

то время как условию (14) соответствует область, пересекающая эту траекторию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерный справочник по космической технике / Под ред. А.В. Солодова. - М.: Воениздат МО СССР, 1977. - 430 с.
2. Беллман Р. Введение в теорию матриц. - М.: Наука, 1969. - 366 с.
3. Брутян В.К. Основные аспекты теории непрерывных марковских управляемых систем и ее приложение. - Ереван: Айастан, 1984. - 296 с.
4. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. - М.: Наука, 1988. - 408 с.
5. Брутян В.К. Об одной задаче управления с неполной обратной связью линейными марковскими системами со случайными параметрами // Изв. вузов. Авиационная техника. - 1984. - № 2. - С. 21-26.

ВВМКУ МО РА

6.11.1996

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 3, 1996, с. 156-161.

УДК 621.3.078

АВТОМАТИКА
И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Э.В. БАРСЕГЯН, О.Г. НАЛБАНДЯН

САМОНАСТРАИВАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Ակարագրված են տեխնոլոգիական վառարանների ջերմաստիճանների հարմարվող կարգավորման ծրագրվող ՊԻՂ - կարգավորիչների հայեցակարգը և դրանց գործնական իրացման հարցերը միկրոպրոցեսորների կիրառման դեպքում:

Описаны концепция адаптивного регулирования программируемого ПИД-регулятора температуры технологических печей и практическая реализация регулятора с использованием микропроцессорной техники.

Библиогр.: 2 назв.

A conception of an adaptive regulation for programmable PID-regulator of the temperature in technological furnaces and the practical realization of the regulator using microprocessor technique are described.

Ref. 2.

Целью работы является создание программируемого ПИД-регулятора температуры технологических печей [1].

В основе оптимального закона регулирования лежит передаточная функция объекта, представляющая собой отклик δv регулируемого параметра на регулирующее воздействие δu : $\delta v = F(\delta u)$.

Аналоговая форма алгоритма регулирования имеет вид [2]

$$V(t) = kx(t) + \frac{k}{T_i} \int_0^t x(t) dt + kT_d \frac{dx(t)}{dt}.$$

где $V(t)$ — управляющее воздействие, подаваемое с регулятора на объект управления; $u_r(t)$, $u(t)$ — требуемый и действительный выходные сигналы объекта; T_i , T_d — постоянные времени интегрального и дифференциального регулирования.

При сложном виде передаточных функций F , неаддитивности результатов воздействия различных управляющих параметров, наличии у объекта собственных резонансных частот и зон гистерезиса поиск оптимального закона управления представляет собой сложную математическую проблему. Однако в различных областях науки и техники стоит проблема автоматического регулирования инерционных систем типа печи, передаточная функция которых имеет довольно простой вид

$$\delta v(t) = \int_0^t f(t-\tau) \delta u(\tau) d\tau,$$

где $f(t) = A \exp(-t/\tau_i)$; A — чувствительность регулируемого параметра к изменениям регулирующего параметра; τ_i — характерное время инерционности печи.

Задача управления состоит в следующем. Пусть по какой-либо причине температура в печи T отклонилась или начала отклоняться от программного значения T_p . Соответственно система контроля регистрирует некоторое отклонение $\Delta U(t)$ величины сигнала с термопары $U(t)$ от программного значения $U_p(t)$. При адекватном управлении задача сводится к регистрации величины $\Delta U(t)$ — определению изменения мощности, которое могло бы привести к такому изменению температуры и, наконец, компенсации этого предполагаемого изменения мощности. Для печей закрытого типа передаточная функция "мощность нагревателя — температура" имеет экспоненциальный вид

$$\delta T(t) = A \int_0^t \exp(-\tau_i/\tau) \delta W(\tau) d\tau,$$

где $A = dT/dW$ — чувствительность стационарного значения температуры к изменениям мощности нагревателя; τ_i — характерное время инерционности печи. При ступенчатом изменении мощности нагревателя ΔW изменение температуры в печи происходит по следующему закону:

$$\delta T(t) = A \Delta W [1 - \exp(-t/\tau_i)],$$

то есть эффективное изменение температуры происходит через характерное время инерционности печи τ_i , в то время как изменение производной температуры по времени происходит практически безынерционно:

$$\delta T'(t) = \frac{A \Delta W}{\tau_i} [\exp(-t/\tau_i)].$$

Рассмотрим автоматическое регулирование печи. Технологический процесс в который предусматривает программный подъем температуры от некоторой

