



УДК 621.38

БИЗНЕС-ПРОЦЕСС ТЕСТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Г. С. Бритов, канд. техн. наук, доцент кафедры информационных систем ГУАП.

Рассмотрена задача организации бизнес-процесса тестового диагностирования линейных динамических систем с использованием передаточных функций их звеньев. Приведена классификация методов контроля линейных динамических систем на основе передаточных функций. Предложен подход к выбору метода диагностирования решением построенного уравнения. Выполнено компьютерное моделирование системы тестового контроля звена второго порядка при имитации параметрических дефектов. Разработана IDEF3-модель рассмотренного бизнес-процесса тестового диагностирования.

The problem of the organization of the business process test diagnostic of linear dynamic systems using transfer functions of their units. Classification of methods of control of linear dynamic ski systems based on transfer functions. The approach to the choice of the method of diagnosing the constructed solution of the equation. Performed computer modeling of the test control system link second-row simulated parametric defects. Developed IDEF3-model is considered a business process test diagnosing.

Ключевые слова: *линейная динамическая система, передаточная функция системы, тестовое диагностирование, PFDD-диаграммы IDEF3-технологии.*

Keywords: *linear dynamic system, transfer function of system, test diagnosing, PFDD-diagrams of IDEF3-technology.*

В работах [1,8] была поставлена и решена задача минимизации общей сложности тестирующего устройства, включающего генератор входных воздействий и анализатор реакций. При этом в качестве критерия сложности использовалась размерность тестирующего устройства (тестера), т.е. общий порядок описывающей его системы дифференциальных уравнений. Процедура синтеза тестера минимальной размерности, используемая в указанных работах, основывалась на концепции (А,В)-инвариантных подпространств [14] и требовала достаточно сложных матричных вычислений.

В работе [15] предлагается иной путь решения той же задачи, не требующий привлечения теории (А,В)-инвариантности. Он опирается на принцип дуальности функционального и тестового диагностирования, сформулированный в работе [8], который аналогичен принципу дуальности свойств управляемости и наблюдаемости, используемому в классической теории управления. В соответствии с ним задача синтеза тестера минимальной размерности для данной системы управления сводится к задаче синтеза устройства функционального диагностирования минимальной размерности для дуальной системы. Эта задача решается известными методами [8,13], после чего выполняется обратный дуальный переход, дающий решение исходной задачи.

Далее рассматриваются линейные динамические системы, описываемые с помощью передаточной функции:

$$y(p) = W(p) \cdot u(p), \quad (1)$$

где $u(p)$, $y(p)$ – изображения преобразования Лапласа входов и выходов; $W(p)$ – передаточная функция системы.



Дефекты, возникающие в системе, приводят к нарушению правильного выхода, определенного выражением (1). Ограничимся только параметрическими дефектами, которые изменяют коэффициенты передаточной функции.

Предлагается рассмотреть с единых позиций методы тестового диагностирования линейной динамической системы, которые основаны на использовании передаточной функции и возможности строить реакцию системы на задаваемые входные сигналы.

При организации диагностирования необходимо формировать тестовый сигнал $u_T(t)$ и эталонную реакцию на него $y_T(t)$, чтобы при отсутствии дефектов в тестовом режиме выполнялось равенство $y(t)=y_T(t)$. При этом получается диагностический признак $\Delta(t) = y(t) - y_T(t)$, который должен быть равен нулю.

Рассмотрим схему тестового диагностирования линейных динамических систем. Она приведена на рис.1. Объектом диагностирования является линейная динамическая система ЛДС. На ее вход подается специальный, тестовый сигнал, получаемый с помощью генератора тестового воздействия ГТВ. В свою очередь он получает сигнал от генератора входных сигналов ГВС. Этот сигнал подается также на тестер Т.

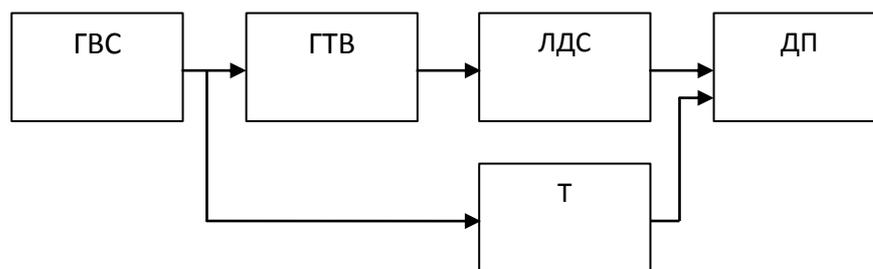


Рис.1. Схема тестового диагностирования

ГВС – генератор входного сигнала,
ГТВ – генератор тестового воздействия,
ЛДС – линейная динамическая система,
ДП – диагностическая процедура,
Т – тестер.

