

Теплоотводящий радиатор синусоидальной формы

➔ Надежность и выходные характеристики светодиодных светильников тесно связаны с температурой светоизлучающих кристаллов входящих в них светодиодов. От соблюдения теплового режима работы светодиодов зависят световой поток светильника, а также деградация светодиодов во времени. В статье приводится обоснование возможности увеличения полезной теплоотводящей площади радиатора за счет усложнения его формы, например промодулированной синусоиды.



Введение

При использовании светодиодных светильников одной из важнейших является задача отвода тепла [1, 2]. Чаще всего эта проблема решается путем уменьшения теплового сопротивления устройства, которое обратно пропорционально площади тепловыделяющей поверхности. В данной статье приводится расчет площади радиатора светодиодного светильника, в котором он имеет сложную форму с ответвлениями, перпендикулярными и параллельными теплоотводящей подложке. Примеры таких светильников и их радиаторов известны в литературе, некоторые приведены в наших публикациях и патентах [3–12].

Типичная конструкция светодиодного светильника приведена на рис. 1 [3]. Основным источником тепловыделения является протекание тока через светодиод для активации его излучения. Конструкции и материалы теплоотводящих элементов и способы крепления светодиода к ним, как правило, определяются разработчиками [13–16]. Типичной последовательностью термопереходов является конструкция, описанная в [16]: светодиод — керамическая подложка кристалла — изолятор печатной платы — термогель — защитное покрытие радиатора — радиатор.

Расчет модели радиатора

С целью упрощения модели радиатора светодиодного светильника приняты следующие предпосылки:

- температура подложки теплоотводящего элемента Z_3 на рис. 1 одинакова на всей верхней поверхности;
- радиатор имеет синусоидальную форму, что позволяет достаточно легко и с хорошей точностью моделировать процессы в светильниках с радиаторами различной формы.

Задача расчета длины синусоиды, для которой варьируются пространственная частота и амплитуда, решалась для ряда практически важных случаев из области электротехники, строительства, геологии [3, 17–19].

Например, в [3] показано, что радиаторы светодиодных светильников [4, 5, 7] с ребрами охлаждения в виде зигзага и синусоиды, в том числе с дополнительными боковыми выступами, имеют наибольшую площадь поверхности,

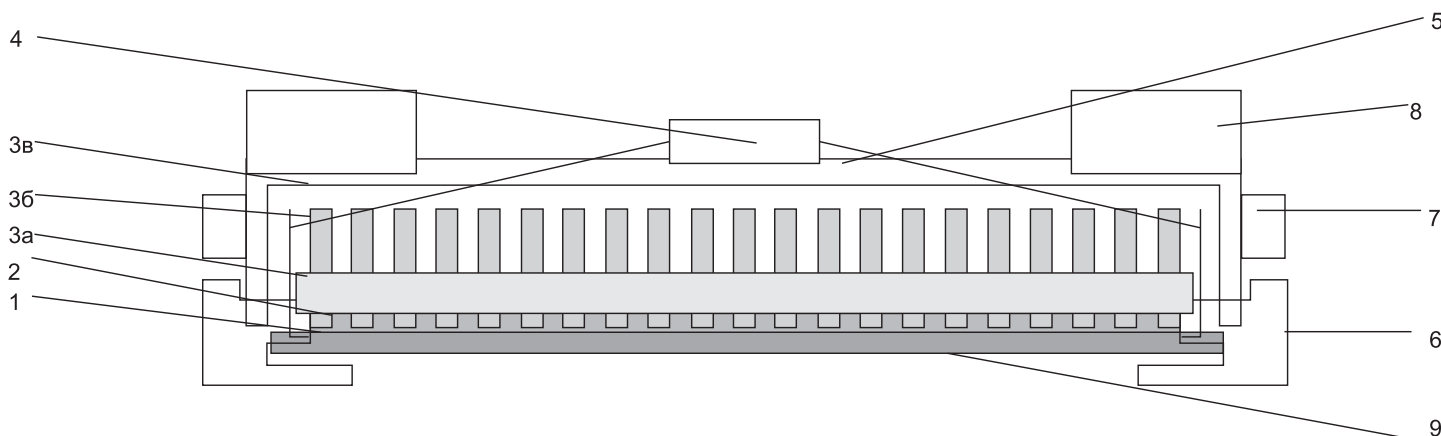


Рис. 1. Типичная конструкция светодиодного светильника: 1 — набор белых светодиодов; 2 — печатная плата; 3 — теплоотводящий элемент (3а — подложка; 3б — набор теплоотводящих радиаторов специальной формы; 3в — кожух); 4 — блок питания осветительного устройства; 5 — электрические соединительные элементы; 6 — элементы крепления различных частей устройства; 7 — элементы крепления между различными устройствами при многомодульном исполнении светильника; 8 — элементы крепления на внутренние поверхности здания; 9 — оптический элемент

