

DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-1-30-40

УДК 621.32

Расчет режимных параметров линии наружного освещения с двусторонним питанием

Часть 2

В. Б. Козловская¹⁾, В. Н. Калечиц¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Важнейшими особенностями линий наружного освещения являются их значительная протяженность и использование большого количества источников света средней мощности. В таких условиях для определения и поддержания оптимальных режимов работы сети наружного освещения с двусторонним питанием необходимо правильно выбрать сечение проводников линии. Такое сечение должно обеспечивать требуемые уровни напряжения на источниках света во всех режимах, но при этом не должно быть завышено, чтобы не увеличивать стоимость электрической сети. В статье приведен пример, где показан выбор оптимального сечения проводников осветительной линии при ее работе в нормальном режиме (двустороннее питание) с уровнями напряжения в пунктах питания 230 В, а также в режиме с односторонним питанием (при потере напряжения во втором пункте питания) со значением напряжения в первом пункте питания 230 В. Использована представленная в части 1 статьи методика расчета режима такой линии. Расчет осуществлен с помощью реализованных в среде MathCad программ. Представлены графики распределения напряжений в точках осветительной линии с двусторонним питанием в разных режимах работы, построенные для различных сечений алюминиевых жил. На их основе осуществлен выбор оптимального значения сечения проводников осветительной сети. Проанализированы особенности разных режимов работы осветительной линии с выбранным сечением проводников. Определены режимные параметры для каждой фазы линии: напряжения в точках схемы, мощности, токи, потери мощности и падение напряжения на всех участках. Представленные данные позволяют оценить электропотребление осветительной линии с учетом суточного графика включения и отключения сети наружного освещения. Определены наиболее экономичные режимы.

Ключевые слова: наружное освещение, электрические сети, пункт питания, источник света, дуговая натриевая лампа высокого давления, потери напряжения, электропотребление

Для цитирования: Козловская, В. Б. Расчет режимных параметров линии наружного освещения с двусторонним питанием. Часть 2 / В. Б. Козловская, В. Н. Калечиц // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2017. Т. 60. № 1. С. 30–40. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-1-30-40

Адрес для переписки

Калечиц Вячеслав Николаевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65/2,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-65-52
epp@bntu.by

Address for correspondence

Kalechyts Vyacheslav N.
Belarusian National Technical University
65/2 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-65-52
epp@bntu.by

Calculation of Operation Mode of Outdoor Lighting Line with Bilateral Supply

Part 2

V. B. Kozlovskaya¹⁾, V. N. Kalechyts¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The most important features of outdoor lighting lines are of considerable length and the use of a large number of light sources of an average power. Under such conditions, in order to determine and maintain the optimal modes of operation of outdoor lighting networks with a bilateral supply it is necessary to choose the wire section of the line. This section should provide the required voltage levels to the light sources in all modes, but it should not be too high, in order not to increase the cost of the grid. This article demonstrates an example of the choice of the optimum conductor cross-section of the lighting line when it is working in a normal mode (bilateral power supply) with voltage levels at the power items of 230 V, as well as in the mode of unilateral power (at voltage loss in the second power item) with a value of the voltage of 230 V in the first item of the power supply. The method of calculation of the mode of such a line that had been presented in part 1 of the article was used. The calculation is performed with the of MathCad software. The diagrams of the voltage distribution at items of the lighting line with bilateral power under conditions of different modes of functioning are plotted for various sections of aluminum conductors. The choice of the optimal values of the cross sections of the lighting network was based on the mentioned diagrams. The specific features of different modes of operation of the lighting line with the chosen conductor cross section were analyzed. Operating parameters for each phase of the line (i.e. voltage at the items of the circuit, power, currents, power loss and voltage drop in all sections) were determined. The presented data make one possible to estimate the power consumption of the lighting line taking the daily schedule of enabling and disabling of outdoor lighting networks into account. The most economical modes were determined.

Keywords: outdoor lighting, electric grids, point of supply, light source, high pressure sodium lamps, voltage losses, power consumption

For citation: Kozlovskaya V. B., Kalechyts V. N. (2017) Calculation of Operation Mode of Outdoor Lighting Line with Bilateral Supply. Part 2. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 60 (1), 30–40. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-1-30-40 (in Russian)

Введение

Для формирования и поддержания оптимальных режимов работы сети наружного освещения с двусторонним питанием, рассмотренных в части 1 [1] данной статьи, необходимо правильно выбрать сечение проводников линии. Такое сечение должно обеспечивать требуемые уровни напряжения на источниках света во всех режимах, но при этом не должно быть завышено, чтобы не увеличивать стоимость электрической сети.

