

Б.П. Подкопаев, А.С. Якшин
(г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова)

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО СТАТИЧЕСКИМИ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ

DIAGNOSTIC MODELING OF RADIO ENGINEERING SYSTEM NODES
WITH STATIC NONLINEARITIES

Рассмотрено решение задачи функционального диагностирования радиотехнических систем со статическими нелинейностями, позволяющих проведение декомпозиции описания структуры объекта на компоненты с одним входом и одним выходом. Представленный подход позволяет осуществить поиск и локализацию ошибок с использованием устройства диагностирования, не превосходящего по сумме компонент исходную систему.

The paper considers the solution of the problem of functional diagnostics of radio engineering systems with static nonlinearities that allow the decomposition of the description of the object structure into components with one input and one output. The presented approach allows you to search for and locate errors using a diagnostic device that does not exceed the sum of the components of the original system.

Ключевые слова: функциональное диагностирование, структурная схема, статическая нелинейность, наблюдатель состояния, избыточность.

Keywords: functional diagnostics, block diagram, static nonlinearity, state observer, redundancy.

Ужесточения требований к достоверности выходной информации при функционировании современных радиотехнических систем, а также тяжесть последствий при возникновении нештатных ситуаций во время эксплуатации, приводит к необходимости использовать в составе объектов, выполняющих ответственные функции, средства функционального диагностирования (ФД).

Надежностные характеристики механических и электромеханических узлов, выполняющих ответственные функции при позиционировании или слежении за целью, зачастую хуже, чем у электронных блоков, а цена отказа хотя бы одного из них, как правило, ведет к потере работоспособности всей системы. Подобные устройства обычно сами входят как составные элементы в более сложные системы и могут быть представлены узлами, имеющими один вход и один выход. В общем виде структуру таких объектов целесообразно описывать рядом последовательно соединенных линейных динамических звеньев и статических нелинейностей.

Решение задачи диагностирования подобных систем в общем виде сопровождается рядом трудностей. Так, если в рассматриваемом случае применить известные методы и осуществить переход от структурной схемы к матричному описанию системы в пространстве состояний, а затем к полученному описанию применить линейные методы диагностирования, к примеру, изложенные в [1], основанные на использовании канонических форм, то получить при этом корректно работающее устройство функционального диагностирования (УФД) невозможно. Приведение к каноническим формам влечет за собой структурные преобразования, недопустимые в нелинейном случае.

Конечно, можно перейти к описанию системы в пространстве состояний и решить задачу способами, разработанными для непрерывных нелинейных систем [2], а затем вернуться к структурным схемам. Но такой подход нельзя назвать удачным, поскольку в процессе разработки структурная схема объекта диагностирования (ОД) может уточняться, что приведёт к необходимости многократных переходов в пространство состояний и обратно.

Приведённые соображения позволяют считать целесообразной разработку методов, ориентированных на решение задачи ФД систем, заданных структурными схемами, состоящими из линейных звеньев и статических нелинейностей.

Пусть ОД представляет собой стационарную систему с сосредоточенными параметрами, содержащую как линейные, так и нелинейные звенья (статические нелинейности), причём все элементы его структурной схемы имеют один вход и один выход, а математические описания отдельных звеньев известны.

В работе [3] подробно рассмотрен математический аппарат решения задачи ФД в соответствии с принятой постановкой.

В качестве примера использования предложенной методики построим УФД для следящего электропривода (СЭП) азимутального канала антенного устройства радиотелескопа типа СМ214АУ, работающего в миллиметровом диапазоне.

Задача фиксации ошибок в реальном времени при работе СЭП радиотелескопов весьма актуальна, поскольку качество работы системы наведения антенны существенным образом влияет на их эксплуатационные характеристики. Цена ошибки, а, следовательно, вынужденного простоя объектов такого уровня весьма высока.

В структурной схеме, представленной на рис. 1, можно выделить регулятор положения, регулятор скорости и объект управления. Кроме того для корректной работы системы в неё введён наблюдатель, идентифицирующий параметры объекта управления, и модальный регулятор. Их влияние при диагностическом моделировании учитывалось как дополнительный вход системы.

Структурная схема ОД содержит 32 звена, значения характеристик звеньев (передаточные функции и статические нелинейности) соответствуют

параметрам радиотелескопа CM214AU с диаметром главного зеркала 70 метров для азимутальной оси наведения [4].

Суммарный объём построенного УФД составляет 32 звена, т. е. равен размерности вектора состояния ОД.

