

## СЕКЦИЯ Г. ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.3

### МАЛОРАСПРОСТРАНЕННАЯ ФОРМА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ АНАЛОГИИ

Д. В. Комнатный

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В технических университетах Республики Беларусь осуществляется подготовка инженеров по эксплуатации автоматизированного электропривода, электрического транспорта и другого электромеханического оборудования. Для специалистов в этих областях одинаково важна подготовка и по теоретической механике, и по теоретическим основам электротехники. К сожалению, в большинстве случаев эти дисциплины излагаются совершенно не связанными друг с другом. Это приводит, во-первых, к утрате наглядности при изучении основ теории электромагнетизма. Во-вторых, различные отрасли физико-математических наук искусственно разделяются непроницаемыми перегородками. Поэтому, в-третьих, связанный математическим подобием материал излагается в разных курсах параллельно, что выглядит неоправданным повторением.

Хорошо известна аналогия между механическими и электромагнитными колебаниями. Но ее использование для устранения указанных недочетов осложняется тем обстоятельством, что теория колебаний является скорее ветвью прикладной математики. Выводы этой теории существуют на стыке многих естественных наук. Для демонстрации глубинной связи классической механики и классической электродинамики требуется более наглядный и конкретный тип аналогии. Такой аналогией является известная из работ Дж. К. Максвелла и Л. Больцмана аналогия между электрическими цепями и шестеренчатыми механизмами.

В доступной литературе эта аналогия изложена недостаточно полно. Поэтому в докладе рассмотрены электрические цепи как с индуктивной, так и с емкостной связью и аналогичный им дифференциальный механизм.

Методом уравнений Лагранжа второго рода можно показать, что движение дифференциального механизма и процессы в двух электрических контурах с индуктивной или с емкостной связью описываются системой дифференциальных уравнений вида

$$a_{11}\ddot{q}_1 + a_{12}\ddot{q}_2 + b_{11}\dot{q}_1 = \Psi_1,$$

$$a_{21}\ddot{q}_1 + a_{22}\ddot{q}_2 + b_{22}\dot{q}_2 = \Psi_2,$$

где коэффициенты  $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ,  $a_{21}$ ,  $a_{22}$  имеют смысл моментов инерции для дифференциального механизма, собственных и взаимной индуктивностей или собственных и взаимной емкостей для соответствующих контуров; коэффициенты  $b_{11}$ ,  $b_{22}$  – смысл коэффициентов трения или омических сопротивлений;  $\Psi_1$ ,  $\Psi_2$  – обобщенные силы. Обобщенные координаты  $q_1$ ,  $q_2$  являются углами поворота колес механизма, зарядами в индуктивно связанных контурах, напряжениями в контурах с емкостной связью.

Физический смысл этой аналогии по Максвеллу и Больцману состоит в том, что можно спроектировать механизмы, параметры движения которых аналогичны процессам во взаимосвязанных электрических контурах, и таким образом, основывать теорию электромагнетизма на учении о механическом движении. Однако при анализе более сложных цепей механизмы-аналоги становятся крайне громоздкими.

Рассмотрение описанной аналогии в современных курсах позволяет сохранить генетические, концептуальные и методические связи классической механики и максвелловой электродинамики. В ней продемонстрирована общность лагранжева подхода для весьма широкого круга физических явлений. Также из нее видно, что электродинамика, хотя и связана с механикой, но несводима к последней, и является теорией более высокого уровня. Описанная аналогия хорошо подходит для подготовки инженеров-электромехаников по причине ее большей простоты и наглядности.

УДК 621.31.019.3:631.371

### **ФОРМИРОВАНИЕ ТАРИФОВ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**О. Ю. Пухальская**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В связи с переходом электроэнергетики к рыночным отношениям возникла необходимость учитывать при формировании тарифов на электроэнергию фактор надежности электроснабжения.

Целью исследований является определение дифференцирующей надбавки за надежность к тарифу на электроэнергию для сельскохозяйственных потребителей. Дополнительные средства, полученные энергоснабжающими организациями от потребителей в качестве платы за надежность, позволят поддерживать ее на заявленном уровне.

Дифференцирующая надбавка за надежность к тарифу на электроэнергию (р./кВт · ч) может быть представлена в виде:

$$\Delta_T = \alpha \cdot y_0 \cdot N \cdot \tau = \alpha \cdot y_0 \cdot \tau_{\Sigma},$$

где  $\alpha$  – доля возмещаемого потребителю ущерба, отн. ед.;  $y_0$  – удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии рассматриваемому потребителю, р./кВт · ч;  $N$  – количество внезапных отключений потребителя в год, откл./год;  $\tau$  – средняя продолжительность одного внезапного отключения, ч;  $\tau_{\Sigma}$  – суммарная продолжительность внезапных отключений потребителя в год, ч/год.

Для животноводческого комплекса (фермы) по производству молока зависимости дифференцирующей надбавки от продолжительности отключений  $\tau_{\Sigma}$  и доли  $\alpha$  представлены на рис. 1.

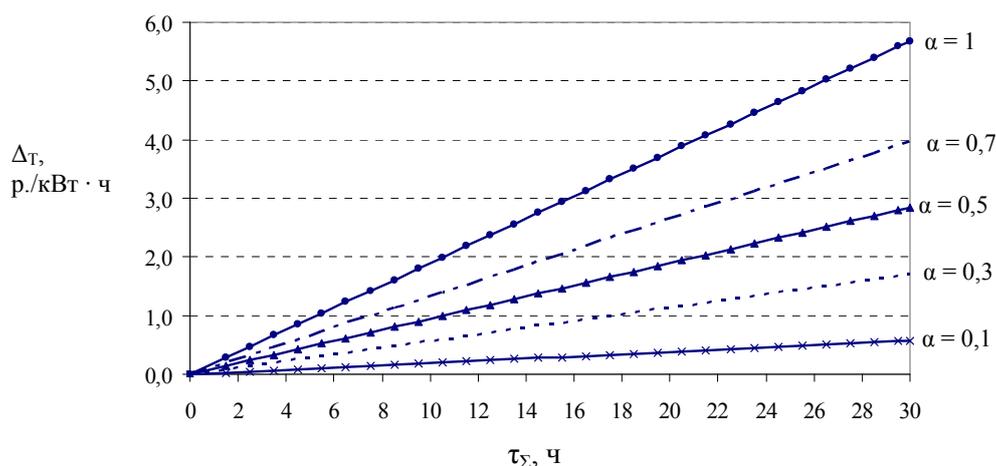


Рис. 1

Таким образом, при формировании тарифов на электроэнергию необходимо включать в тариф надбавку за надежность, которую можно рассчитывать в зависимости от величины ущерба потребителю от перерывов электроснабжения, количества и продолжительности отключений, выбранной потребителем доли возмещения ущерба.

УДК 62-83-52

### О ПРОБЛЕМАХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДАХ

И. В. Дорощенко, М. Н. Погуляев, В. С. Захаренко, В. В. Тодарев

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В настоящее время для проведения приемо-сдаточных испытаний двигателей внутреннего сгорания (ДВС) все более широко начинают использоваться энергосберегающие нагрузочные стенды на основе асинхронно-вентильных каскадов (АВК). Данные стенды позволяют производить холодную и горячую обкатку ДВС с рекуперацией энергии скольжения в сеть, что приводит к уменьшению потребляемой мощности. Одним из недостатков стендов на основе АВК является возникновение сквозных токов вблизи номинальной скорости асинхронного двигателя [1], которые способны вызвать аварийный режим стенда.

Целью исследований является определение максимально-допустимых значений сквозных токов, при которых не нарушается работоспособность стенда.

Причиной возникновения сквозных токов (не протекающих по обмотке ротора) является появление положительных участков ЭДС инвертора при углах управления  $\alpha < 120^\circ$  в диаграмме выходной ЭДС мостового инвертора (рис. 1). Из диаграммы следует, что при  $\alpha > 120^\circ$  сквозные токи будут отсутствовать, но верхний предел скорости при этом будет менее  $0,85 \cdot \omega_0$ , что не всегда отвечает требованиям технического регламента приемо-сдаточных испытаний. С уменьшением угла  $\alpha$  до  $90^\circ$  сквозной ток увеличивается и может достичь недопустимых значений, что приведет к опрокидыванию инвертора.

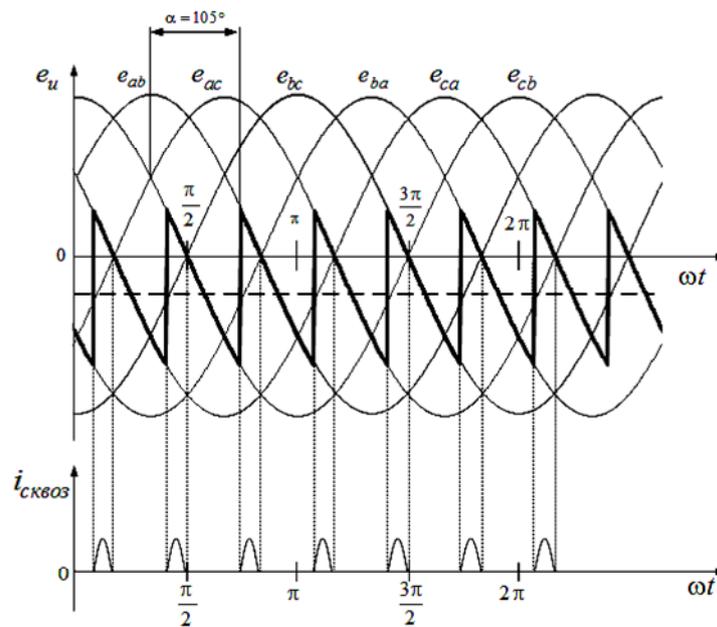


Рис. 1. Диаграммы выходных ЭДС и тока инвертора асинхронно-вентильного испытательного стенда

Для ограничения сквозного тока в цепь выпрямленного тока устанавливают дроссель, однако значительное увеличение индуктивности приводит к недоиспользованию асинхронного двигателя по моменту. В результате расчетов и экспериментальных исследований установлено, что задавая начальное значение сквозного тока в пределах 10–15 % от номинального тока инвертора, можно обеспечить максимальное значение рабочей скорости близкое к номинальной. При этом аварийный режим работы АВК не возникает.

#### Литература

1. Асинхронно-вентильные нагружающие устройства / С. В. Хватов [и др.]. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 144 с. : ил.

УДК 621.313.333

### ФОРСИРОВКА ПУСКО-ТОРМОЗНОГО УСТРОЙСТВА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

В. В. Соленков, В. В. Брель

Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь

Асинхронные двигатели (АД) со встроенными электромеханическими устройствами в основном предназначены для привода механизмов, работающих в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками и требующих фиксированного останова за регламентированное время после отключения АД от сети [1]. Управление нормально-замкнутым механическим тормозом часто осуществляется с помощью силового электромагнита.

