

Валиуллин К.Р.

Оренбургский государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЦЕПЯХ СО СВЕТОДИОДНЫМИ СВЕТИЛЬНИКАМИ

В работе рассматривается возможность возникновения резонансных явлений в осветительных сетях с мощными светодиодными светильниками и сторонними индуктивными нагрузками. Произведен анализ работы светодиодных светильников на промышленном предприятии, показавший, что наличие в осветительной сети сторонних активно-индуктивных нагрузок приводит к ускоренному выходу из строя осветительных приборов даже при условии соответствия стандартам качества электрической энергии. Для исследования процессов, происходящих во время коммутации, предложен алгоритм расчета режима работы осветительной сети, позволяющий рассчитать режим её работы до и после включения сторонних нагрузок. Для светодиодного светильника были сняты осциллограммы тока и напряжения, получено выражение, аппроксимирующее вольт-амперные характеристики (ВАХ) светодиодного светильника. С учетом ВАХ проанализированы изменения кривой тока светильников до и после подключения сторонней индуктивной нагрузки: наличие разрыва в значении тока в момент коммутации показало, что переходный процесс может носить резонансный характер и приводить к ускоренному выходу светильников из строя.

Ключевые слова: светодиодные светильники, резонанс, качество электрической энергии.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на крупных промышленных предприятиях наблюдается постепенная замена источников света на светодиодные. В связи с запретом на использование ламп типа ДРЛ и их низкой энергоэффективностью в ближайшем будущем переход на светодиодные источники света будет только интенсифицироваться. С точки зрения электротехнических характеристик светодиодные источники света существенно отличаются от люминесцентных не только пониженным энергопотреблением, но и характером нагрузки. Из-за наличия в пускорегулирующих аппаратах дросселя с большой индуктивностью лампы типа ДРЛ и ДНаГ представляют собой активно-индуктивную нагрузку. Светодиодные светильники, напротив, являются активно-емкостной нагрузкой. Большинство электроприемников промышленных предприятий являются активно-индуктивными и появление в электрической сети нагрузок, имеющих емкостной характер, может приводить к резонансным явлениям.

Как показал анализ научно-технической литературы в области эксплуатации светодиодных светильников и их влияния на системы электроснабжения, большое внимание уделяется вопросам влияния светодиодных светильников на качество электрической энергии [1-4]. Авторы отмечают, что применение светодиодных светильников влияет на гармонический состав тока и напряжения, что может негативно влиять на качество электроэнергии. В работах [4-6] также обосновывается необходимость учета несинусоидальности тока светодиодных светильников при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий. Возможность возникновения резонансных явлений в цепях со светодиодными светильниками отмечена в статье [7], при этом указано, что резонанс токов может быть причиной выхода из строя источников питания светодиодных светильников. Аналогичные выводы приведены в работе [8], посвященной анализу резонансных явлений в системах электроснабжения

промышленных предприятий. Подробный анализ возможностей резонансных явлений в цепях питания светодиодных источников света приводится в работе [9], но при этом стоит отметить, что данная работа была опубликована более 10 лет назад и не в полной мере учитывает современные подходы к построению источников питания светодиодных источников света. Таким образом, на фоне распространения светодиодных систем освещения исследование возможностей возникновения резонансных явлений в сетях со светодиодными светильниками является актуальной задачей.

АНАЛИЗ РЕЖИМА РАБОТЫ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

На одном из крупных предприятий Оренбургской области была произведена модернизация системы освещения и установлены светодиодные светильники мощностью 170 Вт, $\cos\phi=0,98$ (емкостной). За полтора года эксплуатации вышла из строя треть установленных светильников, причем некоторые светильники выходили из строя и после замены. Аналогичная ситуация имела место и в смежных цехах. Для выяснения причин выхода светильников из строя на питающую линию был установлен анализатор качества электрической энергии и в течение пяти дней произведен мониторинг основных параметров качества электрической энергии. Измерения производились с помощью анализатора качества электрической энергии Metrel MI 2792 Power Q4 Plus. Однолинейная схема исследуемого участка и место установки прибора показаны на **рис. 1**.

