

УДК 621.317.39

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ С ПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ ДАТЧИКАМИ ДЛЯ ИИС

К.Л. Куликовский¹, М.В. Чернецов²

¹ Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

² Пензенский региональный центр высшей школы (филиал) Российского государственного университета
инновационных технологий и предпринимательства
Россия, 440026 г. Пенза, ул. Володарского, 6

Рассматриваются методы синтеза имитационных моделей пассивных и активных измерительных цепей с одинарными и дифференциальными параметрическими датчиками неэлектрических величин для информационно-измерительных систем на основе программных средств MatLab Power System Blockset. Приводятся исследования разработанных имитационных моделей на тестовых моделях, дается сравнительный анализ полученных результатов и рекомендации по их применению. Достоинством синтезированных моделей является то, что, используя известные методы оптимизации, имеется возможность выбрать наиболее оптимальный способ решения дифференциальных уравнений, описывающих исследуемую измерительную цепь. Это позволяет выбрать наиболее оптимальные критерии с точки зрения разработчика информационно-измерительной системы, исходя из требований по быстродействию и допустимой погрешности измерения.

Ключевые слова: измерительная цепь, параметрический датчик, имитационная PSB-модель, тестовая модель, временная диаграмма, погрешность.

Современные тенденции развития информационно-измерительных систем (ИИС) для измерения неэлектрических величин с помощью параметрических датчиков (ПД) неразрывно связаны с повышением к ним требований по точности, чувствительности и быстродействию. При этом необходимо принимать во внимание зачастую противоречивые требования к улучшению технических и метрологических характеристик, ведущих к удорожанию ИИС, и требования к снижению затрат на проектные и конструктивно-технологические работы, элементную базу и эксплуатационное обслуживание. Разрешение этих противоречий достигается разработкой новых методов, алгоритмов измерения неэлектрических величин, а также алгоритмов обработки измерительной информации, новых методик измерительного эксперимента, привлечением более совершенного математического аппарата, использованием методов имитационного моделирования процессов измерительного преобразования. Существенным обстоятельством является то, что современное программное обеспечение и аппаратные средства позволяют обеспечить высокую степень идентичности результатов экспериментов на имитационной модели реальным условиям эксплуатации ПД с

Константин Лонгинович Куликовский (д.т.н., проф.), профессор кафедры «Информационно-измерительная техника».

Михаил Владимирович Чернецов (к.т.н., доц.), заведующий кафедрой «Управление информационными ресурсами».

учетом воздействия окружающей среды. Дополнительным достоинством методов имитационного моделирования является возможность всесторонних исследований на этапе проектирования ИИС процессов измерения, алгоритмов обработки сигнала измерительной цепи (ИЦ) для ПД с целью максимального удовлетворения требований технического задания на ИИС. Учитывая, что метрологические характеристики ИИС существенным образом определяются точностью, быстродействием и чувствительностью преобразования в ИЦ, исследование свойств ИЦ с ПД несомненно представляет первоочередной интерес. Поэтому синтез имитационных моделей ИЦ с ПД и их исследование с целью прогнозирования достижимых характеристик на этапе проектирования ИИС является, несомненно, актуальной задачей.

Вопросы имитационного моделирования ИЦ для одинарного резистивного ПД были рассмотрены в работе [1], где предложены три варианта синтеза имитационной Power System Blockset модели (PSB-модели) управляемого резистивного ПД в виде сопротивления R_{var} с переменными параметрами. Однако методы синтеза PSB-моделей переменных индуктивностей и емкостей ИИЦ с одинарными и дифференциальными ПД отсутствуют.

За основу при синтезе имитационных PSB-моделей переменных емкостей и индуктивностей для ИЦ с ПД из [1] использован вариант PSB-модели R_{var} , представленный на рис. 1 (здесь элемент R играет вспомогательную роль обеспечения устойчивой работы модели). При этом для синтеза емкости C предложено ввести в модель дополнительную операцию интегрирования, а для синтеза индуктивности L – операцию дифференцирования [2].

