

УДК 004.353.2

ПРОГРАММНЫЕ ПРИЁМЫ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНОЙ ЯРКОСТИ В УСТРОЙСТВАХ ОТОБРАЖЕНИЯ

О.М. Демиденко, П.Л. Чечет

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE BRIGHTNESS FOR DISPLAY DEVICES

O.M. Demidenko, P.L. Chechat

F. Scorina Gomel State University, Gomel

В статье рассмотрен способ совмещения динамической индикации с регулировкой яркости отображения в широком диапазоне без существенного снижения общей частоты обновления всего индикатора устройства на основе сокращенных временных интервалов. Широкий диапазон регулировки яркости нужен для устройств, эксплуатирующихся в условиях с различным уровнем внешней освещенности.

Ключевые слова: алгоритм адаптивной яркости, встраиваемые устройства, микроконтроллер, динамическая индикация.

In the article the authors consider the algorithm for dynamic display with variable time intervals to obtain a wide range display brightness. The article describes in detail the idea of the method and timing diagrams of the algorithm. The scheme of the algorithm with description of its work is described.

Keywords: adaptive brightness, MCU, dynamic indication, embedded devices.

Введение

Важность регулировки уровня яркости отображения индикаторов (дисплеев) различных устройств и приборов подробно рассмотрена в [1]. Предложенный в [1] способ замера уровня текущей освещенности и преобразование его через специальную таблицу в величину яркости индикатора (дисплея) устройства позволяет повысить для пользователя комфорт работы с устройством, улучшить распознаваемость отображаемой информации и снизить потребление электроэнергии.

В статье [1] для регулировки уровня яркости светодиодных индикаторов или светодиодов подсветки предлагается использовать хорошо зарекомендовавшую в таких приложениях широко-импульсную модуляцию (ШИМ).

Применение ШИМ для регулировки яркости подсветки дисплея обычно не вызывает сложностей и легко позволяет получить требуемый диапазон регулировки яркости. Ситуация значительно сложнее при применении ШИМ для регулировки яркости в сочетании с программно реализуемой динамической индикацией. В этом случае сложно получить значительный диапазон регулировки яркости при сохранении достаточной частоты обновления индикатора. В данной статье рассмотрены некоторые программные приёмы, позволяющие реализовать достаточный диапазон регулировки яркости светодиодного индикатора при сохранении высокой частоты обновления для динамической индикации.

1 Проблема снижения частоты обновления индикации при уменьшении яркости

При динамической индикации информация последовательно выводится на отдельные индикаторы и/или сегменты, составляющие общий индикатор устройства. При этом для обеспечения постоянной яркости всего индикатора используется последовательное переключение отображаемого индикатора или сегмента через некоторые постоянные моменты времени. Обычно для получения таких временных интервалов используют прерывание по переполнению или совпадению аппаратного таймера микроконтроллера устройства. Очевидно, что при исходной частоте переполнения или совпадения таймера $f_{исх}$ и числе разрядов индикатора n общая частота обновления всего индикатора устройства $f_{общ}$ составит

$$f_{общ} = \frac{f_{исх}}{n}. \quad (1.1)$$

Период времени τ между возникновением прерываний можно вычислить по следующему выражению:

$$\tau = \frac{1}{f_{исх}}. \quad (1.2)$$

При этом временное представление вывода информации представлено на рисунке 1.1, где τ вычисляется через (1.2).

Как видно из рисунка 1.1, полное обновление всего индикатора занимает $n\tau$ единиц времени. При этом частота обновления всего

индикатора, вычисляемая по формуле (1.1), остаётся достаточно высокой.

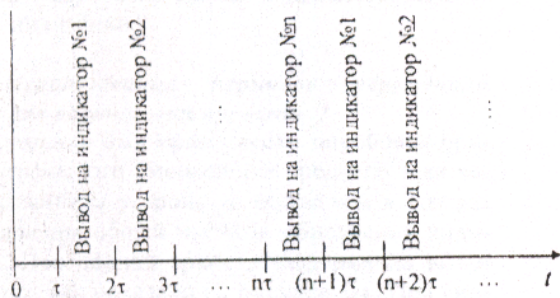


Рисунок 1.1 – Динамическая индикация во времени

Для примера расчётов возьмём основную частоту тактового генератора и частоту таймера 4МГц. Если использовать восьмиразрядный таймер, то частота его переполнения составит

$$f_{\text{всх}} = \frac{4\text{MHz}}{2^8} = 15,6\text{KHz}. \quad (1.3)$$

При этом при обновлении восьмиразрядного ($n=8$), сегментного индикатора общая частота, вычисляемая по формуле (1.1), составит

$$f_{\text{общ}} = \frac{15,6\text{KHz}}{8} \approx 2\text{KHz}. \quad (1.4)$$

Видно, что значение выражения (1.4) достаточно большое и больше чем на два порядка превышает частоту, при которой человеческому глазу заметны мерцания, связанные с обновлением всего индикатора устройства.

