

УДК 621.311.61

И.В. Брейдо, jbreido@mail.ru

В.В. Каверин, kaverinkz@inbox.ru

Г.А. Эм, egaapp@mail.ru

Ш.Е. Ежebaева, sholpanzhekeyeva@gmail.com

Карагандинский технический университет

РАЗРАБОТКА МАЛОМОЩНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ

Выполнен сравнительный анализ источников электроэнергии для питания локальных систем. Представлены результаты экспериментальных исследований наведённой энергии от токоведущих проводов в металлических элементах конструкции опор ВВЛЭП. Разработаны два варианта структурных схем автономных источников электропитания локальных систем распределённой системы диагностики.

Ключевые слова: солнечные батареи, воздушные линии электропередач, грозотрос, наведённая энергия, возмущающие факторы, локальные системы, автономные источники электропитания.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам повышения надёжности и снижению потерь в системах электроснабжения [1]. Потери в стратегических воздушных линиях электропередач в странах СНГ превышают 10% в то же время в странах евразийского экономического союза потери при транспортировке электроэнергии значительно ниже. Потери электроэнергии в высоковольтных воздушных линиях электропередач (ВВЛЭП) обусловлены многими факторами. В процессе продолжительного сотрудничества со специалистами предприятий, эксплуатирующих стратегические ВВЛЭП, определены наиболее приоритетные области научных исследований и разработки технических решений, которыми являются: снижение изоляционных свойств подвесных изоляторов, определение момента начала обледенения элементов конструкции ВВЛЭП и контроль электрохимической коррозии металлических элементов конструкции опор, расположенных под землёй. Отсутствие технических решений позволяющих диагностировать вышеперечисленные ситуации приводят к падению опор и увеличению потерь электроэнергии.

Одним из путей решения этой проблемы является создание автоматизированной системы диагностики технического состояния элементов конструкции ВВЛЭП. В процессе выполнения лабораторных исследований и промышленных испытаний элементов системы диагностики установлено, что часть электронного оборудования (измерительные датчики, контроллеры первичной обработки информации и устройства передачи телеметрической информации), должны быть расположены непосредственно на опоре ВВЛЭП.

Важнейшей задачей разработки локального блока, расположенного на опоре, является организация его электропитания. В настоящее время источники электропитания для низковольтной аппаратуры конструктивно расположенной на опорах ВВЛЭП отсутствуют. Отсутствует также информация об возмущающих факторах, оказывающих негативное влияние на стабильную работу источников электропитания. В связи с этим возникла необходимость выполнить анализ существующих типов солнечных панелей; провести экспериментальные исследования энергетических характеристик наведённой энергии в металлических элементах конструкции опор и разработать структурные схемы блоков электропитания, адаптированных к климатическим условиям резко континентального климата. Источник электропитания должен обеспечивать работоспособность круглогодично в ши-

роком диапазоне температур окружающей среды и при высокой динамичности ветровой нагрузки. Источники электропитания, отвечающие вышеперечисленным требованиям, не выпускаются промышленностью. Создание экономически целесообразных автономных источников электроэнергии для питания информационной части системы диагностики на базе альтернативных источников электроэнергии или энергии электромагнитных полей токоведущих проводов стратегических ВВЛЭП является важной актуальной научно-технической задачей. Одним из путей решения этой задачи является применение возобновляемых источников электроэнергии и использования наведённой энергии от токоведущих проводов в металлических элементах конструкции опор ВВЛЭП.

В качестве возобновляемых источников электроэнергии возможно использование солнечных панелей (батарей), а также преобразователей наведённой энергии в металлических элементах конструкции опор. В работах [2, 3] представлены технические характеристики солнечных батарей (СБ) нового поколения. К преимуществам СБ следует отнести их автономность и небольшие конструктивные размеры для требуемой мощности для питания локальных систем. К недостаткам следует отнести неработоспособность СБ в тёмное время суток.

