

И.Е. ЗУЙКОВ,

д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой
«Информационно-измерительная техника
и технологии» БНТУ

Е.Н. САВКОВА,

к. т. н., доцент кафедры «Стандартизация,
метрология и информационные системы» БНТУ

Е.О. ИВАНОВ,

инженер-конструктор ОДО «Завод универсал-
импульс»

ПРИМЕР РАСЧЕТА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Продолжая цикл статей, посвященных проектированию и реализации адаптивных осветительных систем, изменяющих свои характеристики в зависимости от времени суток с целью обеспечения максимального комфорта световой среды и энергоэффективности, предлагаем рассмотреть пример расчета энергосберегающей автономной системы наружного освещения остановочного пункта. Так как в настоящее время наиболее перспективными являются технологии на основе возобновляемых источников энергии (далее — ВИЭ), преобразование солнечного излучения в электрическую энергию в данной системе будет осуществляться с помощью фотоэлектрических преобразователей (далее — ФЭП). В основе принципа действия ФЭП лежит явление фотоэффекта — «вырывания» электронов из вещества (кремния) под действием частиц света (фотонов), обладающих необходимой энергией (длиной волны).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Автономная система освещения остановочного пункта должна состоять из следующих основных частей:

- светодиодный модуль;
- питающий аккумулятор;
- контроллер заряда;
- солнечный модуль;
- микроконтроллерная система управления.

Поставленная задача решалась поэтапно в следующей последовательности:

- 1) оптимизация выбора вида и количества светодиодов и расчет освещенности площадки;
- 2) разработка и расчет параметров схемы подключения ключевого стабилизатора тока;
- 3) расчет потребляемой мощности, выбор аккумуляторной батареи и солнечного модуля;
- 4) разработка и расчет схемы подключения контроллера заряда;
- 5) оптимизация выбора датчика освещения;
- 6) оптимизация выбора микроконтроллера;
- 7) стабилизатор напряжения и разработка схемы его включения.

Остановимся на каждом из этапов более подробно.

1. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ВИДА И КОЛИЧЕСТВА СВЕТОДИОДОВ И РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ ПЛОЩАДКИ

Рассмотрим два способа освещения площадки общественного транспорта:

- 1) когда вся площадка освещается одним источником света;
- 2) когда вся площадка освещается несколькими источниками света.

Рассчитаем площадь, которую необходимо осветить, учитывая габаритные размеры объекта (рисунок 1):

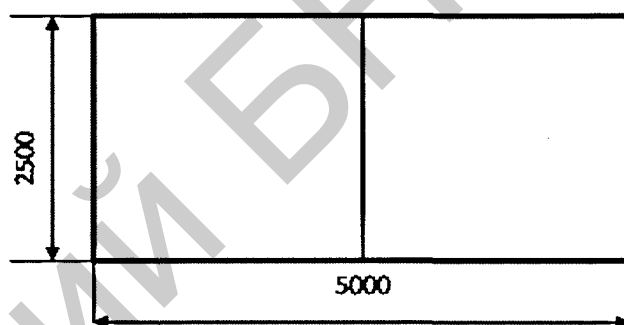


Рисунок 1 — Габаритные размеры площадки общественного транспорта

$$S_{PL} = 2,5 \cdot 5 = 12,5 \text{ м}^2$$

Рассчитаем площадь, которую будет освещать один источник света (рисунок 2):

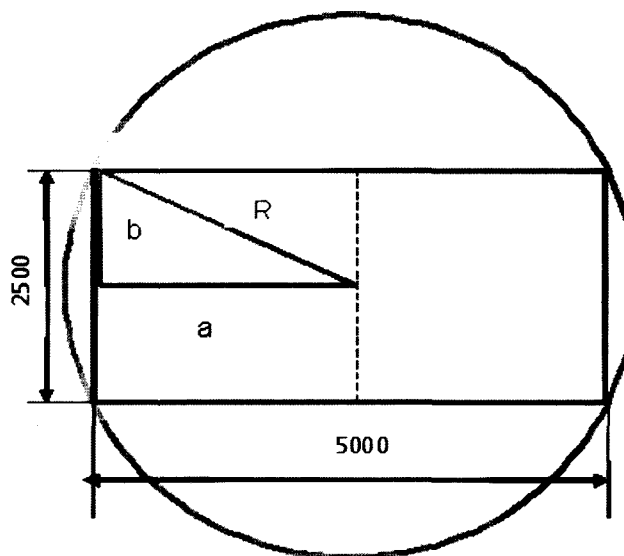


Рисунок 2 — Освещение объекта одним источником света

$$S_{KB} = \pi \cdot (a^2 + b^2) = 24,544 \text{ м}^2$$

Рассчитаем площадь, которую будут освещать два источника света, расположенные, как показано на рисунке 3:

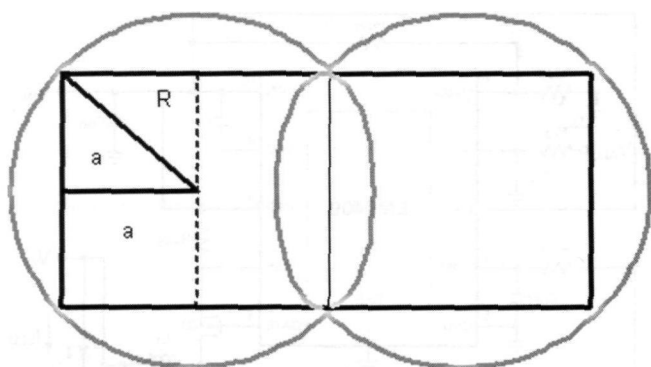


Рисунок 3 — Освещение двумя источниками света

$$S_{KM} = \pi \cdot (2 \cdot a^2) = 9,817 \text{ м}^2$$

$$S_{OM} = 2 \cdot S_{KM} = 19,634 \text{ м}^2$$

Теперь можем рассчитать, сколько лишней площади будет освещаться при первом и втором варианте:

$$S_{L1} = S_{KB} - S_{PL} = 12,044 \text{ м}^2$$

$$S_{L2} = S_{OM} - S_{PL} = 7,135 \text{ м}^2$$

Из расчетов видно, что при освещении вторым способом освещается почти в два раза меньше лишней площади, поэтому выбираем его.

Рассчитаем минимальный плоский угол свечения светодиода, необходимый для освещения заданной поверхности, при условии, что высота крепления источника света $H = 2,4$ м (рисунок 4):

$$\alpha_{1/2} = \tan^{-1} \frac{1,3}{2,4} = 30^\circ$$

$$\alpha = 2 \cdot \alpha_{1/2} = 60^\circ$$

Зная минимальный плоский угол свечения светодиода, можем перейти к расчетам необходимого потока излучения от светодиода.

Согласно ТКП 45-2.04-153-2009 средняя горизонтальная освещен-

ность посадочных площадок общественного транспорта на улицах всех категорий должна быть $E = 10$ лк. Расстояние от источника света до освещаемой поверхности $R = 2,4$ м (для остановочного комплекса Ш-576). Угол падения лучей света относительно нормали к поверхности $\alpha = 0^\circ$.

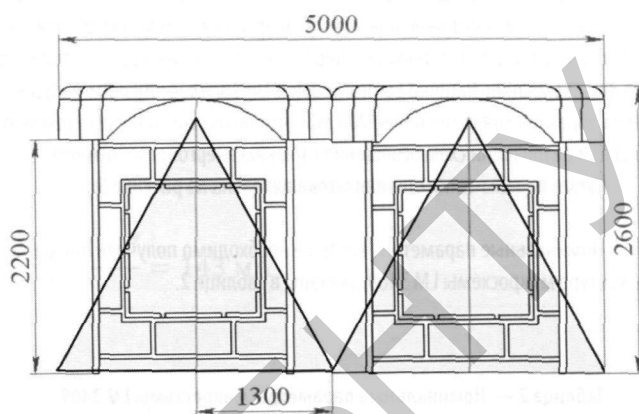


Рисунок 4 — Направление светового излучения светодиодов

Вычислим необходимую силу света от точечного источника:

$$I = \frac{E \cdot R^2}{\cos \alpha} = 52,9 \text{ кд}$$

Зная плоский угол свечения светодиода $\theta = 60^\circ$, указанный производителем, определяем телесный угол Ω :

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right) = 1,136$$

Суммарный поток излучения, необходимый для освещения площадки остановочного пункта, будет равен [4]:

$$\Phi = I \cdot \Omega = 52,9 \cdot 1,136 = 60 \text{ лм}$$

В таблице 1 приведены технические характеристики светодиодов различных производителей.

Таблица 1 — Характеристики светодиодов

Название	Фирма	Макс. поток излучения, лм	Количество светодиодов, шт.	Потребляемая мощность, Вт	Цена, у. е.
XLamp XP-E	Cree	100	1	0,651	2,98
Luxeon Emitter	Philips LumiLEDs	45	1	1,2	2,5
XLamp XP-G	Cree	114	1	0,585	3,8
Luxeon Rebel	Philips LumiLEDs	100	1	0,563	2,1

Из таблицы видно, что светодиоды Luxeon Rebel фирмы Philips LumiLEDs по соотношению «качество/цена» (потребляемая мощность, цена) лучше всего подходят для применения в данной системе освеще-

ния. Таким образом, были выбраны два светодиода Luxeon Rebel Emitter LXML PWC1.

2. РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ КЛЮЧЕВОГО СТАБИЛИЗАТОРА ТОКА

Для питания светодиодов необходимо стабилизировать ток, проходящий через светодиоды. Это позволит увеличить срок службы светодиодов и уменьшить потребление электроэнергии от аккумулятора. В качестве стабилизатора тока, текущего через светодиоды, выбран LED драйвер LM 3409 компании National Semiconductor. Он обладает низким напряжением обратной связи (не более 200 мВ), что позволяет получить высокий КПД при реализации схем освещения с низким энергопотреблением.

Схема подключения стабилизатора показана на рисунке 5.

Номинальные параметры, которые необходимо получить при расчете контура микросхемы LM 3409, указаны в таблице 2.

