

промышленных, медицинских и потребительских рынков. Отличается высокой эффективностью, первоклассной периферией, низким энергопотреблением и доступной ценой. Микроконтроллер имеет ОЗУ, внутреннюю Flash-память и внешнюю статическую память с произвольным доступом (Static Random Access Memory, SRAM). Прямое подключение MCU к компьютеру осуществляется через последовательный порт компьютера и использованием UART-интерфейса MCU. Источник питания с напряжением от 2 в до 3.6 в.

В качестве дисплея используется монитор с OLED матрицей. В OLED-мониторах в качестве источника света используются органические светодиоды и каждый пиксель имеет собственную подсветку, что улучшает качество изображения.

Для программирования, тестирования и отладки используется специализированный аппаратный интерфейс на базе стандарта IEEE 1149.1 (Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture). Сокращенное название стандарта – JTAG (Joint Test Action Group).

Основные тенденции управления идентификацией связаны с увеличением удобства для пользователя. Физическое ношение стандартных пластиковых карт со встроенной микросхемой (smart-карт) также обременительно. Отмечается растущий интерес к применению для smart-карт биометрических методов идентификации. В ряде приложений эти методы могут оказаться более безопасными и удобными для пользователя, чем ввод PIN-кода. Но в будущем, в качестве идентификатора все чаще будут использоваться личные вещи пользователя, которые постоянно находятся с ним. Например, использование технологии отпечатков пальцев для мобильных телефонов или умных часов.

## **ТИПИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ «ВХОД-СОСТОЯНИЕ-ВЫХОД» ЛИНЕЙНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

А.М. Малышенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: mam@tpu.ru

## **TYPING THE COMPUTER VIEW OF MATHEMATICAL MODELS «INPUT-STATE-OUTPUT» OF LINEAR STATIONARY DYNAMIC SYSTEMS AND ITS PRACTICAL USE**

A.M. Malysenko

National Research Tomsk Polytechnic University

*Annotation. In scientific practice, to study the properties of linear stationary dynamic systems prefer to use their typed mathematical models, including models of the type «input-state-output» (ISO-models). The author of the report proposes to use a model view for storage and use in computers. This view includes two characterizing matrix models - the parameters matrix and the matrix of size its vectors. This ensures that systems are consistent with entry, state, and exit vectors of any order. The report points to the possibility of using this description for individual subsystems of LSD-systems and the subsequent formalized output of the ISO-model of the system as a whole.*

Для обширного класса линейных стационарных динамических систем (ЛСД-систем), к которым относятся многие технические системы в автоматике, электротехнике, теплоэнергетике и во многих других научных дисциплинах, в современных исследованиях и проектных работах предпочитают использовать их математические вход-выходные модели, представленне в типовых формах (таковых предложено уже около двух десятков). Несомненным преимуществом такого описания является

возможность использовать уже накопленные алгоритмы и компьютерные программные средства при решении задач анализа и/или синтеза таких систем.

В настоящее время наиболее часто в научной и инженерной практике используются типовые формы математических моделей «вход-выход» и «вход-состояние-выход», которые стали уже классическими [1–3]. Первая из них удобна для аналитического определения операторных характеристик (передаточных функций и передаточных матриц) и частотных характеристик, с помощью которых относительно просто можно определять вход-выходные характеристики ЛСД-систем. Вторая типовая форма «вход-состояние-выход» (ВСВ-модель, в англоязычных публикациях – ISO-model) дает возможность определять не только вход-выходные характеристики систем, но и оценивать такие их важные фундаментальные свойства, как управляемость, наблюдаемость, достижимость, восстанавливаемость и возмущаемость [4].

Следует заметить, что типизация математических моделей является одной из самых сложных задач при математическом описании динамических свойств систем. Особенно это проявляется при приведении исходной математической модели к ВСВ-форме в ситуациях, когда описываемая система является многомерной по своим входам и выходам. Её общая форма для непрерывных и дискретных по времени линейных динамических систем имеет вид:

$$\sigma \mathbf{x}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{E}\mathbf{f}(t); \quad \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t) + \mathbf{G}\mathbf{f}(t). \quad (1)$$

В этой модели  $\mathbf{x}(t) \in R^n$  – вектор состояния системы;  $\mathbf{u} \in R^m$  и  $\mathbf{f} \in R^q$  – соответственно, векторы полезных и возмущающих воздействий на систему от внешней для нее среды;  $\mathbf{y} \in R^r$  – вектор выходных переменных системы;  $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}, \mathbf{E}, \mathbf{G}$  – матрицы соответствующих  $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{u}, \mathbf{f}$  размерностей. Под  $\sigma \mathbf{x}(t)$  в (1) понимается первая производная по времени от  $\mathbf{x}(t)$ , если описываемая система непрерывного типа, и  $\sigma \mathbf{x}(t) = t + 1$ , если  $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{u}, \mathbf{f}$  в ней квантованы по времени и  $t$  – относительное время. Таким образом, модель ВСВ-формы (1) описывает системы с произвольным числом элементов во входах  $\mathbf{u}, \mathbf{f}$  и выходе  $\mathbf{y}$ .