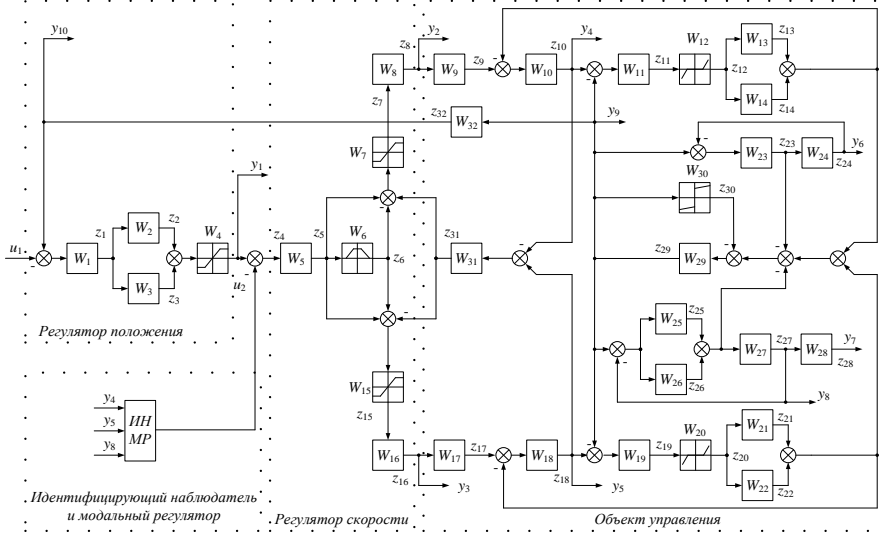


Рис. 1. Структурная схема следящего привода оси наведения главного зеркала по азимуту

Для оценки способности УФД к различению ошибок на основе результатов моделирования составлена таблица соответствия ошибок различным значениям индикаторов (табл. 1). Индикаторы принимают значения 1, в случае если i -й диагностический наблюдатель чувствителен к ошибке рассматриваемого звена, и 0 в противном случае.

Таблица 1. Соответствия классов ошибок значениям индикаторов

Класс ошибок	Индикатор	Звенья	Класс ошибок	Индикатор	Звенья
1	1000000000	$W_1 W_2 W_3 W_4$	9	0000010010	W_{23}
2	0110000000	$W_5 W_6 W_{31}$	10	0000010000	W_{24}
3	0100000000	$W_7 W_8$	11	0000000110	$W_{25} W_{26}$
4	0001000000	$W_9 W_{10}$	12	0000000100	W_{27}
5	0001000010	$W_{11} W_{12} W_{13} W_{14}$	13	0000001000	W_{28}
6	0010000000	$W_{15} W_{16}$	14	0000000010	$W_{29} W_{30}$
7	0000100000	$W_{17} W_{18}$	15	0000000001	W_{32}
8	0000100010	$W_{19} W_{20} W_{21} W_{22}$			

Полученная таблица характеризует достигнутую в результате решения задачи диагностирования глубину поиска. Анализируя таблицу, можно

сделать вывод, что удастся различить ошибки в звеньях 23, 24, 27, 28, 32; ошибки в группах {1, 2, 3, 4}, {5, 6, 31}, {7, 8}, {9, 10}, {11, 12, 13, 14}, {15, 16}, {17, 18}, {19, 20, 21, 22}, {25, 26}, {29, 30} остались неразличимы. Таким образом, построенное УФД позволяет различить 15 классов ошибок для ОД, состоящем из 32 звеньев.

Для оценки эффективности предлагаемого метода сравним избыточность полученных УФД с результатом, имеющем место при построении УФД методом последовательного выбора звеньев [5, 6].

Последовательный алгоритм даст следующий состав множеств компонент вектора \mathbf{z} , ошибки которых должен обнаруживать разрабатываемый наблюдатель: {4, 2, 3, 1, 33}, {8, 7, 5, 6, 31, 34}, {16, 15, 5, 6, 31, 34}, {10, 9, 13, 14, 12, 11}, {18, 17, 21, 22, 20, 19}, {24, 23}, {28}, {27, 25, 26}, {29, 13, 14, 21, 22, 23, 25, 26, 30, 12, 20, 11, 19}, {32}. Т. е., для диагностирования ОД, вектор состояния которого состоит из 32 компонент, сумма элементов полученных множеств составляет 49, и в банк наблюдателей входят 17 звеньев сверх системного дубля.

В настоящей работе представлены результаты построения УФД на основе метода декомпозиции структурной схемы ОД с сохранением структуры связей между компонентами его вектора состояния. Метод пригоден для решения задачи обнаружения и локализации ошибок в системах с нелинейными элементами. Кроме того, он обеспечивает умеренную избыточность полученных технических решений: УФД по сумме компонент вектора состояния не превосходит ОД.

Список литературы

1. Андреев, Ю.Н. Управление линейными конечномерными объектами /Ю.Н. Андреев. – М.: Наука, 1976. – 424 с.
2. Подкопаев, Б.П. Алгебраическая теория функционального диагностирования динамических систем: в 2 частях. Часть 2. Системные алгебры, алгебраическая модель функционального диагностирования, реализация модели функционального диагностирования. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 132 с.
3. Podkopaev, B.P. Detecting Errors in Nodes of Technical Systems with Static Nonlinearities / B.P. Podkopaev, A.S. Yakshin //Automation and Remote Control, 2019 . – Vol. 80. – No. 8. – pp. 1416 – 1424
4. ФГБУП Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук: официальный сайт: – URL: https://www.sao.ru/hq/vam/conf_spbf/doc1/Gimmel'man.pdf (дата обращения: 10.10.2020)
5. Жирабок, А.Н. Диагностирование технических систем, заданных структурными схемами с нелинейными звеньями / А.Н. Жирабок, А.С. Якшин // Мехатроника, автоматизация, управление. № 9, 2006. – С. 36-44.
6. Подкопаев, Б.П. Функциональное диагностирование узлов радиосистем со статическими нелинейностями / Б.П. Подкопаев, А.С. Якшин // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2016. – Вып. 2. – С. 16-23.

Материал поступил в редколлегию 14.10.20.