$;

[0015] $R(s) = E(s) + C(s)$;

[0016] 4) 将误差信号 $E(s)$ 乘以 K 倍再加上输出期望值 $R(s)$ 作为新的输出期望值 $R^*(s)$;

[0017] $R^*(s) = R(s) + K \times E(s) = C(s) + (K+1)E(s)$;

[0018] 5) 将新的输出期望值 $R^*(s)$ 和输出量 $C(s)$ 作为原控制系统的输出期望值和输出量, 用原控制算法对系统进行控制。

[0019] 误差检测 $-K$ 值控制法原理框图如图 1 所示, 其消除系统测量误差的原理如下:

[0020] 1. 假设原控制系统稳态误差为 0。

[0021] 对于原控制系统:

[0022] 设 $C(s)$ 为原控制系统的输出检测量;

[0023] 设 $C(st)$ 为原控制系统的输出实际量;

[0024] 设 $R(s)$ 为原控制系统输出期望值的检测量;

[0025] 设 $R(st)$ 为原控制系统输出期望值的实际量;

[0026] 设 e_{cc} 为输出量 $C(s)$ 的相对测量误差;

[0027]
$$e_{cc} = \frac{C(st) - C(s)}{C(st)} \quad (1)$$

[0028] 设 e_{cc} 为输出期望值 $R(s)$ 的相对测量误差；

[0029]
$$e_{cc} = \frac{R(st) - R(s)}{R(st)} \quad (2)$$

[0030] 根据实际应用控制系统的测量误差大小, 设 $|e_{cc}| \leq 0.1$, $|e_{cc}| \leq 0.1$ ；

[0031] 设 e_{ss1} 为原控制系统的相对系统误差；

[0032]
$$e_{ss1} = \frac{R(st) - C(st)}{R(st)} \quad (3)$$

[0033] 因控制系统无稳态误差, 所以系统处于平衡状态时 $E(s) = 0$, 既,

[0034]
$$R(s) = C(s) \quad (4)$$

[0035] 将(1)(2)(4)式代入(3)式得：

[0036]
$$e_{ss1} = \frac{e_{cc} - e_{cc}}{1 - e_{cc}} \quad (5)$$

[0037] 假如相对测量误差 $|e_{cc}| = 0.1$, $|e_{cc}| = 0.1$, 则系统误差的极限值为：

[0038]
$$\lim e_{ss1} = \frac{2}{9} \quad (6)$$

[0039] 由(5)(6)式可以看出, 测量误差极大的影响了原控制系统的控制精度。

[0040] 采用误差检测 -K 值控制法之后：

[0041] 设 $C(s)$ 为原控制系统的输出检测量；

[0042] 设 $C(st)$ 为原控制系统的输出实际量；

[0043] 设 $E(s)$ 为新控制系统误差信号的检测量；

[0044] 设 $E(st)$ 为新控制系统误差信号的实际量；

[0045] 设 e_{cc} 为新控制系统输出量 $C(s)$ 的相对测量误差；

[0046]
$$e_{cc} = \frac{C(st) - C(s)}{C(st)} \quad (7)$$

[0047] 设 e_{ce} 为新控制系统误差信号 $E(s)$ 的相对测量误差；

[0048]
$$e_{ce} = \frac{E(st) - E(s)}{E(st)} \quad (8)$$

[0049] 根据实际应用控制系统的测量误差大小, 设 $|e_{cc}| \leq 0.1$, $|e_{ce}| \leq 0.1$ ；

[0050] 设 e_{ss2} 为新控制系统的相对系统误差；

[0051]
$$e_{ss2} = \frac{E(st)}{R(st)} = \frac{E(st)}{E(st) + C(st)} \quad (9)$$

[0052] 因新控制系统无稳态误差,所以系统处于平衡状态时:

$$[0053] \quad R^*(s) = C(s) \quad (10)$$

[0054] 对于新控制系统:

$$[0055] \quad R^*(s) = R(s) + K \times E(s) = C(s) + (K+1)E(s) \quad (11)$$

[0056] 将(10)式代入(11)式得:

$$[0057] \quad (K+1)E(s) = 0, \text{ 又 } K \text{ 为任意非负数,}$$

$$[0058] \quad \text{所以 } E(s) = 0;$$

[0059] 由(8)式得,

$$[0060] \quad E(st) = \frac{E(s)}{1 - e_{ee}} \quad (12)$$

[0061] 将 $E(s) = 0$ 代入(8)式,又 $|e_{ee}| \leq 0.1$,得:

$$[0062] \quad E(st) = 0 \quad (13)$$

[0063] 将 $E(st) = 0$ 代入(9)式得:

$$[0064] \quad e_{ss2} = 0 \quad (14)$$

[0065] 由(14)式可知,采用误差检测-K值控制法之后,系统误差为0,测量误差已经被彻底消除。

[0066] 2. 假设原控制系统处于平衡状态时,误差信号 $E(s)$ 为定值 K_k :