Ситуация меняется, когда требуется снизить яркость индикатора. В этом случае для снижения эффекта мерцания и равномерного снижения яркости между соседними периодами вывода информации на индикаторы (разряды) вставляются пустые интервалы, в течение которых индикация выключается. Например, при вставке одного пустого цикла динамическая индикация будет выглядеть так, как показано на рисунке 1.2.

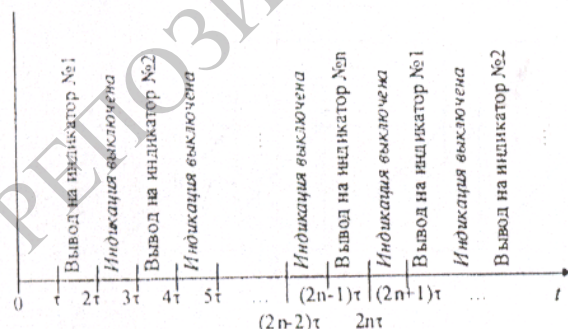


Рисунок 1.2 – Динамическая индикация со снижением яркости

Сравнивая рисунки 1 и 2 нетрудно заметить, что время одного полного цикла вывода информации с использованием динамической индикации в первом случае составляет $n\tau$, а во втором

$2n\tau$ соответственно. Увеличение времени пропорционально снижает частоту, с которой происходит обновление индикатора устройства. Вставка одного пустого периода снижает средний ток через светодиоды индикатора в два раза, но воспринимаемая яркость не снижается в два раза, что связано с нелинейной чувствительностью глаза человека. Практические исследования на реальных устройствах [1] показали, что для получения приемлемого диапазона изменения яркости индикации нужно снижение среднего тока в 30 раз и даже более (для комфортной работы при низких уровнях освещённости). В этом случае после каждого периода отображения требуется вставлять 30 и более периодов, когда индикация отключена. В общем виде время, затрачиваемое на один полный цикл динамической индикации с k периодами отключения индикатора, потребует T времени

$$T = n(1+k)\tau, \text{ где } k \geq 0. \quad (1.5)$$

В этом случае частота обновления индикатора устройства составит

$$f_{\text{общ}} = \frac{1}{T}. \quad (1.6)$$

Подставив выражение (1.2) в (1.5), а затем полученное выражение (1.5) в (1.6) получим

$$f_{\text{общ}} = \frac{f_{\text{всх}}}{n(1+k)}. \quad (1.7)$$

В рассмотренном выше практическом примере частота обновления $f_{\text{всх}}$ составляет почти шестнадцать килогерц (1.3). При значениях $n=8$ и $k=30$, подставленных в (1.7), общая частота обновления индикатора устройства составит всего лишь

$$f_{\text{общ}} = \frac{4\text{MHz}}{2^8 \cdot 8 \cdot (1+30)} = 63\text{Hz}. \quad (1.8)$$

Несмотря на то, что эта частота ещё достаточно для целостного восприятия информации, при взгляде на индикатор устройства, обновляемый с такой низкой частотой, периферийным зрением человек уже отчётливо воспринимает неприятное мерцание. Особенно это критично в промышленном или транспортном применении, где находящийся в поле периферийного зрения индикатор устройства может являться неприятным раздражителем для оператора. Как было отмечено выше, для достаточного диапазона регулировки яркости снижения среднего тока в 30 раз может оказаться недостаточно, но при росте k в этом случае частота обновления индикатора $f_{\text{всх}}$ снизится ещё ниже (1.7).

Выходом из данной ситуации может являться увеличение частоты $f_{\text{всх}}$, либо путём увеличения общей тактовой частоты, либо переходом к прерыванию не по переполнению таймера, а по его совпадению с некоторым заданным значением, меньшим 2^8 (для восьмиразрядного таймера). Несмотря на результативность, такое решение

приводит к увеличению частоты вывода информации и при высоких уровнях яркости, что увеличивает затраты процессорного времени на программную обработку вывода в процессе динамической индикации.

