

# Автоматизация светофора

Сергей Шишкин (schischckin.sergei2014@yandex.ru)

В публикации рассмотрен пример построения системы управления для светофора на базе элементов промышленной автоматизации – программируемого реле ПР200 и панели оператора ИПП120 – в среде программирования OWEN Logic.

Представленное устройство выполнено на базе промышленных средств автоматизации: панели оператора ИПП120 (далее – ИПП120) и программируемого реле ОВЕН ПР200-24.4.2 (далее – ПР200). Они широко используются для построения автоматизированных систем управления при решении задач локальной автоматизации. Их применение снижает затраты на проектирование и изготовление систем управления, повышает надёжность последних, снижает издержки и эксплуатационные расходы.

Вышеуказанные приборы поддерживают следующие функции:

- работа по программе, записанной в память;
- работа в сети RS-485 по протоколу Modbus RTU/Modbus ASCII в режимах Master или Slave;
- отображение данных на ЖКИ;
- управление подключёнными устройствами с помощью дискретных или аналоговых сигналов (для ПР-200);
- ввод и редактирование данных с помощью кнопок на лицевой панели.

ИПП120 и ПР200 представляют собой программируемые приборы с дисплеем. Данные приборы программируются в среде Owen Logic на языке FBD. Пользовательская программа записывается в энергонезависимую Flash-память.

Структурная схема устройства представлена на рис. 1.

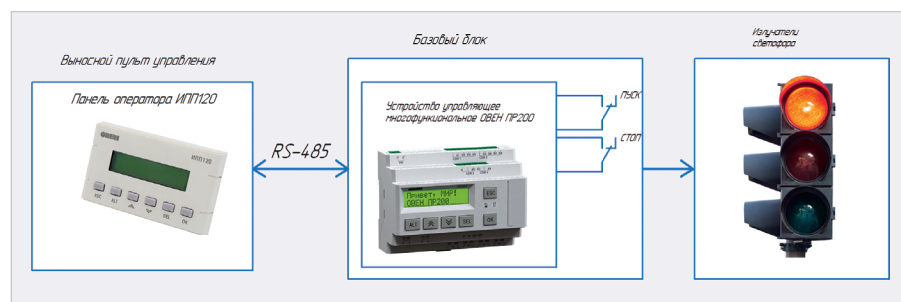


Рис. 1. Структурная схема устройства

Устройство реализует алгоритм работы светофора по двум направлениям и поддерживает следующие функции:

- управление с основного (базового) блока;
- управление с выносного пульта управления по сети RS-485;
- изменение интервалов работы световых сигналов светофора;
- режим работы «Мигающий жёлтый»;
- индикация режимов работы устройства.

На рис. 1 ИПП120 в сети RS-485 работает в режиме Master. Соответственно, ПР200 в сети RS-485 работает в режиме Slave. Более подробно работа ПР200 приведена в [1], работа ИПП120 приведена в [2].

Фактически разработка представленного устройства сводится к разработке управляющих программ для ИПП120 и ПР200. Разработку управляющей программы в среде OWEN Logic рекомендуется начинать после тщательного ознакомления с алгоритмом работы объекта локальной автоматизации и его составных частей. Необходимо иметь представление обо всех возможных состояниях прибора при функционировании (в виде диаграммы режимов, таблицы состояний, электрической или функциональной схемы и/или др.). После того как продуманы все задачи, которые должны выполняться, необходимо составить программу на основе функций (логических элемен-

тов), функциональных блоков, а также макросов проекта. Работа над проектом включает следующее.

1. Открытие нового проекта – весь проект будет храниться в одном файле, которому следует присвоить идентификационное имя.

2. Формирование структуры текущего проекта рекомендуется выполнять в следующем порядке:

- из «Библиотека компонентов» на холст добавляются необходимые блоки путем перетаскивания их мышью при нажатой левой кнопке (из соответствующей вкладки «Функции» или «Функциональные блоки»);
- при последовательном выделении курсором блоков схемы на закладке «Свойства» устанавливаются их параметры;
- компоненты программы соединяются между собой, а также с нужными входами и выходами ПР. При этом допускается передвижение квадратов входов и выходов в вертикальной плоскости для расположения соединительных линий по кратчайшей длине.

3. Моделирование работы коммутационной программы в режиме симуляции. При проверке правильности работы коммутационной программы изменяют состояние входов, контролируя состояние выходов на соответствие нужным условиям.

4. Загрузка проекта в ПР и проверка его работы.

Рассмотрим разработку управляющих программ в среде OWEN Logic для работы светофора по двум направлени-

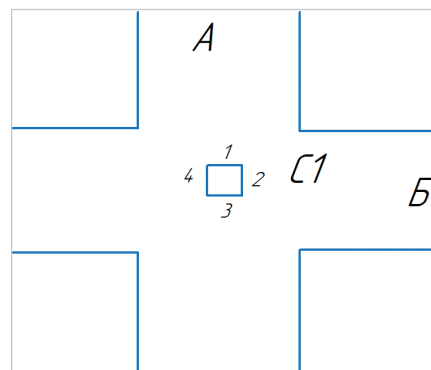


Рис. 2. Схема регулируемого перекрестка

ям. На рис. 2 приведён регулируемый светофором С1 перекресток.

Световые сигналы светофора С1 сторон (направлений) 1 и 3 регулируют движение на дороге А, соответственно стороны 2 и 4 регулируют движение на дороге Б. Временные диаграммы переключения сигналов светофора приведены на рис. 3.

Напомним алгоритм работы светофора по двум направлениям. Пусть на стороне 1 (и на стороне 3) включён красный световой сигнал светофора (далее КР1). При этом на стороне 2 (и на стороне 4) включён зелёный сигнал (далее ЗЕЛ2).

Через заданный интервал времени на стороне 2 включается мигающий сигнал ЗЕЛ2 (на стороне 1 ещё включен КР1), потом зелёный мигающий сигнал ЗЕЛ2 выключается, и одновременно на обеих сторонах включается жёлтый сигнал (далее ЖЕЛ). КР1 и ЖЕЛ горят одновременно не более 2 с. Далее на стороне 1 включается зелёный сигнал (далее ЗЕЛ1), а на стороне 2 – красный (далее КР2). И так далее в рабочем цикле. Понятно, что зелёный сигнал для стороны 1 (ЗЕЛ1) и красный сигнал для стороны 2 (КР2) функционируют аналогично ЗЕЛ2 и КР1.

Правила применения дорожных светофоров приведены в ГОСТ Р 52289-2004. Режим работы светофорной сигнализации предусматривает мигание зелёного сигнала в течение 3 с непосредственно перед его выключением с частотой 1 миг/с (допускается отклонение от указанной частоты ±10%). Жёлтый сигнал включается на 3 секунды. Красный и зелёный сигналы включаются на определённые интервалы времени, которые определяются интенсивностью движения и дорожной ситуацией на перекрёстке.

В устройстве предусмотрено четыре режима работы (№ 1...№ 4), в которых определены интервалы включения сигналов светофора. Режим работы № 5 – периодический сигнал «Мигающий жёлтый». Режимы работ и параметры сигналов приведены в табл. 1.

Принципиальная схема устройства с выносными кнопками управления «СТАРТ» и «СТОП» для ПР200 приведена на рис. 4.

Числовые значения в скриншотах приведены условно. В табл. 4 приведено функциональное назначение отображаемых параметров на дисплее