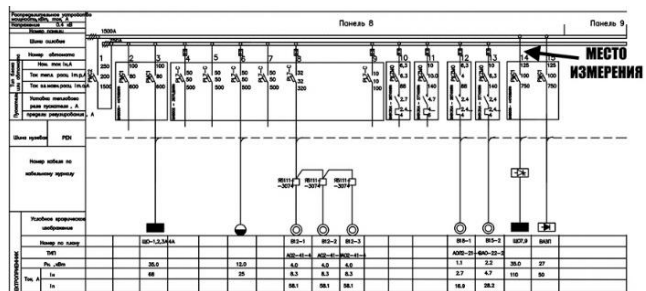


Рис. 1. Место установки анализатора качества электрической энергии

В результате обработки собранных данных было установлено, что за период наблюдений несоответствия нормам, установленным в ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», выявлено не было. Значения гармонических составляющих напряжения и составляющих обратной и нулевой последовательности находились в установленных стандартом рамках. В ходе более детального анализа происходящих процессов были проанализированы графики изменения тока по фазам, представленные на рис. 2.

Как видно из рис. 2, в фазах А и В нагрузка равномерная, без резких изменений. В фазе С наблюдаются резкие скачки потребляемого тока в течение всего периода наблюдений. На рис. 3 представлено изменение потребляемой активной и реактивной мощности в фазе С за тот же период.

Из анализа рис. 3 можно сделать вывод, что в фазе С наблюдаются частые кратковременные включения нагрузки, носящей чисто активный характер с мощностью от 0,7 до 1,5 кВт, а также зафиксированы включения нагрузки, носящей индуктивный характер с мощностью 0,5-1 кВАр. В силу особенностей измерительного прибора значения мощности представляют собой мощности, усредненные на интервале измерения в 10 минут. На графике также наблюдается определенная периодичность включения нагрузок. Для активной нагрузки периоды между включениями составляют около 3 часов, при этом включение в ночное время практически отсутствует. Индуктивная нагрузка в большинстве случаев включается в период времени с 12 до 14 часов, а также с 17 до 19 часов. Исходя из периодичности и времени включения сторонних нагрузок, наиболее вероятно, что активной нагрузкой является электронагревательный прибор, вероятно электрочайник, а индуктивной нагрузкой – микроволновая печь.

При этом необходимо отметить, что возникновение подобных процессов у бытовых потребителей крайне маловероятно, так как мощность используемых в быту светодиодных ламп существенно меньше, чем у промышленных светильников, и несопоставима с мощностью подключаемых индуктивных нагрузок. Таким образом, можно сделать предположение о том, что резонансные явления в осветительных сетях возникают в том случае, когда промышленные светильники большой мощности включаются совместно с бытовой нагрузкой. Редкое сочетание подобных факторов объясняет то, что данное явление не было подробно изучено в научной литературе.