а следовательно, и наименьшее тепловое сопротивление. Таким образом, показатель мощности рассеивания и передачи тепла в окружающую среду у данных радиаторов больше, что обеспечивает эффективное охлаждение при эксплуатации светодиодных светильников и увеличивает срок их службы.

Особенностью таких радиаторов является ограниченность всех размеров — ширины, высоты и т. д. Ребра радиатора специальной формы, изготовленные методом экструзии, направлены вдоль длины теплоотводящего элемента. Поэтому площадь радиатора зависит, прежде всего, от длины линии, задающей его форму. Следовательно, актуальной является задача поиска линий, имеющих максимальную длину в ограниченном пространстве, и методов расчета их формы и размеров.

Тепловое сопротивление зависит от физических свойств материала радиатора, через который проходит тепловой поток, и его геометрических размеров:

$$R_T = \delta / \lambda S, \quad (1)$$

где: δ — толщина материала, через который проходит тепловой поток; λ — коэффициент теплопроводности; S — поперечное сечение радиатора.

При передаче тепла с помощью конвекции тепловое сопротивление можно записать в следующем виде:

$$R_T = 1 / \alpha_T S. \quad (2)$$

Здесь S — поверхность радиатора, с помощью которого ведется конвективный теплообмен, α_T — коэффициент теплоотдачи. Этот коэффициент подвержен сильным изменениям в зависимости от условий перемещения массы воздуха при естественной конвекции, числа и расположения ребер на радиаторе, а также производительности установленного на радиатор вентилятора. Для воздуха при естественной конвекции коэффициент теплоотдачи можно ориентировочно принять равным $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ [20].

Для уменьшения теплового сопротивления при передаче тепла от радиатора в окружающую среду нами был выполнен расчет полезной теплоотводящей площади

радиатора формы промодулированной синусоиды. При этом использовалась только профильная форма радиатора, ограниченная экструзивной технологией изготовления (рис. 2).

Длины кривых для каждого витка радиатора вычислялись численно с помощью эллиптических интегралов вида

$$l = \int_0^h \sqrt{1 + \sum_{i=1}^n (A_i k_i \cos(k_i x))^2} dx. \quad (3)$$

Расчеты для одного ребра

Результаты расчетов длины l одного двустороннего ребра радиатора при различных значениях амплитуды A и пространственной частоты k приведены в таблице 1 и на рис. 3 и 4.

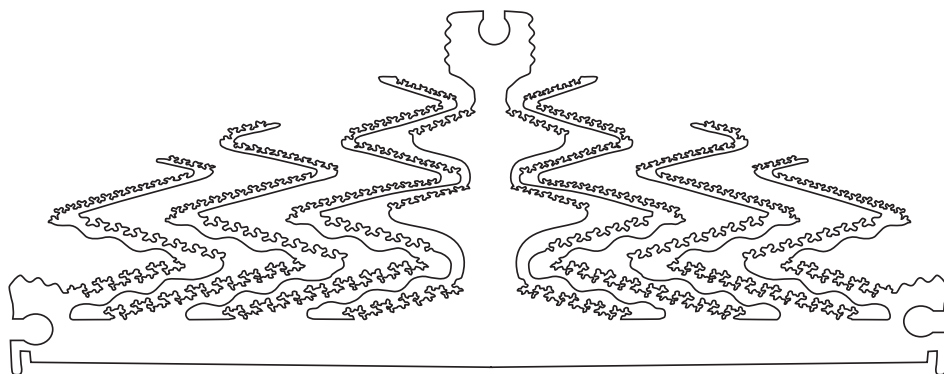


Рис. 2. Схема радиатора с формой вида промодулированной синусоиды

Расчеты для полной площади

На пластине толщиной 10 мм и размерами 200×350 мм находятся ребра синусоидальной формы. У основания толщина ребра 10 мм, на вершине толщина ребра 5 мм. Расстояние между ребрами 5 мм.

