

Видно, что при увеличении  $s$  значения  $\tau$  и  $Z$  плавно увеличиваются. При малых значениях  $h1$  и  $s$  изменения  $\tau$  и  $Z$  более выражены, и рост  $h1$  приводит к увеличению значений  $\tau$  и  $Z$ . Приближение боковых проводников к границе раздела воздух–подложка оказывает особое влияние на характеристики  $\tau$ : при малых значениях  $h1$  характеристики пересекаются. Поэтому выполнено аналогичное вычисление для  $h1 = 0,1–0,2$  мм с шагом 0,02 мм (рис. 3). Видно аналогичное поведение зависимостей при малых  $s$ . Однако при  $s = 0,5–0,9$  мм выявляется минимальная (близкая к нулевой) чувствительность  $\tau$  к изменению  $h1$ , что можно использовать для получения стабильной задержки.

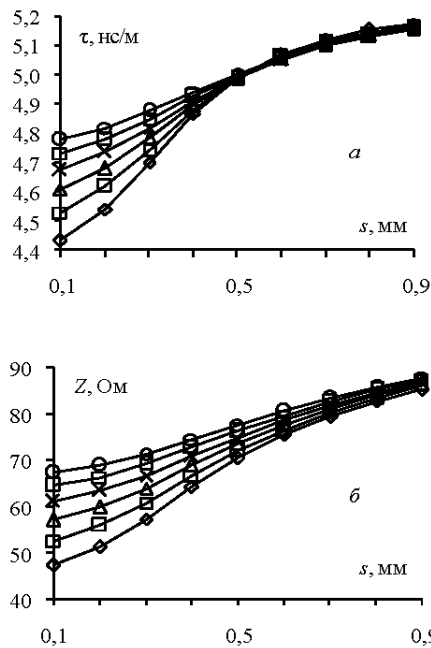


Рис. 3. Зависимости  $\tau$  (а) и  $Z$  (б) от  $s$  при  $h1 = 0,1$  (◇); 0,12 (□); 0,14 (Δ); 0,16 (×); 0,18 (□); 0,2 (○) мм

В заключение отметим, что данные результаты получены для конкретных значений параметров ли-

нии. Однако легко получить аналогичные зависимости при других значениях параметров. Результаты работы могут быть использованы для проектирования линий передачи со стабильными характеристиками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

#### Литература

1. Бахарев С.И., Вольман В.И. Справочник по расчету и конструированию СВЧ-полосковых устройств. – М.: Радио и связь, 1982. – 328 с.
2. Газизов Т.Р. Характеристики подвешенной и обращенной полосковых линий // Известия вузов. Физика. – 1995. – Т. 39, №2. – С. 126–128.
3. Сагиева И.Е. Моделирование характеристик микрополосковой линии, покрытой заземленным проводником // Научная сессия ТУСУР–2017: Матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа, Томск, 10–12 мая 2017 г.: в 8 ч. – Томск: В-Спектр, 2017. – Ч. 3. – С. 77–79.
4. Сагиева И.Е. Исследование характеристик экранированной микрополосковой линии // Изв. вузов. Физика (в печати).
5. Сагиева И.Е. Моделирование характеристик микрополосковой линии с боковыми заземленными проводниками, углубленными в подложку // Сборник тезисов научно-технической конференции молодых специалистов АО «ИСС», Россия, Железногорск, 23–25 августа 2017. – С. 89–91.
6. Riaziat M., Majidi-Ahy R., Feng I-J. Propagation Modes and Dispersion Characteristics of Coplanar Waveguides // IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. – March 1990. – Vol. 38, No 3. – PP. 241–251.
7. Gazizov T.R., Salov V.K., Kuksenko S.P. Stable Delay of Microstrip Line with Side Grounded Conductors // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2017. – Article ID 1965739. – 5 p.
8. Куксенко С.П. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – № 2 (36). – С. 45–50.

УДК 621.3.038

А.А. Романов, А.А. Собко, М.Е. Комнатнов

## Разработка платы ввода и обработки команд управления климатической экранированной камерой

Рассматриваются разработка устройства ввода и обработки команд управления климатической экранированной камеры; применение матрицы кнопок; использование четырехслойной печатной платы. Приведены структурная схема и печатная плата блока ввода и обработки команд управления.

**Ключевые слова:** климатическая экранированная камера, пульт управления, матрица кнопок, светодиодная индикация, печатная плата.

