

# Повышение разрешающей способности АЦП микроконтроллера EFM8LB12

## Часть 1

Алексей Кузьминов (compmicrosys@mail.ru)

**Метод передискретизации и осреднения, применённый к 14-разрядному АЦП микроконтроллера EFM8LB12F64, позволяет поднять его разрешающую способность до 19 разрядов при темпе вывода результатов до 0,025 с в 8-канальном режиме работы.**

**В первой части статьи приводится подробное описание аппаратной части устройства сопряжения микроконтроллера EFM8LB12F64 с компьютером с помощью изолированных преобразователей USB-SPI на базе микроконтроллера EFM8UB10 и цифровых изоляторов ADUM3160 и SI8662, предназначенного для тестирования АЦП.**

### ВВЕДЕНИЕ

Применение хорошо известного метода передискретизации и осреднения [1] для увеличения разрешающей способности АЦП к встроенному в микроконтроллер Silicon Laboratories C8051F067 16-разрядному АЦП [2] позволило довести его разрешение до 19 разрядов. Тем самым оказалось возможным приблизиться к характеристикам 24-разрядного  $\Delta\Sigma$ -АЦП Texas Instruments ADS1210 при одном и том же темпе вывода результатов (от 0,1 до 1 с). За последние 6 лет цена данных микросхем удвоилась до \$60 и \$20 соответственно. В связи с этим применение микроконтроллера C8051F067 (далее – F067) могло привести к существенному удорожанию устройства и снижению его конкурентоспособности. В 2016 году компания Silicon Laboratories выпустила новый микроконтроллер EFM8LB12 (далее – LB12), оснащённый 14-разрядным SAR-АЦП. Автором было выполнено несколько экспериментальных работ по использованию данных микроконтроллеров в преобразователях интерфейсов USB-SPI на базе ещё одного микроконтроллера EFM8UB10 (далее – UB10) [3, 4]. В этих экспериментах LB12 связывался с микроконтроллером UB10 по интерфейсу SPI, а UB10 – с компьютером по интерфейсу USB. В настоящее время цена LB12 на порядок ниже, чем у F067, что и явилось причиной проведения исследований, представленных в данной статье, с целью выяснить, может ли АЦП LB12 составить конкуренцию АЦП F067.

Преимущества LB12 перед F067 состоят не только в его стоимости.

Во-первых, этот микроконтроллер имеет в 3 раза большую максимальную тактовую частоту (75 МГц), чем у F067 (25 МГц). Это означает, что время расчёта суммы для осреднения результатов АЦП может быть в 3 раза меньше. Во-вторых, при максимальной тактовой частоте АЦП 18 МГц время его аналого-цифрового преобразования составляет не более 1,11 мкс, т.е. он способен производить аналого-цифровые преобразования с частотой дискретизации 900 кГц. В предыдущих экспериментах с F067 эта частота не превышала 400 кГц. Таким образом, АЦП LB12 в 2 раза быстрее АЦП F067. В-третьих, корпус C8051F067-GQ (TQFP-64) имеет размеры 12×12 мм, тогда как корпус EFM8LB12F64E (QFN32) – всего 4×4 мм, что существенно экономит место на плате устройства и повышает его надёжность. Наконец, LB12 – современный микроконтроллер, имеющий некоторые возможности, отсутствующие в F067. Среди них, например, возможность подключения таймеров T3 и T4 одного за другим. Это означает, что источником тактирования T4 может служить переполнение T3, что позволяет получить 32-разрядный аппаратный таймер и использовать его для измерений или заданий точных временных интервалов. Кроме того, LB12 оборудован специализированным блоком логики (CLU), позволяющим производить над входными сигналами операции «И», «ИЛИ», а также триггерные и другие операции, что даёт возможность исключить дополнительные аппаратные средства и существенно упростить конструкцию устройства.

