

УДК 621.311.6

АВТОНОМНЫЙ ЕМКОСТНОЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В.К. Козлов, Е.Р. Киржацких

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
Ukaneeva1991@mail.ru

Резюме: В данной статье рассмотрены основные типы автономных источников питания для устройств измерения параметров воздушной линии электропередачи. Произведен расчет мощности емкостного источника питания в зависимости от его длины для линии 110 кВ.

Ключевые слова: автономный источник питания, емкостной источник питания.

AUTONOMOUS CAPACITIVE POWER SUPPLY FOR DEVICES WHICH MEASURES THE PARAMETERS OF THE OVERHEAD POWER LINES

V.K. Kozlov¹, E.R. Kirzhatskikh¹

¹Kazan state power engineering university, Kazan, Russia
Ukaneeva1991@mail.ru

Abstract: This article consider the main types of autonomous power sources for devices, which measures characteristics of overhead power lines. The calculations of the power of capacitive power supply depending of its length for the 110 kV line were done.

Keywords: autonomous power supply, capacitive power supply.

Введение

Надежное электроснабжения потребителей не теряет своей актуальности на протяжении многих десятилетий. Вопросы диагностики отдаленных энергетических объектов и воздушных линий электропередач (ЛЭП) сложной структуры часто вызывают трудности у организаций, которые занимаются их эксплуатацией и обслуживанием. Более половины всех перерывов в энергоснабжении обусловлено проблемами ЛЭП. Значительная часть причин выхода ЛЭП из работы являются форс-мажорными и не могут быть предупреждены средствами оперативной диагностики. Это различные атмосферные воздействия, геологические и природные особенности трассы ЛЭП, влияние аномальных режимов работы линии. В то же время более половины всех случаев выхода ЛЭП из эксплуатации могут быть переведены из категории непредсказуемых в категорию предсказуемых, если для контроля состояния линий использовать системы мониторинга с автономными устройствами и непрерывно контролировать состояние линии в режиме реального времени.

«...Стратегическими целями развития электроэнергетики до 2030 года являются:

- надежное энергоснабжение экономики и населения страны электроэнергией;
- сохранение целостности и развитие единой энергетической системы страны, ее интеграция с другими энергообъединениями на Евразийском континенте;

- повышение эффективности функционирования и обеспечение устойчивого развития электроэнергетики на базе новых современных технологий;
- снижение вредного воздействия на окружающую среду.

С учетом прогнозируемых объемов спроса на электроэнергию при благоприятном и оптимистическом вариантах развития суммарное производство электроэнергии может возрасти, по сравнению с 2000 годом, более чем в 1,6 раз к 2020 году (до 1365 млрд. кВт ч)...» [1].

Обеспечение такого уровня электропотребления требует надежной целостной работы единой энергетической системы страны. Независимые устройства, контролирующие параметры технического состояния линии, включая цифровые технологии, облегчат сбор, обработку и обмен информацией [2].

Возникают проблемы обеспечения бесперебойного питания электронной части автономных устройств, которые монтируются непосредственно на проводах линии [3]. Какой источник питания надежнее в работе и электробезопаснее как для окружающих людей, так и для электрооборудования?

1. Существующие источники питания для автономных устройств измерения

Существует огромное множество источников питания, рассмотрим некоторые из них:

- источник питания на основе трансформатора тока;
- емкостной источник питания с заземленной обкладкой конденсатора;
- емкостной источник питания.

1.1 Источник питания на основе трансформатора тока

Трансформатор тока (ТТ) предназначен для преобразования тока первичной сети во вторичный, имеющий стандартный уровень 1 или 5 А, используемый в качестве сигнала в системах измерения, учета и релейной защиты.

Источник питания на основе ТТ обладает существенным недостатком: при токах меньших, чем минимальный, этот источник питания не обеспечивает необходимой мощности для работы устройств измерения.

Это означает, что измерительное устройство оказывается неработоспособным в диапазоне токов от 0 до минимального тока, измеряемого в заданном классе точности [4].