С целью оценки возможности использования наведённой энергии в металлических элементах конструкции опор порталного типа ВВЛЭП с напряжением 500 кВ для питания локальных систем, специалистами кафедры АПП КарГУ совместно со специалистами Карагандинского филиала АО КЕГОС проведены соответствующие экспериментальные исследования.

Статья подготовлена в рамках грантового финансирования по научным и (или) научно-техническим проектам на уровне МОН РК по теме № ИРН АР08856344 «Разработка комплекса удаленного мониторинга состояния элементов конструкции высоковольтных воздушных линий электропередачи в процессе эксплуатации на основе интеллектуальных помехоустойчивых телеметрических систем».

1. Материалы и методы

Важнейшими факторами при выборе солнечной батареи является её эффективность и максимальный коэффициент полезного действия (КПД) [2].

Конструктивно СБ состоят из отдельных солнечных фотоэлектрических элементов, схематически соединённых между собой для согласования энергетических характеристик с нагрузкой. В зависимости от конструкции фотоэлектрического элемента СБ наибольшую популярность получили фотоэлектрические элементы на кремниевой основе трех типов: монокристаллические (КПД до 21,5 %), поликристаллические (КПД 14-17 %) и аморфные (КПД 5-8 %) [3].

Монокристаллические кремниевые СБ эффективнее поликристаллических на 2-3 %.

В процессе совершенствования технологий к 2019 году средняя эффективность кремниевых кристаллических панелей и соответственно их средняя мощность выросла от 15 % до 20 %. При ясной солнечной погоде кремниевые элементы на 1 см² площади вырабатывает около 25 мА электрического тока при напряжении 0,5 В, в среднем 12-13 мВт/см². Если сравнивать кремниевые панели по типу, то на сегодняшний день на мировом рынке в производстве СБ наиболее широко используется фотоэлектрическая технология на основе кремния поликристаллического вида (более 60 % от общего производства СБ) [4].

Хотя монокристаллические кремниевые панели имеют отличные технические показатели, из-за более сложной технологии производства и изготовления из кремния более

высокой степени очистки, данный вариант СБ по цене обходится дороже, чем остальные виды.

Для повышения эффективности фотоэлектрических элементов в СБ используют арсенид галлия (GaAs). Данный элемент имеет высокий КПД (до 28 %), кроме того практика показывает, что при высоких температурах фотоэлектрические потери ниже, чем у кремниевых солнечных панелей. Швейцарская компания INSOLIGHT к 2022 году планирует выпускать недорогие солнечные панели с КПД до 29 %. Высокий показатель эффективности достигнут посредством использования концентрирующих солнечный свет линз. Солнечные панели имеют многопереходную структуру, где несколько слоев арсенида галлия совмещены с материалами из фосфида индия-галлия и германия. Данная структура позволяет собрать больше солнечной энергии с единицы площади [7].

Автор в своей работе затрагивает другие технологии производства тонкопленочных фотоэлектрических элементов на основе теллурида кадмия (CdTe), медь-индий-диселинид (CuInSe²), а также использование гибридных методов для повышения КПД солнечных панелей [5].

Как известно, СБ состоят из последовательно-параллельно соединенных фотоэлектрических элементов. Серийно выпускаемые СБ промышленностью имеют мощность от 50 до 500 Вт (при максимально ярком солнце). Эффективность СБ ниже на 1-3 %, чем представленные фотоэлектрические элементы, так как отражение стекла, затенение, высокая температура и т.д. в значительной степени влияет на техническую характеристику оборудования.

Согласно приведенным исследованиям по различным критериям (по цене, КПД, срок службы и доступности) наиболее подходящим для условий Казахстана, является кристаллические кремниевые СБ, как имеющих более высокие показатели эффективности, более доступный на рынке продаж и относительно недорогой.

В процессе длительной эксплуатации СБ выполнена классификация возмущающих факторов, снижающих их интегральные показатели энергетических характеристик. Основными возмущающими факторами для источника электропитания, выполненного на базе СБ, являются:

- суточные и годовые колебания освещённости;
- изменения освещённости, связанные с климатическими факторами (наличие плотной облачности);
- загрязнение поверхности СБ;
- налипание мокрого снега на поверхности СБ;
- изменение КПД СБ в функции температуры окружающей среды [6].