Произведем выбор сечений проводников осветительной линии с двусторонним питанием, для которой в части 1 данной статьи [1] выполнен расчет режимов работы. Краткое описание линии:

- к разным трансформаторным подстанциям (ТП) 10/0,4 кВ подключены пункты питания, расположенные непосредственно в ТП;
- для освещения используются дуговые натриевые лампы высокого давления (ДНаТ) мощностью 150 Вт в светильнике типа ЖКУ, подключенные через электромагнитный пускорегулирующий аппарат (ЭмПРА) с импульсным зажигающим устройством [2] (активная мощность с учетом потерь в ЭмПРА $P_{ном} = 170$ Вт) и компенсирующим конденсатором;

- удаленность от первого пункта питания до ближайшей опоры 80 м; от второго пункта питания до ближайшей опоры 50 м;
- расстояние между опорами 30 м (принимается, что расстояние приблизительно соответствует длине используемого кабеля), число опор 30, число светильников на опоре 1;
- светильники подключены симметрично (к каждой фазе по 10 светильников), распределение светильников между фазами $A-B-C-A-B-C$.

Основная часть

В [1, 3] приведены основные особенности, связанные с расчетом режима работы и определением параметров линии наружного освещения с одно- и двусторонним питанием. Две программы для расчета линий с одно- и двусторонним питанием, которые позволяют задавать исходные данные сети наружного освещения и рассчитывать ее параметры, реализованы в среде MathCad. Расчетная схема сети наружного освещения с двусторонним питанием представлена на рис. 1, где $\underline{U}_{A,П1}$, $\underline{U}_{A,1}$ – комплексные значения напряжений в первом пункте питания (П1) и 1-м узле фазы A соответственно; $\underline{S}_{A,П1-1}^H$, $\underline{S}_{A,П1-1}^K$ – то же полной мощности в начале и конце участка [П1–1] фазы A ; $\underline{S}_{A,1}^H$ – комплексное значение полной мощности светильника, подключенного к фазе A , имеющего первый порядковый номер (узел 1); $\Delta \underline{S}_{A,П1-1}$ – то же потерь полной мощности на участке [П1–1] фазы A ; $\Delta \underline{U}_{A,П1-1}$, $\Delta \underline{U}_{N,П1-1}$ – падения напряжения на участке [П1–1] фазы A и нулевого рабочего проводника N ; $\underline{I}_{A,П1-1}$, $\underline{I}_{N,П1-1}$ – комплексные значения полных токов на участке [П1–1] фазы A и нулевого рабочего проводника N ; $\underline{I}_{л,1}$ – комплексное значение полного тока светильника, имеющего первый порядковый номер; обозначения параметров фаз B и C аналогичны.

Рассмотрим возможные режимы работы линии наружного освещения, определяющие выбор сечения проводников:

- 1) нормальный режим работы (двустороннее питание) с уровнями напряжения в пунктах питания 230 В [4];
- 2) режим с односторонним питанием (при потере напряжения во втором пункте питания) при значении напряжения в первом пункте питания 230 В.

Последовательно произведены расчеты первого режима работы сети при использовании кабелей со следующими сечениями алюминиевых жил:

- сечение $S = 2,5 \text{ мм}^2$ с удельным сопротивлением $\underline{Z}_{y-} = (12,5 + j0,104) \text{ м}\cdot\text{Ом}/\text{м}$, допустимый ток с учетом четвертой рабочей жилы и при прокладке в земле $I_{доп} = 0,92 \cdot 29 = 26,7 \text{ А}$ [5];
- $S = 4 \text{ мм}^2$; $\underline{Z}_{y-} = (7,81 + j0,095) \text{ м}\cdot\text{Ом}/\text{м}$; $I_{доп} = 35,0 \text{ А}$;
- $S = 6 \text{ мм}^2$; $\underline{Z}_{y-} = (5,21 + j0,90) \text{ м}\cdot\text{Ом}/\text{м}$; $I_{доп} = 42,3 \text{ А}$;
- $S = 10 \text{ мм}^2$; $\underline{Z}_{y-} = (3,12 + j0,073) \text{ м}\cdot\text{Ом}/\text{м}$; $I_{доп} = 64,4 \text{ А}$.