В случае, когда силовой электромагнит работает на переменном токе, тормозной электродвигатель отличается простотой конструкции и высоким быстродействием при включении. Однако электромагниты переменного тока не получили широко-

го распространения из-за большой кратности пускового тока по отношению к номинальному (при притянтом якоре), ограничивающей допустимое число включений в час; наличия ударов и больших динамических усилий, приводящих к уменьшению срока службы тормозной системы; сложности технологии изготовления шихтованного магнитопровода; недопустимой в ряде случаев пульсации силы электромагнитного притяжения; малой надежности и необходимости частого регулирования.

Использование обычных электромагнитов постоянного тока нежелательно из-за значительных габаритов и потерь энергии, а также большого расхода меди и стали. Перспективным при этом является использование электромагнитов постоянного (выпрямленного) тока с форсировкой [2], [3], что способствует быстрому растормаживанию электродвигателя. В данном случае к электромагниту при включении подводится мощность в несколько раз больше той, которая потребляется им в номинальном режиме (при притянтом якоре). Для этого кратковременно увеличивают ток в обмотке электромагнита либо напряжение, приложенное к ней. При этом номинальным током электромагнита является ток удержания, который намного меньше тока трогания.

Использование силового электромагнита для создания дополнительного пускового момента на валу двигателя ведет к улучшению характеристик двигателя в целом. Авторы предлагают две различные схемы управления пуско-тормозного устройства (однополупериодную и двухполупериодную), каждая из которых по-разному влияет на характеристики базового АД. Однополупериодная схема является более компактной и дешевой по сравнению с двухполупериодной. Однако время трогания электромагнита, зависящее от фазы включения питающего напряжения, в случае двухполупериодной схемы управления колеблется в интервале 5–13 мс, а в случае однополупериодной схемы – 5–23 мс.

#### Литература

1. Karl E. Brinkmann GmbH. Combistop KEB (Italia). – www.keb.de. – № 2. – 2000.
2. Клименко, Б. В. Форсированные электромагнитные системы / Б. В. Клименко. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 160 с. : ил.
3. Соленков, В. В. Бесконтактные схемы форсировки в тормозных устройствах асинхронных двигателей / В. В. Соленков, В. В. Брель // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. – 2009. – № 4. – С. 31–36.

УДК 621.315

## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ОДНОЖИЛЬНОГО СИЛОВОГО КАБЕЛЯ**

**Д. И. Зализный, Д. М. Лось**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В настоящее время все большее распространение получают силовые одножильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. В силу их значительной стоимости актуальной является задача непрерывного во времени температурного мониторинга и тепловой защиты таких кабелей. Для ее решения можно использовать два классических метода: непосредственных измерений и косвенных измерений. Причем в последнее время получил развитие именно метод непосредственных измерений, основанный на физическом эффекте романовского рассеяния в стандартных кварцевых многомодовых оптических волокнах. В подобных системах в качестве датчика измерения распределенной температуры используется оптоволокно. При этом суще-

ствует два способа применения оптоволоконного датчика: в экране кабеля (датчик интегрируется в процессе производства кабеля) и вдоль кабельной трассы (датчик располагается как можно ближе к оболочке силового кабеля). Эти методы имеют определенные недостатки: значительную дороговизну за счет применения специальных высокоточных быстродействующих средств измерения и невозможность непосредственного измерения температуры жилы кабеля, так как в таких системах осуществляется измерение температуры экрана или поверхности кабеля.

Методы косвенного контроля температуры элементов кабеля характеризуются минимальными аппаратными затратами и достаточно сложным программным обеспечением. Однако существенного распространения они пока не получили.

Авторами данной статьи предлагается проект аппаратно-программного комплекса для косвенного контроля в режиме реального времени температуры наиболее нагретой точки изоляции и тепловой защиты кабеля.

Аппаратная часть комплекса включает компьютер для выполнения математических расчетов цифровые регистраторы, для передачи измеряемых величин в компьютер и необходимые измерительные преобразователи. Предлагается измерять: токи в жиле и экране кабеля, напряжения жила–экран и экран–земля, температуры воздуха и грунта. При этом измерения должны осуществляться на обеих сторонах кабеля, а связь между цифровыми регистраторами – посредством радиоканала.

Программная часть комплекса должна быть основана на математической модели тепловых процессов силового кабеля, позволяющей с достаточной точностью осуществлять расчет температуры наиболее нагретой точки изоляции кабеля с учетом различных факторов, воздействующих на кабель и влияющих на его температуру. Программное обеспечение должно обеспечивать и функции тепловой защиты кабеля путем сравнения расчетных значений температуры наиболее нагретой точки изоляции с допустимым значением, которое для кабелей с пластмассовой изоляцией составляет 90 °С.

Авторами данной статьи разработана базовая математическая модель, которая учитывает следующие факторы: потери мощности во всех элементах кабеля, высшие гармонические составляющие токов, изменение температуры окружающей среды. Проведенные экспериментальные исследования показали недостаточно высокую адекватность этой модели, поэтому ее совершенствование – предмет дальнейших исследований авторов.

Предложенная автоматическая система может быть использована как непосредственно, так и в составе действующих устройств релейной защиты автоматики (РЗА) на распределительных и трансформаторных подстанциях. Ее применение повысит надежность эксплуатации кабелей.

УДК 681.58

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВНУТРИТРУБНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА**

**Э. М. Виноградов, Ю. В. Крышнев, А. В. Сахарук, М. В. Столбов**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Внутритрубные герметизаторы используются на нефтепроводах при проведении ремонтных работ. Они предназначены для изолирования дефектного участка трубопровода, что позволяет освободить его от нефти на время проведения ремонта. Принцип действия герметизатора заключается в перемещении штока гидроцилиндра под действием избыточного давления нефти вплоть до механической фиксации всего

устройства за счет трения сдвинувшихся манжет о внутренние стенки трубопровода. После этого герметизатор удерживает гидростатическое давление столба нефти на время проведения ремонтных работ.

Для отслеживания и обнаружения местоположения герметизатора в настоящее время используется система CD42, которая состоит из передающей части («маячка»), установленной на герметизатор, и приемной части («локатора»). Маячок включает в себя антенну и передатчик, который генерирует пакеты импульсов частоты 22 Гц. Локатор состоит из антенны и приемного устройства, оснащенного дисплеем. По индикации на дисплее можно определить местоположение герметизатора.

Опыт использования внутритрубного герметизатора на РУП «Гомельтранснефть Дружба» выявил следующие его недостатки:

1. Невозможность точного задания требуемого места фиксации герметизатора. Для срабатывания герметизатора стандартной конструкции необходимо поднимать давление в трубопроводе до тех пор, пока не произойдет разрыв специальной мембраны впускного клапана, после чего нефть под давлением попадает в гидроцилиндр и поступательно проталкивает шток, сдвигая механически жестко связанные с ним манжеты.

2. Отсутствие информации о действительном положении поршня гидроцилиндра, а следовательно, и о положении манжет герметизатора.

3. Затруднения с точным определением местоположения герметизатора на некоторых участках трубопровода вследствие слабого сигнала маячка.

Для преодоления этих недостатков предлагается усовершенствование конструкции внутритрубного герметизатора путем установки на нем системы управления и контроля состояния герметизатора. Система предназначена для облегчения поиска герметизатора, а также для автоматизации и мониторинга процесса герметизации нефтепровода. Система состоит из двух частей:

– внутритрубного устройства, которое непрерывно излучает пакеты импульсов частоты 22 Гц для обнаружения герметизатора по трассе трубопровода, а также непосредственно реализует функции запуска процесса герметизации (отпирания впускного клапана), измерения перемещения штока и передачи измерительной информации по радиоканалу;

– наземного устройства, посредством которого оператор обнаруживает герметизатор, управляет его состоянием по радиоканалу и наблюдает за процессом герметизации.

Все блоки системы управления и контроля были изготовлены и проверены экспериментально в лабораторных условиях на кафедре промышленной электроники ГГТУ. В настоящее время ведутся работы по испытанию системы на РУП «Гомельтранснефть Дружба».

УДК 621.396

## **АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ЩЕЛЕВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМОЙ ПАРЦИАЛЬНОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ**

**Н. И. Вяхирев, П. П. Суглоб**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В настоящее время к радиотехническим системам часто предъявляются требования повышенной электромагнитной совместимости с другими системами, повышенной помехоустойчивости систем и т. д. Для обеспечения этих требований необходимо, чтобы фазированная антенная решетка (ФАР) радиосистемы имела

парциальную диаграмму направленности (ДН) элемента с малым уровнем в области бокового и заднего излучения, например в направлении земли.

В настоящей работе рассматривается ФАР резонаторно-щелевых излучателей. Каждый элемент решетки состоит из двух щелей, располагаемых вертикально по отношению к земле. Щели возбуждаются напряжениями с равной амплитудой и разной фазой. Для обеспечения одностороннего излучения с одной стороны элементы решетки закрываются прямоугольным резонатором. В работе численно и экспериментально исследуются ДН излучателя и согласование его входов, оценивается влияние возбуждения щелей и длины резонатора на эти характеристики элемента. Численные исследования основаны на решении интегрального уравнения относительно распределения напряжения в щелях элемента, реализованном в вычислительной программе MMANA. Экспериментальные результаты получены с помощью разработанного приемно-передающего стенда для измерения диаграмм направленности антенн и панорамного измерителя КСВ и ослаблений промышленного изготовления.

Используя принцип двойственности электродинамики и вычислительную программу MMANA, выполнен численный анализ одиночного излучателя и излучателя в составе ФАР. Результаты расчетов показывают возможность управления парциальной ДН элемента ФАР изменением фазы питающих напряжений щелей в элементе. При этом излучение элемента в направлении земли может быть существенно ослаблено. Кроме того, расчеты показывают, что необходимый для сканирования ДН элемента сдвиг фазы между возбуждающими щели напряжениями не соответствует пространственному набегу фазы в направлении максимального излучения. Последнее объясняется сильным взаимодействием щелей в элементе при малых расстояниях между ними. Постановка таких излучателей в антенную решетку позволяет сканировать лучом традиционно [1], т. е. компенсируя пространственный набег фаз между элементами в решетке, так как расстояние между элементами в решетке более половины длины волны.

Экспериментальные исследования одиночного элемента (из двух щелей с одним резонатором) показали близкие к расчетным результаты. Вместе с тем и расчет, и эксперимент дали неудовлетворительные результаты по уровню согласования (КСВ на входе щелей не менее 4–5). Это также объясняется сильным взаимодействием щелей в элементе и близким расположением точки запитки щели к углу резонатора. Поэтому на входе каждой щели необходимо ставить согласующее устройство, например, четвертьволновый трансформатор при работе в полосе частот 10 % и менее [1].

#### Литература

1. Сазонов, Д. М. Антенны и устройства СВЧ : учеб. для студентов радиотехн. специальностей вузов / Д. М. Сазонов. – Москва : Высш. шк., 1988. – 432 с.

