

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ПОДПИТОЧНЫХ БАКАХ

Шаламов И.В., Мироевский Е.Э.– студенты группы Э-24, Квашнин Ю.А. - доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

**Автоматизация технологического процесса** — совокупность методов и средств, предназначенная для реализации системы или систем, позволяющих осуществлять управление самим технологическим процессом без непосредственного участия человека, либо оставления за человеком права принятия наиболее ответственных решений. Как правило, в результате автоматизации технологического процесса создаётся АСУ ТП.

Основа автоматизации технологических процессов — это перераспределение материальных, энергетических и информационных потоков в соответствии с принятым критерием управления (оптимальности).

Часто в котельных установках для нагрева рабочей жидкости (теплоносителя) (как, правило, воды) для системы отопления или пароснабжения возникает задача, автоматизации технологического процесса контроля уровня воды. При отсутствии контроля уровня воды может возникнуть такая проблема как: длительная работа котла с недостатком воды, которая может привести к тому, что стальные трубы могут в буквальном смысле расплавиться.

Для уменьшения вероятности аварий по данной причине, необходимо предусматривать отключение котла при снижении уровня воды. Для этого могут использоваться преобразователи уровня воды прямого действия или поплавкового типа.

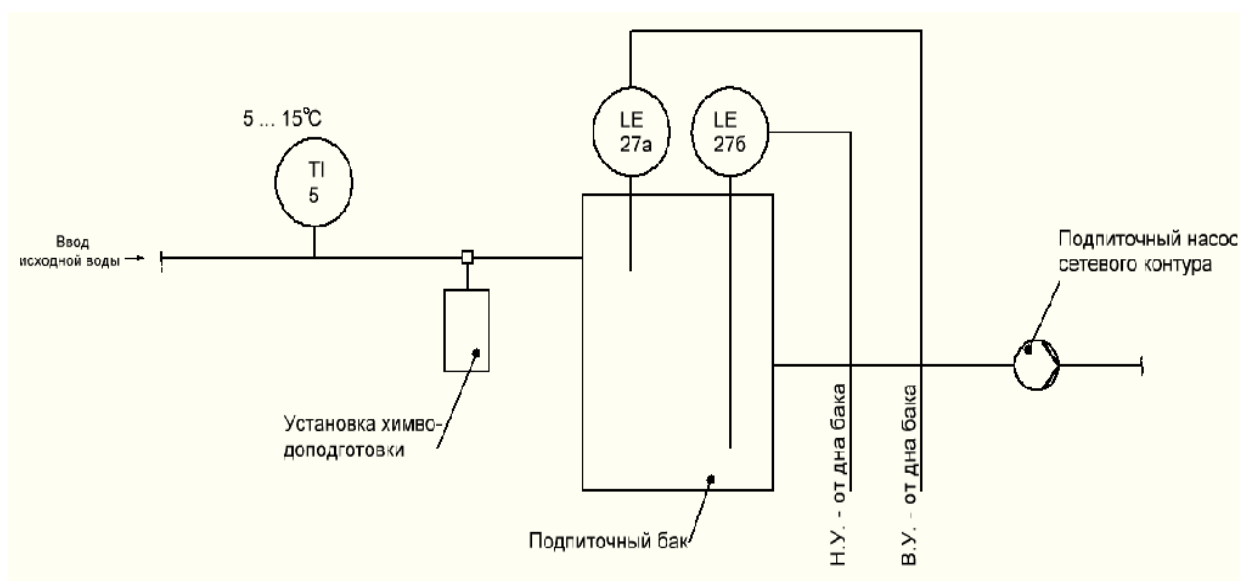


Рисунок 1 – Функциональная схема преобразователей верхнего и нижнего уровня

Поплавковые преобразователи **уровня** – одни из самых недорогих и, вместе с тем, надежных устройства для сигнализации уровня жидкостей. Данное устройство применяются для измерения как текущего, так и предельного (максимального или минимального) уровня жидкости. Конструкция таких устройств очень проста. Преобразователь имеет поплавок, передвигающийся по вертикальному штоку. Внутри поплавок находится постоянный магнит, а в штоке, представляющем собой полую трубку, находится геркон. Герконовый контакт срабатывает при приближении магнита.

В преобразователях прямого действия основными элементами регулятора уровня являются чувствительный элемент (датчик положения уровня) и исполнительное устройство в виде запорного или регулирующего клапана или крана. Исполнительное устройство предназначено для прекращения или регулирования подачи (выпуска) жидкости в зависимости от командного сигнала, подаваемого преобразователем положения уровня на привод исполнительного устройства. В регуляторах прямого действия датчиком положения

уровня служит обычно поплавков в виде полого шара или цилиндра, соединенный рычажной передачей (или без нее) с затвором клапана или крана. При подъеме или опускании уровня за установленные пределы, подъемная сила, создаваемая поплавком при поступлении в сосуд жидкости, или его масса при опускании уровня при помощи рычажной передачи перемещает затвор клапана (крана), и рабочий орган исполнительного устройства открывается или закрывается в зависимости от принципа работы регулятора уровня. Могут применяться и регуляторы уровня без рычажной передачи. В этом случае затвор клапана соединяется с поплавком при помощи штока. При подъеме поплавка поднимается и затвор клапана. По принципу работы регуляторы уровня обычно действуют как ограничители уровня, так как при работе регулятора уровень не изменяется, а его положение ограничивается установленными пределами высоты, на которую регулятор заранее настраивается.