В научно-исследовательской лаборатории «Безопасность и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств» ТУСУРа разрабатывается климатическая экранированная ТЕМ-камера

(КЭК) для совместных климатических и электромагнитных испытаний радиоэлектронных средств [1]. Актуальность данной разработки показана в работах [2–4]. Контроль процесса проведения исследова-

дования или испытаний в КЭК осуществляется посредством пульта управления (ПУ), задачей которого являются визуализация и управление параметрами КЭК. ПУ представляет собой устройство ввода и вывода информации для оператора КЭК. ПУ КЭК состоит из блока кнопок и жидкокристаллического дисплея (ЖКД) с сенсорной панелью. При включении КЭК на ЖКД отображается главное меню КЭК. На ЖКД ПУ выводится цифровая и графическая информация о температуре и влажности воздуха внутри испытательного контейнера, а также о внешнем электромагнитном поле и температуре. С помощью ряда кнопок на пульте управления осуществляется переход по пунктам меню, возможно также задать, отследить и настроить дополнительные параметры (режим работы, давление компрессора, поток воздушного охлаждения радиатора и многое другое). По нажатию кнопок в зависимости от текущего уровня меню системой должна произойти обработка этого события. Передача данных от управляющего устройства к ПУ происходит посредством интерфейса UART. Для этого необходимо устройство для ввода и обработки команд от оператора КЭК.

Цель работы – разработка устройства ввода и обработки команд управления КЭК.

На рис. 1 приведена структурная схема блока управления, состоящая из блока ввода и обработки команд управления (БВОКУ) и блока обработки информации (БОИ). С помощью матрицы кнопок 1 и матрицы кнопок 2 (M1 и M2) осуществляется ввод команд. Также ввод команд осуществляется с помощью группы кнопок 1 и группы кнопок 2 (K1 и K2), эти команды обрабатываются в БОИ. Микроконтроллер (МК) обрабатывает команды, поступающие с матриц, и передает в БОИ, представляющий собой периферию ввода и вывода данных. При нажатии кнопки Power передается команда запуска блока питания КЭК.

В разработке БВОКУ реализована матрица из тактовых кнопок. Это обусловлено тем, что при применении матрицы кнопок значительно уменьшается количество задействованных выводов микроконтроллера, а также уменьшается количество печатных трасс на печатной плате.

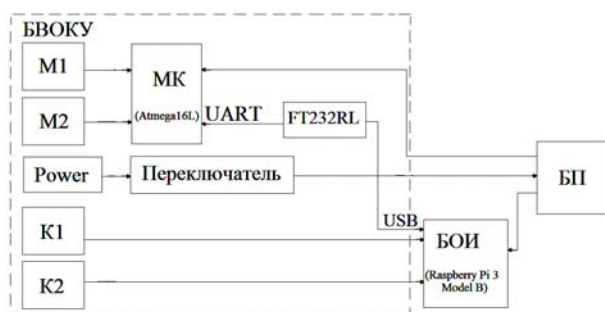


Рис. 1. Структурная схема блока управления

Для реализации БВОКУ выбран 8-разрядный микроконтроллер ATmega16L на 44 вывода в корпусе TQFP, который является управляющим звеном в схеме. МК имеет связь со всеми управляющими так-

товыми кнопками за исключением кнопки Power и кнопок, связанных напрямую с БОИ. Для связи БВОКУ с БОИ используется преобразователь интерфейсов USB-UART на микросхеме FT232RL. БОИ представляет собой микрокомпьютер на плате Raspberry Pi 3 Model B.

На плате ввода и обработки команд управления установлена 51 кнопка, каждая из которых выполняет заданные функции. Кнопки имеют светодиодную подсветку. Подсветка обеспечивается светодиодами поверхностного монтажа. Каждый светодиод подсвечивает одновременно две кнопки. Кнопки, связанные напрямую с блоком питания, имеют трехцветную индикацию для визуализации различных состояний и режимов работы КЭК. Расположение тактовых кнопок на печатной плате строго соответствует конструктивным требованиям модели макета пульта управления (рис. 2, б).

На рис. 2, б приведен макет ПУ с разбитыми на группы кнопками. Каждая группа имеет ряд кнопок, функцией которых является управление КЭК. Первая группа имеет в своем составе набор кнопок с различными функциями управления КЭК. Эта группа задает главные параметры (такие, как температура, влажность, характеристики поля и т.д.) в КЭК.

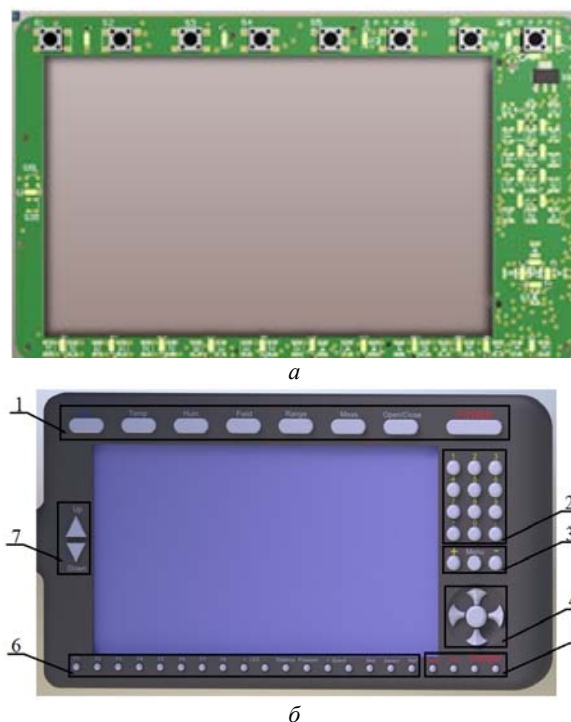


Рис. 2. Расположение кнопок на печатной плате (а) и макете пульта управления (б)