УДК 621.38.654

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ДАТЧИК С ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ СВЯЗИ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ**

**В. Н. Гарбуз**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Существует несколько подходов к организации вибрационного диагностирования. Первый подход состоит в поэтапном накоплении результатов спектрального анализа. При этом подходе считается, что всегда можно выбрать отрезок времени, за который подшипник три-четыре оборота вращается со стабильной скоростью. За это время изме-

ряется спектр огибающей, который затем усредняется с результатами аналогичных измерений в другие отрезки времени. По накопленным значениям спектра огибающей вибрации делается вывод о состоянии подшипника. Вторым подходом заключается в организации специальных диагностических режимов работы машины с постоянной скоростью вращения, например на холостом ходу. Однако этот подход малоэффективен, так как при снятии нагрузки с испытываемого подшипника дефектные шарики могут попросту не контактировать с кольцами подшипника, а следовательно, и не создавать вибрации вообще. Отсюда следует, что при диагностике на холостом ходу возникает опасность пропуска дефектного узла. Третьим подходом к диагностике подшипников при непрерывно изменяющейся частоте вращения – синхронный анализ спектров огибающей вибрации с использованием датчиков угла поворота вала с диагностируемым подшипником. Как показывает практика, при таком подходе удается диагностировать даже подшипники, работающие в качающихся механизмах.

Проблемы диагностики подшипников качения во многом определяются сложностями измерения высокочастотных составляющих вибрации. В высокооборотных подшипниках они связаны в первую очередь с потерями при распространении высокочастотной вибрации и решаются путем установки датчика вибрации на элементы подшипникового узла, имеющие непосредственный контакт с неподвижным кольцом подшипника.

Для решения обозначенных проблем предлагается датчик устанавливать непосредственно на вращающийся вал рядом с диагностируемым подшипниковым узлом, а не на неподвижную станину. Так как вал намного легче станины, то и амплитуды вибраций, передаваемых подшипниковым узлом на вал, оказываются существенно больше. Датчик в таком случае является автономной диагностической системой и включает в себя датчик вибрации с измерительным преобразователем, цифровой сигнальный процессор и радиопередатчик. Обработка сигнала с вибрационного датчика производится с помощью синхронного анализа спектра огибающей вибрации, производимого цифровым сигнальным процессором со сверхнизким энергопотреблением. Если свойства вибрации подшипникового узла говорят о том, что подшипник изношен, то процессор с помощью радиопередатчика начинает непрерывную передачу радиосигнала – метки. Установленный дистанционно приемник принимает сигнал и сигнализирует о неисправности.

В качестве сигналов неисправности был выбран ансамбль М-последовательностей. Прием М-последовательностей организован с помощью корреляционных приемников. Такая архитектура канала связи позволяет по одному каналу на фоне сильных шумов надежно принимать сигналы от нескольких десятков источников одновременно. Это делает возможным применение разработанной диагностической системы в условиях больших цехов, машинных залов и т. п.

УДК 621.314

### **РАННИЙ СПОСОБ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧАГОВ ВОЗГОРАНИЯ**

**В. А. Карпов, А. В. Ковалев, В. Н. Мизгайлов, В. А. Хананов,  
О. М. Ростокينا, Д. А. Литвинов**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В последнее время у нас и за рубежом ведутся разработки комбинированных датчиков для пожарных извещателей, в которых реализованы четыре способа обнаружения очагов возгорания и которые способны реагировать на 6 типов тес-

товых очагов пожара согласно [1]. Однако стоимость таких датчиков много выше узкоспециализированных, и по защищаемой площади они могут быть приравнены к обычным тепловым, что значительно удорожает их установку [2]. Известные способы детектирования очагов возгорания – тепловые, дымовые и извещатели пламени страдают следующими недостатками: возгорание уже произошло, но температура не достигла уровня детектирования температурного датчика; возгорание уже произошло, но нет выделения дыма; возгорание в виде тления (пламени и соответственно выделения тепла нет, но идет скрытый интенсивный процесс горения без внешних признаков появления пламени, например в скрытых полостях).

Все три типа возгорания отличаются характерным наличием появления монооксида углерода в окружающей атмосфере. В связи с этим целесообразно выполнять в воздушной среде охраняемого помещения мониторинг продуктов недожиг углеводородов, к которым относится монооксид углерода.

В последнее время на рынке появилось достаточное количество функционально законченных полупроводниковых датчиков монооксида углерода, которые перспективно использовать для раннего обнаружения очагов возгорания. В силу специфики их работы, проявляющейся во влиянии влажности окружающего воздуха на результат измерения, в типовой схеме включения для поставленной задачи их использовать нельзя.

В докладе представлен вариант измерительной схемы, использующей в качестве первичного преобразователя полупроводниковый датчик монооксида углерода и основанной на предварительном нагреве до температуры выше точки росы с последующим охлаждением и измерением значения сопротивления чувствительного элемента, несущего информацию о концентрации угарного газа в интервал времени, равный нескольким периодам времени выбранного датчика и предшествующий включению нагрева.

Отличительной особенностью выбранного способа обнаружения является не только установление концентрации угарного газа, но и индикации температуры окружающего воздуха, что позволит работать извещателю как тепловому. Благодаря импульсной схеме управления питанием датчика с регулируемой скважностью потребляемая мощность извещателя будет существенно ниже, чем у аналога, и позволит использовать его как автономный. Достоинством применения в качестве первичных преобразователей пожарных извещателей датчиков угарного газа является возможность раннего обнаружения превышения концентрации монооксида углерода в помещении, что может спасти помимо материальных ценностей не одну человеческую жизнь.

#### Литература

1. ГОСТ Р 50898–96. Извещатели пожарные. Огневые испытания.
2. Ковалев, А. В. Экспериментальное исследование постоянства терморезистивного коэффициента в расширенном интервале рабочих температур / А. В. Ковалев // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та. – 2004. – № 2. – С. 31–38.

УДК 621.314

**СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ В НАПРЯЖЕНИЕ****В. А. Карпов, А. В. Ковалев, В. А. Хананов, О. М. Ростокина, Д. А. Литвинов***Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В настоящее время область применения емкостных датчиков очень обширна. Их используют в качестве датчиков контроля максимального и минимального уровня (жидкостей и сыпучих материалов) при наполнении емкостей; для обнаружения металлических и неметаллических объектов, их подсчета и замера промежутков между ними (например, на движущемся конвейере); в качестве датчиков перемещения; для измерения влажности и т. д. [1]. Во всех вышеперечисленных случаях емкость датчика является функцией от измеряемой неэлектрической величины. На практике чаще всего применяются три метода преобразования: резонансный, генераторный и мостовой.

Резонансный метод обеспечивает измерение как неизвестной емкости, так и потерь в диапазоне от сотен килогерц до нескольких сотен мегагерц. Недостатком данной схемы является ее чувствительность к паразитным емкостям, а также необходимость проведения измерения в несколько этапов, включающих регулирование частоты источника до резонанса, его обнаружение и вычисление неизвестной емкости. Генераторный метод предполагает установку измеряемой емкости в качестве времязадающей для мультивибратора. Недостатком такого преобразователя является низкая стабильность по частоте из-за влияния внешних факторов. Широко распространены мостовые методы переменного тока, которые используются при точных измерениях и считаются наиболее стабильными. К недостаткам можно отнести нелинейную зависимость амплитуды выходного напряжения от емкости и сильную зависимость от сопротивления потерь. Также предъявляются повышенные требования к генератору, да и наличие самого генератора существенно усложняет устройство [2].

В статье представлен вариант измерительной схемы, использующей в качестве преобразователя емкость-напряжение схему зарядового усилителя на переключаемых конденсаторах. Сущность зарядного метода заключается в заряде чувствительного элемента до известного напряжения с последующим его разрядом через измерительную схему. В отличие от предыдущих схем зарядовый усилитель работает на частотах порядка 1 МГц, что делает его нечувствительным к изменению сопротивления потерь  $R_x$ . Недостатком такой схемы является чувствительность к паразитным емкостям ключей. Данный недостаток устраняется использованием второго преобразователя, подключенного к известной опорной емкости, а разность напряжений первого и второго преобразователей не зависит от паразитных параметров.

Отличительной особенностью зарядового усилителя является возможность широко манипулировать сигналом возбуждения первичного емкостного преобразователя, что позволяет определять не только емкость, но и проводимость потерь. Достоинством применения преобразователей на основе зарядового усилителя является их низкое энергопотребление, высокая частота и точность преобразования, что позволяет разрабатывать емкостные датчики качественно нового уровня.

**Л и т е р а т у р а**

1. Профос, П. Измерения в промышленности : справ. изд. : в 3 кн. / под ред. П. Профоса ; пер. с нем. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Металлургия, 1990. – Кн. 2. Способы измерения и аппаратура
2. Измерение электрических и неэлектрических величин : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Евтихий [и др.] ; под общ. ред. Н. Н. Евтихьева. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

УДК 621.391:621.717

**АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОИСКА, УПРАВЛЕНИЯ  
И КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВНУТРИТРУБНОГО  
ГЕРМЕТИЗАТОРА****Ю. В. Крышнев, В. О. Старостенко***Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь***В. В. Воробьев, В. Д. Яковец***РУП «Гомельтранснефть Дружба», Беларусь*

Внутритрубный герметизатор предназначен для гидроизоляции участка трубопровода, на котором предусмотрено выполнение ремонтных работ. Для осуществления поиска герметизатора по трассе трубопровода, управления началом процесса герметизации и мониторинга срабатывания герметизатора, разрабатывается электромеханическая система контроля и управления, электрическая часть которой будет расположена в передней части герметизатора, а механическая (устройство управления впускным клапаном гидроцилиндра) – в хвостовой части.

Связь системы управления с оператором осуществляется через наземное устройство (НУ). НУ имеет возможность передать системе управления две команды на несущей частоте 22 Гц. Первая команда – это запрос на получение информации о текущем положении штока гидроцилиндра герметизатора. Выполнение данной команды позволит выявить, не произошло ли перемещение штока без предварительной подачи команды на открытие впускного клапана. В последнем случае дальнейшее управление герметизатором не производится по причине повреждения герметизирующих манжет проталкиваемого под давлением герметизатора за счет трения о стенки трубопровода. Вторая команда – это сигнал на открытие впускного клапана гидроцилиндра. Она подается в том случае, если шток не был сдвинут.

Получив код первой команды, система управления определяет текущее положение штока гидроцилиндра, формирует кодовую посылку, содержащую измерительную информацию, и производит ее отправку в НУ. Если шток не был сдвинут, то наземным устройством посылается команда на открытие впускного клапана гидроцилиндра. Затем подается команда на включение насосов. Под действием давления потока нефти передвигаются шток и манжеты герметизатора, и он, пройдя некоторый тормозной путь, фиксируется в трубопроводе, удерживая статическое давление столба нефти.

Для повышения надежности приема описанных команд был применен корреляционный приемник сигнала, который увеличивает отношение сигнал–помеха. Прием каждого бита сигнала организуется следующим образом: микроконтроллер вычисляет цифровую свертку приходящего сигнала и восьми периодов синусоидального сигнала частотой 22 Гц. В случае если результат свертки превышает заданный порог срабатывания, то считается, что принята логическая единица. Если же порог срабатывания не был достигнут, то считается, что принят логический ноль. Полученная цифровая последовательность обрабатывается микроконтроллером, который декодирует и выполняет соответствующую команду.