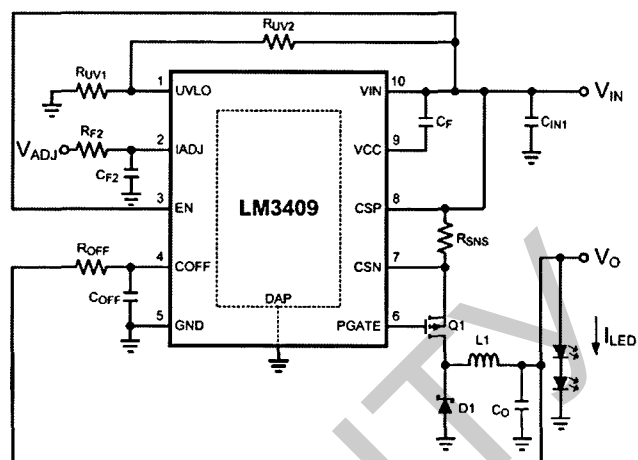


Рисунок 5 — Схема подключения стабилизатора LM 3409

Таблица 2 — Номинальные параметры микросхемы LM 3409

Параметр	Обозначение	Значение
Номинальное входное напряжение, В	V_{IN}	12
Максимальное входное напряжение, В	V_{IN-MAX}	15
Номинальное выходное напряжение, В	V_O	6,5
Частота переключения, кГц	f_{sw}	500
Ток через светодиоды, мА	I_{LED}	350
Амплитуда пульсирующего тока на индуктивности, мА	ΔI_{L-PP}	150
Амплитуда пульсирующего тока на светодиодах, мА	ΔI_{LED-PP}	20
Пульсация входного напряжения, В	ΔV_{IN-PP}	0,7
Желаемый КПД, %	η	95

Согласно спецификации $C_{OFF} = 470$ пФ, рассчитаем R_{OFF} :

$$R_{OFF} = \frac{-\left(1 - \frac{V_O}{\eta \cdot V_{IN}}\right)}{(C_{OFF} + 20 \text{ пФ}) \cdot f_{sw} \cdot \ln\left(1 - \frac{1,24 \text{ В}}{V_O}\right)} =$$

$$= \frac{-\left(1 - \frac{6,5}{0,95 \cdot 12}\right)}{(470 \cdot 10^{-12} + 20 \cdot 10^{-12}) \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot \ln\left(1 - \frac{1,24 \text{ В}}{6,5}\right)} = 8,288 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Резистор R_{OFF} выбираем из стандартного ряда E48 номиналом 8,25 кОм. Тогда время падения тока на светодиодах t_{OFF} будет равно:

$$t_{OFF} = (C_{OFF} + 20 \text{ пФ}) \cdot R_{OFF} \cdot \ln\left(1 - \frac{1,24 \text{ В}}{V_O}\right) =$$

$$= (470 \cdot 10^{-12} + 20 \cdot 10^{-12}) \cdot 8,25 \cdot 10^3 \cdot \ln\left(1 - \frac{1,24 \text{ В}}{6,5}\right) = 855 \text{ нс}$$

Реальная частота переключения:

$$f_{sw} = \frac{1 - \left(1 - \frac{V_O}{\eta \cdot V_{IN}}\right)}{t_{OFF}} = \frac{1 - \left(1 - \frac{6,5}{0,95 \cdot 12}\right)}{855 \cdot 10^{-9}} = 502 \text{ кГц}$$

Рассчитаем значение индуктивности L_1 :

$$L_1 = \frac{V_O \cdot t_{OFF}}{\Delta I_{L-PP}} = \frac{6,5 \cdot 855 \cdot 10^{-9}}{150 \cdot 10^{-3}} = 37,08 \text{ мкГн}$$

Индуктивность L_1 выбираем из стандартного ряда номиналом 39 мкГн, тогда реальное значение амплитуды пульсирующего тока на индуктивности:

$$\Delta I_{L-PP} = \frac{V_O \cdot t_{OFF}}{L_1} = \frac{6,5 \cdot 855 \cdot 10^{-9}}{39 \cdot 10^{-6}} = 143 \text{ мА}$$

Рассчитаем максимальный ток через светодиоды:

$$I_{L-MAX} = I_{LED} + \frac{\Delta I_{L-PP}}{2} = 0,350 + \frac{0,134}{2} = 421 \text{ мА}$$

Учитывая, что $V_{ADJ} = 1,24 \text{ В}$, рассчитаем R_{SNS} :

$$R_{SNS} = \frac{V_{ADJ}}{5 \cdot I_{L-MAX}} = \frac{1,24}{5 \cdot 0,421} = 0,589 \text{ Ом}$$

Резистор R_{SNS} выбираем из стандартного ряда номиналом 0,59 Ом.

$$I_{LED} = \frac{V_{ADJ}}{5 \cdot R_{SNS}} - \frac{\Delta I_{L-PP}}{2} = \frac{1,24}{5 \cdot 0,59} - \frac{0,134}{2} = 349 \text{ мА}$$

Рассчитаем выходную емкость C_O :

Учитывая, что динамическое сопротивление светодиодов $r_D = 20 \text{ м}$, рассчитаем необходимый импеданс для минимальной выходной емкости Z_C :

$$Z_C = \frac{r_D \cdot \Delta I_{LED-PP}}{\Delta I_{L-PP} - \Delta I_{LED-PP}} = \frac{2 \cdot 0,02}{0,134 - 0,02} = 0,326$$

$$C_{O-MIN} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{sw} \cdot Z_C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 502 \cdot 10^3 \cdot 0,326} = 9,7 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

$$C_O = C_{O-MIN} \cdot 1,75 = 9,7 \cdot 10^{-7} \cdot 1,75 = 1,7 \text{ мкФ}$$

Емкость C_O выбираем из стандартного ряда номиналом 1,8 мкФ.

