

УДК 681.78

***РАЗРАБОТКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИМ ОБЪЕКТИВОМ  
ДЛЯ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ КАМЕРЫ***

***Дорофеев Д.В.***

*инженер-электронщик,*

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),*

*Санкт-Петербург, Россия*

***Кострин Д.К.***

*д.т.н., профессор,*

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),*

*Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация**

В работе рассматривается разработка блока управления для объектива, контролирующего положение линз, позволяющего обмениваться командами с персональным компьютером, отслеживающего температуру внутри корпуса и корректирующего положение линз в соответствии с ней, а также ведущего подсчет количества пройденных циклов механизма шарико-винтовой передачи для контроля запаса хода. Для перемещения линз в объективе используется два электродвигателя постоянного тока с энкодерами, а для определения граничных положений линз применяется четыре концевых оптических датчика. Для более точного позиционирования линз используется температурная коррекция и пропорционально-интегрально-дифференциальная регулировка.

**Ключевые слова:** оптический объектив, тепловизионная камера, блок управления, перемещение линз, контроль температуры, корректировка положения.

***DEVELOPMENT OF AN OPTICAL LENS CONTROL UNIT FOR THERMAL IMAGING CAMERA***

***Dorofeev D.V.***

*Electronics engineer,*

*Saint Petersburg State Electrotechnical University “LETI” n.a. V.I. Ulyanov (Lenin),  
Saint Petersburg, Russia*

***Kostrin D.K.***

*D.Sc. (Eng.), Professor,*

*Saint Petersburg State Electrotechnical University “LETI” n.a. V.I. Ulyanov (Lenin),  
Saint Petersburg, Russia*

**Abstract**

The paper considers the development of a lens control unit that controls the position of the lenses, allows exchange of commands with a personal computer, monitors the temperature inside the case and adjusts the position of the lenses in accordance with it, as well as counts the number of cycles of the ball-screw transmission mechanism to control the power reserve. Two DC electric motors with encoders are used to move the lenses and four end optical sensors are used to determine the boundary positions of the lenses. For more accurate lens positioning, temperature correction and proportional-integral-differential adjustment are used.

**Keywords:** optical lens, thermal imaging camera, control unit, lens movement, temperature control, position correction.

Для масштабирования оптических изображений чаще всего используются два подхода: оптическое увеличение (оптический зум) и цифровое увеличение (цифровой зум) [8]. При этом для тепловизионных камер может применяться только оптический зум из-за малого разрешения матрицы тепловизора [16]. Наиболее распространенным методом изменения положения линз внутри объектива для осуществления оптического увеличения является кулачковый механизм. Однако такое устройство имеет ограниченную функциональность, недостаточную надежность в больших объективах, значительную сложность производства и ремонта, а также высокую стоимость. В связи с этим в новых объективах часто используется технология шарико-винтовой передачи, показавшая себя более надежной и дешевой, чем кулачковый механизм [7; 13].

В данной работе для объектива, разрабатываемого в рамках программы импортозамещения, ставится задача разработки блока управления, выполняющего следующие функции: постоянный контроль положения линз, возможность обмена командами с персональным компьютером, отслеживание температуры внутри корпуса и корректировка положение линз в соответствии с ней, а также учет количества пройденных циклов механизма шарико-винтовой передачи для контроля запаса хода.

Для удовлетворения вышеприведенного технического задания, в объективе используется два электродвигателя постоянного тока (DC-мотора) с энкодерами для изменения положения линз, четыре концевых оптических датчика для определения граничных положений линз, датчик температуры и блок электрически стираемой памяти для ведения журнала. Для управления объективом был выбран микроконтроллер на архитектуре ARM Cortex-M4 STM32F407VGT6 производства «STMicroelectronics».

Объектив является оптической системой, предназначенной для формирования резкого изображения на матрице фотоаппарата или фотопленки [6]. Работа объектива основана на преломлении света и законах волновой и

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

геометрической оптики. Линзы в объективе расположены таким образом, чтобы их центры стояли на оптической оси. В свою очередь зум-объектив является устройством с переменным фокусным расстоянием, что позволяет изменять его угол зрения, осуществляя таким образом оптический зум при постоянстве расположения плоскости изображения [11]. Фокусное расстояние изменяется за счет движения линз объектива друг относительно друга. Данное перемещение может осуществляться как по нелинейному, так и по линейному закону с применением DC-моторов.