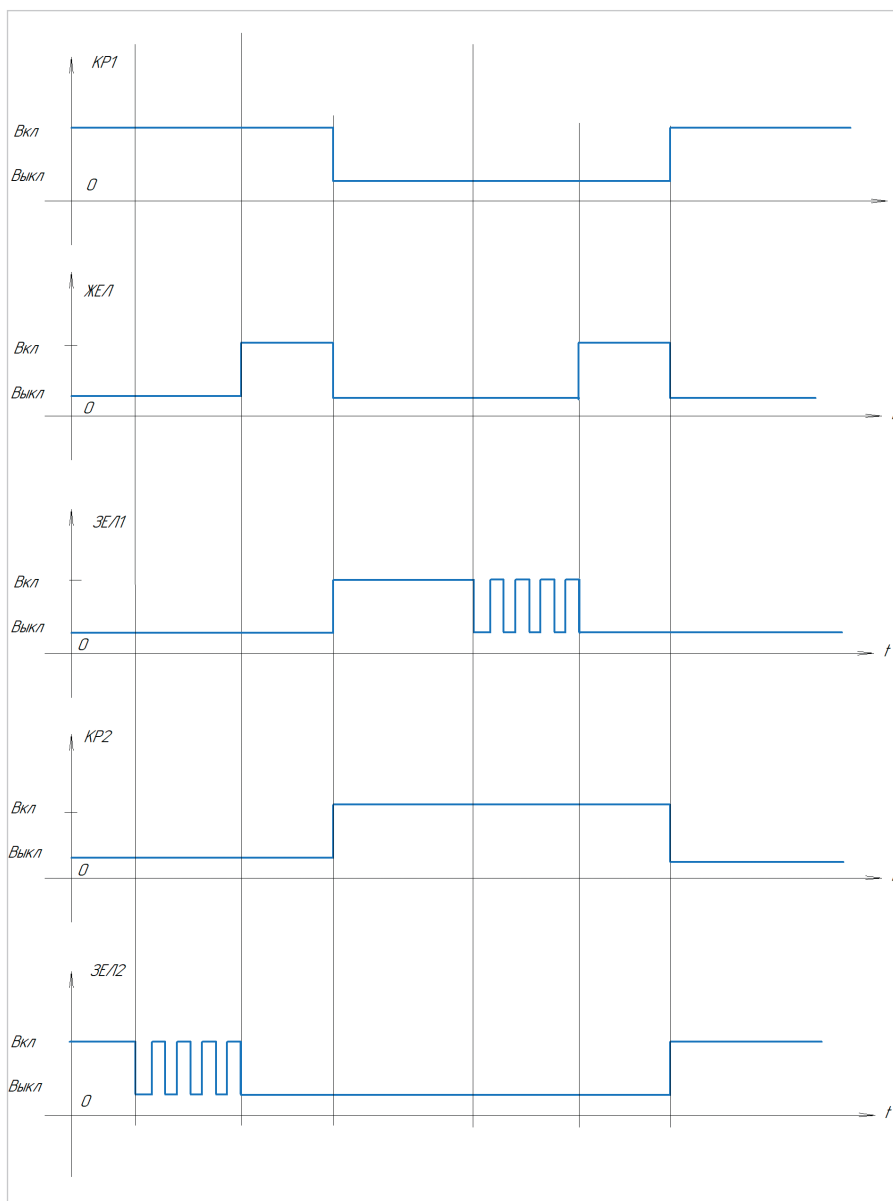


Рис. 3. Временные диаграммы переключения сигналов светофора

Таблица 1. Режимы работ и параметры сигналов

Режим работы №	Время включения КР1 (ЗЕЛ2), с	Время включения ЗЕЛ1 (КР2), с	Время включения ЖЕЛ, не более, с	Параметр на дисплее ИПП120 и ПР200, подтверждающий работу в данном режиме	Примечания
0	-	-	-		
1	10	20	3	K10 320	
2	15	15	3	K15 315	
3	20	10	3	K20 310	
4	25	10	3	K25 310	
5	-	-	Периодический сигнал с периодом 2 с и скважностью -2	МИГЖ	Режим «Мигающий жёлтый»

ПР200. Данные параметры представлены в менеджере экранов на рис. 6.

Кнопки S1, S2 имеют следующее функциональное назначение:

- S1 (ПУСК) – функционирование по заданному алгоритму работы в соот-

ветствии с заданным параметром РЕЖИМ (табл. 1);

- S2 (СТОП) – стоп, выключение излучателей, сброс параметра УПР ПР200 в 0 (перевод управления с выносного пульта).

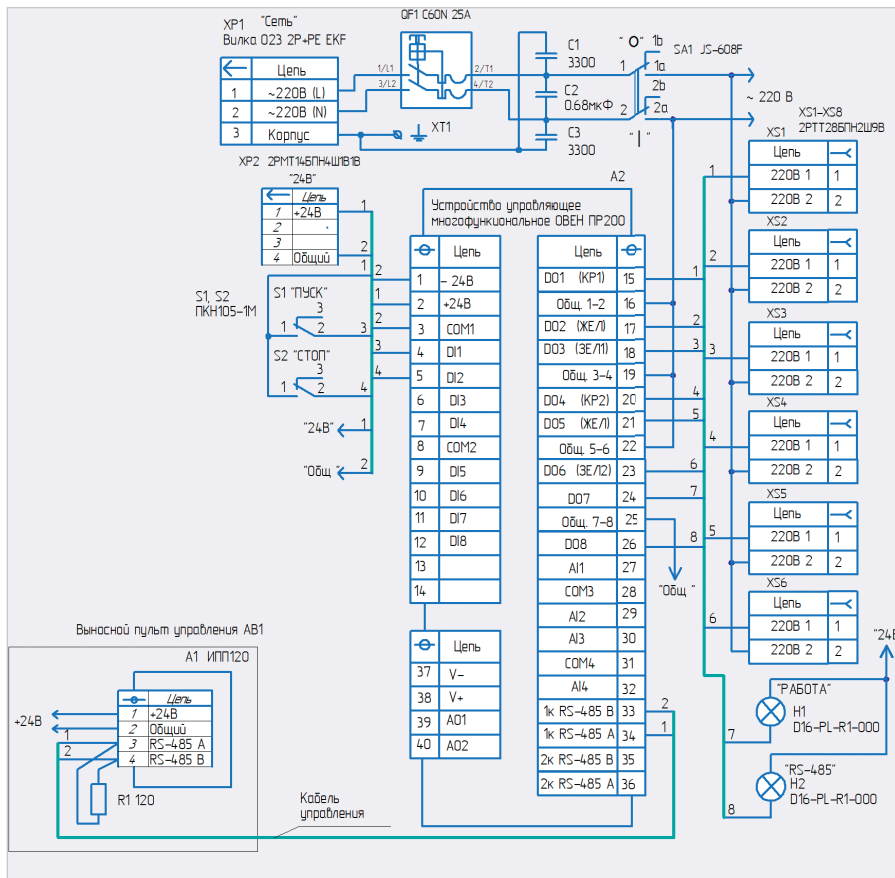


Рис. 4. Принципиальная схема устройства

Таблица 2. Функциональное назначение дискретных входов реле PR200 в устройстве

Дискретный вход в PR200	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение в устройстве	Примечание
DI1	I1	Подключение кнопки S1	Кнопка «СТАРТ»
DI2	I2	Подключение кнопки S2	Кнопка «СТОП» (сброс)

Таблица 3. Функциональное назначение дискретных выходов PR200 в устройстве

Дискретный выход	Индикаторы	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение выхода в устройстве	Примечание
DO1		Q1	Включение красного сигнала на направлении 1	КР1
DO2		Q2	Включение жёлтого сигнала на направлении 1	ЖЕЛ
DO3		Q3	Включение зелёного сигнала на направлении 1	ЗЕЛ1
DO4		Q4	Включение красного сигнала на направлении 2	КР2
DO5		Q5	Включение жёлтого сигнала на направлении 2	ЖЕЛ
DO6		Q6	Включение зелёного сигнала на направлении 2	ЗЕЛ2
DO7		Q7	Включение светового сигнала «РАБОТА». Наличие выходных сигналов PR200, поступающих на излучатели светофора	Индикатор Н1
DO8		Q8	Вкл. – управление с ИПП120; Выкл. – управление с PR200	Индикатор Н2
	F1		Включённый индикатор сигнализирует об отсутствии связи по сети RS-485	
	F2		-	

В табл. 5 приведено функциональное назначение отображаемых параметров на дисплее ИПП120. Данные параметры представлены в менеджере экрана на рис. 8.

Конструктивно устройство состоит из выносного пульта управления, основного (базового) блока управления и излучателей сигналов светофора по двум направлениям. Основной блок управления может быть установлен в корпусе излучателя. Интерфейс управления устройства включает в себя элементы индикации и управления ИПП120 и PR200, расположенные на лицевых панелях приборов, и две выносные кнопки «Старт», «Стоп», подключённые к PR200. Данные выносные кнопки необходимы для оперативного управления устройством при его конфигурировании с основным блоком.

Алгоритм работы устройства следующий. Устройство можно управлять как с интерфейса основного блока (с PR200), так и с интерфейса выносного пульта управления (с ИПП120).