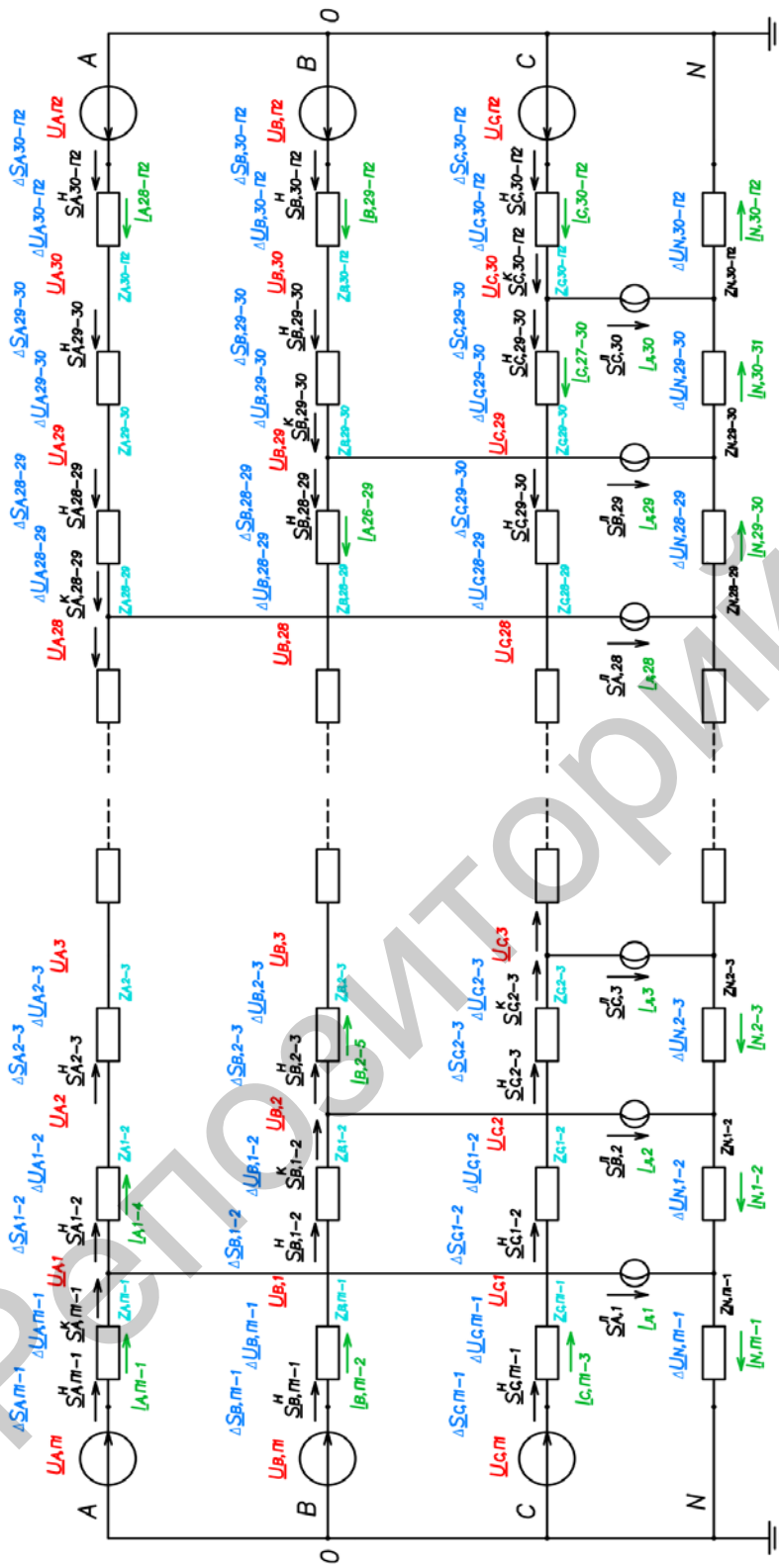


Рис. 1. Расчетная схема сети наружного освещения с двусторонним питанием

Fig. 1. The design scheme of the grid of outdoor lighting with a bilateral supply

Для нормального режима работы (двустороннее питание) с уровнями напряжения в пунктах питания 230 В значения напряжений фазы *A* в точках представленной схемы отражены на рис. 2. На оси абсцисс обозначены точки рассматриваемой схемы, первому пункту питания соответствует координата 1; второму – 32. Распределение напряжений для фаз *B* и *C* незначительно отличается, так как фазы загружены равномерно.