Снижение влияния возмущающих факторов на стабильность работы распределённых в пространстве систем мониторинга возможно путём установки в источниках электропитания буферного накопителя – аккумуляторной батареи или суперконденсатора.

Альтернативным техническим решением, для питания оборудования диагностики ВВЛЭП, является использование наведенной энергии в грозотросе, закрепленном на опоре воздушной линии электропередач [7].

Основными возмущающими факторами, источника электропитания локальных систем на базе наведённой энергии в грозотросе, существенно снижающими надежность электронных блоков диагностики, установленных на опоре, являются грозовые разряды, атмосферные явления (гололедные образования) и коммутационное перенапряжение.

Гололедные образования, капли дождя и тумана, а также налипание мокрого снега, изморози приводят к дополнительной нагрузке для источника электроэнергии, наведённой

в грозотросе, что приводит к уменьшению энергии отдаваемой в нагрузку, а так же повышают вероятность выхода из строя оборудования диагностики, установленного на опоре.

Коммутационные (внутренние) перенапряжения возникают при включении и отключении нагрузки с индуктивной составляющей. Переходные процессы, возникающие при коммутации, приводят к броскам напряжения в токоведущих проводах и как следствие к перенапряжениям в грозотросе.

Атмосферные перенапряжения на линиях возникают из-за грозовых явлений. При попадании молнии в участок ВВЛЭП, наиболее удаленный от заземленного конца грозотроса, возникают переходные процессы большой амплитуды напряжения. При таких кратковременных перенапряжениях часто возникают пробой изоляционных промежутков, и в частности, перекрытие изоляции, а иногда и ее разрушение или повреждение оборудования диагностики, установленного на грозотросе.

Из всех вышеприведенных возмущающих факторов на использование наведенной энергии в грозотросе наиболее значительное влияние оказывают грозовые разряды.

В процессе разработки источников электропитания локальных систем, конструктивно расположенных на опорах ВВЛЭП, использованы методы экспериментальных исследований, теоретические основы электротехники и методы структурного построения электронных устройств.

2. Постановка задачи

В связи с тем, что конструкция опор portalного типа ВВЛЭП имеет большое количество элементов, выполненных из металла, актуальной становится задача использование энергии, наведенной в металлических элементах конструкции опор, для питания слаботочных систем диагностики. С этой целью целесообразно провести экспериментальные исследования характеристик наведенной энергии в металлических элементах конструкции опор.

Для повышения надёжности распределённого программно-аппаратного комплекса диагностики элементов конструкции ВВЛЭП, необходимо разработать различные варианты источников электропитания локальных систем сбора, первичной обработки и передачи информации на диспетчерский пункт, конструктивно расположенных на тросах ВВЛЭП. Технические характеристики источников электропитания должны быть согласованы с характеристиками локальных систем. При разработке структурных схем блоков питания должны быть, по возможности, учтены возмущающие факторы, оказывающие негативное воздействие на работу локальных систем.

3. Решение задачи

С целью оценки возможности использования наведенной энергии в оттяжках опор portalного типа, для питания локальной системы, специалистами кафедры Автоматизации производственных процессов Карагандинского технического университета (АПП КарТУ) совместно со специалистами Карагандинского филиала АО КЕГОС (КФ АО КЕГОС) проведены экспериментальные исследования энергетических характеристик наведенной энергии в оттяжках опор portalного типа ВВЛЭП – 500 кВ. Экспериментальные исследования проводились на линии № 5138 (Нура - Агадырь).

Измерение величины напряжения между оттяжками, расположенными с одной стороны опоры portalного типа, и тока, протекающего в них, было проведено в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.

