

Уравнения чувствительности импульсной системы стабилизации толщины изоляции кабеля со вспомогательной регулируемой величиной при параметрическом несоответствии

77-30569/341367

03, март 2012

Куцый Н. Н., Осипова Е. А.

УДК 681.51

Иркутский государственный технический университет

kucyinn@mail.ru

osipovaelizaveta@yandex.ru

Введение

В настоящей работе рассматривается система стабилизации толщины изоляции кабеля [1] с возмущениями, как со стороны самого объекта, так и со стороны его исполнительного механизма (ИМ). С целью повышения качества регулирования в системе образовано два контура, так что в процессе формирования регулирующего воздействия участвует помимо основной стабилизируемой величины воздействие из промежуточной точки объекта, причём задействован только один регулятор. Вспомогательная регулируемая величина берётся после ИМ объекта, что в значительной мере продиктовано предположением о главенствующей роли возмущений, идущих со стороны этого механизма. Ведь если сравнить инерционность и запаздывание вспомогательного и основного каналов объекта по отношению к этим возмущениям и регулирующему воздействию, то у вспомогательного они окажутся существенно меньше [2].

Важно, что в данном случае регулятор представляет собой существенно нелинейный импульсный элемент (ИЭ), осуществляющий интегральную широтно-импульсную модуляцию (ИШИМ). Такой вид модуляции позволяет достаточно простыми техническими средствами реализовать устройство управления ключами модулятора, что даёт свои известные преимущества [3].

Известно, что разработка и исследование беспоисковых алгоритмов автоматической параметрической оптимизации (АПО), базирующихся на теории чувствительности, способствуют более широкому внедрению систем с широтно-импульсной модуляцией в практику автоматического регулирования [4, 5, 6]. Однако, у таких алгоритмов есть недостаток: необходимость иметь точное описание той автоматической системы регулирования (АСР), для которой вычисляются оптимальные, исходя из принятого критерия, значения настраиваемых параметров [7].

Ясно, что объекты регулирования реальных автоматических систем во многих случаях подвержены влиянию параметрических возмущений. Это обстоятельство обуславливает возникновение параметрического несоответствия, под которым понимается отличие параметров оператора модели объекта регулирования $G_M(p, P_M)$, используемого в анализаторах чувствительности алгоритмов АПО, и оператора реального объекта АСР $G_r(p, P_r)$ при совпадении их структур [4, 8, 9]. Соответственно P_M и P_r - это и есть векторы значений параметров в операторах модели объекта регулирования и объекта в реальной системе. Вышесказанное приводит к проблеме определения оптимальных настраиваемых параметров в условиях параметрического несоответствия.

Для решения сформулированной выше проблемы выбран подход, согласно которому в составе общей процедуры адаптации объединяют процедуры идентификации и определения оптимальных, исходя из принятого критерия, значений настраиваемых параметров [10]. Система в этом случае включает в себя идентификатор, оценивающий модель объекта, и оптимизатор, в котором производится настройка регулятора, а её структурная схема может иметь вид, представленный на рис. 1.

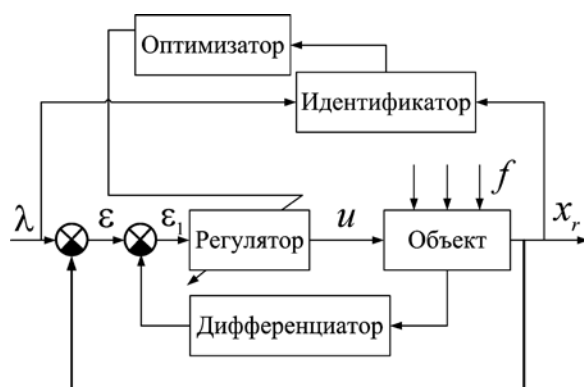


Рис. 1. Схема системы управления с идентификацией объекта

Выбранная структура системы позволяет выполнить идентификацию параметров оператора модели объекта регулирования в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.

