

УДК 004.052.2,004.052.4

М. Ф. Сопель*, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,
Т. А. Носик**, аспирант

*Институт электродинамики НАН Украины, г. Киев,

** Институт проблем моделирования в энергетике
им. Г. Е. Пухова НАН Украины, г. Киев

ПОСТРОЕНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ НАБЛЮДАЕМОСТИ ДАТЧИКОВ

В статье рассматривается применение свойства независимой наблюдаемости датчиков подсхем для построения функциональных схем и алгоритмов работы многоканальных устройств автоматического контроля.

Ключевые слова: *устройство автоматического контроля, диагностика схем, свойство независимой наблюдаемости подсхем.*

1. Общие положения

В [1; 2] определено свойство независимой наблюдаемости подсхем, которое позволяет по измеримым сигналам однозначно установить, какая подсхема неисправна и какова величина выходного сигнала этой подсхемы. При этом предполагается, что состояние подсхемы может изменяться вследствие возникновения неисправностей. Описанное свойство применялось для локализации неисправных подсхем. Однако состояние подсхем может изменяться не только вследствие неисправности. Если в состав подсхемы включены датчики каких-либо величин, то изменения контролируемых параметров приводят к изменению состояния датчиков, а значит, к изменению состояния подсхем. Если подсхемы с различными датчиками являются различными, то по значению измеряемых сигналов можно определить, какие датчики изменили свое состояние и, возможно, даже величину этого изменения. Если подсхемы, содержащие по одному датчику, соединить по схеме, удовлетворяющей условию их различимости, то такое соединение можно использовать в устройствах автоматического контроля.

В технике существуют объекты, у которых необходимо одновременно контролировать несколько параметров, каждый из которых измеряется своим датчиком, однако, одновременное изменение этих параметров или очень маловероятно, или, вообще, невозможно в силу конструктивных особенностей самого объекта. Например, в промышленных роботах-манипуляторах каждая из степеней подвижности снабжена своим электродвигателем и своим датчиком обратной связи. Однако управ-

ление этими электродвигателями осуществляется от одного преобразователя через коммутатор, что делает невозможным движение более чем по одной из степеней подвижности. Датчики в таких объектах связаны с измерительными приборами через каналы связи, пропускная способность которых обеспечивает одновременную передачу информации обо всех датчиках [3]. Следовательно, если в таких объектах датчики соединить по схеме, обеспечивающей их различимость, то удастся снизить пропускную способность канала связи (например, число соединительных проводов) при сохранении числа датчиков, обеспечивая одновременно соответствующую обработку контролируемых сигналов.

Следует отметить, что при выполнении данной работы не было получено формализованных способов создания различных схем, обеспечивающих различимость датчиков. Однако при изучении диагностических свойств различных схем были обнаружены классы схем и условия для них, которые дают возможность независимого наблюдения датчиков. Так как общепринятых названий для таких схем не найдено, то будем в дальнейшем называть их схемами с независимой наблюдаемостью датчиков (СННД) и присваивать им соответствующий номер.

На рис. 1—3 изображены структурные схемы устройств автоматического контроля (УАК), использующие схемы с независимой наблюдаемостью датчиков (СННД), соответственно, типа 1, типа 2, типа 3.

Общими для всех УАК являются:

- СННД соответствующего типа;
- канал связи (КС);
- приемный прибор (ПП);
- блок настройки модели (БНМ);
- модель системы датчиков (МСД).

МСД предназначена для хранения текущих значений параметров датчиков и вычисления соответствующих им выходов СННД. БНМ предназначен для определения номера датчика, изменившего свое состояние, величины этого изменения и корректировки значений, хранящихся в МСД.

2. Устройство автоматического контроля со схемой с независимо наблюдаемыми датчиками типа I

СННД типа I (рис. 1) представляет собой древовидную схему соединения датчиков. Пусть в качестве датчиков используются, например, резистивные датчики, т.е. такие датчики, сопротивление которых зависит от контролируемых параметров объекта.