Рассмотрим управление с основного блока (с PR200). Блок-схема управляющей программы для PR200 (рис. 5) демонстрирует работу PR200 в составе устройства. Временные интервалы работы светофора в режимах работы № 1...№ 4 записаны в соответствующие макросы «Свет101», «Свет201», «Свет301», «Свет401». Режим № 5 – «Мигающий жёлтый» – реализован в каждом из вышеуказанных макросов, но включается он в устройстве только в макросе «Свет101». Для того чтобы устройство начало функционировать по заданному алгоритму, необходимо задать режим работы и нажать выносную кнопку «ПУСК». Режим работы № 1...№ 5 в устройстве можно задать на дисплее PR200 изменением числа в параметре РЕЖИМ, тем самым записав число в переменную Regim1. Заданное число поступает на блоки сравнения SEL и сравнивается с константами. При совпадении лог.1 поступает на вход «Разреш» соответствующего макроса. При нажатии на кнопку «ПУСК» лог.1 поступает на вход детектора переднего фронта RTRIG1. С выхода данного блока единичный импульс лог.1 (длительность импульса равна циклу программы) поступает через элемент 2И на входы «Пуск» макросов «Свет101», «Свет201», «Свет301», «Свет401» и через элемент 2И на

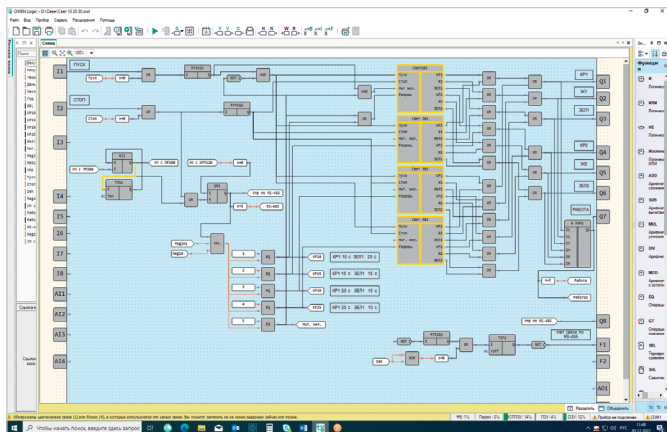


Рис. 5. Скриншот управляющей программы в среде OWEN Logic для PP200

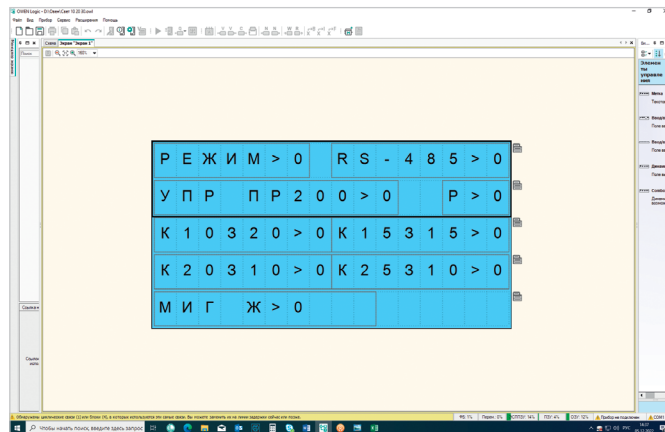


Рис. 6. Скриншот менеджера экранов управляющей программы в среде OWEN Logic для PP200

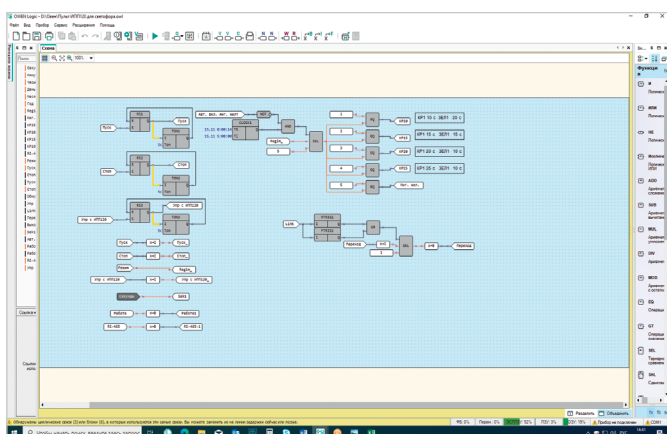


Рис. 7. Скриншот управляющей программы в среде OWEN Logic для ИПП120

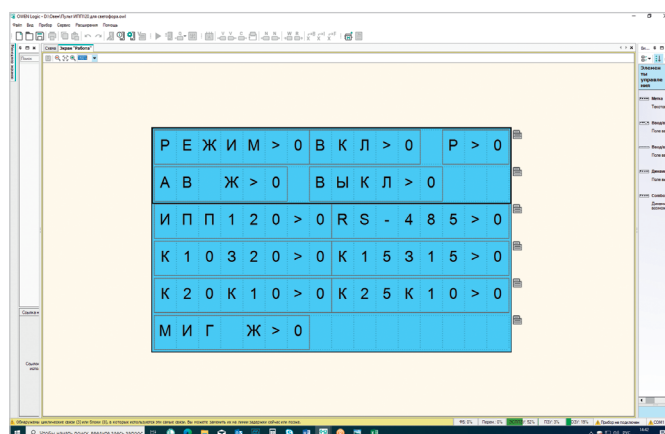


Рис. 8. Скриншот менеджера экранов управляющей программы для ИПП120

вход «Мигающий жёлтый» макроса «Свет101».

Выходные сигналы с вышеуказанных макросов через элементы ИЛИ поступают на выходы Q1...Q6 PP200 и на входы макроса «БИЛИ1». Выходы Q1...Q6 PP200 управляют световыми сигналами в излучателях светофора. Выход макроса «БИЛИ1» подключён к выходу Q7 PP200. Он управляет индикатором Н1 «Работа». При работе устройства в режимах № 1...№ 4 данный индикатор включён. А при работе в режиме № 5 – периодически мигает с периодом и скважностью сигнала ЖЕЛ.

При нажатии на кнопку «СТОП» лог.1 поступает на вход детектора переднего фронта RTRIG2. С выхода данного блока единичный импульс лог.1 поступает на входы «Стоп» макросов «Свет101», «Свет201», «Свет301», «Свет401». При этом завершается выполнение выбранной программы. Световые сигналы в излучателях светофора и индикатор «Работа» гаснут.

На элементах RS1, TON1, SR1 SEL выполнен блок управления, кото-

Таблица 4. Функциональное назначение отображаемых параметров на дисплее PP200

№	Параметр	Принимаемые значения	Исходное состояние	Функциональное назначение, описание
Параметры управления				
1	РЕЖИМ	0...6	0	0 – резерв; 1 – задаётся режим работы № 1; 2 – режим работы № 2; 3 – режим работы № 3; 4 – режим работы № 4; 5 – режим работы № 5; 6 – режим работы № 6 (описание режимов работы устройства приведено в табл. 1)
2	УПР PP200	1 (0)	0	1 – задание управления с интерфейса PP200
Информационные параметры				
3	RS-485	1 (0)	0	1 – управление устройства с выносного пульта (с ИПП120); 0 – управление с PP-200
4	P	1 (0)	0	1 – работа устройства в заданном режиме № 1...№ 4; 0 – излучатели выключены; периодическое включение 1 – работа в режиме № 5
5	K10320	1 (0)	0	1 – работа устройства в режиме № 1
6	K15315	1 (0)	0	1 – работа устройства в режиме № 2
7	K20310	1 (0)	0	1 – работа устройства в режиме № 3
8	K25310	1 (0)	0	1 – работа устройства в режиме № 4
9	МИГ Ж	1 (0)	0	1 – работа устройства в режиме № 5

рый осуществляет функции выбора управления либо с интерфейса ИПП120, либо с PP200. При уста-

новлении на дисплее PP200 параметра «УПР PP200» в 1 устанавливается в лог.1 переменная «Уп с

Таблица 5. Функциональное назначение отображаемых параметров на дисплее ИПП120

№	Параметр	Принимаемые значения	Исходное состояние	Функциональное назначение, описание
Параметры управления				
1	РЕЖИМ	0...6	0	0 – резерв; 1 – задаётся режим работы № 1; 2 – режим работы № 2; 3 – режим работы № 3; 4 – режим работы № 4; 5 – режим работы № 5; 6 – режим работы № 6 (описание режимов работы устройства приведено в табл. 1)
2	ВКЛ	1(0)	0	1 – включение устройства. Функционирование по заданному алгоритму работы в соответствии с заданным параметром РЕЖ
3	ВЫКЛ	1(0)	0	1 – выключение излучателей устройства
4	АВ Ж	1(0)	0	1 – автоматическое включение режима работы № 5 «Мигающий жёлтый» в интервале времени от 0 ч до 5 ч; 0 – включение режима работы № 5 «Мигающий жёлтый» с клавиатуры ИПП120 или ПР-200
5	ИПП120	1(0)	1	1 – задание управления с ИПП120
Информационные параметры				
6	RS-485	1(0)	0	1 – управление устройств с ИПП120; 0 – управление с ПР-200
7	Р	1(0)	0	1 – работа устройства в заданном режиме № 1...№ 4; 0 – излучатели выключены; периодическое включение 1 – работа в режиме № 5
8	K10320	1(0)	0	1 – работа устройства в режиме № 1
9	K15315	1(0)	0	1 – работа устройства в режиме № 2
10	K20310	1(0)	0	1 – работа устройства в режиме № 3
11	K25310	1(0)	0	1 – работа устройства в режиме № 4
12	МИГ Ж	1(0)	0	1 – работа устройства в режиме № 5

Таблица 6. Сетевые переменные, задействованные в устройстве

№	Сетевая переменная	Тип	Адрес регистра Modbus (dec)	Функциональное назначение в программе
1	Regim	Целочисленное	512	Выбор режима работы устройства с ИПП120
2	Пуск_	Целочисленное	513	Пуск (старт) устройства с ИПП120
3	Стоп_	Целочисленное	514	Стоп (остановка) выполнения заданной программы с ИПП120
4	Sek	Целочисленное	515	Переменная задействована в организации контроля сети RS-485 для ПР200
5	Работа	Целочисленное	516	Подтверждение работы излучателей. Обратная связь от ПР200 к ИПП120
6	RS-485_	Целочисленное	517	Подтверждение работы устройства в режиме управления от ИПП120
7	Упр с ИПП120	Целочисленное	518	Включение управления с ИПП120

ПР200» и выход триггера RS1. Выход триггера SR1 при этом устанавливается в лог.0. Запускается таймер с задержкой включения TON1. Через 2 с на выходе TON1 устанавливается лог.1. Переменная поступает на вход R RS1, выход RS1 устанавливается в лог.0. Лог.1 с выхода SR1 поступает на управляющий вход SEL. При лог.0 на данном входе управление устройства осуществляется с интерфейса ПР200 (переменная Regim1 на блок-схеме, параметр РЕЖИМ на дисплее ПР200). При лог.1 на управляющем

входе SEL управление устройства осуществляется с интерфейса ИПП120 (сетевая переменная Regim на блок-схеме, параметр РЕЖИМ на дисплее ИПП120). Далее целочисленное значение переменной Regim1 (либо с Regim) поступает на блоки сравнения EQ, и при совпадении значения переменной с константой устанавливается лог.1 на входе «Разреш» одного из макросов «Свет101», «Свет201», «Свет301», «Свет401». Тем самым задаётся режим работы устройства.