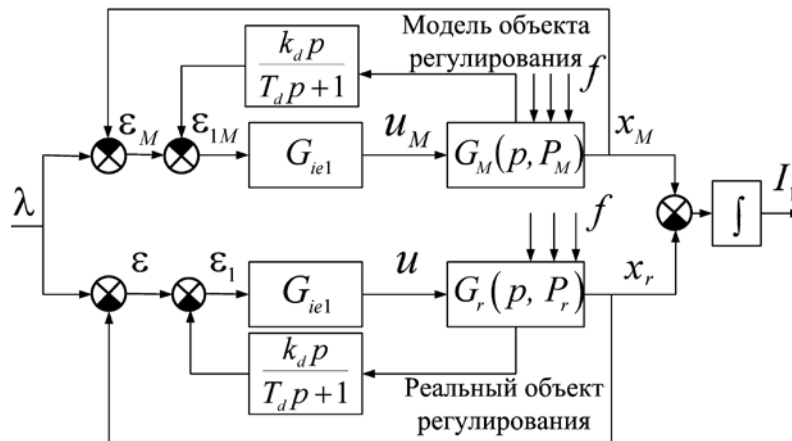


Рис. 2. Схема идентификации параметров оператора модели объекта регулирования

Целью настоящей работы является исследование вопроса получения уравнений чувствительности для реализации процедуры идентификации параметров объекта регулирования в системе стабилизации толщины изоляции кабеля с интегральным широтно-импульсным модулятором и дифференциатором.

1. Постановка задачи

Рассматривается идентификатор (рис. 1 и рис. 2), на который возлагается решение задачи параметрической идентификации. Эта задача сводится к нахождению значений параметров модели, которая наилучшим образом аппроксимирует заданную систему, обеспечивая, например, минимум квадратичного отклонения

$$I_1 = \int_0^{\infty} (x_M(t) - x_r(t))^2 dt. \quad (1)$$

Здесь $x_M(t)$ - переходный процесс модели системы регулирования при оптимальных значениях настраиваемых параметров, вычисленных с использованием оператора G_M ; $x_r(t)$ - переходный процесс реальной АСР при тех же значениях настраиваемых параметров.

Вышеназванная задача решается для системы [1], структура которой показана на рис. 3.

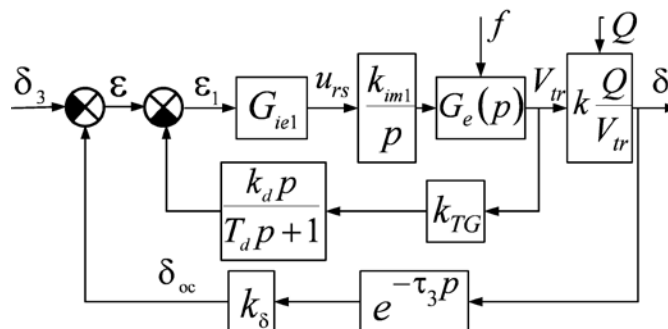


Рис. 3. Исследуемая АСР

Модель выбранной системы регулирования с сосредоточенными параметрами зададим в виде операторных уравнений

$$\begin{aligned}\varepsilon(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) &= \delta_{oc}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) - \delta_3(t), \\ \varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) &= \varepsilon(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) - \frac{k_d p}{T_d p + 1} k_{TG} V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}), \\ u_{rs}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) &= G_{ie1}(\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}), \mathbf{q}, t), \\ V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) &= \frac{k_{im1}}{p} G_e(p) u_{rs}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}), \\ \delta_{oc}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) &= k_\delta e^{-\tau_3 p} \frac{kQ}{V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})},\end{aligned}\tag{2}$$

с начальными условиями установившегося режима экструдерной линии для электропривода тянущего устройства

$$V_{tr}(0) = V_{tr}^0, \quad Q(0) = Q_0, \quad \delta(0) = \delta_0.$$

Здесь $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_m)'$, $\mathbf{d} = (k_d, T_d)'$ - вектора настраиваемых параметров регулятора и реального дифференциатора, соответственно («штрих» здесь и ниже означает транспонирование); δ_3 - сигнал требуемой толщины изолирующей оболочки.