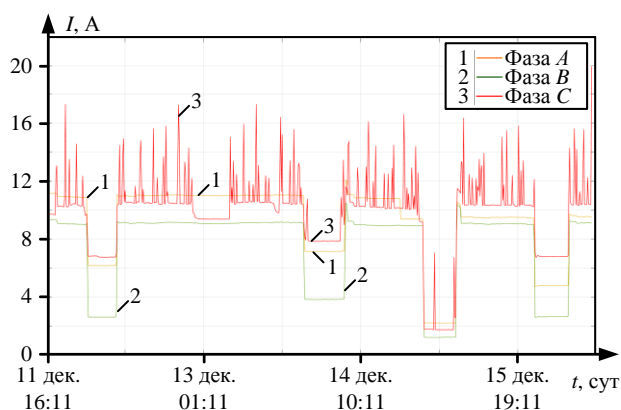


Рис. 2. График изменения тока по фазам

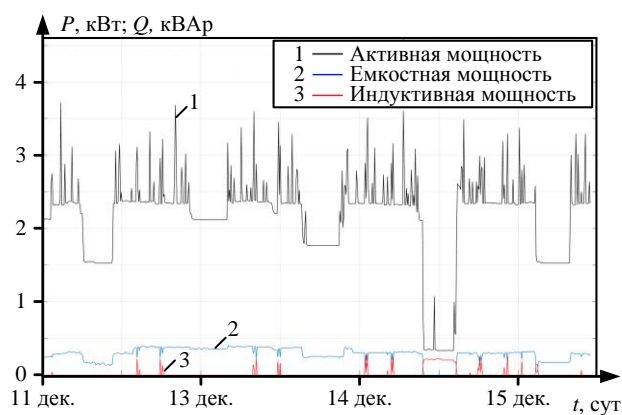


Рис. 3. График изменения потребляемой активной и реактивной мощности в фазе С

РАСЧЁТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Для исследования процессов, происходящих при коммутации активно-индуктивной нагрузки в сети со светодиодными светильниками был произведён расчет режима работы сети до и после включения сторонней нагрузки. Для расчета была составлена схема замещения, представленная на рис. 4.

Для расчета режимов работы были приняты следующие параметры:

- сопротивление светильника $Z_{св}=301,8-53,3j$ Ом (получено исходя из номинального напряжения светильника в 230 В и мощности 170-30j ВА);
- сопротивление подключаемой к светильникам нагрузки $Z_{н}=52,6+12,7j$ (соответствует мощности 0,95+0,23j кВА);
- сопротивление каждого из участков кабельной линии $Z_{к}=0,148+0,0023j$;
- число светильников $n=13$;
- напряжение питающей сети $U_0=230$ В.

В среде Matlab была написана программа, позволяющая рассчитать режим работы цепи до и после коммутации при различных параметрах. Результатами расчета являются значения напряжений на каждом светильнике, токов, проходящих через каждый светильник и отрезок кабельной линии. Расчёт режима производится в следующем порядке:

1. Путем последовательных преобразований схемы замещения рассчитывается входное сопротивление осветительной линии $Z_{вх}$.

2. Для известного напряжения в начале осветительной линии по закону Ома рассчитывается ток на головном участке осветительной сети:

$$I_1 = \frac{U_0}{Z_{вх}}, \tag{1}$$

где U_0 – напряжение в месте подключения осветительной линии, В; $Z_{вх}$ – входное сопротивление осветительной сети, Ом.

3. Рассчитывается падение напряжения на головном участке кабельной линии:

$$\Delta U = I_1 Z_{к1}, \tag{2}$$

где $Z_{к1}$ – сопротивление отрезка кабельной линии, Ом.

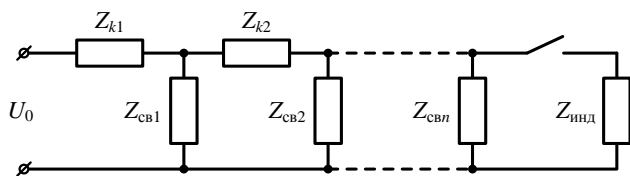


Рис. 4. Схема замещения

4. Рассчитывается напряжение на первом светильнике:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_0 - \Delta \dot{U}. \quad (3)$$

5. Исходя из допущения о линейности ВАХ светодиодного светильника в интересующем диапазоне напряжений [10, 11], определяется ток, потребляемый первым светильником:

$$i_{св1} = \frac{\dot{U}_1}{Z_{св}}, \quad (4)$$

где $Z_{св}$ – сопротивление светильника, Ом.

6. Согласно первому закону Кирхгофа рассчитывается ток на втором участке питающей кабельной линии:

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 - \dot{i}_{св1}. \quad (5)$$

7. Затем пункты 3-6 повторяются для оставшихся участков сети. Аналогичным образом рассчитывается режим работы осветительной сети после подключения индуктивной нагрузки.