На элементах RTRIG3, TOF1 собран блок, контролирующий обрыв связи по каналу RS-485. Через 6 с с момента отсутствия изменения значений в сетевой переменной Sek (отсутствие связи по RS-485) включится индикатор F1 в ПР200. При работающем интерфейсе RS-485 между ИПП120 и ПР200 индикатор F1 в ПР200 выключен.

Рассмотрим управление устройства с выносного пульта (с ИПП120). Выбор режима работы задаётся изменением параметра «РЕЖИМ» на дисплее ИПП120. При этом сетевая переменная Regim\_ (рис. 7) принимает значения от 0 до 5 в соответствии с табл. 1. После установки параметра «ВКЛ» в 1 начинается выполнение заданного режима работы, что подтверждается установкой в 1 одного из параметров: «МИГ Ж», «K10320», «K15315», «K20K10», «K25K10». После установки параметра «ВЫКЛ» в 1 завершается выполнение выбранной программы. Предусмотрено автоматическое включение режима «Мигающий жёлтый» с заранее заданным интервалом работы. Для этого необходимо установить параметр «АВ Ж» в 1. Интервальный таймер CLOCK1 задаёт интервал работы режима «Мигающий жёлтый» в 24-часовом формате при автоматическом включении. При отсутствии обмена по интерфейсу RS-485 между ИПП120 и ПР200 на дисплее ИПП120 индицируется сообщение «ОБРЫВ по RS-485». Сетевые переменные, задействованные в устройстве, приведены в табл. 6.

Изменяя в управляющей программе для ПР200 количество макросов типа «Свет101» с заранее настроенными временными интервалами включения световых сигналов светофора, можно реализовать оптимальное регулирование движения автомобильного транспорта и пешеходов на перекрёстке в течение суток. Кроме того, в режиме Master ИПП120 в сети RS-485 может управлять устройствами, то есть с выносного пульта можно организовать управление 16 светофорами.

## Литература

1. Руководство по эксплуатации. Устройство управляющее многофункциональное ПР200.
2. Руководство по эксплуатации. Панель оператора ИПП120.
3. URL: <http://www.owen.ru>.



## НОВОСТИ МИРА

## Россия легализует частоты для беспилотников и глушит их «Серпом-ВС»

Госкомиссия по радиочастотам намерена выделить несколько полос частот для работы в России беспилотных летательных средств. В 2021 г. для беспилотников уже была выделена одна полоса частот, но только для тех, которые предназначены для мониторинга промышленных объектов. Сейчас беспилотники используют радиочастоты в отсутствие нормативной базы. А «Росэлектроника» оснастила объекты ТЭК новой системой защиты от беспилотников.

Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ) на своем ближайшем заседании намерена рассмотреть вопрос о выделении новых частот для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В России происходит расширение рынка беспилотных воздушных судов (БВС) и беспилотных авиационных систем (БАС). В том числе в 2021 г. правительство утвердило Концепцию интеграции беспилотных воздушных судов в единое воздушное пространство России, кроме того, происходит реализация инициативы «Беспилотная аэродромная поставка грузов».

ГКРЧ планирует определить, что радиоэлектронные средства (РЭС), обеспечивающие функционирование БАС, относятся к воздушной подвижной службе. Предполагается выделить неопределенному кругу лиц на территории России следующие полосы радиочастот: 118...137 МГц, 390...399,9 МГц, 860...876 МГц, 902...915 МГц и 921...925 МГц для организации командной линии (управление, контроль и обмен сообщениями).

Для организации каналов передачи полезной нагрузки в БАС планируется выделить полосы частот 1427...1535 МГц, 2214...2226 МГц, 2328...2340 МГц, 2400...2500 МГц и 2580...2592 МГц.

Кроме того, планируется признать возможным использование полос радиочастот 1710...1785 МГц и 1805...1880 МГц РЭС, установленными на БАС, в рамках действующих решений ГКРЧ об использовании полос радиочастот для применения РЭС стандарта LTE (четвёртое поколение сотовой связи) и действующих разрешений на использование радиочастот для РЭС стандарта LTE.

Также планируется признать перспективными для проведения исследований о возможности использования полосы радиочастот 960...1200 МГц для организации



командной линии БАС и полосы радиочастот 5...5,2 ГГц и 5,85...6,425 ГГц для организации канала передачи полезной нагрузки в БАС.

Также ГКРЧ планирует поручить Росавиации совместно с Роскомнадзором, Минобороны, ФСО (Федеральная служба охраны) и МЧС (Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий) разработать специальный механизм внесения уточнений или дополнений в выданные разрешения на использование радиочастот или радиочастотных каналов в случае необходимости оперативного использования БАС.

Кроме того, Росавиации будет рекомендовано, совместно с другими органами власти, провести исследования возможности обеспечения электромагнитной совместимости между РЭС БАС и другими видами РЭС, работающими в полосах радиочастот 960...1200 МГц, 5...5,2 ГГц и 5,85...6,425 ГГц.

Также Росавиации будет рекомендовано, совместно с другими органами власти, провести исследования возможности пересмотра установленных технических характеристик РЭС, обеспечивающих функционирование БАС, в диапазонах 118...137 МГц, 390...399,9 МГц, 860...876 МГц, 902...915 МГц, 921...925 МГц, 1427...1535 МГц, 2214...2226 МГц, 2328...2340 МГц, 2,4...2,5 ГГц и 2,58...2,592 ГГц при соблюдении условий ЭМС между этими РЭС и другими видами РЭС, работающими в этих и смежных с ними диапазонах радиочастот.

Как отмечается в материалах ГКРЧ, в настоящее время на учёта Росавиации состоит свыше 60 тыс. БВС. Сложившаяся ситуация характеризуется функционированием радиоэлектронных средств, установленных на БВС, различных диапазонов радиочастот в условиях отсутствия нормативных документов, регулирующих условия их использования.

В конце 2021 г. ГКРЧ выделила частоты для организации связи с беспилотными воздушными судами, но только одну полосу – 5,85...6,425 ГГц – и только для одного применения – проведение воздушного наблюдения и патрулирования при обеспечении контроля состояния удалённых (труднодоступных) промышленных объектов (нефте- и газопроводов, линий электропередач и др.).

Предлагаемый проект решения комиссии направлен на решение проблемы текущего радиочастотного обеспечения БВС общегосударственного назначения, эксплуатируемых как физическими, так и юридическими лицами в других диапазонах радиочастот.

Предложения по выделению частот основаны на отчёте ЕСС (Electronic Communication Committee, Комитет по электронным коммуникациям, подразделение Европейской ассоциации нефрологов), рекомендовавшего минимальную ширину радиочастотных каналов, выделяемых для линий связи и управления БПЛА и для каналов передачи полезной информации с БПЛА на землю.

Согласно отчёту ЕСС, для БПЛА предполагается выделение двух радиочастотных полос, причём как из разных диапазонов радиочастот, так и из одного и того же диапазона: одна для радиочастотного канала управления БПЛА (скорость передачи данных в канале 0,3-1 Мбит/сек, примерная рабочая ширина полосы 0,3...3 МГц) и вторая – для передачи полезной информации (скорость передачи данных в канале 5 Мбит/сек, ширина полосы – 5...10 МГц).

Что касается отнесения РЭС, отнесённых на БВС, к воздушной подвижной службе, то такой подход согласован с Минобороны и Росавиацией. Соответственно, все предложенные диапазоны радиочастот будут выделены подвижной службе на первичной основе.