Внешний участок объекта регулирования на структурной схеме (рис. 3) представлен в виде

$$\delta = k \frac{Q}{V_{tr}},$$

где Q - объёмная производительность экструдера, для которой свойственно появление случайных изменений; V_{tr} - линейная скорость протяжки кабельного изделия по всей длине экструдерной линии; k - коэффициент, характеризующий зависимость Q от V_{tr} .

Технологически из-за нецелесообразности измерения толщины изоляции непосредственно на выходе из формирующего инструмента, приходится устанавливать датчик толщины изоляции после выхода кабельного изделия из охлаждающей ванны.

Этим объясняется наличие звена чистого запаздывания $e^{-\tau_3 p}$, где τ_3 - время запаздывания, определяемое из соотношения: $\tau_3 = \frac{L}{V_{tr}^H}$, в котором L - длина охлаждающей

ванны; V_{tr}^H - номинальная скорость протяжки.

После того как кабель вышел из охлаждающей ванны, бесконтактным прибором, состоящим из источника света и светодиодной решетки, измеряется толщина его изоляции. Для простоты математического описания такой датчик представлен в виде

безынерционного звена с коэффициентом передачи k_δ . Результат же измерения обозначен символом δ_{oc} .

При этом следует отметить, что именно гиперболическая зависимость между δ и V_{tr} предопределила положительный знак обратной связи внешнего контура. Такая обратная связь обеспечивает работоспособность рассматриваемой системы, позволяя при увеличении δ_{oc} сформировать команду на увеличение V_{tr} , а при уменьшении δ_{oc} - на уменьшение V_{tr} .

Как отмечалось выше, вспомогательная регулируемая величина выбрана так, что внутренним участком объекта регулирования оказался ИМ. Роль ИМ в заданной АСР играет электропривод тянущего устройства $G_e(p)$ (рис. 4), а возмущение f , идущее с его стороны, может выражаться, например, в виде случайных изменений нагрузки на валу. Так как в рамках статьи невозможно в более полном объеме описать схему рис. 4, добавим только, что инерционность электропривода такова, что по отношению к ней время запаздывания τ_3 является довольно большим [2].

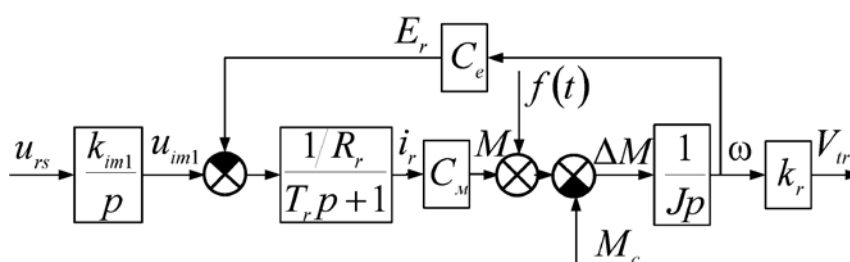


Рис. 4. Фрагмент исследуемой АСР

Для измерения V_{tr} используется тахогенератор, напряжение u_{TG} которого пропорционально V_{tr}

$$u_{TG} = k_{TG} V_{tr};$$

k_{TG} - коэффициент преобразования линейной скорости протяжки кабельного изделия в напряжение.