начальной температуры T_1 до температуры T_2 в рабочем диапазоне и прецизионное управление температурой по заданной программе в рабочем диапазоне. Температура в рабочей зоне печи контролируется термопарой, характеристическая кривая которой табулируется во всем диапазоне температур и заносится в систему обработки данных. Соответственно программа изменения температуры пересчитывается с помощью характеристической кривой термопары и задается в виде функции $U_p(t)$, с которой сравнивается разность потенциалов $U(t)$ на концах термопары. Для формирования управляющего воздействия определяется разностный сигнал:

$$V(t) = U(t) - U_p(t).$$

В разработанной системе мощность нагревателя регулируется углом отсечки φ , представляющем собой долю полупериода переменного тока, при котором питающее напряжение поступает на нагреватель. Мощность нагревателя оказывается пропорциональной некой линеаризованной фазе ψ :

$$\psi = 2\varphi - \sin(2\varphi), \text{ причем } d\psi = 4\sin^2\varphi d\varphi.$$

При малых изменениях мощности нагревателя передаточная функция управления имеет вид

$$\delta V(t) = B \int_0^t \exp(-t/\tau_i) \delta\psi(\tau) d\tau = 4B\sin^2\varphi \int_0^t \exp(-t/\tau_i) \delta\varphi(\tau) d\tau,$$

где $B = dV/d\psi$ — чувствительность стационарного значения разностного сигнала к изменениям линеаризованной фазы. При ступенчатом изменении фазы $\Delta\varphi$ изменение разностного сигнала происходит по следующему закону:

$$\delta V(t) = B\Delta\psi[1 - \exp(-t/\tau_i)] = 4B\sin^2\varphi\Delta\varphi[1 - \exp(-t/\tau_i)],$$

то есть эффективное изменение разностного сигнала происходит через характерное время инерционности печи τ_i , в то время как изменение производной разностного сигнала по времени происходит практически безинерционно:

$$\delta V'(t) = \frac{B\Delta\psi}{\tau_i} \exp(-t/\tau_i) = \frac{B\Delta\varphi \sin^2\varphi}{\tau_i} \exp(-t/\tau_i). \quad (1)$$

При адекватном пропорциональном управлении результирующее изменение фазы пропорционально зарегистрированному значению разностного сигнала V :

$$\Delta\varphi = V/4B\sin^2\varphi.$$

Пропорциональное управление реализуется в нашей системе в режиме непрерывного слежения:

$$\Delta\varphi' = V'/4B\sin^2\varphi.$$

Пропорциональное управление инерционно, его воздействие сказывается на разностном сигнале лишь через время инерционности системы, поэтому оно может эффективно устранять лишь флуктуации, период которых превышает величину τ_i . Для устранения более быстрых флуктуаций берется дифференциальная составляющая уравнения (1):

$$\Delta\varphi = V\tau_i/4B\sin^2\varphi; \quad \Delta\varphi' = V'\tau_i/4B\sin^2\varphi.$$

В режиме непрерывного слежения в законы пропорционального и дифференциального управления явным образом не входит абсолютное значение разностного сигнала, поэтому с течением времени эффекты систематически накапливающейся ошибки могут привести к значительным отклонениям температуры от программного значения. С целью устранения медленных смещений и систематически накапливающихся ошибок определяется интегральная составляющая уравнения:

$$\Delta\varphi = \int_0^t V(\tau) d\tau / 4B\tau_i \sin^2 \varphi, \text{ которое в режиме непрерывного слежения}$$

имеет вид $\Delta\varphi' = V / 4B\tau_i \sin^2 \varphi$.