Основным недостатком LB12 является 14-разрядный АЦП (против 16-разрядного АЦП F067). Кроме того, в LB12 реализован несколько иной принцип заполнения ОЗУ (XRAM) результатами измерений АЦП (2-байтными словами) без участия процессора микроконтроллера. Если F067 позволяет записать в XRAM сразу 2048 2-байтных слов с помощью устройства прямого доступа к памяти (DMA), то LB12 может заполнить только буфер из 64 2-байтных слов, а для дальнейшего заполнения требуется изменить адрес начала в памяти для следующего буфера, т.е. увеличить адрес на 128. Эту операцию необходимо проводить уже с участием процессора микроконтроллера. Данный режим в LB12 называется автосканированием. Однако, как будет показано далее, за счёт утроенной тактовой частоты LB12 и удвоенного быстродействия АЦП LB12 эти недостатки компенсируются. Мало того, если максимальный темп вывода результатов АЦП по 8 каналам у F067 составляет 0,1 с (т.е. частота вывода результатов не превышает 10 Гц), то темп аналогичного вывода у LB12 может достигать 0,025 с (40 Гц), правда, с несколько увеличенной погрешностью (см. далее).

### АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Схема устройства (см. рис. 1) для тестирования АЦП LB12 не отличается особой сложностью. Расположение выводов микроконтроллера LB12 (DD1), показанное на рисунке 1, продиктовано следующими соображениями. С одной стороны, необходимо минимизировать влияние друг на друга входных и выходных сигналов, подключаемых к выводам микроконтроллера, а с другой – обеспечить максимальное удобство компоновки периферийных устройств, расположенных вокруг него. За конкретное расположение выводов микроконтроллера отвечает матрица соединений, которая будет подробно описана во второй части статьи.

На 1-й вывод (P0.0/Vref) из микроконтроллера выводится внутреннее



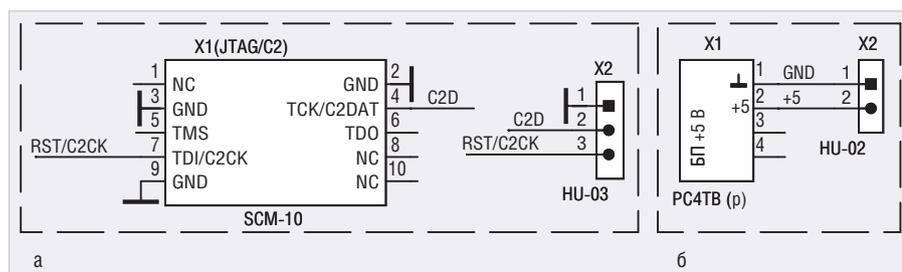


Рис. 2. Схемы кабелей: а) кабель для программирования LB12 с помощью адаптера USB-DEBUG; б) кабель питания

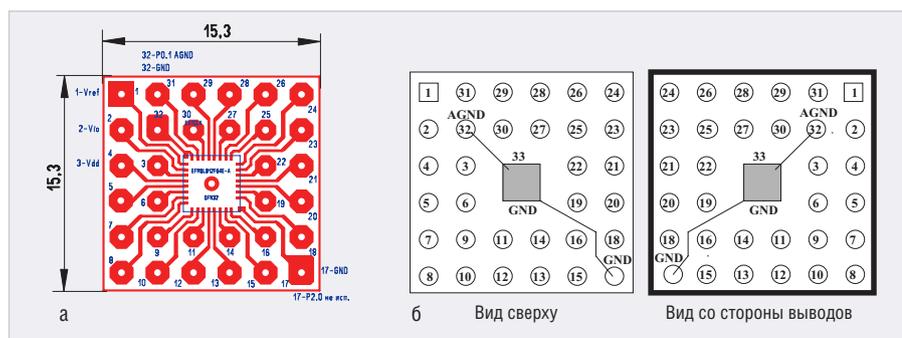


Рис. 3. Переходник QFN32-PGA32 для LB12: а) разводка платы; б) расположение контактов

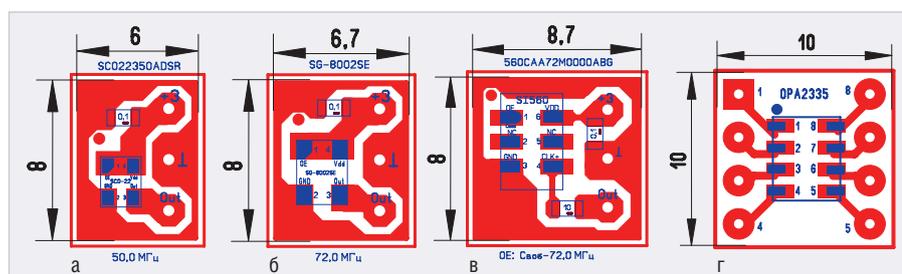


Рис. 4. Разводка переходников для кварцевых генераторов: а) 50 МГц; б, в) 72 МГц; г) ОУ OPA2335

