

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АГРОАГРЕГАТОВ

Д.С. Стребков, А.М. Башилов, В.А. Королев, В.З. Трубников

Рассмотрено использование резонансных методов передачи электроэнергии для электроснабжения агроагрегатов и устройств, применение элементов инфраструктуры резонансных систем электроснабжения для навигации и управления движением мобильных подвижных агроагрегатов.

Ключевые слова: резонансная система электроснабжения, однопроводниковый кабель, линия электропередачи, стоячая волна.

Использование в растениеводстве электрифицированных тягово-транспортных и технологических агроагрегатов (ЭТТА) перспективно в составе роботизированных систем при реализации новейших индустриальных технологий, для работ в условиях вредных для здоровья человека воздействий, замены людей при выполнении больших объемов тяжелого низкопроизводительного неквалифицированного труда. Современные ЭТТА создаются на базе существующих мобильных агрегатов (тракторов, комбайнов и др.), в виде агромоновых комплексов, компактных роботов специализированного применения. Такие реализации при использовании средств автовождения, навигации и управления технически и экономически эффективны, реальны и осуществимы.

Главным ограничением, сдерживающим широкое применение устройств данного класса, является отсутствие надежных недорогих функциональных источников электроснабжения, характеристиками которых в значительной степени определяются эффективность и качество функционирования ЭТТА. При внедрении ЭТТА актуальной также является задача управления их движением и навигации. В робототехнике создан большой научно-практический задел по данному вопросу. Однако, как показывает практика, простой перенос и адаптация технических решений из других областей техники в агропроизводство, функционирующее в специфических тяжелых режимах работы, условиях эксплуатации и обслуживания, без существенной доработки и доводки неэффективен или невозможен.

Практически безальтернативной системой электроснабжения ЭТТА в настоящее

время является разработанная специалистами ГНУ ВИЭСХ на основе теории Н.Теслы система передачи электроэнергии по однопроводниковой (волноводной) линии, работающей в резонансном режиме при напряжении 0,5-500 кВ частоте 0,1-100 кГц [1,2]. По сравнению с традиционными, эта система характеризуется высокими КПД, надежностью и ресурсом, меньшими габаритами и массой линий электропередачи, сокращением эксплуатационных затрат и реализует нетрадиционный метод передачи электроэнергии практически без потерь во вторичном контуре (линии электропередачи) из-за отсутствия здесь токов проводимости [1].

Эффективность резонансных систем возрастает при электроснабжении потребителей, распределенных на территориях большой площади и получающих электроэнергию от линии передачи значительной протяженности. Для существующих и вновь строящихся систем электроснабжения предложена структура системы (рисунок 1), в которой, кроме основного источника электроэнергии (традиционная система) применены дополнительные источники, распределенные вдоль всей протяженности линии электропередачи.

Места подключения дополнительных источников электроснабжения определяют по специальному алгоритму, предусматривающему определение в линиях электропередачи точек, в которых потеря напряжения при подключении всех электроприемников и работе их при полной нагрузке может составить два значения ее предельно допустимой величины, регламентируемой стандартами, технологическими или другими специальными требованиями. В этих точках осуществля-

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АГРОАГРЕГАТОВ

ют подключения дополнительных источников электроснабжения.

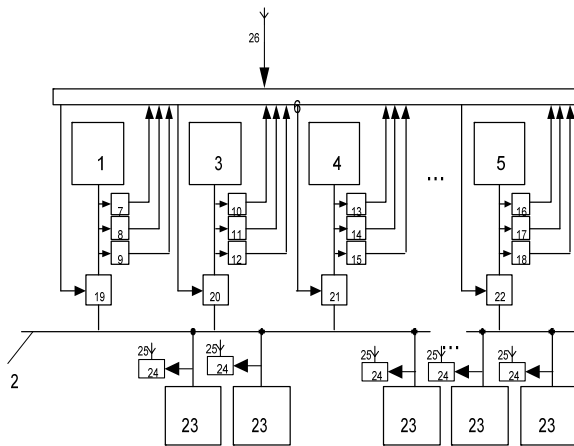


Рисунок 1 - Вариант реализации резонансной системы электроснабжения для существующих или вновь строящихся объектов