В местах тросовых оттяжек, выбранных специалистами компании АО «КЕГОС» и КарТУ, где будут проводиться электрические измерения, была удалена оксидная плёнка и на очищенные места, с целью обеспечения надёжного электрического контакта были за-

креплены клыковые зажимы типа КС (далее зажимы) 9. С помощью вольтметра 5 измерить напряжение между оттяжками, расположенными с одной стороны опоры. При этом выводы вольтметра соединить с зажимами, расположенными на оттяжках. Ток в оттяжках измеряется с помощью амперметра клещевого типа.

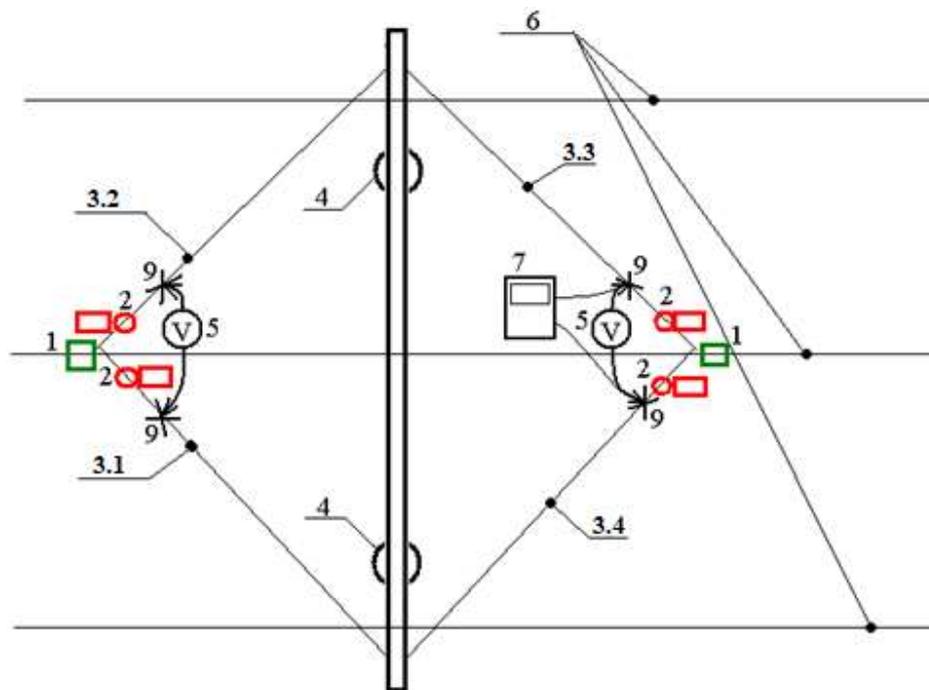


Рисунок 1 - Схема измерения напряжения между оттяжками, расположенными с одной стороны опоры.

1 – железобетонные плиты крепления тросовых оттяжек; 2 – токоизмерительные клещи; 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 – тросовые оттяжки; 4 – опоры ВЛЭП; 5 – вольтметр; 6 – токоведущие провода ВЛЭП; 7 – осциллограф; 9 – тросовые зажимы.

В процессе экспериментальных исследований проводились измерения величины тока в оттяжках и величины напряжения между оттяжками, на опорах № 247, и 253. Измерение тока проводилось посредством клещей производства фирмы АРРА.

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Статические характеристики напряжения оттяжками, расположенными с одной стороны опоры, В

№ опоры	247	253
Напряжение между 3.1 и 3.2 оттяжками, В	0,29	0,23
Напряжение между 3.3 и 3.4 оттяжками, В	0,25	0,196

Таблица 2 – Статические характеристики тока в оттяжках, мА

№ опоры	247	253
Оттяжка 3.1	16	19/15
Оттяжка 3.2	9,0	115/105
Оттяжка 3.3	5,0	145/146
Оттяжка 3.4	4,0	47/51

Среднее значение токов I3.1, 3.2 и I3.3, 3.4 в контуре, образуемом верхней траверсой опоры и соответственно оттяжками 3.1, 3.2 и 3.3, 3.4 определялось из следующих выражений: $I_{3.1, 3.2} = (I_{3.1} + I_{3.2})/2$; $I_{3.3, 3.4} = (I_{3.3} + I_{3.4})/2$.