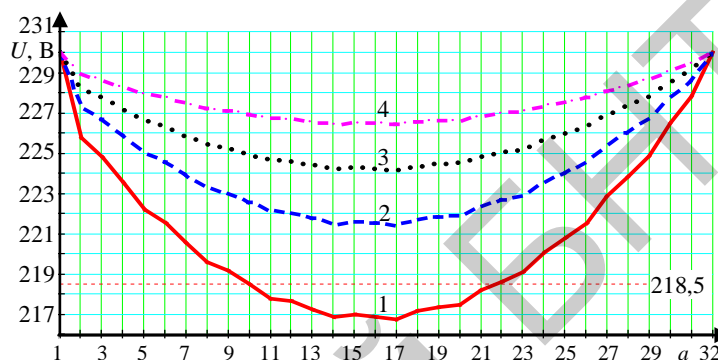


Рис. 2. Графики распределения напряжений в точках осветительной линии для фазы *A* в режиме с двусторонним питанием с уровнями напряжения в пунктах питания 230 В, построенные для различных сечений алюминиевых жил:
a – точка сети; 1 – $S = 2,5 \text{ мм}^2$; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 10 мм^2

Fig. 2. The graphs of the voltage levels distribution at the points lighting line for phase *A* with bilateral supply for different sections of aluminum conductor (with voltage levels of points of supply equal to 230 V):
a – the point of the grid; 1 – $S = 2.5 \text{ мм}^2$; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 10 мм^2

Условиями выбора сечения проводников осветительной линии наружного освещения определено расчетное отклонение напряжения в точках схемы не более 5 % от номинального напряжения сети [6] (в рассматриваемом примере не менее $230 \cdot 0,95 = 218,5 \text{ В}$). В соответствии с произведенными расчетами и графиком (рис. 2) ближайшее сечение алюминиевой жилы, удовлетворяющее данному условию, составляет 4 мм^2 (обеспечивает наименьшее значение напряжения 221,4 В). Кроме того, необходимо, чтобы отклонение напряжения на ближайшем светильнике не превышало 2,5 % от номинального напряжения сети [6] (в рассматриваемом примере не менее $230 \cdot 0,975 = 224,2 \text{ В}$). Ближайший к первому пункту питания светильник подключен к фазе *A*, расчетное напряжение на нем составляет 227,2 В; ближайший ко второму пункту питания светильник подключен к фазе *C*, расчетное напряжение на нем составляет 228,1 В (для сечения $4,0 \text{ мм}^2$). Таким образом, данное условие выполняется.

При этом следует отметить малую разницу между допустимым и расчетным наименьшими значениями напряжения. В случае, когда напряжения на источниках питания будут ниже номинального значения, напряжение на светильниках в середине линии будет меньше необходимого. Исходя из требования поддержания заданного уровня напряжения на ис-

точниках света, возможно, следует принять большее сечение проводников осветительной сети.

Для режима с односторонним питанием (при потере напряжения во втором пункте питания) и значения напряжения в первом пункте питания 230 В с помощью описанной в [3, 7] методики последовательно произведены расчеты режима работы с использованием кабелей с ранее указанными сечениями алюминиевых жил, а также с $S = 16 \text{ мм}^2$; $Z_{\Sigma} = (1,95 + j0,0675) \text{ м}\cdot\text{Ом}/\text{м}$, $I_{\text{доп}} = 82,8 \text{ А}$. Наиболее удаленный от первого пункта питания светильник подключен к фазе С, наиболее близкий – к фазе А.

Распределение напряжений в точках схемы для фазы С при различных сечениях жил кабеля и отсутствии напряжения во втором пункте питания показано на рис. 3.

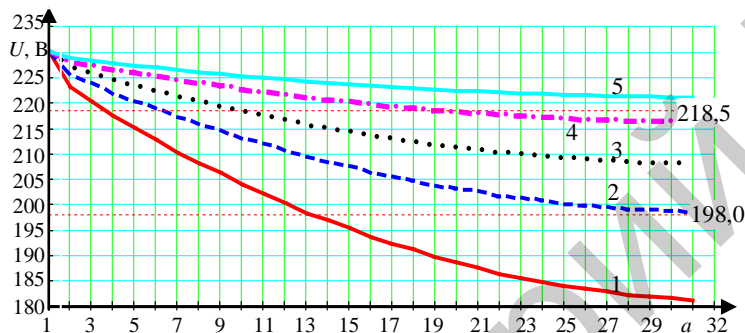


Рис. 3. Графики распределения напряжений в точках осветительной линии для фазы С в режиме с односторонним питанием (построенные при различных сечениях алюминиевых жил); напряжение в первом пункте питания 230 В: а – точка сети; 1 – $S = 2,5 \text{ мм}^2$; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 10; 5 – 16 мм^2

Fig. 3. The graphs of the voltage levels distribution at the points lighting line for phase C with bilateral supply for different sections of aluminum conductor (with voltage level of the first point of supply equal to 230 V): а – the point of the grid; 1 – $S = 2.5 \text{ мм}^2$; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 10; 5 – 16 мм^2

Производители светильников и ламп указывают отклонение напряжения, при котором светильник будет стабильно работать. Для рассматриваемых светильников номинальное напряжение составляет 220 В, а допустимое отклонение $\pm 10\%$ [8]. Гарантированное зажигание (включение) лампы в этом случае обеспечивается при уровне напряжения на зажимах светильника не менее $220 \cdot 0,9 = 198 \text{ В}$ (значение отмечено на графиках).