1 - основной источник электроснабжения, 2 - линия электропередачи, 3, 4, ..., 5 - дополнительные источники электроснабжения (число дополнительных источников зависит от длины линии, количества и мощности электроприемников), 6 - система управления, 7-18, 24 - устройства контроля параметров качества питающего напряжения и значений нагрузки в различных точках линий электропередачи и на электроприемниках, 19-22 - защитно-коммутационные аппараты, 23- электроприемники, 25, 26 - средства передачи информации.

При функционировании в линии электропередачи в точках подключения источников электроснабжения постоянно осуществляют измерение параметров качества электроэнергии. Если параметры качества электроэнергии в этих точках не соответствует регламентируемым значениям, устранение отклонений производят регулировкой параметров источников электроснабжения, на которых зафиксированы отклонения. При использовании системы электроснабжения данной структуры происходит перераспределение нагрузки между источниками электроснабжения, питание электропотребителей осуществляется от ближайших к ним источников. Если на каком-либо участке линии электропередачи электропотребители отключены длительное время, ближайшие к этим участкам источники электроснабжения отключены. Перераспределение нагрузки обеспечивает снижение тока в линии электропередачи, что приводит к уменьшению потери напряжения и электрических потерь. При таком подключении наибольшая потеря

напряжения может возникнуть в точках линии электропередачи, находящихся между источниками электроснабжения, но ее значение не будет превышать допустимой величины. Как правило, в качестве основного источника электроснабжения применяют традиционные источники электроснабжения (централизованный или автономный). В качестве дополнительных источников электроснабжения наиболее целесообразно использовать однопроводниковую резонансную систему.

Система может быть применена как для стационарных, так и для мобильных электроприемников с контактным и бесконтактным электроснабжением. В резонансных системах однопроводниковая волноводная линия может реализовываться в виде контактной троллеи, изолированной бесконтактной троллеи, непосредственно связанным устройством сверхтонкого прочного кабеля, сформированного лазерным излучением или электронным лучом проводящего канала в воздухе, проводящих сред (земля, вода и т.д.) [1].

Схема бесконтактного питания ЭТТА (рисунок 2) предусматривает подачу электрической энергии от источника через высоковольтный высокочастотный преобразователь и однопроводниковую линию к токоприемникам на борту ЭТТА через воздушный промежуток между однопроводниковой линией, проложенной в почве, и токоприемником на днище агрегата. Использование такой схемы не имеет принципиальных ограничений по протяженности линии и передаваемой мощности. В данной системе, в зависимости от условий и траекторий движения, возможно, формировать направление вектора напряженности магнитного поля: вертикально, горизонтально вдоль направления движения или поперек (рисунок 3).

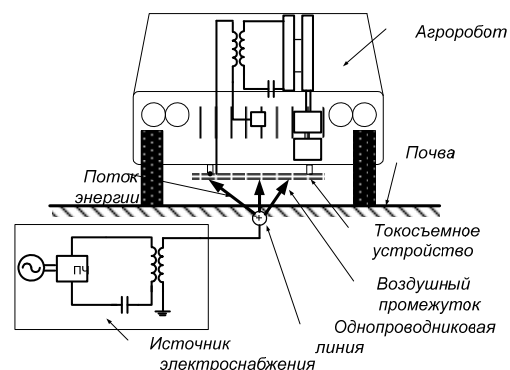


Рисунок 2 - Схема беспроводного питания ЭТТА

Системы электроснабжения на основе однопроводной (резонансной) линии электропередачи [1] характеризуются высокими технико-экономическими показателями, значительным увеличением надежности и ресурса, уменьшением габаритов и массы за счет применения кабеля малого сечения; сокращением эксплуатационных затрат.