[0067] 对于原控制系统:

[0068] 因原控制系统处于平衡状态时,误差信号 $E(s)$ 为定值 K_k ,所以,

$$[0069] \quad R(s) = C(s) + K_k \quad (15)$$

[0070] 将(1)(2)(15)式代入(3)式得:

$$[0071] \quad e_{ss1} = \frac{e_{ee} - e_{ee}}{1 - e_{ee}} + \frac{K_k(1 + e_{ee})}{[C(s) + K_k](1 - e_{ee})} \quad (16)$$

[0072] 由(16)式可知,原控制系统的相对系统误差 e_{ss1} 由两部分组成,第一部分系统误差由测量误差产生,其值与稳态误差为零时相等;第二部分系统误差由控制系统的误差信号 $E(s)$ 产生,其值由误差信号 K_k 决定。而第一部分测量误差与系统输出量为同一数量级,对系统误差影响巨大,大大降低了原控制系统的控制精度。

[0073] 采用误差检测-K值控制法之后:

[0074] 因原控制系统处于平衡状态时,误差信号 $E^*(s)$ 为定值 K_k ,所以,

$$[0075] \quad R^*(s) = C(s) + K_k \quad (17)$$

[0076] 对于新控制系统:

$$[0077] \quad R^*(s) = R(s) + K \times E(s) = C(s) + (K+1)E(s) \quad (18)$$

[0078] 将(17)式代入(18)式得:

[0079]
$$E(s) = \frac{K_k}{K+1} \quad (19)$$

[0080] 将 (19) 式代入 (12) 式得：

[0081]
$$E(st) = \frac{K_k}{(K+1)(1-e_{ce})} \quad (20)$$

[0082] 将 (7) (20) 式代入 (9) 式得系统误差：

[0083]
$$e_{ss2} = \frac{K_k(1-e_{ce})}{K_k(1-e_{ce}) + C(s)(K+1)(1-e_{ce})} \quad (21)$$

[0084] 因实际控制系统中, $C(s)$ 会比 $(1-e_{ce})$ 、 $(1-e_{ce})$ 、 K_k 大几个数量级, 可以将 (21) 式简化为：

[0085]
$$e_{ss2} = \frac{K_k}{C(s)(K+1)} \quad (22)$$

[0086] 由 (22) 式可知, 采用误差检测 -K 值控制法之后, 相对系统误差 e_{ss2} 与测量误差无关, 测量误差已经被彻底消除。

[0087] 误差检测 -K 值控制法调节原控制系统开环增益, 减少稳态误差原理如下：

[0088] 根据误差信号的定义, 原有控制系统的误差信号为：

[0089]
$$E^*(s) = R^*(s) - C(s) \quad (23)$$

[0090] 采用 K 值控制法之后, 新控制系统的误差信号为：

[0091]
$$E(s) = R(s) - C(s) \quad (24)$$

[0092] 又

[0093]
$$R^*(s) = C(s) + (K+1)E(s) \quad (25)$$

[0094] 将 (25) 式代入 (23) 式得出：

[0095]
$$E^*(s) = (K+1)E(s) \quad (26)$$

[0096] 由 (26) 式可知, 原控制系统的误差信号 $E^*(s)$ 是误差检测 -K 值控制法误差信号 $E(s)$ 的 K+1 倍, 也就是误差检测 -K 值控制法利用 K 值对原控制系统的开环增益进行单独调节, 从而便于实现每个控制对象开环增益的最优化, 减少了控制系统的调试难度, 使系统的稳态误差降到最低。

[0097] 在复杂的多闭环复合控制系统里, 由于多控制变量的存在, 最终输出的总误差信号 $E(s)$ 里通常含有多个误差分量, 想要对这多个误差分量进行单独调节必须先要利用复杂的数学变换将每一个误差分量分离出来, 再进行调节, 这样不仅使整个控制算法变得复杂, 而且带来了计算误差。在传统的控制方法里, 如何对复杂的多闭环复合控制系统里多个控制对象的开环增益调试到最佳, 既能减小稳态误差, 又能保证系统的稳定性, 是一个非常大的难题。

[0098] 误差检测 -K 值控制法通过检测控制对象的误差信号来实现, 在输出总误差信号 $E(s)$ 之前就能够测量到每一个误差分量并单独进行调节, 因此不再需要用复杂的数学变

换将每一个误差分量分离出来。同时,该方法利用 K 值对控制对象的开环增益进行调节,并可以实现对多控制对象中的每一个控制对象的开环增益进行单独调节,只需很简单的方法就能将每个控制对象的开环增益调试到最优。