Управление DC-мотором может производиться как постоянным током, так и сигналом с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), подаваемым на базу транзисторов. Так как мотор имеет свою индукцию, то ШИМ-сигнал усредняется и при увеличении его заполнения на мотор подается большее напряжение, а, следовательно, увеличивается скорость вращения последнего. В данной работе для управления DC-моторами используется специализированный драйвер DRV8848PWR «Texas Instruments». В нем реализован как H-мост, так и логическая часть, позволяющая подавать ШИМ-сигнал на выбранный канал [15].

Данный драйвер уже включает в себя диоды обратного тока, а также контролирует как собственную температуру, так и ток мотора. В случае чрезвычайной ситуации такой, как перегрев, короткое замыкание на моторе или превышение уровня тока, драйвер прекращает подачу тока и включает высокий уровень на выходе сигнализации об ошибке.

Электронная плата блока управления должна помещаться в корпус объектива, потому она имеет строгие требования к размеру. Разработанная с учетом всех этих требований в тесном контакте с разработчиками оптической части объектива плата имеет размер 54 мм × 60 мм, также у нее имеется 4 крепежных отверстия диаметром 3.1 мм. В высоту с установленными на ней компонентами плата не должна превышать 13 мм.

## ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

Для увеличения компактности платы была выбрана четырехслойная компоновка [12; 14]. Верхний и нижний слои платы были выделены в основном под слой питания. Два внутренних слоя содержат как сигнальные линии, так и большой заземленный слой для снижения уровня помех [4]. Плата имеет четыре крепежных отверстия, два разъема для концевых датчиков, два разъема для подключения моторов, разъем для питания платы и подключения к компьютеру, разъем для подключения датчика температуры, разъем для питания платы обогрева и разъем для программирования (рис. 1).

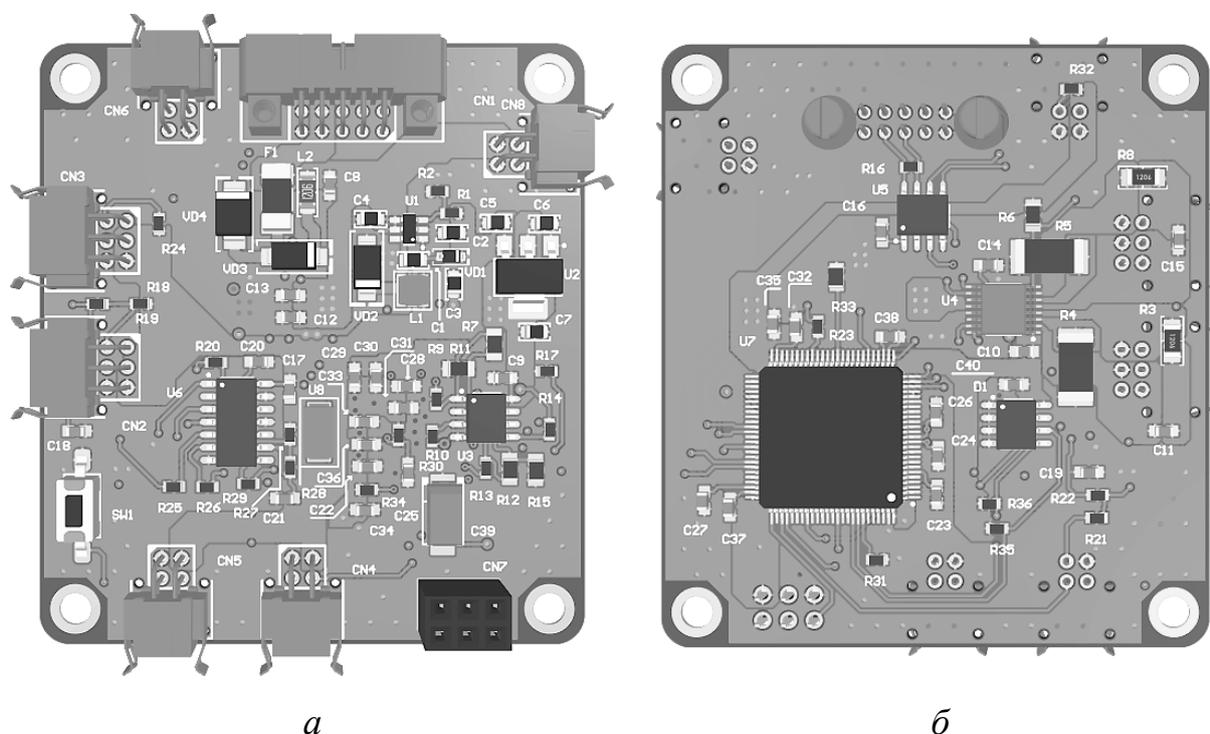


Рис. 1 – Трехмерный вид верхнего (а) и нижнего (б) слоев электронной платы блока управления объективом (разработано авторами)

