СИНТЕЗ ИНВАРИАНТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫМИ НЕМИНИМАЛЬНО-ФАЗОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ ВОЗМУЩЕНИЙ

А. Н. Гвоздинский

Харьков

В работе решается задача синтеза систем управления объектами, обладающими следующими особенностями: стохастическим характером действующих на объект возмущений, инерционностью (постоянные времени — час и более), неминимально-фазовой природой (наличием нулей в правой полуплоскости корней), измерением регулируемых параметров со значительным запаздыванием. Объекты, обладающие совокупностью этих свойств, встречаются во многих отраслях промышленности, например, добычные участки шахт как объекты проветривания, печи кальцинации, выпарные станции в гидрометаллургии (производстве глинозема, коксохимическом производстве), в производстве абразивных изделий и т. д. Каждое из перечисленных свойств связано с определенными трудностями и требует особого подхода при постановке задач синтеза и при физической реализации систем автоматического управления рассматриваемым классом объектов. Если неизвестны и не могут быть измерены вероятностные характеристики входных воздействий, то синтез системы управления объектом весьма трудоемок. Большая длительность переходных процессов в объектах требует построения алгоритмов управления, оптимальных по длительности при соблюдении необходимого качества.

Трудности при автоматизации неминимально-фазовых объектов вызваны тем, что их начальная реакция на входное ступенчатое воздействие направлена в сторону, противоположную новому установившемуся значению. Синтез оптимального управления подобными объектами показывает, что «всплеск» регулируемого параметра в сторону рассогласования в начальный период действия управляющего воздействия может быть значительно уменьшен, если объектом управлять по оптимальным алгоритмам. Однако и такой способ не избавляет нас от ошибки управления.

Как известно, значительные преимущества в смысле минимизации ошибки (интегральной или среднеквадратичной) имеют инвариантные

системы управления, построенные по принципу оптимальной коррекции возмущений. Однако в случае инерционных объектов для полной или частичной компенсации возмущений требуется выбирать компенсирующие цепи (чаще всего дифференцирующие звенья) со значительными постоянными времени, физическая реализация которых представляет собой сложную техническую задачу.

Если случайные возмущения измеряемы и известны их вероятностные характеристики, то, используя теорию статистического прогнозирования, можно определять их будущие значения и строить систему управления с так называемой «опережающей» компенсацией возмущений. Однако и в этом случае желаемого эффекта мы не получим, если добавочное компенсирующее воздействие будем вводить в систему, не используя оптимального алгоритма управления вследствие неминимально-фазовой природы объекта.

Из сказанного ясно, что система должна быть не только оптимальной при переводе объекта из одного невозмущенного состояния в другое, но и инвариантной по отношению к возмущающим воздействиям.

Если известен алгоритм оптимального управления невозмущенным объектом (например, по минимуму интегрального критерия качества переходного процесса), то для обеспечения инвариантности системы по отношению к внешним возмущениям X_F необходимо сформировать такое дополнительное управляющее воздействие $\Delta U(X, X_F)$, которое наилучшим образом обеспечивало бы перевод системы из возмущенного состояния на оптимальную траекторию невозмущенного движения.

Если учитывать четвертое из перечисленных свойств объекта — невозможность непосредственного и мгновенного измерения регулируемых параметров, то к синтезу системы управления нужен особенно тщательный и специфический подход. Следует отметить, что синтез систем управления объектами, обладающими лишь одним четвертым свойством, является сложной самостоятельной математической и технической задачей и поэтому рассматриваться не будет.

Задачу несколько упростим. Рассмотрим объект, обладающий лишь первыми тремя свойствами. Перейдем к математической формулировке и решению поставленной выше задачи.

Пусть оптимальное в некотором смысле движение системы при возмущении $X_F=0$ описывается системой следующих динамических уравнений

$$\dot{X}_i + f_i(X_1, X_2, \ldots, X_n) = U_{i0}(X_1, X_2, \ldots, X_n), \qquad (1)$$

где f_i — характеристики исследуемого объекта;

U_{i0} — оптимальные управления невозмущенной системой.

При $X_F \neq 0$ уравнения движения разомкнутой части системы запишутся в виде

$$\dot{\bar{X}}_i + f_i(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \ldots, \bar{X}_n) = \bar{U}_i(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \ldots, \bar{X}_n) + F_i(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \ldots, \bar{X}_n), \qquad (2)$$

где $\bar{X}_i$ — текущие координаты возмущенного движения системы.

