

**С.Ю. ЛЕОНОВ**, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

## **ПРИМЕНЕНИЕ $K$ -ЗНАЧНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ В ПРОВОДНИКАХ С ПОТЕРЯМИ**

Рассматривается использование  $K$ -значного дифференциального исчисления для анализа распространения сигналов по линиям связи с учетом потерь в линиях. Результаты такого моделирования позволяют более точно исследовать работоспособность быстродействующих вычислительных устройств. Моделирование проведено в системе на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления.

**Ключевые слова:**  $K$ -значное дифференциальное исчисление, распространение сигналов, линии связи, моделирование, работоспособность быстродействующих вычислительных устройств.

**Постановка задачи и анализ литературы.** В настоящее время при проектировании вычислительных устройств повышенного быстродействия на элементах с высокой степенью интеграции большое внимание необходимо уделять исследованию распространения сигналов по соединительным проводникам. Это связано с тем, что в таких устройствах время распространения сигналов от элемента к элементу соизмеримо со временем задержки в активных элементах. При применении для проектирования существующих систем двоичного моделирования, таких как OrCAD [1] или PCAD [2], такой анализ выполнить не представляется возможным, поскольку в данном случае речь идет об изменениях в амплитуде сигналов в соединительных цепях значительно меньших, чем амплитуда логического сигнала. Применение же для этих целей аналогового моделирования в системах типа MicroCAP [3] неприемлемо из-за больших временных затрат.

В этом плане наиболее подходящим для исследования правильности работы проектируемых вычислительных устройств с учетом распространения сигналов в проводниках является моделирование на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления [4, 5]. При таком моделировании описание устройств выполняется с помощью  $K$ -значных дифференциальных уравнений с ограничениями. Решение этих уравнений совместно с  $K$ -значными дифференциальными уравнениями, описывающими логику работы составляющих устройство элементов, позволит более точно исследовать работоспособность таких проектируемых устройств и оценить возможные сбои.

**Цель работы** – разработать метод моделирования распространения сигналов в длинных линиях на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления.

© С.Ю. Леонов, 2014

**Основная часть.** При исследовании процессов в линиях связи между отдельными блоками, находящимися на разных платах или в разных устройствах, можно применять гиперболическое уравнение в частных производных, которое в общем виде записывается следующим образом:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $u$  – неизвестная переменная;  $t$  и  $x$  – независимые переменные ( $t$  – время,  $x$  – расстояние от начала линии);  $a^2$  – постоянный коэффициент, учитывающий распределенную емкость  $C_0$  и индуктивность  $L_0$  линии,  $a = 1/L_0 C_0$ .

Известно [6, 7], что один из методов решения уравнения (1) основан на сведении его к разностному гиперболическому уравнению

$$u_{i,j+1} = 2(1-\lambda^2)u_{i,j} + \lambda^2(u_{i+1,j} + u_{i-1,j}) - u_{i,j-1}, \quad (2)$$

где  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 0, 1, 2, \dots$ ,  $\lambda = a \frac{\tau}{h}$ ;  $h, \tau$  – величины шагов

дискретизации соответственно по независимым переменным  $x$  и  $t$ ;  $h = \frac{L}{n}$ ;  $L$

– длина линии (проводника);  $u_{i,j} = u(ih, j\tau)$ .

Искомая функция  $u(x, t)$  должна удовлетворять начальным условиям  $u(0, t) = \mu(t)$ .

Таким образом, решение исходного дифференциального уравнения в частных производных сводится к решению разностной задачи. При переходе к  $K$ -значной разностной схеме при  $\lambda = 1$  получим соотношение

$$U_{i,i+1}^K = U_{i+1,j}^K \langle + \rangle_K U_{i-1,j}^K \langle - \rangle_K U_{i,j-1}^K;$$

$i = 0, 1, \dots, n$ ;  $j = 0, 1, \dots$ ,

где  $U_{i,j}^K = U^K(x_i, t_j)$  – неизвестная переменная в точке  $(x_i, t_j)$ , представленная в  $K$ -значном виде;  $\langle + \rangle_K, \langle - \rangle_K$  – операции сложения и вычитания по модулю  $K$ .

В качестве примера рассмотрим передачу сигнала по линии, соединяющей два устройства, одно из которых может выступать в качестве передатчика, а второе – в качестве приемника [8].

На рис. 1 показан возможный вариант связи передатчика и приемника, на примере которого можно продемонстрировать распространение сигналов по линии связи.



Рис. 1. – Вариант связи передатчика и приемника

В системе, показанной на рис. 1, данные передаются из устройства 1 в устройство 2 через модемы 1 и 2. Модем 1 формирует сигналы для передачи в линию, а модем 2 преобразовывает принимаемые сигналы. На рисунке показана односторонняя передача данных, но предполагая, что схема симметрична, все процессы могут протекать и в обратном направлении.

