

УДК 628.9:621.3

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ**Копытов С.М., Ульянов А.В., Шибeko Р.В.***ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», Комсомольск-на-Амуре,
e-mail: ulianov2@mail.ru*

В статье рассматриваются вопросы построения современных систем освещения. Обоснована актуальность проблемы повышения энергоэффективности систем освещения в настоящее время. В начале статьи приведены структуры осветительных линий с большим количеством осветительных элементов с централизованным управлением. Рассматриваются несколько вариантов структур с общей или индивидуальной диагностикой, с отдельным информационным каналом связи датчиков и регулятора мощности с блоком управления осветительной линией или с передачей аналогичной информации по линии питающего напряжения. Пояснены назначения блоков структур и способы плавного и дискретного управления мощностью светильников. Приведены случаи применения данных систем освещения на практике. Далее в статье рассматриваются светильники с индивидуальным управлением. Пояснены недостатки применения фотодатчика и обозначена актуальность управления по таймеру. Добавление в функции таймера функции определения времени захода и восхода солнца (астротаймер). Показана и пояснена функциональная схема осветительного прибора с индивидуальным микроконтроллерным управлением как с модулем GPS так и без. Представлено разнообразие структур построения систем освещения, как с централизованным, так и индивидуальным управлением. Исследован вопрос управления освещением по таймеру с функцией учета времени восхода и захода солнца (астротаймер). Реализована программа астротаймера для микроконтроллера и доказана ее точность вычисления.

Ключевые слова: осветительная линия, датчики, таймер, фотодатчик, астродатчик, микроконтроллер, модуль GPS, программа

DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT LIGHTING SYSTEMS**Kopytov S.M., Ulyanov A.V., Shibeko R.V.***Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, e-mail: ulianov2@mail.ru*

The article deals with the construction of modern lighting systems. The urgency of the problem of improving the energy efficiency of lighting systems at present is substantiated. At the beginning of the article the structures of the lighting lines with a large number of lighting elements with centralized control are given. Several variants of structures with common or individual diagnostics are considered, with a separate information channel for the connection of sensors and a power regulator with the control unit for the lighting line or with the transmission of similar information through the supply voltage line. The purpose of the block structures and methods of smooth and discrete control of the power of the lamps are explained. The cases of using these lighting systems in practice are given. Further in the article lamps with individual control are considered. The disadvantages of using a photo sensor are explained and the relevance of timer control is indicated. Adding in the timer function the function of determining the time of sunset and sunrise (astrotimer). The functional diagram of the illuminant with individual microcontroller control both with and without the GPS module is shown and explained. Presents a variety of structures for the construction of lighting systems, both with centralized and individual control. The issue of lighting control by timer with the function of recording the time of sunrise and sunset (astrotimer) is investigated. The astro timer program for the microcontroller is implemented and its calculation accuracy is proved.

Keywords: lighting line, lighting system, sensors, timer, photo sensor, astrosensor, microcontroller, GPS module, program

Проблема повышения эффективности энергопотребления в XX в. не стояла в числе первоочередных, особенно в Советском Союзе. Энергоресурсы были дешевыми, и, казалось, запасы их бесконечны. Конечно, предпринимались попытки в данной области, но они касались в основном промышленного производства. Бытовое и коммунальное энергопотребление было невелико, и вся экономия энергии ограничивалась призывами со стороны властей выключать лампочки, горящие без надобности.

В XXI в. ситуация изменилась и проблема повышения эффективности энергопотребления вышла на важное место среди технических проблем. К тому же улучшение ситуации в данном вопросе может дать существенный вклад в решение других про-

блем, стоящих перед человечеством, например экологических. Разумеется, решение такой глобальной задачи предполагает усилия во всех сферах технической деятельности человека.

На первый взгляд, освещение (как уличное, так и в помещениях) не является таким уж энергоемким. Однако по статистическим данным на освещение тратится более 10% от всей вырабатываемой в нашей стране энергии. Таким образом, повышение энергоэффективности систем освещения является актуальной задачей [1].

Естественно, что первым шагом для увеличения энергоэффективности является замена морально устаревших источников света (лампы накаливания) на более экономичные (светодиодные лампы).

