Системы управления со стабилизацией структур

О. И. Золотов
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича
oleg_1938@mail.ru

И. М. Новожилов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
novozhilovim@list.ru

Аннотация. **В докладе рассматриваются системы управления в которых объекты и регуляторы изменяются под воздействием внешних факторов. Задача управления такими объектами складывается из управления выходными координатами, но при этом отдельно ставится задача стабилизации структуры.**

Ключевые слова: системы управления; стабилизация структуры; внешние факторы

Наука об управлении от начала шестидесятых годов до сегодняшнего дня претерпела три качественных скачка: переход от управления систем с сосредоточенными параметрами к управлению системами с распределенными параметрами, переход от управления состояниями к управлению структурами и, наконец, открытие управленческой парадигмы Мира.

Понятия «состояние» и, особенно, «структура», их природа и свойства образуют ёмкую и не до конца изученную область. Рассмотрим основное содержание этих понятий.

Как известно, одно из представлений решения линейной задачи, записанной в стандартной форме, имеет вид:

$$\mathrm{Q(x,t)}=\int_0^t\int_D G(x,\xi,t,\tau)w(\xi,\tau)d\xi d\tau \qquad (1)$$

Здесь, как обычно, $\boldsymbol{x}$ и $\boldsymbol{\xi}$ – пространственные, а $\boldsymbol{t}$ и $\boldsymbol{\tau}$-временные независимые переменные, $\boldsymbol{D}$ – открытая область в некотором многомерном пространстве, $\boldsymbol{w(\xi,\tau)}$ **–** стандартизирующая функция, $\boldsymbol{G(x,\xi,t,\tau)}$ – функция Грина рассматриваемой задачи.

Соотношение (1) может быть так же представлено в краткой символической форме:

$$\boldsymbol{Q(x,t)= G(x,\xi,t,\tau)\Theta\, w(\xi,\tau)}, \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{\Theta}$ – символ так называемой пространственно-временной композиции (композиционного умножения) двух связанных этим символом функций – символ, означающий интегрирование (1).

Вид соотношений (1), (2) остаётся таким же и при векторно-матричных обобщениях функций $\boldsymbol{w(\xi,\tau)}$, $\boldsymbol{G(x,\xi,t,\tau)}$ и $\boldsymbol{Q(x,t)}$. Но, как мы убедимся, компактная символическая запись (2) оказывается во многих случаях предпочтительнее развёрнутой записи (1). Соотношения (1) и (2) включают в себя также частные случаи отсутствия в них зависимости от пространственной или временной переменных.

Стандартизирующая функция $\boldsymbol{w(\xi,\tau)}$ несёт информацию о внешнем входном воздействии и только о нём. Функция же Грина $\boldsymbol{G(x,\xi,t,\tau)}$ представляет собой исчерпывающую функциональную характеристику исключительно собственных (внутренних) свойств изучаемого объекта. Отметим в дополнение, что из принципа причинности физических явлений вытекает, что $\boldsymbol{G(x,\xi,t,\tau)=0}$ при $\boldsymbol{t<\tau}$. Это соотношение означает, что реакция физической системы не может наступить раньше момента начала возмущения.

В кибернетике (теории управления) функцию $\boldsymbol{Q(x,t)}$ (либо функцию $\boldsymbol{Q(x,t)}$ вместе с некоторым числом её производных по времени) называют «состоянием» объекта или системы. Иногда для краткости термин «состояние» применяют к одной только функции $\boldsymbol{Q(x,t)}$, имея (по умолчанию) в виду оговорку, помещённую в скобках.

В отношение же функции $\boldsymbol{G(x,\xi,t,\tau)}$, дающей полное описание внутренней природы, точнее – внутренней структуры объекта (системы), естественно употреблять для этой функции наравне с другими её названиями также и термин «структура». Вместе с тем, и это существенно, термин «структура» мы будем присваивать не только функции $\boldsymbol{G(x,\xi,t,\tau)}$, но и любому эквивалентному ей **математическому** объекту (функции, выражению, оператору и др.).

В классических системах автоматического управления, как правило, мы считаем, что структура объекта и регулятора неизменны, однако часто это не так, и тогда возникает дополнительная задача стабилизации структур. Возможно ли это с помощью обратной связи? Используем для этого теорию блочно-структурных схем.

Рассмотрим случай последовательного соединения блоков $\boldsymbol{R_1}$ и $\boldsymbol{R_2}$. Вне возмущений и стабилизирующих обратных связей данное соединение двух блоков может быть заменено одним блоком с оператором блока

$$\boldsymbol{R_2\, R_1} \qquad (3)$$

В результате ***поступающих*** возмущений блоки $\boldsymbol{R_1}$ и $\boldsymbol{R_2}$ разрушаются и вместо них образуются новые блоки $\hat{R}_1$ и

$\hat{R}_2$. Ограничимся вариантом аддитивных отличий возмущённых блоков от невозмущённых. Тогда

$$\hat{R}_1 = \boldsymbol{R_1} + \boldsymbol{R_{1\epsilon}},\ \hat{R}_2 = \boldsymbol{R_2} + \boldsymbol{R_{2\epsilon}} \qquad (4)$$

где $\boldsymbol{R_{1\epsilon}}$ и $\boldsymbol{R_{2\epsilon}}$ – блоки возмущений.