1.2 Емкостной источник питания с заземленной обкладкой конденсатора

Существуют устройства электропитания, мощность которых слабо зависит от величины тока, протекающего по ЛЭП, а в основном зависит от значения напряжения на линии. Эти устройства могут использоваться для питания устройств измерения во всем диапазоне измеряемых токов, начиная с нуля ампер. Рассмотрим емкостной источник питания с заземленной обкладкой конденсатора.

Принцип действия емкостного делителя напряжения показан на рис. 1.

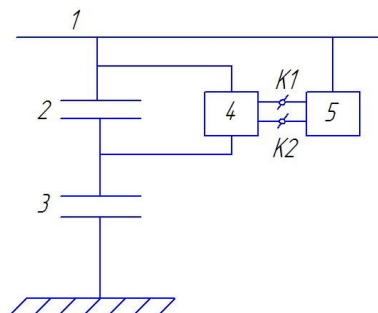


Рис. 1. Емкостной источник питания с заземленной обкладкой конденсатора

На рис. 1 цифрами обозначены: 1 – питающая шина (ВЛЭП); 2 – конденсатор отбора мощности; 3 – конденсатор связи; 4 – электромагнитное устройство с клеммами К1 и К2 для подсоединения нагрузки; 5 – нагрузка.

Конденсаторы отбора мощности 2 и связи 3 соединены одними обкладками последовательно, а другими – с токопроводом 1 и землей соответственно [5].

Перечисленные признаки обеспечивают надежную систему электропитания во всем диапазоне измеряемых токов от нуля ампер. Это достигается за счет того, что стабильное напряжение на электромагнитном устройстве и, как следствие, на выходных клеммах источника питания появляется одновременно с появлением номинального напряжения на линии электропередач при делении этого напряжения между конденсаторами емкостного делителя обратно пропорционально емкостям конденсаторов вне зависимости от величины тока нагрузки.

Однако заземление одной обкладки конденсатора связи известного устройства снижает надежность его работы из-за возможности пробоя конденсатора связи, так как он находится под высокой разностью потенциалов. Кроме этого, указанное заземление увеличивает габариты измерительного устройства, в состав которого входит известный емкостной источник питания.

1.3 Емкостной источник питания

В емкостном источнике питания конденсатор связи представляет собой воздушный промежуток между проводом и землей, что исключает вероятность пробоя конденсатора связи, так как система емкостного источника питания замкнута через атмосферу, и снижает габариты измерительного устройства (рис. 2.).

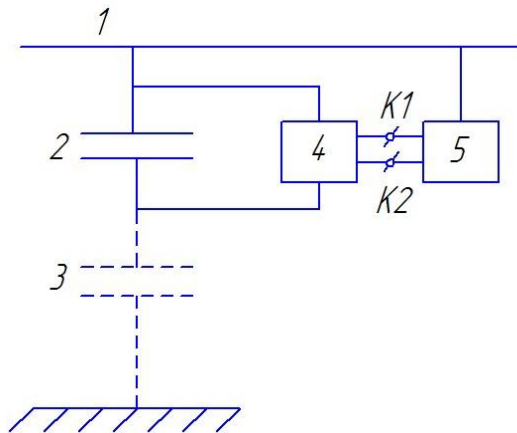


Рис. 2. Емкостной источник питания: 1 – питающая шина (ВЛЭП); 2 – конденсатор отбора мощности; 3 – конденсатор связи; 4 – электромагнитное устройство; 5 – нагрузка [6].

Таким образом, использование данного вида источника питания позволит повысить надежность работы измерительного устройства, снизить габариты и создать автономное устройство электробезопаснее как для окружающих людей, так и для электрооборудования [7].

2. Расчет мощности емкостного источника питания от его длины

Рассмотрим высоковольтную линию электропередачи напряжением 110кВ (рис. 3), выполненную маркой провода АС 150/24, провод D – это специально введенный провод конечной длины; расстояние от земли до фаз прием равными $h_a = h_c = 15\text{м}$, $h_b = 18\text{м}$,

радиус проводов примем $r_{\text{пр}} = 0,00855\text{м}$, среднегеометрическое расстояние между фазами примем $D_{\text{ср}} = 5\text{м}$ [8].

Для нахождения зарядной мощности емкостного источника питания необходимо рассчитать общую рабочую емкость.