Вторая группа представляет собой набор цифр. С помощью этой группы осуществляется ввод или удаление числовых значений. В третьей группе находятся кнопки, предназначенные для уменьшения или увеличения заданного параметра, а также в этой группе имеется кнопка для входа в меню ПУ. Четвертая группа предназначена для навигации по пунктам меню, выбора режима работы и дальнейшей его настройки. Пятая группа состоит из четы-

рех кнопок, которые имеют предупреждающий характер и используются в экстренных ситуациях. Шестая группа обладает дополнительными функциями, необходимыми для задания тех или иных параметров в ПУ. Седьмая группа имеет в своем составе две кнопки, которые отвечают за подъем или спуск съемной двери на червячном подъемнике.

Малые габариты и высокая плотность монтажа обусловили сложность задачи трассировки печатной платы. В связи с этим использованы компоненты поверхностного монтажа. Для размещения на плате всех проводящих трасс использован четырехслойный стек печатной платы.

Таким образом, разработана плата ввода и обработки команд управления, предназначенная для работы в составе пульта управления климатической экранированной камерой, разрабатываемой для исследования на совместные температурные и электромагнитные воздействия радиоэлектронных средств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

#### Литература

1. Пат. 2558706 РФ. Климатическая экранированная камера / Комнатнов М.Е., Газизов Т.Р. (РФ). – Заявка № 2014103639. Заявл.: 3.02.2014; опубл.: 08.07.15.
2. Комнатнов М.Е., Газизов Т.Р. Камера для совместных климатических и электромагнитных испытаний электронных компонентов // Техника радиосвязи. – 2014. – №3 (23). – С. 84–91.
3. Комнатнов М.Е., Газизов Т.Р. О совместных климатических и электромагнитных испытаниях // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2014. – № 4. – С. 39–45.
4. Komnatnov M.E., Gazizov T.R. Environmental Shielded TEM Chamber for Biomedical Testing Proc. // IEEE International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-Bio-2014). – 2014. – PP. 64–68.

**М.А. Зуева, М.Е. Комнатнов, И.Ф. Калимулин**

## Оценка эффективности экранирования корпуса соединителя СНП 339

Исследована эффективность экранирования корпуса соединителя типа СНП 339 в точках у апертуры и в середине корпуса при падении плоской электромагнитной волны со стороны апертуры. Приведены результаты вычислений в диапазоне частот от 10 кГц до 20 ГГц для ширины 2, 3, ... 8 мм апертуры корпуса, полученные с помощью системы Altair FEKO. Выполнено сравнение с результатами, полученными в системе TALGAT.

**Ключевые слова:** эффективность экранирования, СНП 339, Altair FEKO, TALGAT, CST MWS.

Соединители типа СНП 339 (рис. 1), предназначены для работы в электрических цепях постоянного, переменного (частотой до 3 МГц) и импульсного токов при напряжении до 150 В и силе тока на контакт до 1 А. Соединители широко используются в бортовой радиоэлектронной аппаратуре космического аппарата для электрических связей между узлами, блоками и модулями посредством кабелей.



Рис. 1. Соединитель типа СНП 339

Для повышения уровня помехоустойчивости соединителя требуется дополнительное его экранирование. Один из наиболее простых вариантов повышения экранирования – поместить соединитель в экранирующий корпус. Как видно из конструкции устройства, в корпусе соединителя

СНП 339 имеется ухудшающая экранирование апертура для ввода кабеля. Известны отдельные результаты исследований эффективности экранирования (ЭЭ) корпуса соединителя СНП 339. Однако системных оценок на основе разного программного обеспечения не сделано. Цель данной работы – вычислить влияние ширины апертуры на ЭЭ корпуса соединителя типа СНП 339, в диапазоне частот 10 кГц...20 ГГц, при падении плоской электромагнитной волны на корпус со стороны апертуры. Для достижения поставленной цели построена геометрическая модель корпуса соединителя типа СНП 339 с внутренними размерами  $a \times b \times d = 29,5 \times 8 \times 21,5$  мм<sup>3</sup>; толщина стенок – 1 мм. Материал – идеальный электрический проводник. Модель представлена на рис. 2.

Оценка ЭЭ данного корпуса уже была проведена ранее в системах TALGAT и CST MWS. Подробное описание полученных в данных системах результатов, а также таблица рассчитанных резонансных частот представлены в работах [1] и [2]. Оценки существенно различаются, так что полезно выполнить аналогичные оценки в другом программном продукте. Вычисления проводились для расстояний  $p$ , равных 1 мм (у апертуры корпуса) и