В конкретных случаях создания новых систем данного типа приходится заново проектировать все оборудование системы исходя из параметров передающей линии (длина, условия прокладки и др.), требуемой мощности и т.д. Однако при этом каждый раз возникают трудности, связанные с тем, что существующие методики не позволяют однозначно и корректно выбирать значения емкостей, индуктивностей, рассчитать трансформаторы. Как известно, в резонансной системе электроснабжения используются трансформаторы Тесла. Методики по определению указанных параметров ориентированы либо на традиционные способы передачи электроэнергии, либо на расчет радиосистем. В то же время физические процессы в резонансной системе электроснабжения радикально отличаются от процессов, происходящих в традиционных системах. В высоковольтной обмотке передающего трансформатора и линии при под действием возмущения (генератор в низковольтной обмотке) возникают бегущая и падающая (отраженная) волны. В результате взаимодействия этих волн возникают стоячие волны (холостой ход передачи). Чем больше мощность первичного источника энергии, тем выше вероятность повреждения трансформатора из-за перенапряжения части его высоковольтной катушки. Бегущая волна переносит энергию источника на нагрузку. Происходящие процессы описываются уравнениями Максвелла [2]. Однако расчеты с помощью этих уравнений, как правило, приводят к противоречивым результатам (токи смещения вырождаются). Поэтому на практике процесс проектирования элементов системы электроснабжения составляет длительное время и имеет большие погрешности. Приходится экспериментально доводить значения параметров до необходимых. Так же нельзя предварительно спроектировать габаритные размеры катушек, а это очень важно для мобильных робототехнических систем, где борются за минимизацию габаритов. Исходя, из выше сказанного становится очевидна, необходимость иметь расчетные формулы для определения основных параметров однопро-

водной системы, таких как передаваемая мощность, габариты катушек, частоты на которых возможна резонансная передача и т.д.

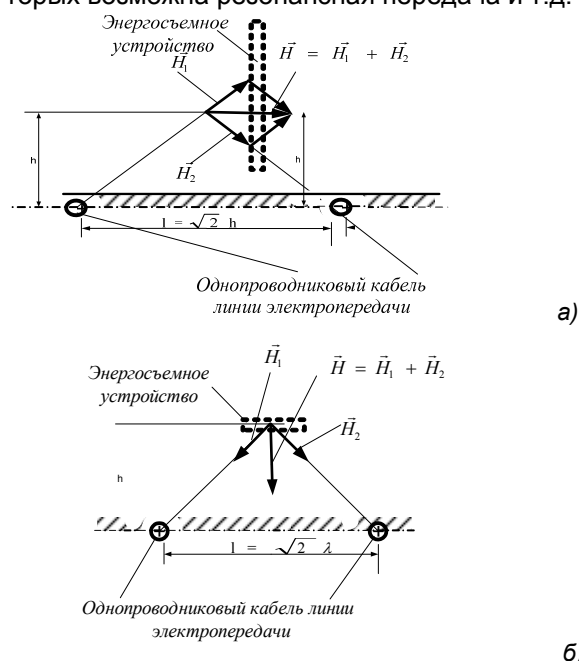


Рисунок 3 – Формирование направления напряженности вектора напряженности магнитного поля при бесконтактном электроснабжении ЭТТА. а – вертикально, б – горизонтально

Разработана и апробируется специальная методика для расчета характеристик передающего и принимающего контуров высоковольтных трансформаторов резонансных систем электроснабжения, а так же передаваемой мощности.

Исходными данными расчета катушек высоковольтного трансформатора являются четыре набора данных:

- первичный (данные потребителя: мощность, длина линии);
- технологический (с распределенными и сосредоточенными);
- данные конкретного оборудования (подгонка под конструкцию оборудования);
- данные эксплуатации (допустимый перегрев катушек, механические воздействия, окружающая среда).