[russianelectronics.ru](http://russianelectronics.ru)

# Применение дисплея DES E-ink в барометре-термометре-гигрометре с гистограммой изменения давления за неделю

Алексей Кузьминов (г. Москва)

В статье приведено описание аппаратной (схемы, разводка плат) и программной реализации барометра-термометра-гигрометра на базе МЭМС-датчика VME280, микроконтроллера (МК) EFM8SB20F16 и DES E-ink-дисплея GDEW029M06 (2,9 дюйма, разрешение 128×296 пикселей) с питанием от литиевой батарейки ER14505 (3,6 В, 2,7 А·ч, размер AA), обеспечивающей непрерывную работу прибора в течение как минимум 10 лет. Помимо цифровых значений давления, температуры и влажности, отражающихся на дисплее раз в 10 минут, на нём построена гистограмма суточного изменения давления за 8 дней. Рассказано о конструкции и результатах работы прибора.

## Введение

Пару лет назад (в конце 2020 года) компания Good Display начала производство матриц по технологии собственной разработки DES – Display Electronic Slurry (slurry – жидкая глина, суспензия, взвесь). Преимущества дисплеев на базе матрицы DES (по данным Good Display):

- расширенный рабочий температурный диапазон;
- наличие УФ-фильтра;
- более высокий контраст;
- более низкая цена.

Что касается расширенного температурного диапазона и низкой цены, то некоторые (хотя далеко не все) современные стандартные E-ink-дисплеи также уже работают в широком тем-

пературном диапазоне, да и цена их существенно снизилась. А вот что касается контрастности изображения, то здесь действительно DES-дисплеи не имеют равных. Это объясняется следующей причиной. Если посмотреть через лупу на обычный E-ink-дисплей, то можно обнаружить, что он состоит из своеобразных сот, расположенных под небольшим углом, и каждый его пиксел является как бы конгломератом из нескольких таких сот и поэтому не имеет четких границ (рис. 1а). У DES-дисплея каждый пиксел представляет собой квадрат с четкими границами (рис. 1б), за счёт чего и достигается очень высокий контраст.

Одним из представителей таких DES-дисплеев является 2,9-дюймо-

вый дисплей GDEW029M06 размером 79×36,7×1,22 мм с разрешением 128×296 пикселей, оснащённый встроенным контроллером UC8151. Помимо очень высокой контрастности, сохраняемой даже при отрицательных температурах (по сравнению, например, с дисплеем, описанным в [1]), этот дисплей отличается сниженным до двух секунд временем обновления изображения (до 5 секунд в [1]). Этот дисплей и был выбран в данной разработке.

Дальнейшее изложение построено следующим образом. Вначале приведены принципиальные схемы устройства и кратко описаны его программные средства (в основном касающиеся вывода информации из МК в дисплей), далее показана разводка платы прибора. Затем рассмотрены конструкция прибора и результаты его работы.

## Принципиальные схемы

В схеме (рис. 2) объединены сразу 3 устройства: микропотребляющий (с током потребления не более 1 мкА) стабилизатор STLQ015M30R (DA1) с выходным напряжением 3 В, МК EFM8SB20F16-QFN24 (DD1) и устройство для прямого подключения дисплея: DC/DC-конвертор на базе транзистора SI1308EDL (VT1), диодов PMEG3010 (VD1–VD3), катушки индуктивности SH3018 (L1), конденсаторов (C6–C17), резисторов R3, R4 и разъёма FPC24/0.5mm (X2), к которому подключается шлейф дисплея. В [1] эти три устройства были на трёх отдельных платах.

Конденсаторы C4 и C5 положены для штатной работы стабилизатора DA1, конденсаторы C2 и C3 – для штатной работы МК DD1. RC-цепочка R1R2C1 предназначена как для штатной работы МК при включении питания (она затягивает низкое состояние сигнала RST, требующееся по штату работы, на время заряда конденсатора C1), так и в режиме программирования по интер-

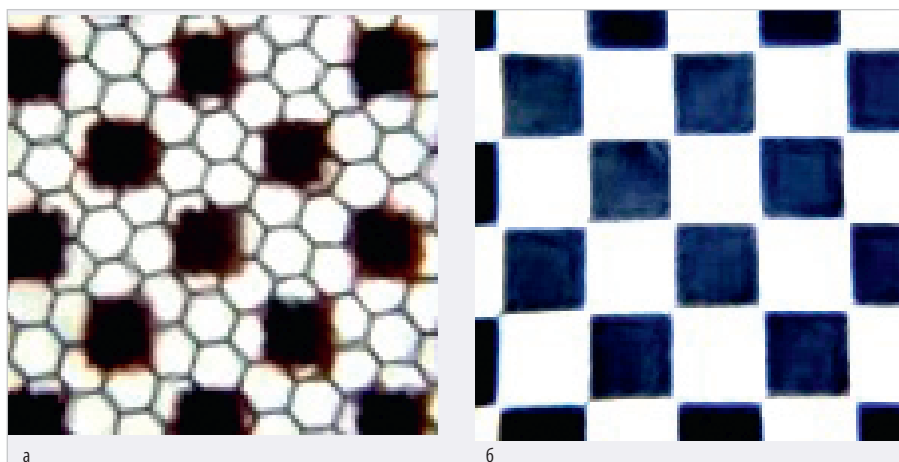


Рис. 1. Сравнение матриц двух типов E-ink дисплеев: а) Micro-cup (микро-чашка) pixel display; б) DES pixel display

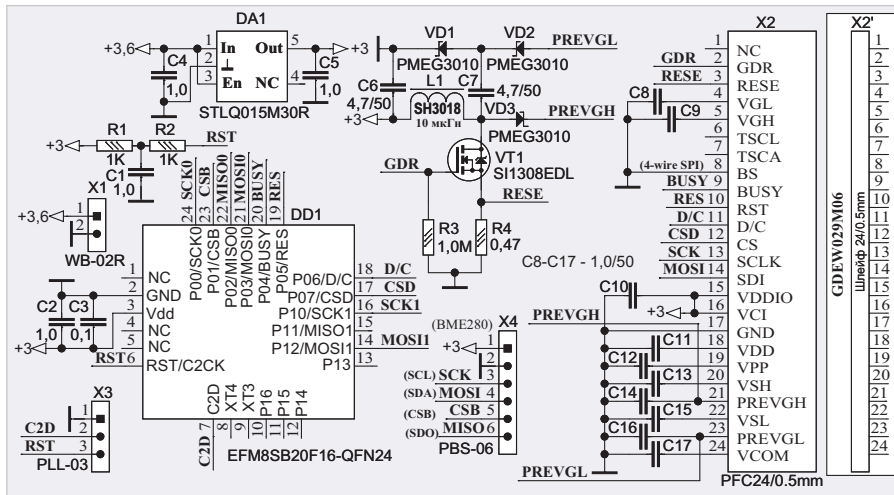


Рис. 2. Принципиальная схема платы прибора

фейсу C2 с помощью сигналов RST и C2D (резистор R2 даёт возможность легко управлять сигналом RST от этого интерфейса). Эти два сигнала (RST и C2D) и «земля» выведены на штыревой разъём X3; к нему ответным гнездом подключается кабель сопряжения с USB DEBUG адаптером, который, в свою очередь, сопрягается с компьютером по интерфейсу USB (схему сопряжения можно найти в [2]). Питание на плату подаётся с углового штыревого разъёма WB-02R (X1). К нему ответным гнездом PHR-02 (X1' на рис. 3) подключается двухпроводный кабель от батарейки ER14505-LD/PHR-02P (BAT1 на рис. 3), которым она оборудована. К штыревому разъёму PBS-06 (X4) ответным гнездом PLS-06R (X4' на рис. 3) подключается модуль с BME280.

Как видно из рис. 2, схема платы не отличается особой сложностью, поэтому она легко разводится и имеет размер всего 22×26 мм (см. далее).

## Программные средства

Программа для МК в уже готовом загрузочном формате (файл EFM8SB20F16G-A-QFN24\_4.hex) приведена в дополнительных материалах к статье на сайте журнала. Её можно запрограммировать в МК вышеприведённым способом с помощью USB-DEBUG адаптера. Однако для тех, кто хочет самостоятельно написать свою программу, автор хотел бы поделиться некоторыми её моментами, в основном связанными с изменёнными по сравнению с [1] портами МК и выводом информации на дисплей.

Конфигурация портов для SPI0 и SPI1 (рис. 4а) соответствует МК DD1 на схеме рис. 2. Для обоих SPI сигналы SCK и MOSI настраиваются как цифровые

выходы, а сигналы MISO – как цифровые входы. Порты P0.1 (CSB), P0.5 (RES), P0.6 (D/C) и P0.7 (CSD) настраиваются как цифровые выходы, а порт P0.4 (BUSY) – как цифровой вход.

Таймер RTC настраивается в соответствии с рис. 4б, что даёт погрешность по времени около  $\pm 1$  минута в сутки.

В программе установлены следующие назначения портов для соответствующих сигналов.

```
sbit CSB = P0^1; // - для BME
sbit CSD = P0^7; // - для EPD
sbit D_C = P0^6; // - для EPD
sbit RSTD = P0^5; // - для EPD
sbit BUSY = P0^4; // - для EPD
```

Остальные настройки аналогичны сделанным в [1].