2 Использование периодов переменной длины для регулировки яркости

Авторами был практически опробован приём программного уменьшения среднего тока через индикаторы устройства более чем в 200 раз без снижения общей частоты обновления индикатора. При полной яркости информация выводится так, как показано на рисунке 1.1. При снижении среднего тока через индикаторы в два раза вывод информации осуществляется так, как показано на рисунке 1.2. И в первом и во втором случае для частоты обновления всего индикатора устройства остаётся справедливой формула (1.7) для случаев $k=0$ и $k=1$ соответственно. При дальнейшем снижении яркости вывод информации осуществляется согласно рисунку 2.1. Причём, как будет показано ниже, общая частота обновления всего индикатора устройства получается не ниже определяемой выражением (1.7) для случая $k=1$ и даже увеличивается при снижении уровня яркости индикатора устройства.

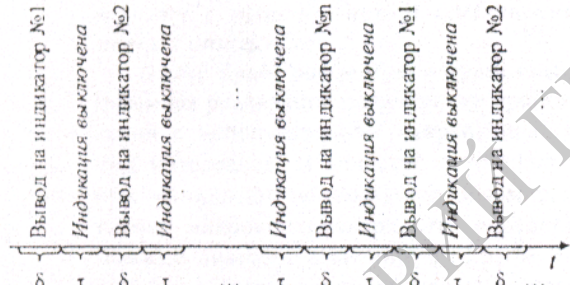


Рисунок 2.1 – Динамическая индикация с уменьшением интервалов отображения где параметр δ ограничен значениями $0 < \delta < \tau$. (2.1)

Для получения значений δ , ограниченных выражением (2.1), в начале цикла таймера в его счётчик загружается некоторое ненулевое значение, что приводит к сокращению временного интервала до следующего переполнения таймера. Графически пример процесса получения различных временных интервалов длины короче τ , представлен на рисунке 2.2.

Для таймера разрядности m связь между сокращённой длительностью δ , максимальной длительностью τ и загружаемым значением s в таймер описывается выражением

$$\delta = \frac{2^m - s}{2^m} \tau, \text{ где } 0 \leq s < 2^m \quad (2.2)$$

Если предположить, что значение s , загружаемое в таймер, не меняется в течение полного цикла обновления всего индикатора устройства, то средний ток I через сегменты индикатора устройства относительно среднего тока I_0 при случае отсутствия периодов отключения индикации (максимальная яркость) составит

$$I = I_0 \frac{n\delta}{n\delta + m\tau} = I_0 \frac{\delta}{\delta + \tau} = I_0 \left(1 - \frac{\tau}{\delta + \tau} \right) \quad (2.3)$$

Обозначим коэффициент в выражении (2.3) через K

$$K = 1 - \frac{\tau}{\delta + \tau} \quad (2.4)$$

Подставим выражение (2.2) в (2.4), упростим и получим

$$K = \frac{2^m - s}{2^{m+1} - s}, \text{ где } 0 \leq s < 2^m \quad (2.5)$$

Значение коэффициента K (2.5) максимально равно 0,5 при $s=0$ и уменьшается с ростом s , достигая минимального значения $K=1/(2^m+1)$ при $s=2^m-1$.

Для рассмотренного в качестве примера выше восьмиразрядного таймера ($m=8$) зависимость коэффициента K от значения параметра s приведена на рисунке 2.3.

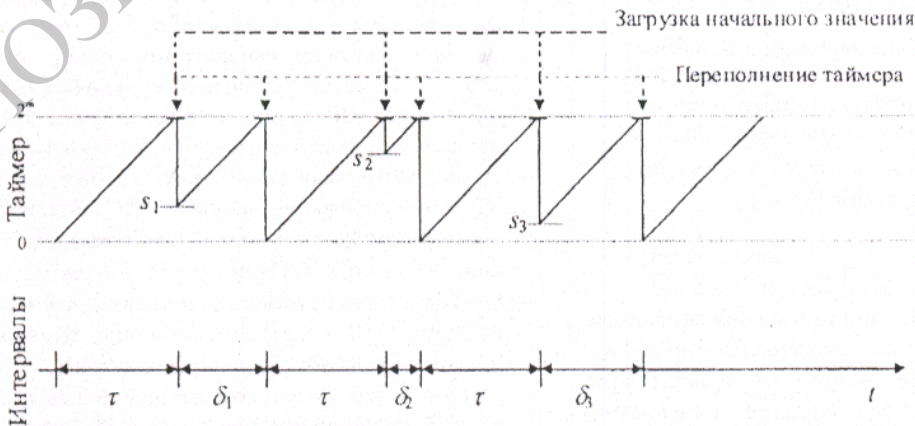


Рисунок 2.2 – Получение сокращённых временных интервалов (m – разрядность таймера; s_i – начальные значения; δ_i – сокращённые интервалы)