3-контактная перемычка P1. При установке джампера на P1 между сигналами +5 В и VDDSPI на 7-й вывод разъёма X3 подаётся напряжение +5 В. В этом случае используется преобразователь на базе ADUM3160. Если установить джампер на P1 между сигналами +3,3 и VDDSPI, то на 7-й вывод разъёма X3 подаётся напряжение +3,3 В. В этом случае используется преобразователь на базе SI8662. Преобразователи интерфейсов и их конструкция подробно описаны в [3, 4].

Следует отметить, что в 2017 году компанией Silicon Laboratories выпущена новая микросхема EFM8UB30 с улучшенными характеристиками. Данная микросхема может быть использована вместо UB10, однако ввиду различий в названиях регистров и библиотечных функций потребуются написание другой, отличной от версии для UB10 программы.

Аналоговая «земля» LB12 (32-й вывод DD1) подключена к общему «земляному» проводу. Металлическая пластина на дне микросхемы LB12, условно пока-

занная на схеме как 33-й вывод, также соединена с этим проводом.

Для программирования микроконтроллера LB12 (DD1) используется интерфейс C2 (сигналы RSTLB1 и C2D, 4-й и 5-й выводы DD1 соответственно). Сигналы для программирования подаются с 3-х контактного разъёма X2: с 3-го вывода X2 сигнал RSTLB1 подаётся на 4-й вывод DD1, а со 2-го вывода X2 сигнал C2D подаётся на 5-й вывод DD1. 1-й контакт X2 заземлён. Для корректного выполнения операций программирования используется RC-цепочка R1, C1, R2. Программирование LB12 производится с помощью адаптера USB-DEBUG. Для программирования используется кабель связи адаптера USB-DEBUG с платой устройства (см. рис. 2а). Одним концом этот кабель подключается к разъёму выходного шлейфа адаптера USB-DEBUG (X1), вторым (X2) – к разъёму X2. Кроме этого, необходим кабель питания (см. рис. 2б), который одним концом X1 подключается к ИП +5 В, а вторым (X2) – к разъёму питания X1. Этот кабель и ИП

используются и в штатном режиме работы устройства. При программировании LB12 преобразователя интерфейса USB-SPI необходимо отключить.

Устройство собрано на макетной плате, все соединения выполнены вручную проводом МГТФ-0,03. Однако, поскольку микроконтроллер LB12 имеет миниатюрный корпус с малым размером и расположением выводов, для макетирования он непригоден. Аналогичная ситуация имеет место с генераторами и ОУ OPA2335 в корпусе SOIC8. В связи с этим были разведены и изготовлены соответствующие платы-переходники.

Разводка необходимых плат-переходников выполнена в программе Sprint-Layout 6.0, а технология изготовления плат с высоким разрешением подробно описана в [5, 6]. Файл с разводкой плат представлен в дополнительных материалах к статье на сайте журнала ([www.soel.ru](http://www.soel.ru)).

Разводка платы-переходника для LB12 (см. рис. 3а) и расположение его выводов (см. рис. 3б), представляющих собой цанговые штыри с расстоянием между ними 2,54 мм, дают возможность относительно простого макетирования. На боковых гранях корпуса LB12 по углам имеются технологические контакты, соединённые с «земляной» квадратной пластиной, расположенной на дне корпуса. Один из таких контактов, расположенный рядом с 32-м выводом LB12 (AGND), соединён с ним и выведен на 32-й контакт переходника на соответствующий цанговый штырь. 17-й контакт LB12 не используется, а технологический контакт, расположенный рядом с 17-м контактом LB12, соединён с 17-м контактом переходника. Для надёжности металлическая «земляная» пластина, расположенная на дне микросхемы, соединена проводом МГТФ-0,03 с 17-м контактом переходника. На самой макетной плате расположены цанговые гнезда, в которые вставляется плата-переходник, и к которым припаяны провода МГТФ-0,03.