Характеристика ИЭ G_{ie1} может быть представлена

$$u_{rs}(\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}), \mathbf{q}, t) = \begin{cases} \theta_k & \text{при } kT < t \leq kT + t_k, \\ 0 & \text{при } kT + t_k < t \leq (k+1)T, \end{cases}$$

$$\theta_k = \text{sign } \varepsilon_1[kT], \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Здесь T - период цикла работы ИЭ; t_k - времени действия k -ого импульса, для определения которого предлагается в тактовый момент времени измерять ошибку регулирования $\varepsilon_1[kT]$, а затем в зависимости от измеренного значения ошибки выполнять

следующее. Если $|\varepsilon_1[kT]| > 0$, то t_k - наименьший положительный на $(0, T)$ корень уравнения

$$S(\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}), \mathbf{q}) = \Phi(t_u),$$

иначе $t_k = 0$ и $u_{rs}(\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}), \mathbf{q}, t) = 0$ при $kT \leq t < (k+1)T$. В случае отсутствия такого корня $t_k = T$.

Величина $S(\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}), \mathbf{q})$ определяется, исходя из

$$S(\varepsilon_1, \mathbf{q}) = q_1 \int_{kT}^{kT+t_u} |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})| dt + q_2 \int_{kT}^{kT+t_u} |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|^2 dt + \dots = \int_{kT}^{kT+t_u} \sum_{j=1}^m q_j |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|^j dt,$$

где t_u - время, отсчитываемое внутри периода T . Опорный сигнал $\Phi(t_u)$ реализован в виде параболы второй степени: $\Phi(t_u) = t_u^2$.

2. Вывод уравнений чувствительности

Как известно, параметры объекта регулирования можно разделить на три группы: коэффициенты передачи, постоянные времени и запаздывания. Исходя из этого, рассматривается случай несоответствия параметров реального объекта k_{im1}^r , T_r^r , τ_3^r и его модели k_{im1} , T_r , τ_3 .

Представим способ получения уравнений, которые позволяют вычислять функции чувствительности по интересующим нас параметрам модели системы.

Символами $\xi_{k_{im1}}$, ξ_{T_r} , ξ_{τ_3} будем обозначать функции чувствительности системы (2) по параметрам k_{im1} , T_r , τ_3 , соответственно.

Дифференцируя последнее уравнение системы (2) по коэффициенту усиления k_{im1} , получим

$$\xi_{k_{im1}}(t) = \frac{\partial x_M(t)}{\partial k_{im1}} = \frac{\partial \delta_{oc}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}} = -k_\delta e^{-\tau_3 p} \frac{kQ}{V_{tr}^2(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})} \frac{\partial V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}}. \quad (3)$$

Четвёртое уравнение позволяет для сомножителя $\frac{\partial V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}}$ записать выражение

$$\frac{\partial V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}} = G_e(p) \left(\frac{1}{p} u_{rs}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) + \frac{k_{im1}}{p} \frac{Du_{rs}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}} \right),$$

где $\frac{D}{\partial \alpha}$ - символ обобщённого дифференцирования.

По формулам обобщённого дифференцирования для регулирующего воздействия $u_{rs}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})$, претерпевающего разрывы в моменты времени $(kT + t_k)$, $k = 0, 1, 2, \dots$, имеем

$$\frac{Du_{rs}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}} = - \sum_k \Delta u_{rs}^{t_k} \frac{dt_k(\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}), \mathbf{q})}{dk_{im1}} \delta(t - (kT + t_k)), \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Здесь $\frac{dt_k}{dk_{im1}}$ - производная длительности k -ого импульса по параметру k_{im1} ;

$\delta(t - (kT + t_k))$ - смещённая дельта-функция; $\Delta u_{rs}^{t_k}$ - приращение регулирующего воздействия в моменты переключения.

