

## Аппаратно-программная реализация адаптивной яркости в устройствах отображения

П.Л. ЧЕЧЕТ

В статье рассмотрены аппаратная и программная составляющие системы динамической регулировки яркости индикации в устройствах на микроконтроллерной основе. Рассмотрены варианты наличия и отсутствия аппаратного аналого-цифрового преобразователя в устройстве. Рассмотрены происходящие в системе процессы, приведён практический вариант реализации.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, светоизлучающие индикаторы, аналого-цифровое преобразование.

The article describes the hardware and software components of the system dynamically adjusting the brightness in the display devices on the microcontroller basis. The variants of the presence and absence of hardware analog-to-digital converter in the device are described. The article deals with the processes occurring in the system and gives a practical embodiment.

**Keywords:** microcontroller, light-emitting indicators, analog-to-digital conversion.

### *Введение*

Цифровые устройства отображения сегодня используются практически в каждом приборе или аппарате. При использовании индикаторов, использующих эффект отражения света, контрастность отображаемой информации автоматически меняется в зависимости от внешней освещенности. Такие экраны используются в микрокалькуляторах, электронных книгах и других устройствах, пользование которыми подразумевается при достаточном внешнем освещении. Однако многие цифровые устройства используются при значительных изменениях уровня внешнего освещения, что заставляет применять для отображения информации светоизлучающие индикаторы или экраны. В этом случае возникает задача выбора оптимальной яркости светоизлучающих составляющих экрана или индикатора. Ситуация осложняется тем, что условия работы прибора могут быть такими, что яркость внешнего освещения будет меняться более чем в 6 000 раз, что имеет место, например, при работе в тёмном помещении и на ярком солнечном свете [1].

Большинство современных приборов для выбора комфортных условий отображения имеет возможность установки пользователем требуемой яркости экрана или индикатора. Эта регулировка яркости в подавляющем большинстве случаев реализована в виде фиксированного, устанавливаемого пользователем вручную, уровня. В бытовых устройствах с этим ещё можно смириться, так как в случае значительного изменения уровня внешней освещённости у пользователя, как правило, достаточно времени, чтобы уставить новый уровень яркости. Ситуация принципиально иная, если это, например, экран отображения информации в автомобильной или авиационной аппаратуре. В этом случае у пользователя может просто не быть достаточно ресурсов времени, чтобы дополнительно ещё и регулировать уровень яркости экрана или дисплея. Причём, если уровень внешней освещённости меняется часто, то и регулировку нужно производить часто. Ведь недостаточная яркость затрудняет считывание информации, а излишняя – способствует снижению чувствительности зрительного анализатора оператора, что может оказаться критическим.

### *Регулировка яркости индикаторов и экранов*

Вопросы выбора и регулировки яркости полупроводниковых индикаторов, а также некоторые варианты их решения рассмотрены в [1]. В частности, в [1] отмечено, что энергетически эффективным является использование широтно-импульсной модуляции (ШИМ) при регулировке яркости полупроводниковых светоизлучающих индикаторов. Там же отме-

чается сложность реализации данного метода с использованием доступной элементной базы 90-х годов.

Сегодня, спустя более 10 лет, подавляющее большинство устройств имеет в своём составе управляющий микроконтроллер. В этом случае возможности реализации ШИМ регулировки яркости индикаторов и экранов существенно возрастают. Высокие программные возможности современных микроконтроллеров позволяют значительно снизить требования к аппаратной части схемы, ответственной за измерение уровня внешней освещённости и регулировку яркости.

Наиболее простая аппаратная реализация получается в случае наличия в применённом в устройстве микроконтроллере свободного канала аналого-цифрового преобразователя (АЦП). В этом случае упрощённая схема аппаратной части устройства с поддержкой автоматической регулировки яркости будет иметь вид (рисунок 1). Измерение уровня внешней освещённости может осуществляться фоторезистором (вариант включения представлен в части «а» на рисунке 1) или фотодиодом, включенным в режиме источника напряжения (часть «б» на рисунке 1). В обоих случаях величина напряжения, зависящая от уровня внешней освещённости, поступает на вход АЦП микроконтроллера. Оцифрованное значение уровня напряжения, характеризующего яркость внешнего освещения, может быть использовано для управления свечением полупроводникового или электролюминесцентного индикатора с использованием ШИМ, реализуемого на аппаратной основе уже имеющейся стандартной динамической индикации (рисунок 1, часть «в»). В случае применения в устройстве или приборе экрана или индикатора с подсветкой возможно ШИМ управление свечением светодиодов или лампы подсветки (рисунок 1, часть «г»).