Результаты расчета напряжений на светильниках представлены в таблице. Как видно из таблицы, при включении индуктивной нагрузки режим работы светильников изменился незначительно. Наибольшее влияние включение индуктивной нагрузки оказывает на напряжение у наиболее удаленных светильников. При этом необходимо отметить, что мнимая часть комплекса напряжения на светильниках близка к смене своего знака.

Результаты расчёта режимов работы светильников

n	До включения индуктивности		После включения индуктивности	
	$\dot{U}_n, В$	$\dot{I}_{свn}, А$	$\dot{U}_n, В$	$\dot{I}_{свn}, А$
1	$228,52 \cdot e^{-0,07j}$	$0,74 \cdot e^{10,1j}$	$227,99 \cdot e^{-0,04j}$	$0,74 \cdot e^{10,1j}$
2	$227,15 \cdot e^{-0,13j}$	$0,74 \cdot e^{10,1j}$	$226,08 \cdot e^{-0,07j}$	$0,74 \cdot e^{10,1j}$
3	$225,89 \cdot e^{-0,19j}$	$0,74 \cdot e^{12,36j}$	$224,28 \cdot e^{-0,1j}$	$0,73 \cdot e^{10,2j}$
4	$224,73 \cdot e^{-0,25j}$	$0,74 \cdot e^{9,33j}$	$222,59 \cdot e^{-0,12j}$	$0,73 \cdot e^{9,5j}$
5	$223,69 \cdot e^{-0,3j}$	$0,73 \cdot e^{9,46j}$	$220,99 \cdot e^{-0,14j}$	$0,72 \cdot e^{9,6j}$
6	$222,74 \cdot e^{-0,35j}$	$0,73 \cdot e^{10,2j}$	$219,52 \cdot e^{-0,15j}$	$0,72 \cdot e^{9,6j}$
7	$221,92 \cdot e^{-0,39j}$	$0,72 \cdot e^{10,4j}$	$218,14 \cdot e^{-0,16j}$	$0,71 \cdot e^{9,7j}$
8	$221,19 \cdot e^{-0,42j}$	$0,72 \cdot e^{9,59j}$	$216,86 \cdot e^{-0,16j}$	$0,71 \cdot e^{9,7j}$
9	$220,56 \cdot e^{-0,45j}$	$0,72 \cdot e^{9,59j}$	$215,69 \cdot e^{-0,16j}$	$0,7 \cdot e^{9,86j}$
10	$220,04 \cdot e^{-0,48j}$	$0,72 \cdot e^{9,59j}$	$214,62 \cdot e^{-0,15j}$	$0,7 \cdot e^{9,86j}$
11	$219,62 \cdot e^{-0,5j}$	$0,72 \cdot e^{9,59j}$	$213,66 \cdot e^{-0,14j}$	$0,7 \cdot e^{9,86j}$
12	$219,3 \cdot e^{-0,52j}$	$0,72 \cdot e^{9,59j}$	$212,79 \cdot e^{-0,12j}$	$0,69 \cdot e^{10j}$
13	$219,1 \cdot e^{-0,53j}$	$0,72 \cdot e^{9,59j}$	$212,02 \cdot e^{-0,1j}$	$0,69 \cdot e^{10j}$

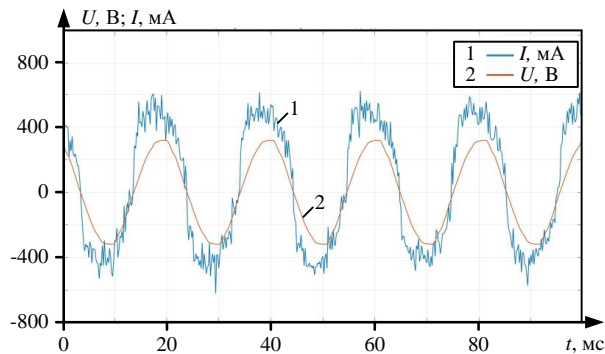


Рис. 5. Осциллограмма тока и напряжения на светодиодном светильнике

Для более детального анализа изменения мгновенных значений тока с Metrel MI 2792 Power Q4 Plus, работающего в режиме осциллографирования, были сняты осциллограммы тока и напряжения для светодиодного светильника. Полученные осциллограммы представлены на рис. 5.

