

К.Н. Абрамова, А.В. Осинцев, М.Е. Комнатнов

## Разработка блока управления вентиляторами морозильной системы климатической экранированной камеры

Представлены результаты разработки блока управления вентиляторами морозильной системы климатической экранированной камеры. Приведены разработанные структурная схема и печатная плата блока управления. Выполнена сборка экспериментального макета блока управления и измерены параметры его работы в разных режимах.

**Ключевые слова:** блок управления вентиляторами морозильной системы, климатическая экранированная камера, электромагнитная совместимость, микроконтроллер.

Соблюдение требований электромагнитной совместимости (ЭМС) при разработке различных радиоэлектронных средств (РЭС) позволяет на начальной стадии выявить решение важных задач проектирования [1]. При разработке РЭС выполняются моделирование и измерение в широком диапазоне параметров, например в диапазоне рабочих температур РЭС. Исследование отдельных компонентов и узлов РЭС на совместные климатические и электромагнитные воздействия [2] могут быть проведены при помощи специализированных устройств, одним из которых является разрабатываемая климатическая экранированная камера (КЭК) [3, 4]. Данное устройство предназначено для проведения совместных климатических и электромагнитных испытаний РЭС в широком диапазоне температур (от  $-50$  до  $+150$  °С). Для достижения отрицательных температур КЭК содержит морозильную систему, включающую радиаторный блок с вентиляторами.

Цель работы – разработать блок управления вентиляторами морозильной системы (БУВМС) для КЭК.

### Разработка схемы БУВМС

Разработана структурная схема БУВМС (рис. 1), содержащая микроконтроллер D1, два линейных стабилизатора напряжений (U1, U2), четыре узла регу-

лирования (УР1–УР4) и вентиляторов переменного тока (B1–B4). Каждый узел регулирования (УР) включает датчики температуры (Д1–Д4), управляющий ключ на полевом транзисторе (К1–К4), симисторную оптопару (V1–V4), симисторы (VS1–VS4) и датчики тока (ДТ1–ДТ4). При включении КЭК от её источника электропитания на БУВМС поступает два напряжения электропитания: постоянное 12 В и переменное 220 В.

Постоянное напряжение предназначено для электропитания стабилизированным напряжением (3,3 и 5 В) узлов регулирования (УР) и микроконтроллера (МК), а переменное – для электропитания вентиляторов.

Управление вентиляторами (B1–B4) осуществляется сигналом ШИМ от МК, через УР1–УР4. Сквозность сигнала ШИМ регулируется 32-битным МК (STM32F103C8T6) в зависимости от температуры радиаторного блока морозильной системы.

Данные о температуре поступают от четырех датчиков температуры, расположенных на радиаторном блоке. В зависимости от команд главного микропроцессора КЭК и измеряемых значений температуры МК производит расчёт скорости вращения каждого вентилятора.

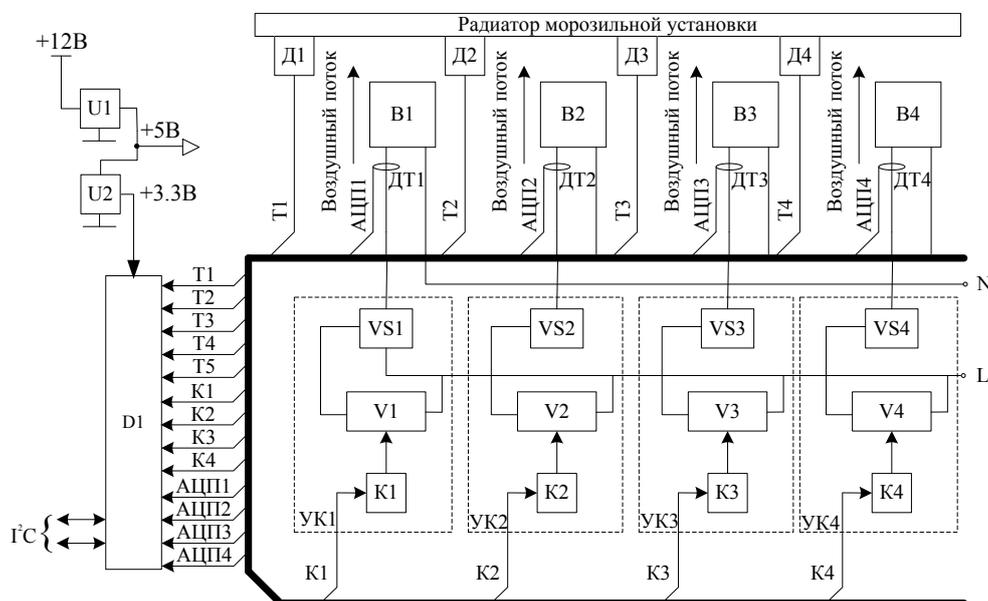


Рис. 1. Структурная схема БУВМС

В случае остановки или неисправности одного из вентиляторов программа в МК обнаруживает неисправный вентилятор на основе данных с датчиков тока и температуры, принудительно выключая неисправный вентилятор. При этом передаётся сообщение об ошибке на главный микропроцессор КЭК. БУВМС реализован на двухслойной печатной плате размером  $110 \times 75 \text{ мм}^2$  (рис. 2).