Сигналы с ЛДС и Т поступают на диагностическую процедуру ДП. Здесь решается задача определения наличия или отсутствия дефекта в ЛДС. В отличие от схемы тестового контроля систем управления, описанной в работе [15], в рассматриваемой схеме тестер Т предназначен только для создания сигнала, который позволяет сформировать вместе с сигналом ЛДС требуемый диагностический признак.

Следует отметить, что в настоящей статье речь идет о диагностировании на основе передаточных функций ЛДС, то ГВС и Т будут ориентированы на методы тестового диагностирования по модели [8].

Таким образом, можно сформулировать задачи тестового диагностирования ЛДС:

1. Получить передаточную функцию ЛДС.
2. Рассчитать передаточную функцию ГТВ так, чтобы обеспечить требуемый тестовый режим ЛДС.
3. Рассчитать передаточную функцию тестера Т так, чтобы обеспечить диагностический признак, который должен быть равен нулю при отсутствии дефектов.



4. Принять решение о результате тестирования по полученному диагностическому признаку.

Так как существует большое число методов тестирования систем по их моделям, то целесообразно рассмотреть их классификацию.

Признак классификации по сложности метода тестового диагностирования предполагает, что рассчитанные передаточные функции ГТВ и Т в свою очередь имеют различную сложность. Под сложностью здесь следует понимать следующее:

- Устройство простое, если его передаточная функция равна 1.
- Устройство сложное, если его передаточная функция представляет собой дробно-рациональную функцию от оператора p .

Поэтому возможны четыре следующих класса методов тестового диагностирования ЛДС на основе передаточных функций:

1. Простой ГТВ и простой Т (ПГ-ПТ).
2. Простой ГТВ и сложный Т (ПГ-СТ).
3. Сложный ГТВ и простой Т (СГ-ПТ).
4. Сложный ГТВ и сложный Т (СГ-СТ).

Рассмотрим некоторые методы тестового диагностирования ЛДС, имеющей передаточную функцию $W(p)$ и использующие схему тестового диагностирования, показанную на рис.1. Если передаточные функции ГТВ и Т обозначить $W_T(p)$ и $W_T(p)$ соответственно, то с точки зрения предлагаемой классификации можно предложить следующие виды методов контроля:

- Класс ПГ-ПТ: $W_T(p) = 1$, $W_T(p) = 1$ – контроль по переходной характеристике при входном сигнале из ГВС в виде единичного скачка или по весовой характеристике при входном сигнале из ГВС в виде единичного импульса.
- Класс ПГ-СТ: $W_T(p) = 1$, $W_T(p) = W(p)$ – контроль по модели.
- Класс СГ-ПТ: $W_T(p) = W^{-1}(p)$, $W_T(p) = 1$ – контроль с помощью компенсации динамики объекта диагностирования при одинаковых порядках числителя и знаменателя передаточной функции.
- Класс СГ-СТ: $W_T(p) = W_0(p) \cdot W^{-1}(p)$, $W_T(p) = W_0(p)$ – контроль с помощью компенсации динамики объекта диагностирования при порядке числителя передаточной функции меньшем порядка ее знаменателя.

Следует отметить, что при порядке числителя передаточной функции ЛДС меньшем порядка ее знаменателя передаточная функция $W^{-1}(p)$ физически нереализуема. Поэтому в рассмотрение вводится передаточная функция $W_0(p)$, которая должна обеспечить физическую реализуемость ГВС. Примером может служить передаточная функция вида:

$$W_0(p) = \frac{1}{p^k}.$$

Здесь k – разность порядков числителя и знаменателя передаточной функции ЛДС.