Как видно из осциллограммы, светодиодный светильник представляет собой практически линейную нагрузку, но при этом форма кривой тока искажается шумами, которые можно частично объяснить электромагнитными наводками и паразитной емкостью проводов, с помощью которых подключен прибор. По полученным данным была произведена интерполяция вольт-амперной характеристики светодиодного светильника полиномом третьей степени. С высокой степенью точности ВАХ может быть описана уравнением

$$i(u) = -9,44 \cdot 10^{-6} u^3 - 1,99 \cdot 10^{-4} u^2 + 2,31 u, \quad (6)$$

где I – ток, mA; u – напряжение, В.

С учётом полученной ВАХ светильника были построены кривые изменения мгновенных значений тока и напряжения при переходном процессе включения/отключения индуктивной нагрузки (рис. 6).

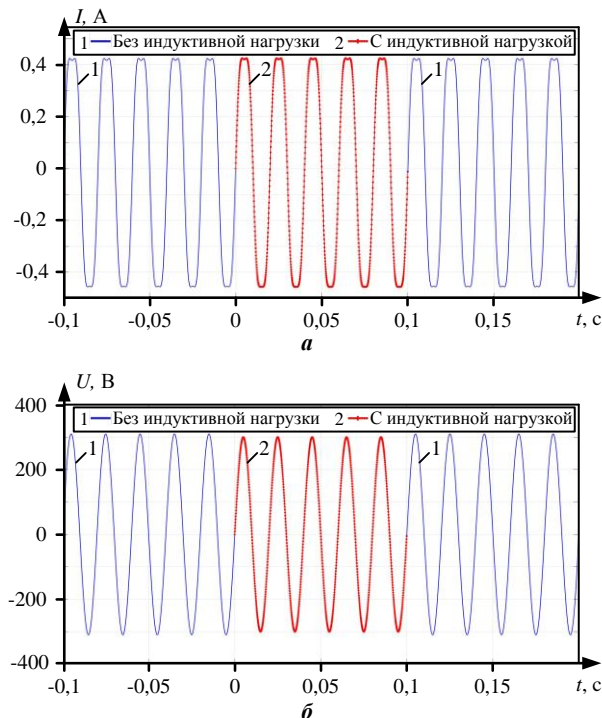


Рис. 6. Изменение тока (а) и напряжения (б) на светодиодном светильнике при переходном процессе

Необходимо отметить наличие разрыва в кривых тока и напряжения, наиболее заметных в момент отключения индуктивной нагрузки: при переходном процессе происходит разрыв кривой тока, протекающего через светодиодный светильник. Несмотря на то, что в абсолютных значениях изменение тока составляет порядка 20 мА, в том случае, если индуктивная нагрузка будет нелинейной, в момент коммутации характер изменения тока при переходе из одного состояния в другое может носить скачкообразный характер: изучение данного вопроса требует проведения отдельного исследования.

Интерес также представляет поведение светодиодных светильников при смене знака мнимой части комплекса напряжения. В связи с тем, что при проведении измерения производилось усреднение потребляемой мощности в интервале 10 минут, в момент включения дополнительной индуктивной нагрузки потребляемая мощность может быть существенно выше. В связи с этим были рассчитаны режимы работы осветительной сети при подключении и отключении индуктивной нагрузки $Z_{инд} = 0,1 \cdot (52,6 + 12,7j)$, что соответствует более мощной нагрузке. Изменение напряжений на светильниках в этом случае в графическом виде представлено на рис. 7. Изменение тока, протекающего через светильник, показано на рис. 8.