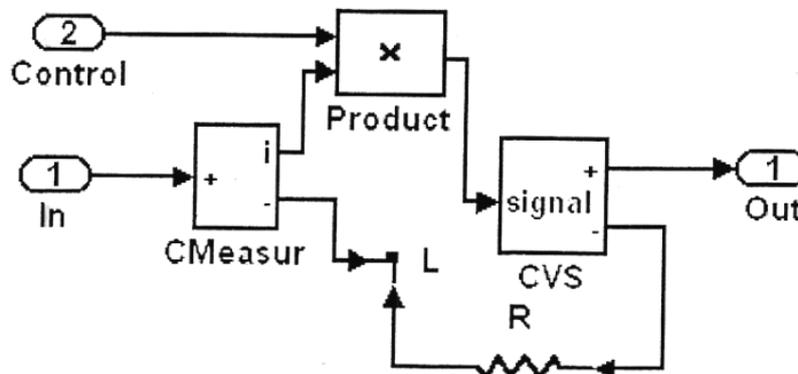


Рис. 1. Вариант PSB-модели управляемого резистора R_{var}

В результате созданы имитационные PSB-модели для управляемого конденсатора в виде подсистемы C_{var} (рис. 2) и управляемой индуктивности L_{var} (рис. 3). Для оценки качества созданных PSB-моделей управляемых C_{var} и L_{var} были разработаны соответствующие им тестовые PSB-модели и были проведены исследования, подтверждающие возможность использования созданных имитационных моделей C_{var} и L_{var} для анализа метрологических характеристик ИЦ с ПД.

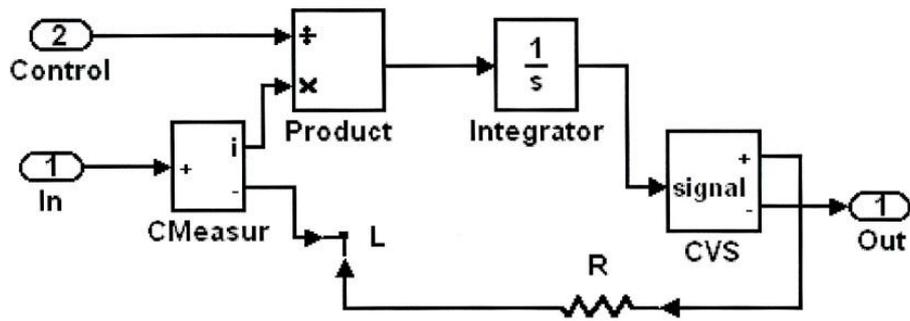


Рис. 2. PSB-модель подсистемы C_{var}

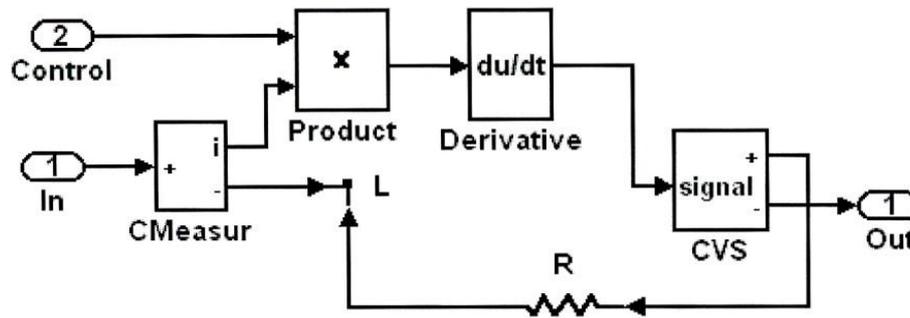


Рис. 3. PSB-модель подсистемы L_{var}

В качестве примера на рис. 4 представлена PSB-модель для тестирования переменной индуктивности L_{var} , имитирующей ИЦ с индуктивным ПД.