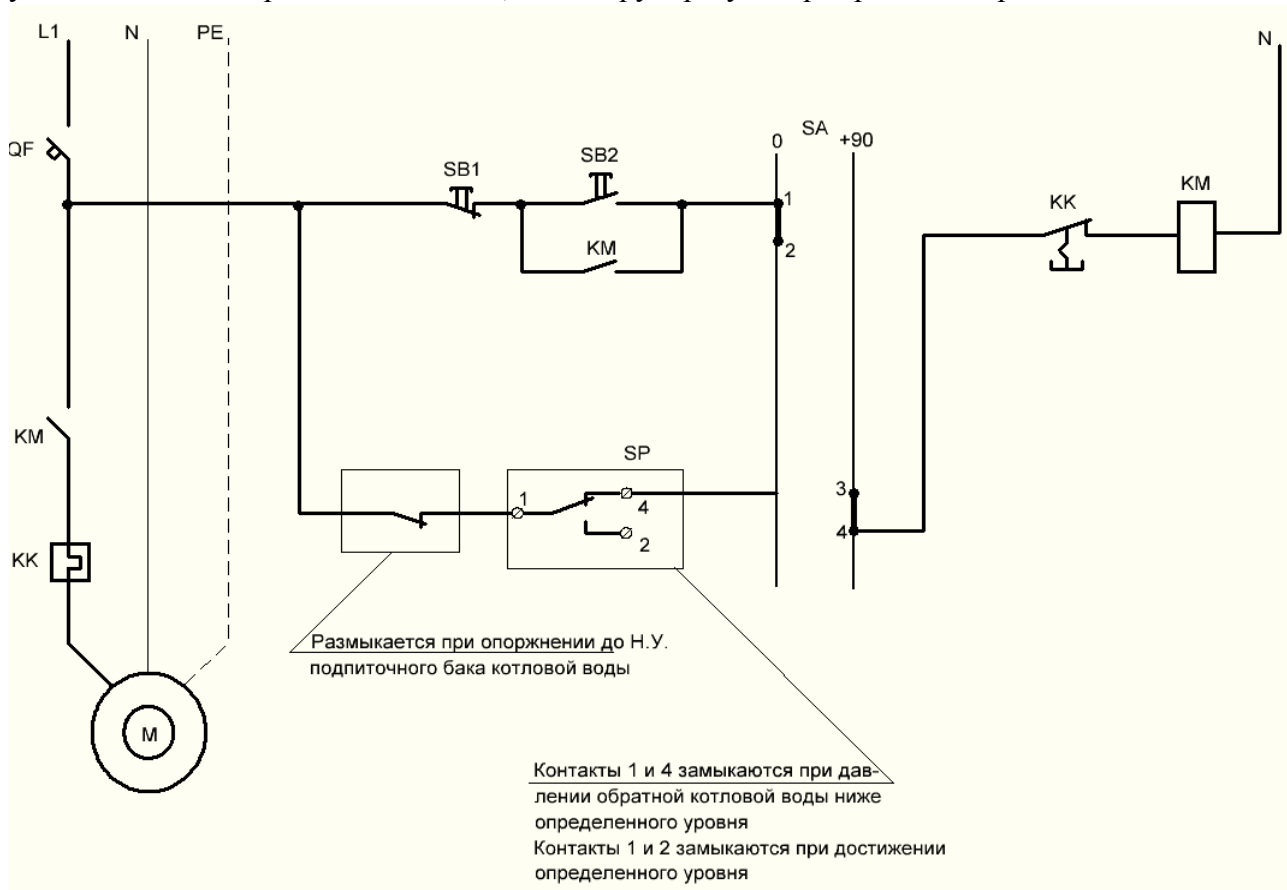


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема расположения преобразователя уровня воды

Возможность контролировать уровень воды в подпиточных баках важно в наше время.. С помощью простейших по конструкции преобразователей снижается риск аварий до минимума, увеличивается надежность системы, что повышает удобство проживания и работы в таких помещениях.

#### Список использованных источников

1. Аносов, В.Н. Элементы автоматики и построение систем управления технологическими процессами на их основе [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / В.Н. Аносов, В.М. Кавешников, В.А. Гуревич. – Электрон. дан. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. - 142 с.

2. Жмудь, В.А. Измерительные элементы автоматики [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.А. Жмудь. – Электрон. дан. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. - 72 с.

# БЕСКОНДЕНСАТОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПУСКА И РЕВЕРСА ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Титова А.А., Королёв Д.А. – студенты группы Э - 24,

Еремочкин С.Ю. – к.т.н., старший преподаватель

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В данной статье рассмотрен вопрос разработки бесконденсаторного устройства для пуска и реверса однофазного двигателя от однофазной сети переменного тока. Рассматриваемое устройство позволяет повысить энергетические показатели электродвигателя.

Современный образ жизни очень сложно представить без электроприборов, используемых в быту и в повседневной жизни. Обычно в таких приборах используются однофазные асинхронные двигатели, в силу своей способности преобразовывать энергию из однофазной сети переменного тока [1].

Существует метод конденсаторного сдвига в статорной цепи для питания однофазных асинхронных двигателей. Однако данный метод обладает некоторыми недостатками, такими как: большие габариты бумажных конденсаторов большой емкости и малая надежность. [2].

Для устранения вышеуказанных недостатков на кафедре «Электротехника и автоматизированный электропривод» АлтГТУ разработано бесконденсаторное устройство для пуска и реверса однофазного асинхронного двигателя от однофазной сети переменного тока (рисунок 1) [3].