Измерение перемещения поршня гидроцилиндра осуществляется при помощи индуктивного датчика. Принцип работы датчика основан на изменении индуктивности катушки в зависимости от длины находящейся в ней части штока гидроцилинд-

ра. Период колебаний выходного импульсного сигнала измерительного преобразователя (ИП) для данного датчика пропорционально зависит от перемещения штока гидроцилиндра. Сигнал с выхода ИП подается на микроконтроллер, который измеряет длительность периода сигнала, преобразует ее в цифровой код и формирует сигнал для передачи положения штока на НУ.

УДК 621.396.6

## ЗАДАЧИ СИНТЕЗА АНТЕНН. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА

**В. Н. Мизгайлов**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Задача синтеза антенны заключается в определении структуры системы источников электромагнитных колебаний, сосредоточенных в ограниченном объеме и обеспечивающих требуемые направленные свойства излучения на достаточно больших расстояниях. Мы будем рассматривать два варианта задачи синтеза дискретных антенных систем. В первом случае геометрия антенны задана и по требуемой диаграмме направленности (ДН) (может быть заданной только по модулю) нужно найти амплитудно-фазовое распределение тока на входных клеммах (падающие волны) системы излучателей, обеспечивающих наилучшее (в том или ином смысле) приближение к заданной диаграмме направленности. Во втором случае, при решении некоторых конкретных технических задач для различных объектов, рассматривается точная постановка задачи синтеза, когда геометрия антенны предварительно детально не задается. Для определения формы излучающего устройства или мест размещения дискретных антенных систем используется информация, которую дает некоторое векторное поле, определяемое по заданной диаграмме направленности.

Будем говорить, что задача синтеза поставлена, если определен прямой оператор  $U$  и задана требуемая ДН  $\vec{F}$ , или модуль ДН  $\vec{F}$ . Прямой оператор  $U$  определен, если, во-первых, заданы область определения этого оператора и область, в которой оператор принимает свои значения (область изменения), и, во-вторых, – закон, правило, которое каждому значению вектора возбуждения ставит в соответствие единственную реализуемую ДН данной излучающей системы.

Для дискретной антенной системы это правило задается соотношением  $UJ = \sum_{k=1}^N \vec{F}_k(\Theta, \varphi) J_k$ . Оно полностью определяется знанием индивидуальных ДН  $F_k(\Theta, \varphi)$ . Областью определения оператора  $U$  является гильбертово пространство  $C^N$

со стандартным скалярным произведением  $(x, y) = \sum_{k=1}^N x_k \bar{y}_k$ , где  $x = (x_1, \dots, x_N)$ ,

$y = (y_1, \dots, y_N)$  векторы из  $C^N$  (здесь и далее сопряженное к комплексному числу  $c$  обозначаем  $\bar{c}$ ). Поэтому, как правило, мы будем говорить в дальнейшем о ДН, которая является комплексной числовой функцией  $F(\Theta, \varphi)$ , определенной на сфере единичного радиуса, и которая для дискретной антенной системы определяется соотношением  $F(\Theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N F_n(\Theta, \varphi) J_n$ , где  $F_n(\Theta, \varphi)$  – комплексная индивидуальная ДН

$n$ -го излучателя системы, или в операторном виде  $F(\Theta, \varphi) = UJ$ , где  $J = (J_1, \dots, J_N)$  – комплексный вектор возбуждения.

УДК 621.396.67

## ЗАДАЧА СИНТЕЗА АНТЕНН С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

В. Н. Мизгайлов

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Влияние объекта, когда излучатели расположены вблизи него, приводит к изменению поляризационной структуры поля излучения. Поле в дальней зоне можно множеством способов представить в виде разложения на две, в общем случае эллиптически поляризованные, ортогональные компоненты  $\vec{F} = F^\alpha \vec{q}^\alpha + F^\beta \vec{q}^\beta$ , где  $\vec{q}^\alpha$  и  $\vec{q}^\beta$  – комплексные орты. Практически наиболее целесообразно представить поля в виде двух компонент круговой поляризации  $\vec{F} = F^+ \vec{q}^+ + F^- \vec{q}^-$ , где  $\vec{q}^\pm$  – орты правовинтовой и левовинтовой поляризаций или в уже рассмотренном виде линейной комбинации линейных ортогональных компонент  $\vec{F} = F_\theta \vec{i}_\theta + F_\varphi \vec{i}_\varphi$ . Связь между ортами  $\vec{q}^\pm$  и  $\vec{i}_\theta, \vec{i}_\varphi$  осуществляется при помощи унитарной матрицы  $\begin{pmatrix} \vec{q}^+ \\ \vec{q}^- \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & i \\ 1 & -i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{i}_\varphi \\ \vec{i}_\theta \end{pmatrix}$ .

В произвольном базисе поляризационные свойства диаграммы направленности (ДН) описываются комплексным поляризационным коэффициентом (поляризационным соотношением), определяющим форму и ориентацию. Формулу эту перепишем в виде двух равенств  $\vec{q}^+ = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{i}_\varphi + i\vec{i}_\theta)$ ;  $\vec{q}^- = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{i}_\varphi - i\vec{i}_\theta)$ . Учитывая, что поле излучения в виде ДН  $\vec{F}(\Theta, \varphi)$  может быть записано в видах  $\vec{F} = F^+ \vec{q}^+ + F^- \vec{q}^- = F_\theta \vec{i}_\theta + F_\varphi \vec{i}_\varphi$ , из которого можно получить выражение для связи компонент  $F^+ = \frac{1}{\sqrt{2}}(F_\varphi + iF_\theta)$  и  $F^- = \frac{1}{\sqrt{2}}(F_\varphi - iF_\theta)$ , или  $F_\varphi = \frac{1}{\sqrt{2}}(F^+ + F^-)$  и  $F_\theta = i \frac{1}{\sqrt{2}}(F^+ - F^-)$ .

Для дискретной антенной системы каждую парциальную ДН  $\vec{F}_k$  разложим по правому и левому венту  $\vec{F}_k = F_k^+ \vec{q}^+ + F_k^- \vec{q}^-$ . Тогда оператор  $U$  можно положить в основу записи прямого оператора  $UJ = (U^+ J) \vec{q}^+ + (U^- J) \vec{q}^-$ , где  $U^+ J = \sum_{k=1}^N F_k^+ J_k$ ;  $U^- J = \sum_{k=1}^N F_k^- J_k$ .

При организации радиосвязи одновременное использование требуемой ДН по правому и левому венту крайне редкое. Скорее будет задано одно из направлений вращения: либо правое, либо левое. А вот в значениях ДН отдельных излучателей наличие паразитного вращения (либо правого, либо левого) наряду с левым или правым, соответственно, возможно. При решении задачи один из винтов будет давать паразитное излучение, которое может быть учтено уже на этапе расчетов.

УДК 621.375

## ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТАЛЛОДЕТЕКТОРА КОРМОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ

Д. В. Соболев

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

При использовании в качестве чувствительных элементов в металлодетекторах для кормоуборочной техники индукционных катушек, расположенных на системе постоянных магнитов [1], зачастую возникает проблема неравномерной чувствительности по ширине (провалы по бокам и в середине) потока технологического продукта, а также недостаточная помехоустойчивость как к ферромагнитным включениям в формирующих вальцах, так и к взаимному перемещению основного силового средства и сменных адаптеров во время работы.

Применение в качестве чувствительных элементов датчиков Холла позволяет значительно улучшить параметры работы металлодетектора.

Наличие в конструкции формирующих вальцов ферромагнитных включений (области деформации немагнитной стали, сварные швы и т. д.), приводит к возникновению заметных помех и затрудняет детектирование посторонних предметов, поступающих вместе с кормомассой в измельчитель.

Частота появления помех, вызванных сварными швами формирующих лопастей, прямо пропорциональна их количеству, следовательно, в случае использования в качестве чувствительных элементов металлодетектора индукционных катушек на выходе наряду с полезным сигналом будет присутствовать сигнал помехи в силу закона электромагнитной индукции, пропорциональный количеству сварных швов и затрудняющий задачу корректного детектирования.

В статье представлено техническое решение, основанное на использовании в качестве чувствительных элементов датчиков Холла, эквидистантно расположенных на полюсах постоянных магнитов по всей ширине технологического продукта [2]. При этом устраняется причина возникновения «зон провалов», обеспечивается неизменность чувствительности к скорости прохождения детектируемого ферромагнитного предмета и снижается уровень помех, создаваемых сварными швами и неоднородностями формирующих вальцов. Симметричное распределение элементов Холла по всему сердечнику металлодетектора приводит к равномерной чувствительности устройства по всей области контроля, чего достаточно сложно добиться, используя индукционные катушки.

Уменьшить уровень помех, наводимых сварными швами, позволяет дифференциальное включение датчиков металлодетектора. При этом помехи, наводимые сварными швами, компенсируются за счет показаний соседнего датчика, а полезный сигнал остается практически неизменным. Помимо этого дифференциальный металлодетектор срабатывает по большему числу каналов, так как на пороговый элемент по каждому из каналов приходит полезный сигнал от двух датчиков.

Таким образом, представленное техническое решение позволяет не только снизить уровень помех, но и повысить чувствительность металлодетектора.

### Л и т е р а т у р а

1. Описание изобретения к патенту Российской Федерации RU 2198412 C1, 7 G01R33/02, A01D75/18, опубл. 2003.02.10.
2. Металлодетектор для кормоуборочной техники : пат. на полезную модель Респ. Беларусь № 5970.

УДК 621.391:621.717

**КАНАЛ СВЯЗИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ  
КЛАПАНОМ ГЕРМЕТИЗАТОРА****В. И. Шуликов, В. Н. Гарбуз, В. О. Старостенко***Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Герметизаторы позволяют перекрыть трубопровод в требуемой точке, снижая объем откачиваемой с места ремонта нефти и удешевляя тем самым ремонтные работы. До требуемого места герметизатор доставляется с током нефти, после чего ток нефти прекращается и в трубе повышается гидростатическое давление. Высокое гидростатическое давление прорывает специальную мембрану, нефть попадает внутрь гидроцилиндра. Давление нефти толкает поршень, связанный с системой манжет-уплотнителей по окружности герметизатора. Надвигаясь на конусообразные направляющие и расклиниваясь, манжеты наружной стороной прижимаются к стенкам трубы, обеспечивая герметизацию трубопровода.

Основной недостаток описанного выше решения – это то, что прорыв мембраны может произойти еще по пути к намеченному месту, и уплотнители на снаряде, постоянно прижимаясь к стенкам, будут сильно изнашиваться и не обеспечат требуемой герметичности. Возможна и обратная ситуация, когда уже на месте перекрытия нефтепровода при действии избыточного давления мембрана не разорвется, и герметичность также не будет обеспечена.

Для борьбы с указанными недостатками в новой конструкции снаряда-герметизатора мембрана была заменена на клапан, управляемый по радиосигналу извне. Конструкция снаряда такова, что приемная антенна находится в головной части, а клапан – в хвостовой. Устройство проводной линии связи приемника и клапана затруднительно, так как провод необходимо протягивать либо внутри герметизатора – в области движения поршня, либо снаружи – в области движения системы уплотнителей. И в том и в другом случае конструкция усложняется, и при этом исключать обрыв проводной линии связи, исходя из условий работы герметизатора, нельзя.