Если на выходе передатчика имеется импульсный сигнал, то на конце линии (т.е. на входе приемника) сигнал может быть искажен за счет потерь в линии. В зависимости от величины потерь в линии, затухание сигнала может быть быстрее или медленнее. На рис. 2 показано распространение фронта сигнала по линии связи без потерь (при  $C_0 = 2,5 \cdot 10^{-12}$ ,  $L_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ ,  $\tau = 1 \cdot 10^{-9}$ ,  $h = 13 \cdot 10^{-2}$ ) при моделировании распространения сигнала в системе моделирования на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления при использовании значности входного алфавита  $K = 7$ .

В случае потерь линия связи описывается непрерывным дифференциальным уравнением

$$\frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial t^2} = a \frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2} - b \frac{\partial U(x,t)}{\partial t} - cU(x,t),$$

где  $a = \frac{1}{L_0 C_0}$ ;  $b = \frac{g_0}{C_0} + \frac{r_0}{L_0}$ ;  $r_0, g_0$  – распределенное сопротивление и проводимость линии;

$c = \frac{r_0 g_0}{L_0 C_0}$ .

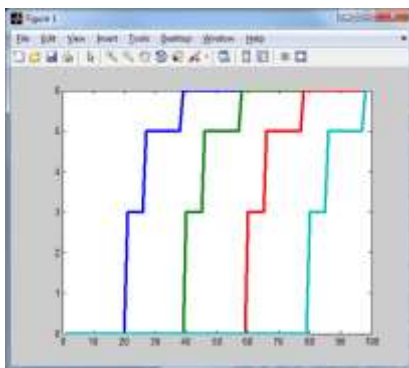


Рис. 2. – Распространение сигнала по линии связи без потерь

Заменяя непрерывные производные разностными соотношениями получим следующее уравнение

$$U_{i,j+1} = \frac{a\tau^2}{h^2(1+2b\tau)}(U_{i+1,j} + U_{i-1,j}) + \frac{2b\tau - 1}{1+2b\tau}U_{i,j-1} + \left(\frac{2-c\tau^2}{1+2b\tau} - \frac{2a\tau^2}{h^2(1+2b\tau)}\right)U_{i,j}$$

После перехода к  $K$ -значному разностному уравнению линия с потерями может быть промоделирована в системе моделирования на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления. На рис. 3 показано моделирование распространения фронта  $K$ -значного сигнала по линии связи между источником и приемником с потерями при использовании  $K = 7$ .

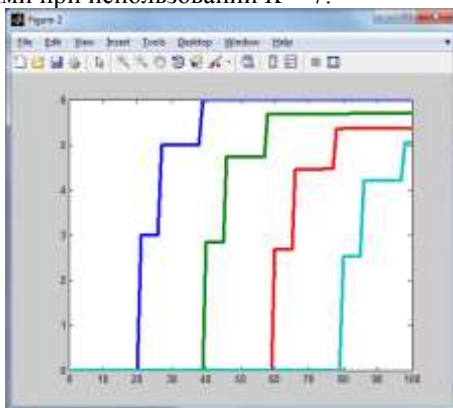


Рис. 3. – Распространение сигнала по линии связи с потерями

С увеличением потерь в линии связи амплитуда передаваемых сигналов уменьшается.

Несмотря на то, что уменьшение амплитуды не достигает порогового уровня и само по себе не приведет к сбоям в функционировании устройств приемной стороны, но при увеличении длины линии в сочетании с другими неблагоприятными факторами, такая передача сигналов может привести к искажениям принимаемой информации. Это, в свою очередь, может привести к сбоям при функционировании устройств, подключенных к приемному модулю.

**Выводы.** Разработанный метод моделирования длинной линии на основе  $K$ -значного дифференциального исчисления позволяет моделировать распространение сигналов по длине проводника с учетом потерь. Это достигается за счет того, что распространение сигнала описывается  $K$ -значными дифференциальными уравнениями с потерями, в которых присутствует коэффициент, позволяющий учитывать эти потери. А само представление сигнала в  $K$ -значном виде позволяет проанализировать незначительные амплитуды изменения сигнала, что очень важно при исследовании распространения сигнала по проводнику с потерями.