Пусть сопротивления датчиков в какой-либо момент времени равны R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , R_6 и R_7 . Тогда сопротивления на выходах системы датчиков равны:

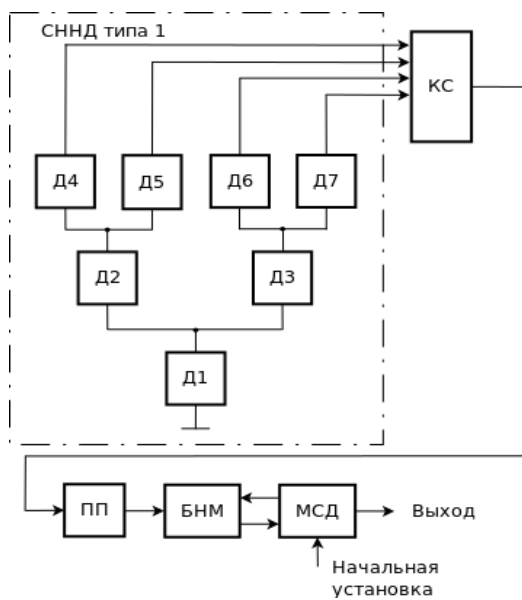


Рис. 1.

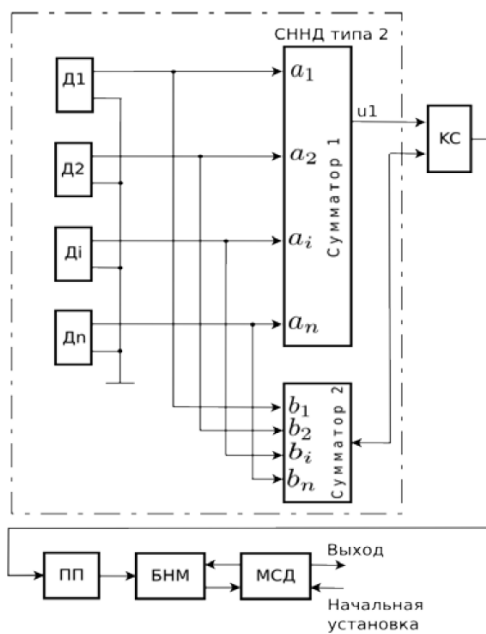


Рис. 2.

$$\begin{aligned}
 R^1 &= R_1 + R_2 + R_4, \\
 R^2 &= R_1 + R_2 + R_5, \\
 R^3 &= R_1 + R_3 + R_6, \\
 R^4 &= R_1 + R_3 + R_7.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Или

$$R_6 = AR_0,$$

где $R_6 = [R^1 R^2 R^3 R^4]^T$ — вектор выходных сопротивлений,

$R_0 = [R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 R_7]^T$ — вектор сопротивлений датчиков.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{2}$$

Чувствительности выходных сопротивлений СННД типа I относительно сопротивлений датчиков равны:

$$\begin{aligned}
 L_1 &= [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T, & L_4 &= [1 \ 0 \ 0 \ 0]^T, \\
 L_2 &= [1 \ 1 \ 0 \ 0]^T, & L_5 &= [0 \ 1 \ 1 \ 1]^T, \\
 L_3 &= [0 \ 0 \ 1 \ 1]^T, & L_6 &= [0 \ 0 \ 1 \ 0]^T, \\
 L_7 &= [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T.
 \end{aligned}$$

Используя условие независимой наблюдаемости подсхем (2) получим:

$$\text{rang}[L_i; L_j] = 2, \quad \forall i, j, \quad i \neq j.$$

Следовательно, датчики, соединенные по древовидной схеме являются различимыми. Это же будет справедливо для любой древовидной схемы.

Алгоритм обработки измерительной информации приведен на рис. 3.

Перед началом работы в МСД записываются все текущие значения параметров датчиков. На основании сравнения выходов СННД типа I R^1, R^2, R^3, R^4 и выходов МСД $R_M^1, R_M^2, R_M^3, R_M^4$ формируются коды двоичных чисел a_1, a_2, a_3, a_4 , каждое из которых соответствует строке матрицы A (2). После этого осуществляют операцию поразрядной конъюнкции над этими числами. Номер ненулевого бита в двоичном числе d определяет номер датчика, изменившего свое

состояние. Величина изменения параметра этого датчика равна ненулевому рассогласовыванию между двумя любыми выходами МСД и СННД типа I. На эту величину следует изменить значение параметра соответствующего датчика в МСД для приведения ее в соответствие СННД типа I, и после этого работа алгоритма повторяется.