Учитывая, что в моменты $(kT + t_k)$ при $t_k > 0$ выполняется равенство вида

$$\int_{kT}^{kT+t_k} \sum_{j=1}^m q_j |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|^j dt = t_k^2,$$

дифференцированием интеграла в левой части равенства и степенной функции в правой приходим к тому, что

$$\frac{dt_k}{dk_{im1}} = \int_{kT}^{kT+t_k} \left(\left(\sum_{j=1}^m j q_j |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|^{j-1} \right) \left(\frac{\partial |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|}{\partial k_{im1}} \right) \right) dt : \left(2t_k - \sum_{j=1}^m q_j |\varepsilon_1(kT + t_k)|^j \right),$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

Из второго уравнения системы (2) вытекает, что

$$\frac{\partial \varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}} = \frac{\partial \varepsilon(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}} - \frac{k_d p}{T_d p + 1} k_{TG} \frac{\partial V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}},$$

где для первого слагаемого справедливо следующее:

$$\frac{\partial \varepsilon(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}} = \frac{\partial \delta_{oc}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}} = \xi_{k_{im1}}(t).$$

Так, при моделировании решения уравнения чувствительности (3) для вычисления $\frac{\partial |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|}{\partial k_{im1}}$ остаётся воспользоваться правилом раскрытия знака модуля:

$$\frac{\partial |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|}{\partial k_{im1}} = \begin{cases} \frac{\partial \varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}}, & \text{при } \varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) \geq 0, \\ -\frac{\partial \varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial k_{im1}}, & \text{при } \varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) < 0. \end{cases}$$

Найдём уравнение чувствительности по параметру T_r оператора $G_e(p)$, который носит название электромагнитной постоянной времени цепи якоря.

Аналогично уравнению (3) запишем

$$\xi_{T_r}(t) = \frac{\partial x_M(t)}{\partial T_r} = \frac{\partial \delta_{oc}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial T_r} = -k_\delta e^{-\tau_3 p} \frac{kQ}{V_{tr}^2(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})} \frac{\partial V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial T_r}.$$

Зная, что $V_{tr}(t) = k_r \omega(t)$, имеем $\frac{\partial V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial T_r} = k_r \frac{\partial \omega(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial T_r}$, где теперь требуется определить выражения для нахождения $\frac{\partial \omega(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial T_r}$.

Обратим внимание на то, что в исследуемой АСР (рис. 3 и рис. 4) уравнение относительно $\omega(t)$ имеет вид

$$\omega(t) = G_{u_{im1}}(p) \cdot \frac{k_{im1}}{p} \cdot u_{rs}(t) + G_{M_c}(p) \cdot M_c(t) + G_f(p) \cdot f(t). \quad (4)$$

Здесь $G_{u_{im1}}(p)$ - это оператор замкнутого контура по задающему воздействию $u_{im1}(t) = \frac{k_{im1}}{p} u_{rs}(t)$; $G_{M_c}(p)$ - оператор замкнутого контура по возмущающему воздействию $M_c(t)$ (статический момент нагрузки); $G_f(p)$ - оператор замкнутого контура по возмущающему воздействию $f(t)$.

Опираясь на структурную схему рис. 4, можно определить, что каждый из трёх вышеперечисленных операторов имеет вид

$$G_{u_{im1}}(p) = \frac{\frac{1/R_r}{T_r p + 1} \cdot C_m \cdot \frac{1}{Jp}}{1 + \frac{C_m/R_r}{Jp(T_r p + 1)} \cdot C_e} = \frac{C_m/R_r}{Jp(T_r p + 1) + C_m C_e/R_r}, \quad (5)$$

$$G_{M_c}(p) = -\frac{1/Jp}{1 + \frac{C_m \cdot C_e/R_r}{Jp(T_r p + 1)}} = -\frac{(T_r p + 1)}{Jp(T_r p + 1) + C_m C_e/R_r}, \quad (6)$$

$$G_f(p) = \frac{1/Jp}{1 + \frac{C_m \cdot C_e/R_r}{Jp(T_r p + 1)}} = \frac{(T_r p + 1)}{Jp(T_r p + 1) + C_m C_e/R_r}. \quad (7)$$