Рассчитаем входную емкость C_{IN} :

Определим время нарастания импульса на светодиоде t_{ON} :

$$t_{ON} = \frac{1}{f_{sw}} - t_{OFF} = \frac{1}{502 \cdot 10^3} - 855 \cdot 10^{-9} = 1,136 \text{ мкс}$$

Вычислим минимальную входную емкость C_{IN-MIN} :

$$C_{IN-MIN} = \frac{I_{LED} \cdot t_{ON}}{\Delta V_{IN-PP}} = \frac{0,350 \cdot 1,136 \cdot 10^{-6}}{0,7} = 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

$$C_{IN} = C_{IN-MIN} \cdot 2 = 5,6 \cdot 10^{-7} \cdot 2 = 1,1 \text{ мкФ}$$

Емкость C_{IN} выбираем из стандартного ряда номиналом 1,1 мкФ.

3. РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ, ВЫБОР АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ И СОЛНЕЧНОГО МОДУЛЯ

Очевидно, что количество солнечной энергии, падающей на поверхность Земли, изменяется вследствие движения Солнца. Эти изменения зависят от времени суток и времени года. Обычно в полдень на Землю попадает больше солнечной радиации, чем рано утром или поздно вечером. Количество энергии, падающей на единицу площади в единицу времени, зависит от широты, местного климата, сезона года, угла наклона поверхности по отношению к Солнцу. Зависимость количества солнечной энергии от географического месторасположения участка Земли иллюстрирует рисунок 6 [1].

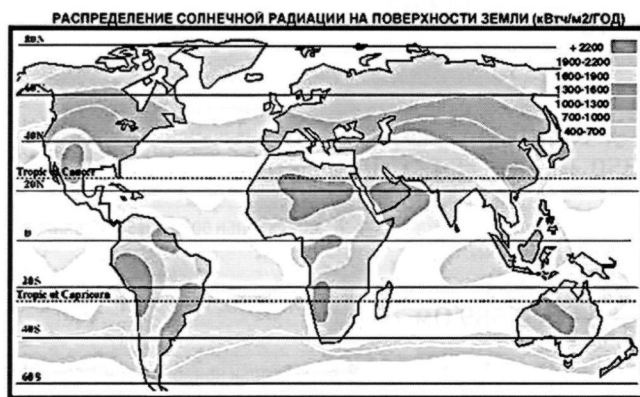


Рисунок 6 — Распределение солнечной энергии

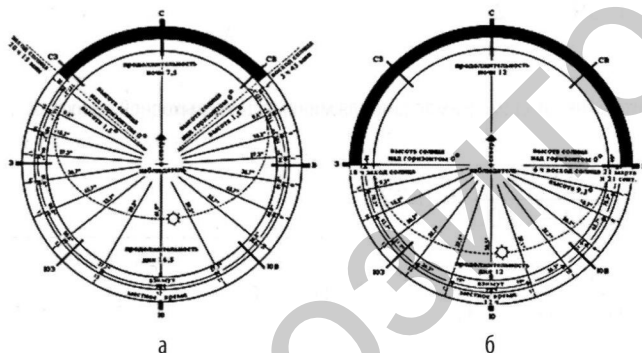


Рисунок 7 — Траектории движения солнца в период:

а — солнцестояния (около 21 июня) для самого продолжительного дня в году (51,5° северной широты), б — весеннего равноденствия (около 21 марта) и осеннего равноденствия (около 21 сентября)

Графики, на которых отображены траектории движения солнца для различных периодов (рисунок 7) [2], позволяют быстро определить инсоляцию запроектированного объекта путем наложения вычерченного на кальке плана объекта в соответствии с его ориентацией по странам света на график солнечного пути, или наоборот.

Для выбора аккумуляторной батареи необходимо рассчитать потребляемую мощность.

Рассчитаем мощность, потребляемую светодиодами P_{SD} . Ток, проходящий через каждый светодиод $I_{SD} = 250$ мА; напряжение, падающее на светодиоде $U_{SD} = 3,2$ В; количество светодиодов $N_{SD} = 2$ шт.:

$$P_{SD} = I_{SD} \cdot U_{SD} \cdot N_{SD} = 0,350 \cdot 3,2 \cdot 2 = 2,24 \text{ Вт}$$