Исходными данными для принятия решения о выборе метода тестового диагностирования служат передаточная функция ЛДС и требование равенства нулю диагностического признака. Если передаточная функция задана, то из схемы тестового диагностирования следует равенство

$$\Delta = W_T(p) \cdot (W(p) - W_T(p)) \cdot u_T$$



Учитывая требование $\Delta=0$ при любых значениях тестового сигнала u_T , получим уравнение для выбора метода:

$$W_{\Gamma}(p) \cdot W(p) - W_{\Gamma}(p) \cdot W_T(p) = 0. \quad (2)$$

В этом уравнении две неизвестные передаточные функции ГТВ и Т. Поэтому существует бесконечное множество решений уравнения (2). Все описанные в предыдущем пункте методы контроля являются решениями этого уравнения. Относительно метода класса ПГ-ПТ следует отметить, что он оказывается решением уравнения выбора (2) только в стационарном режиме при единичном стационарном коэффициенте передачи ЛДС.

Может вызвать интерес решение следующего вида:

$$W_{\Gamma}(p) = \frac{1}{1+W(p)}, \quad W_T(p) = \frac{W(p)}{1+W(p)}. \quad (3)$$

Схема реализации метода контроля при использовании решения (3) уравнения выбора (2) показана на рис.2.

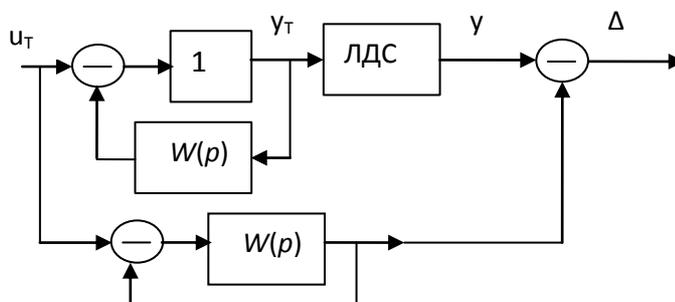


Рис.2. Схема контроля ЛДС

При реализации передаточных функций (3) нет необходимости применять операции деления, достаточно построить звенья, охваченные отрицательными обратными связями.

Как хорошо известно, передаточная функция звена второго порядка имеет вид:

$$W(p) = \frac{1}{T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1},$$

где: T_2, T_1 – постоянные времени системы. Если $T_1 > 2 \cdot T_2$, то полюса системы будут действительными. Поэтому переходная характеристика системы представляет собой линейную комбинацию двух экспонент. Стационарный коэффициент передачи системы равен 1. Эту информацию можно использовать при организации тестирования методом контроля по переходной характеристике (ПГ-ПТ).

Моделирование бизнес-процессов осуществляется на основе стандартных технологий, обеспечивающих единые графические изображения и приемы построения моделей. Примерами могут служить IDEF-, RUP, ARIS-технологии. В работе [16] описан формальный метод построения диаграмм IDEF3- технологии.

Рассмотрим технологическую модель бизнес-процесса тестирования ЛДС. На рис.3 приведено дерево узлов модели. Оно содержит всего три уровня, четыре PFDD-диаграммы и десять операций. На рис.4а,б,в,г показаны все эти диаграммы.