Емкостями между фазами и землей можно пренебречь, в связи с малым значением относительно емкостей между фазами и введенным проводом D . Емкостями между фазами A, B, C пренебрегаем, так как они не влияют на приведенный расчет.

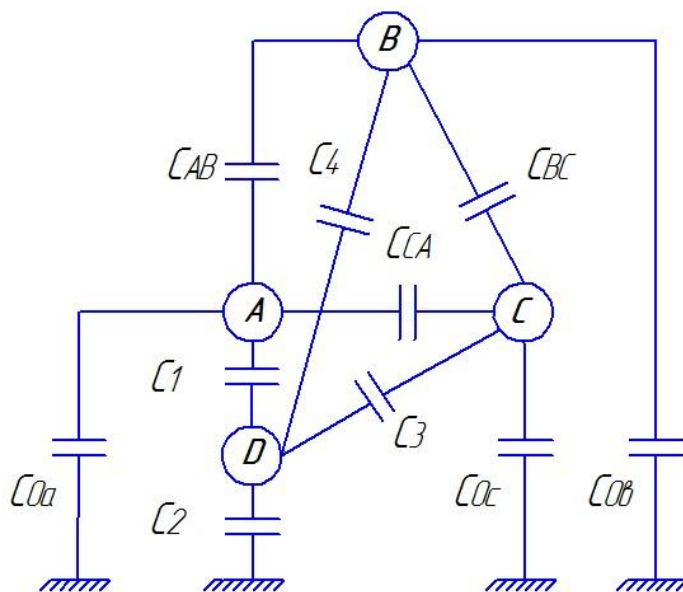


Рис. 3. Емкости линии 110кВ и дополнительно введенного проводника

Рассчитаем емкость C между фазами и дополнительно введенным проводом D (емкость двухпроводной линии) при условии, что расстояние между фазой A и D $d = 0,002\text{м}$, примем $\epsilon = 1$ (воздух):

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S}{d}, \quad (1)$$

где ϵ_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, заполняющая пространство между проводниками (пластинами); S – площадь проводников (пластин); d – расстояние между параллельными проводниками (пластинами);

$$C_1 = \frac{8,85 \cdot 1 \cdot 0,00855 \cdot 2 \cdot 1}{0,002} = 75,67 \text{нФ}, \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{8,85 \cdot 1 \cdot 0,00855 \cdot 2 \cdot 1}{15} = 0,01 \text{нФ}. \quad (3)$$

В случае тонких проводов емкость двухпроводной линии вычисляется по формуле [9]:

$$C = \frac{\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon}{\ln \frac{2H}{r}}, \quad (4)$$

где $2H$ – расстояние между центрами проводов; r – радиус провода.

Рассчитаем емкость между фазами B , C и проводом D , соответственно, согласно формуле (4):

$$C_3 = \frac{3,14 \cdot 8,85 \cdot 1}{\ln \frac{6,2}{0,00855}} = 4,22n \frac{\Phi}{м}, \quad (5)$$

$$C_4 = \frac{3,14 \cdot 8,85 \cdot 1}{\ln \frac{6,001}{0,00855}} = 4,24n \frac{\Phi}{м}. \quad (6)$$

Рассчитаем полную емкость между фазами A , B , C и дополнительно введенным проводом D (параллельное соединение):

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_3 + C_4 = 84,13n \frac{\Phi}{м}. \quad (7)$$

Рассчитаем емкостную проводимость линии по формуле

$$b_0 = \omega \cdot C_{\text{общ}}, \quad (8)$$

где ω – угловая частота переменного тока; $C_{\text{общ}}$ – рабочая емкость линии;

$$b_0 = 314 \cdot 84,13 = 26,42н \frac{См}{м}. \quad (9)$$

Рассчитаем емкостной ток утечки по формуле:

$$I_c = \frac{U \cdot b_0}{\sqrt{3}}, \quad (10)$$

где U – линейное напряжение линии; b_0 – емкостная проводимость линии;

$$I_c = \frac{110 \cdot 26,42}{\sqrt{3}} = 1,6м \frac{А}{м}. \quad (11)$$

Рассчитаем напряжение между фазами A и D , D и землей по формуле последовательного соединения:

$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = 0,0099н \frac{\Phi}{м}. \quad (12)$$

Напряжение на емкости распределится следующим образом [10]:

$$U_{c1} = \frac{U_{\phi} \cdot C_{\text{сум}}}{\sqrt{3} \cdot C_1}, \quad (13)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение линии,

$$U_{c1} = \frac{110 \cdot 0,0099}{\sqrt{3} \cdot 75,67} = 8,3В, \quad (14)$$

$$U_{c1} = \frac{110 \cdot 0,0099}{\sqrt{3} \cdot 0,01} = 62873,44В, \quad (15)$$

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U_{c1} \cdot I_c = \sqrt{3} \cdot 8,3 \cdot 1,6 = 0,023 \frac{Вар}{м}. \quad (16)$$

Получим зависимость зарядной мощности емкостного источника питания от его длины при напряжении 110 кВ (рис. 4).

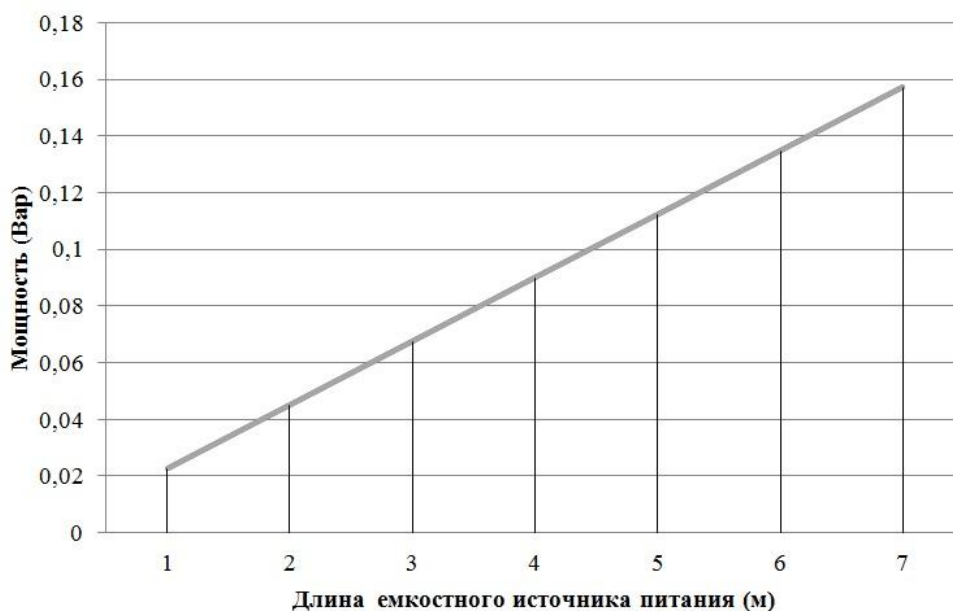


Рис. 4. Зависимость мощности емкостного источника питания от его длины

Заключение

По расчетным данным получается, что за счет увеличения длины емкостного источника питания увеличивается его мощность.

Таким образом, данный вид источника питания является надежным (появляется одновременно с появлением номинального напряжения на линии электропередачи), малогабаритным и электробезопасным для автономных устройств, контролирующих параметры технического состояния линии.

Выводы

Результаты, полученные в ходе расчета, показывают, что емкостной источник питания обеспечивает бесперебойное питание электронной части автономных устройств, которые монтируются непосредственно на проводах линии во всем диапазоне измеряемых токов, начиная с 0 ампер.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года // Российская газета: еженед. интернет-изд. 2003. 7 окт. URL: <https://rg.ru/2003/10/07/energetika.html>.
2. What Makes a Grid Smart? // T&D World Magazine, David Shadle. Aug 18, 2016 URL: <http://tdworld.com/grid-opt-smart-grid/what-makes-grid-smart>.
3. Системы мониторинга состояния воздушных ЛЭП, требования к ним, возможные реализации, практические результаты // ООО «RUSOV» URL: https://rusov.com/downloads/rusov_air_2013.pdf.
4. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л. Блок питания на основе трансформатора тока с микропроцессорным управлением // Электротехника. М.: Знак, 2009. С. 28–34.
5. Патент № 2381585 РФ, МПК H01F27/42, G01R15/04 Емкостной источник питания / Арсон А.Г., Остапенко Е.И., Чурсинов А.М.; заявитель и патентообладатель ФГУП "Всероссийский электротехнический институт им. В.И. Ленина". заявл. 03.10.2008; опубл. 10.02.2010.