Если математическая модель ЛСД-системы имеет вид (1), то полная информация о ней согласно [5] может быть представлена с помощью пары матриц:

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} n_x & n_u \\ n_y & n_f \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} & \mathbf{E} \\ \mathbf{C} & \mathbf{D} & \mathbf{G} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

первая из которых, *матрица размерностей*, определяет размерности векторов  $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{u}, \mathbf{f}$  системы, а вторая, *матрица параметров*, представляет собой блочную матрицу указанного вида, вбирающую в себя информацию о параметрах системы. Так как элементы матрицы  $\mathbf{N}$  системы несут в себе информацию о размерностях ее матриц  $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}, \mathbf{E}, \mathbf{G}$ , то определение последних из  $\mathbf{P}$  не вызывает затруднений.

С целью сохранения в формируемой математической модели ЛСД-системы исходных обозначений входящих в векторы  $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{u}, \mathbf{f}$  ее переменных, матрицы из (2) следует дополнить четверкой векторов-столбцов  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{U}, \mathbf{F}$ , которые определяют составляющие, включенные, соответственно, в векторы  $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{u}, \mathbf{f}$ .

Математическую модель сложной ЛСД-системы можно представить совокупностью ВСВ-моделей её отдельных  $i$ -ых подсистем, В этом случае каждую из этих ВСВ-моделей следует отражать парой матриц  $\mathbf{N}_i, \mathbf{P}_i$  вида (2) и четверкой матриц  $\mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i, \mathbf{U}_i, \mathbf{F}_i$  с размерами, соответственно,  $n_x \times 2, n_y \times 2, n_u \times 2, n_f \times 2$ . Элементам первого столбца каждой из этих матриц присваивается значение, равное номеру  $i$  описываемой им подсистемы, а второй столбец образуется записью в него соответствующего вектора  $i$ -ой подсистемы, т.е.  $\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i, \mathbf{u}_i, \mathbf{f}_i$ .

В сложной ЛСД-системе наряду с динамическими элементами (подсистемами) типа (1) могут быть и статические элементы (подсистемы), описываемые уравнениями вида

$$\mathbf{y} = \mathbf{D}\mathbf{u} + \mathbf{G}\mathbf{f}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{D}, \mathbf{G}$  – матрицы размерностей, соответственно,  $r \times m$  и  $r \times q$ .

При  $\mathbf{f} \equiv 0$  частными видами (3) являются: модели квадраторов входов-выходов, отличающиеся тем, что у них  $n_u \neq n_y$ , модели инверторов ( $n_u = n_y$ ;  $\mathbf{D} = \text{diag}[-1, -1, \dots, -1]$ ) и коммутаторов. В коммутаторах, если  $n_u = n_y$ , то  $\mathbf{D}$  имеет вид матрицы перестановок. При  $n_u - n_y \triangleq \rho > 0$   $\rho$  компонентов  $\mathbf{u}$  не проходит на выход коммутатора и соответствующие им столбцы  $\mathbf{D}$  имеют только нулевые элементы. Подматрица из ненулевых столбцов может быть единичной диагональной или матрицей перестановок.

Подобно динамическим системам или элементам и статические элементы (системы) типа (3) могут быть описаны соответствующими им матрицами размерностей и параметров  $\mathbf{N}_i, \mathbf{P}_i$ , причем

$$\mathbf{N}_i = \begin{bmatrix} 0 & n_{u_i} \\ n_{y_i} & n_{f_i} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_i = [\mathbf{D}_i, \mathbf{G}_i], \quad (4)$$

и тройками матриц  $\mathbf{Y}_i, \mathbf{U}_i, \mathbf{F}_i$ .