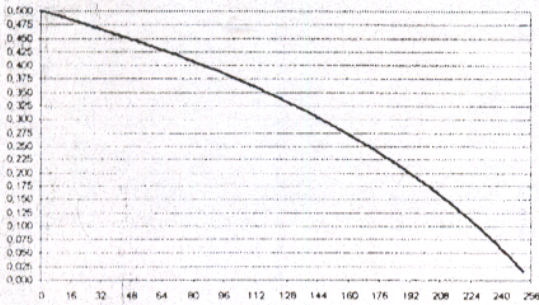


Рисунок 2.3 – График зависимости коэффициента при $m = 8$

При $s = 254$ ослабление среднего тока через индикатор устройства составит $2^8 + 1 = 257$ раз, чего достаточно для большинства применений. На практике значения, близкие к 2^m , не всегда могут быть использованы, так как в этом случае переполнение таймера может наступить раньше, чем закончится программная обработка текущего переполнения. Этот факт нужно обязательно учитывать при разработке программы микроконтроллера.

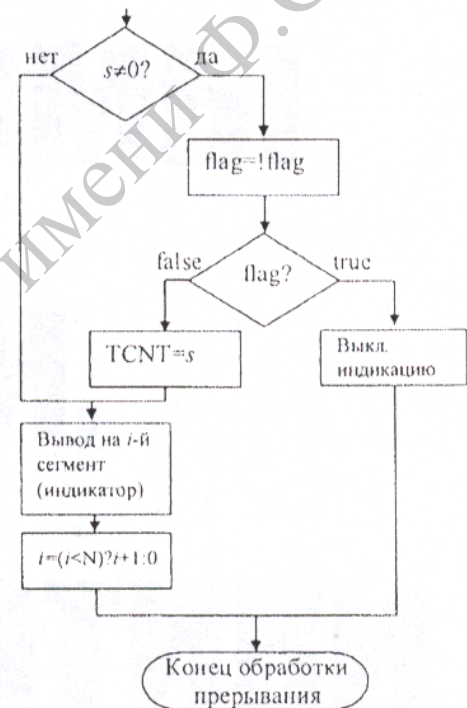
3 Программная реализация регулировки яркости с использованием сокращённых временных интервалов

Ниже будет рассмотрена практическая программная реализация регулировки яркости индикации с использованием сокращённых временных интервалов. В качестве источника временных интервалов используется восьмиразрядный таймер микроконтроллера. Это определяет возможный диапазон значений s (2.5) от 0 до 254. Как было рассмотрено выше, алгоритм вывода информации на индикатор разнится при $s = 0$ и при $s > 0$. Индикатор устройства состоит из N отдельных индикаторов, на которые последовательно выводится отображаемая информация способом динамической индикации. Параметр s задаёт яркость отображения. 0 – максимальная яркость, 254 – минимальная яркость. Схема алгоритма вывода приведена на рисунке 3.1.

Из схемы алгоритма видно, что при $s=0$, последовательно перебираются отдельные индикаторы (счётчик i), на которые выводится нужная информация. Это обычная динамическая индикация. Функционирование её во времени полностью соответствует рисунку 1.1. При $s \neq 0$ к динамической индикации дополнительно добавляются ранее не используемые (при $s=0$) участки алгоритма. Выбор интервала отображения или интервала выключенной индикации осуществляется с использованием логического флага $flag$, который последовательно принимает противоположные значения при очередном переполнении таймера. Как видно из схемы алгоритма, увеличение счётчика i происходит один раз за два

переполнения таймера (при $flag=false$), что позволяет получить работу алгоритма такую, как показано на рисунке 2.1. При $flag=true$ индикаторы устройства выключены в течение фиксированного времени, определяемого частотой переполнения таймера. Это период фиксированной длины τ на рисунке 2.1. При $flag=false$ кроме вывода информации на очередной индикатор (сегмент), в счётчик таймера TCNT загружается ненулевое значение s , что приводит к тому, что следующее переполнение таймера происходит через время, меньшее τ . Это период времени θ на рисунке 2.1. Алгоритм регулировки яркости с использованием сокращённых временных интервалов работает полностью в соответствии с указанным выше описанием.

Прерывание по переполнению таймера



s – установленный уровень яркости
 TCNT – счётчик аппаратного таймера
 i – счётчик перебора сегментов (индикаторов)
 N – общее количество сегментов (индикаторов)

Рисунок 3.1 – Алгоритм измерения уровня освещённости

Заключение

Развитие аппаратных возможностей современной микроэлектроники постоянно повышает требования к современным устройствам. Важной характеристикой устройства является удобство считывания пользователем отображаемой информации. Удобное и эргономичное отображение повышает скорость считывания информации человеком, снижает вероятность ошибок и утомляемость пользователя. Для устройств, предназначенных для работы в условиях с различным