В структурном отношении (4) означают, что каждый из возмущённых блоков представляет параллельное соединение своих блоков-слагаемых.

Попытаемся восстановить структуру (3), включив для этой цели подходящую обратную связь.

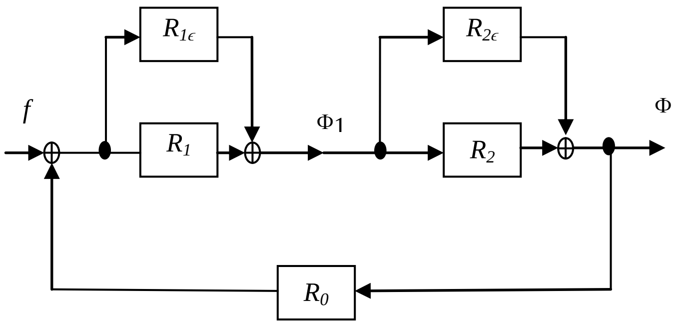

Рис. 1.

Последовательное соединение возмущённых блоков $\hat{R}_1$ и $\hat{R}_2$ охватим обратной связью по каналу от Φ к сумматору, на который поступает сигнал *f* (рис. 1). Здесь $\boldsymbol{R_0}$ – блок цепи обратной связи. Образовавшееся соединение блоков может быть заменено одним блоком с оператором блока *R*, отображающим вход *f* в выход Φ. Операторное соотношение, связывающее в образовавшейся схеме операторы $\hat{R}_1$, $\hat{R}_2$, $\boldsymbol{R_0}$ и *R*, предстанет в виде

$$\hat{R}_2 \hat{R}_1 + \hat{R}_2 \hat{R}_1\ \boldsymbol{R_0}\, \boldsymbol{R} = \boldsymbol{R} \qquad (5)$$

Будем считать, что $\hat{R}_1$ и $\hat{R}_2$ известны. Тогда вновь можем рассматривать две задачи.

Если блок $\boldsymbol{R_0}$ обратной связи задан, то результирующий блок $\boldsymbol{R}$ соединения в целом получает, как вытекает из (5), описания

$$\boldsymbol{R} = (\boldsymbol{I} - \hat{R}_2 \hat{R}_1 \boldsymbol{R_0})^{-1} \hat{R}_2 \hat{R}_1 = ((\hat{R}_2 \hat{R}_1)^{-1} - \boldsymbol{R_0})^{-1} \qquad (6)$$

Если наоборот, блок *R* задан, то из (5) получаем описание блока $\boldsymbol{R_0}$ обратной связи

$$\boldsymbol{R_0} = (\hat{R}_2 \hat{R}_1)^{-1} - \boldsymbol{R}^{-1} \qquad (7)$$

Потребуем, чтобы изначальная структура (3) сохранялась вопреки возмущениям. Для этого, очевидно, следует потребовать выполнение равенства

$$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{R_2}\, \boldsymbol{R_1} \qquad (8)$$

Подставляя (8) в (7), находим оператор блока $\boldsymbol{R_0}$ стабилизирующей (сохраняющей) структуру (3) обратной связи, а именно

$$\boldsymbol{R_0} = (\hat{R}_2 \hat{R}_1)^{-1} - (\boldsymbol{R_2}\, \boldsymbol{R_1})^{-1} \qquad (9)$$

Если возмущения отсутствуют, т.е. $\boldsymbol{R_{1\epsilon}} \equiv \boldsymbol{R_{2\epsilon}} \equiv \boldsymbol{0}$, то в соответствии с (8) $\hat{R}_1 \equiv \boldsymbol{R_1}$, $\hat{R}_2 \equiv R_2$ и тогда из (9) получаем, что $\boldsymbol{R_0} = \boldsymbol{0}$, т.е. стабилизирующая обратная связь в этом случае, как и следует ожидать, не нужна.

Выражение (9) годится для структурного представления и исследования соответствующих аспектов управленческой парадигмы Мира и в случаях, когда сохраняющийся объект принадлежит множеству объектов неживой и не созданной человеком природы.

Полученный результат позволяет сделать следующие выводы.

1. Теоретически нет препятствий использовать обратную связь для стабилизации структур объектов управления и регуляторов.
2. В случаях возможного сильного возмущения структур (уравнений, передаточных функций и т.п.) объекта и/или регулятора предлагается использовать двухуровневую структуру управления: верхний уровень стабилизирует структуру, а нижний осуществляет классическое управление выходными параметрами объекта.

Список литературы

[1] Принципы управления структурами : [монография] / О.И. Золотов, Л.М. Пустыльников; СПбГУТ. СПб., 2018. 406 с.