Таким образом, математическая модель (1) ЛСД-системы может быть представлена в компьютере двумя матрицами вида (2) или, при желании сохранить исходные обозначения переменных в описываемой ЛСД-системе, матрицами (2) и векторами-столбцами  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{U}, \mathbf{F}$ . То-есть, она отображается совокупностью только матриц и вектор-функций, что легко приспособливает её к последующему использованию в операциях векторно-матричного исчисления. В частности, такое представление, например, очень удобно для исследования указанных выше фундаментальных свойств управляемых линейных стационарных управляемых объектов и систем, а также их устойчивости, каузальности, функциональной воспроизводимости [1, 2, 4].

Описанное выше представление математических моделей ЛСД-систем и их подсистем дает существенные преимущества при решении задач формирования модели «вход-состояние-выход» для сложных многокомпонентных и многомерных по входам и выходам ЛСД-систем и, особенно в тех случаях, когда решаются задачи синтеза сложных систем с анализом различных вариантов исполнения отдельных их подсистем.

Достоинством описанного выше векторно-матричного представления ВСВ-модели является возможность его простого формализованного использования для формирования моделей «вход-состояние-выход» сложных ЛСД-систем, состоящих из динамических и статических подсистем, уже описанных моделями типа (1), (3) и/или (4). Для этого необходимы уже составленные ВСВ-модели для всех подсистем системы, которые, как правило, получить существенно проще, чем сразу ВСВ-модель для всей системы в целом. Каждую из подсистем следует описать соответствующими ей матрицами  $\mathbf{N}_i, \mathbf{P}_i, \mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i, \mathbf{U}_i, \mathbf{F}_i$  а фактические связи между их входами и выходами отобразить традиционным способом, используемым при построении операторно-структурных схем (ОСС), в частности, в теории автоматического управления [2].

В таком случае в структурной схеме системы будут соединения подсистем, типичные для звеньев ОСС: последовательное, параллельное, с обратной связью. Отличительной особенностью структурных схем многомерных по входам и выходам ЛСД-систем могут быть соединения типа «входная вилка»; «выходная вилка»; «параллельное соединение с двумя входами или выходами» «соединение с обратной связью и двумя входами или выходами» [5]. Для всех этих типовых соединений в [5] приведены формулы для получения их ВСВ-моделей по  $\mathbf{N}_i, \mathbf{P}_i, \mathbf{X}_i, \mathbf{Y}_i, \mathbf{U}_i, \mathbf{F}_i$  входящих в них подсистем. Эти формулы могут быть без большого труда запрограммированы, реализованы в

компьютерах и позволяют автоматизировать процесс формирования ВСВ-моделей сложных по структурам линейных стационарных динамических систем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. – М.: Мир, 1971. – 398 с.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5-ти тт. / под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
3. Гудвин Г.К., Гребс С.Ф., Сольдаго М.Э. Проектирование систем управления. – М.: БИНОМ. Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 911 с.
4. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1985. – 296 с.
5. Малышенко А.М. Математические основы теории систем: учебник для вузов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 364 с.

### СВЕТОДИОДНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Р.Г. Калинин, В.И. Корепанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: rgk4@tpu.ru

### LED MODULE FOR WAREHOUSE LIGHTING

R. G. Kalinin, V. I. Korepanov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** This work is devoted to study of a linear LED lamp. In the course of the research, the collection, processing and systematization of literature data on the main trends in the field of LED lighting, approaches to the design of LED lamps, the basic requirements for lighting devices and lighting installations designed to illuminate warehouses were carried out. As a result of the research, a universal, modular, linear, LED luminaire with a given light distribution was developed, conclusions were drawn about the influence of the “fin” design on the temperature conditions of the light device. As a result of the optical calculation, the curves of the light distribution were obtained.*

### **Введение.**

Современные светодиодные системы освещения широко применяются практически во всех областях повседневной жизни: для наружного и внутреннего освещения, дорожного освещения, на кораблях, автомобилях и т.п. Высокая надежность, низкое энергопотребление, длительный срок службы светоизлучающих диодов позволяет реализовать самые смелые и нестандартные проекты, создавать инновационные облучательные установки. Одной из ключевых задач при создании подобных осветительных систем является разработка современных, инновационных осветительных приборов, отличающихся от стандартных решений не только уникальным дизайном конструкции светильника, но и ее функциональностью и простотой.

Целью настоящей работы является разработка универсального модульного светодиодного светильника-радиатора с эффективной системой теплоотвода и вторичной оптикой, обеспечивающей требуемое распределение света.

В работе предлагается конструкция СП, эскиз которого представлен на рис. 1. Ключевой отличительной особенностью конструкции разрабатываемого светильника является наличие «плавника» – вертикальной выступающей части светильника, выполняющей роль радиатора. Такой подход позволяет минимизировать размеры