После подстановки в уравнение (4), найденных операторов (5), (6), (7) и дифференцирования его по параметру T_r получим следующее выражение:

$$\frac{\partial \omega(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial T_r} = G_{u_{im1}}(p) \cdot \left(\frac{-Jk_{im1}p}{Jp(T_r p + 1) + C_m C_e / R_r} \cdot u_{rs}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}) + \frac{k_{im1}}{p} \frac{Du_{rs}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial T_r} + \left(\frac{C_e p}{Jp(T_r p + 1) + C_m C_e / R_r} \right) (f(t) - M_c(t)) \right).$$

Согласно формулам обобщённого дифференцирования находим

$$\frac{Du_{rs}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial T_r} = -\sum_k \Delta u_{rs}^{t_k} \frac{dt_k(\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d}), \mathbf{q})}{dT_r} \delta(t - (kT + t_k)), \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

где $\frac{dt_k}{dT_r} = \int_{kT}^{kT+t_k} \left(\left(\sum_{j=1}^m j q_j |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|^{j-1} \right) \left(\frac{\partial |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|}{\partial T_r} \right) \right) dt : \left(2t_k - \sum_{j=1}^m q_j |\varepsilon_1(kT + t_k)|^j \right),$ а

выражение для вычисления $\frac{\partial |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|}{\partial T_r}$ вытекает из выкладок подобных приведённым

выше для $\frac{\partial |\varepsilon_1(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})|}{\partial k_{im1}}.$

В случае уравнения чувствительности по параметру транспортного запаздывания

τ_3

$$\xi_{\tau_3}(t) = \frac{\partial x_M(t)}{\partial \tau_3} = \frac{\partial \delta_{oc}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial \tau_3} = -k_\delta k Q e^{-\tau_3 p} \left(\frac{p}{V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})} + \frac{1}{V_{tr}^2(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})} \frac{\partial V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial \tau_3} \right)$$

вывод выражений, позволяющих определить производную $\frac{\partial V_{tr}(t, \mathbf{q}, \mathbf{d})}{\partial \tau_3}$, достаточно

легко повторить, используя вышеприведенные выкладки.

3. Применение

Параметрическая идентификация, если она необходима для повышения эффективности настройки системы, достаточно просто вводится перед стадией вычисления оптимальных (или в общем случае близких к оптимальным), исходя из принятого критерия качества регулирования, настраиваемых параметров. Для этого, в соответствии с процедурой, достаточно подробно изложенной в работе [9], необходимо сформировать такой алгоритм АПО, который, исходя из минимума квадратичного отклонения (1), будет находить новые значения параметров оператора $G_M(p, P_M)$.

Так, например, если из всех параметров объекта регулирования рассматриваемой системы стабилизации толщины изоляции кабеля учитывать возможность изменения

лишь трёх из них: k_{im1}^r , T_r^r , τ_3^r , то в соответствии с указанной процедурой необходимо сначала определить формулы для частных производных I_1 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial I_1}{\partial k_{im1}} &= \int_0^\infty \frac{\partial (x_M(t) - x_r(t))^2}{\partial k_{im1}} dt = \int_0^\infty 2(x_M(t) - x_r(t)) \frac{\partial x_M(t)}{\partial k_{im1}} dt = \\ &= 2 \int_0^\infty \xi_{k_{im1}} (x_M(t) - x_r(t)) dt; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\frac{\partial I_1}{\partial T_r} = 2 \int_0^\infty \xi_{T_r} (x_M(t) - x_r(t)) dt; \quad (9)$$

$$\frac{\partial I_1}{\partial \tau_3} = 2 \int_0^\infty \xi_{\tau_3} (x_M(t) - x_r(t)) dt. \quad (10)$$

А затем на базе градиентной процедуры [7] сформировать алгоритм поиска таких значений k_{im1} , T_r , τ_3 , которые обеспечили бы минимум квадратичного отклонения (1).

Из формул (8)-(10) видно, что в сложившейся ситуации для определения составляющих градиента требуются функции чувствительности $\xi_{k_{im1}}$, ξ_{T_r} , ξ_{τ_3} . При этом следует ещё раз подчеркнуть, что уравнения чувствительности, построенные в предыдущем разделе, могут оказаться весьма полезными для вычисления таких функций.