Разрыв в мгновенном значении тока при отключении индуктивной нагрузки увеличивается, что может приводить к ускоренному выходу светильников из строя. При этом величина изменения тока зависит также от момента коммутации (рис. 9).

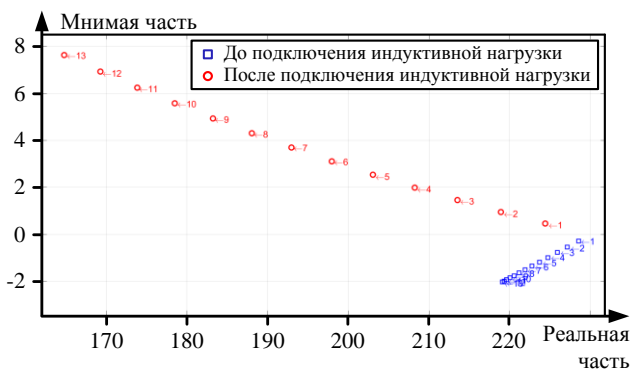


Рис. 7. Изменение напряжения на светильниках при подключении мощной индуктивной нагрузки

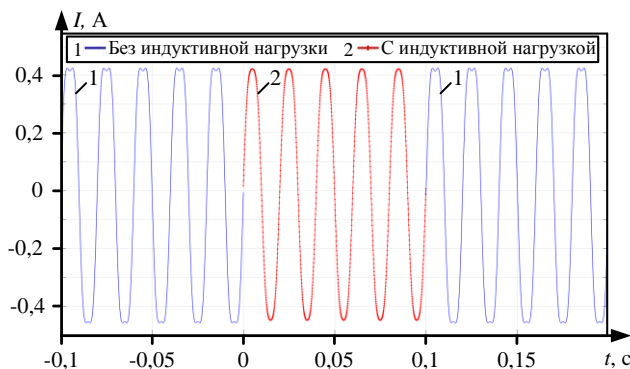


Рис. 8. Изменение тока, протекающего через светодиодный светильник

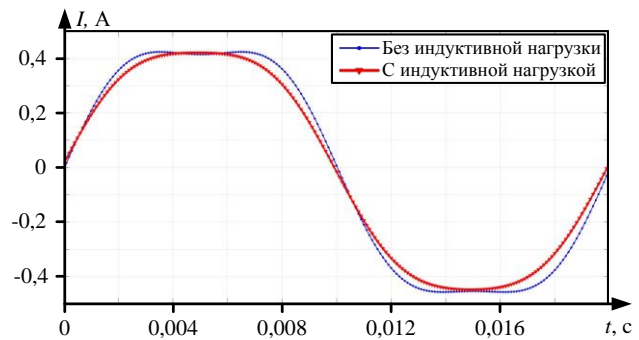


Рис. 9. Форма кривых тока, проходящих через светильник

Из рис. 9 видно, что изменение тока в светильнике при переходном процессе существенно зависит от момента подключения сторонней индуктивной нагрузки. Также можно наблюдать, что изменяется фаза тока. Подобные резкие изменения тока могут приводить к ускоренному выходу светильников из строя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании возможности возникновения резонансных явлений в сетях со светодиодными светильниками были сделаны следующие выводы:

1. Опыт использования светодиодных светильников на промышленных предприятиях показывает, что при параллельном включении бытовых индуктивных нагрузок со светодиодными светильниками большой мощности возможен систематический выход последних из строя. Анализ показателей качества электрической энергии в подобной сети показал, что причиной поломки светильников могут быть только резонансные явления в моменты коммутации.

2. Расчет режима работы осветительной сети показал, что при определенных комбинациях мощности светильников и подключаемой к ним индуктивности возможно возникновение явления смены знака мнимой части комплекса напряжения.

3. Анализ изменения мгновенных значений тока в ходе переходного процесса показал, что в момент коммутации в кривой тока наблюдается разрыв, следовательно, процесс изменения тока в это время может иметь непредсказуемый характер и приводить к ускоренному выходу светильников из строя.

