

УДК 628.931

**Подводный светильник на основе отечественного многокристального  
мощного светодиодного модуля для осветительных систем**

*Емельянова А.В., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Подводные аппараты и роботы»*

*Научный руководитель: Сарвира Д.В., ассистент кафедры  
«Подводные роботы и аппараты»  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[kafsm11@sm.bmstu.ru](mailto:kafsm11@sm.bmstu.ru)*

Введение

Интенсивное развитие подводной робототехники неразрывно связано с новыми разработками различных комплектующих подводных аппаратов.

Подводные аппараты (ПА) обычно работают в условиях ограниченной видимости, обусловленных замутненностью воды и недостатком света. Условия работы зависят от типа водоема и глубины погружения. Поэтому очень важно разработать качественный осветительный комплекс. Перед разработчиком стоит задача создания осветительной системы, достаточно мощной для обеспечения комфортной работы оператора подводного аппарата и при этом легко регулируемой в условиях высокой степени замутненности воды, так как мощный световой поток, отражаясь от частиц, взвешенных в воде, создает полупрозрачную пелену, которая ухудшает видимость.

Активно используемые металлогалогенные прожекторы имеют ряд недостатков, таких как высокая стоимость и долгий выход на рабочий режим. Основным же недостатком металлогалогенных прожекторов является низкий коэффициент полезного действия (КПД), а следовательно значительное потребление мощности и нагрев элементов осветительного модуля.

В последнее время в качестве альтернативы металлогалогенному прожектору в подводной робототехнике активно внедряется светодиодная матрица, отличающаяся более высоким КПД, более низкой стоимостью и безопасностью в эксплуатации. В данной статье рассматривается светильник для подводного аппарата на основе мощной

светодиодной матрицы, управляемый широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) посредством интерфейса RS485.

Функциональная схема системы управления светильником и ее принцип действия  
Функциональная схема электронного модуля представлена на рисунке 1.

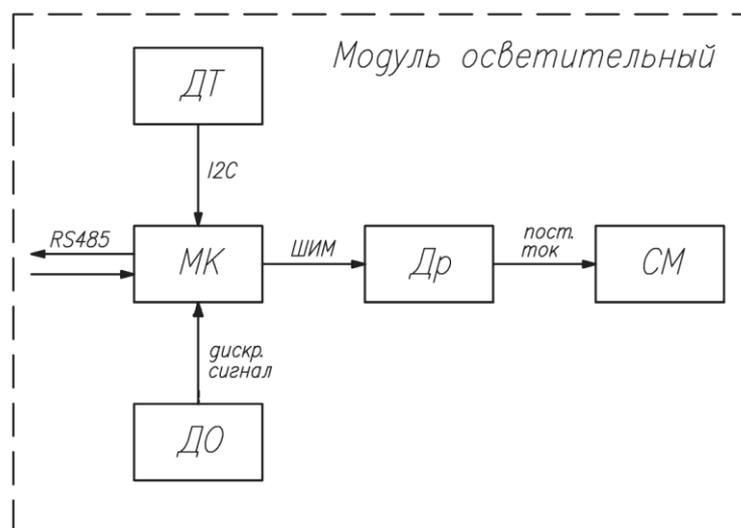


Рис. 1. Функциональная схема осветительного модуля

Управление светильником осуществляется оператором через интерфейс RS485, который связан с микроконтроллером (МК). МК управляет драйвером посредством ШИМ. Драйвер (Др) в свою очередь осуществляет управление непосредственно светодиодной матрицей.

Электронный блок расположен в герметичном титановом корпусе, где отсутствует циркуляция воздуха. Тепло, выделяющееся в процессе работы светодиодной матрицы, рассеивается на алюминиевой подложке, расположенной непосредственно под матрицей и плотно прилегающей к корпусу светильника, который в свою очередь охлаждается окружающей средой – водой. Тем не менее, возникает опасность перегрева и последующего повреждения электронных компонентов, поэтому в системе управления предусмотрен датчик температуры (ДТ), который постоянно замеряет температуру в корпусе электронного блока и передает ее по шине данных I2C в виде цифрового сигнала на МК. Если температура превышает критическое значение, яркость свечения матрицы автоматически уменьшается и остается такой вплоть до момента, пока электронный блок не охладится до рабочей температуры.

Для предупреждения оператора ПА о нарушении герметичности корпуса светильника в данном модуле используется датчик обводнения (ДО), который представляет собой два параллельных, не соединенных между собой электрически проводника с разностью потенциалов 5 вольт, расположенных по периметру платы. Когда между проводниками достаточно большое электрическое сопротивление (воздух), цепь разомкнута. Если в корпус попадает вода, электрическое сопротивление уменьшается до 10 КОм, этого достаточно для замыкания цепи. Далее электрический сигнал, проходя через транзисторный каскад, подается на МК, который в свою очередь сигнализирует оператору о нарушении герметичности корпуса светильника.

