На основании приведенных рассуждений можно сделать вывод о том, что точность двухотсчетных преобразователей несколько ниже, чем у аналогичных одноотсчетных, однако быстродействие их прямо пропорционально количеству градаций грубой шкалы при условии $T_{г.о} \leqslant T_{т.о}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. И. Гитис. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. Изд-во «Энергия», 1970.
2. П. В. Новицкий. Основы информационной теории измерительных устройств. Изд-во «Энергия». Л., 1968.
3. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. Изд-во «Наука», 1964.
4. В. А. Михайлов, В. Е. Тырса. Циклический преобразователь угол—временной интервал—код со стабилизированным синхронным двигателем в качестве чувствительного элемента. Сб. «Приборы и системы автоматики», вып. 12. Изд-во ХГУ, Харьков, 1969.
5. Г. Д. Креславский, В. П. Максимов, В. А. Мясников, В. И. Савин. Повышение точности и надежности работы двухотсчетного преобразователя угол—код с емкостным многополюсным фазовращателем. Сб. «Цифровое управление в системах автоматики». Изд-во «Наука», Л., 1968.

СИНТЕЗ РЕЛЕЙНЫХ ИНВАРИАНТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСВЯЗНЫМИ СЕТЕВЫМИ ОБЪЕКТАМИ

А. Н. Гвоздинский, М. М. Продиус

Харьков

Одной из основных задач при построении многосвязных систем регулирования является обеспечение желаемого характера связи между координатами отдельных подсистем, в том числе и автономности по каждой из регулируемых и управляющих переменных.

Особые трудности при решении этих задач возникают в управлении сетевыми объектами, структурной особенностью которых является рассосредоточенность регулирующих органов по сети и связность их управляющих параметров через сеть.

Обычно такого типа сетевые объекты относятся к многосвязным системам со связью по управлению. Примером этого класса систем является множество различных промышленных объектов: газопромыслы, системы проветривания шахт, энергетические комплексы и различного рода гидравлические сети.

В настоящее время разработан ряд методов синтеза многосвязных систем управления. Однако большинство из них требует знания коэффициентов взаимосвязи между отдельными контурами, а также измерения действующих на систему внешних возмущений.

Изучим задачу синтеза управляющего устройства многосвязной системы рассматриваемого класса, в которой обеспечивается желаемый характер связей между регулируемыми величинами, в том числе и автономность по каждой из регулируемых координат с помощью создания в системе скользящих режимов [1]. Как показано в работе [2], этот метод имеет ряд преимуществ по сравнению с другими — он пригоден при наличии трудностей, связанных с измерением возмущений или с ограничением управляющих воздействий.

Пусть управляющее воздействие на входе i-го объекта рассматривается как сумма линейных комбинаций координат регулирующих органов, рассосредоточенных по сети

$$q_i = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} a_{ik}(p)\, U_k(p), \tag{1}$$

где a_{ik} — коэффициент взаимовлияния между сепаратными системами;

U_k — координаты регулирующего органа сепаратной системы управления;

n — число сепаратных систем;

q_i — i-е управляющее воздействие на входе i-го объекта.

Передаточная функция i-го объекта имеет вид

$$W_i(p) = \frac{K_{0i}(B_{0i}p - 1)}{A_{0i}p^2 + A_{1i}p + 1}. \tag{2}$$

Следовательно, уравнение движения неизменной части i-го канала системы можно представить в виде

$$(A_{0i}p^2 + A_{1i}p + 1)\varphi_i(p) = K_{0i}(B_{0i}p - 1)\left(q_i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} a_{ik}U_k\right) + W_{F_i}F_i(p), \tag{3}$$

где $q_i = a_{ii}U_i$.