Для организации беспроводной связи были рассмотрены три вида каналов связи: по радиоканалу; с помощью серий ударов по корпусу снаряда; с помощью звука. Исследования показали, что связь с клапаном по радиоканалу затруднительна, так как приемник и передатчик разделены толстыми металлическими перегородками, оказывающими сильное экранирующее действие на сигнал. Нечувствительность к фазовым искажениям, вносимым средой передачи, показал канал связи с помощью серий ударов по корпусу герметизатора и регистрации колебаний корпуса приемником клапана. Был разработан формат передаваемого бита с использованием одиночных ударов по корпусу: временной интервал, соответствующий одному биту, разбивался на два равных промежутка. Удар по корпусу в течение первого промежутка времени означал передачу логической единицы, удар по корпусу в течение второго промежутка времени означал передачу логического нуля. В качестве сигнала на открытие клапана использовалась М-последовательность длиной 31 бит. Недостаток данного канала связи – слабая помехозащищенность. Поэтому был предложен канал связи с использованием звука. Источник звука возбуждает акустические волны в металле, которые фиксируются микрофоном приемника клапана. В качестве сигнала используется М-последовательность длиной 127 бит. Разработанная система при предельной простоте реализации и малых габаритах показала высокую надежность и достоверность связи.

УДК 621.317

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТРАНСФОРМАТОРНОГО ДАТЧИКА

А. И. Никеевков, В. В. Щуплов

Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь

Как известно [1], информационный сигнал дифференциально-трансформаторного датчика (ДТД) перемещений – это взаимная индуктивность  $M$ :  $M = M_0 \cdot \cos(\varepsilon) \cdot \exp(-j\varepsilon) + M_0 \cdot \exp[j(\pi/2 - \varepsilon)]$ , где  $M_0$  – остаточная взаимная индуктивность, не зависящая от перемещения;  $M_0 (K \cdot L)$  – эквивалентная взаимная индуктивность (информационный параметр, зависящий от перемещения плунжера сердечника  $L$  и коэффициента пропорциональности  $K$ );  $\varepsilon$  – угол потерь в датчике. Мост взаимной индуктивности Р5017, выпускавшийся Киевским заводом «Точэлектроприбор», имеет низкую точность, надежность и аналоговый выход. С целью автоматизации процесса измерения и повышения точности был разработан автоматический измеритель, работающий по схемам ортогонально-прямоугольного компенсатора и компенсатора, работающего по схеме полярного компенсатора. Измерения проводятся в три этапа: на первом этапе производится уравнивание в прямоугольных координатах остаточного сигнала  $U_d$  и квадратурного сигнала  $U_{d0}$ , на втором этапе производится измерение угла потерь  $\varepsilon$  и его запоминание. На третьем этапе определяются  $M_0$  и  $M_0$  и производится определение линейности выходной характеристики.

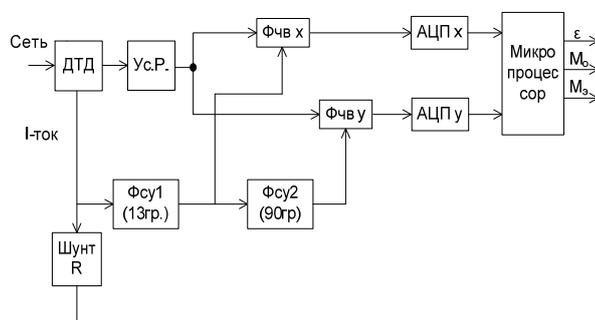


Рис. 1. Структурная схема

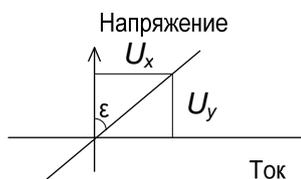


Рис. 2. Векторная диаграмма

### Литература

1. Мелик-Шахназаров, А. М. Компенсационные измерительные устройства систем автоконтроля на переменном токе / А. М. Мелик-Шахназаров, И. Л. Шайн, Е. Г. Абарин. – Москва : Энергия, 1971.

УДК 621.391.26

## О ВЫЧИСЛЕНИИ ОБРАТНОГО ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

В. В. Щуплов, А. И. Никеенков

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Развитие вычислительной техники расширило возможности обработки информационных сигналов в частотной области. Как правило, это применение дискретного (ДПФ) или быстрого (БПФ) преобразований Фурье, обработка результатов вычислений и затем обратное ДПФ (ОДПФ) или обратное БПФ (ОБПФ) для перехода во временную область [1]. Алгоритм ОДПФ отличается от алгоритма ДПФ лишь нормирующим коэффициентом  $1/N$  и знаком перед мнимой единицей показателя степени экспоненты. Возможность использования БПФ для вычисления ОДПФ рассмотрена в [1], [2]. Этот вопрос представляет интерес для студентов при изучении методов цифровой обработки сигналов. Учитывая, что выборка из сигнала для алгоритма ДПФ является периодической, можно установить связь между результатами вычислений дискретного сигнала по алгоритмам ДПФ–ОДПФ и ДПФ–ДПФ. На рис. 1 приведены результаты вычислений в пакете Mathcad по 131-й выборке для дискретного комплексного сигнала  $a(k) = \sin(10 \cdot \pi \cdot T + \pi/3) + i \cdot \cos(20 \cdot \pi \cdot k \cdot T + \pi/4)$  по этим двум алгоритмам. Результат вычисления по алгоритму ДПФ–ДПФ обозначен как сигнал  $y(k)$ . Как видно из рисунка, модуль и фаза сигнала  $y(k)$  с учетом нормировки являются зеркальными отображениями модуля и фазы исходного сигнала  $a(k)$  (на рис. 1, в, г нумерация отсчетов инвертирована). Это подтверждают и математические выводы.

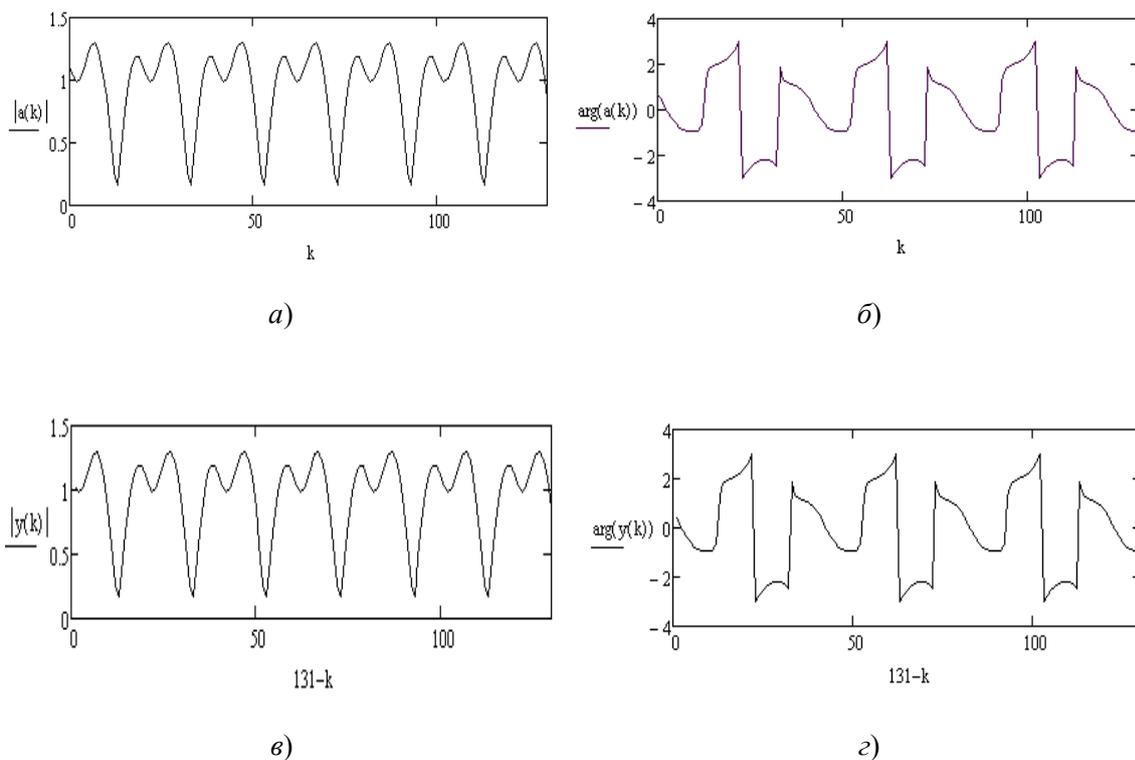


Рис. 1

## Литература

1. Основы цифровой обработки сигналов : курс лекций / А. И. Солонина [и др.]. – 2-е изд., испр. и перераб. – Санкт-Петербург : БХВ–Петербург, 2005.
2. Сиберт, У. М. Цепи, сигналы, системы : в 2 ч. Ч. 2 / У. М. Сиберт ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1988.

УДК 621.316.721

## МНОГОКАНАЛЬНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР АНОДНОГО ТОКА ДЛЯ СТАНЦИЙ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

Л. А. Захаренко, С. Н. Кухаренко, А. С. Храмов, О. А. Елисеева

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

С. М. Бодиловский

*РУП «Гомельтранснефть Дружба», Беларусь*

В настоящее время в системе электрохимзащиты подземных трубопроводов используются блоки диодно-резистивные (БДР) для распределения токов между несколькими анодами. Фактически БДР представляют собой набор мощных резисторов различного сопротивления, а задание токов выполняется подбором резисторов. Данные блоки имеют несколько недостатков.

Во-первых, процесс настройки достаточно трудоемкий в случае параллельной работы нескольких станций защиты или некоторого числа анодов по причине наложения токов.

Во-вторых, на регулирующем элементе выделяется большая тепловая мощность, что снижает надежность.

В-третьих, дестабилизирующие факторы, к которым можно отнести изменение сопротивления грунта и износ анодов, изменяют значение тока, что негативно сказывается на условиях защиты.

Предлагается использование многоканального широтноимпульсного стабилизатора анодного тока, не имеющего вышеперечисленных недостатков. Отличительными особенностями данного стабилизатора являются бесконтактное измерение тока в цепи анода и ПИ-регулятор, осуществляющий автоматическое поддержание заданного тока. На рис. 1 показана схема подключения многоканального стабилизатора анодного тока.