Далее следует усовершенствование управления светильниками [2, 3]. Большинство технических решений систем освещения в стране на данный момент морально устарели. Чаще всего это отдельные линии без центрального мониторинга, которые имеют только функции включения/выключения с управлением контакторами или магнитными пускателями, а иногда и просто рубильниками (выключателями). В лучшем варианте управление ведется от сигналов таймеров или фотодатчиков. Модернизация таких линий также позволяет следовать тенденции «интеллектуализации» оборудования и повышению многофункциональности [4, 5].

Цель исследования: представить разнообразие структур построения систем освещения, как с централизованным, так и индивидуальным управлением. Исследовать вопрос управления освещением по таймеру с функцией учета времени восхода и захода солнца (астротаймер). Реализовать программу астротаймера для микроконтроллера привести результаты расчета.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим вначале построение осветительных линий с большим количеством источников света.

Структура осветительной линии, состоящей из нескольких осветительных элементов с общим управлением, представлена на рис. 1.

На рис. 1 обозначено:

- РМ – регулятор мощности. Позволяет управлять мощностью, подводимой к светильникам.
- ОЭ – осветительный элемент. Является источником света.
- БУЛОЭ – блок управления линией осветительных элементов. Является центральным звеном управления.
- ФД – фотодатчик. Преобразует освещенность в месте установки в сигнал для БУЛОЭ.
- Т – таймер (часы реального времени). Подсчитывает реальное время.

– ДП – датчик присутствия. Фиксирует наличие движения в месте установки.

– БПр – блок передатчика. Сообщает необходимую информацию в центр управления энергосистемой.

– ДН – датчик напряжения. Позволяет измерять действующее значение сетевого напряжения и/или фиксировать переход кривой сетевого напряжения через ноль.

– ДТ – датчик тока. Позволяет диагностировать состояние осветительных элементов в линии и/или вносить коррективы в управление линией.

– ЦУ – центр управления энергосистемой.

Элементы обозначенные сплошной линией являются обязательными. Элементы, обозначенные штриховой линией являются необязательными. Блок управления линией, осветительных элементов управляет освещенностью, настраивая регулятором мощность, подводимую осветительным элементам. В качестве обратной связи для реализации параметров управления, в зависимости от требований потребителя, может применяться фотодатчик, таймер или датчик присутствия. Для диагностики состояния осветительных элементов в систему может быть введен датчик тока, который также позволяет корректировать параметры управления при помощи регулятора мощности в случае наличия большой реактивной составляющей сопротивления линии. В структуру также может быть введен датчик напряжения, который может выполнять функции как измерения действующего значения напряжения сети, так и в случае необходимости фиксации переходов кривой сетевого напряжения через ноль. Система позволяет вычислить потребляемую мощность и вместе с информацией диагностики состояния светильников передавать в центр управления энергосистемой.

Данная структура может применяться достаточно широко (учетом различных датчиков):

- Освещение объектов (улиц, мостов, тоннелей и т.д.) по таймеру.
- Освещение объектов по фотодатчику.
- Освещение объектов по датчику присутствия.
- Освещение мостов в ночное время при малой интенсивности движения. При этом освещение минимально, но при наличии транспортного средства система включает светильники на максимальную мощность на определенное время.

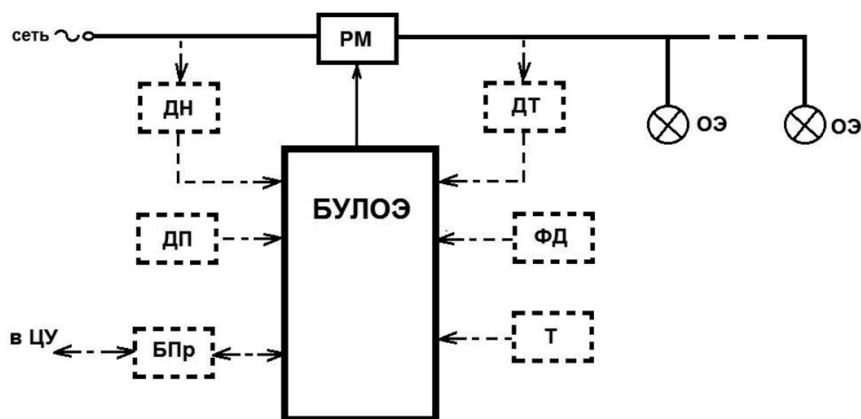


Рис. 1. Структура осветительной линии с общим управлением

– Освещение туннелей в любое время при малой интенсивности движения. При этом освещение минимально, но при наличии транспортного средства система включает светильники на максимальную мощность на определенное время.

– Освещение производственных помещений (цехов) при наличии работников.