На основании расчетов и представленного на рис. 3 графика условие гарантированного зажигания лампы не выполняется при сечении алюминиевых жил, равном $2,5 \text{ мм}^2$, в случае одностороннего питания. Поэтому можно сделать выводы, что по условию допустимой потери напряжения рассматриваемая осветительная линия с двусторонним питанием должна иметь сечение алюминиевых жил не менее 4 мм^2 , а при потере питания в одном из пунктов питания будет обеспечиваться устойчивое зажигание ламп при величине напряжения в пункте питания 230 В. Применительно к рассматриваемому примеру вопрос условия гарантированного зажигания

следует рассматривать приблизительно, так как пусковой режим отличается от номинального и сопровождается повышенными токами. Если бы данная осветительная линия питалась только от первого пункта питания (с односторонним питанием), то сечение алюминиевых жил по условию допустимой потери напряжения должно было равняться 16 мм^2 (рис. 3).

Кроме выполнения вышеуказанных условий, необходимо проверить сечение кабеля по нагреву. Расчетные значения полных токов в пункте питания (для сети с односторонним питанием) равны [7]: фаза A – 8,7 А; фаза B – 8,6 А; фаза C – 8,5 А; что меньше допустимого тока рассматриваемых кабелей. Аналогично можно произвести анализ работы осветительной сети в режиме с односторонним питанием при уровне напряжения в пункте питания $230 \cdot 0,9 = 207 \text{ В}$, соответствующем 10%-му отклонению напряжения. Графики распределения напряжений в этом случае представлены на рис. 4.

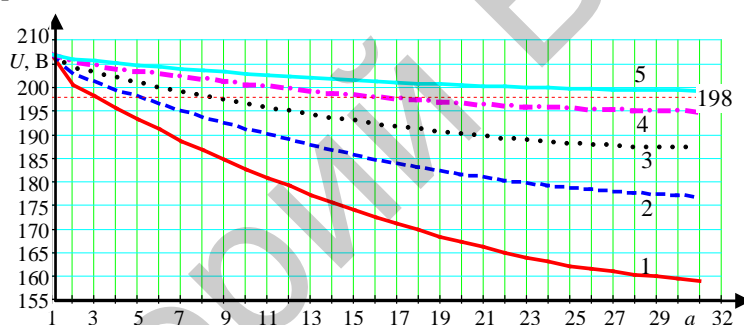


Рис. 4. Графики распределения напряжений в точках осветительной линии для фазы C в режиме с односторонним питанием (построенные при различных сечениях алюминиевых жил); напряжение в первом пункте питания 207 В:
 a – точка сети; 1 – $S = 2,5 \text{ мм}^2$; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 10; 5 – 16 мм^2

Fig. 4. The graphs of the voltage levels distribution at the points lighting line for phase C with bilateral supply for different sections of aluminum conductor (with voltage level of the first point of supply equal to 207 V):
 a – the point of the grid; 1 – $S = 2.5 \text{ мм}^2$; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 10; 5 – 16 мм^2

В этом случае условие гарантированного зажигания лампы выполняется только при сечении алюминиевых жил не менее 16 мм^2 . Основываясь на вышеприведенных расчетах, примем к рассмотрению линию наружного освещения с двусторонним питанием, выполненную кабелем с алюминиевыми жилами сечением 4 мм^2 . Распределение напряжений по длине рассматриваемой осветительной линии с сечением жил кабеля 4 мм^2 в различных режимах представлены на рис. 5, 6. Проанализируем особенности следующих режимов работы такой осветительной линии:

1) с одинаковыми уровнями напряжения U в двух пунктах питания (табл. 1), равными: a – 230 В ($U_{\text{ном}}$); b – 207 В ($0,9U_{\text{ном}}$); c – 253 В ($1,1U_{\text{ном}}$);

2) с разными уровнями напряжений в пунктах питания (табл. 1), равными: d – в первом пункте питания $U = 207 \text{ В}$ и во втором $U = 253 \text{ В}$; e – 198 В ($0,9 \cdot 220 \text{ В}$) и 253 В; f – 198 В и 207 В;

3) в ночном режиме экономии электроэнергии при отключении фазы С с одинаковыми уровнями напряжений в двух пунктах питания, равными 230 В (g, табл. 1);

4) при потере напряжения во втором пункте питания (режим с односторонним питанием) и значении напряжения в первом пункте питания, равном 230 В (h, табл. 1).