Пусть $y_i(t) = \bar{X}_i(t) - X_i(t)$ — отклонения текущих координат объекта от невозмущенного оптимального движения системы, вызванное действием X_{F_i}. При нулевом уровне математического ожидания выходных координат $y_i(t)$ представляют собой изменение математического ожидания выходной координаты, вызванное действием внешних возмущений X_F. При известной реакции объекта на действие возмущений и известной предыстории измеряемых случайных величин X_F значения

$y_i(t)$ могут быть определены методами теории прогнозирования [1]. Тогда будущие значения обобщенной координаты возмущенной системы можно выразить следующей зависимостью:

$$M\{y_1, y_2, \ldots, y_k\} = Q[M\{X_F(t)\}], \tag{3}$$

где M — символ математического ожидания;

Q — функция.

Уравнения в отклонениях системы от невозмущенного состояния могут быть представлены как

$$\dot{y}_i + \varphi_i(y_1, y_2, \ldots, y_n) = U_i(y_1, y_2, \ldots, y_n), \tag{4}$$

где $U_i = \bar{U}_i - U_{i0}$ — алгоритм вывода системы на оптимальную траекторию невозмущенного движения. Иными словами, U_i представляет собой тот искомый «добавок» к основному управляющему сигналу U_{i0}, под действием которого объект должен переместиться на оптимальную траекторию невозмущенного движения. Таким образом, цель поставленной задачи сводится к нахождению уравнения регулятора

$$\psi[U_i(t), y_1(t), y_2(t), \ldots, y_i(t), \ldots, y_n(t)] = 0, \tag{5}$$

который обеспечивает перевод системы из любой точки открытой области N

$$y_1(0) = y_{10}, \quad y_2(0) = y_{20}, \ldots, \quad y_n(0) = y_{n0} \tag{6}$$

в начало координат, т. е.

$$y_1(t) = 0, \quad y_2(t) = 0, \ldots, \quad y_n(t) = 0. \tag{7}$$

Требуется при этом, чтобы переход системы из точки с координатами y_{i0} в точку $y_i(t) = 0$ осуществлялся с минимальным значением некоторого функционала

$$I = I[M\{y_1(t), y_2(t), \ldots, y_n(t), u(t)\}], \tag{8}$$

который является показателем качества оптимальной системы управления в переходном режиме.

Если на управляющее воздействие наложено ограничение вида

$$-\bar{U}_1 \leqslant u(t) \leqslant \bar{U}_2, \tag{9}$$

то мы должны искать решение оптимальной системы, определенной в замкнутой области [2].

Таким образом, задача компенсации случайных возмущений в системе сведена к задаче аналитического конструирования оптимальных регуляторов, обеспечивающих в системе условия инвариантности. Следует оговориться, что при наложении ограничений на управляющие воздействия инвариантность будет не абсолютной.

Задача аналитического конструирования обычно формулируется как вариационная. Особенность этой задачи состоит в том, что экстремали минимизируемого функционала вида (8) могут проходить по границам замкнутой области $\bar{N}$, определяемой неравенством (9). Вариационные задачи такого типа называются неклассическими и решаются методами динамического программирования или принципа максимума Понтрягина. Однако для решения этих задач можно применять также обычные методы вариационного исчисления, если замкнутую область $\bar{N}$ преобразовать в открытую [2]. Этот переход осуществляется с помощью нелинейного преобразования вида

$$U = \eta(v), \tag{10}$$

Здесь $\eta(v)$ — произвольная непрерывная функция, производная которой непрерывна при $(v)<v^*$, где v^* — заданное положительное число.

С учетом (10) уравнения возмущенного движения примут вид

$$y_i + \eta_i(y_1, y_2, \ldots, y_n) = \eta_i(v). \tag{11}$$

В этом случае минимизируемый функционал запишется

$$I(v) = I[M\{y_1(t), y_2(t), \ldots, y_n(t), \eta(v)\}]. \tag{12}$$

Для оценки качества обычно используются суммарные квадратичные оценки, записанные относительно всех обобщенных координат системы и управляющей функции. При этом функционал (12) преобразуется к виду

$$I(v) = \int_0^t M\left\{\sum_{i=0}^{n} \alpha_i y_i^2(t) + \beta\eta^2(v)\right\} dt, \tag{13}$$

где α_i, β — некоторые весовые константы.