На рис. 2 представлены некоторые реализуемые способы регулирования подаваемого в линию напряжения.

Плавное регулирование достигается при помощи угла управления. В остальных случаях регулирование дискретное.

При использовании длинных линий освещения для определения конкретного неисправного светиль-

ника целесообразно датчик тока объединить с осветительным элементом в осветительный прибор.

Данная структура представлена на рис. 3 и помимо перечисленных выше блоков здесь присутствуют:

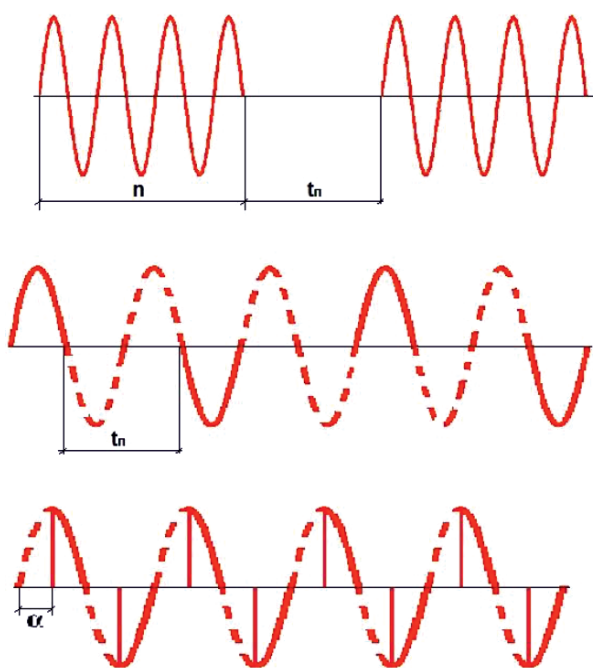
- ОП – осветительный прибор. Объединение осветительного элемента и других устройств.

– БУЛОП – блок управления линией осветительных приборов. Является центральным звеном управления.

– ЛС – линия связи. Информационно соединяет БУЛОП и ДТ.

– УС – устройство сопряжения. Формирует сигналы для передачи по линии связи.

Линии связи могут быть проводные или беспроводные.



n – количество целых периодов, t_n – время паузы

Рис. 2. Способы регулирования подаваемого в линию напряжения:
а – регулирование на низкой частоте, б – регулирование при пропуске целого числа периодов,
в – регулирование при помощи угла управления

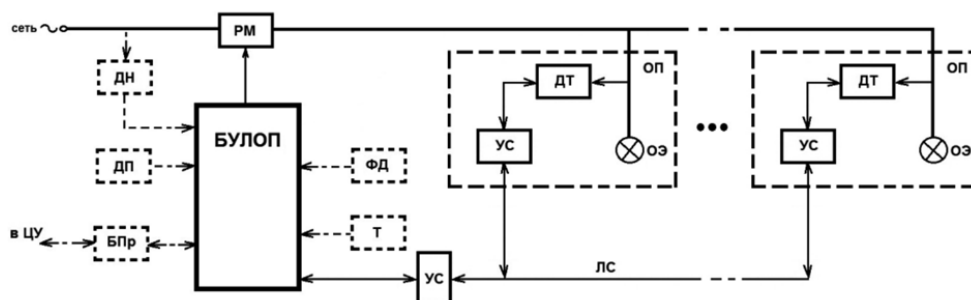


Рис. 3. Длинная осветительная линия с диагностикой осветительных элементов с отдельной линией связи

При необходимости индивидуального управления осветительными элементами в соответствии с информацией с датчиков каждого элемента освещения и наличии отдельной линии связи может применяться структура, показанная на рис. 4.

Помимо перечисленных выше блоков здесь присутствует блок управления регулятором мощности (БУРМ).

Данная структура актуальна во многих случаях, например освещение второстепенных улиц при наличии перекрёстков с главными улицами. При этом второстепенные улицы в ночное время освещаются минимально (кроме перекрестков). Наличие датчиков присутствия транспортного средства позволяет организовать «волну освещенности».

На рис. 5 показана структура системы освещения с передачей информации от датчиков по линии сетевого напряжения [6].

Целесообразность отказа от отдельных каналов управления и использование для передачи команд управления силовые сети очевидна и эта идея не нова (технология PLC (Power Line Communication – коммуникация, построенная на линиях электропередачи)). На сегодняшний день чаще всего используются два способа передачи данных по силовым сетям:

- с модуляцией основной гармоники питающего напряжения;
- с модуляции наложенного напряжения.