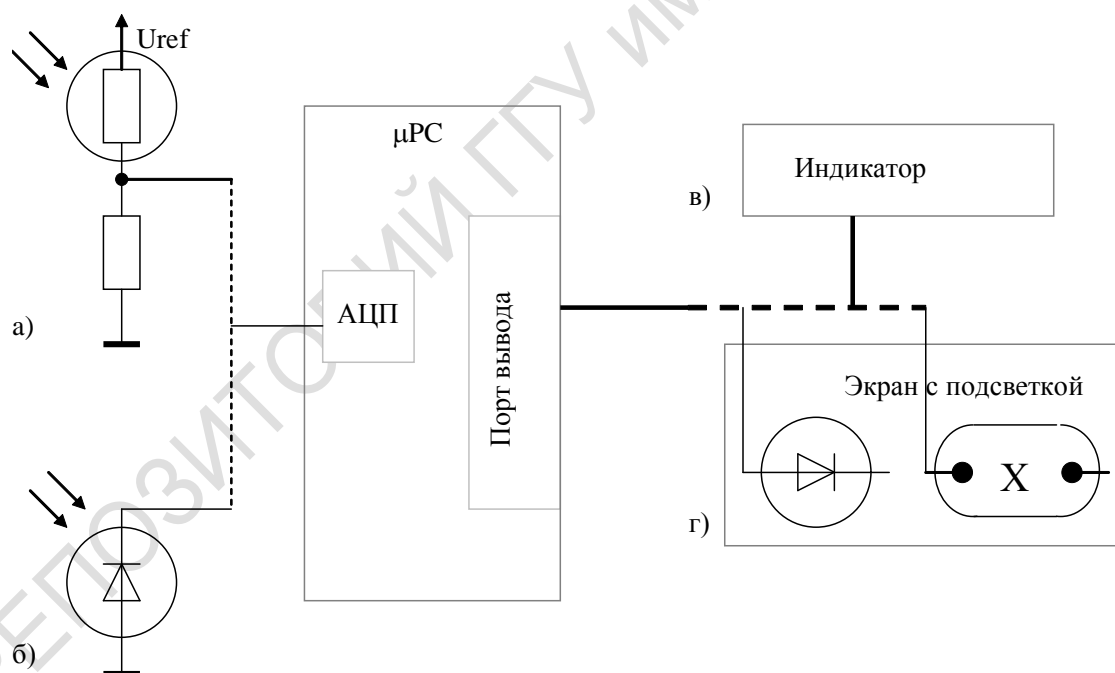


Рисунок 1 – Измерение освещённости и регулировки яркости с АЦП

Наличие программной составляющей на участке «значение напряжения» – «ШИМ управление яркостью» позволяет реализовывать различные дополнительные функции отображения, зависящие от яркости. Главное – это то, что зависимость напряжения, характеризующего внешнюю освещённость, и числового значения коэффициент заполнения для ШИМ нелинейная, поэтому для реализации данного отображения целесообразно использовать специальную таблицу в программном коде микроконтроллера. Пример таких данных приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Пример соответствия значения уровня освещенности и ШИМ яркости

Значение от АЦП	Значение для ШИМ	Комментарий
$<10$	2	Минимальный уровень яркости
$\geq 10$ и $<30$	8	Уровень яркости 1
$\geq 30$ и $<35$	10	Уровень яркости 2
$\geq 35$ и $<50$	12	Уровень яркости 3
$\geq 50$	15	Максимальный уровень яркости

Использование таблицы позволяет также реализовать нужное изменение яркости, если минимальному значению уровня внешнего освещения соответствует максимальное значение от АЦП и наоборот.

Наличие программной обработки уровня внешней освещённости позволяет реализовать дополнительные функции отображения информации. Например, в одном из практических примеров автором в устройстве с батарейным питанием был применён следующий алгоритм отображения аналоговой величины: в условиях низкой внешней освещённости величина отображалась светящим столбиком соответствующей высоты, причём яркость светодиодов столбика зависела от уровня внешней освещённости. В условиях высокой внешней освещённости яркость светодиодов увеличивалась, и в целях экономии энергии режим отображения переключался из «светящийся столбик» в «светящаяся точка».