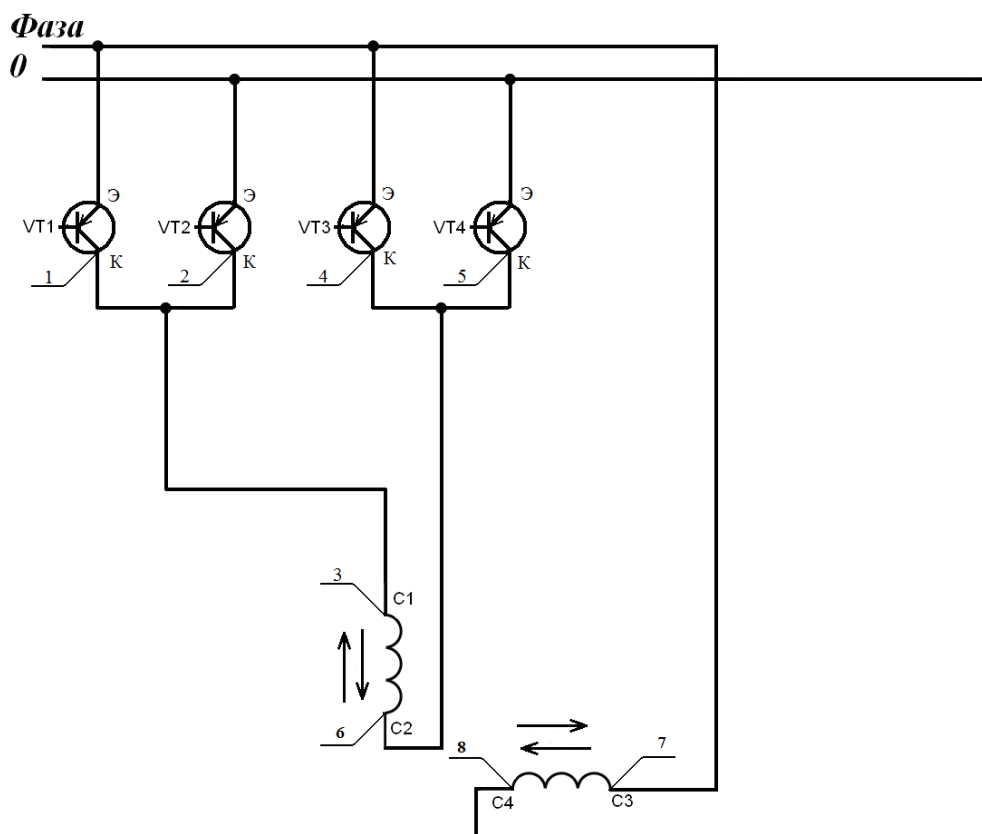


Рисунок 1 - Принципиальная электрическая схема бесконденсаторного устройства для пуска и реверса однофазного асинхронного двигателя от однофазной сети переменного тока

С помощью данного устройства, можно осуществить векторно-алгоритмическое управление однофазным асинхронным электродвигателем в направлении вперед или назад,

создавая несколько типов вращающихся полей статора при одновременном включении двух обмоток. [4].

Векторно-алгоритмическое управление прохождением четырех последовательных фиксированных положений вектора магнитного потока поля статора за один оборот двигателя при одновременном включении двух обмоток статора двигателя, осуществляющих пуск двигателя вперед, приведено на рисунке 2. Направления электромагнитного потока и протекающего тока по обмоткам статора электродвигателя приведены на рисунке 3.

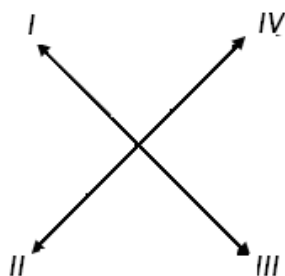


Рисунок 2 - Векторная диаграмма кругового вращающегося поля статора электродвигателя



Рисунок 3 - Направления электромагнитного потока и протекающего тока по обмоткам статора электродвигателя

На рисунке 4 представлены осциллограммы напряжений на статорных обмотках электродвигателя в соответствии с векторной диаграммой, изображённой на рисунке 2.

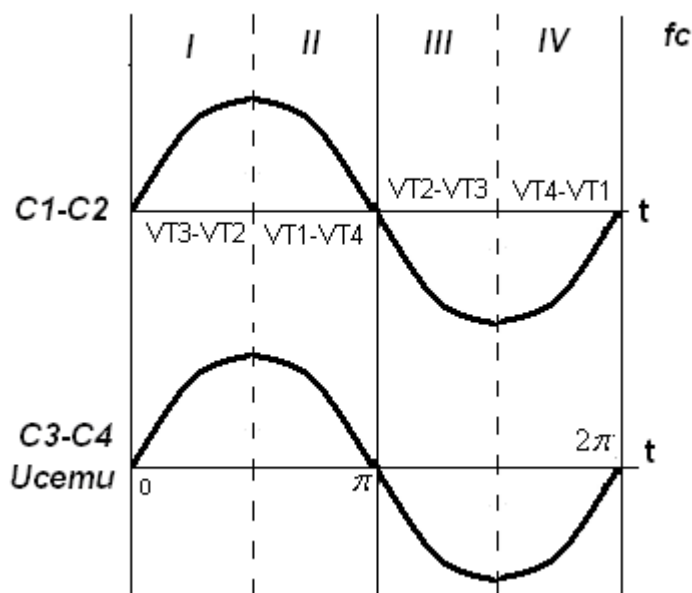


Рисунок 4 - Осциллограммы напряжений на статорных обмотках электродвигателя

Для обеспечения вращения вектора магнитного потока кругового вращающегося поля статора однофазного асинхронного двигателя в соответствии с векторной диаграммой, показанной на рисунке 2, а на рисунке 3 направления токов, протекающих в обмотках

статора, в последовательности I-II-III-IV, необходимо подавать управляющие импульсы на базы транзисторов, работающих в ключевом режиме, в следующем порядке:

- в первую положительную четверть периода питающего напряжения открываются транзистор 4 (VT3) и транзистор 2 (VT2), обеспечивая протекание тока по первой обмотке статора, – I фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора;

- во вторую положительную четверть периода питающего напряжения закрываются транзистор 4 (VT3) и транзистор 2 (VT2) и открываются транзистор 1 (VT1) и транзистор 5 (VT4), обеспечивая протекание тока по первой обмотке статора, – II фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора;

- в первую отрицательную четверть периода питающего напряжения закрываются транзистор 1 (VT1) и транзистор 5 (VT4) и открываются транзистор 2 (VT2) и транзистор 4 (VT3), обеспечивая протекание тока по первой обмотке статора, – III фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора;

- во вторую отрицательную четверть периода питающего напряжения закрываются транзистор 2 (VT2) и транзистор 4 (VT3) и открываются транзистор 5 (VT4) и транзистор 1 (VT1), обеспечивая протекание тока по первой обмотке статора, – IV фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора.