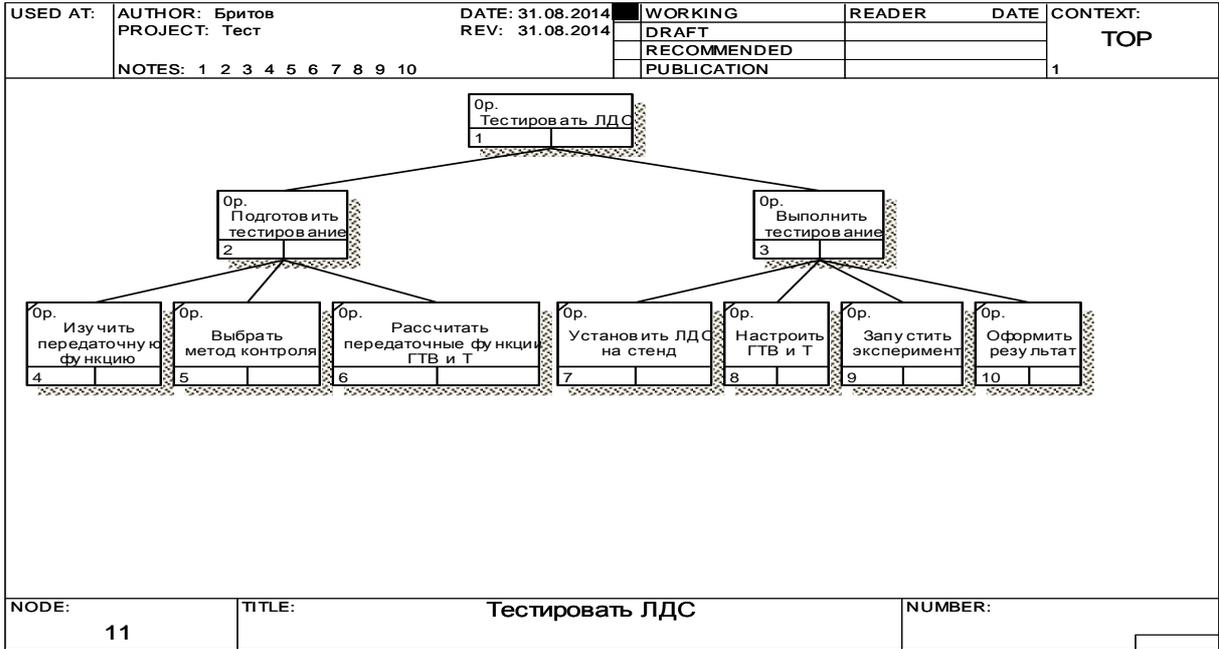


Рис.3. Дерево узлов технологической модели тестирования ЛДС

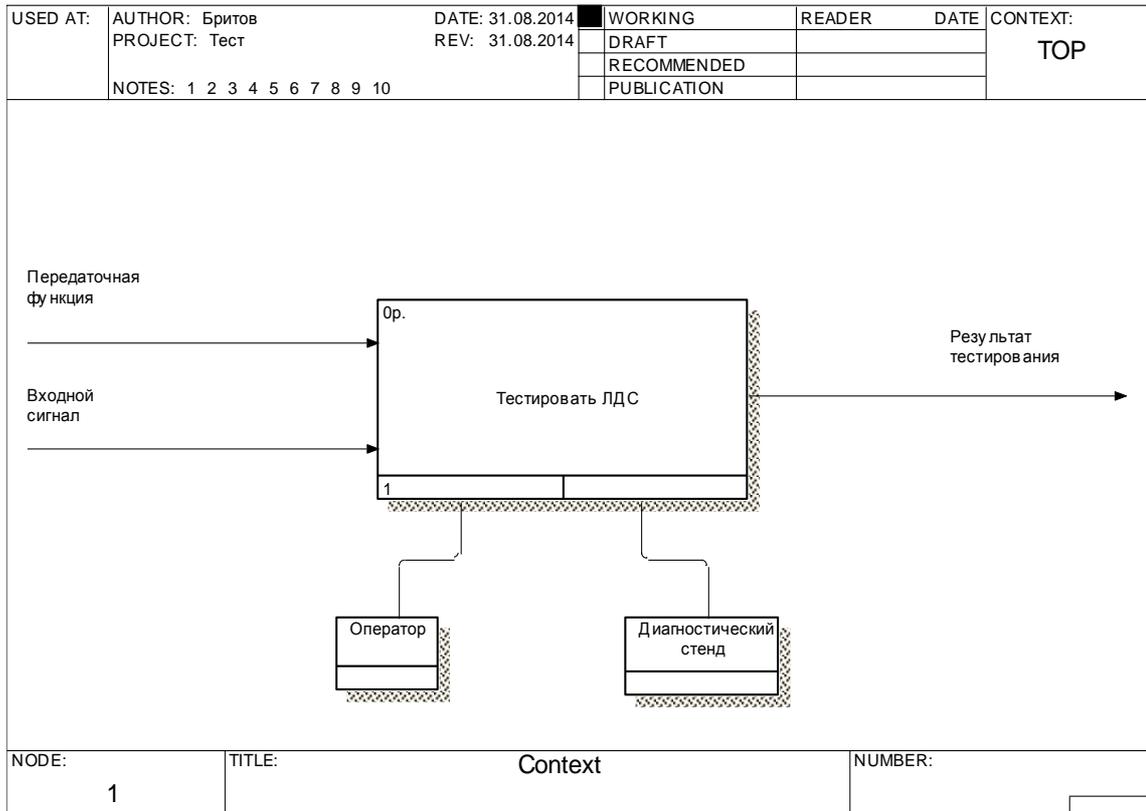


Рис.4а. Контекстная диаграмма

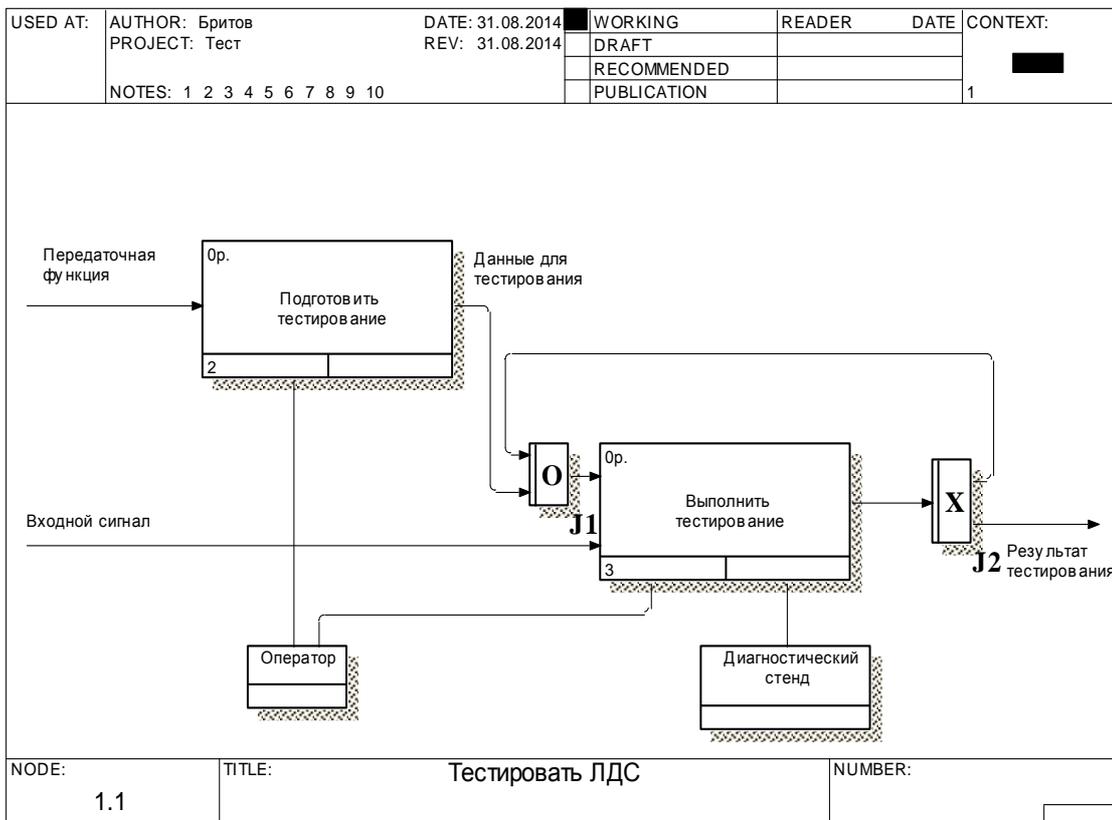


Рис.4б. Диаграмма второго уровня

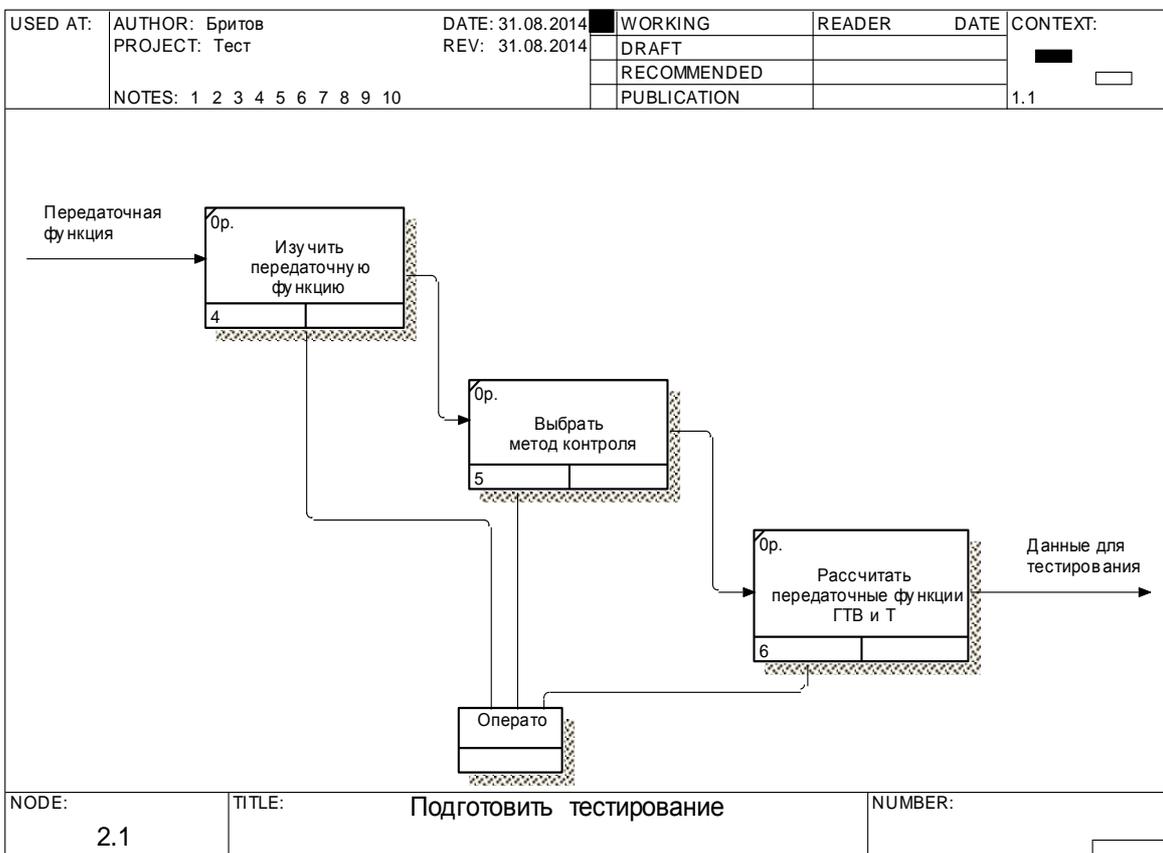


Рис.4в. Первая диаграмма третьего уровня

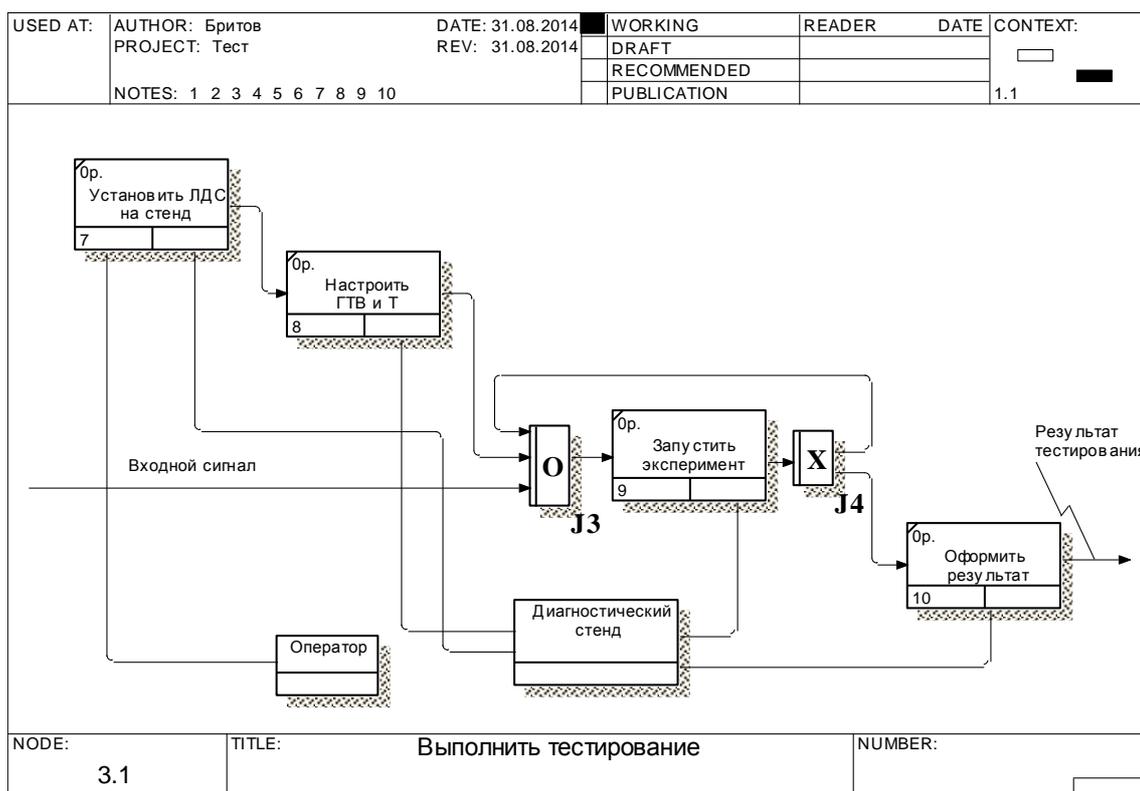


Рис.4г. Вторая диаграмма третьего уровня

Учитывая небольшую глубину дерева узлов, нельзя говорить о подробном описании бизнес-процесса тестирования ЛДС. Тем не менее, с помощью построенных четырех PFDD-диаграмм можно получить хорошее представление о выполняемых здесь операциях и обратить внимание на «узкое» место – операция «Запустить эксперимент», замкнутую обратной связью.

Изложен подход к организации тестового контроля линейных динамических систем, основанный на использовании диагностической модели системы. Показано, что для рассматриваемых линейных динамических