#### ***Измерение уровня освещенности без АЦП***

При использовании микроконтроллеров без аналого-цифрового преобразователя или при отсутствии свободных портов АЦП возникает задача оцифровки аналогового значения уровня внешней освещённости. В этом случае возможно применение внешнего или, как правило, имеющегося в составе микроконтроллера компаратора. Упрощённая схемная реализация такого АЦП представлена на рисунке 2. В этом случае к одному из входов компаратора подключается светочувствительный элемент, как и в случае с использованием встроенного АЦП. Второй вход компаратора подсоединён к резистору R и конденсатору C. Ключ Q – это имеющийся в составе микроконтроллера транзистор для вывода сигнала логического «0» в разряд порта микроконтроллера, с которым обычно совмещены входы встроенного компаратора.

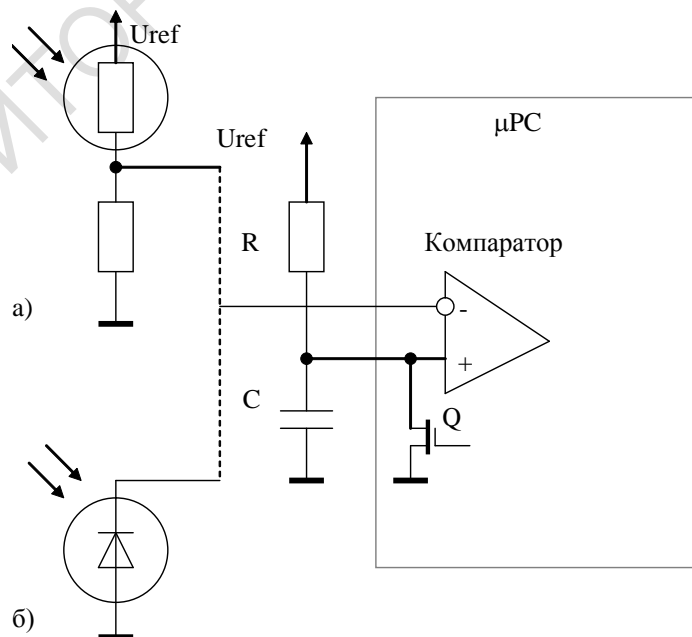


Рисунок 2 – Измерение освещённости с компаратором

Когда ключ Q замкнут, конденсатор С быстро разряжается через небольшое активное сопротивление транзистора. Когда ключ Q закрыт, конденсатор С начинает заряжаться через резистор R, напряжение на нём меняется во времени по известной формуле (1):

$$U = U_{ref} (1 - e^{-\frac{t}{RC}}). \quad (1)$$

Из формулы видно, что напряжение U на конденсаторе асимптотически приближается к  $U_{ref}$ . Если напряжение с измерителя уровня освещённости меньше  $U_{ref}$ , то в определённый момент времени произойдёт переключение компаратора. Время, прошедшее от закрытия ключа и до переключения компаратора, численно зависит от уровня внешней освещённости. Измерив это время, можно, аналогично случаю с использованием АЦП, используя таблицу соответствия, изменять скважность ШИМ для управления яркостью индикатора или его подсветки.

### **Практическая реализация адаптивной яркости**

В варианте практической реализации адаптивной яркости был использован микроконтроллер без встроенного АЦП, но с компаратором. В качестве измерителя яркости был использован доступный фотодиод ФД-263 в режиме генератора напряжения. При прямом солнечном освещении ЭДС на выводах фотодиода составляет около 0,5 В. При меньшей освещённости ЭДС снижается. Для замера отрезков времени был задействован 8-битный таймер микроконтроллера, тактированный с частотой примерно 500 КHz. При этом время между переполнениями 8-битного таймера составило 512 микросекунд (2):

$$\frac{2^8}{500000} = 512 \mu s. \quad (2)$$

Для случая наиболее яркого освещения нужно, чтобы за время 512 микросекунд напряжение на конденсаторе увеличивалось выше 0,5 В, что требуется для срабатывания компаратора. В реализации были выбраны  $R = 100 \text{ КОм}$  и  $C = 47 \text{ нФ}$ . В этом случае, согласно формуле (1), напряжение на конденсаторе с изменением времени меняется по графику, представленному на рисунке 3. Алгоритм измерения уровня внешней освещённости заключается в последовательном выполнении в цикле действий: разряд конденсатора, заряд с измерением времени переключения компаратора. Упрощённо алгоритм измерения уровня внешней освещённости представлен на рисунке 4.