Блок – схема алгоритма расчета обмоточных данных трансформатора дана на рисунке 4. По эмпирическим формулам находим подходящие габариты принимающей катушки, с условием, что она должна работать как четвертьволновый вибратор, таким образом, обеспечиваем максимум напряжения закаченного в линию передачи. По формулам воздушного трансформатора находим пара-

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АГРОАГРЕГАТОВ

метры закачивающей катушки и определяем ее геометрические размеры. Учитывая то, что принимающий контур зеркально повторяет передающий, находим мощность нагрузки.

Методика должна обеспечить расчет параметров элементов системы исходя из регламентируемых техническим заданием параметров и режимов передачи электроэнергии потребителю. Дополнительные условия выполнения расчета:

- минимальные масса и габариты;
- минимум расхода материалов;
- минимальная стоимость;
- допустимый температурный режим;
- адаптация конструкции катушек к конструкции объекта (каркас длинный с минимальным диаметром, компактный при минимальном объеме).

Применение резонансной системы электроснабжения в случаях, когда трасса прокладки однопроводниковой волноводной линии совпадает с маршрутом перемещения ЭТТА, может упростить и удешевить решение задач определения местонахождения агрегата на возделываемом угодье. При работе в однопроводниковом кабеле линии электропередачи по всей длине его прокладки образуются стоячие волны напряженности электрического поля. Частота и фаза колебаний всех участков стоячей волны одинаковы, а амплитуда этих колебаний меняется во времени вдоль однопроводникового кабеля линии электропередачи от нуля ("узлы") до максимального значения ("пучности"). Распределение напряженности электрического поля (ξ) во времени (t) и вдоль трассы ее распределения описываются известной зависимостью:

$$\xi(t) = 2A * \cos \frac{2\pi}{\lambda} x * \cos \omega t,$$

где, A – амплитуда напряженности электрического поля, λ – длина волны, x – расстояние от начала однопроводниковой линии до рассматриваемой точки, ω – угловая частота.

Явление наличия стоячих волн используют на этапе настройки системы при вводе ЭТТА в эксплуатацию при привязке трассы прокладки однопроводникового кабеля к ориентирам на местности и определении значений напряженности электрического поля во всех точках этой трассы. Привязку трассы прокладки кабеля к ориентирам на местности производят с помощью специальных технических

устройств, например, лазерных дальномеров, средств технического зрения и др. Значения напряженности электрического поля во всех точках трассы прокладки кабеля определяют экспериментально, используя датчики электрического поля, либо расчетными методами с применением зависимости распределения характеристик стоячей волны.

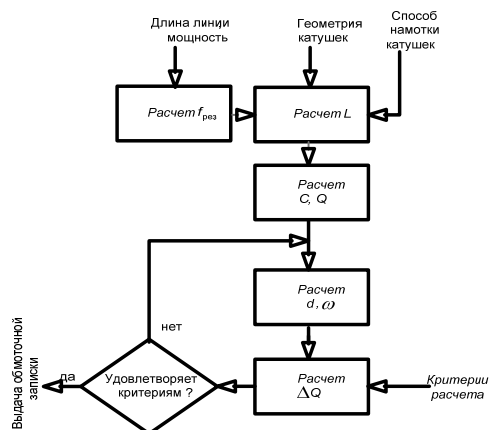


Рисунок 4 - Блок-схема алгоритма расчета элементов резонансной системы электроснабжения

При штатной эксплуатации однопроводниковый кабель должен располагаться под токосъемным устройством, установленным на днище ЭТТА. Смещение агрегата от трассы прокладки кабеля однопроводникового кабеля оценивается сравнением значений напряженности слева и справа от токосъемного устройства. Измерения значений напряженности электрического поля вдоль трассы прокладки кабеля обеспечивают локализацию точки нахождения мобильного агрегата относительно однопроводникового кабеля линии электропередачи резонансной системы электроснабжения и на возделываемом угодье. По полученным координатам местонахождения мобильного агрегата вырабатывают воздействия для управления его движением. Кроме этого, характер кривой стоячей волны позволяет определить местоположение объекта относительно трассы движения достаточно точно. В описываемой системе управление движением ЭТТА реализуется с применением методов «нечеткого» моделирования.