Таким образом, закон адекватного управления имеет вид

$$\Delta\varphi' = \frac{V'}{4B\sin^2 \varphi} + \frac{V''\tau_i}{4B\sin^2 \varphi} + \frac{V}{4B\tau_i \sin^2 \varphi},$$

$$\Delta\varphi' = \frac{1}{4B\sin^2 \varphi} \left[V''\tau_i + V' + \frac{V}{\tau_i} \right] \quad (2)$$

Коэффициенты оптимального управления определяются значениями параметров B и τ_i . Время инерционности печи τ_i определяется параметрами печи. Поэтому величина τ_i подлежит определению для каждого процесса. Величина B зависит не только от геометрии и степени загрузки печи, но и от температуры в ней, и с приближением к максимально достижимой для данного нагревателя температуре стремится к нулю. Следовательно, величина B подлежит не только определению перед каждым технологическим процессом, но и непрерывному уточнению в течение процесса $B = B(t)$. Нами применена система дискретной обработки информации. Разностный сигнал строится со временем опроса τ_n , и с момента включения системы каждому значению сигнала присваивается порядковый номер n , то есть V_n представляет собой значение разностного сигнала $V(t)$ в момент времени $t = n\tau_n$. С целью сглаживания случайных шумов дискретные значения разностного сигнала V_n подвергаются скользящему усреднению по N предыдущим значениям $\bar{V}_n = (V_n + V_{n-1} + V_{n-2} + \dots + V_{n-N} + 1) / N$, причем время усреднения $N\tau_n$ должно быть много меньше времени инерционности печи и периода флуктуаций, которые призвана устранять система регулирования. При дискретной системе опроса первая $\bar{V}'$ и вторая $\bar{V}''$ производные разностного сигнала определяются следующим образом:

$$\bar{V}'_n = \bar{V}_n - \bar{V}_{n-1} = V_n - V_{n-N} / N; \quad \bar{V}''_n = \bar{V}'_n - \bar{V}'_{n-1}.$$

При дискретном анализе закон оптимального управления имеет вид

$$\Delta\varphi' = \frac{1}{4B_n \sin^2 \varphi} \left[V''n + V'n + \frac{V_n}{n_i} \right],$$

где $n_i = \tau_i / \tau_n$ — выраженное в единицах времени опроса время инерционности печи; B_n — текущее значение чувствительности разностного сигнала к изменениям линеаризованной фазы.

Выбор параметров оптимального управления и самоуправление осуществляются следующим образом. В начальный момент времени устанавливается минимальное значение линеаризованной фазы, которое с каждым опросом, то есть через время T_0 , увеличивается на постоянную величину h : $\Psi_k = \Psi_{k-1} + h$. При достижении некоторой контрольной температуры T_k , значение которой меньше начальной температуры процесса T_1 , производится процедура определения параметров B и τ_1 . В момент времени $n = k$, $t = kT_0$ определяется значение разностного сигнала V_k и его производной V'_k . К значению линеаризованной фазы производится некоторая добавка H : $\Psi_{k+1} = \Psi_k + H$. После этого величина Ψ остается неизменной. Величина H не принципиальна, однако она должна быть достаточно велика, чтобы с учетом существующего разрешения системы можно было проанализировать отклик разностного сигнала на это ступенчатое изменение линеаризованной фазы. Через N опросов, то есть через время NT_0 , достаточное для устранения переходного участка, вновь определяется значение производной разностного сигнала V'_{k+N} . Величина $H/(V'_{k+N} - V'_k)$ представляет собой коэффициент дифференциальной части закона:

$$(V'_{k+N} - V'_k)/H = dV'/d\Psi = B_k/n_1. \quad (3)$$

Поскольку после момента времени $n = k$ не происходит изменений мощности, то значение производной разностного сигнала с характерным временем τ_1 стремится к нулю, а значение разностного сигнала стремится к некоторому стационарному значению V_{st} . Фиксируя по спаду производной достижение стационарного состояния, определяется следующий параметр системы:

$$(V_{st} - V_k)/V'_{k+N} = n_1. \quad (4)$$

Таким образом, из (3) и (4) определяем характерные параметры системы. После этого вновь осуществляется линейное повышение мощности нагревателя, вплоть до достижения начальной температуры процесса T_1 . Заметим, что до достижения этого момента программное значение U_p принималось равным нулю. При достижении температуры T_1 принимается реальное значение $U_p(t)$ и осуществляется регулирование по закону (2). Поскольку в течение процесса может измениться чувствительность температуры к изменениям мощности нагревателя, то периодически (через фиксированное число опросов M) уточняется значение параметра B :

$$B_n = (B_{n-M}\Psi_{n-M} + V_n - V_{n-M})/\Psi_n.$$

Таким образом, разработанная система позволяет перед началом каждого технологического процесса определять оптимальные параметры управления и уточнять их в течение процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Opie R. The prod. and cons of self tuning controllers. // Contr. and Instrum. - 1987. -19, N 7. -Р.49-51.
2. Алексеев А.Г., Галицын А.А., Иванников А.Д. Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на микропроцессорах. - М.: Радио и связь, 1984 - 321 с

ИФИ НАН РА

31.02.1994

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 3, 1996, с. 161-164

УДК 629.7.054.5

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Р.О. ВЕКИЛЯН, А.Р. МАТАСЯН, Р.М. ХАЧАТРИАН

ТОЧНОСТНОЙ КРИТЕРИЙ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АСТРОДАТЧИКА С МАТРИЧНЫМ ФОТОПРИЕМНИКОМ

Ղիտարկվում է արտամթնոլորտային աստղաղիտարանների ղիտակների ուղղման, կայունացման և երկնային ոլորտի ուսումնասիրվող շրջանների նույնականացման համար օգտագործվող մատրիցային լուսաընդունիչների հիման վրա գործող աստղային տվիչների և աստղակոորդինատորների օպտիկական համակարգերի լավարկված պարամետրերի ընտրության հարցը: Բացահայտված է ընտրված միջարկման ալգորիթմի ճշգրտության հնարավորությունների, միաժամանակ սեռականվող աստղերի քանակի, տեսադաշտի և աստղային տվիչի օբյեկտիվի արդյունավետ տրամագծի միջև եղած կապը մատրիցային լուսաընդունիչի երկրաչափական և էներգետիկական պարամետրերի հետ համատեղ: Բերված է այդ առնչության կորը:

Рассматривается вопрос выбора оптимальных параметров оптических систем астродатчиков и астрокоординаторов на базе матричных фотоприемников, используемых для наведения и стабилизации телескопов внеатмосферных обсерваторий и идентификации изучаемых областей небесной сферы. Выявлена взаимосвязь между точностными возможностями выбранного алгоритма интерполяции, числом одновременно фиксируемых звезд, фокусным расстоянием, полем зрения и эффективным диаметром объектива астродатчика в сочетании с геометрическими и энергетическими параметрами матричного фотоприемника. Приведена кривая этой зависимости.

Ил 1. Библиогр.: 6 назв.

A problem of optimal parameter selection for optical system of star sensors and astrocoordinates is viewed on the basis of matrix photo receivers used for guidance and stabilization of celestial sphere region studied. The interconnection between fidelity possibilities of the interpolation algorithm selected, the number of simultaneously fixed stars, focus distance, field of vision and effective diameter of the star sensor in combination with geometric and energetic parameters of the matrix photo receiver is revealed. The curve of this dependence is given.

Ил 1 Ref. 6

Оптико-электронные устройства (ОЭУ) - астродатчики и астрокоординаторы с матричными фотоприемниками типа