В режиме дежурного освещения мощность, потребляемая светодиодами, P_{SD1} уменьшается в 4 раза:

$$P_{SD1} = \frac{P_{SD}}{4} = 0,56 \text{ Вт}$$

Рассчитаем мощность $P_{МК}$, потребляемую микроконтроллером. Ток, потребляемый микроконтроллером $I_{МК} = 20$ мА; напряжение питания микроконтроллера $U_{МК} = 5$ В:

$$P_{МК} = I_{МК} \cdot U_{МК} = 0,020 \cdot 5 = 0,1 \text{ Вт}$$

Рассчитаем мощность P_{DR} , потребляемую драйвером для светодиодов. Ток, потребляемый драйвером $I_{DR} = 2$ мА; напряжение питания драйвера $U_{DR} = 12$ В:

$$P_{DR} = I_{DR} \cdot U_{DR} = 0,002 \cdot 12 = 0,024 \text{ Вт}$$

Суммарная мощность в рабочем режиме:

$$P_0 = P_{SD} + P_{МК} + P_{DR} = 2,364 \text{ Вт}$$

Суммарная мощность в дежурном режиме:

$$P_{01} = P_{SD1} + P_{МК} + P_{DR} = 0,684 \text{ Вт}$$

Рассчитаем емкость аккумуляторной батареи. Расчет будем вести исходя из того, что продолжительность самой длинной ночи в году составляет 15 часов. Семь из пятнадцати часов система будет работать в дежурном режиме, так как движение общественного транспорта прекращается в 23.00 и возобновляется в 6.00. Таким образом, получаем, что время работы в рабочем режиме $T_R = 8$ часов, а в дежурном режиме $T_D = 7$ часов.

Найдем потребляемую мощность за сутки P_S :

$$P_S = T_R \cdot P_0 + T_D \cdot P_{01} = 8 \cdot 2,364 + 7 \cdot 0,684 = 23,7 \text{ Вт} \cdot \text{ч/сутки}$$

Напряжение аккумуляторной батареи $U_B = 12$ В.

Количество, потребляемое всей нагрузкой за сутки будет равно:

$$C_S = \frac{P_S}{U_B} = \frac{23,7}{12} = 1,975 \text{ А} \cdot \text{ч/сутки}$$

Согласно пункту 6.1.2.2 технического задания количество суток автономной работы $T_A = 7$ суток. Количество А·ч, потребляемое всей нагрузкой за время T_A будет равно:

$$C_0 = C_S \cdot T_A = 1,975 \cdot 7 = 13,825 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Глубина разряда свинцово-кислотных аккумуляторных батарей не должна превышать 20 %:

$$C = \frac{C_0}{0,2} = 69,125 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Вводим коэффициент, учитывающий изменение емкости аккумуляторной батареи при работе в холодную погоду $K_F = 1,35$:

$$C_{AB} = C \cdot K_F = 69,125 \cdot 1,35 = 89,862 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Емкость аккумуляторной батареи принимаем равной $C_{AB} = 94$ А·ч.

Выбираем аккумуляторную батарею емкостью 95 А·ч ХТВ12950.

Аккумуляторные батареи CSB серии XTV — специально разработанная серия батарей для эксплуатации в экстремальных температурных условиях (от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$) с увеличенным до 12 лет сроком службы и увеличенным до 1500 циклов при работе в циклическом режиме. Используются в качестве резервного питания промышленного оборудования, резервного освещения, на электростанциях и подстанциях, портативном измерительном оборудовании, электроинструментах и другом оборудовании.

Рассчитаем необходимый ток от солнечного модуля. Количество $A \cdot ч$, потребляемое всей нагрузкой за сутки, равно:

$$C_S = 1,975 A \cdot ч / \text{сутки}$$

Учитываем потери на заряд-разряд аккумуляторной батареи (20 % при использовании специальных батарей):

$$C_Z = C_S \cdot 1,2 = 2,37 A \cdot ч$$

Определяем среднее количество пиковых солнечных часов в Беларуси (рисунок 8).

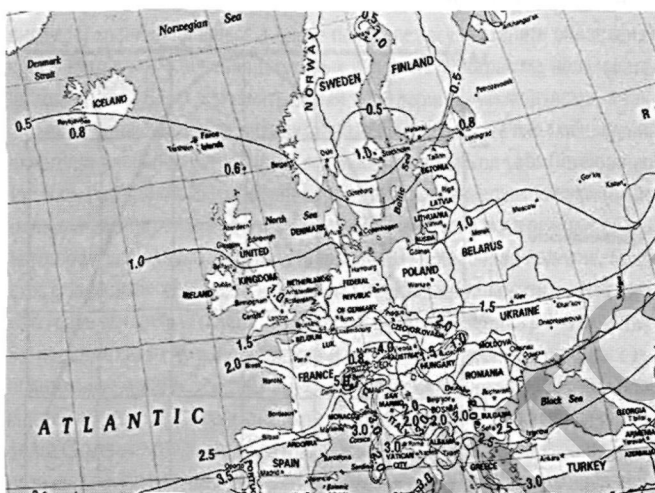


Рисунок 8 — Карта пиковых солнечных часов

Для Беларуси среднее количество пиковых солнечных часов равняется одному часу. Требуемое количество от солнечного модуля определяется выражением:

$$I_{SB} = \frac{C_Z}{1} = 2,37 A$$

Учитывая то, что в Беларуси преобладает пасмурная погода, принимаем $I_{SB} = 2,5 A$. Выбираем солнечный модуль BP 350 фирмы BP Solar, мощностью 50 Вт, который обеспечивает максимальный ток заряда 2,9 А.

4. РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ КОНТРОЛЛЕРА ЗАРЯДА

Для контролирования процесса заряда необходимо использовать контроллер заряда, который будет обеспечивать нужное напряжение и ток заряда.