Данная структура реализует обмен информацией с датчиками тока через модуляцию наложенного напряжения.

Структура, показанная на рис. 6, реализует раздельное управление элементами освещения и раздельный обмен информацией с датчиками по линии сетевого напряжения, при этом обмен информацией

с датчиками осуществляется через модуляцию наложенного напряжения, а управление элементами освещения – через модуляцию основной гармоники питающего напряжения (существует возможность осуществлять обмен информацией только на основной частоте питающего напряжения).

Помимо перечисленных выше блоков на рис. 6 присутствуют:

– М – модулятор основной гармоники питающего напряжения.

– ДМ – демодулятор основной гармоники питающего напряжения.

Способов изменения формы сетевого напряжения множество, например:

- «вырезание» целой полуволны напряжения;
- «вырезание» части полуволны, формируя «угол управления».

При «вырезании» целой полуволны информация может кодироваться:

1) двоичными цифрами фрагментами синусоидального напряжения сети (период с отсутствующей полуволной – логический «0», а период с «не вырезанной» полуволной – логической «1»;

2) одиночный «вырез» полуволны означает команду для всех регуляторов мощности «изменить режим потребления мощности светильника» пошагово;

3) количеством полуволн основной гармоники напряжения, прошедшими между двумя «вырезами» полуволн («маркерами»).

Во всех случаях спектральный состав передаваемого сигнала зависит от передаваемой информации и, в некоторых случаях, может не соответствовать нормам качества электроэнергии и электромагнитной совместимости. Во втором случае теряется гибкость освещения и невозможность диагностики светильников.

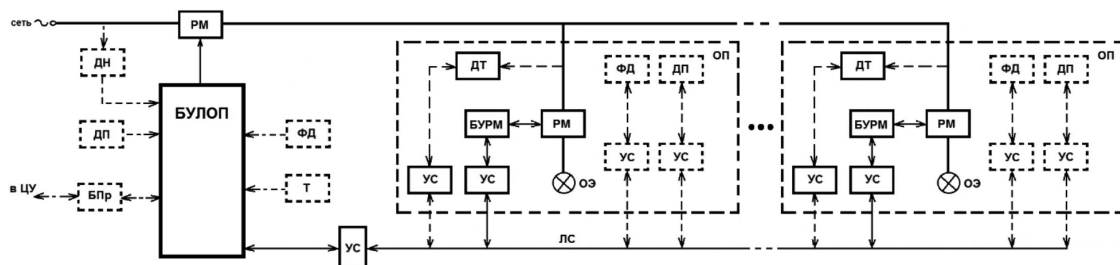


Рис. 4. Длинная осветительная линия с датчиками осветительных приборов с отдельной линией связи

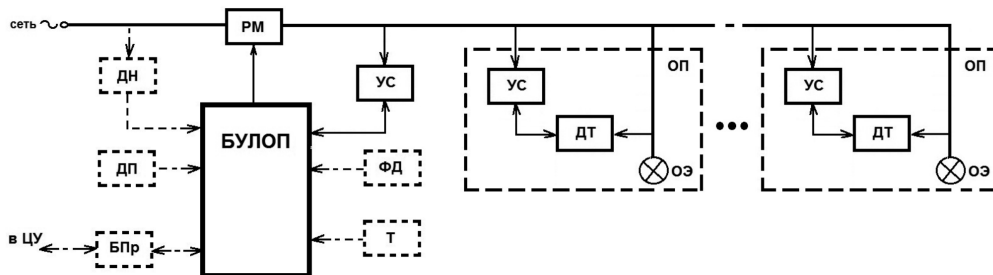


Рис. 5. Длинная осветительная линия с диагностикой осветительных элементов без отдельной линии связи

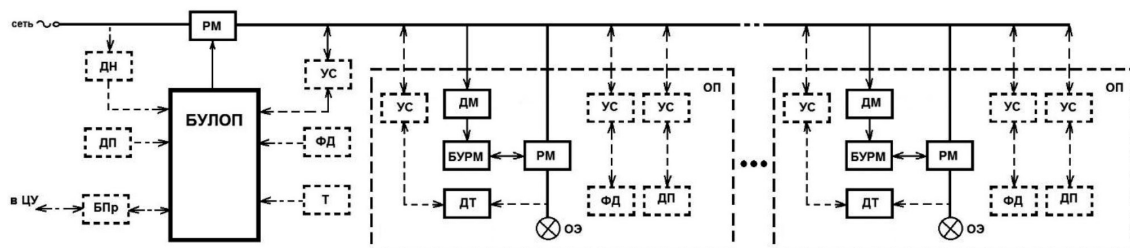


Рис. 6. Длинная осветительная линия с датчиками осветительных приборов без отдельной линии связи