Теперь по поводу вывода информации в дисплей. Этот вывод условно можно разделить на три типа.

Первый тип – вывод цифровых значений и их размерностей для давления, температуры и влажности. Эта информация выводится в две строки. В первой (верхней) строке выводится давление и его размерность. Например, «751 мм рт. ст.». Во второй (нижней) строке выводятся температура (со знаком) и влажность с их размерностями. Например, «+25°C 43% “капля”», где «капля» – рисунок капли с делениями. Все символы двух строк расположены строго один над другим и выводятся так же, как это описано в [1], поэтому, чтобы не повторяться, объяснение подобного вывода не приводится. Для символов выбран шрифт Опух жирный размером 61, где каждый символ выводится в поле 22×64 пиксела, причём реальная высота и ширина символа не превышают 60 и 22 пиксе-

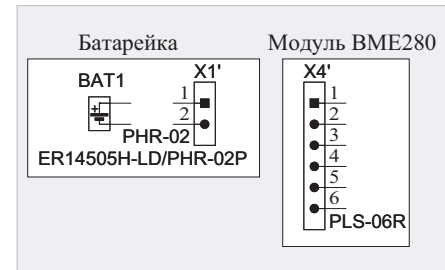


Рис. 3. Дополнительные компоненты прибора

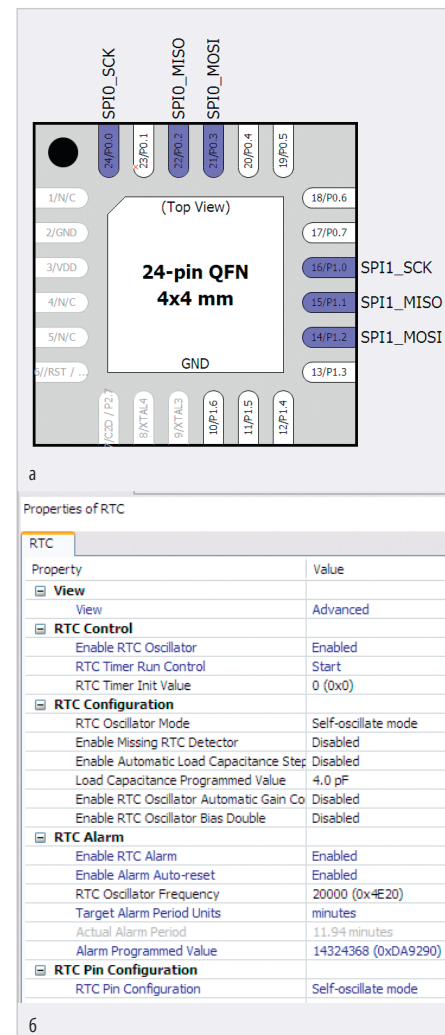


Рис. 4. Конфигурация портов МК (а) и настройка RTC (б)

ла соответственно. Это позволяет вывести символы без горизонтальных пробелов с расстоянием между ними по вертикали в 4 пиксела.

Второй тип вывода – это своеобразная «картинка», в которой отражаются вертикальные координаты гистограммы с минимальными (710) и максимальными (780) значениями давления в мм рт. ст. Эти значения были выбраны в связи с тем, что по данным многолетних наблюдений минимальное давление в Москве (709 мм рт. ст.) было зафиксировано 25 ноября 1973

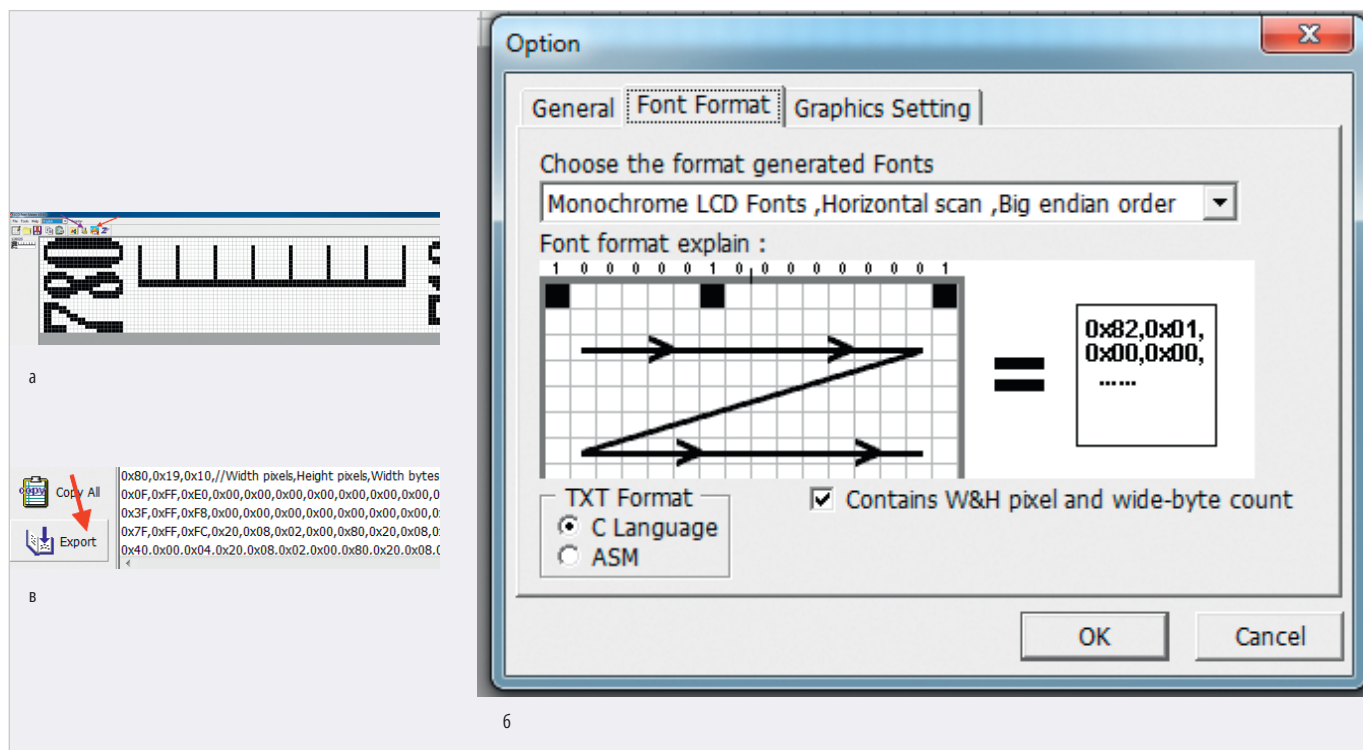


Рис. 5. Получение кодовой последовательности «картинки»: а) «картинка»; б) формат вывода кодов; в) получение файла с кодами

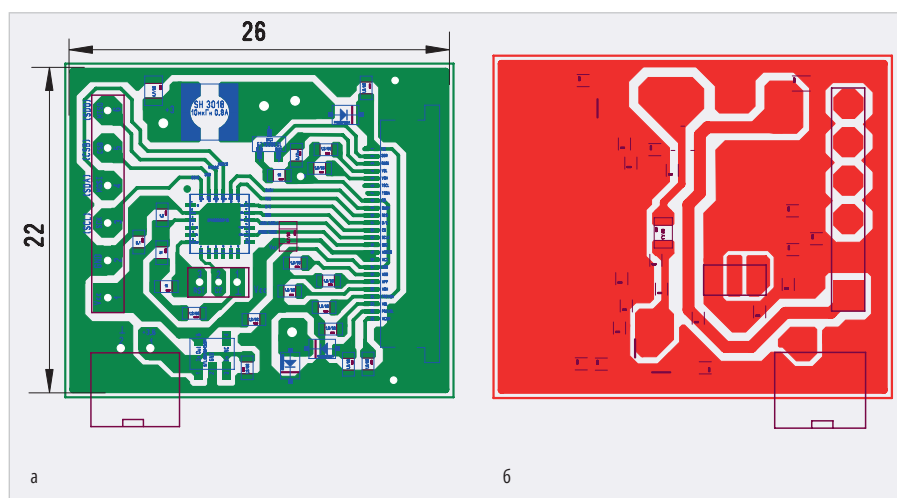


Рис. 6. Разводка платы прибора: а) вид со стороны расположения компонентов; б) вид с обратной стороны

года, а максимальное (782 мм рт. ст.) – 14 декабря 1944 года. Реальный диапазон давлений, который показывал прибор, существенно уже: от 725 до 774 мм рт. ст. Для получения «картинки» использована хорошо известная программа LCD Font Maker V3.92. В этой программе подобная картинка была буквально нарисована, а для цифровых значений использован тот же шрифт Опух жирный, но меньшего размера. Далее специальной опцией поворота эта картинка была повернута на 90° (рис. 5а). После этого опцией настройки формата вывода (сиреневая стрелка, рис. 5а) был выбран формат слева направо и сверху вниз

(рис. 5б), а опцией кодировки картинки (красная стрелка рис. 5а) получены её коды (рис. 5в). Далее, нажав кнопку “Export” (красная стрелка, рис. 5в) и назвав нужный файл, можно получить все коды картинки, которые затем уже вставить в программу в виде массива. Если этот массив выводить подряд, то за счёт встроенного в контроллер дисплея инкрементирования и декрементирования счётчиков строк и столбцов все пиксели картинки выведутся туда, куда нужно. Размер картинки 128×25 пикселей, т.е. она строго вписывается в дисплей по вертикали (128), а расстояния между делениями в пикселях (10) как раз соответствуют 10 мм

рт. ст., т.е. каждый пиксел соответствует 1 мм рт. ст.