Заключение

В настоящей статье представлены уравнения чувствительности по некоторым переменным параметрам объекта регулирования системы стабилизации толщины изоляции кабеля. Однако общие принципы построения, которые при этом можно было наблюдать, естественным образом распространяются и на уравнения, которым удовлетворяют функции чувствительности по любым другим параметрам модели системы. При этом важно, что для построенных подобным образом уравнений характерна ориентированность на методы компьютерного моделирования, и это, кстати, вполне оправдано. Ведь в силу довольно сложного характера закона регулирования в рассматриваемой системе, применение аналитических методов для совместного решения уравнений исходной системы (2) и соответствующих уравнений чувствительности является здесь малопривлекательным.

Таким образом, предлагается возможный способ получения таких уравнений чувствительности по параметрам объекта регулирования, которые позволяют сформировать анализаторы чувствительности. Последние имеют большое значение для успешного применения на практике алгоритмов оптимизации и адаптации двухконтурных систем с интегральным широтно-импульсным модулятором и дифференциатором, поскольку они в полной мере учитывают особенности указанных систем.

Наконец, вычисленные в результате реализации таких анализаторов функции чувствительности могут сыграть существенную роль при поддержке работоспособности

промышленных систем регулирования с ИШИМ в условиях действия на них всякого рода параметрических возмущений.

Литература

1. Хуссейн Хишам Исследование принципов стабилизации толщины пластмассовой изоляции (оболочки) в производстве кабельных изделий: Дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2002. 101 с.
2. Плютто В.П. Практикум по теории автоматического регулирования химико-технологических процессов / В.П. Плютто; под ред. В.В. Кафарова. М. : Химия, 1969. 114 с.
3. Никитин А.В. Параметрический синтез нелинейных систем автоматического управления: Монография / А.В. Никитин, В.Ф. Шишлаков; под ред. В.Ф. Шишлакова. СПб. : СПбГУАП, 2003. 358 с.
4. Куцый Н.Н. Автоматическая параметрическая оптимизация дискретных систем регулирования: Автореферат дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 1997. 44 с.
5. Высотская О.В. Разработка и исследование алгоритма автоматической параметрической оптимизации для систем с широтно-импульсной модуляцией: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2003. 17 с.
6. Маланова Т.В. Алгоритмическое обеспечение автоматической параметрической оптимизации систем с широтно-импульсной модуляцией: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2010. 18 с.
7. Костюк В.И. Автоматическая параметрическая оптимизация систем регулирования / В.И. Костюк, Л.А. Широков. М. : Энергоиздат, 1981. 96 с.
8. Куцый Н.Н., Маланова Т.В. Оптимизация автоматических систем с широтно-импульсной модуляцией при параметрической несоответствии // Материалы IX школы-семинара «Математическое моделирование и информационные технологии». сб. науч. трудов. Иркутск, ИДСТУ СО РАН. 2007. С. 97-101.
9. Куцый Н.Н., Маланова Т.В. Применение обобщенного дифференцирования при формировании анализаторов чувствительности для систем с широтно-импульсной модуляцией // Науч. вестн. НГТУ. 2009. №1 (34). С. 3-10.
10. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов./ В.Я. Ротач. – 5-е изд., перераб. и доп. М. : Издательский дом МЭИ, 2008. 396 с.

Equations of sensitivity for the pulse system of cable insulation thickness stabilization with auxiliary adjustable variable at parametric discrepancy

77-30569/341367

03, March 2012

Kucyi N.N., Osipova E.A.

National Research Irkutsk State Technical University

kucyinn@mail.ru

osipovaelizaveta@yandex.ru

Equations of sensitivity with respect to parameters of the controlled object were obtained. They allowed forming an automatic parameter optimization algorithm for the integral pulse-duration modulation system with two circuits at parametric discrepancy of a real object and its model. The pulse system of cable insulation thickness stabilization with an auxiliary controlled variable is considered.