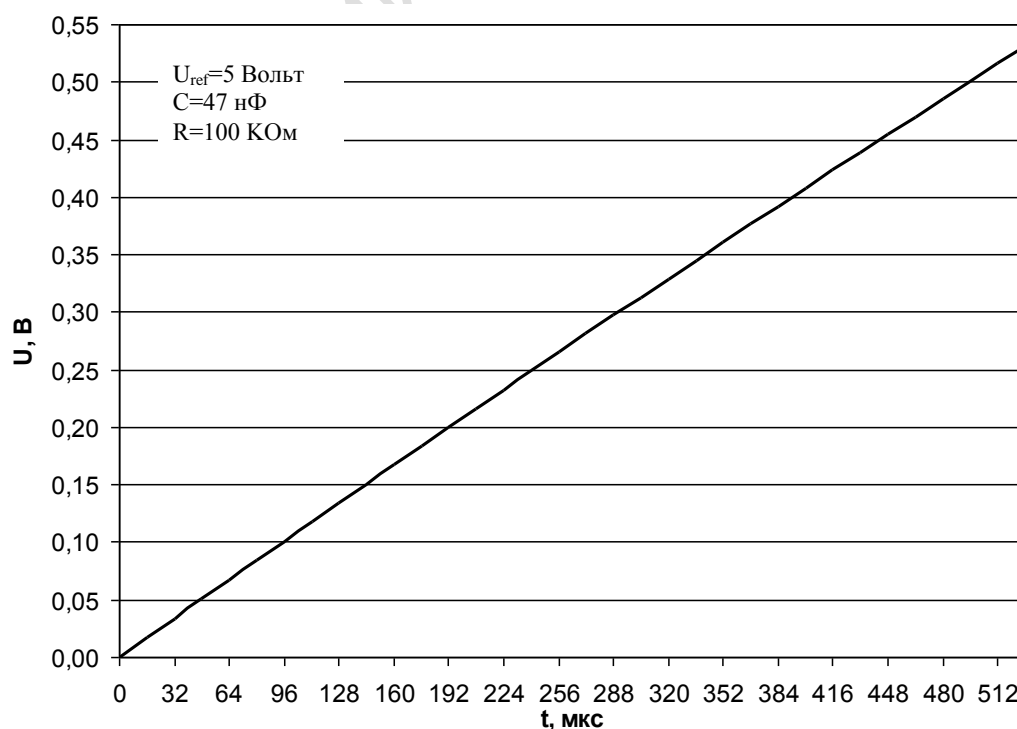


Рисунок 3 – Заряд конденсатора по времени

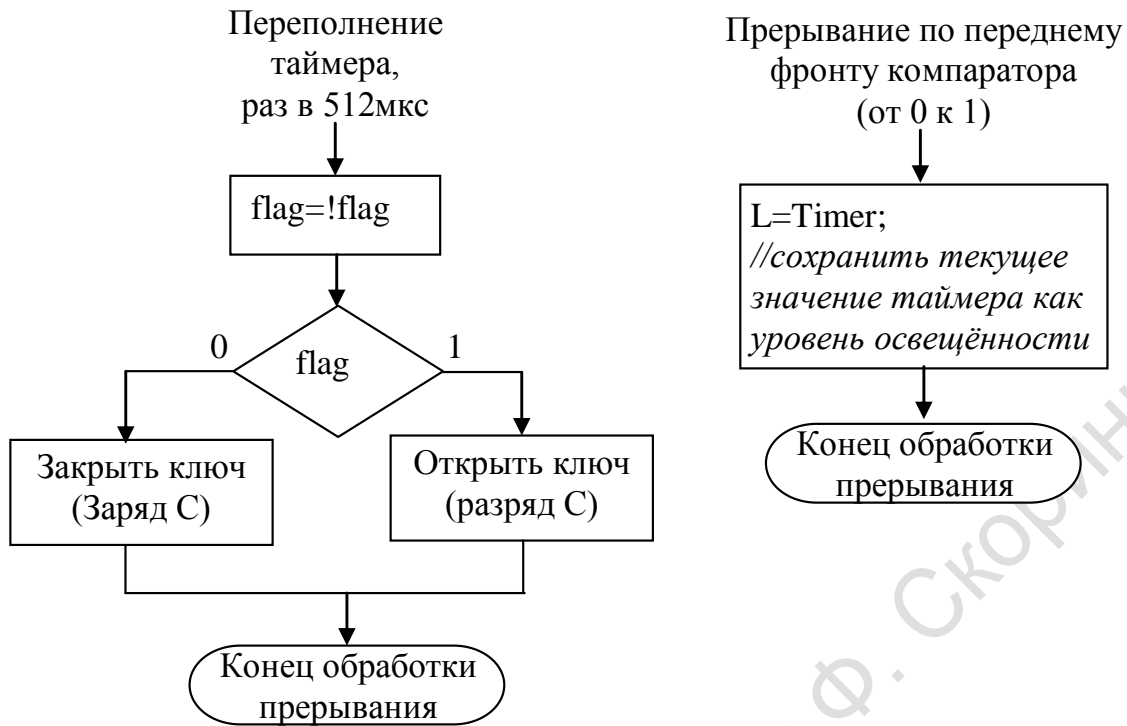


Рисунок 4 – Алгоритм измерения уровня освещённости

Элементы кода, реализующего данные алгоритмы на языке ассемблера для микроконтроллеров семейства AVR, в рассматриваемом проекте имеют следующий вид:

```

...
//инициализация
ldi r16,3
out ACSR,r16 ;прерывания по переднему фронту компаратора
out TCCR0,r16 ;включить Timer0, такт. СК/8=500KHz
cbi ACSR,7 ;включить компаратор
sbi ACSR,3
...

Display: //обработчик переполнения таймера
sbrc r31,0
rjmp Measure
sbi DDRB,0 ;разрядка конденсатора
rjmp EndCap
Measure:
cbi DDRB,0 ;заряд-измерение
sbi ACSR,3 ;включить компаратор
EndCap:
...
inc r31
...
reti

Comparator: //обработка переключения компаратора
in r29,TCNT0 ;запомнить в r29 значение таймера
cbi ACSR,3 ;выключить компаратор
reti

```

Сохраненное в регистре r29 значение таймера, при котором произошло переключение компаратора, преобразуется через диапазоны значений, приведённые в таблице 2, в значение коэффициента заполнения для ШИМ регулировки яркости индикаторов устройства.

Таблица 2 – Соответствие значений уровней освещения и яркости

Значение $r_{29}$	Значение коэффициента заполнения ШИМ
$<28$	Ошибка измерения, яркость не менять
$28 \div 34$	2.0%
$35 \div 37$	3.1%
$38 \div 41$	6.3%
$42 \div 47$	14.1%