Третий тип вывода – это вывод гистограммы, столбцы которой представляют собой значения давления, снятые равно в полночь, за сегодняшний день и за всю предыдущую неделю. Эти значения давления сформированы в виде массива с восемью элементами (AP[8]). Поскольку измерение параметров производится раз в 10 минут, то в час происходит 6 измерений, а в сутки – 144, что нетрудно подсчитать. В полночь, когда произведены все 144 измерения, эти значения просто переписываются одно в другое, т.е. сегодняшнее давление переписывается во вчерашнее, вчерашнее – в позавчерашнее и т.п. до конца недели. В программе это выглядит следующим образом:

```

AP [7]=AP [6] ;
AP [6]=AP [5] ;
AP [5]=AP [4] ;
AP [4]=AP [3] ;
AP [3]=AP [2] ;
AP [2]=AP [1] ;
AP [1]=AP [0] ;
    
```

Здесь никаких особенных трудностей, на взгляд автора, не возникает.

Построение самих столбцов гистограммы давления также не отличается особой сложностью.

Идея заключается в следующем. В программном смысле каждый стол-

бец дисплея шириной в 1 пиксел представляет собой 16-байтный массив (MP[16]), поскольку по вертикали дисплей имеет разрешение 128 (128/8 = 16), а вывод осуществляется побайтно.

Пусть, например, измеренное давление равно 753 мм рт. ст. Во-первых, от этого давления необходимо отнять минимальное его значение (710 – см. рис. 5а), чтобы столбец строго вписывался в картинку: 753 – 710 = 43. Далее, поскольку столбец выводится побайтно, необходимо выяснить, сколько целых байт содержится в числе 43. Для этого 43 надо просто нацело разделить на 8: 43/8 = 5, т.е. в данном случае получим 5 нижних байт столбца, которые должны быть нулевыми, чтобы столбец выводился чёрными пикселями. А остаток от деления (в данном случае это 3) определяет, что 3 младших бита верхнего байта столбца должны также быть нулевыми, чтобы они также выводились чёрными пикселями (байт в столбец дисплея выводится сверху вниз старшим битом вперёд). Как сформировать байт, у которого количество младших бит в точности соответствует остатку (в данном случае – 3)? Один из вариантов – взять число 0xff и сдвинуть его влево на число остатка (т.е. в данном случае на 3). Здесь необходимо напомнить, что при сдвиге байта влево освободившиеся от сдвига правые (младшие) биты устанавливаются в ноль. Таким образом, если давление равно 753, то столбец состоит из 5 полных нулевых байт и трёх младших нулевых бит 6-го (верхнего) байта. Для того чтобы этот столбец шириной в 1 пиксел вывелся на своё место, соответствующее картинке, необходимо также вывести верхние и нижние пробелы (равные 0xff).

Теперь по поводу ширины столбцов гистограммы. Здесь имеет смысл сегодняшний столбец сделать потолще, чтобы он выделялся на фоне остальных, которые сделать тоньше. Ширина сегодняшнего столбца была выбрана равной 6 пикселям, ширина остальных – 3 пиксела, ширина пробелов между столбцами – 3 пиксела.

Подпрограмма вывода столбца, соответствующего давлению (P) и ширине в пикселях (N), с необходимым количеством верхних и нижних пробелов приведена ниже. С учётом вышесказанного, на взгляд автора, понять её достаточно просто.

```
void OUTSTOLB(uint8_t N,
uint16_t P)
{
    uint8_t xdata
MP[16], i, CP, OSTP, BYTEOST, k, b;
    CP = (P - 710) / 8; //целая
часть
    OSTP = (P - 710) % 8; //оста-
ток
    if (OSTP != 0)
    {
        b = 1;
        BYTEOST = 0xff <<
OSTP; //сдвиг 0xff влево на
OSTP бит
    }
    else
    b = 0;
    for (i = 0; i < (12 - CP -
b); i++)
    { MP[i] = 0xff; //верх-
ние пробелы
    }
    if (b != 0) // есть
остаток
        MP[11 - CP] = BYTEOST; //
биты остатка
        for (i = 12 - CP; i < 12; i++)
        { MP[i] = 0x00; //чер-
ные пиксели
        }
        MP[12] = 0x7f; //P=710
        MP[13] = MP[14] = MP[15] = 0xff;
//нижние пробелы
        for (k = 0; k < N; k++)
        { for (i = 0; i < 16; i++)
            { EPD_WRITE_
DAT(MP[i]); // вывод столбца
            }
        }
    }
}
//-----
```

Обращение к этой подпрограмме, если, например, требуется вывести сегодняшний столбец, равный давлению (press) и имеющий ширину в 6 пикселей, очень простое:

```
OUTSTOLB(6, press);
```

После трансляции всей программы в среде Simplisity Studio V.4 на экран в специальном окне, отражающем результат трансляции, выведется сообщение:

```
Program Size: data=118.1
xdata=38 const=0 code=9621
LX51 RUN COMPLETE. 0
WARNING(S), 0 ERROR(S)
```

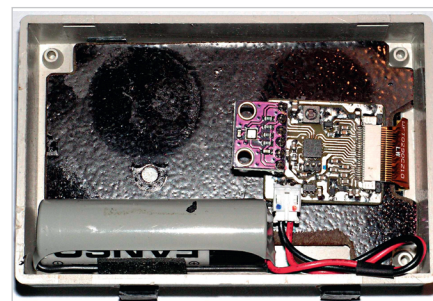


Рис. 7. Общий вид прибора в открытом корпусе (без крышки)

```
Finished building target:
EFM8SB20F16G-A-QFN24_4.omf
```

Из этого сообщения можно заключить, что в программе использована почти вся внутренняя оперативная память с прямой адресацией объёмом 128 байт (data = 118,1), а внешняя оперативная память с косвенной адресацией объёмом 2 кбайт почти не использована (xdata = 38). Кодовая часть программы использует чуть более половины всей программной памяти объёмом 16 кбайт или 16 384 байта (code = 9621). Остаток программной памяти составляет: 16 384 – 9621 = 6763 байт ≈ 6,6 кбайт. Кроме того, при трансляции применена так называемая small-модель, в которой данные располагаются в области памяти с прямой адресацией (data). В этом случае, во-первых, существенно экономится программная память, а во-вторых, программа работает несколько быстрее.

## Разводка платы, конструкция прибора и результаты его работы

Разводка платы сделана автором с помощью программы SprintLayout v.6. Файл разводки в формате \*.lay6 приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала. Из рисунка разведённой платы можно заключить, что разводка очень проста, а сама плата (рис. 6) небольшого размера (22×26 мм).

Прибор расположен в корпусе «20–22» размером 90×58×23 мм с защёлкивающейся крышкой (рис. 7), в котором для дисплея прорезано окно по размеру видимой части его экрана. Для доступа воздуха к внутреннему пространству прибора в крышке сверху и снизу сделано по 5 отверстий диаметром 4 мм. Сам дисплей приклеен к текстолитовой пластине толщиной 2 мм тонким скотчем с двусторонним липким слоем, а пластина, в свою очередь, приклеена к внутренней поверхности корпуса пори-



Рис. 8. Общий вид прибора, проработавшего неделю

стой лентой с двусторонним липким слоем. Шлейф дисплея перегнут через вырез в пластине и вставлен в разъем платы, которая приклеена к пластине такой же пористой лентой. Этой же лентой к пластине и боковой стенке корпуса приклеена батарейка. Как только разъем кабеля от батарейки вставлен в соответствующий разъем платы, прибор сразу начинает работать, и остаётся только защёлкнуть крышку. Это необходимо сделать ровно в полночь.

Показание прибора (рис. 8) снято после того, как он проработал 8 дней (с 30.11.22 по 07.12.22). В начале этого периода в Москве наблюдалось аномально высокое давление, доходившее до 774 мм рт. ст., которое постепенно снижалось, что можно определить по гистограмме. Прибор был включён за 2 минуты до полуночи (в 23:58), и каждый день в районе полуночи фиксировалось время, когда в гистограмме появлялась новая полоска. Как показал эксперимент, это время менялось с 23:57:10 до 23:59:05, т.е. абсолютная погрешность по времени составила приблизительно  $\pm 1$  минуту, хотя в руководстве по использованию МК (EFM8SB2 Reference Manual) указано, что погрешность работы внутреннего генератора RTC составляет  $\pm 20\%$ .