Publications with keywords: [parameter identification](#), [pulse multicircuit system of control](#), [integral pulse-duration modulation](#), [generalized derivation](#), [sensitivity equation](#)

Publications with words: [parameter identification](#), [pulse multicircuit system of control](#), [integral pulse-duration modulation](#), [generalized derivation](#), [sensitivity equation](#)

References

1. Khussein Kh. *Issledovanie printsipov stabilizatsii tolshchiny plastmassovoi izoliatsii (obolochki) v proizvodstve kabel'nykh izdelii. Kand. tekhn. nauk diss.* [Study of the principles of plastic insulation thickness (shell) stabilization in the manufacture of cable products. Cand. tech. sci. diss.]. Irkutsk, 2002. 101 p.
2. Pliutto V.P. *Praktikum po teorii avtomaticheskogo regulirovaniia khimiko-tekhnologicheskikh protsessov* [Workshop on the theory of automatic control of chemical and technological processes]. Moscow, Khimiia Publ., 1969. 114 p.
3. Nikitin A.V., Shishlakov V.F. *Parametricheskie sintez nelineinykh sistem avtomaticheskogo upravleniia* [Parametric synthesis of nonlinear control systems]. St. Petersburg, SUAI Publ., 2003. 358 p.

4. Kutsyi N.N. *Avtomaticheskaia parametriceskaia optimizatsiia diskretnykh sistem regulirovaniia. Diss. dokt. tekhn. nauk. Aftoref.* [Automatic parametric optimization of discrete control systems. Dr. tech. sci. diss. Synop.]. Moscow, 1997. 44 p.
5. Vysotskaia O.V. *Razrabotka i issledovanie algoritma avtomaticheskoi parametriceskoi optimizatsii dlia sistem s shirotno-impul'snoi moduliatsiei. Kand. tekhn. nauk diss. Aftoref.* [Research and development of algorithms for automatic parametric optimization for systems with pulse-width modulation. Cand. tech. sci. diss. Synop.]. Irkutsk, 2003. 17 p.
6. Malanova T.V. *Algoritmicheskoe obespechenie avtomaticheskoi parametriceskoi optimizatsii sistem s shirotno-impul'snoi moduliatsiei. Kand. tekhn. nauk diss. Aftoref* [Algorithmic support of automatic parameter optimization of systems with pulse-width modulation. Cand. tech. sci. diss. Synop.]. Irkutsk, 2010. 18 p.
7. Kostiuk V.I., Shirokov L.A. *Avtomaticheskaia parametriceskaia optimizatsiia sistem regulirovaniia* [Automatic parameter optimization of control systems]. Moscow, Energoizdat Publ., 1981. 96 p.
8. Kutsyi N.N., Malanova T.V. Optimizatsiia avtomaticheskikh sistem s shirotno-impul'snoi moduliatsiei pri parametriceskoi nesootvetstviu [Optimization of automated systems with pulse-width modulation with parametric mismatch]. «*Matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii*». *Mat. 9 Shkoly-semin.* ["Mathematical Modeling and Information Technologies". Proc. 9th Workshop]. Irkutsk, ISDCT SB RAS Publ., 2007, pp. 97-101.
9. Kutsyi N.N., Malanova T.V. Primenenie obobshchennogo differentsirovaniia pri formirovanii analizatorov chuvstvitel'nosti dlia sistem s shirotno-impul'snoi moduliatsiei [Generic differentiating application at the formation of sensitivity analyzer for the pulse-duration modulation systems]. *Nauchyi vestnik NGTU* [Scientific Herald of the Novosibirsk STU], 2008, no. 1 (34), pp. 3-10.
10. Rotach V.Ia. *Teoriia avtomaticheskogo upravleniia* [Automatic control theory]. Moscow, MEI Publ., 2008. 396 p.