Высота ребра 100 мм. Количество ребер, которые поместятся на данной ширине (200 мм): 13 (и 5 мм запаса). На основе данных параметров была рассчитана общая площадь поверхности радиатора при вариации частоты k синусоиды, а также

ее амплитуды A (рис. 5). Полная площадь витков радиатора при различных значениях амплитуды A и пространственной частоты k представлена в таблице 2.

При сравнении графиков на рис. 5 и 6 становится очевидным, что модуляция

Таблица 1. Длина l радиатора при различных значениях амплитуды A и пространственной частоты k

A, мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k = 0,062753 \text{ мм}^{-1}$										
$l, \text{мм}$	205,45	206,04	207,01	208,37	210,09	212,17	214,59	217,33	220,37	223,71
$k = 0,12551 \text{ мм}^{-1}$										
$l, \text{мм}$	206,04	208,37	212,17	217,33	223,71	231,17	239,58	248,82	258,76	269,33
$k = 0,18826 \text{ мм}^{-1}$										
$l, \text{мм}$	207,01	212,17	220,37	231,17	244,10	258,76	274,81	291,98	310,06	328,89
$k = 0,25101 \text{ мм}^{-1}$										
$l, \text{мм}$	208,37	217,33	231,17	248,82	269,33	291,98	316,26	341,78	368,27	395,52
$k = 0,31377 \text{ мм}^{-1}$										
$l, \text{мм}$	210,09	223,71	244,10	269,33	297,92	328,89	361,57	395,52	430,44	466,10

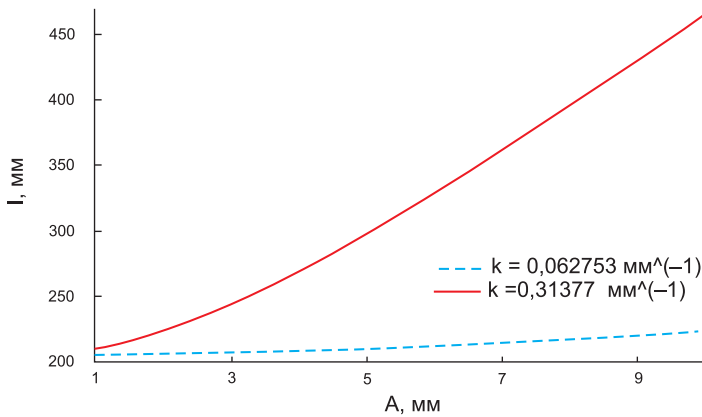


Рис. 3. Зависимость длины l одного ребра радиатора от амплитуды при пространственных частотах $k = 0,062753$ и $k = 0,31377$

Таблица 2. Площадь витков радиатора при различных значениях амплитуды A и пространственной частоты k

A, мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k = 0,062753 \text{ мм}^{-1}$										
$S, \text{см}^2$	959,30	961,98	966,40	972,58	980,41	989,87	1000,88	1013,35	1027,18	1042,38
$k = 0,12551 \text{ мм}^{-1}$										
$S, \text{мм}^2$	961,98	972,58	989,87	1013,35	1042,38	1076,32	1114,59	1156,63	1201,86	1249,95
$k = 0,18826 \text{ мм}^{-1}$										
$S, \text{см}^2$	966,40	989,87	1027,18	1076,32	1135,15	1201,86	1274,89	1353,01	1435,27	1520,95
$k = 0,25101 \text{ мм}^{-1}$										
$S, \text{см}^2$	972,58	1013,35	1076,32	1156,63	1249,95	1353,01	1463,48	1579,60	1700,13	1824,12
$k = 0,31377 \text{ мм}^{-1}$										
$S, \text{см}^2$	980,41	1042,38	1135,15	1249,95	1380,04	1520,95	1669,64	1824,12	1983,00	2145,26