**Список литературы:** 1. Болотовский Ю.Б. OrCAD. Моделирование. "Поваренная" книга / Ю.Б. Болотовский, Г.И. Таназлы. – М.: Солон-Пресс, 2005. – 200 с. 2. Уваров А.С. P-CAD. Проектирование и конструирование электронных устройств / А.С. Уваров. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2004. – 760 с. 3. Разевиг В.Д. Шемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7 / В.Д. Разевиг. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2003. – 368 с. 4. Дмитриенко В.Д.  $K$ -значное дифференциальное исчисление и моделирование цифровых устройств // В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов. – Харьков: Транспорт Украины, 1999. – 223 с. 5. Dmitrienko V.D. Research digital devices by means of modeling system on the basis of K-Value differential calculus / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov, T.V. Gladkikh // Radioelectronics & Informatics. – № 1. – 2008. – P. 63 – 69. 6. Годунов С.К. Разностные схемы (введение в теорию) // С.К. Годунов, В.С. Рябенский. – М.: Наука, 1977. – 440 с. 7. Демидович Б.П. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения // Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.Э. Шувалова. – М.: Наука, 1967. – 368 с. 8. Сухман С.М. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений / С.М. Сухман, А.В. Бернов, Б.В. Шевкопляс. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 272 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Bolotovskij Ju.B. OrCAD. Modelirovanie. "Povarennaja" kniga / Ju.B. Bolotovskij, G.I. Tanazly. – M.: Solon-Press, 2005. – 200 s. 2. Uvarov A.S. P-CAD. Proektirovanie i konstruirovaniye jelektronnyh ustrojstv / A.S. Uvarov. – M.: Gorjachaja Linija – Telekom, 2004. – 760 s. 3. Razevig V.D. Shemotekhnicheskoe modelirovanie s pomoshh'ju Micro-Cap 7 / V.D. Razevig. – M.: Gorjachaja Linija – Telekom, 2003. – 368 s. 4. Dmitrienko V.D. K znachnoe differentsial'noe ischislenie i modelirovanie cifrovyyh ustrojstv // V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov. – Har'kov: Transport Ukrainy, 1999. – 223 s. 5. Dmitrienko V.D. Research digital devices by means of modeling system on the basis of K-Value differential calculus / V.D. Dmitrienko, S.Yu. Leonov, T.V. Gladkikh // Radioelectronics & Informatics. – № 1. – 2008. – P. 63 – 69. 6. Godunov S.K. Raznostnye shemy (vvedenie v teoriju) // S.K. Godunov, V.S. Rjaben'kij. – M.: Nauka, 1977. – 440 s. 7. Demidovich B.P. Chislennyye metody analiza. Priblizheniye funktsij, differentsial'nye i integral'nye uravneniya // B.P. Demidovich, I.A. Maron, Ye.E. Shuvalova. – M.: Nauka, 1967. – 368 s. 8. Suhman S.M. Sinhronizatsiya v telekommunikatsionnyh sistemah. Analiz inzhenernyh reshenij / S.M. Suhman, A.V. Bernov, B.V. Shevkoptyas. – M.: Jeko-Trendz, 2003. – 272 s.

*Поступила (received) 05.03.2014*

**Т.Г. МАЩЕНКО**, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»  
**Р.И. АКОЕВ**, студент НТУ «ХПИ»

## МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ РАСХОДА ДВИЖУЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ

В статье приведен анализ методов и средств измерений расхода жидких и газообразных сред. В ходе анализа существующих методов и технических средств обоснован выбор наиболее перспективного и точного метода контроля расхода движущихся жидкостей.

**Ключевые слова:** расход, давление, система, расходомеры, методы анализа, измерения.

**Постановка проблемы.** Важное значение в интенсификации производства и повышении качества выпускаемой продукции играет автоматизация контрольных операций и, в особенности, системы автоматизированного управления технологическими процессами. Стремительное развитие электроники и вычислительной техники оказалось предпосылкой для широкой автоматизации самых разнообразных процессов в промышленности, однако реализация этой предпосылки в значительной мере определяется возможностями устройств для получения информации о регистрируемом параметре или процессе.

В системах управления производственными процессами и контроля качества выпускаемой продукции одним из основных регулируемых параметров является контроль расхода жидкостей, газов и сыпучих веществ непосредственно в ходе технологического процесса. Ни одна отрасль промышленности не обходится без расходомеров. Это расходомеры нефти и природного газа, расходомеры воды и пара для отопления жилищ и промышленных предприятий, расходомеры молока и муки для расфасовки в пакеты и бутылки. Это, наконец, расходомеры-счетчики питьевой и горячей воды, без которой немислим сегодня ни один дом.

В условиях резкого повышения спроса на энергоресурсы и их стоимости каждый хочет знать о своем расходе ресурсов от первичных производителей до конечных потребителей. При этом точность измерения ресурсов, будь то мука или бензин, приобретает первостепенное значение[1].

Значения измеряемых расходов могут лежать в диапазоне от тысячных долей кубометров до нескольких тысяч кубических метров в час. В то же время расходомерные вещества могут сильно отличаться по своим физико-химическим свойствам. Это может быть нефть, нейтральные жидкости, электролиты, жидкие металлы, газы и т.д. Все это в сочетании с разнообразными условиями применения и различными требованиями к точности надежности и