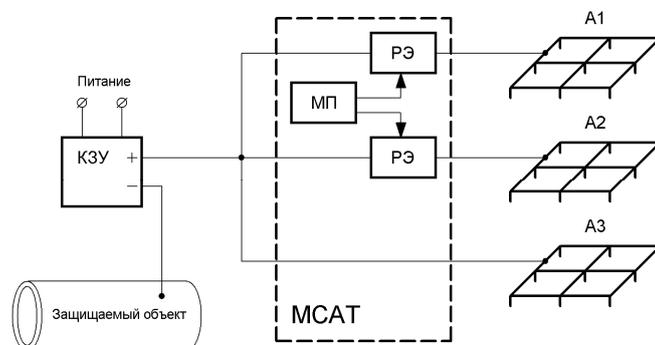


Рис. 1. Схема подключения многоканального стабилизатора анодного тока: МСАТ – многоканальный стабилизатор анодного тока; МП – микропроцессорный модуль; РЭ – регулирующий элемент; КЗУ – катодное защитное устройство; А1, А2, А3 – анодные заземлители

## Л и т е р а т у р а

1. Защита трубопроводов от коррозии : в 2 т. / Ф. М. Мустафин [и др.] – Санкт-Петербург : Недра, 2007. – Т. 2. – 679 с.

УДК 621.643.32

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ НЕФТЕПРОВОДА ПРИ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКЕ****Л. А. Захаренко, А. С. Храмов, Д. В. Дорошев, Ю. Е. Котова***Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Тенденцию старения трубы, к сожалению, не остановить. Но добиться надежной работы трубопроводов, регулярно и своевременно выявляя опасно развивающиеся дефекты, возможно.

Внутритрубная диагностика трубопроводов основана на использовании автономных приборов-дефектоскопов, движущихся внутри контролируемой трубы под напором перекачиваемого продукта (нефть, нефтепродукты, газ и т. п.). Прибор снабжен аппаратурой для неразрушающего контроля трубы, записи и хранения в памяти данных контроля и вспомогательной служебной информации, а также источниками питания аппаратуры.

Разрабатываемый контрольно-измерительный прибор предназначен для проведения исследовательских работ по выявлению мест повреждения изоляции нефтепровода. Результаты этих работ дают возможность устранить наиболее опасные повреждения нефтепровода на ранней стадии. Важным моментом при обнаружении дефектов является регистрирование координат. От точности системы регистрации координат зависит объем ремонтных работ.

Измерение пройденного дефектоскопом расстояния и привязка дефекта трубопровода к дистанции основывается на одометрической системе. Данная система состоит из нескольких одометрических колес. Полный оборот каждого колеса сопровождается формированием импульса для микроконтроллера. Для исключения неправильного результата при проскальзывании одометрического колеса используется датчик ускорения.

Дефектоскоп при проведении работ по выявлению дефектов проходит расстояния в сотни километров между загрузочными камерами. Поэтому ошибка от одометрического колеса может постепенно накапливаться. Для ее устранения предлагается внедрить систему маячков, располагающихся на поверхности грунта. Координаты данных маячков заносятся в память дефектоскопа перед запуском. Маячок генерирует низкочастотный сигнал, который проникает через стенку трубопровода и грунт. Дефектоскоп при прохождении такого маячка детектирует максимальную амплитуду сигнала и вносит коррекцию в величину пройденного расстояния.

Полученная комплексная система позволит более точно определять координаты мест повреждения изоляции нефтепровода при внутритрубной диагностике.

## Л и т е р а т у р а

1. Технология проведения работ по диагностированию действующих магистральных нефтепроводов внутритрубными инспекционными приборами. – Москва : АК «Транснефть», ЦТД, 1994.
2. Лисин, Ю. В. Надежность и безопасность / Ю. В. Лисин // Трубопроводный транспорт нефти. – 2000. – № 9.

УДК 621.385.833

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАНОАМПЕРНОГО ДИАПАЗОНА В СКАНИРУЮЩЕМ ТУННЕЛЬНОМ МИКРОСКОПЕ

Ю. А. Козусев, Д. П. Михалевич

Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь

Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) – первый из семейства зондовых микроскопов – был изобретен в 1981 г. швейцарскими учеными Г. Биннигом и Г. Рорером. В своих работах они показали, что это достаточно простой и весьма эффективный способ исследования поверхности с пространственным разрешением вплоть до атомарного.

Принцип работы СТМ основан на явлении туннелирования электронов через узкий потенциальный барьер в виде непроводящего вакуумного зазора между металлическим зондом и проводящим образцом во внешнем электрическом поле. Зондом служит тонкое металлическое острие, смонтированное на электромеханическом приводе ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ -позиционере). Когда такое острие подводится к участку исследуемой поверхности на расстояние  $\leq 10 \text{ \AA}$ , то при приложении между острием и образцом небольшого (от 0,01 до 10 В) напряжения смещения через вакуумный промежуток начинает протекать туннельный ток порядка  $10^{-9}$  А. При сканировании поверхности образца в направлении  $X$  и/или  $Y$  с одновременным измерением выходного сигнала в цепи  $Z$  можно получить картину поверхностной структуры на атомном уровне.

Предварительный усилитель выполнен на прецизионном операционном усилителе ОРА128 (рис. 1) с основными параметрами (см. таблицу).

Параметр операционного усилителя при $U_{пит} = \pm 15 \text{ В}$ и $R_{н} \geq 2 \text{ кОм}$	Значение			Единица измерения
	минимальное	типовое	максимальное	
Входной ток смещения	–	$\pm 75$	$\pm 150$	фА
Разность входных токов	–	30	–	фА
Напряжение смещения нуля	–	$\pm 140$	$\pm 500$	мкВ
Скорость нарастания выходного сигнала	–	3	–	В/мкс
Входное сопротивление	–	$10^{13}$	–	Ом
Коэффициент усиления	110	128	–	дБ
КОСС	90	118	–	дБ
Выходное сопротивление	–	100	–	Ом

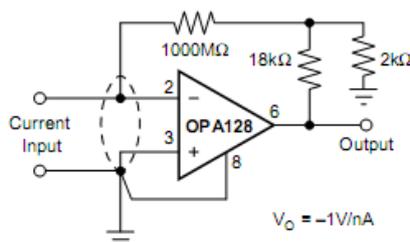


Рис. 1. Принципиальная схема предварительного усилителя в сканирующем туннельном микроскопе

## Литература

1. G. Binnig, H. Rohrer. Scanning tunneling microscopy IBM Journal of Research and Development 30,4 (1986).
2. A. Bonnell and B. D. Huey. Basic principles of scanning probe microscopy from Scanning probe microscopy and spectroscopy: Theory, techniques, and applications 2nd edition Ed. By D. A. Bonnell Wiley-VCH, Inc. New York (2001).

УДК 62-831

**МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ  
ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА  
ПРИ ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ЦЕПИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ****Г. О. Широков***Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

При синтезе узла защиты тиристорного электропривода постоянного тока (ЭП) от провалов напряжения было предложено осуществить стабилизацию напряжения питания элементов системы автоматического управления (САУ) по принципу работы источника бесперебойного питания. Это было проверено опытным путем, а именно в момент развития провала напряжения в узел блока питания рассматриваемого ЭП посредством электромагнитного реле вводился независимый источник напряжения постоянного тока, который имитировал аккумуляторную батарею источника бесперебойного питания. На рис. 1 представлена осциллограмма, которая иллюстрирует помехозащищенность источников стабилизированного питания, сигнала задания, пилообразного напряжения ЭП. Также из осциллограммы видно, что значение тока питания ЭП не изменяется при провале напряжения по цепи электропитания.

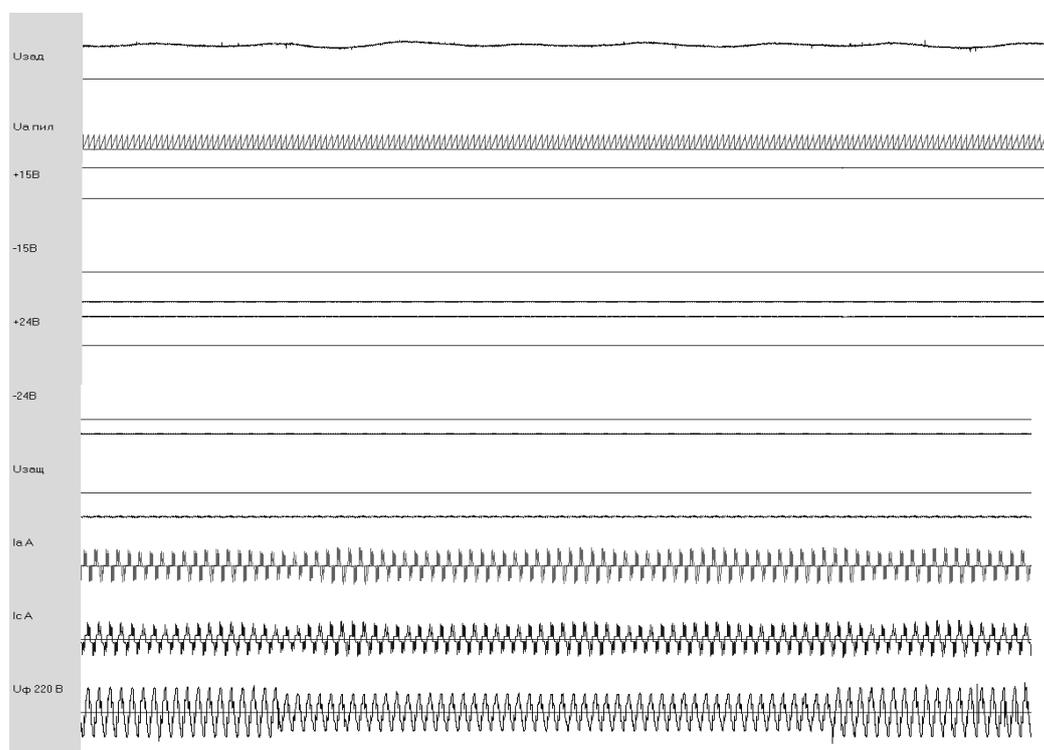


Рис. 1. Осциллограмма провала напряжения защищенного ЭП SSD

Таким образом, из данных, полученных в результате эксперимента, видно, что стабилизация напряжения питания элементов САУ по принципу работы источника бесперебойного питания значительно повысит устойчивую работу ЭП при провалах напряжения по цепи электропитания.

УДК 621.88.084

### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ЗВЕНА И ПОСЛЕДУЮЩИЙ СИНТЕЗ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ ЦЕПИ**

**С. Н. Кухаренко, В. М. Лукашов**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Современные цифровые осциллографы являются средством не только отображения формы электрических сигналов, но и регистрации значений цифровых отсчетов, что позволяет производить математическую обработку этих отсчетов с целью аналитического описания сигналов.

Целью работы является разработка методики обработки цифровых отсчетов, полученных с цифрового осциллографа, и определение параметров колебательного звена из полученных результатов, а именно индуктивности, емкости и активного сопротивления колебательного звена, а также синтез демпфирующей цепи с целью коррекции колебательности к заданному виду переходного процесса.

Данные с цифрового осциллографа представлены в виде матрицы отсчетов. Для дальнейшей обработки оператором выделяется нужный участок переходной характеристики и определяются масштабы напряжения и времени. Методом Гаусса произведена фильтрация матрицы отсчетов переходного процесса. В результате была получена сглаженная форма сигнала.

По переходам через ноль определено время одного периода колебаний. Было найдено среднее значение напряжения за период колебаний и определен нулевой уровень сигнала. Предложена методика определения параметров последовательного колебательного контура по характеристике переходного процесса: частоте, затуханию, амплитуде и фазе. С целью проверки правильности полученных результатов было выполнено сопоставление номиналов цепи и полученных результатов для диапазона значений.