При данных последовательностях включения транзисторов предложенное реверсивное бесконденсаторное устройство пуска однофазного двухобмоточного асинхронного двигателя позволяет осуществить пуск двигателя.

Аналогичным образом, регулируя последовательность подачи управляющего сигнала на базы транзисторов, можно осуществить реверс двигателя.

Таким образом, данное устройство для пуска и реверса имеет преимущества по сравнению с конденсаторным методом вследствие меньших габаритов, экономичности, а также повышенной надежности.

Список использованных источников:

1. Брускин Д. Э. Электрические машины: Учеб. для электротехн. спец. вузов /Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов.- Ч. 1: —2-изд. М.: Высш. шк., 1987. - 319 с.

2. Торопцев Н.Д. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором/ Н. Д. Торопцев//Б-ка электромонтера. – М.: Энергия, 1979. – №487. - 80с.

3. Реверсивное бесконденсаторное устройство пуска однофазного двухобмоточного асинхронного двигателя: пат. 157687 Рос. Федерация. № 2015116579/07; заявл. 29.04.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34. – 2 с.

4. Халина Т. М., Стальная М. И., Еремочкин С. Ю. Оценка эффективности использования трехфазных асинхронных электродвигателей в однофазной сети при векторно-алгоритмическом управлении // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2011. - №12. - С. 103-107.

## КОЛЛЕКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ

Сухинин С.Е., Иванов И.А., Бутакова М.В. – студенты группы Э-44,

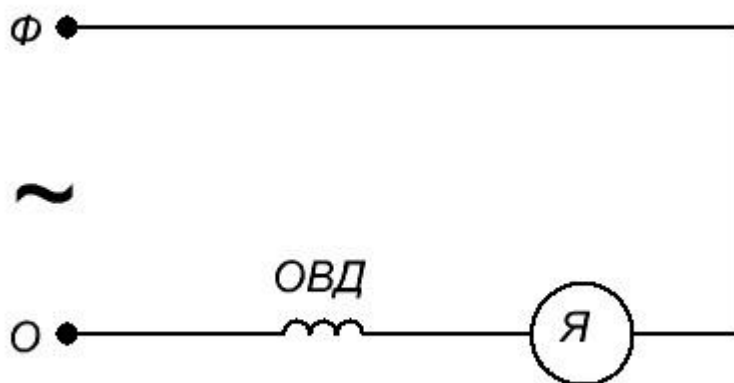
Головачев А.М. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время для перемещения грузов, людей и механизмов используются приводы, выполненные на основе, как двигателя внутреннего сгорания, так и электрического двигателя. Меньший вред окружающей среде наносят последние. Электрический привод может быть выполнен на основе двигателя постоянного и переменного тока. Как известно, при использовании электрических двигателей важным свойством является возможность регулировать скорость его вращения. Существует много способов регулировать скорость вращения электрического двигателя: изменение частоты питающего напряжения, изменение

сопротивления якорной цепи, изменение магнитного потока и так далее. Для двигателей постоянного тока необходим преобразователь переменного тока в постоянный. Двигатели переменного тока могут работать непосредственно от сети переменного тока.

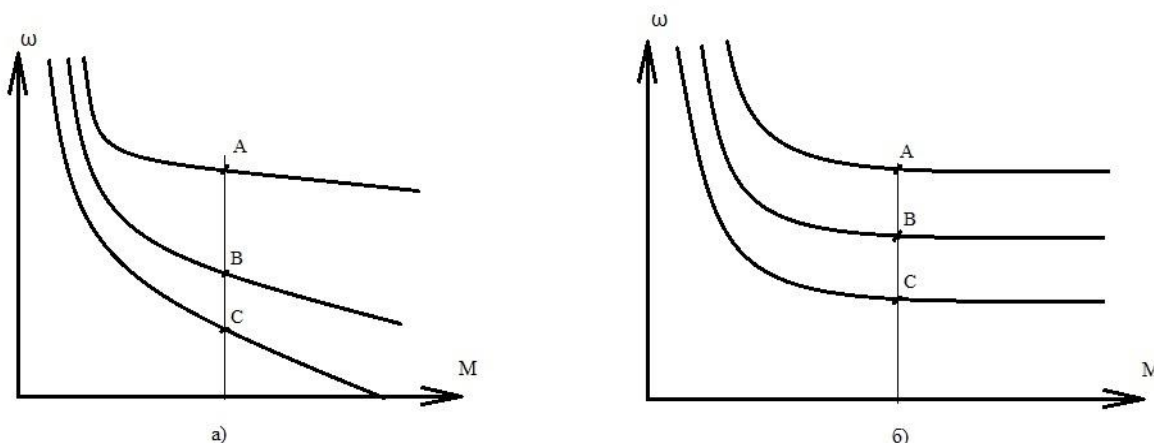
Однако, для подвижного транспорта использование асинхронных короткозамкнутых двигателей и асинхронных электрических двигателей с фазным ротором не всегда оправдано, так как у этих двигателей сложности в получении большого значения пускового момента и невозможность контроля скорости без потери мощности. Наиболее полно поставленным требованиям, а именно: получение большого значения пускового момента и хороших регулировочных свойств удовлетворяют коллекторные электрические двигатели, питающиеся непосредственно от сети переменного напряжения (рисунок 1).



ОВД – обмотка возбуждения двигателя; Я – якорь двигателя;  
 Φ – фаза питающего напряжения; О – ноль питающего напряжения;  
 ~ – переменного питающее напряжение

Рисунок 1 – Схема включения коллекторного двигателя

На рисунке 2 показаны механические характеристики этого двигателя при регулировке скорости вращения реостатным способом (рисунок 2 а) и изменением величины питающего напряжения (рисунок 2 б).



$\omega$  – частота вращения двигателя; М – момент двигателя

Рисунок 2 – Механические характеристики коллекторного двигателя:

- а) регулировка скорости вращения двигателя реостатным способом;
- б) регулировка вращения двигателя изменением величины питающего напряжения.