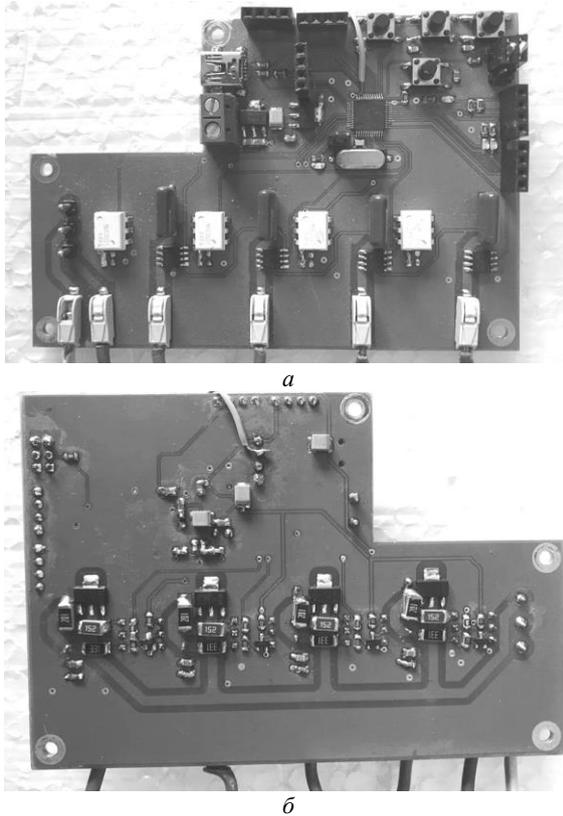


Рис. 2. Устройство БУВМС вид сверху (а), вид снизу (б)

#### Экспериментальное исследование БУВМС

Для проверки корректности работы БУВМС в МК запрограммировано 5 режимов скорости вращения, изменяемых посредством увеличения коэффициента заполнения ШИМ-сигнала (табл. 1). Переключение между режимами работы осуществляется с помощью дополнительных кнопок на плате БУВМС.

Таблица 1

#### Коэффициент заполнения ШИМ-сигнала для режимов работы вентиляторов

Режим скорости вращения вентиляторов	Коэффициент заполнения $D$ , %
1	20
2	45
3	70
4	85
5	100

Выполнена сборка экспериментального макета БУВМС (рис. 3) и выполнена проверка корректности его работы. В качестве источника питания БУВМС выбран блок питания мощностью  $P = 1 \text{ кВт}$ . Управление производилось четырьмя вентиляторами. Для

каждого режима работы БУВМС с помощью вольтметра выполнены измерения напряжения на входе вентилятора.

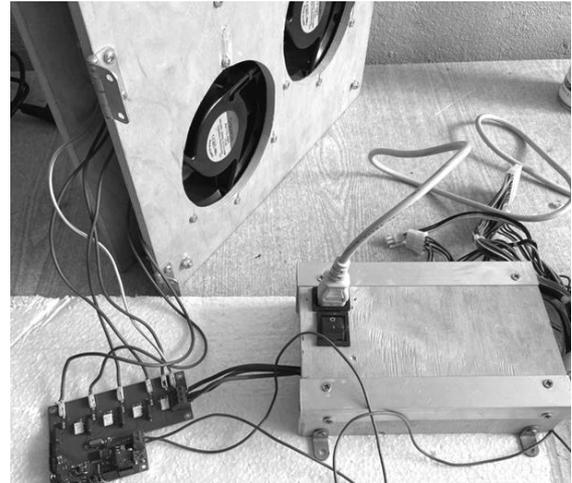


Рис. 3. Экспериментальный макет БУВМС

По измеренным значениям напряжения вычислен коэффициент заполнения ШИМ-сигнала для каждого режима согласно выражению

$$D = \frac{U_{\text{ср.н}}}{U_{\text{ип}}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{ср.н}}$  – среднее напряжение на выходе,  $U_{\text{ип}}$  – напряжение источника питания 220 В. Результаты измерений сведены в табл. 2.

Таблица 2

#### Результаты эксперимента

Режим скорости вращения вентиляторов	$U_{\text{ср.н}}$ , В	$D$ , %
1	50	23
2	100	46
3	150	68
4	190	86
5	220	100

При сравнении заданных (см. табл. 1) и измеренных (см. табл. 2) значений коэффициента заполнения ШИМ-сигнала  $D$  для всех режимов работы максимальное расхождение составило 3%, что говорит о корректности работы БУВМС.

#### Заключение

В данной работе представлены результаты разработки БУВМС, предназначенного для регулирования воздушного потока вентиляторов морозильной системы КЭК. Выполнена проверка работоспособности устройства путем сравнения запрограммированных в МК значений коэффициента заполнения ШИМ-сигнала со значениями, полученными при работе БУВМС. Показано, что измеренные значения коэффициентов отличаются не более чем на 3% от заданных в МК значений, что говорит о корректности работы БУВМС.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10162) в ТУСУРе.

*Литература*

1. Газизов Т.Р. Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 256 с.
2. Комнатнов М.Е. О совместных климатических и электромагнитных испытаниях радиоэлектронной аппаратуры / М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2014. – № 4(34). – С. 39–45.
3. Пат. 2558706 РФ. Климатическая экранированная камера / М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов. – № 2014103639. Заявл.: 3.02.2014; опубл.: 08.07.15.
4. Komnatnov M.E. Environmental shielded TEM chamber for biomedical testing / M.E. Komnatnov, T.R. Gazizov // Proc. of IEEE International microwave workshop series on RF and wireless technologies for biomedical and healthcare applications (IMWS-Bio 2014). – 2014. – P. 64–68.

**Абрамова Ксения Николаевна**  
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа  
Эл. почта: xeniaabramova99@mail.ru

**Осинцев Артем Викторович**  
Аспирант каф. АОИ ТУСУРа  
Эл. почта: kubenet@gmail.com

**Комнатнов Максим Евгеньевич**  
Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа  
ORCID: 0000-0002-6463-2889  
Эл. почта: maxmek@mail.ru