$48 \div 53$	18.0%
$54 \div 93$	25.4%
$94 \div 103$	33.6%
$104 \div 123$	50.0%
$\geq 124$	100% – максимальная яркость

Значения коэффициентов заполнения при различных уровнях яркости подбирались эмпирическим путём для получения наиболее комфортных условий считывания информации с индикатора устройства.

### **Заключение**

Практическая апробация предложенной программно-аппаратной адаптивной регулировки яркости показала свою высокую эффективность. Яркость индикатора устройства оказалась комфортна для работы как в абсолютной темноте, так и при ярком освещении. Проблемы со считыванием информации в некоторой степени имеют место только при прямом солнечном свете, попадающем на дисплей прибора. Если такой режим эксплуатации требуется часто, то возможно применение индикаторов с большей максимальной яркостью и допустимым током. Также возможен подбор соответствующего светофильтра для такого режима эксплуатации, как это описано в [1].

### **Литература**

1. Васерин, Н.Н. Применение полупроводниковых индикаторов / Н.Н. Васерин, Н.К. Дадерко, Г.А. Прокофьев [Электронный ресурс]. – Энергоатомиздат, 1991. – Режим доступа : [http://yanviktor.ru/elektron/lib/primenenie\\_indikatorov.pdf](http://yanviktor.ru/elektron/lib/primenenie_indikatorov.pdf). – Дата доступа : 20.06.2012.

Гомельский государственный  
университет им. Ф. Скорины

Поступило 20.06.12