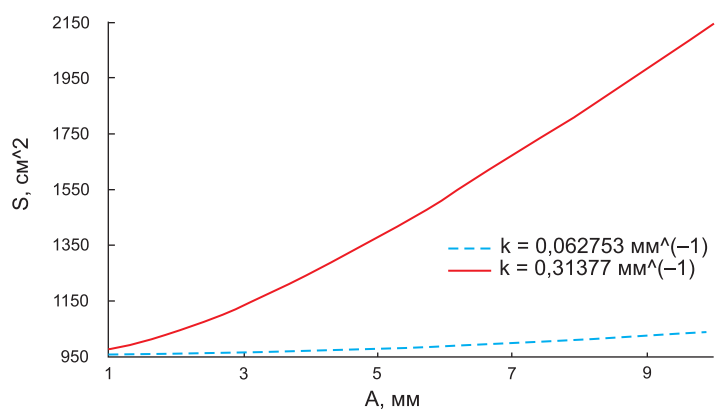


Рис. 5. Зависимость площади поверхности радиатора от амплитуды при пространственных частотах k , равных 0,062753 и 0,31377

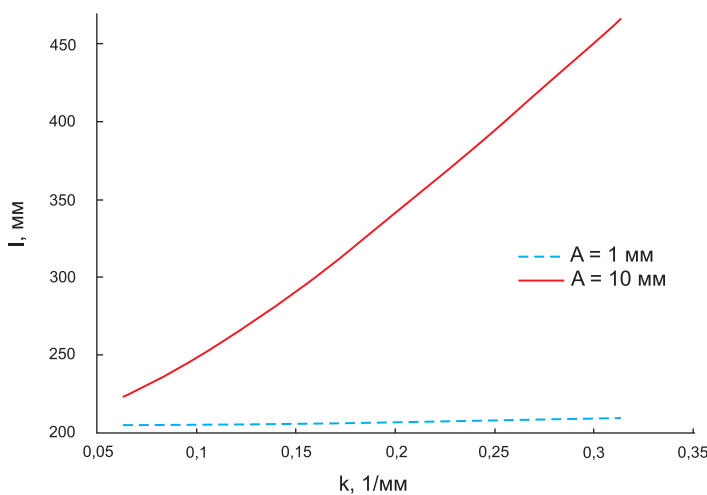


Рис. 4. Зависимость длины l одного ребра радиатора от пространственной частоты k при амплитудах $A = 1 \text{ мм}$ и $A = 10 \text{ мм}$

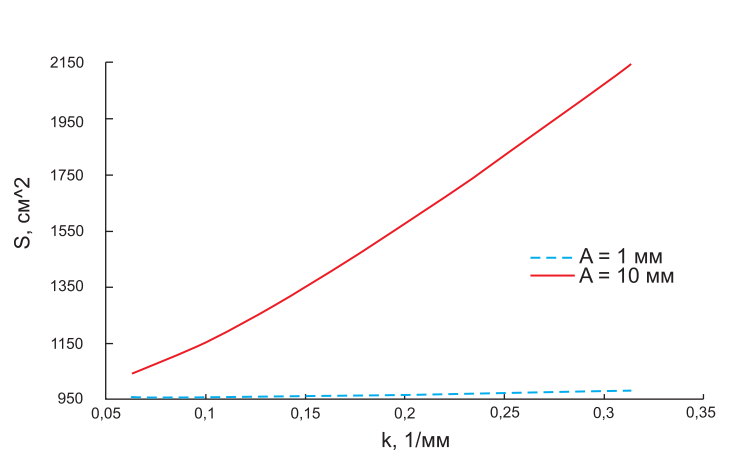


Рис. 6. Зависимость площади поверхности радиатора от пространственной частоты k при амплитудах A , равных 1 и 10 мм

синусоиды существенно увеличивает площадь поверхности радиатора. В рассматриваемых случаях площадь радиатора с промодулированной синусоидой увеличивается практически вчетверо по сравнению с площадью поверхности гладкой синусоиды.

Зависимость $S(A, k)$ для обоих рассматриваемых случаев стремится перейти в линейную, причем, для каждого значения пространственной частоты k и амплитуды A свой угол наклона прямой, который растет с увеличением данных параметров.