На примере синтеза демпфирующей цепи для схемы силового преобразователя показана возможность практического использования данной методики. Синтез заключается в определении номиналов элементов демпфирующей цепи.

Представленный метод обработки сигналов позволяет выявить закономерности в сигналах, которые впоследствии могут отождествляться с физическими параметрами. Полученную методику можно использовать при разработке фильтров радиопомех, согласовании нагрузок с комплексным сопротивлением, в дефектоскопии.

УДК 621.313.1:629.458.27

## ЭЛЕКТРОПРИВОД КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

А. В. Козлов, В. А. Савельев, А. А. Толстенков

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Существует множество технических систем различных конструкций и назначений, работа которых направлена на совершения колебательных движений. Однако все эти системы имеют множество недостатков, обусловленных их конструктивным исполнением (низкое КПД, высокое потребление энергии, плохая управляемость, узкая направленность использования и т. д.).

Таким образом, наиболее рациональным решением будет применение безредукторных автоматизированных электроприводов импульсного управления на основе асинхронного двигателя (АД), так как данная система не имеет в своем составе редуктора и работает по принципу вынужденных колебаний (отсутствие условий устойчивости автоколебаний).

В качестве примера рассмотрим принцип действия колебательной системы «асинхронный двигатель с импульсным управлением – система пружин».

Для построения математической модели необходимо на основе второго закона Ньютона составим уравнение баланса сил системы:

$$\sum F_{\text{упр}} + \sum F_{\text{ин}} + F_{\text{возб}} = \sum F_{\text{сопр}} ; \quad (1)$$

$$\sum C_{\Sigma} x + \sum m \ddot{x} + h_{\text{max}} \cdot \cos(\omega_b t) = \sum \mu \dot{x} . \quad (2)$$

Разделим уравнение (2) на  $m$ , и в итоге получим уравнение вынужденных колебаний:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x + \frac{h_{\text{max}}}{m} \cos(\omega_b t) = 2\beta \dot{x} . \quad (3)$$

Далее необходимо учесть некоторые особенности системы:

- закон колебаний гармонический  $\varphi = \varphi_{\text{max}} \cdot \cos(\omega t)$  ;
- возмущающая сила действует не постоянно, а лишь в короткий промежуток времени, между точками смены направления движения ( $x_{\text{амп}}$ ) и равновесия сил ( $x = 0$ ) .

Согласно новым данным перепишем уравнение (2) в более подробной форме:

$$\begin{aligned} C_{\Sigma} \varphi_{\text{max}} \cdot \cos(\omega t) - \chi_{\Sigma} \varphi_{\text{max}} \omega^2 \cdot \cos(\omega t) + M_{\text{дв}} = \\ = -H_{\Sigma} \varphi_{\text{max}} \omega \cdot \sin(\omega t) + M_{\text{с.т}} \text{Sign}(\sin(\omega t)). \end{aligned} \quad (4)$$

Однако так как АД имеет импульсное питание, необходимо разложить управляющий сигнал в ряд Фурье:

$$U_y = \frac{4U_n}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos n\gamma \cdot \sin n(\omega t - \psi). \quad (5)$$

Тогда при заданной величине сдвига и промежутка покоя получим сигнал в виде суммы нечетных гармоник:

$$U_y = \frac{4U}{\pi} \left( \cos\left(\frac{3\pi}{8}\right) \sin(\omega t - \psi) + \frac{1}{3} \cos\left(\frac{9\pi}{8}\right) \sin 3(\omega t - \psi) + \frac{1}{5} \cos\left(\frac{15\pi}{8}\right) \sin 5(\omega t - \psi) + \dots \right) \quad (6)$$

В итоге уравнение вынужденных колебаний примет вид:

$$C_{\Sigma} \varphi_{\max} \cdot \cos(\omega t) - \chi_{\Sigma} \varphi_{\max} \omega^2 \cdot \cos(\omega t) + f(U_y) = -H_{\Sigma} \varphi_{\max} \omega \cdot \sin(\omega t) + M_{\text{с.т.}} \text{Sign}(\sin(\omega t)). \quad (7)$$

Данное уравнение позволяет производить анализ работы электропривода вынужденных колебаний с импульсным управлением.

УДК 681.532.1

## ГЕНЕРАТОР ПОДНЕСУЩЕЙ ШУМОПОДОБНОГО СИГНАЛА

Е. А. Храбров, Ю. Е. Котова, Д. Е. Храбров

Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь

Цифровые генераторы низких частот используются в сейсморазведке полезных ископаемых, в технике испытаний конструкций на вибропрочность, в источниках бесперебойного питания, в военных целях (в гидроакустических и вибросейсмических линиях связи, в некоторых видах психотропного оружия). Такие генераторы применяют для получения поднесущих синусоид при формировании шумоподобных сигналов связи на базе псевдослучайных последовательностей. Поэтому при разработках новых генераторов следует рассматривать их различные схемные решения, сравнивая аппаратные затраты, параметры формируемых сигналов и другие показатели.

В данной работе анализируется погрешность формирования синусоиды путем аппроксимации ее приближенной параболой, образующейся при перемножении двух разнонаправленных приближенных пилообразных напряжений, которые в свою очередь выделяются из широтно-импульсно-модулированных последовательностей импульсов, получаемых цифровым способом, и приводятся схемная и программная реализации генератора (рис. 1). Отсутствие накапливающейся ошибки, которая имеется в функциональных цифроаналоговых преобразователях синусоидального сигнала, построенных на матрицах  $R$ - $2R$ , делает такой способ предпочтительным в некоторых случаях.

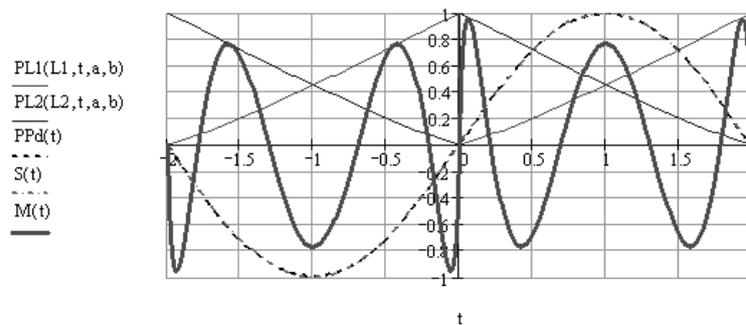


Рис. 1. График аппроксимации периода синусоиды  $S(t)$  параболой  $PPd(t)$ , полученной умножением двух пилообразных сигналов  $PL1(t)$  и  $PL2(t)$ , и увеличенная в 100 раз погрешность аппроксимации  $M(t)$

Схема, алгоритм и временные диаграммы работы узлов предлагаемого генератора, приведенные в статье, позволяют наглядно оценить возможности и преимущества данного варианта. Следует учитывать, что частоты основных спектральных составляющих погрешности, ближайшие к частоте сигнала, выше ее в три раза, и, соответственно, будут существенно подавляться фильтрами нижних частот, что дополнительно уменьшает действительную погрешность аппроксимации, которая и без фильтров не превышает 1 %.

УДК 621.398:628.971

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ СБОЕВ В РАБОТЕ ЭЛЕКТРОННОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ПУНКТА ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УТУ-4М**

**П. П. Изотов, Д. В. Дудник**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Для телемеханической системы УТУ-4М был разработан электронный исполнительный пункт, который позволил (в сравнении с имеющимся исполнительным пунктом, выполненным на элементах релейной автоматики) уменьшить в 11 раз габаритные размеры, в 6,7 раз массу и в 3,3 потребляемую полную мощность [1].

Проведение испытаний на ДКПУП «Гомельгорсвет» выявило, что наблюдались случайные сбои в работе электронных исполнительных пунктов. При сбое исполнительный пункт не реагировал на команды диспетчерского пульта. Выключение и включение исполнительного пункта позволяло ввести его в рабочий режим.

Было сделано предположение, что причиной сбоев в работе электронных исполнительных пунктов является периодическое пропадание тока в датчике тока, которое переводит исполнительный пункт в режим приема команды без разрешения диспетчерского пульта. Причиной пропадания тока является формирование сигнала ответа, который состоит из постоянного и переменного напряжений.

С учетом вышеуказанного предположения необходимо было выяснить, при каких условиях включения переменного напряжения при уже выставленном постоянном напряжении наблюдается пропадание тока в датчике тока. Для этого была разработана приближенная схема замещения, охватывающая блок формирования ответов, блок контроля линии связи и саму линию связи, соединяющую электронный исполнительный пункт и диспетчерский пульт. По разработанной схеме замещения была составлена математическая модель изменения тока в датчике тока.

Теоретическое исследование показало, что на величину времени пропадания тока в датчике тока влияют следующие условия:

- момент включения переменного напряжения (при положительном постоянном напряжении включение синусоидального напряжения с начальной фазой от  $200^\circ$  до  $340^\circ$ );
- величина емкости линии связи (с увеличением емкости увеличивается время пропадания тока);
- величина заряда емкости, разделяющей источники постоянного и переменного напряжений (с увеличением заряда емкости уменьшается время пропадания тока), а также их различные комбинации.

Полученные результаты теоретических исследований проверялись на экспериментальной схеме, позволяющей получить вышеуказанные условия неслучайным

образом (как в электронном исполнительном пункте), а задавая их. Результаты экспериментальных исследований совпали с теоретическими с точностью  $\pm 10\%$ .

Результаты исследований использовались при разработке программного обеспечения микропроцессорного исполнительного пункта.

#### Литература

1. Разработка исполнительного пункта наружного освещения городов с улучшенными массогабаритными и энергетическими показателями : отчет о НИР (окончат.) / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; рук. работы П. П. Изотов. – Гомель, 2005. – 60 с. – № ГР 20042627.

УДК 621.311.031

### **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА РАБОТУ ОГРАНИЧИТЕЛЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ И ВНУТРЕННИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ**

**А. Н. Бохан, А. А. Смолин**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, г. Беларусь*

Надежность электроснабжения потребителей в большой степени зависит от распределительных сетей. Это обусловлено, в первую очередь, большой их протяженностью. В Гомельском ПЭС общая длина линий 6–10 кВ составляет около 75 % от общей длины высоковольтных ЛЭП. Существенно различаются технические характеристики и показатели надежности городских и сельских распределительных сетей, сетей промышленных предприятий.

Внутренние перенапряжения обусловлены переходными процессами в сети при обрыве тока (дуговые, коммутационные). Допустимые кратности перенапряжений для высоковольтных электродвигателей составляют соответственно: при напряжении 6 кВ – 3,5, а для 10 кВ – 3,4.

Максимальные уровни перенапряжений наблюдаются в сетях с малыми емкостными токами замыкания на землю. Наибольшую опасность представляют перенапряжения при перемежающейся дуге, когда повторные зажигания дуги через половину периода могут приводить к нарастанию напряжения (эскалации) на неповрежденных фазах.