Для связи блока управления с персональным компьютером (ПК) используется интерфейс RS-422 [1], обмен данными с трансивером происходит по интерфейсу USART, связь с датчиком температуры осуществляется по интерфейсу 1-Wire [9]. Для контроля тока мотора используется встроенный аналого-цифровой преобразователь микроконтроллера, для контроля позиции каретки используются энкодеры. Связь с энергонезависимой памятью

происходит при помощи протокола I2C. Программа для микроконтроллера была разработана в среде STM32CubeIDE. Данный контроллер имеет в своем составе всю необходимую периферию, его тактовая частота составляет 80 МГц и задается с помощью внешнего кварцевого резонатора.

При включении объектива происходит его калибровка, во время которой модули линейного перемещения (каретки) смещаются в начальное положение, также происходит обнуление счетчика энкодера. В начале калибровки линзы смещаются на небольшое расстояние вперед, а далее начинают перемещаться по направлению к концевым датчикам. Для того чтобы избежать столкновения двух линз, в начале перемещается линза фокуса, далее движение начинает линза зума. При достижении концевого датчика линзы останавливаются и далее выходят на стартовые позиции. Аналогично с началом калибровки линзы двигаются по очереди, но теперь движение начинает линза зума, а уже после нее перемещается линза фокуса.

Скорости перемещению каретки зума и каретки фокуса отличаются. Величины данных скоростей выбираются при настройке оборудования, так как оправы линзы зума и линзы фокуса имеют разный вес и, возможно, разный механизм, поэтому требуется персонализированная настройка. Движение линз осуществляются при помощи ШИМ-сигналов, которые посылаются на драйвер. В программном обеспечении (ПО) микроконтроллера [2; 3] реализованы различные функции управления объектива. Специализированные функции осуществляют перемещение линзы в заранее определенную позицию. В случае если каретка уже находится в данной позиции, движение не осуществляется. В простейшем варианте движения есть функции движения вперед, назад, а также функции остановки и резкой остановки. Данные функции осуществляют управление моторами за счет изменения скважности ШИМ-сигнала, а, следовательно, и скорости движения каретки.

## ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

Для более точного позиционирования каретки используется функция пропорционально-интегрально-дифференциальной регулировки (ПИД-регулировки) [5]. Так как у линз зума и фокуса разные моторы, у каждого из них свои регулировочные коэффициенты. Выставление положения линзы с применением данной процедуры имеет погрешность в 10 единиц энкодера, что не превышает одного микрометра.

Функции ПИД-регулировки имеют свое время ожидания (таймаут), т. е. максимальное время работы. Например, для ПИД-регулятора линзы зума таймаут составляет 500 мс. Пересчет значений происходит через интервал времени равный 10 мс. Данный таймаут необходим для того, чтобы иметь возможность самодиагностики прибора. В случае повреждения механизмов или моторов, каретка не сможет встать в нужную позицию, что само по себе вызовет сообщение об ошибке, однако пользователь должен понимать причину ошибки для возможности полевого ремонта. Зафиксированное программой значение в коде сообщения об ошибке укажет пользователю конкретное место в оптической схеме, в котором произошел сбой. Пример работы ПИД-регулятора представлен на рис. 2.