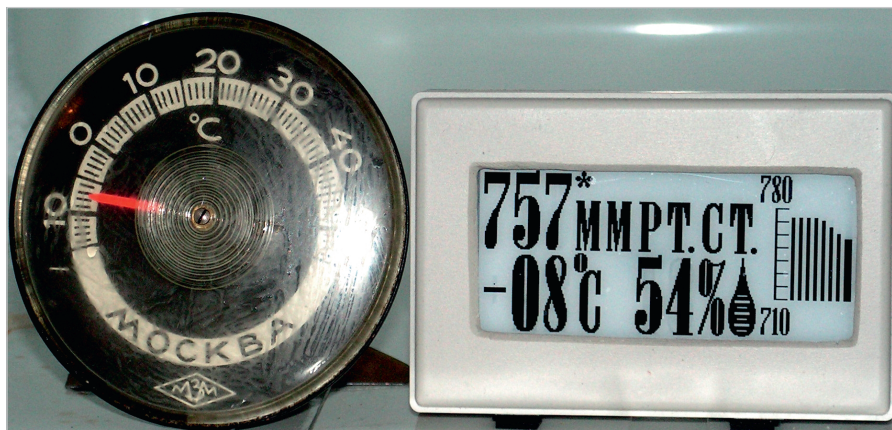


Рис. 9. Показания прибора и уличного термометра, помещённых в морозилку холодильника на час

Погрешность ( $\pm 1$  минута) можно существенно снизить, если использовать внешний часовой кварцевый резонатор частотой 32 768 Гц, подключённый к выводам 8 и 9 МК (XTAL3 и XTAL4, рис. 2, рис. 4а). Однако поскольку погрешность по времени меняется как в положительную, так и в отрицательную сторону от случая к случаю, автор посчитал, что подключение кварцевого резонатора совсем не обязательно.

Как можно убедиться из рис. 9, контрастность изображения DES E-ink дисплея ничуть не снижается при отрицательных температурах, что является большим преимуществом перед обычным E-ink дисплеем, у которого изображение в этих условиях существенно тускнеет ([1]).

### Заключение

Применение DES E-ink дисплея GDEW029M06 совместно с МЭМС-датчиком BME280, МК EFM8SB20F16, литиевой батарейкой ER14505 и микропотребляющим стабилизатором STLQ015M30R позволили сконструировать прибор, который, поми-

мо цифровых значений атмосферного давления, температуры и влажности, выводит на дисплей гистограмму давления за последние 8 дней. Это позволяет в некоторой степени осуществлять прогноз давления на следующий день, что часто бывает жизненно необходимо для метеозависимых людей. То, что прибор в течение 10 лет работает без замены батарейки и, как следствие, не требует никакого обслуживания, является большим преимуществом по сравнению с похожими приборами (с OLED-дисплеями или дисплеями с ЖКИ), в которых приходится часто менять батарейки, т.е. постоянно нуждающихся в обслуживании.

### Литература

1. Кузьминов А. Модернизированный барометр-гигрометр-термометр с батарейным питанием на базе микроконтроллера EFM8SB20F16 и E-ink дисплея // Современная электроника. 2022. № 9.
2. Кузьминов А.Ю. Связь между компьютером и микроконтроллером. Современные аппаратные и программные средства. М.: Перо, 2018.



## НОВОСТИ МИРА

### В Японии начали продавать квантовые компьютеры всем желающим

В Японии начались продажи портативных квантовых компьютеров китайской компании SpinQ Technology из Шэньчжэня. Ранее компания поставляла свои квантовые системы начального уровня в учебные заведения Китая, Тайваня и Канады.

По словам журналистов, в серию вошли три устройства – Gemini, Gemini Mini и Triangulum. Данные ПК являются первыми на рынке квантовыми компьютерами,

доступными для широкого потребителя. Самым дешёвым гаджетом линейки стал Gemini Mini, который также получил портативный корпус. Стоимость компьютера, имеющего мощность два кубита, составила \$8700.

Более мощная по потреблению двухкубитовая система Gemini весом 44 кг стоит существенно дороже – порядка \$43 тыс. Она также может эмулировать работу в режиме восьми кубитов, но фактически она содержит два физических кубита. В чём принципиальная разница по возмож-

ностям между Gemini Mini и Gemini не сообщается.

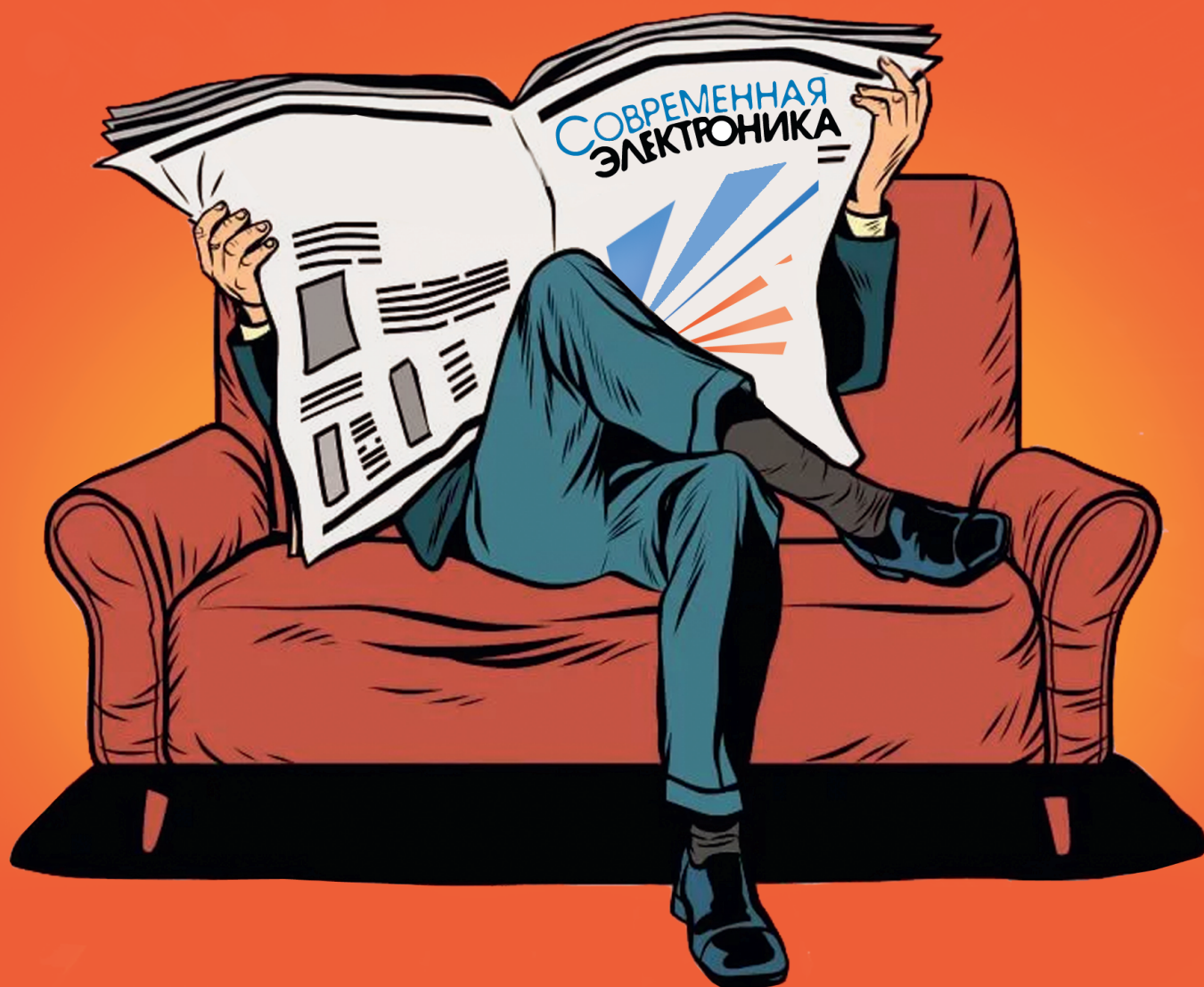


Наконец, за \$58 тыс. можно приобрести трёхкубитовую систему Triangulum. Она весит 40 кг.

[industry-hunter.com](http://industry-hunter.com)



**ЧИТАЙТЕ, КАК ВАМ УДОБНО**



**ПЕЧАТНАЯ И ЦИФРОВАЯ  
ВЕРСИИ ЖУРНАЛА**

**ЖУРНАЛ С ГАРАНТИРОВАННОЙ ДОСТАВКОЙ**

**СОВРЕМЕННАЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА**

**ПОДПИСКА  
НА ЖУРНАЛ**

онлайн: [www.soel.ru](http://www.soel.ru) • +7 495 232-0087 • [info@soel.ru](mailto:info@soel.ru)  
на почте: по каталогу «Урал-пресс» (индекс для печатной версии 36280)