Таблица 3 – Средние значения токов в оттяжках, мА

№ опоры	247	253
I3.1, 3.2	12,5	127
I3.3, 3.4	4,5	194,5

Зависимость напряжения между оттяжками в функции среднего значения тока в контуре, образуемом верхней траверсой опоры и оттяжками, расположенными с одной стороны опоры (далее контур), имеет вид, представленный на рисунке 2.

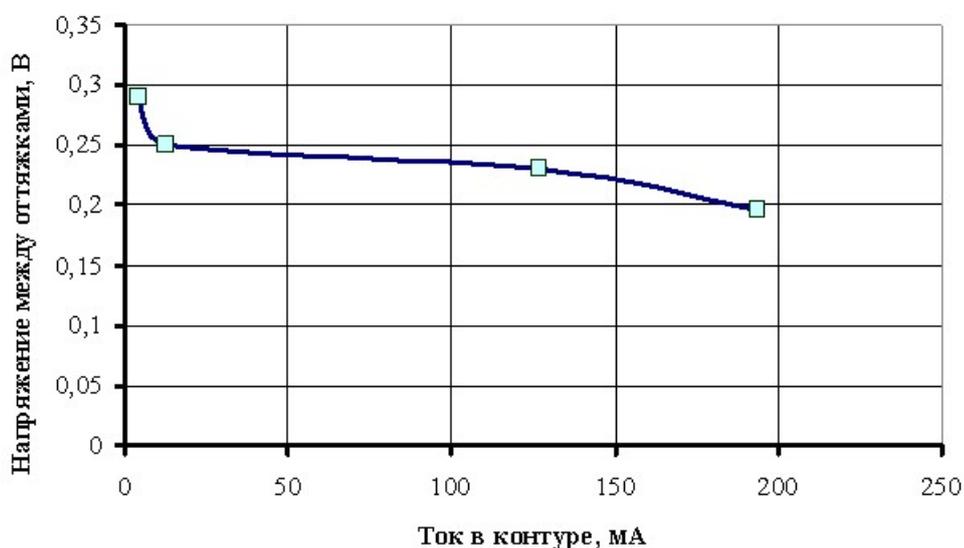


Рисунок 2 – Вольт-амперная характеристика наведённой энергии в контуре

На основании проведённого анализа различного типа солнечных батарей, их технических характеристик и возмущающих факторов, а также возмущающих факторов наведённой энергии в грозотросе, разработаны два варианта структурных схем автономных источников электроэнергии, предназначенных для питания локальных систем. В связи с тем, что локальные системы сбора первичной обработки и передачи информации на диспетчерский пункт конструктивно расположены на опоре ВЛЭП, источники электропитания используют энергию солнечного света (первый вариант) либо энергию, наведённую в грозотросе от токоведущих проводов (второй вариант).

Базовым преобразователем солнечной энергии в электрическую в первом варианте будут являться две солнечные батареи, ориентированные на юг. Структурная схема источника электропитания представлена на рисунке 3.

В связи с зависимостью энергии, вырабатываемой солнечной батареей, от угла падения солнечных лучей, решено использовать две солнечные батареи, расположенные под углом $+30^\circ$ и -30° к горизонту. Данное решение позволяет увеличить время заряда аккумуляторных батарей G1. С целью предотвращения перетоков энергии между солнечными батареями A1 и A2 при параллельном их включении, осуществлена их развязка с помощью диодов VD1 и VD2. Так как величина напряжения на выходе солнечных батарей A1 и A2 в

значительной степени зависит от нагрузки, температуры окружающей среды и солнечного освещения, на выходе солнечных батарей установлен импульсный стабилизатор А3.