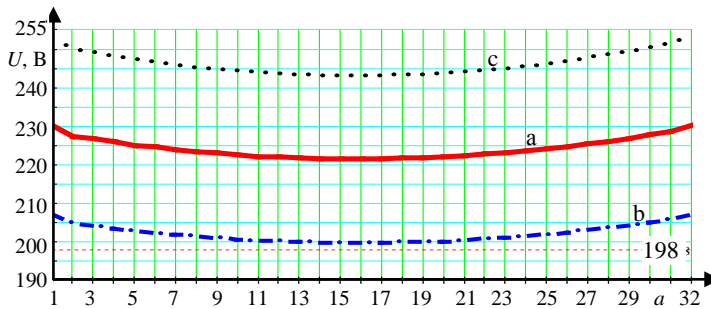


Рис. 5. Графики распределения напряжений в точках осветительной линии для фазы А, построенные для режимов а, b, с при сечении жилы кабеля $S = 4 \text{ мм}^2$

Fig. 5. The graphs of the voltage levels distribution at the points lighting line for phase A with bilateral supply for different modes of operation (the section of conductor $S = 4 \text{ мм}^2$, modes: a, b, c)

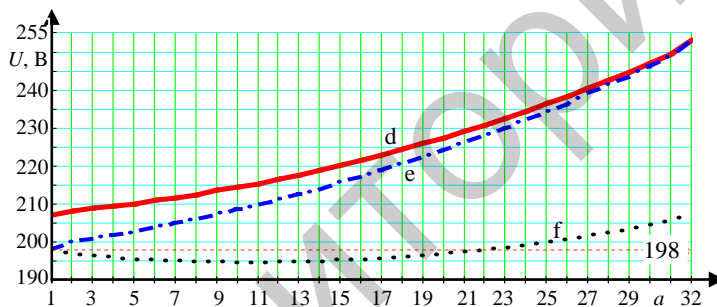


Рис. 6. Графики распределения напряжений в точках осветительной линии для фазы А, построенные для режимов d, e, f при сечении жилы кабеля $S = 4 \text{ мм}^2$

Fig. 6. The graphs of the voltage levels distribution at the points lighting line for phase A with bilateral supply for different modes of operation (the section of conductor $S = 4 \text{ мм}^2$, modes: d, e, f)

В режимах а, b, с, d, e, f (рис. 5, 6) условно обеспечивается гарантированное включение всех ламп, так как напряжение на зажимах светильника не менее 198 В. При двустороннем питании осветительной линии с уровнями напряжений в пунктах питания П1 и П2, равными 198 В и 207 В соответственно (рис. 6f), не обеспечивается устойчивое зажигание более половины светильников.

Представленные в табл. 1 данные отражают величины нагрузок, на основании которых можно оценить электропотребление осветительной линии с учетом суточного графика включения и отключения сети наружного освещения [9].

Таблица 1

Значения активных и реактивных мощностей в двух пунктах питания и суммарные мощности при различных режимах работы рассматриваемой схемы при использовании кабеля с сечением алюминиевых жил 4 мм²

Active and reactive power in two power points at different operation modes of the lightning line (the section of conductor $S = 4 \text{ mm}^2$)