После преобразований уравнение (3) представим как

$$(p^2 + A_1'p + A_0')\varphi_i(p) = K_{0i}(B_{0i}p - 1)\sum_{k=1}^{n} q_k + W_{F_i}F_i(p). \tag{4}$$

Не нарушая общности, решим поставленную задачу синтеза для $n=2$. Уравнение (4) запишем в виде

$$\frac{d^2x_i}{dt^2} + A_{1i}'\frac{dx_i}{dt} + A_{0i}'x_i = K_{0i}B_{0i}\sum_{k=1}^{2}\frac{d\sigma_k}{dt} + K_{0i}\sum_{k=1}^{2}\sigma_k + f_i \tag{5}$$

и представим его как систему дифференциальных уравнений первого порядка

$$x_{1i} = x_i; \quad \frac{d\sigma}{dt} = a_{ik} U_k; \quad \frac{dx_{1i}}{dt} = x_{2i};$$

$$\frac{dx_{2i}}{dt} = \sum_{k=1}^{n} U_k \ (i = 1,2), \ (k = 1, 2, \ldots, n); \tag{6}$$

$$\frac{dx_{2i}}{dt} = -A'_{1i} \frac{dx_i}{dt} - A'_{0i} x_i + K_{0i} B_{0i} \sum_{k=1}^{n} a_{ik} U_k + K_{0i} \sum_{k=1}^{n} x_{3k} + F_i.$$

Тогда для I канала системы
$x_{11} = x_1$;

$$\frac{dx_{11}}{dt} = x_{21}; \quad \frac{dx_{31}}{dt} = \sum_{1}^{2} a_{ik} U_k = a_{11} U_1 + a_{21} U_2;$$

$$\frac{dx_{21}}{dt} = -A'_{11} \frac{dx_1}{dt} - A'_{01} x_1 + K_{01} B_{01} a_{11} U_1 + K_{01} B_{01} a_{21} U_2 + \\ + K_{01} a_{11} x_{31} + K_{01} a_{21} x_{32} + F_1. \tag{7}$$

Для II канала системы

$$x_{12} = x_2;$$

$$\frac{dx_{12}}{dt} = x_{22}; \quad \frac{dx_{32}}{dt} = \sum_{1}^{2} a_{ik} U_k = a_{12} U_1 + a_{22} U_2;$$

$$\frac{dx_{21}}{dt} = -A'_{12} \frac{dx_2}{dt} - A'_{02} x_2 + K_{02} B_{02} a_{22} U_2 + K_{02} B_{02} a_{12} U_1 + \\ + K'_{02} a_{12} x_{31} + K_{02} a_{22} x_{32} + F_2. \tag{8}$$

Требуется найти условия существования скользящего режима и показать, что обеспечением такого режима в многосвязной системе при вынужденном движении сепаратных систем обеспечивается автономность.

Из работы [2] следует, что для получения скользящего режима в системе необходимо сформировать такое управление U, при котором направление векторов фазовой скорости в окрестности начала координат существенно зависело бы не только от внешних воздействий, но и от этого управления. Состояние системы в каждый момент времени определяется величина-

ми x_{11}; x_{21}; x_{12}; x_{22}; x_{31}; x_{32}. При решении задачи синтеза одноконтурных релейных СПС обычно предполагают, что управления являются линейной комбинацией координат системы со скачкообразно меняющимися коэффициентами. При этом управления U являются разрывными функциями. Сделаем следующее предположение.

Выберем систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_{11}}{dt} = -C_1 x_{11} - C_{21} x_{12},$$

$$\frac{dx_{12}}{dt} = -C_2 x_{12} - C_{11} x_{11} \tag{9}$$

с такими постоянными коэффициентами C_1, C_2, ..., при которых закон изменения выходных величин x_{11} и x_{12} имел бы желаемый характер. Тогда с момента возникновения скользящего режима задачу синтеза можно считать решенной.