[0099] 如图 1 所示为消除测量误差和稳态误差的误差检测 -K 值控制法的原理图。图中, $C(s)$ 为系统的输出值, $R(s)$ 为原控制系统输出期望值 $R(s)$, $R^*(s)$ 为原有控制系统新的输出期望值, K 为开环增益调节系数, $E^*(s)$ 为原控制系统的误差信号, $W(s)$ 为主控制系统的传递函数。其具体方法为:在原控制系统基础上,增加了消除测量误差和稳态误差的误差检测 -K 值控制法,从而构成新控制系统。新控制系统将直接检测系统的输出值 $C(s)$ 和误差信号 $E(s)$, 而不检测输出期望值 $R(s)$, 而是由 $R(s) = E(s) + C(s)$ 得到输出期望值 $R(s)$, 再将原控制系统的输出期望值 $R(s)$ 变为期望值 $R(s)$ 加上 K 倍误差信号 $E(s)$ 作为原有控制系统新的输出期望值 $R^*(s)$ 。将新的输出期望值 $R^*(s)$ 和输出量 $C(s)$ 作为原控制系统的输出期望值和输出量,用原控制算法对系统进行控制。

[0100] 1. 假设 K 值为 1:

[0101] 采用误差检测 -K 值控制法之后,由(14)和(22)式可知,测量误差已经被彻底消除。由(26)式可知,

$$[0102] \quad E^*(s) = 2E(s) \quad (27)$$

[0103] 即原控制系统的误差信号 $E^*(s)$ 是误差检测 -K 值控制法误差信号 $E(s)$ 的 2 倍。

[0104] 2. 假设 K 值为 2:

[0105] 采用误差检测 -K 值控制法之后,由(14)和(22)式可知,测量误差已经被彻底消除。由(26)式可知,

$$[0106] \quad E^*(s) = 3E(s) \quad (28)$$

[0107] 即原控制系统的误差信号 $E^*(s)$ 是误差检测 -K 值控制法误差信号 $E(s)$ 的 3 倍。

[0108] 从以上结论可以看出,误差检测 -K 值控制法通过控制的方式彻底消除了控制系统的测量误差。同时,该方法通过 K 值可对多控制对象中的每一个控制对象的开环增益进行单独调节,从而便于实现每个控制对象开环增益的最优化,减少了控制系统的调试难度,使系统的稳态误差降到最低。该方法简单易行,不影响控制系统的稳定性和动态性能,只改变测量对象和输出期望值,适应于所有能够测量到误差信号的控制领域,特别适应于电力系统无功谐波补偿领域。

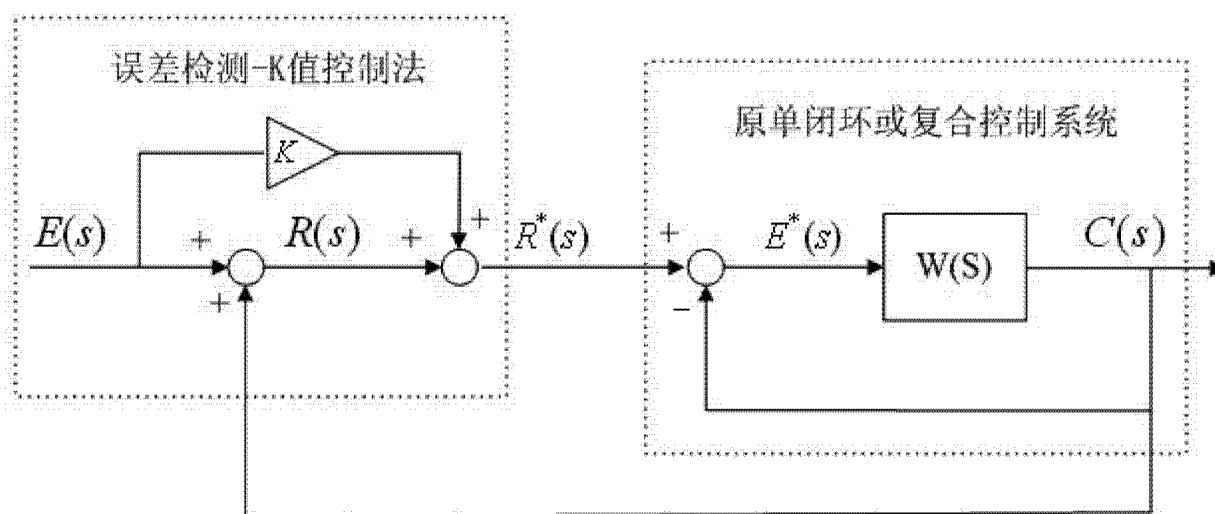


图 1