#### Характеристики системы управления светильником

Рекомендуемая производителем драйвера частота ШИМ (500 Гц) обеспечивает характеристику, максимально приближенную к линейной (рис. 2). Частота ШИМ определяется по формуле:

$$f_{PWM} = \frac{f_{clk}}{N \cdot (1 + K)} \quad (1)$$

$f_{clk}$  - частота тактового сигнала (мы используем кварцевый резонатор с частотой 9,216 МГц)

$N$  – частота делителя (в нашем случае равна 1)

$K$  – значение, записываемое в соответствующий регистр контроллера и определяющее частоту ШИМ

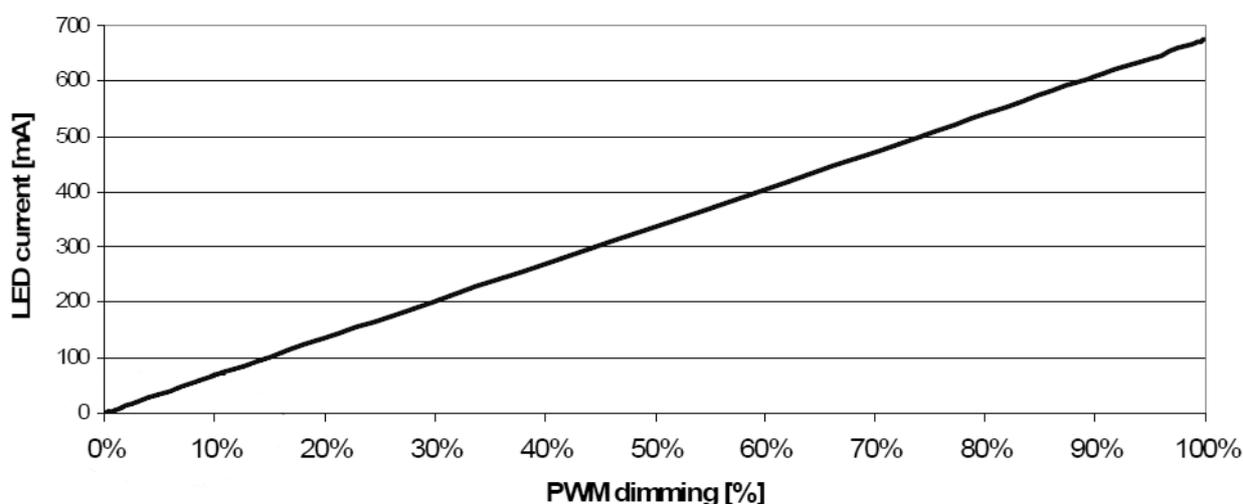


Рис. 2. Зависимость тока на выходе драйвера от уровня сигнала ШИМ на входе

ШИМ генерируется микроконтроллером при помощи 16-разрядного таймера-счетчика, который при совпадении с содержимым регистра OCR или регистра ICR меняет состояние уровня сигнала на соответствующей ножке контроллера на противоположное. Временная диаграмма, отображающая генерирование ШИМ, приведена на рисунке 3.

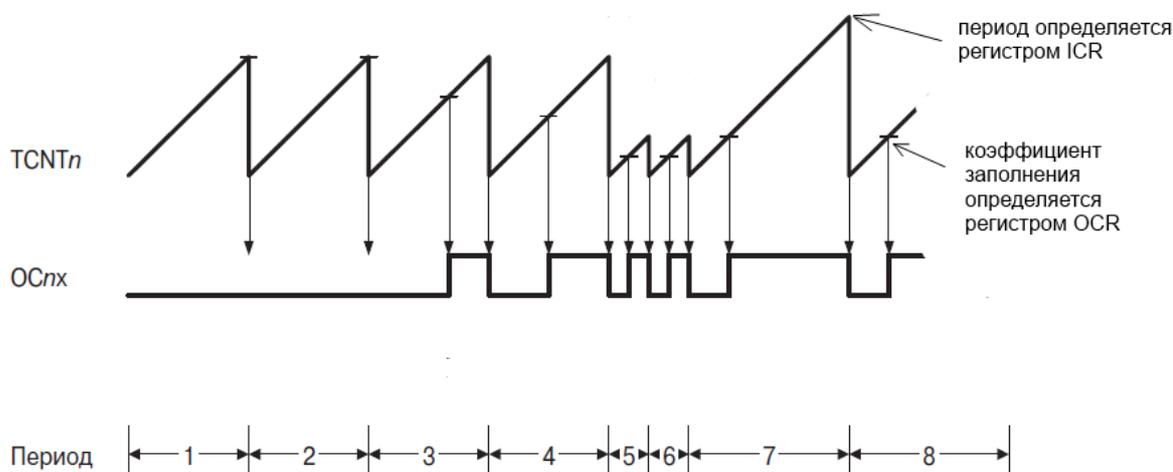


Рис. 3. Временная диаграмма сигнала ШИМ

Период ШИМ определяется содержимым регистра ICR, в который записывается значение, соответствующее требуемой частоте и вычисляемое по формуле (1). Коэффициент заполнения определяется содержимым регистра OCR, в который записывается значение, пропорциональное заданному оператором. Таким образом, если от оператора приходит некоторое значение  $M$ , то в регистр OCR будет записано число:

$$OCR = k_n \cdot M, \text{ где } k_n \text{ – коэффициент пропорциональности.}$$