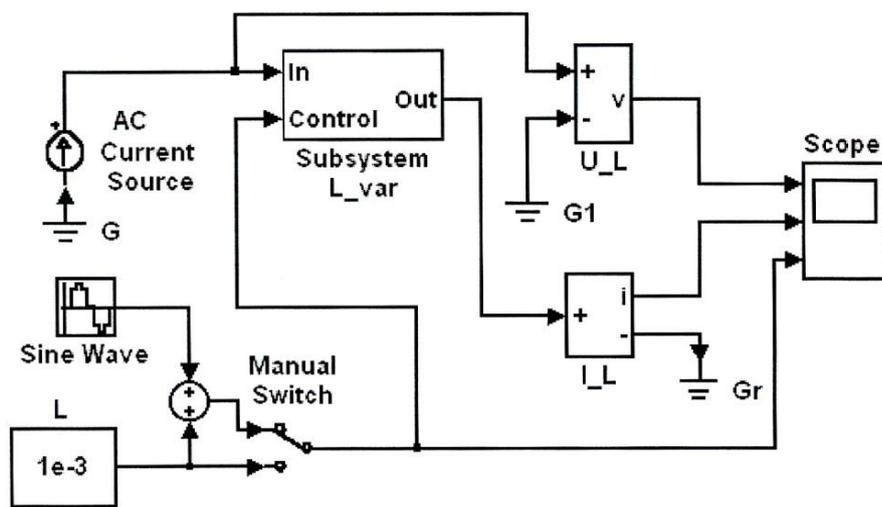


Рис. 4. PSB-модель для тестирования подсистемы L_{var}

Тестирование проводилось при входном токе $I_{\text{вх}}(t) = \sin \omega t$, где $\omega = 2\pi \cdot f$, $f = 50$ Гц и $R = 1$ мОм. На рис. 5 представлена временная диаграмма изменения выходного напряжения ИЦ для рассматриваемой PSB-модели при $L_{\text{var}} = 1$ мГн.

Из приведенного рисунка видно, что напряжение на индуктивности пропорционально производной от тока:

$$U_L(t) = L_{\text{var}} \frac{d(\sin \omega t)}{dt} = \omega L_{\text{var}} \cos(\omega t),$$

а амплитудное значение напряжения при подстановке заданных выше параметров составляет

$$U_m = 2\pi \cdot 50L = 2\pi \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,314 \text{ [В]}.$$

Проведено также тестирование PSB-модели измерительной цепи, в которой индуктивность изменялась по закону

$$L_{\text{var}} = 0,001 + 0,001 \sin \omega t \text{ [Гн]},$$

где $\omega = 2\pi \cdot f$ при $f \approx 15$ Гц. Результаты тестирования подтверждают правильность синтезированной модели.

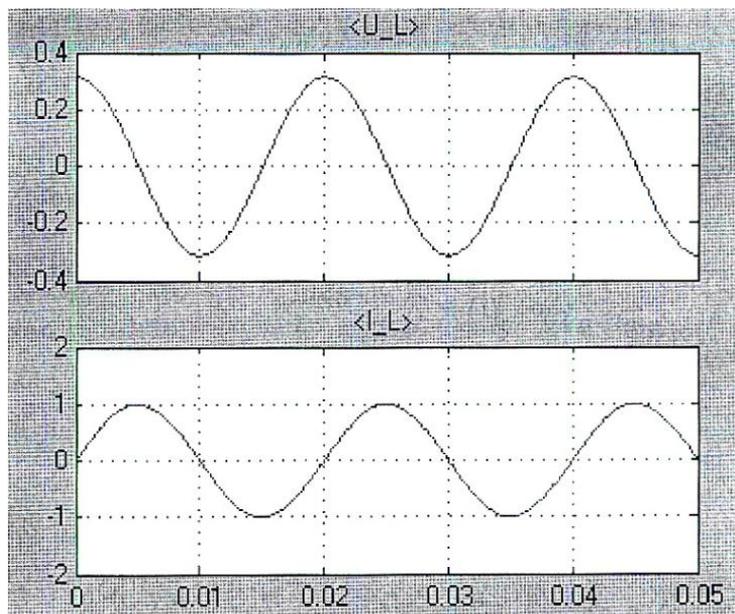


Рис. 5. Результат тестирования подсистемы $L_{\text{var}} = \text{const}$

Важным моментом является разработка PSB-моделей для ИЦ с дифференциальными параметрическими датчиками (ДПД). В этом случае имитационная модель может быть синтезирована путем использования двух подсистем, моделирующих управляемые R , L или C -элементы, и подключения управляющего контроллера ко входам Control1 – Control2, по которым задается соответственно отрицательное и положительное изменение информативного параметра каждого из плеч дифференциального датчика (рис. 6).