Для исключения возможности возникновения резонансных явлений и ускоренного выхода светильников из строя, предлагается использование независимой схемы питания, при которой осветительные линии отделены от других потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кузьменко В.П., Солёный С.В. Исследование влияния светодиодных прожекторов на качество электрической энергии // Омский научный вестник. 2021. № 2(176). С. 15-19. doi: 10.25206/1813-8225-2021-176-15-19.
- Боярская Н.П., Довгун В.П. Влияние светодиодных источников света на спектры токов и напряжений питающей сети // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 3(90). С. 195-199.
- Оценка влияния осветительной нагрузки на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока /

- О.Г. Широков, Т.В. Алферова, В.В. Бахмутская, И.Ю. Орлов // *Агротехника и энергообеспечение*. 2018. № 2(19). С. 28-40.
4. Влияние светодиодных источников света на содержание гармоник тока и напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Алферов, Е.А. Якимов, О.Г. Широков, Т.В. Алферова // *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. 2016. № 3(66). С. 67-73.
 5. Харитонов М.С., Решетников Г.А. Результаты исследований особенностей применения светодиодного освещения на промышленном предприятии // *Вестник молодежной науки*. 2016. №3(5). С. 13.
 6. Радкевич В.Н., Михайлова Я.В. Характеристики электропотребления светодиодных световых приборов и их учет при расчете электрических сетей // *Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*. 2016. № 4. С. 289-300. doi: 10.21122/1029-7448-2016-59-4-289-300
 7. Сактоев В.Е., Баташов А.И., Чередов Э.Н. Исследование характеристик светодиодного светильника RC-R251-001 // *Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления*. 2017. № 1(64). С. 49-55.
 8. Обзор современных исследований по идентификации резонансных режимов, возникающих в элементах электрических сетей промышленного предприятия и коммунально-бытового сектора / Д.В. Коваленко, Е.А. Пугачева, Д.А. Рогозина, А.Е. Фридрих // *Омский научный вестник*. 2018. № 6(162). С. 103-107. doi: 10.25206/1813-8225-2018-162-103-107
 9. Суднова В.В., Пригода В.П. Оценка возможности возникновения резонанса в питающей сети светодиодных экранов московского Ледового дворца // *Промышленная энергетика*. 2007. № 9. С. 35-43.
 10. Преимущества и недостатки ретрофита уличного освещения при установке светодиодных светильников, а также их влияние на потери активной мощности в трансформаторах распределительных сетей / А.И. Троицкий, С.С. Костинский, В.И. Власенко, Т.З. Химишев // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2016. № 2(190). С. 53-61. doi: 10.17213/0321-2653-2016-2-53-61
 11. Валиуллин К.Р. Имитационное моделирование электротехнической системы уличного освещения // *Электротехнические системы и комплексы*. 2018. №4(41). С. 48-55. doi: 10.18503/2311-8318-2018-4(41)-48-55

Поступила в редакцию 22 сентября 2021 г.

INFORMATION IN ENGLISH

RESEARCH OF RESONANCE IN CIRCUITS WITH LED LAMPS

Kamil R. Valiullin

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Electrical and Thermal Power Engineering, Orenburg State University, Orenburg, Russia, ValiullinKamil91@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5053-6370>

The paper considers the possibility of resonance phenomena in lighting networks with powerful LED lamps and inductive loads. An analysis of the operation of LED lamps at an industrial enterprise was carried out, which showed that the presence of outside active-inductive loads in the lighting network causes accelerated failure of lighting devices, even if energy system meets the standards of electrical energy quality. To study the processes taking place during switching, an algorithm for calculating the operating mode of the lighting network is proposed, which makes it possible to calculate the luminaire operation mode before and after switching other loads. For a LED lamp, oscillograms of current and voltage were taken, an expression was obtained that approximates the I - V characteristic of the LED lamp. Taking into account the I - V characteristic, the changes in the current curve of the lamps before and after the connection of an external inductive load were analyzed: the presence of a gap in the current value at the moment of switching, showed that the transient process can be resonant and cause the accelerated failure of lamps.