Как видно из рисунка 2, наиболее предпочтительным является способ регулировки частоты вращения двигателя изменением величины питающего напряжения. Кроме того, как было указано выше, такие двигатели питаются непосредственно от сети переменного напряжения. Причем, производить регулировку скорости вращения двигателя путем изменения величины питающего напряжения наиболее целесообразно с помощью полупроводниковых коммутаторов. Они дешевые, имеют маленькие габариты, долговечны, легко заменяются. Их использование вместе с простой и надежной системой управления позволяют собрать электрический привод с плавной регулировкой скорости вращения, имеющим хорошие механические характеристики.

Список использованных источников:

1. Копылов, И. П. Электрические машины: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 С.
2. Андреев, В. П. Основы электропривода: учебное пособие / В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. – М. – Л., Госэнергоиздат, 1963. – 772 С.

### РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНА

Дунаев А.Н., Полянский Д.А., Сологубов А.В. – студенты группы Э-24,  
Халин М.В. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В жестких условиях экономического кризиса и международных санкций производство и переработка сельскохозяйственной продукции представляют стратегическую задачу развития экономики, обеспечивающую национальную безопасность РФ.

В связи с увеличением спроса на экологически чистые продукты питания иодновременным ростом энергоматериальных затрат на производство сельскохозяйственнойпродукции особую значимость приобретают разработка и применение энергоэффективныхтехнологий для подогрева и сушки зерна [1].

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований сформировано направление в области подогрева и сушки зернового материала, основанное на применении многоэлектродных композиционных электрообогревателей (МКЭ), обеспечивающих энергоэффективную технологию с низкими удельными энергозатратами для предприятий АПК и малых фермерских хозяйств [2-4].

Как показал анализ, в настоящее время наиболее востребованными являются установки и устройства сушки зерна. Предлагается к разработке электрический аппарат сушки зерна (ЭАСЗ), который использует экологически чистый первичный энергоноситель электроэнергию для питания электрообогревателей МКЭ, имеющих непосредственный контакт с зерновым материалом [1].

Известные импортные устройства сушки зерна Мекмар 13/119 Т, МЕРУ М 180К, OPTISORTТКМ 18, Fratelli Pedrotti Basic 140 в качестве энергоносителяиспользуют дизельное топливо (ДТ), которое сжигается открытым способом, создаваяэкологически загрязненную окружающую среду. Для сушки в этом случае используетсявторичный энергоноситель горячий воздух, в связи с этим кпд установок невысокий – 35-40%, а у ЭАСЗ, как показали предварительные расчеты и экспериментальные исследования кпд составляет не менее 70% (Таблица 1).

Существующие установки сушки зерна имеют в основном установленные мощности 36-54 кВт, а показатели удельных энергозатрат находятся в пределах от 8 до 15 кВт\*ч/1т, в то время какаппарат ЭАСЗ при установленной мощности 18 кВт имеет показатель удельных

энергозатрат, не более 6 кВт\*ч/1т. Стоимость зарубежных сушилок варьируется от 1,5 до 3,96 млн. руб., заявленная стоимость ЭАСЗ от 1 млн. руб. (в ценах 2014 г.).

Предлагаемая конструкция аппарата сушки зерна должна обеспечивать: автоматическое регулирование с обратной связью процессов подогрева и сушки зернового материала в зависимости от его входных параметров по температуре и влажности; электро-, пожаробезопасность; надежность в эксплуатации и простоту обслуживания; производительность - 2,2 т/ч; удельные энергозатраты - 6 кВт\*ч/т; удельные приведенные затраты - 21 Руб/1т/1%; срок службы - не менее 10 лет; степень защиты от доступа к опасным частям, попадания твердых предметов, воды – IP 57 по ГОСТ 14254; класс защиты от поражения электрическим током – 1. Условие эксплуатации при исполнении У2: температура окружающей среды от +40°С до -40°С (предельное верхнее +45°С, нижнее - 50°С), относительная влажность воздуха, среднегодовое значение - не более 75% при 15°С, верхнее значение – 100% при 25°С.

Таблица 1 – Технические характеристики устройств сушки зерна

Производитель, название	Установленная мощность, кВт	Тип энергоносителя и его расход, л/ч	Производительность, т/ч при уменьшении влажности на 5%	Удельные энергозатраты, 1кВт*ч/1т	Приведенные затраты, Руб/1т/1%	Цена, тыс. Руб
Италия, Мекмар 13/119 Т	52,5	ДТ/50	5,56	9,44	96	от 3 960
Белоруссия, МЕРУ М 180К	36,7	ДТ/24	3,74	4,81	61,78	от 1 500
Италия, OPTISORT ТКМ 18	55	ДТ/70	5,62	9,78	121,42	от 3 600
Италия, Fratelli Pedrotti Basic 140	50	ДТ/50	5,83	8,62	90,2	от 3 165
Россия, ООО ПКФ «Триумф» СКСУ-100	53,25	ДТ/60	3,6	14,79	168,5	от 1 959
Россия, ЭАСЗ	18	Электричество	3	6	21	от 1 000

Таким образом, проведенный научно-технический обзор существующих устройств сушки зерна показывает, что с учетом импортозамещения и значительного повышения цен на импортное оборудование разработка и изготовление новых энергоэффективных, мобильных установок сушки зерна на основе МКЭ особенно для средних и малых фермерских хозяйств являются крайне важными задачами в современных условиях.

Список использованных источников:

1. Халин, М.В. Разработка проекта и изготовление экспериментального образца аппарата подогрева зерна на основе многоэлектродных электрообогревателей отчет о НИОКР: / М.В. Халин, Т.М. Халина, Д.Г.Часовщиков, В.В. Шатохин // ООО «АгроТермия»,



2014. – ГР № 01201372140, ГК №12012р /21984 ИКРБС: OW\_e000JzQrpl5JHQU2cLb00 Интернет-номер: 214070500001. - Барнаул, 2014. - 59 с.

2. Строков, М.Н. Технология и технические средства подогрева зерна на основе композиционных электрообогревателей[Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.20.02 : защищена 26.06.09 : утв. 17.10.09. / М. Н. Строков; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. – 116 с.