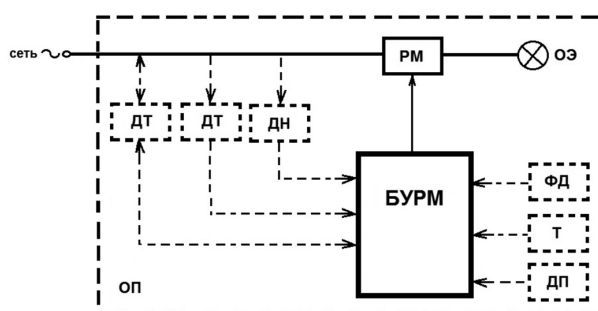


Рис. 7. Структура светильника с индивидуальным управлением

Для улучшения спектрального состава сетевого напряжения при передаче информации для блоков управления регуляторов мощности, маркер целесообразно формировать не в виде «выреза» целой полуволны, а в виде уменьшенной по амплитуде полуволны напряжения сети.

Рассмотрим светильники с индивидуальным управлением, потребность в которых не снижается. В качестве примера использования можно привести системы освещения небольших предприятий (больницы, школы и т.д.) и коммунальный сектор.

На рис. 7 представлена обобщенная структура светильника с индивидуальным управлением. Блоки пояснены ранее. Устройство сопряжения позволяет передавать информацию (как правило, диагностическую) о состоянии светильника (например, светильники в подъезде многоквартирного дома).

Чаще всего светильники оснащают фотодатчиками, или они работают по таймеру.

Использование фотодатчика имеет свои недостатки:

- фотодатчик надо выносить на улицу;
- фотодатчик требует обслуживания. В зимнее время фотодатчик будет обмерзать и забиваться снегом, а в летнее время источником загрязнения служит пыль. В этих случаях свет будет гореть и днем;
- при паразитной засветке датчика свет не будет гореть, когда надо;
- отсутствие возможности настройки автоматического выключения, когда свет не нужен;
- отсутствие возможности включения света с опережением/запаздыванием относительно уровня освещения.

Светильник с таймером (часами реального времени) данными недостатками не обладает. Однако очень часто уличное размещение светильника с обычным таймером не учитывает изменение времени восхода и захода солнца на широте использования светильника. Исходя из этого применение астротаймера более целесообразно. В основу работы устройства положен математический расчет астрономических явлений, таких как восход и заход солнца.

На рис. 8 показана функциональная схема осветительного прибора с микроконтроллерным управлением, она состоит из следующих блоков:

- Т – таймер (часы реального времени) реального времени. Реализует временные функции.
- FM – флеш-память. Запоминание управляющей программы и инструкций пользователя.
- IC – преобразователь интерфейса SPI в интерфейс USB. Формирует интерфейс USB для программирования устройства пользователем.
- AVR – микроконтроллер. Является центральным управляющим звеном.
- СНС – схема начального сброса. Формирует сигнал начального сброса при включении питания.
- РМ – регулятор мощности. Служит для управления яркостью осветительного элемента.
- ОЭ – осветительный элемент. Является источником света.

Схема построена по радиальному принципу. Обмен информацией между таймером реального времени и микроконтроллером происходит по интерфейсу 1-Wire, а между памятью, преобразователем интерфейса и микроконтроллером по интерфейсу SPI. Управление регулятором мощности осуществляется напрямую по линии порта микроконтроллера.