Следует ожидать, что направление векторов фазовой скорости в окрестности начала координат будет зависеть от управления, сформированного в виде

$$U_1 = \psi_1^* x_{11} + \psi_{21}^* x_{12} + \psi_{22}^* x_{22} + \psi_{31}^* x_{31} + \psi^{U_1} + F_1;$$

$$U_2 = \psi_2^* x_{12} + \psi_{11}^* x_{11} + \psi_{12}^* x_{21} + \psi_{32}^* x_{32} + \psi^{U_2} + F_2, \tag{10}$$

где $\psi^* = \begin{cases} \alpha^* \\ \beta^* \end{cases}$ при $\begin{matrix} xS_1 > 0 \\ xS_1 < 0 \end{matrix}$; (11)

$$S_1 = C_1 x_{11} + x_{21} + C_{21} x_{12} = 0,$$

$$S_2 = C_2 x_{12} + x_{22} + C_{11} x_{11} = 0. \tag{12}$$

Условием существования скользящего режима в окрестности S является [1] выполнение неравенства

$$S \frac{dS}{dt} < 0. \tag{13}$$

Для этого необходимо отыскать такие значения α и β (α и β константы и больше нуля), при которых в окрестности любой точки прямой переключения S_1; S_2; ($S=0$) выполняется неравенство (13).

Для I канала системы

$$\frac{dS_1}{dt} = C_1 \frac{dx_{11}}{dt} + \frac{dx_{21}}{dt} + C_{21} \frac{dx_{12}}{dt} = [A_1 + D_1 \psi_1^* +$$

$$+ D_2(\psi_{11}^* - \psi_{12}^*)] x_{11} + [K_1 + D_1 \psi_{21}^* + D_2(\psi_2^* - \psi_{12}^* C_{21})] x_{12} +$$

$$+ (D_1\psi^*_{22} + C_{21})\, x_{22} + (D_1\psi^*_{31} - D_{11})\, x_{31} + \qquad (14)$$
$$+ (D_2\psi^*_{32} - D_{22})\, x_{32} + \psi^{U_1} D_1 F_1 + \psi^{U_2} D_2 F_2.$$

Соответственно для II канала

$$-\frac{dS_2}{dt} = C_2 \frac{dx_{12}}{dt} + \frac{dx_{22}}{dt} + C_{11}\frac{dx_{11}}{dt} =$$
$$= (A_2 + D_{21}\psi^*_{21} + D_{22}\psi^*_2 - D_{21}C_2\psi^*_{22})\, x_{12} + (K_2 + D_{21}\psi^*_1 + D_{22}\psi^*_2 -$$
$$- D_{21}C_2\psi^*_{22})\, x_{12} + (C_{11} + D_{22}\psi^*_{12})x_{21} + (D_{21}\psi^*_{31} - D_{31})\, x_{31} +$$
$$+ (D_2\psi^*_{32} - D_{32})\, x_{32} + D_{21}\psi^{U_1}F_1 + K_{22}\psi^{U_2}F_2. \qquad (15)$$

Потребуем, чтобы в каждом из слагаемых в выражениях (14) и (15) выполнялись условия скользящего режима. В соответствии с (13) запишем

$$[A_{11} + D_1\psi^*_1 + D_2(\psi^*_{11} - \psi^*_{12})]\, x_{11}S_1 < 0;$$
$$[K_1 + D_1\psi^*_{21} + D_2(\psi^*_2 - C_{21}\psi^*_{12})]\, x_{12}S_1 < 0;$$
$$(D_1\psi^*_{22} + C_{21})\, x_{22}S_1 < 0; \qquad (16)$$
$$(D_2\psi^*_{32} - D_{22})\, x_{32}S_1 < 0;$$
$$(D_1\psi^*_{31} - D_{11})\, x_{31}S_1 < 0;$$
$$D_1\psi^{U_1}F_1S_1 < 0;\ D_2\psi^{U_2}F_2S_1 < 0$$