6. Патент №152618 РФ, МПК H01F27/00. Емкостной источник питания / Козлов В.К., Уканеева Е.Р.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «КГЭУ». заявл. 30.12.2014, опубл. 10.06.2015.

7. Astrose. Autonomous sensor network for condition monitoring of power lines // Fraunhofer Institute for Electronic Nano Systems. URL: http://www.enas.fraunhofer.de/content/dam/enas/de/documents/Downloads/datenblaetter/ASTROSE_EN_highres_web.pdf.

8. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей. 2-е изд. М.: ЭНАС, 2007. 352 с.

9. Емкость между тонкими проводами. Гл.25 Расчет электрической емкости. URL: http://alexandr4784.narod.ru/dnktoe3/dnktoe_3_25.pdf/.

10. Емкостные делители напряжения. URL: http://www.rza.org.ua/rza/read/6-3--Emkostnie-deliteli-napryazheniya_33.html.

Авторы публикации

Козлов Владимир Константинович – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» (РЗА) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Киржацких Елена Ринатовна – аспирант Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

References

1. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2020 goda // Rossiyskaya gazeta: ezhened. internet-izd. 2003. 7 okt. URL: <https://rg.ru/2003/10/07/energetika.html>.

2. What Makes a Grid Smart? // T&D World Magazine, David Shadle. Aug 18, 2016 URL: <http://tdworld.com/grid-opt-smart-grid/what-makes-grid-smart>.

3. Sistemy monitoringa sostoyaniya vozdukhnykh lep, trebovaniya k nim, vozmozhnye realizatsii, prakticheskie rezul'taty // ООО «RUSOV» URL: https://rusov.com/downloads/rusov_air_2013.pdf.

4. Khuzyashev R.G, Kuz'min I.L. Blok pitaniya na osnove transformatora toka s mikroprotseornym upravleniem // Elektrotehnika. M.: Znak, 2009. S. 28-34.

5. Patent № 2381585 RF, МПК H01F27/42, G01R15/04 Emkostnoy istochnik pitaniya / Arson A.G., Ostapenko E.I., Chursinov A.M.; заявитель и патентообладатель' FGUP "Vserossiyskiy elektrotekhnicheskii institut im. V.I. Lenina". заявл. 03.10.2008; опубл. 10.02.2010.

6. Patent №152618 RF, МПК H01F27/00 Emkostnoy istochnik pitaniya / Kozlov V.K., Ukaneeva E.R.; заявитель и правообладатель' ФГБОУ ВПО «КГЭУ». заявл. 30.12.2014, опубл. 10.06.2015.

7. Astrose. Autonomous sensor network for condition monitoring of power lines // Fraunhofer Institute for Electronic Nano Systems. URL: http://www.enas.fraunhofer.de/content/dam/enas/de/documents/Downloads/datenblaetter/ASTROSE_EN_highres_web.pdf.

8. Faybisovich D.L. Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskikh setey. 2-e izd. M.: ENAS, 2007. 352 s.

9. Emkost' mezhdru tonkimi provodami. Gl.25 Raschet elektricheskoy emkosti. URL: http://alexandr4784.narod.ru/dnktoe3/dnktoe_3_25.pdf/.

10. Emkostne deliteli napryazheniya. URL: http://www.rza.org.ua/rza/read/6-3--Emkostnie-deliteli-napryazheniya_33.html.

Authors of the publication

Kozlov Vladimir Konstantinovich – Doc. of Phys.-Math. Sci., Prof. of department «Relay protection and automation of electric power systems» Kazan state power engineering university (KSPEU).

Проблемы энергетики, 2017, том 19, № 3-4

Kirzhatskikh Elena Rinatovna – postgraduate of Kazan state power engineering university (KSPEU).

Поступила в редакцию

28 декабря 2016 г.