Обычно при решении задачи минимизации функционала (13) уравнение регулятора ищут в виде

$$u(t) = \sum_{i=1}^{n} k_i y_i(t) \tag{14}$$

для $|u(t)| \leqslant \bar{U}$ $(\bar{U} < 0)$.

С учетом движения системы по границе закрытой области искомое уравнение регулятора имеет следующее выражение:

$$u(t) = \left\{\begin{array}{l} +\bar{U} \text{ при } |u(t)| < \bar{U} \\ \sum\limits_{i=1}^{n} k_i \alpha_i \text{ при } |u(t)| \leqslant \bar{U} \\ -\bar{U} \text{ при } |u(t)| > -\bar{U} \end{array}\right\}. \tag{15}$$

Следовательно, наличие ограничителя на управляющую функцию приводит к получению нелинейного регулятора. Движение системы в этом случае состоит из движения по границе области $\bar{N}$ и движения по внутренним точкам этой области.

Описанная методика компенсации возмущений в системах управления рассматриваемым классом объектов пригодна как для детерминированных систем, так и для объектов, подверженных действию случайных возмущений. Обязательным условием при этом является возможность непосредственного или косвенного измерения действующих на систему возмущений.

При использовании метода синтеза компенсирующего оптимального управления пригоден как непрерывный, так и дискретный съем информации о величине измеряемых координат системы. Это объясняется тем, что в настоящее время достаточно хорошо разработаны методы синтеза оптимального управления системами с непрерывными [2] и с цифровыми регуляторами [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Гихман, А. В. Скороход. Введение в теорию случайных процессов. Физматгиз, 1965.

2. А. М. Летов. Аналитическое конструирование регуляторов. «Автоматика и телемеханика», т. XXI, № 5, 1960.
3. П. Д. Крутько. Вариационные методы синтеза систем с цифровыми регуляторами. Изд-во «Сов. радио», 1967.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПРИБОРОВ В УСТРОЙСТВАХ АСУ (I часть)

А. И. Бых, И. Ф. Огороднейчук, Ю. К. Худенский

Харьков

К приборам и устройствам, выполняющим задачи, связанные с восприятием, переработкой, передачей, хранением и воспроизведением информации, предъявляются самые разнообразные требования, выполнить которые можно не только совершенствуя уже существующие технические средства автоматики, вычислительной техники и электроники, но и разрабатывая новые средства на основе использования последних достижений различных областей науки (химотроника, оптоэлектроника и др.) [1, 2].

В работах [3, 4, 5] рассмотрена возможность использования для построения различных устройств индикации электрофлорных материалов, представляющих собой жидкие вещества, дающие яркое свечение или изменяющие цвет при пропускании малых токов и при воздействии ультрафиолетового излучения.

В последнее время появилось большое количество работ по исследованию механизмов свечения новых типов электрофлорных композиций, существенно отличающихся от материалов, описанных в [3—5], тем, что они образуют световое излучение, названное электрохемилюминесценцией (ЭХЛ), за счет электролиза раствора и не требуют воздействия ультрафиолетового излучения.

В данной статье рассматривается фактический материал по оптическим и электрофизическим характеристикам элементов, использующих эффект электрохемилюминесценции, определяется возможность применения их в автоматике и электронной технике.

Электрохемилюминесценция органических соединений в апротонных растворителях

До последнего времени уделялось сравнительно мало внимания световому излучению, вызываемому электролизом [8]. Еще в 1929 г. была обнаружена хемилюминесценция люминала [6], но лишь недавно, учитывая тенденцию к микроминиатюризации устройств автоматики и вычислительной техники, и в связи с поисками новых способов отображения для создания малогабаритных, экономичных и универсальных устройств индикации начали проводиться интенсивные исследования люминесценции растворов органических соединений, вызванной электролизом при низких напряжениях [7, 9—11]. Некоторые авторы [8, 12—18] обнаружили, что значительное количество органических соединений люминесцирует при последовательном электрическом окислении и восстановлении (или восстановлении и окислении) их на инертных электродах в полярных растворителях. Такой процесс был назван электрохемилюминесценцией (ЭХЛ). Основные компоненты электрофлорной композиции, в которой наблюдается ЭХЛ — активатор и электролит, растворенные в апротонном растворителе.