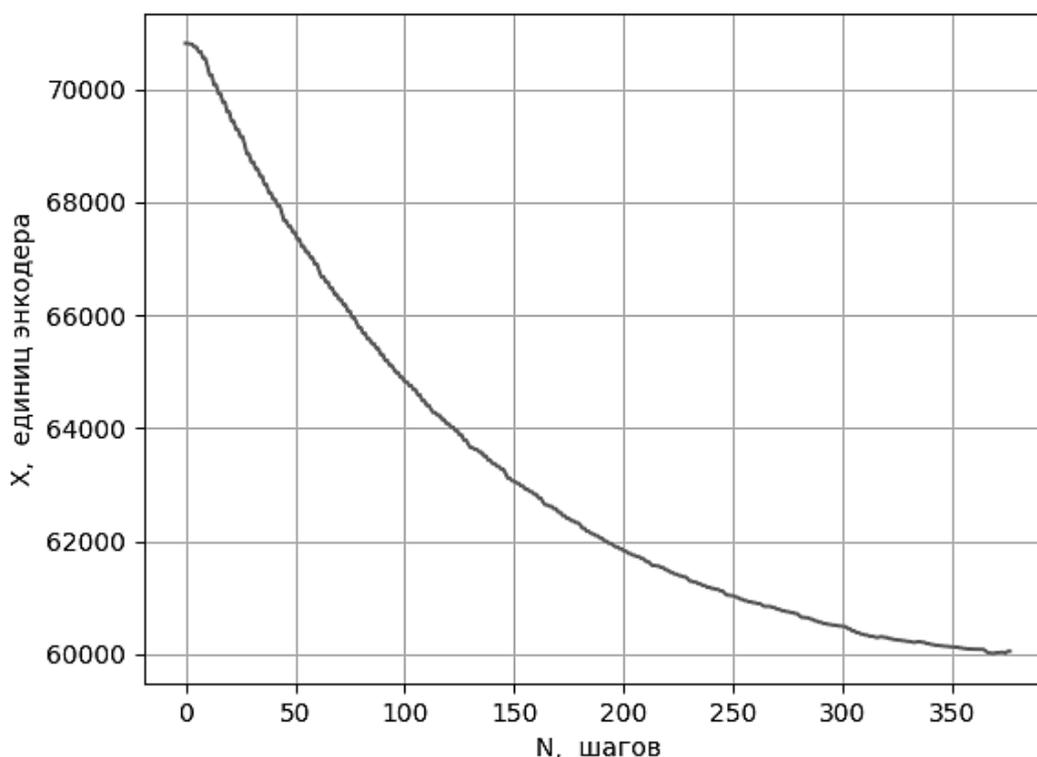


Рис. 2 – Пример работы ПИД-регулятора линзы зума (составлено авторами)

На рис. 2 приведен график изменения положения каретки при осуществлении ее торможения. В данном случае каретка должна была переместиться в начальное положение, которое для линзы зума составляет 60 000 единиц энкодера.

В основной функции ПО микроконтроллера последовательно вызываются функции проверки буфера команд от ПК, опроса датчика температуры и записи количества пройденных циклов в энергонезависимую память. Контроль нахождения каретки в конце направляющей осуществляется при помощи оптического концевого датчика TCPT1300X01 производства «Vishay Intertechnology».

Так как разрабатываемый в рамках программы импортозамещения объектив создается как аналог объектива производства израильской корпорации «Ophir Optronics Solutions», команды для связи ПК и объектива также выполнены схожими с оригиналом.

Команды имеют следующий шаблон:

## ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

– команда имеет длину 12 символов;

– первые два байта, если команда посылается ПК – Е6, если наоборот – FА. Если ПК ожидает посылку ему команды, то первый байт Е6, а второй – F0;

– последний байт команды представляет собой контрольную сумму.

Для обработки поступающих от ПК команд в блоке управления объективом предусмотрена возможность буферизации с применением двойного кольцевого буфера. Обработка команды происходит при помощи машины состояний, в которой ведется проверка первых байтов и на их основе устройство переходит либо в состояние отправки данных, либо чтения и исполнения команды. Команды могут означать перемещение линз в конкретную точку или же их перемещение в каком-либо направлении. По окончании движения посылается останавливающая команда.

Первоначально в качестве датчика температуры в данной работе использовалась микросхема TMP120 производства «Vurr-Brown», использующая для обмена информацией с микроконтроллером интерфейс I2C. По результатам экспериментов было установлено, что данный датчик в случае резких перепадов температуры имеет склонность к переходу в нерабочий режим, при котором он перестает отвечать на команды и для продолжения функционирования требует перезагрузки. В последующих версиях блока управления данный датчик был заменен на DS18B20 производства «Maxim Integrated». Данный датчик имеет более простую структуру, чем предыдущий [10], однако согласно результатам экспериментов является более надежным. Проверка температуры осуществляется не раньше, чем каждые 50 мс при помощи специализированной функции ПО. Обмен данными с датчиком температуры осуществляется по интерфейсу 1-Wire.