и соответственно

$$(A_2 + D_{21}\psi^*_{21} + D_{22}\psi^*_2 - D_{21}C_2\psi^*_{22})\, x_{12}S_2 < 0;$$
$$(K_2 + D_{21}\psi^*_1 + D_{22}\psi^*_{11} - D_{21}C_{11}\psi^*_{22})\, x_{11}S_2 < 0;$$
$$(C_{11} + D_{22}\psi^*_{12})\, x_{21}\, S_2 < 0;$$
$$(D_{21}\psi^*_{31} - D_{31})\, x_{31}\, S_2 < 0; \qquad (17)$$
$$(D_2\psi^*_{32} - D_{32})\, x_{32}S_2 < 0;$$
$$D_2\psi^{U_1}F_1S_2 < 0; \quad K_{22}\psi^{U_2}F_2S_2 < 0.$$

В силу (13) выражения (16) и (17) являются гиперплоскостями скольжения, если

$$\alpha_1 > \max A_{11}; \quad \beta_1 < \min A_{11};$$
$$\alpha_{21} > \max K_1; \quad \beta_{21} < \min K_1;$$
$$\alpha_2 > \max A_2; \quad \beta_2 < \min A_2; \qquad (18)$$

$$\alpha_{22} > C_{21}; \quad \beta_{22} < C_{21};$$
$$\alpha_{11} > \max K_2; \quad \beta_{11} < \min K_2;$$
$$\alpha_{12} > C_{11}; \quad \beta_{12} < C_{11};$$
$$\alpha_{31} > D_{31}; \quad \beta_{31} < D_{31}.$$

При $C_{11}=0$ и $C_{22}=0$ система распадается на два независимых уравнения, т. е. достигается автономность в многосвязной системе управления.

Условия инвариантности по отношению к внешним возмущающим воздействиям могут быть выполнены при следующем законе изменения коэффициентов ψ^* и ψ^U:

$$\psi_1^* = \begin{cases} \alpha_1^* & \text{при } x_1 S_1 < 0; \\ \beta_1^* & \text{при } x_1 S_1 > 0, \end{cases}$$

$$\psi_{11}^* = \begin{cases} \alpha_{11}^* & \text{при } x_{11} S_1 < 0; \\ \beta_{11}^* & \text{при } x_{11} S_1 > 0, \end{cases}$$

$$\psi_{12}^* = \begin{cases} \alpha_{12}^* & \text{при } x_{12} S_1 < 0; \\ \beta_{12}^* & \text{при } x_{12} S_1 > 0; \end{cases}$$

. . . . . .

$$\psi_{32}^* = \begin{cases} \alpha_{32}^* & \text{при } x_{32} S_1 < 0; \\ \beta_{32}^* & \text{при } x_{32} S_1 > 0, \end{cases} \qquad (19)$$

а также

$$\psi^{U_1} = \begin{cases} \alpha^{U_1} & \text{при } F_1 S_1 > 0; \\ \beta^{U_1} & \text{при } F_1 S_1 < 0, \end{cases}$$

$$\psi^{U_2} = \begin{cases} \alpha^{U_2} & \text{при } F_2 S_2 > 0; \\ \beta^{U_2} & \text{при } F_2 S_2 < 0. \end{cases} \qquad (20)$$

Знак коэффициента ψ^U определяет направление векторов фазовой скорости в окрестности прямой пересечения плоскостей S_1 и S_2. При $\psi^U > 0$ векторы фазовой скорости направлены в сторону увеличения величины S, и поэтому при $S>0$ нарушаются условия возникновения скользящего режима, при $\psi^U < 0$ наблюдается обратная картина.

Таким образом, достижением условий скользящего режима многосвязная система с переменной структурой управления распадается на ряд независимых автономных подсистем и одновременно в каждой из них достигаются условия инвариантности регулируемых величин от внешних возмущающих воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Старикова. Автоколебания и скользящий режим в системах автоматического регулирования. Машгиз, 1962.

2. В. С. Емельянов. Системы автоматического управления с переменной структурой. Изд-во «Наука», 1967.