Keywords: LED lights, resonance, electrical energy quality.

REFERENCES

1. Kuzmenko V.P., Solyoniy S.V. Influence of LED floodlights on the electrical energy quality. *Omskij nauchnyj vestnik* [Omsk Scientific Bulletin], 2021, no. 2 (176). pp. 15-19. doi: 10.25206/1813-8225-2021-176-15-19 (In Russian)
2. Boyarskaya N.P., Dovgun V.P. Influence of LED light sources on the spectra of currents and voltages in the supply network. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of KrasGAU], 2014, no. 3, pp. 195-199. (In Russian)
3. Широков О.Г., Алферова Т.В., Бахмутская В.В., Орлов И.Ю. Assessment of lighting load influence on the indices of non-sinusoidal voltage and consumed current. *Agrotekhnika i energoobespechenie* [Agricultural engineering and energy supply], 2018, no. 2(19), pp. 28-40. (In Russian)
4. Alferov A.A., Yakimov E.A., Shirokov O.G., Alferova T.V. LED light source influence on the content of current and voltage harmonics in power supply systems at industrial enterprises. *Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Suhogo* [Bulletin of Sukhoi Gomel State Technical University], 2016, no. 3(66), pp. 67-73. (In Russian)
5. Kharitonov M. S., Reshetnikov G. A. Research results of LED lighting application features at an industrial enterprise. *Vestnik molodezhnoy nauki* [Bulletin of youth science], 2016, no. 3(5), pp. 13. (In Russian)
6. Radkevich V.N., Mikhailova Ya.V. Characteristics of electrical consumption of LED lighting devices and their consideration in the calculation of electrical networks. *Energetika. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij i energeticheskikh obyedinenij SNG*. [Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations], 2016, no. 4, pp. 289-300. doi: 10.21122/1029-7448-2016-59-4-289-300. (In Russian)
7. Saktov V.E., Batashov A.I., Cheredov E.N. Research of characteristics of LED lamp RC-R251-001. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologij i upravleniya* [ESSUTM Bulletin], 2017, no. 1(64), pp. 49-55. (In Russian)
8. Kovalenko D.V., Pugacheva E.A., Rogozina D.A., Fridrikh A.E. Review of modern research on the identification of resonance modes arising in the elements of electrical networks of industrial enterprises and the household sector. *Omskij nauchnyj vestnik* [Omsk Scientific Bulletin], 2018, no. 6(162), pp. 103-107. doi: 10.25206/1813-8225-2018-162-103-107. (In Russian)
9. Sudnova V.V. Assessment of resonance possibility of the

- supply network of LED screens in the Moscow Ice Palace *Promyshlennaya energetika* [Industrial Power Engineering], 2007, no 9, pp. 35-43. (In Russian)
10. Troitsky A.I., Kostinsky S.S., Vlasenko V.I., Himishev T.Z. Advantages and disadvantages of street lighting re-trophy when installing LED lamps, as well as their effect on active power losses in distribution network transformers. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki* [University News. North-caucasian region. Technical Sciences Series], 2016, no. 2 (190), pp. 53-61. doi: 10.17213/0321-2653-2016-2-53-61. (In Russian)
11. Valiullin K.R. Imitational modeling of a street lighting system. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2018, no. 4 (41), pp. 48-55. doi: 10.18503/2311-8318-2018-4(41)-48-55. (In Russian)
-

Валиуллин К.Р. Исследование резонансных явлений в цепях со светодиодными светильниками // Электротехнические системы и комплексы. 2021. № 4(53). С. 56-61. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4\(53\)-56-61](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4(53)-56-61)

Valiullin K.R. Research of Resonance in Circuits with Led Lamps. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2021, no. 4(53), pp. 56-61. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4\(53\)-56-61](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4(53)-56-61)