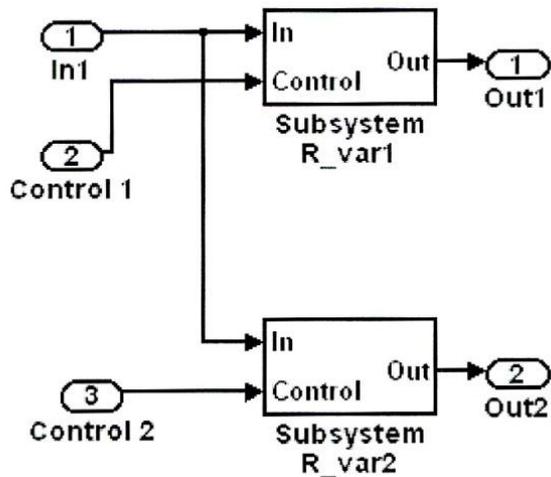


Рис. 6. PSB-модель дифференциального реостатного датчика

Исследование PSB-модели с ДПД осуществлялось при входном воздействии

$$I_{AC} = 0,1 \sin 2\pi \cdot ft \text{ [A]},$$

где $f = 1000$ Гц, а изменение информативного параметра ΔR задавалось в виде выражения

$$\Delta R = 200 + 300 \sin 2\pi \cdot f_R t \text{ [Ом]},$$

где $f_R = 100$ Гц, при этом номинальное значение сопротивления R_0 плеч ДПД принято равным 1 кОм , т. е. $R_0 = 1 \text{ кОм}$ при $\Delta R = 0$.

Анализ результатов тестирования рассматриваемой имитационной модели полностью подтверждает возможность применения разработанной имитационной модели для исследования метрологических характеристик ИЦ с ДПД.

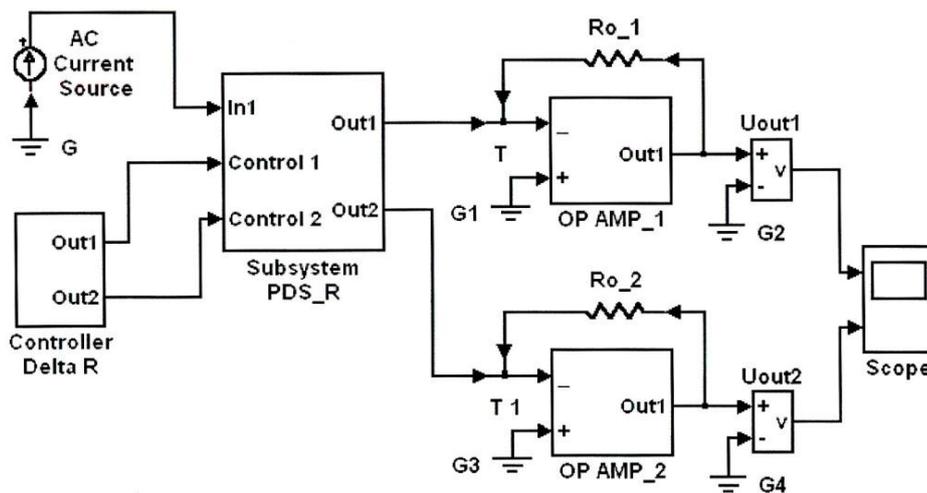


Рис. 7. PSB-модель активной ИЦ для дифференциального реостатного датчика

Не менее важным вопросом является исследование свойств активных ИЦ для ДПД, выполненных на операционных усилителях (ОУ). Для построения имита-

ционных PSB-моделей активных ИЦ использовались полученные ранее результаты.

На рис. 7 представлен один из примеров модели активной ИЦ для реостатного ДПД. Данная модель включает в себя Controller Delta R, подсистему моделирования реостатного дифференциального ПД Subsystem PDS_R и две подсистемы, моделирующие операционные усилители OP AMP.

Для исследования погрешностей активных ИЦ была синтезирована тестовая PSB-модель, приведенная на рис. 8.