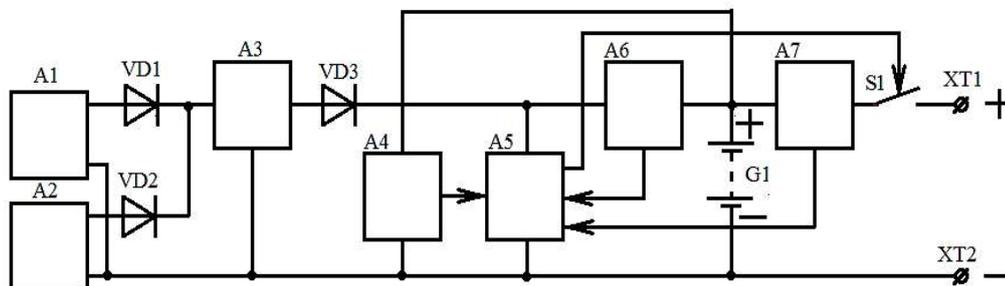


Рисунок 3 – Структурная схема блока питания на базе солнечных батарей

На выходе стабилизатора установлена аккумуляторная батарея G1, которая обеспечивает электропитанием оборудование локальной системы в тёмное время суток.

С целью предотвращения разряда аккумуляторной батареи на внутренние цепи импульсного источника электропитания между ними установлен диод VD3. Контроль за зарядом и степенью разряда аккумуляторной батареи выполняет контроллер А5. В случае разряда аккумуляторной батареи ниже допустимой нормы, нагрузка отключается посредством ключа S1. Последующее подключение нагрузки происходит только после того, как аккумуляторная батарея зарядится более чем на 50 % от ее номинальной емкости. Контроль степени заряда или разряда аккумуляторной батареи оценивается по двум параметрам: току заряда (осуществляется по разности токов с датчиков А6 и А7), напряжению на зажимах аккумуляторной батареи, которое измеряется посредством датчика напряжения А4.

Главным условием, определяющим величину ёмкости при 100 % заряженной аккумуляторной батареи, должно быть обеспечение бесперебойного электроснабжения оборудования локальной системы в течении двух суток без её дозарядки в течение этого интервала времени.

Второй вариант источника электропитания локальной системы основан на использовании энергии, наведённой в грозотросе ВЛЭП. Структурная схема источника электропитания для второго варианта представлена на рисунке 4.

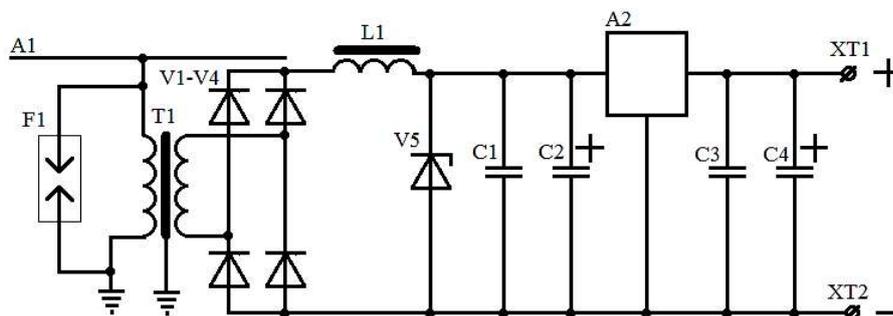


Рисунок 4 – Структурная схема источника электропитания от энергии грозотроса

Наведённая в грозотросе А1 энергия от токоведущих проводов ВЛЭП содержит, помимо напряжения промышленной частоты, кратковременные броски напряжения значительной амплитуды, вызванные коммутационными процессами и грозовыми разрядами. В настоящее время конструкцией опор предусмотрено наличие разрядников F1, которые

обеспечивают частичный разряд высокого напряжения на землю. Вторичное ограничение перенапряжения осуществляется путём насыщения магнитопровода трансформатора Т1. С целью снижения межобмоточной ёмкости выполняется заземление магнитопровода. Конструкция трансформатора выполняется по двух катушечной схеме. Выпрямленное напряжение, посредством выпрямителя V1-V4 через токоограничивающий дроссель L1, поступает на третье звено ограничения напряжения (стабилитрон V5). В связи с тем, что наведённое в грозотросе напряжение имеет ограниченную мощность, недостаточную для питания электрооборудования локальной системы в течение 3-х минут, в качестве буферного аккумулятора С2 предлагается использовать супер-конденсаторы, выпускаемые фирмой ООО «ТПС» (Россия). С выхода супер-конденсатора напряжение поступает на импульсный стабилизатор А2 конденсаторы С3 и С4 их назначение и электрические параметры обусловлены техническими характеристиками и условиями эксплуатации импульсного стабилизатора.