Эффективным средством снижения уровней перенапряжений в распределительных сетях является применение резистивного заземления нейтрали. Повторные зажигания дуги не могут привести к значительному повышению напряжения, так как емкости неповрежденных фаз успевают в значительной степени разрядиться через заземляющий резистор за время безтоковой паузы. Выполненные исследования показывают, что перенапряжения при этом не превышают  $3U_{ном}$ . К недостаткам резистивного заземления нейтрали следует отнести увеличение активной составляющей тока замыкания на землю, что приводит к дополнительному тепловыделению в месте замыкания и способствует развитию аварии. При низкоомном заземлении нейтрали поврежденный элемент должен отключаться релейной защитой с небольшой выдержкой времени, а это не всегда допустимо по условиям надежности электроснабжения.

Выполненные исследования показывают, что применение ограничителя перенапряжения (ОПН) не всегда позволяет эффективно снижать внутренние перенапряжения в распределительных сетях. При малых токах замыкания на землю переход ОПН в проводящее состояние происходит временной задержкой, которая может

составлять 120–160 мкс. Заводы-изготовители для оценки способности ОПН ограничивать внутренние перенапряжения используют стандартный коммутационный импульс от специального источника с малым внутренним сопротивлением. В данных условиях остающееся напряжение на ОПН практически зависит только от разрядного тока и определяется статической характеристикой ОПН, а задержка перехода в проводящее состояние практически отсутствует. Подобные условия возникают при междуфазном включении ОПН. При включении ОПН между фазой и землей цепь разряда имеет большое внутреннее сопротивление, наблюдается инерционность перехода в проводящее состояние, а остающееся напряжение на ОПН оказывается выше, чем это следует из статической характеристики при известном разрядном токе.

УДК 631.3

## МНОГОКАНАЛЬНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Л. Н. Климович

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Беларусь*

В настоящее время особое внимание уделяют повышению качества выпускаемой продукции, которое невозможно без внедрения современных автоматических средств измерений, контроля и управления технологическими процессами.

Для более полного удовлетворения нужд промышленности в кратчайшие сроки в средствах автоматического контроля и измерения температуры необходимо наряду с увеличением производства существующих аналитических приборов разрабатывать и внедрять системы автоматического контроля и измерения температуры, создавать универсальные приборы, работающие в широком диапазоне контролируемых температур, шире использовать достижения микроэлектроники.

В докладе описана новая разработка 10-канального измерителя температуры, работающего совместно со встроенным микропроцессором, позволяющим в любой момент времени осуществлять контроль и измерение температуры, а также проводить экспресс-анализ исследуемого параметра в любой момент времени. Микропроцессор участвует с помощью соответствующих алгоритмов в расчете контролируемой температуры или параметра ее скорости измерения, управления измерительным процессом, включая автоматическую компенсацию температурной погрешности.

Структурная схема автоматической системы для контроля и измерения температуры содержит основные блоки, такие как: блок преобразования термосопротивления в частоту колебаний; блок коммутатора, содержащего декадный счетчик переключения каналов; дешифратор; набор ключей; схему ИЛИ, блок образцовых частот, содержащий кварцевый генератор и делители частоты; схему формирования импульса сброса, два триггера, счетчик и схему совпадения; блок счета и индикации, содержащий формирователь импульсов, схему совпадения, счетчики и дешифраторы с индикаторами.

Работает 10-канальный электронный термометр следующим образом. В исследуемых зонах измеряемых параметров температуры находятся платиновые термометры сопротивления, сигнал с которых поступает на вход блока коммутатора каналов, пропорциональных измеряемым температурам. Далее электронный коммутатор, управляемый сигналами блока управления, открывает один из ключей каналов, пропускающих импульсы на вход счетчика. Приходящий с мультивибратора импульс переводит декадный счетчик в следующее состояние. Таким образом, обеспечивается периодический опрос всех каналов. Необходимо отметить, что в приборе имеется возможность опроса каналов по требованию, работая совместно с микроЭВМ.

Представленный многоканальный аналитический измеритель температуры, оснащенный встроенным микропроцессором, позволяет полностью автоматизировать процессы контроля и измерения температуры, а также проводить экспресс-анализ исследуемого параметра в любой момент времени.

УДК 62-83-52

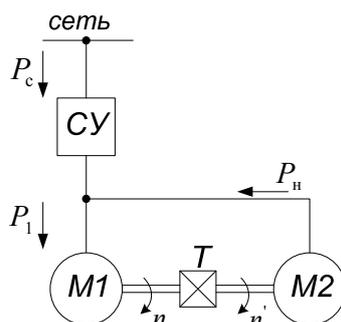
### ВЗАИМНАЯ НАГРУЗКА В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СТЕНДАХ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В. В. Тодарев, М. Н. Погуляев, И. В. Дорощенко

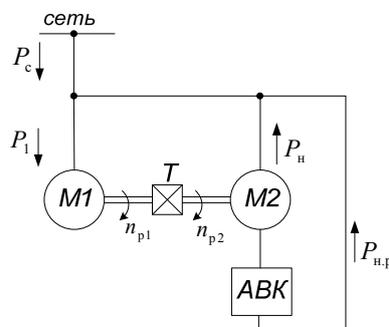
*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

В регламент испытаний электрических машин – электродвигателей и генераторов входят испытания под нагрузкой [1]. Испытательный стенд должен обеспечивать данный режим при минимальных затратах, что возможно лишь по принципу взаимной нагрузки [2].

На рис. 1 и 2 показаны структурные схемы испытательных стендов, реализованных по принципу взаимной нагрузки.



*Рис. 1.* Структурная схема стенда для испытания электрических машин постоянного тока: *M1* – электродвигатель; *M2* – генератор; *T* – трансмиссия; СУ – устройство согласования с сетью (электропривод постоянного тока)



*Рис. 2.* Структурная схема стенда для испытания электрических машин переменного тока: *M1* – испытуемый электродвигатель; *M2* – асинхронный двигатель с фазным ротором; *T* – трансмиссия; АВК – асинхронно-вентильный каскад

Схемы стендов, представленные на рис. 1 и 2, позволяют реализовать всю программу испытаний под нагрузкой при минимальной стоимости и минимуме потребляемой из сети электроэнергии, которая эквивалентна потерям мощности в элементах стенда и составляет примерно 15–30 % от мощности нагрузки.

В статье рассматриваются пути реализации стендов данного типа для электрических машин, различающихся по назначению, режиму и роду тока, виду механических, скоростных, внешних и регулировочных характеристик. Приводится методика выбора элементов стендов исходя из электрических и механических параметров испытываемых машин.

#### Л и т е р а т у р а

1. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – 4-е изд., сокр. и перераб. – Ленинград : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1984. – 407 с.
2. Коваварский, Е. М. Испытание электрических машин / Е. М. Коваварский, Ю. И. Янко. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 319 с.
3. Захаренко, В. С. Область применения инвариантных стендов с рекуперацией энергии на основе электрических машин постоянного тока / В. С. Захаренко, И. В. Дорощенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2006. – № 3. – С. 94–101.

УДК 621

### **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТИПОВЫХ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ НА ПОДСТАНЦИЯХ, ПИТАЮЩИХ СИНХРОННЫЕ И АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ**

**В. В. Курганов**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

На нефтеперекачивающих станциях (НПС) РУП «Гомельтранснефть Дружба» установлены насосные агрегаты с синхронными (СД) и асинхронными (АД) электродвигателями мощностью от 800 до 5000 кВт, которые могут работать в различном сочетании в зависимости от режима перекачки нефти. В настоящее время на всех подстанциях НПС внедрены устройства автоматического ввода резервного питания (АВР) шин 6 кВ, запрограммированные в цифровых реле типа Seram 2000 фирмы АВВ. Факт потери питания по данному алгоритму определяется по минимальной частоте напряжения и обратной активной мощности, отдаваемой СД при выбеге на стороннюю нагрузку.

Опыт эксплуатации показал, что в ряде случаев при потере основного питания устройство АВР иногда срабатывает с недопустимо большой выдержкой времени или же вообще отказывает в работе. Например, задержка в срабатывании АВР в 2005 г. на НПС «Пинск» привело к несинхронному включению от автоматического повторного включения (АПВ) линии 110 кВ, что вызвало тяжелые повреждения синхронного двигателя.

Исследование причин ненадежной работы АВР-6кВ, проведенное на ЛПДС «Мозырь», показало, что отказ или затяжное срабатывания устройства происходит при совместном выбеге СД и АД. Известно, что в режиме выбега срабатывает форсировка возбуждения и СД подпитывает АД. Однако это справедливо только для реактивной мощности, поскольку затормозившиеся АД в этом случае идут на разгон. Отдаваемая активная мощность от СД может либо иметь очень малое значение, либо

иметь колебательный характер относительно нуля. На рис. 1 приведены кривые активной и реактивной мощности СД, полученные на основании обработки осциллограмм в пакете Matlab при совместном выбеге двигателей. В этих условиях и при отсутствии сторонней активной нагрузки на фидерах, подключенных к шинам подстанции, пусковой орган АВР, реагирующий на реверс активной мощности СД, отказывает в работе.

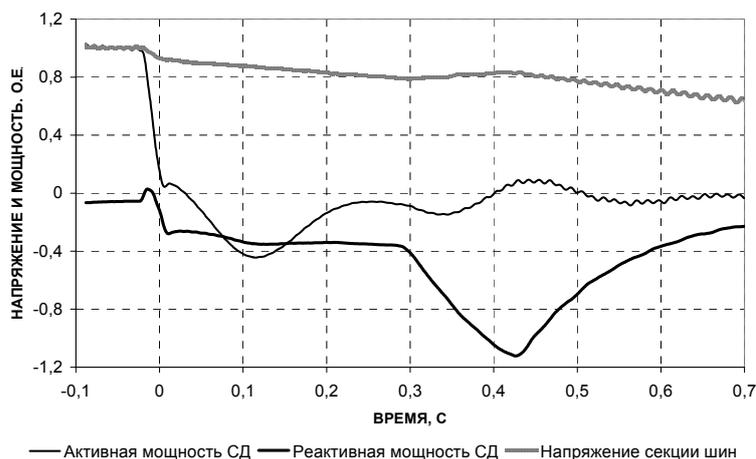


Рис. 1. Активная и реактивная составляющие мощности СД при совместном выбеге СД и АД

На основании проведенных исследований в ГГТУ им. П. О. Сухого разработан усовершенствованный алгоритм АВР-6кВ для существующих реле Seram 2000, в основу которого положен принцип пуска функции ресинхронизации с последующим АВР не по наличию обратной активной мощности, а по отсутствию прямой потребляемой мощности СД. Однако для внедрения указанного изменения требуется согласие фирмы-изготовителя реле, что сопряжено с неразрешимыми проблемами. Поэтому разработано дополнительное быстродействующее пусковое устройство, действующее на инициализацию существующей схемы АВР. Это устройство выявляет факт потери питания по величине ускорения угла между векторами напряжения резервного питания и ЭДС выбегающих электродвигателей. Проведенные эксперименты показали, что время срабатывания разработанного пускового устройства АВР не превышает 50 мс.