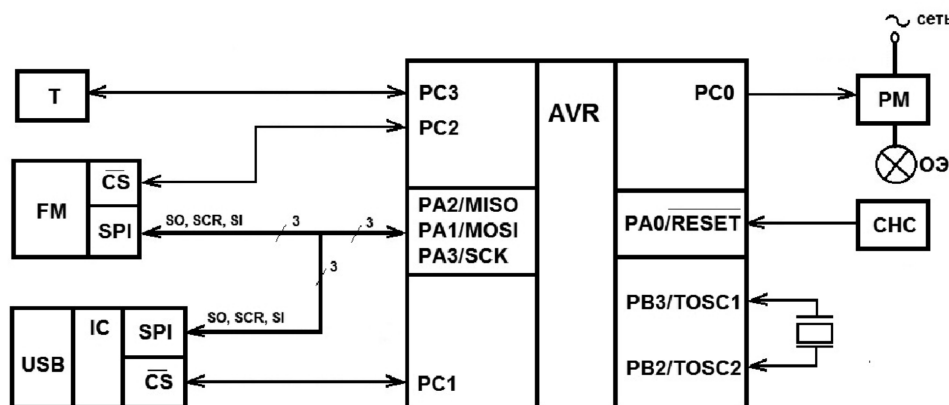


Рис. 8. Функциональная схема осветительного прибора с микроконтроллерным управлением

Для освобождения пользователя от ввода географических координат к микроконтроллеру может быть подключен модуль GPS (рис. 9) по интерфейсу UART, при этом тактирование микроконтроллера осуществляется от внутреннего генератора тактов (актуально при смене положения светильника, например, световая реклама гастролирующего цирка).

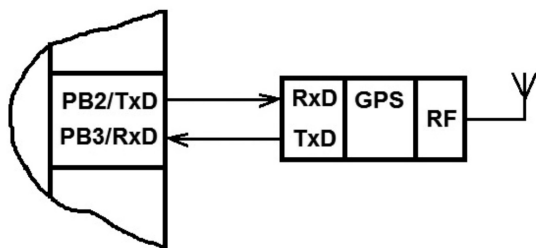


Рис. 9. Подключение модуля GPS

Функциональная схема ориентирована на использование следующих компонентов:

- DS1904 – таймер реального времени.
- AT25DF041A–SSH–B – последовательная Flash-память с интерфейсом SPI. Объем памяти 4 Мбит(512k x 8).
- UMFT220XB – преобразователь SPI в интерфейс USB.
- ATtiny416 – 8-битный микроконтроллер.
- EB–500 – GPS-модуль.

Результаты исследования и их обсуждения

Алгоритм определения захода и восхода солнца был заимствован в [7] и адаптирован в программу для микроконтроллера, рис. 10, данный программный модуль вычисляет момент восхода и захода Солнца. Исходные данные для расчета требуемого времени: географические координаты места наблюдения, которые определяет GPS модуль,

входящий в состав системы, разница между местным и всемирным временем, время истинного полдня. В результате проверки алгоритма было взято за тест определение восхода и захода Солнца в г. Комсомольске-на-Амуре.

```

16 Date time;
17 time.year = 2019;
18 time.month = 1;
19 time.day = 27;
20 time.hour = 14;
21 time.minute = 0;
22 time.second = 0;
23
24 double jd = getJulianDate(time);
25
26 // Долгота вд   Широта ш
27
28 Time t = getRiseSetTime(jd, 137.04769, 50.329954, 36);
29
30 Date rise = fromJulianDate((t.rise));
31 Date set = fromJulianDate((t.set));
32
33 RIS_H = rise.hour + 7;
34 RIS_M = rise.minute;
35
36 cout << "rise:" << endl;
  
```

Рис. 10. Работа алгоритма расчета восхода и заката Солнца

Так же формулы использованного алгоритма были проверены в среде MathCad и представлены на рис. 11.

Результат работы программы (рис. 10) и проверка решения в Mathcad дают одинаковый результат, однако, сопоставив полученный результат с интернет-ресурсом <https://voshodsolnca.ru>, видим разница в расчетах составляет 4 минуты при определении восхода и 1 минуту при определении захода Солнца. Данная погрешность связана с округлением чисел, так как временные параметры определяются из значений, стоящих после запятой полученного из Юлианского дня.