В качестве контроллера заряда выбираем микросхему BQ24450 фирмы Texas Instruments. Микросхема BQ24450 обеспечивает оптимальный контроль заряда герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, контролирует ток заряда и напряжение заряда и тем самым обеспечивает безопасность и эффективность процесса заряда, а так-

же продлевает срок службы аккумуляторной батареи. Встроенная температурная компенсация обеспечивает оптимальный процесс заряда при различных температурах без использования внешних элементов. Низкое энергопотребление данной микросхемы позволяет наиболее эффективно использовать энергию солнечной батареи для заряда аккумулятора. Схема подключения контроллера заряда BQ24450 показана на рисунке 9.

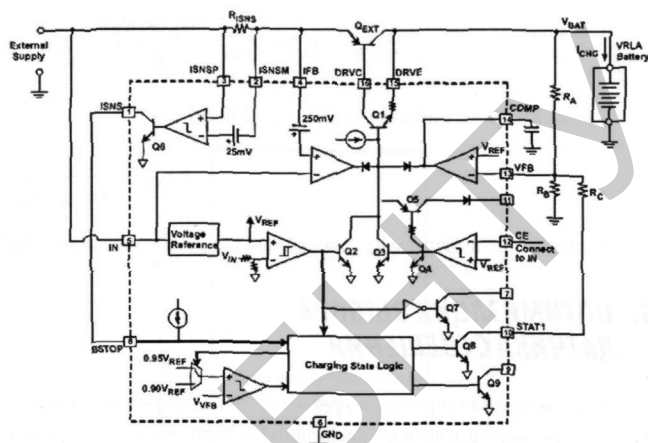


Рисунок 9 — Схема подключения контроллера заряда BQ24450

Номинальные параметры, которые необходимо получить при расчете контура контроллера заряда BQ24450, указаны в таблице 3.

Таблица 3 — Номинальные параметры контроллера заряда

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Номинальное напряжение аккумуляторной батареи	V_{BI}	137 В
Максимальное напряжение заряда	V_{BOOST}	144 В
Напряжение поддержки заряда	V_{FLOAT}	132 В
Максимальный ток заряда	$I_{MAX-CHG}$	3 А
Напряжение начала нового цикла заряда	V_{RCH}	119 В

Рассчитаем значение сопротивления R_C :

$$R_C = \frac{V_{FLOAT}}{50\mu A} = \frac{13,2}{50 \cdot 10^{-6}} = 265 \text{ кОм}$$

Резистор R_C выбираем из стандартного ряда E96 номиналом 267 кОм.

Учитывая, что V_{REF} решим систему уравнений:

$$\begin{cases} V_{BI} = \frac{0,95 \cdot V_{REF} \cdot (R_A + \frac{R_C + R_B}{R_C \cdot R_B})}{\frac{R_C + R_B}{R_C \cdot R_B}} \\ V_{FLOAT} = V_{REF} \cdot \frac{R_A + R_B}{R_B} \end{cases}$$

Получим, что $R_A = 135,943 \text{ кОм}$, $R_B = 28,554 \text{ кОм}$.

Резистор R_A составляем из резисторов номиналом 133 кОм и 0,47 кОм из стандартного ряда E48. Резистор R_B выбираем из стандартного ряда E96 номиналом 28 кОм. Рассчитаем реальные значения напряжения заряда с учетом выбранных элементов:

$$V_{FLOAT} = V_{REF} \cdot \frac{R_A + R_B}{R_B} = 2,3 \cdot \frac{133,047 \cdot 10^3 + 28 \cdot 10^3}{28 \cdot 10^3} = 13,264 \text{ В}$$

$$V_{BOOST} = \frac{V_{REF} \cdot \left(R_A + \frac{R_C + R_B}{R_C \cdot R_B} \right)}{\frac{R_C + R_B}{R_C \cdot R_B}} = \frac{2,3 \cdot \left(133,047 \cdot 10^3 + \frac{267 \cdot 10^3 + 28 \cdot 10^3}{267 \cdot 10^3 \cdot 28 \cdot 10^3} \right)}{\frac{267 \cdot 10^3 + 28 \cdot 10^3}{267 \cdot 10^3 \cdot 28 \cdot 10^3}} = 14,413 \text{ В}$$

$$V_{RCH} = 0,9 \cdot V_{REF} \cdot \frac{R_A + R_B}{R_B} = 0,9 \cdot 2,3 \cdot \frac{133,047 \cdot 10^3 + 28 \cdot 10^3}{28 \cdot 10^3} = 11,937 \text{ В}$$

Рассчитаем R_{SNS} , учитывая, что $V_{ILIM} = 250 \text{ мВ}$:

$$R_{SNS} = \frac{V_{ILIM}}{I_{MAX-CHG}} = \frac{0,250}{3} = 8,3 \text{ мОм}$$

Резистор R_{SNS} выбираем из стандартного ряда E96 номиналом 8,2 мОм.

5. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ДАТЧИКА ОСВЕЩЕНИЯ

Для обеспечения переходного режима работы (постепенное включение и выключение освещения) необходимо использовать светочувствительный элемент. Светочувствительный элемент передает информацию о текущей освещенности в микропроцессорную систему управления, где эта информация обрабатывается.

В качестве датчика освещения выбираем интегральную микросхему APDS-9300 фирмы Avago Technologies. Данная микросхема преобразует интенсивность освещения в цифровой выходной сигнал, передаваемый по интерфейсу I2C.