| Режим работы | Первый пункт питания, В·А | | | Второй пункт питания, В·А | | |
|--|--|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | $\underline{S}_{A,П1-1}^H$ | $\underline{S}_{B,П1-1}^H$ | $\underline{S}_{C,П1-1}^H$ | $\underline{S}_{A,30-П2}^H$ | $\underline{S}_{B,30-П2}^H$ | $\underline{S}_{C,30-П2}^H$ |
| | Суммарные активная и реактивные мощности двух пунктов питания \underline{S}_{Σ} , В·А | | | | | |
| a) $U_{A,П1} = U_{B,П1} = U_{C,П1} = U_{A,П2} = U_{B,П2} = U_{C,П2} = 230 \text{ В}$ | 947,3 + + j526,1 | 889,8 + + j497,0 | 834,8 + + j466,2 | 889,6 + + j497,0 | 946,3 + + j525,6 | 1005,3 + + j554,6 |
| | $\underline{S}_{\Sigma} = 5513,1 + j3066,5$ | | | | | |
| b) $U_{A,П1} = U_{B,П1} = U_{C,П1} = U_{A,П2} = U_{B,П2} = U_{C,П2} = 207 \text{ В}$ | 733,7 + + j495,7 | 689,6 + + j467,1 | 647,0 + + j438,3 | 689,3 + + j467,5 | 732,9 + + j495,2 | 777,8 + + j524,2 |
| | $\underline{S}_{\Sigma} = 4270,3 + j2888,0$ | | | | | |
| c) $U_{A,П1} = U_{B,П1} = U_{C,П1} = U_{A,П2} = U_{B,П2} = U_{C,П2} = 253 \text{ В}$ | 1224,7 + + j431,6 | 1151,2 + + j409,1 | 1079,9 + + j384,0 | 1150,8 + + j408,9 | 1223,6 + + j430,9 | 1299,1 + + j452,5 |
| | $\underline{S}_{\Sigma} = 7129,3 + j2517,0$ | | | | | |
| d) $U_{A,П1} = U_{B,П1} = U_{C,П1} = 207 \text{ В};$ $U_{A,П2} = U_{B,П2} = U_{C,П2} = 253 \text{ В}$ | -401,4 + + j461,0 | -445,6 + + j432,5 | -488,8 + + j403,4 | 2517,0 + + j522,0 | 2589,7 + + j545,3 | 2666,1 + + j566,3 |
| | $\underline{S}_{\Sigma(\text{ОСВЕТИТЕЛЬНАЯ})} = (6437,0 + j2930,5);$ $\underline{S}_{\Sigma(\text{УРАВНИТЕЛЬНАЯ})} = (1335,8 + j0)$ | | | | | |
| e) $U_{A,П1} = U_{B,П1} = U_{C,П1} = 198 \text{ В};$ $U_{A,П2} = U_{B,П2} = U_{C,П2} = 253 \text{ В}$ | -640,6 + + j444,2 | -680,3 + + j416,3 | -719,2 + + j387,9 | 2787,1 + + j534,6 | 2859,2 + + j558,1 | 2935,8 + + j579,3 |
| | $\underline{S}_{\Sigma(\text{ОСВЕТИТЕЛЬНАЯ})} = (6542,0 + j2920,4);$ $\underline{S}_{\Sigma(\text{УРАВНИТЕЛЬНАЯ})} = (2040,1 + j0)$ | | | | | |
| f) $U_{A,П1} = U_{B,П1} = U_{C,П1} = 198 \text{ В};$ $U_{A,П2} = U_{B,П2} = U_{C,П2} = 207 \text{ В}$ | 454,4 + + j463,6 | 414,5 + + j436,3 | 375,2 + + j409,5 | 917,0 + + j465,6 | 960,7 + + j493,4 | 1005,6 + + j522,6 |
| | $\underline{S}_{\Sigma} = 4127,4 + j2791,0$ | | | | | |
| g) $U_{A,П1} = U_{B,П1} = U_{A,П2} = U_{B,П2} = 230 \text{ В};$ $U_{C,П1} = U_{C,П2} = 0$ | 947,3 + + j526,1 | 854,0 + + j508,7 | 0 | 857,4 + + j549,9 | 881,9 + + j484,3 | 0 |
| | $\underline{S}_{\Sigma} = 3540,6 + j2069,0$ | | | | | |
| h) $U_{A,П1} = U_{B,П1} = U_{C,П1} = 230 \text{ В};$ $U_{A,П2} = U_{B,П2} = U_{C,П2} = 0$ | 1751,5 + + j969,1 | 1712,6 + + j962,2 | 1700,1 + + j956,9 | 0 | 0 | 0 |
| | $\underline{S}_{\Sigma} = 5164,2 + j2888,2$ | | | | | |

Среди рассматриваемых режимов наиболее экономичным является ночной режим (g, табл. 1). Для магистральных улиц следует предусматривать возможность отключения части светильников в ночное время, но такое отключение создает неравномерную освещенность. Не допускается отключение подряд двух светильников и светильников в местах, указанных в [6].

Достаточно экономичными также являются режимы на пониженном напряжении относительно номинального напряжения 230 В (режимы b, f), но в этом случае обязательно обеспечение значения напряжения, достаточного для гарантированного зажигания всех ламп в пусковом режиме (в момент включения). При таком способе экономии электроэнергии не создается значительная неравномерность освещенности поверхности.

Работа с напряжением, выше номинального (режим «с»), сопровождается повышенным электропотреблением [10]; длительная работа в таком режиме приводит к сокращению срока службы источников света [11]. Режимы работы со значительным отливом уровней напряжения в пунктах питания (режимы d, e) сопровождаются протеканием уравнивающих токов (передачей уравнивающей мощности).