Заключение

В данной статье приведен смоделированный результат влияния формы радиатора светодиодного светильника на его тепловое сопротивление. Определяющим параметром модели является площадь тепловыделяющей поверхности. На примере радиаторов с профилем огибающей их поверхности, имеющей синусоидальную форму или форму синусоиды большого периода, промодулированной синусоидой малого периода, показано, что перспективным решением является использование радиаторов сложной формы с ответвлениями, перпендикулярными и параллельными теплоотводящей подложке. При этом следует учесть необходимость конвекции воздуха через радиатор, принудительной или возникающей при градиенте температуры [21–26]. ●

Литература

1. Беляев В. Светодиоды и плоскочастотные дисплеи. Совмещение несовместимых // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2013. № 8.
2. Маркова С., Туркин А. Актуальные направления применения мощных светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 2.
3. Беляев В. В., Попов И. В. Расчет формы радиаторов светодиодных светильников // Вестник МГОУ. Сер. «Физика–математика». 2013. № 1.
4. Пат. на полезную модель № 107572 (РФ) Модульный светодиодный светильник / В. В. Беляев, М. П. Щербатова, И. В. Андриянова. 20.08.2011.
5. Заявка на полезную модель № 20111134472 (РФ) Теплоотводящее устройство / В. В. Беляев и др. 18.08.2011.
6. Пат. № 116600 (РФ) Управляемый концентратор света / И. В. Попов, В. В. Беляев, В. П. Лехин, И. В. Леонисова. 20.05.2012.
7. Пат. на промышленный образец № 85314 (РФ) Теплоотводящее устройство / В. В. Беляев, О. Л. Ершова, И. В. Попов. Решение о выдаче патента 2013.02.01.
8. Пат. на промышленный образец № 85315 (РФ) Теплоотводящее устройство / В. В. Беляев, О. Л. Ершова, И. В. Попов. Решение о выдаче патента 2013.02.01.
9. Пат. на промышленный образец № 85316 (РФ) Теплоотводящее устройство / В. В. Беляев, О. Л. Ершова, И. В. Попов. Решение о выдаче патента 2013.02.01.
10. Пат. на промышленный образец № 85317 (РФ) Теплоотводящее устройство / В. В. Беляев, О. Л. Ершова, И. В. Попов. Решение о выдаче патента 2013.02.01.
11. Пат. на промышленный образец № 85318 (РФ) Теплоотводящее устройство / В. В. Беляев, О. Л. Ершова, И. В. Попов. Решение о выдаче патента 2013.02.01.
12. Пат. на промышленный образец № 85319 (РФ) Теплоотводящее устройство / В. В. Беляев, О. Л. Ершова, И. В. Попов. Решение о выдаче патента 2013.02.01.
13. Каталог светодиодов Cree PLCC6 3 in 1 SMD LED CLX6A-FKB.
14. Каталог светодиодов High Power Lighting Corporation, CPR3AN01.
15. www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2327/doc/53564/.
16. www.youtube.com/watch?v=IavRrXZIIHM.
17. Д. В. Карасев. Технология бурения нефтяных и газовых скважин // Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. Пермь, 2012.
18. Лебедев Г. В., Набиуллин В. И. Методика определения оптимальной сети наблюдений в условиях скрытой периодичности геологических полей // Вестник Пермского университета. Сер. «Геология». 2008. Вып. 10(26).
19. Алексеев Г. В., Андреев Э. А., Дмитриченко М. И., Михайлов Н. П. Перспективы использования сварки взрывом при изготовлении аппаратов пищевых производств // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. Вып. 1(17).
20. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977.
21. Шаракшанэ А. Выбор формы радиатора, или в каких случаях радиатору нужны ребра // 2-я Международная конференция «Светодиоды: чипы, продукция, материалы, оборудование». Москва, 11 апреля 2013 г.
22. Дорожкин Ю. Б. Оптимизация теплоотведения в светодиодном светильнике с пассивным охлаждением // 2-я Международная конференция «Светодиоды: чипы, продукция, материалы, оборудование». Москва, 11 апреля 2013 г.
23. Дорожкин Ю., Матешев И., Туркин А. Новинки компании Cree: светодиоды средней мощности на керамическом основании и расширение линейки высоковольтных светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 4.
24. Волков В. Светодиодные осветители специального назначения // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 5.
25. Вайс Г., Крозен М., Мюк М., Нол Т., Хольц Ф. Новый форм-фактор светильников и новые световые эффекты // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 5.
26. Абалов А., Лебедев И., Сапрыкин А. Требования, предъявляемые проектными и эксплуатирующими организациями к автодорожным светодиодным светильникам // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 2.