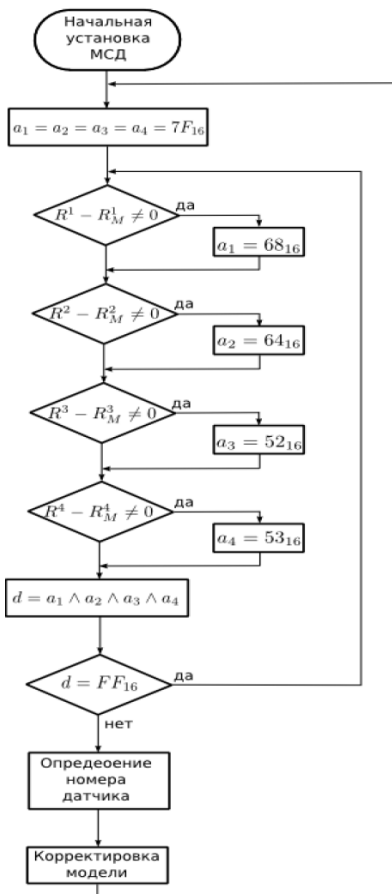


Рис. 3.

3. Устройство автоматического контроля со схемой с независимо наблюдаемыми датчиками типа 2

СННД типа 2 (рис. 2) представляет собой совокупность датчиков, первые выходы которых объединены, а второй выход каждого датчика подключен к своим входам первого и второго сумматоров.

Пусть в качестве датчиков используются источники ЭДС, управляемые контролируруемыми параметрами. Обозначим через a_i и ϵ_i коэффициенты, с которыми суммируются сигналы i -го датчика на первом и втором сумматорах соответственно, а через x_i и x_{M_i} — значения параметров (напряжения) датчика и соответствующего ему значения, хранящегося в МСД. Тогда на выходе СННД типа 2 будут напряжения:

$$U_1 = \sum_{i=1}^n a_i x_i, \quad U_2 = \sum_{i=1}^n \epsilon_i x_i,$$

а на выходе МСД:

$$U_{M_i} = \sum_{i=1}^n a_i x_{M_i}, \quad U_{M_2} = \sum_{i=1}^n \epsilon_i x_{M_i}.$$

Следовательно, для СННД типа 2 можем записать:

$$U = \begin{bmatrix} a \\ \epsilon \end{bmatrix} x. \quad (3)$$

Чувствительности выходных сигналов СННД типа 2 относительно выходных сигналов датчиков равны:

$$L_i = \begin{bmatrix} a_i \\ \epsilon_i \end{bmatrix}.$$

Для того, чтобы все датчики были независимо наблюдаемы, в силу (1) необходимо и достаточно:

$$\text{rang} \begin{bmatrix} a_i & a_j \\ \epsilon_i & \epsilon_j \end{bmatrix} = 2, \quad \forall i, j; i \neq j,$$

т.е.

$$\det \begin{bmatrix} a_i & a_j \\ \epsilon_i & \epsilon_j \end{bmatrix} \neq 0. \quad (4)$$

Если коэффициенты a_i , ϵ_i выбрать так, чтобы (4) выполнялось, то все датчики будут различимы.

4. Устройство автоматического контроля со схемой с независимо наблюдаемыми датчиками типа 3

СННД типа 3 (рис. 3) представляет собой древовидную схему, каждый выход которой подключен к своим входам первого и второго сумматоров. Такое построение схемы позволяет по двум измеряемым сигналам сначала восстановить сигналы на выходах древовидной схемы, а затем определить номер датчика, изменившего свое состояние, и величину самого изменения.