Разводка плат-переходников для генераторов 50, 72 МГц и ОУ OPA2335 показана на рисунке 4. В платах-переходниках также используются цанговые штыри, а на макетной плате – цанговые гнезда, в которые вставляются платы-переходники. Для распайки ОУ OPA2335 его выводы следует подогнуть под дно корпуса. В этом случае он легко помещается на плате, которая совместима с корпусом DIP8. Это сделано для того, чтобы можно было использовать другой ОУ в корпусе DIP8.

На рисунке 5 к макетной плате подключено устройство преобразователя

интерфейсов USB-SPI на базе цифрового изолятора ADUM3160 и UB10, а преобразователь интерфейсов USB-SPI на базе SI8662 лежит рядом. Дампер на перемычке в нижней части платы установлен слева (на +5 В). На рисунке также видны платы-переходники для LB12, генератора 72 МГц и ОУ ОРА2335. Переменный резистор СП5-35Б (R3) припаян к плате тремя жёсткими отрезками медного провода диаметром 1 мм, на которые надета трубка из ПВХ. На дно резистора приклеена жёсткая пластмассовая трубка жёлтого цвета, служащая опорой при регулировании входного напряжения, подаваемого на АЦП.

Во второй части статьи речь пойдёт о программных средствах и результатах испытаний для различных режимов работы АЦП LB12.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Improving ADC Resolution by Oversampling and Averaging. AN118: www.silabs.com
2. Кузьминов А. Как заставить встроенный в микроконтроллер АЦП поразрядного уравнивания работать с разрешением дельта-сигма-АЦП. Современная электроника. 2012. № 3.

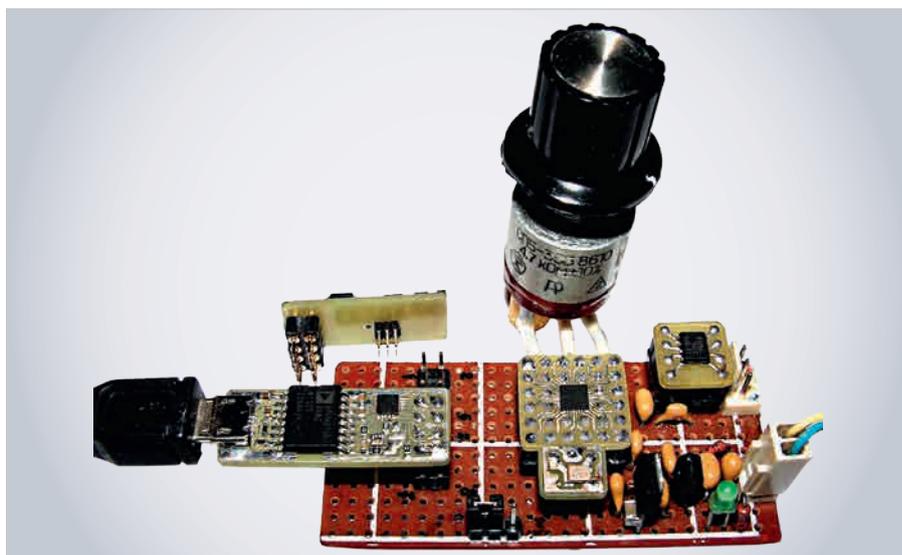


Рис. 5. Общий вид устройства

3. Кузьминов А. Преобразователь интерфейсов USB-SPI на базе нового 51-совместимого микроконтроллера EFMSUB1. Современная электроника. 2017. № 1–3.
4. Кузьминов А.Ю. Связь между компьютером и микроконтроллером. Современные аппаратные и программные средства. – М.: Перо, 2018.
5. Кузьминов А. Изготовление устройств на печатных платах с высоким разрешением в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности. 2010. № 8–10. 2011. № 1, 2.
6. Кузьминов А. Технология изготовления печатных плат с высоким разрешением в любительских условиях. Радио. 2017. № 10. ©



**Komponenta**®

АО «Компонента» - официальный дистрибьютор Weipu в России



## ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЗАЩИЩЕННЫЕ РАЗЪЕМЫ WEIPU

СЕРИЯ SF



Тип соединения: push-pull  
 Материал оболочки: Хромированная латунь  
 Материал внутри: PPS  
 Материал контактов: Позолоченная латунь  
 Степень защиты: IP67  
 Температурный диапазон: -40 °C +85 °C  
 Количество контактов: от 2 до 12  
 Изоляционное сопротивление: 2000 МΩ  
 Цена: от \$7 за комплект

АО «Компонента»  
 +7 (495) 150-2-150

www.komponenta.ru  
 info@komponenta.ru

На правах рекламы.