Отличительные особенности APDS-9300 перечислены ниже:

- высокоточное измерение освещенности;
- шестнадцатитбитный цифровой выход с интерфейсом I2C;
- низкое напряжение питания (2,5 В);
- низкая потребляемая мощность (0,6 мВт в рабочем режиме);
- наличие спящего режима работы;
- миниатюрный корпус (высота — 0,55 мм, длина — 2,60 мм, ширина — 2,20 мм).

На рисунке 10 представлена структурная схема APDS-9300.

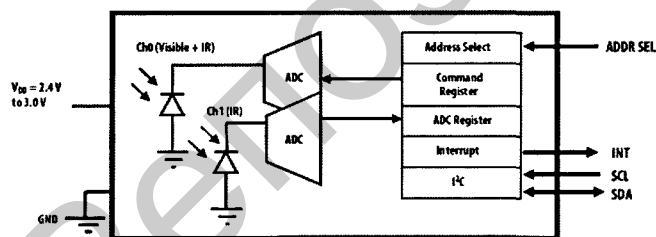


Рисунок 10 — Структурная схема APDS-9300

В таблице 4 представлено описание выводов микросхемы APDS-9300.

Таблица 4 — Описание выводов микросхемы APDS-9300

Номер вывода	Символьное название	Описание
1	VDD	Напряжение питания
2	GND	Общий вывод питания («земля»)
3	ADDR SEL	Вывод выбора адреса
4	SCL	Вывод сигнала тактирования
5	SDA	Вывод двунаправленного сигнала
6	INT	Вывод сигнала прерывания

Зависимость чувствительности к освещению от угла освещения представлена на рисунке 11.

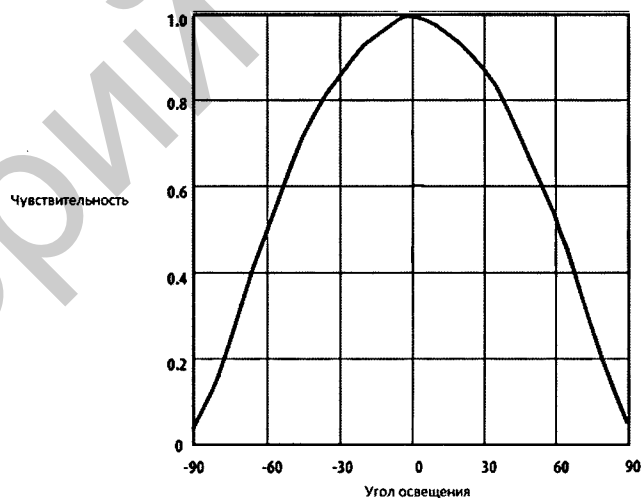


Рисунок 11 — Зависимость чувствительности к освещению от угла освещения

6. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Микроконтроллеры (МК) семейства C8051F41х представляют собой полностью интегрированные на одном кристалле системы для обработки смешанных (аналого-цифровых) сигналов с низким энергопотреблением. Отличительные особенности данного семейства МК перечислены ниже:

- Высокопроизводительное микропроцессорное ядро CIP-51 с конвейерной архитектурой, совместимое со стандартом 8051 (максимальная производительность — 50 MIPS).
- Встроенные средства отладки, обеспечивающие внутрисистемную, «неразрушающую» отладку в режиме реального времени.
- 12-разрядный АЦП (макс. производительность — 200 тыс. преобразований в секунду) с аналоговым мультиплексором и 24 аналоговыми входами.
- Два 12-разрядных ЦАП с токовым выходом.
- Прецизионный программируемый внутренний генератор 24,5 МГц.
- До 32 Кбайт встроенной Flash-памяти.

- 2304 байт встроенного ОЗУ.
- Аппаратно реализованные последовательные интерфейсы I2C/SMBus, SPI и расширенный UART.
- Четыре 16-разрядных таймера общего назначения.
- Программируемый массив счетчиков/таймеров (ПМС) с шестью модулями захвата/сравнения и функцией сторожевого таймера.
- Модуль smartClock (Real Time Clock — часы реального времени) функционирует при снижении напряжения до 1 В и содержит резервное ОЗУ объемом 64 байта и стабилизатор резервного напряжения питания.
- Аппаратный модуль вычисления циклической контрольной суммы CRC.
- Встроенные схема сброса по включению питания, монитор питания и датчик температуры.
- Встроенные компараторы напряжения.
- До 24 портов ввода/вывода.