После каждого измерения температуры осуществляется вызов функции корректировки положения линз. В этой функции вычисляется актуальное положение линз фокуса и зума с учетом измеренной температуры и требуемого

Дневник науки | [www.dnevnikaui.ru](http://www.dnevnikaui.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

положения. По результатам перерасчетов положения линз вызывается функция ПИД-регулирующего, который корректирует положение кареток с точностью до 10 условных единиц, что соответствует примерно 0.1 мкм.

В ходе выполнения данной работы был разработан блок управления импортозамещенным объективом для тепловизионной камеры, построенный на основе микроконтроллера с архитектурой ARM Cortex-M4. В устройстве используется два DC-мотора с энкодерами для изменения положения линз, для более точного позиционирования линз используется по два концевых датчика на линзу, а для исключения влияния помех от мотора на сигнал от энкодеров используется фильтрация входящего сигнала с помощью триггера Шмитта. Для более точного позиционирования кареток линз используется функция ПИД-регуляции и температурная коррекция. Так как модификации данного блока управления планируется использовать и в других версиях объектива, в нем предусмотрен контроль тока моторов.

### **Библиографический список:**

1. Алейник А.С. Основы схемотехники приемопередающих электронных устройств / А.С. Алейник, Е.В. Востриков, С.А. Волковский, И.Г. Дейнека, В.Е. Стригалева, И.К. Мешковский. – СПб.: Ун-т ИТМО, 2021. – 149 с.
2. Аргудяев С.В. Программирование встраиваемых систем / С.В. Аргудяев, В.А. Герасимов, Д.К. Кострин, Л.М. Селиванов, А.А. Ухов, Д.И. Шишов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – 64 с.
3. Васильев А.С. Основы программирования микроконтроллеров / А.С. Васильев, О.Ю. Лашманов, А.В. Пантюшин. – СПб.: Ун-т ИТМО, 2016. – 95 с.
4. Герасимов В.А. Компьютерные технологии в разработке электронных приборов и устройств / В.А. Герасимов, Д.К. Кострин, Л.М. Селиванов, А.А. Ухов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. – 164 с.

5. Демидова Г.Л. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами / Г.Л. Демидова, Д.В. Лукичев. – СПб.: Ун-т ИТМО, 2017. – 81 с.
6. Запрягаева Л.А. Расчет и проектирование оптических систем / Л.А. Запрягаева, Л.А. Запрягаева, И.С. Свешникова. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2009. – 256 с.
7. Захаренков Н.В. Проектирование и расчет приводов линейного перемещения / Н.В. Захаренков, И.Н. Дроздов, Д.А. Блохин, А.Ю. Попов. – Омск: Омск. гос. техн. ун-т, 2024. – 90 с.
8. Катунин Г.П. Компьютерные технологии в фотографии. Усиление резкости цифровых изображений / Г.П. Катунин. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 375 с.
9. Ключев А.О. Интерфейсы периферийных устройств / А.О. Ключев, Д.Р. Ковязина, Е.В. Петров, А.Е. Платунов. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 290 с.
10. Кострин Д.К. Электронные средства контроля технологических процессов / Д.К. Кострин, А.А. Лисенков, А.А. Ухов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. – 228 с.
11. Крынин Л.И. Основы проектирования и юстировки объективов переменного фокусного расстояния / Л.И. Крынин. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 124 с.
12. Мактас М.Я. Проектирование печатных плат в САПР Altium Designer / М.Я. Мактас, И.М. Бекмухаметов. – Ульяновск: УлГТУ, 2014. – 56 с.
13. Петракова Е.А. Детали машин и основы конструирования / Е.А. Петракова. – М.: Моск. гос. индустр. ун-т, 2012. – 197 с.
14. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат / Е.В. Пирогова. – М.: Форум–ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
15. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника / Е.П. Угрюмов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 816 с.

## ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

16. Шилин А.Н. Приборы контроля и диагностики в электроэнергетике / А.Н. Шилин, А.А. Шилин, Н.С. Артюшенко, С.С. Дементьев. – Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2017. – 132 с.

*Оригинальность 78%*