$I := \text{floor}(\text{Data_rise}) = 2458512$	$I_set := \text{floor}(\text{Data_set}) = 2458512$
$F_rise := \text{Data_rise} - \text{floor}(\text{Data_rise}) = 0.105700986$	$F_set := \text{Data_set} - \text{floor}(\text{Data_set}) = 0.4817169602$
$A_rise := \text{trunc}\left[\frac{(\text{floor}(\text{Data_rise}) - 1867216.25)}{36524.25}\right] = 16$	$A_set := \text{trunc}\left[\frac{(\text{floor}(\text{Data_set}) - 1867216.25)}{36524.25}\right] = 16$
$B_rise := I + 1 + A_rise - \text{trunc}\left(\frac{A_rise}{4}\right) = 2458525$	$B_set := I + 1 + A_set - \text{trunc}\left(\frac{A_set}{4}\right) = 2458525$
$C_rise := B_rise + 1524 = 2460049$	$C_set := B_set + 1524 = 2460049$
$D_rise := \text{trunc}\left[\frac{(C_rise - 122.1)}{365.25}\right] = 6734$	$D_set := \text{trunc}\left[\frac{(C_set - 122.1)}{365.25}\right] = 6734$
$E_rise := \text{trunc}(365.25 \cdot D_rise) = 2459593$	$E_set := \text{trunc}(365.25 \cdot D_set) = 2459593$
$G_rise := \text{trunc}\left[\frac{(C_rise - E_rise)}{30.6001}\right] = 14$	$G_set := \text{trunc}\left[\frac{(C_set - E_set)}{30.6001}\right] = 14$
$\text{day_rise} := C_rise - E_rise + F_rise - \text{trunc}(30.6001 \cdot G_rise) = 28.105700986$	$\text{day_set} := C_set - E_set + F_set - \text{trunc}(30.6001 \cdot G_set) = 28.4817169602$
$\text{month_rise} := G_rise - 13 = 1$	$\text{month_set} := G_set - 13 = 1$
$\text{year_rise} := D_rise - 4715 = 2019$	$\text{year_set} := D_set - 4715 = 2019$
$\text{time_rise} := \text{day_rise} - \text{floor}(\text{day_rise}) = 0.105700986$	$\text{time_set} := \text{day_set} - \text{floor}(\text{day_set}) = 0.4817169602$
$\text{hors_rise} := \text{time_rise} \cdot 24 = 2.537$	$\text{hors_set} := \text{time_set} \cdot 24 = 11.561$
$\text{HORS_RISE} := \text{floor}(\text{hors_rise}) + \text{UTS} = 9$	$\text{HORS_SET} := \text{floor}(\text{hors_set}) + \text{UTS} = 18$
$\text{minutes_rise} := 60 \cdot (\text{hors_rise} - \text{floor}(\text{hors_rise})) = 32.209$	$\text{minutes_set} := 60 \cdot (\text{hors_set} - \text{floor}(\text{hors_set})) = 33.672$
$\text{MINUTES_RISE} := \text{floor}(\text{minutes_rise}) = 32$	$\text{MINUTES_SET} := \text{floor}(\text{minutes_set}) = 33$
Время восхода солнца: HORS_RISE = 9 MINUTES_RISE = 32	Время захода солнца: HORS_SET = 18 MINUTES_SET = 33

Рис. 11. Проверка результата работы программы в среде Mathcad

Выводы

Постепенно у специалистов меняется отношение к модернизации систем освещения в рамках повышения эффективности энергопотребления электрооборудования вообще. Показано разнообразие структур построения систем освещения, как с централизованным, так и с индивидуальным управлением. Большое внимание уделено управлению освещением по таймеру с функцией учета времени восхода и захода Солнца (астротаймер). Реализована программа астротаймера для микроконтроллера и доказана ее точность вычисления.

Список литературы

1. Тетри Э., Халонен Л. Экономия электроэнергии благодаря энергосберегающему освещению // Светотехника. 2009. № 5. С. 59–64.
2. Никуличев А.Ю., Сапронов А.А. Принцип построения эффективных систем управления уличным освещением // Изв. ВУЗов. Электромеханика (спец. выпуск). 2008. С. 135–137.

3. Бонати А. Энергосбережение посредством интеллектуальных систем светорегулирования // Светотехника. 2009. № 4. С. 41–44.

4. Копытов С.М., Ульянов А.В., Шибко Р.В. Коммутатор сетевого напряжения для управления светодиодными осветительными приборами с помощью низкочастотной PLC-технологии // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 9. С. 152–161.

5. Kopytov S.M., Ulyanov A.V. Modification of the Dimming Control Method for LED Lighting Using PLC Technology, 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok, 2018. P. 1–4.

6. Алексеев Е.Г., Шиков С.А., Иванова Е.С. Интегрированные технологии, стандартные интерфейсы и протоколы для построения интеллектуальных систем управления освещением: материалы XXI научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. В 3-х ч. 2017. С. 602–610.

7. Оливер М., Томас П. Астрономия на персональном компьютере. 4-е изд. СПб.: Питер, 2002. С. 63–70.