Коэффициент заполнения ШИМ будет пропорционален содержимому регистра OCR:

$$D = k_{PWM} \cdot OCR, \text{ где } k_{PWM} \text{ – коэффициент пропорциональности ШИМ.}$$

Далее сигнал ШИМ поступает на драйвер, который генерирует ток соответствующего уровня. Так как указанная производителем драйвера характеристика (рисунок 2) близка к линейной, введем линейную зависимость между током на выходе драйвера и коэффициентом заполнения ШИМ на входе:

$$I = k_{др} \cdot D, \text{ где } k_{др} \text{ – коэффициент пропорциональности драйвера.}$$

Теперь можно увидеть зависимость между значением, задаваемым оператором, и выходным током драйвера:

$$I = k \cdot M, \text{ где } k = k_n \cdot k_{PWM} \cdot k_{др} \text{ – коэффициент пропорциональности.}$$

Приближенность данной зависимости к линейной будет зависеть от линейности зависимости между коэффициентом заполнения ШИМ и выходным током драйвера, то есть от качества драйвера и правильности выбора пассивных компонентов при его подключении.

Одна из основных характеристик светодиодной матрицы – люкс-амперная характеристика – зависимость освещенности от тока, подаваемого на матрицу. Согласно литературным данным, данная характеристика имеет преимущественно линейный характер за исключением области низкого тока. На рисунке 4 приведена люкс-амперная характеристика диода.

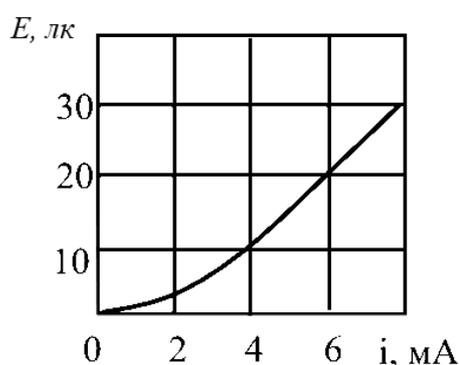


Рис. 4. Зависимость яркости свечения светодиода от подаваемого на него тока

Таким образом, зависимость между значением, вводимым оператором и яркостью свечения светодиодной матрицы близка к линейной. Данная линейность будет зависеть от источника тактового сигнала (определяет генерируемый микроконтроллером сигнал ШИМ), от качества и корректности подключения драйвера, управляющего светодиодной матрицей, и непосредственно от характеристик самой матрицы.

#### Сравнительная характеристика светильника на основе светодиодной матрицы и металлогалогенного прожектора

Более высокий КПД светодиодных матриц обеспечивает более высокую яркость свечения при одинаковой затрачиваемой мощности а также уменьшает количество выделяющегося на светильнике тепла, что очень важно в подводной робототехнике из-за герметичности корпусов и, как следствие, недостатка вентиляции. Сравнение данных характеристик представлено графиками на рисунке 5.

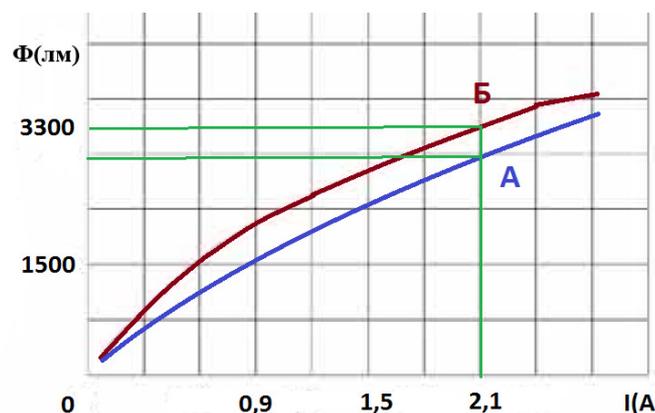


Рис. 5. Рабочие характеристики светодиодной матрицы и металлогалогенного прожектора

На графиках представлены рабочие точки металлогалогенного прожектора (А) светодиодной матрицы (Б) одинаковой мощности 30 Вт. Как видно из графиков, при одинаковом потребляемом токе светодиодная матрица дает больший световой поток.

Высокое быстродействие светодиодной матрицы позволяет быстрее выйти на рабочий режим при включении светильника и изменении параметров яркости.

Таким образом, использование в подводной робототехнике светильников на основе многокристальных мощных светодиодных матриц позволяет увеличить время работы автономных аппаратов и снизить энергопотребление телеуправляемых.

#### Список литературы

1. Шуберт Ф. Светодиоды. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel. М.: Додэка-XXI, 2008, 560 с.
3. Светодиодное освещение. Режим доступа: <http://an-light.ru/articles/advantages-and-disadvantages-of-led-lamps> (дата обращения 15.04.2014)