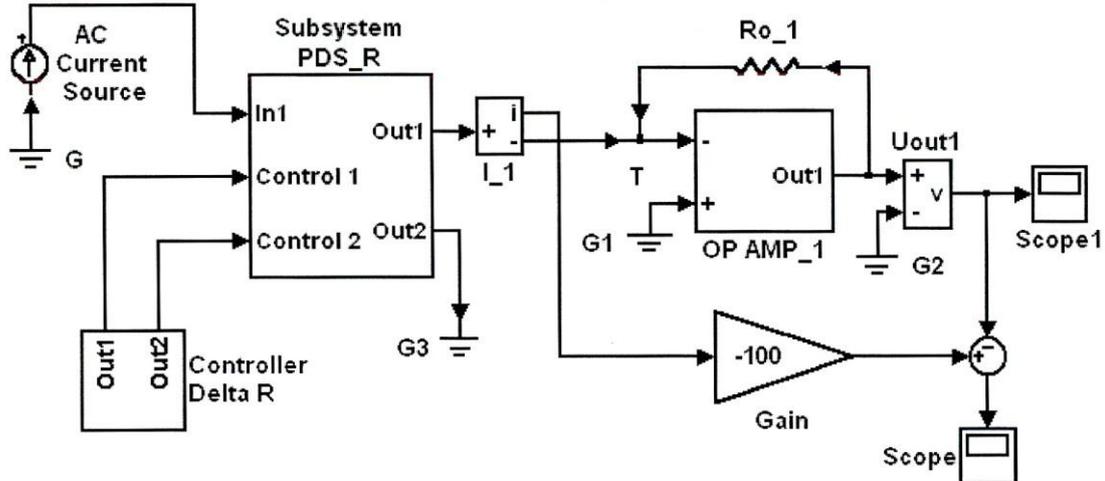


Рис. 8. PSB-модель тестирования активной ИЦ для реостатного ДПД

В данной схеме параллельно с моделируемым OP AMP_1 включен идеальный ОУ (блок Gain) с коэффициентом передачи, равным 100, при этом резистор Ro_1 в цепи отрицательной обратной связи ОУ выбран для экспериментальных исследований равным 100 Ом. При исследованиях параметры OP AMP_1 задавались по паспортным данным ОУ 140 УД1.

Тестовые исследования показали, что имитационная модель (см. рис. 8) может быть применена для исследования как статических, так и динамических погрешностей активной ИЦ, а также погрешностей, обусловленных неидеальностью операционных усилителей.

Дополнительным достоинством синтезированных моделей является то, что при использовании известных методов оптимизации имеется возможность выбрать оптимальный способ решения дифференциальных уравнений [4], описывающих исследуемую ИЦ, и оптимальные критерии с точки зрения разработчика ИИС исходя из требований по быстродействию и допустимой погрешности измерения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернецов В.И., Чернецов М.В., Медведева С.Н. Применение сигнальных графов для синтеза имитационных моделей переменных сопротивлений // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – № 8. – С. 47-50.
2. Анохин В.В. Переменное сопротивление в Matlab/Simulink // Exponenta Pro № 1. – 2003. – С. 91-92.

3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1973. – 752 с.
4. Хемминг Р.В. Численные методы для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1972. – 400 с.

Статья поступила в редакцию 30 января 2014 г.

MODELING OF MEASURING CIRCUITS WITH PARAMETRIC SENSORS FOR INFORMATION AND MEASURING SYSTEMS

K.L. Kulikovsky¹, M.V. Chernetzov²

¹ Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

² Penza regional center of the higher school (branch) of Russian state University for innovation technologies and business
6, Volodarskogo st., Penza, 440026, Russia

The paper describes the synthesis methods of simulated models for data measuring systems on the basis of MatLab Power System Blockset software. It deals with the simulated models of active and passive measuring chains with single and differential parametric transducers of non-electrical indexes. The researches of developed simulated model are shown on the test models. A comparative analysis of the results and recommendations on their application are given. The advantage of synthetic models is that, using known optimization techniques, it is possible to choose the best way to solve the differential equations that describe the studied measuring circuit. This allows one to choose the most optimal criteria in terms of developer information-measurement system based on the requirements for speed and the permissible error of measurement.

Keywords: *measuring chain, parametric transducer, simulated model, test model, time diagram, deviation.*