## НОВОСТИ МИРА

**МИКРОЭЛЕКТРОНИКА – ОСНОВА НАЦИОНАЛЬНОГО СУВЕРЕНИТЕТА**

2 октября 2018 года, во второй день работы IV Международного форума «Микроэлектроника» прошло пленарное заседание, в ходе которого эксперты с мировым именем поделились своим видением развития производства микроэлектронных изделий и компонентов для высокотехнологичных рынков с молодыми инженерами, разработчиками и потребителями продукции ЭКБ.

Открыл пленарное заседание директор Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России Сергей Владимирович Хохлов.

С приветственным словом к участникам форума обратился почётный президент научной конференции «Микроэлектроника – ЭКБ и электронные модули», руководитель Межведомственного совета главных конструкторов по электронной компонентной базе РФ, академик РАН, д.т.н. профессор Геннадий Яковлевич Красников.

Продолжилось заседание серией концептуальных докладов. Сопредседатель оргкомитета форума «Микроэлектроника 2018», генеральный директор АО «НИИМА „Прогресс“», к.э.н. Василий Викторович Шпак в



своём выступлении остановился на общемировом тренде цифровизации всех ключевых процессов жизни общества и отметил, что развитие микроэлектроники является национальным суперпроектом, реализация которого обеспечит суверенитет государства в технологической, экономической, культурной и военной сферах.

Директор ФГУП «МНИИРИП» к.т.н. Павел Павлович Куцько следующим представил свой доклад и сосредоточился на вопросах, связанных с разработкой системы управления знаниями радиоэлектронного комплекса. По его словам, объём прикладных

знаний в радиоэлектронной отрасли многократно превысил ресурсы человеческого сознания, при этом такие знания пока слабо обобщены и практически не структурированы. Решить эти проблемы поможет создание базы знаний радиоэлектронного комплекса на основе объединённого информационного пространства.

Кроме того, в пленарном заседании приняли участие руководитель отдела по испытаниям автомобильных систем и компонентов YEA Engineering, к.т.н. Гурген Робертович Мардоян, заместитель генерального директора АО «НПП „Пульсар“», д.т.н., про-

Новое поколение GaN-транзисторов

Wolfspeed

<p><b>CGHV14250</b> Диапазон частот: 1200–1400 МГц Мощность: 250 Вт Кoeffициент усиления: 18 дБ</p>	<p><b>CGHV14500</b> Диапазон частот: 1200–1400 МГц Мощность: 500 Вт Кoeffициент усиления: 17 дБ</p>	<p><b>CGHV35150</b> Диапазон частот: 2900–3500 МГц Мощность: 150 Вт Кoeffициент усиления: 13,5 дБ</p>
---	---	---

**PROCHIP**  
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

**АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**

(495) 232-2522 ▪ INFO@PROCHIP.RU ▪ WWW.PROCHIP.RU

фессор Юрий Владимирович Колковский, заместитель генерального директора по научно-техническим программам и научной работе ОАО «Интеграл» Анатолий Иванович Белоус и другие представители научного и делового сообщества.

3 и 4 октября гостей ждало продолжение научной и деловой программы. В тематических секциях и панельных дискуссиях модераторами и участниками были ведущие представители компаний и организаций российского радиоэлектронного комплекса.

[www.microelectronica.pro](http://www.microelectronica.pro)

## Радиоэлектронная промышленность на дне

25 сентября 2018 г. Дмитрий Медведев озвучил нелицеприятный факт: Россия критически зависит от импорта радиоэлектроники. Доля российских компаний на этом рынке – 22%. Ситуация осложняется ещё и за счёт санкций.

Премьер указал, что обстановка в радиоэлектронной промышленности находится под пристальным вниманием властей – и это неудивительно, ведь данная сфера коррелирует с государственной программой цифровизации.