Пусть в качестве датчиков используются источники ЭДС e_j , управляемые контролируемыми параметрами объекта (фотоэлементы, термопары и т.п.). Обозначим через a_i, ϵ_i — коэффициенты, с которыми суммируются сигналы U_i соответствующих выходов древовидной схемы датчиков. Тогда напряжение на выходе древовидной схемы будет равно:

$$u = Ae, \quad (5)$$

где A — матрица из (2).

А напряжение на выходе СННД типа 3 будет определяться соотношением

$$v = \begin{bmatrix} a^T \\ \epsilon^T \end{bmatrix} u = \begin{bmatrix} a^T \\ \epsilon^T \end{bmatrix} Ae \quad (6)$$

или

$$v = Be, \quad (7)$$

$$B = \begin{bmatrix} \sum a_i & a_1 + a_2 & a_3 + a_4 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \sum \epsilon_i & \epsilon_1 + \epsilon_2 & \epsilon_3 + \epsilon_4 & \epsilon_1 & \epsilon_2 & \epsilon_3 & \epsilon_4 \end{bmatrix}.$$

Для выполнения условия независимой наблюдаемости (2.1) необходимо и достаточно, чтобы

$$\text{rang}[B_i; B_j] = 2 \quad \forall i, j, i \neq j,$$

где B_i и B_j — i -й и j -й столбцы матрицы B . Т.е. достаточно рассчитать соотношения:

$$\frac{\sum a_i}{\sum \epsilon_i}, \frac{a_1 + a_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}, \frac{a_3 + a_4}{\epsilon_3 + \epsilon_4}, \frac{a_1}{\epsilon_1}, \frac{a_2}{\epsilon_2}, \frac{a_3}{\epsilon_3}, \frac{a_4}{\epsilon_4} \quad (8)$$

и проверить их попарное неравенство. Такому условию удовлетворяет например, следующий набор коэффициентов

$$a_1 = 1, a_2 = 2, a_3 = 3, a_4 = 4,$$

$$\epsilon_1 = 5, \epsilon_2 = 6, \epsilon_3 = 7, \epsilon_4 = 8.$$

Следовательно, приведенная СННД типа 3 с таким набором коэффициентов обеспечивает независимое наблюдение всех датчиков.

Определять номер датчика, изменившего свое состояние, можно, сравнивая отношения $\frac{\Delta u_1}{\Delta u_2}$ с числами, рассчитанными в (8). Величи-

ну изменения можно определить из (6), учитывая, что изменил состояние только один датчик:

$$\Delta \epsilon_1 = \frac{\Delta U_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4},$$

$$\begin{aligned}\Delta e_2 &= \frac{\Delta U_1}{a_1 + a_2}, \Delta e_3 = \frac{\Delta U_1}{a_3 + a_4}, \\ \Delta e_4 &= \frac{\Delta U_1}{a_1}, \Delta e_5 = \frac{\Delta U_1}{a_2}, \\ \Delta e_6 &= \frac{\Delta U_1}{a_3}, \Delta e_7 = \frac{\Delta U_1}{a_4}.\end{aligned}$$

Этот алгоритм может быть реализован как программными, так и аппаратными средствами.

5. Выводы

На основе анализа диагностических свойств подсхем предложены способы построения и разработаны функциональные схемы и алгоритмы работы многоканальных устройств автоматического контроля, позволяющие снизить требования к максимальной пропускной способности канала связи.

Список использованной литературы:

1. Foster R. An extension of a network theorem / R. Foster // IRE Trans., CT-8. — 1961. — P. 77–76.
2. Щухат Б. А. Модификация метода неразрушающего поэлементного диагностирования линейных пассивных цепей / Б. А. Щухат // Тез. докл. науч.-техн. конф. "Диагностическое обеспечение РЭА на этапах проектирования и производства". — Л. : Судостроение, 1990. — С. 91.
3. Страхов А. В. Автоматизированные измерительные комплексы / А. В. Страхов. — М. : Энергоатомиздат, 1982. — 216 с.

The article discusses the use of the property of independent sensors observability of subcircuits to build functional schemes and algorithms of the automatic multi-channel control.

Key words: *automatic-control device, diagnostic schemes, the property of independent subcircuits observability.*

Отримано: 12.10.2012