Также для навигации, управления движением и выполнения технологических про-

цессов для дистанционно-управляемых и автоматических робототехнических комплексов сельскохозяйственного назначения при проведении полевых работ целесообразно использовать систему технического зрения. На мобильном ЭТТА предусмотрена система, осуществляющая контроль и видеонаблюдение окружающей среды (роста и развития растений, поведения животных, препятствий, приближающегося транспорта, людей, животных, а также охрану территории, автовождение и т.д. С состав стереоскопической системы технического зрения входят две цифровые цветные видеокамеры, работающих синхронно. Камеры размещены на устройстве позиционирования с микропроцессорным управлением. Цифровые потоки с видеокамер передаются на компьютерный вычислительный блок. Устройство позиционирования обеспечивает круговой обзор рабочей зоны и наведение оптической системы на агрообъект с целью определения расстояния до объекта и распознавания его морфологических признаков. Поворот видеокамер на 180 градусов позволяет наблюдать агрообъекты, расположенные спереди и сзади мобильного робототехнического средства.

На VI Московском международном салоне инноваций и инвестиций в г. Москве 7-10 февраля 2006 г. ГНУ ВИЭСХ за разработку мобильного электроагрегата с резонансной однопроводниковой системой электроснабжения награжден дипломом за подписью Министра образования и науки РФ А.А. Фурсенко. На 6 международном симпозиуме, посвященном 150-летию Н. Тесла в Белграде в октябре 2006 г., Правительство Сербии наградило ВИЭСХ за вклад в практическую реализацию технологий Н. Тесла по передаче электрической энергии.

Выводы

Для решения проблем энергоресурсосберегающей оптимизации агротехнологий целесообразным представляется применение резонансных систем электроснабжения, раз-

работка системы управления роботизированными агротехнологическими комплексами с использованием элементов инфраструктуры резонансной системы электроснабжения, а также мобильных дистанционных систем видеонаблюдения и навигации.

Элементы инфраструктуры резонансной однопроводниковой системы электроснабжения обеспечивают возможности локализации объекта на трассе прокладки кабеля линии электропередачи и движения его по заданному маршруту.

Применение системы технического зрения и навигации обеспечивают безопасность движения мобильного агротехнического средства и высокую точность выполнения агротехнических операций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nikola Tesla. Colorado Springs Notes 1889-1900. Published by Nolit, Beograd, 1978. 437 pp.
2. Стребков, Д.С. Некрасов А.И. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии/ Д.С. Стребков, А.И. Некрасов-М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. - 351 с.
3. Патент РФ 2332824, Система управления движением мобильного подвижного сельскохозяйственного объекта/ авторы: Стребков Д.С., Королев В.А., Фельдшеров А.Ю., Некрасов А.И. и др.: - Бюл. № 25, 2008.
4. Башилов, А.М., Видеонаблюдение и навигация в системах точного земледелия/ А.М. Башилов, В.А. Королев/ Вестник МГАУ «Агроинженерия», вып. №3(34).- 2009.-С. 7-11.

Стребков Д.С., акад. РАСХН, директор Государственного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии), E-mail: viesh@dol.ru;

Башилов А. М., д.т.н., проф., зав. лабораторией ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии, E-mail: viesh@dol.ru;

Королев В.А., к.т.н., доц., зав. лабораторией E-mail: vieshvk@yandex.ru;

Трубников В.З., с.н.с. ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии, E-mail: viesh@dol.ru