Все МК семейства C8051F41x имеют встроенные схему сброса по включению питания, монитор питания, сторожевой таймер, тактовый генератор и представляют собой, таким образом, функционально-законченную систему на кристалле. Имеется возможность внутрисхемного программирования Flash-памяти, что обеспечивает долговременное (энергонезависимое) хранение данных, а также позволяет осуществлять обновление программного обеспечения в готовых изделиях. Программа пользователя может полностью управлять всеми периферийными модулями, а также может отключать их индивидуально или все сразу с целью уменьшения энергопотребления. Встроенный двухпроводный Silicon Labs Development Interface (интерфейс C2) позволяет производить «неразрушающую» (не используются внутренние ресурсы) внутрисхемную отладку в режиме реального времени, используя МК, установленный в конечное изделие. Средства отладки обеспечивают проверку и модификацию памяти и регистров, расстановку точек останова, пошаговое выполнение программы, а также поддерживают команды запуска и остановки. В процессе отладки с использованием интерфейса C2 все аналоговые и цифровые периферийные модули полностью сохраняют свою работоспособность. Два вывода интерфейса C2 могут использоваться для других пользовательских функций, что позволяет осуществлять внутрисистемную отладку и программирование, не занимая для этого отдельные выводы корпуса. Каждый МК предназначен для работы в промышленном температурном диапазоне (– 45 °С... + 85 °С) при напряжении питания 2,0 В... 2,75 В. МК C8051F41x выпускаются в 28-выводных корпусах типа QFN (обозначаемые также как MLP или MLF) или в 32-выводных корпусах типа LQFP. На рисунке 12 представлена структурная схема C8051F413.

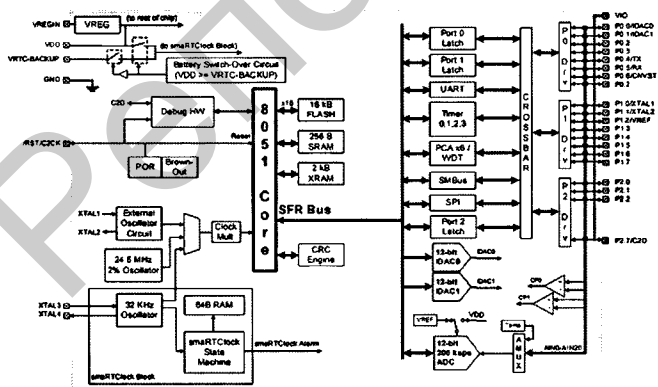


Рисунок 12 — Структурная схема микроконтроллера C8051F413

7. СТАБИЛИЗАТОР НАПЯЖЕНИЯ И РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЕГО ВКЛЮЧЕНИЯ

Для того чтобы питать микроконтроллер и датчик освещения ($V_{пит} = 3В$), необходимо уменьшить и стабилизировать напряжение аккумулятора батареи.

В качестве стабилизатора фиксированного напряжения выберем линейный стабилизатор LM2936-3.0. Удобство его использования обусловлено низким значением статического тока: от 15 μA до 100 μA .

Схема подключения стабилизатора показана на рисунке 13.

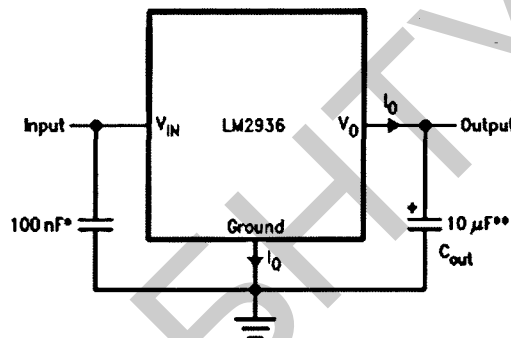


Рисунок 13 — Схема включения стабилизатора LM2936-5.0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Республика Беларусь, как и многие страны мира, должна принять решение о том, как будет выглядеть энергетика в ближайшие десятилетия. Солнечная энергия становится самым важным источником энергии: наступает глобальное изменение источников энергии, особенно в том, что касается обеспечения здорового баланса между экономическим ростом и экологической ответственности общества. Будущее — за возобновляемыми источниками энергии и в современных методах их получения. Инновационные и удобные решения необходимы для обеспечения качества жизни. Согласно комиссии Enquête Парламента Германии солнечная энергия позволит сэкономить более 180 млн тонн CO₂ в год к 2020 году. В долгосрочной перспективе солнечная энергия рассматривается как наиболее важный источник первичной энергии в мире: к 2050 году солнечная энергия может обеспечить 24 % мирового производства энергии, и это значение может увеличиться до 63 % к 2100 году. Эти цифры уже учитывают продолжающийся рост мировых потребностей в энергии.

В данной работе приведен пример расчета энергосберегающего наружного освещения объекта (остановочного пункта), основанного на использовании солнечной энергии. Расчет показывает, как поэтапно, осуществляя оптимизацию выбора по соотношению «качество/цена» составных частей осветительной системы, разработать перспективную установку, которая в дальнейшем может быть технически реализована.

Библиография

1. Энергетический портал Беларуси. Перспективы развития энергетики на основе возобновляемых источников энергии. Режим доступа: Sun\Reenergy.by - .htm.
2. Возобновляемые источники энергии Беларуси: прогноз, состояние, механизмы реализации: Материалы междунар. конф. «Энергетика Беларуси: пути развития». — Минск, 2006. — С. 37–60.
3. Эрнст Нойферт «Строительное проектирование» / Ernst Neufert «BAUENTWURFSLEHRE».
4. Данлер: гармония искусственного и естественного освещения. Режим доступа: <http://www.magazine-svet.ru>.
5. <http://www.infosys.ru/users/jikharev/solar.htm>
6. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике, 3-е изд. — М.: Знак, 2006.
7. Лесман Е. А. Освещение административных зданий и помещений. Л.: Энергоатомиздат, 1985. — 88 с.