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены особенности расчета различных режимов работы осветительной сети наружного освещения с двусторонним питанием.
2. Показано, что выбор сечения проводников осветительной сети наружного освещения по допустимой потере напряжения следует производить с учетом возможных режимов работы сети.
3. Определены показатели основных режимов осветительной линии наружного освещения с двусторонним питанием и показана возможность их использования при расчете расхода (экономии) электроэнергии и выборе оптимального режима работы сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козловская, В. Б. Расчет режимных параметров линии наружного освещения с двусторонним питанием. Часть 1 / В. Б. Козловская, В. Н. Калечиц // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2016. Т. 59, № 6. С. 549–562. DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-6-549-562.
2. Краснопольский, А. Е. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп / А. Е. Краснопольский, В. Б. Соколов, А. М. Троицкий; под общ. ред. А. Е. Краснопольского. М.: Энергоатомиздат, 1988. 208 с.
3. Козловская, В. Б. Влияние величины напряжения на режим работы сети наружного освещения / В. Б. Козловская, В. Н. Калечиц // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2013. № 3. С. 18–25.
4. Стандартные напряжения: ГОСТ 29322–92. Введ. 01.01.1993. М.: Изд-во стандартов, 1992. 10 с.
5. Радкевич, В. Н. Электроснабжение промышленных предприятий / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. Минск: ИВЦ Минфина, 2015. 589 с.
6. Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Правила проектирования: ТКП 45-4.04-287–2013. Минск: Минстройархитектуры, 2013. 19 с.
7. Козловская, В. Б. Электрическое освещение / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. Минск: Техноперспектива, 2011. 543 с.
8. Рохлин, Г. Н. Разрядные источники света / Г. Н. Рохлин. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1991. 719 с.

9. Козловская, В. Б. Определение расхода электроэнергии на освещение промышленных предприятий / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2008. № 4. С. 5–11.
10. Козловская, В. Б. Влияние напряжения на основные характеристики ламп электрического освещения / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, И. В. Колосова // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2009. № 1. С. 5–13.
11. Ефимкина, В. Ф. Светильники с газоразрядными лампами высокого давления / В. Ф. Ефимкина, Н. Н. Софронов. М.: Энергоатомиздат, 1984. 104 с.

Поступила 03.10.2016 Подписана в печать 05.12.2016 Опубликована онлайн 31.01.2017

REFERENCES

1. Kozlovskaya V. B., Kalechyts V. N. (2016) Calculation of Operation Mode of Outdoor Lighting Line with Bilateral Supply. Part 1. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG*, 59 (6), 549–562. DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-6-549-562. (in Russian).
2. Krasnopolsky A. E., Sokolov V. B., Troitsky A. M. (1988) *Control Gears for Discharge Lamps*. Moscow, Energoatomizdat Publ. 208 (in Russian).
3. Kozlovskaya V. B., Kalechits V. N. (2013) Influence of Voltage Value on Operational Mode of Outdoor Lighting Grid Network. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions And Power Engineering Associations], (3), 18–25 (in Russian).
4. State Standard 29322–92 (1993). Standard Voltage. Moscow, Publishing House of Standards. 10 (in Russian).
5. Radkevich V. N., Kozlovskaya V. B., Kolosova I. V. (2015) *Power Supply of Industrial Enterprises*. Minsk, ICC of Finance Ministry. 589 (in Russian).
6. ТКР 45-4.04-287–2013 (2013). Outdoor Lighting of Cities, Settlements and Rural Settlements. Design Rules. Minsk: Ministry of Architecture and Construction. 19 (in Russian).
7. Kozlovskaya V. B., Radkevich V. N., Satsukevich V. N. (2011) *Electric Lighting*. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ. 543 (in Russian).
8. Rokhlin G. N. (1991) *Discharge Light Sources*. 2nd ed. Moscow, Energoatomizdat Publ. 719 (in Russian).
9. Kozlovskaya V. B., Radkevich V. N. (2008) Determination of Power Requirements for Industrial Enterprise Lighting. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS higher Education Institutions and Power Engineering Associations], (4), 5–11 (in Russian).
10. Kozlovskaya V. B., Radkevich V. N., Kolosova I. V. (2009) Influence of Voltage on Main Characteristics of Electric Lighting Lamps. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations], (1), 5–13 (in Russian).
11. Yefimkina V. F., Sofronov N. N. (1984) *Luminaires with High Pressure Gas Discharge Lamps*. Moscow, Energoatomizdat Publ. 104 (in Russian).

Received: 3 October 2016 Accepted: 5 December 2016 Published online: 31 January 2017