систем с известными передаточными функциями звеньев и определенной структурой связей может быть построена тестовая система с рассчитанными передаточными функциями тестеров. Тогда предлагаемая процедура тестового диагностирования не только обнаруживает появление однократного дефекта, но и указывает номер отказавшего звена. Результаты компьютерного моделирования показывают эффективность такого контроля по отношению к однократным, параметрическим дефектам звеньев системы.

Работа выполнена по грантам РФФИ 14-08-00327, 14-08-00399



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мироновский Л.А. Тестовый контроль линейных систем управления. //Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 2005, N5. С.3-8.
2. Kadim H.J. Minimal transient modes for faults detection in analogue VLSI circuits // Radioelectronics & Informatics. 2003. №3. P.82-86.
3. Мироновский Л.А., Слаев В.А. Синтез оптимальных тестовых сигналов как решение обобщенной задачи Булгакова. //Автоматика и телемеханика, 2002, N4, с.55-66.
4. Мироновский Л.А. Диагностирование линейных систем методом комплементарного сигнала.//Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002, N5, с.52-57.
5. Мироновский Л.А. Диагностирование систем управления методом аннулирующего сигнала. Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте, 5, 2001, с.3-7.
6. Abdeerrahman A., Cerny E. Worst tolerance analysis and CLP-based multifrequency test generation for analogue circuits // IEEE Trans. Computer-aided design. 1999. V.18. P.332-345.
7. Lindermeir W., Graeb H., Antreich K. Analogue testing by characteristic observation inference // IEEE Trans. Computer-aided design. 1999. V.18. P.1353-1368.
8. Мироновский Л.А. Функциональное диагностирование динамических систем. М., МГУ, 1998. 340с.
9. Chao C., Lin H., Milor L. Optimal testing of VLSI analogue circuits // IEEE Trans. Computer-aided design. 1997. V.16. P.58-77.
10. Егоров А.Н., Мироновский Л.А. Использование нулей динамических систем в задачах технической диагностики.// Электронное моделирование, N6, 1996, с.34-42.
11. Архангельский О.И., Мироновский Л.А. Диагностирование динамических систем с помощью операторных норм.// Электронное моделирование, N5, 1995, с.40-49.
12. Игнатъев М.Б., Мироновский Л.А., Юдович В.С. Контроль и диагностика робототехнических систем. Л. ЛИАП, 1985, 160с.
13. Мироновский Л.А. Тестовый контроль передаточных функций стационарных объектов. //Изв. Вузов, Приборостроение, 1984, N10. С.22-26.
14. Уонем М. Линейные многомерные системы управления. М., Наука. 1980. 376с.
15. Бритов Г.С., Мироновский Л.А. Расчет тестового режима линейных систем управления. // Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика, 2006, №11. С. 44 – 49
16. Бритов Г.С. Метод формального описания PFDD-диаграмм IDEF3-технологии // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2. С. 25-32.