3. Халин, М.В. Энергоэффективная система автоматического регулирования процессом подогрева зерна/ М.В. Халин, Е.И. Востриков, С.А. Гусейнова, Д.Г. Часовщиков // Ползуновский вестник, № 4.2 – Барнаул: АлтГТУ, 2014 с.

4. Пат. 2571882 РФ, МПК F 26 В 25/22, F 26 В 3/34. Способ автоматического управления подогревом зерна / М.В. Халин, В.В. Шатохин, Д.Г. Часовщиков – № 2014114816/06; заявл. 14.04.2014; опубл. 27.12.2015, Бюл. № 36.

## ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕВЕРСИВНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Иванов И. А., Бутакова М. В., Сухинин С. Е. - студенты группы Э-44,  
Ведманкин А. В. - ассистент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время большую роль в выборе электрического двигателя играет такой показатель как надежность. Под надежностью обычно понимают свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные качества. Он зависит от многих факторов: безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость. Работоспособность — состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами установленными технической документацией. Долговечность — свойство изделия длительно сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимым перерывами на техническое обслуживание. Безотказность — свойство изделия сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов. Сохраняемость — состояние изделия поддерживать свои эксплуатационные показатели в течении хранения и транспортировки. Ремонтпригодность — приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей во время технического осмотра или ремонта.

Все эти показатели зависят от сложности конструкции электропривода. На сложность конструкции влияет система управления электродвигателем. Её сложность зависит от того, нужно ли мы регулировать скорость вращения двигателя, а также осуществление реверса. Если в конструкции электродвигателя заложены обе функции, регулирование скорости и обеспечение реверса, то она становится слишком сложной. Из-за этого повышается сложность обнаружения и устранения отказов и неисправностей. Следовательно, уменьшается показатель надежности аппарата.

Как известно, широкое распространение получил привод с двигателем постоянного тока. Для обеспечения его работы необходимо преобразование переменного тока в постоянный. Это необходимо для обеспечения управления электроприводом, на современном этапе питание осуществляется за счет полупроводниковых устройств, а для возможности обеспечения реверса необходимо наличие двух комплектов полупроводниковых устройств. Из-за этого усложняется конструкция всей системы управления, что отрицательно сказывается на показателе надежности электропривода.

Решением данной проблемы является создание более простых устройств. Это обеспечит высокий показатель надежности электрическому приводу, уменьшение его стоимости, упрощение в обнаружении и устранения отказов и неисправностей.

На кафедре ЭиАЭП ведутся работы в этом направлении и были созданы комплексные системы, патентоспособность которых проверяется.

Список использованных источников:

1. Копылов, И. П. Электрические машины: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 С.
2. Андреев, В. П. Основы электропривода: учебное пособие / В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. – М. – Л., Госэнергоиздат, 1963. – 772 С.

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЧАСТОТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Базарнова В.А., Белов А.А. – студенты группы Э-24, Халина Т.М. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В большинстве случаев в электроприводах используют асинхронные двигатели (АД) благодаря простоте их конструкции, надежности в эксплуатации и сравнительно низкой себестоимости. Но среди множества достоинств можно выделить и отдельные недостатки: невозможность контролировать скорость двигателя без потерь мощности, относительно небольшой пусковой момент.

Рассмотрим возможные варианты устранения указанных недостатков. Скорость вращения вала асинхронного двигателя определяется по известной формуле:

$$n_2 = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s), \quad (1)$$

где  $n_2$  – скорость вращения ротора,  $n_1$  – скорость вращения поля статора,  $f$  – частота питающей сети,  $p$  – число пар полюсов,  $s$  – скольжение.

В соответствии с (1), скорость вращения ротора можно регулировать изменением  $f$ ,  $s$  и  $p$ :

- изменением числа пар полюсов  $p$  на статоре возможно только ступенчатое регулирование скорости вращения;

- из-за конструктивных особенностей АД с КЗ ротором регулирование частоты вращения ротора изменением скольжения  $s$  невозможно, для АД с фазным ротором данный способ регулирования осуществляется введением в цепь ротора регулировочных сопротивлений;

- управление частотой питающего напряжения  $f$ .

Анализируя возможные способы изменения скорости вращения ротора, очевидно, что наиболее подходящим методом является управление частотой питающей сети.

Для регулирования частоты в современном электроприводе широко применяют преобразователи частоты (ПЧ), которые преобразуют переменный ток с постоянными значениями в переменный ток с регулируемыми значениями. Кроме того, преобразователи частоты позволяют решать широкий спектр практических задач, в том числе осуществление плавного пуска и электрическое торможение двигателя, реверсирование и т.п.

В данной работе исследуется применение векторного преобразователя частоты E2-8300 со встроенным PLC контроллером (рисунок 1) [1]. В зависимости от нагрузки на валу частотный преобразователь определяет рассогласование между векторами потокосцепления ротора и статора, и путем частотной компенсации выходного силового напряжения поддерживает это рассогласование оптимальным. Именно это свойство векторного преобразователя позволяет обеспечить легкий старт механизма на малых частотах. Благодаря оптимальному рассогласованию между векторами частотный преобразователь способен регулировать скорость электродвигателя в широком диапазоне регулирования (от 0,02  $n_{max}$

до  $n_{\max}$ , независимо от воздействия нагрузки). С помощью предлагаемой системы возможно исследование механических характеристик АД.