Тема импортозамещения и сбыта радиоэлектроники обсуждалась на правительственном совещании. Его участники предложили идеи по развитию этой сферы, при этом заместитель премьера Юрий Борисов в итоговом брифинге не привёл конкретных фактов, а обошёлся общими словами о совершенствовании нормативной базы и мерах адресной поддержки.

ПолитиканЪ

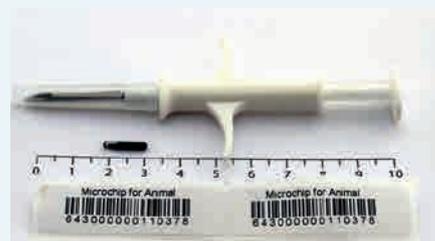
## Создана первая российская RFID-метка для чипирования животных

«Ангстрем», российский разработчик и производитель полупроводниковых изделий, объявил о создании первой отечественной RFID-метки, предназначенной для чипирования животных.

Изделие получило название «Микроидентификатор радиочастотный бесконтактный для животных в индивидуальной упаковке в комплекте с приспособлением (апликатором)».

Метка выполнена в виде стеклянной колбы размерами 12×2,1 мм; весит изделие всего 0,1 г. Колба содержит бесконтактный RFID-модуль в конструктиве «чип-на-плате» с полупроводниковым кристаллом собствен-

ного производства «Ангстрема», а также антенну в виде ферритового стержня с намотанной на него медной микропроволокой.



Комплект включает апликатор — специальный одноразовый шприц для ввода метки под кожу животного. Утверждается, что соответствующую процедуру сможет выполнить как ветеринар, так и непосредственно хозяин домашнего питомца (шприц снабжён ограничителем хода поршня). Компоненты находятся в герметичной и стерильной blister-упаковке.

Изделие будет поставляться с наклейками, содержащими индивидуальный электронный код микроидентификатора.

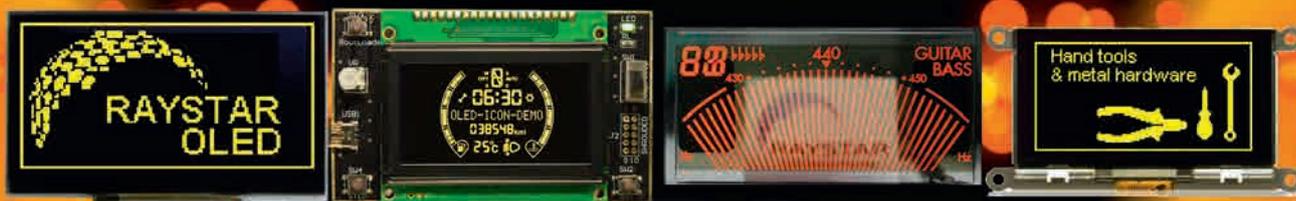
«Ангстрем» отмечает, что новинка выполнена в полном соответствии с российскими и международными стандартами. Поэтому в перспективе могут быть организованы поставки изделия за рубеж.

Пресс-служба компании «Ангстрем»



## Лучшая замена ЖК-панелям

### OLED-дисплей Raystar



Специсполнение по ТЗ заказчика

Прозрачные модели

АВТОМОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА • СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ • ИЗМЕРИТЕЛИ МОЩНОСТИ • БЫТОВАЯ ТЕХНИКА • МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ

#### Характеристики

- Яркость экрана до 150 кд/м<sup>2</sup> обеспечивает считывание изображения при ярком солнечном свете
- Высокая контрастность 2000:1
- Широкий угол обзора до ±175°
- Цвет свечения: жёлтый, зелёный, красный, белый, синий
- Формат изображения: 122×32, 128×64, 240×64, 256×64 и 96×64 точки

- Низкая потребляемая мощность 10 мА (схемы управления – токовые)
- Светоэмиссионная схема: не требуется система подсветки
- Короткое время отклика: 10 мкс при температуре +25°C
- Широкий диапазон рабочих температур от –40 до +80°C
- Малая толщина модуля дисплея, небольшой вес
- Срок службы: 50 000 ч для белого и синего цвета; 100 000 ч для жёлтого, зелёного, красного цветов

**PROCHIP**  
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА  
(495) 232-2522 • INFO@PROCHIP.RU • WWW.PROCHIP.RU



Рисунки