В дальнейшем с целью определения технических характеристик супер-конденсатора необходимо:

- провести теоретические исследования характеристик энергии, наведённой в грозотросе;
- выбрать оборудование локальной системы и определить статические и динамические характеристики его энергопотребления.

Заключение

Таким образом, в работе выполнен анализ характеристик и условий эксплуатации и разработаны рекомендации по применению солнечных батарей.

На основании выполненного анализа технических характеристик солнечных панелей для питания локальных блоков, конструктивно расположенных на опорах воздушных линий электропередач, рекомендованы кристаллические кремниевые СБ, как имеющий более высокие показатели эффективности, большую доступность на рынке продаж и относительно невысокую стоимость.

Проведены экспериментальные исследования энергетических характеристик наведённой энергии в металлических элементах конструкции опор ВВЛЭП.

Напряжение, наведённое в контуре, образуемом оттяжками, а также верхней траверсой опоры при среднем значении тока в контуре меньше 5 мА, увеличивается до 0,3 В. При токе в контуре от 10 до 130 мА напряжение изменяется незначительно. С увеличением тока свыше 130 мА напряжение уменьшается до 0,23 В. Дальнейшее увеличение тока до величины 194 мА приводит к уменьшению напряжения до 0,196 В.

Напряжение, наводимое в контуре, определяется в основном его геометрическими размерами, пространственным расположением контура относительно токоведущих проводов ВЛЭП и магнитными характеристиками среды контура. Вышеперечисленные параметры остаются одинаковыми для всех опор порталного типа аналогичной конструкции. В связи с этим можно принять, что напряжение, наводимое в контурах других опор, будет очень близко по величине к значению 0,3 В.

С учётом возмущающих факторов энергии, наведённой в грозотросе, и характеристик СБ, влияющих на стабильность работы элементов систем мониторинга, расположенных на опорах ВВЛЭП, разработаны два варианта структурных схем источников питания локальных систем распределённого программно-аппаратного комплекса диагностики элементов конструкции ВВЛЭП.

Литература

1. Тошходжаева М.И. Повышение надежности системы электроснабжения как фактор устойчивого обеспечения народного хозяйства электроэнергией. Вестник ТГУПБП №3, 2015г., с. 71-77.
2. Виды солнечных батарей: сравнительный обзор конструкций. Электронный ресурс <https://oboiman.ru/ingeneer/sravnitelnyj-obzor-razlicnyh-vidov-solnecnyh-batarej.html> (дата обращения: 26.03.2021 г.).
3. Солнечные панели с КПД в 29%. – URL: <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/3935-nedorogaya-solnechnaya-panel-s-rekordnym-kpd-v-29-rojdet-v-serijnoe-proizvodstvo.html> (дата обращения: 26.03.2021 г.).
4. Выбор солнечных панелей. – URL: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/mono-or-poly-solar-panels.htm> (дата обращения: 26.03.2021 г.).
5. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Мингалеева Р.Д. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, 2016. – 90 с.
6. Ramadan J.M., Mohamed R.G., Mujahed Al-Dhaifallah, Hegazy R. Environmental Impacts on the Performance of Solar Photovoltaic Systems. Sustainability. 2020, 12, 608; URL <https://www.mdpi.com/pdf> (дата обращения: 26.03.2021 г.).
7. Каверин В.В., Эм Г.А., Байц В.Е., Имангалиева К.Ж., Ежебаева Ш.Е. Исследование характеристик энергии, наведённой в грозотросе высоковольтных воздушных линий электропередач. Автоматика и информатика. - КарТУ 2020, №1, с. 20-27.