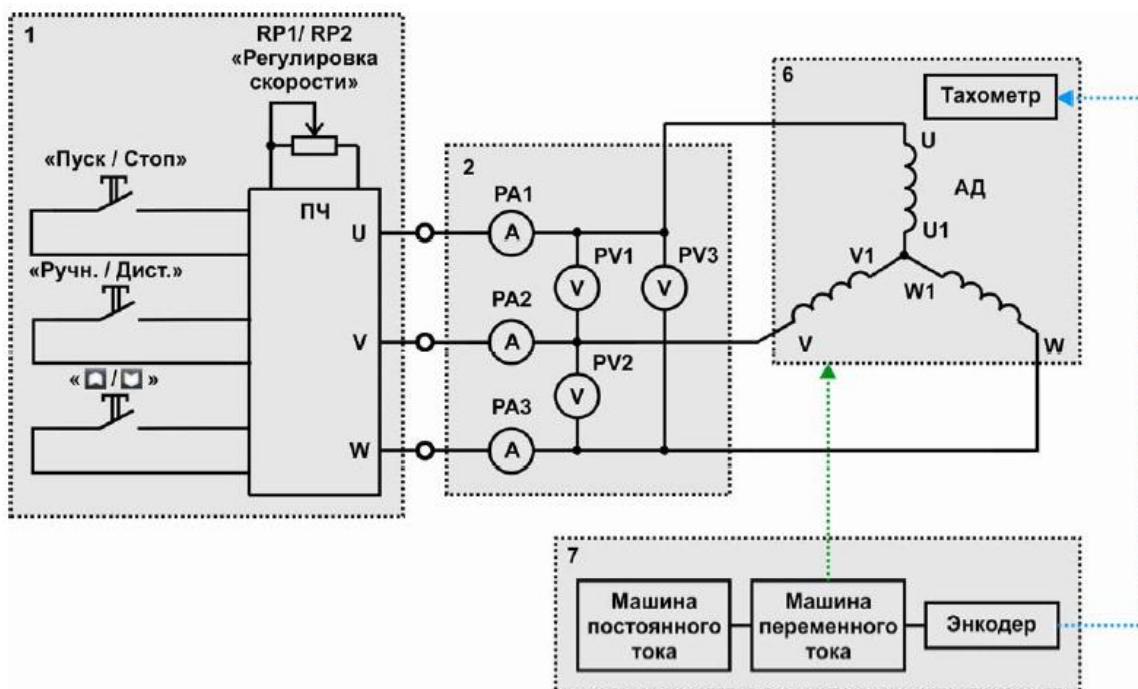


Рисунок 1 – Система ПЧ – АД для регулирования характеристик,

где 1 – модуль «Преобразователь частоты» (RP1/2 – регулятор скорости вращения асинхронного двигателя);

2 – блок измерительных приборов;

6 – модуль «Модуль силовой» с подключенным электромашинным агрегатом;

7 – электромашинный агрегат.

При изменении частоты мы получим семейство искусственных механических характеристик (Рисунок 2), причём  $f_n < f_1 < f_2 < f_3$ .

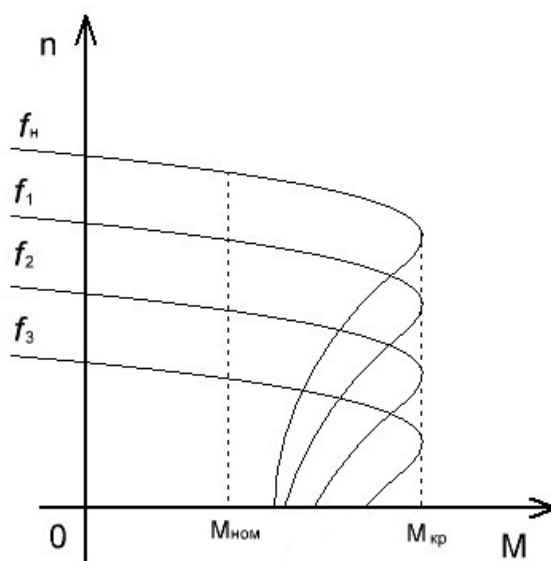


Рисунок 2 – Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном регулировании

При выборе соотношения между частотой и напряжением, подводимым к статору АД, чаще всего исходят из условия сохранения перегрузочной способности двигателя для любой из его регулировочных механических характеристик. Основным закон частотного регулирования в математической форме имеет вид [2]:

$$\frac{U_1}{U'_1} = \frac{f_1}{f'_1} \cdot \sqrt{\frac{M_c}{M'_c}}, \quad (2)$$

где  $M_c$  и  $M'_c$  - статические моменты сопротивления, соответствующие скоростям двигателя при частотах  $f_1$  и  $f'_1$ .

$U_1$  и  $U'_1$  - напряжения, соответствующие частотам  $f_1$  и  $f'_1$ .

Наше исследование показало, что изменение скорости вращения вала двигателя с помощью ПЧ не только лишено недостатков, но и позволяет при уменьшении частоты питающего напряжения увеличивать пусковой момент, что улучшает работу двигателя. Таким образом, асинхронный двигатель с векторным преобразователем частоты эффективно заменит регулируемый электропривод постоянного тока.

Список использованных источников:

1. Халина Т. М., Халин М. В., Квашнин Ю. А., Дорош А.Б. Электрический привод: Методические указания к лабораторным работам / Алт. гос. тех. ун-т. им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015- 46с.
2. Шелякин В. П. Основы электрического привода/ В. П. Шелякин, Ю. М. Фролов. М. – Колос, 2007. – 252 с.
3. Котельников, С. А. Надежный преобразователь частоты для электропривода / С. А. Котельников // DNF intralogistik. – 2013. - №4. – С. 89.
4. Поляков, В. Н. Динамика электропривода с асинхронной машиной двойного питания при векторном управлении / В. Н. Поляков // Электротехника. – 2014. - №9. С. 8-14.

## РЕВЕРСИВНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА

Бутакова М.В., Иванов И.А., Сухини С.Е. – студенты группы Э-44,  
Ведманкин А.В. – ассистент

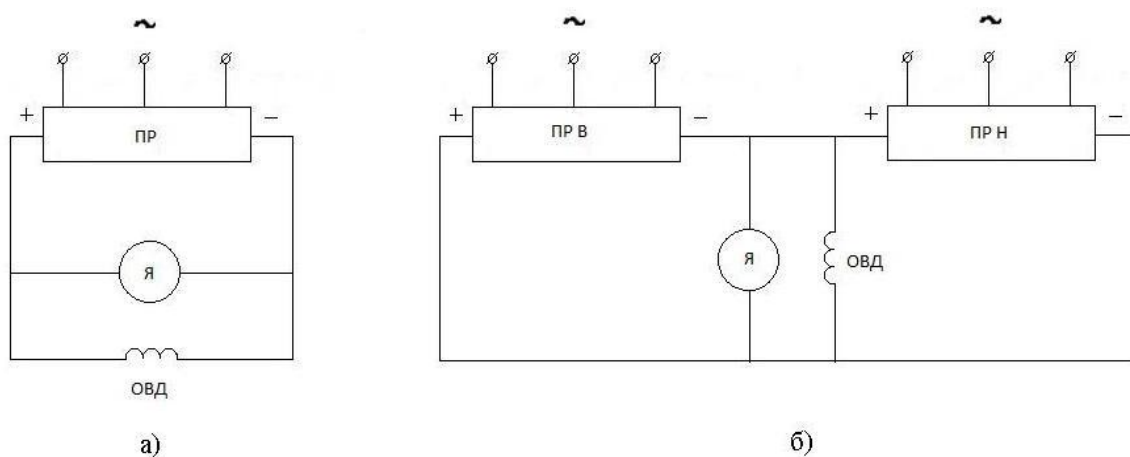
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время электропривод используется во всех отраслях народного хозяйства, таких как машиностроение, строительство, металлургия, промышленность, сельское хозяйство и другие. При этом широкое применение нашли двигатели постоянного тока. Однако, при их использовании возникает ряд проблем. Одной из них для питания и регулирования скорости таких двигателей является проблема получения постоянного тока, так как выработка и передача электроэнергии повсеместно осуществляется посредством переменного напряжения. В связи с этим, возникает необходимость использования преобразователей переменного тока в постоянный (Рисунок 1 – а). На современном этапе эти преобразователи выполняются на основе силовых полупроводниковых приборов. Но для обеспечения реверса недостаточно одного преобразователя, так как полупроводниковые приборы обеспечивают лишь одностороннее выпрямление напряжения. Исходя из этого, возникает необходимость во втором преобразователе (Рисунок 1 – б).

Наличие второго преобразователя влечет за собой увеличение габаритов и стоимости всего устройства, что, в свою очередь, усложняет обслуживание и эксплуатацию системы. Кроме того, вопрос габаритов является весьма важным для устройств, используемых в станках с числовым программным управлением. Так как габариты таких устройств должны быть небольшими, поэтому для них весьма проблематичным становится использование дополнительного комплекта выпрямителей. При всем этом нельзя упускать из внимания тот факт, что дополнительный преобразователь требует дополнительных финансовых средств.

Это вызывает увеличение стоимости всей системы, в то же время важной задачей при использовании электродвигателя постоянного тока является обеспечение максимальной функциональности при минимальных затратах.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о необходимости решения данной проблемы. Необходимо разработать компактный, малогабаритный, реверсивный электропривод постоянного тока, обеспечивающий как функциональные возможности, так и снижение габаритов и стоимости всей системы. На кафедре ЭиАЭП ведутся такие работы, патентная способность которых проверяется.



а) Электродвигатель с одним преобразователем;

б) Электродвигатель с двумя преобразователями.

ПР – преобразователь; Я – якорь; ОВД – обмотка возбуждения двигателя; ПР В - преобразователь тока направления «вперед»; ПР Н – преобразователь тока в направлении «назад».

Рисунок 1 – Электродвигатель с преобразователем переменного тока в постоянный

Список использованных источников:

1. Копылов, И. П. Электрические машины: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 С.
2. Андреев, В. П. Основы электропривода: учебное пособие / В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. – М. – Л., Госэнергоиздат, 1963. – 772 С.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА И МЕСТА НЕИСПРАВНОСТИ ДВУХФАЗНОГО НУЛЕВОГО ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Ситников Д.А. - студент гр. 8Э-53, Ерёмочкин С.Ю. – к.т.н., старший преподаватель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Несмотря на общую тенденцию перехода к регулируемому электроприводу переменного тока, электропривод постоянного тока с питанием двигателя постоянного тока от тиристорного преобразователя, будет и в дальнейшем находить свое место на рынке электроприводов, особенно, где он имеет преимущество.

Так как тиристорные выпрямители подвержены выходу из строя вследствие перенапряжения и короткого замыкания, появляется необходимость в создании системы контроля тиристорного преобразователя по этим параметрам.

Контроль технического состояния всего агрегата в целом, в т.ч. узла, устройства, и сопряжения деталей, определяется без их разборки. Заключается контроль технического

состояния в логической обработке некоторой объективно существующей информации, которая собирается в виде внешних признаков. Признаки, полученные при контроле, прямо или косвенно характеризуют состояние оборудования. Для обеспечения высокой точности и надежности работы оборудования необходимо своевременно и качественно выполнять профилактические, наладочные и ремонтные работы.

Можно выделить пять пунктов состояния объекта, а именно:

- 1) работает – не работает;
- 2) соответствует - не соответствует;
- 3) может еще работать – не может;
- 4) резерв включать – не включать;
- 5) в каком именно узле произошел отказ.

I метод – визуальный, по выходному параметру. Этот способ диагностики хорош для 1 и 2 пунктов.

II метод – метод последовательных интервалов, осуществляемых после того как по I методу определили первые 2 пункта.

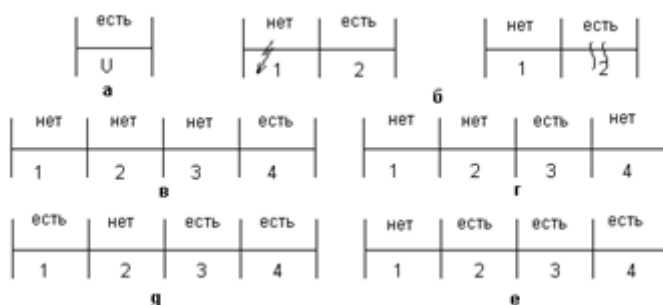


Рисунок 1 – Метод последовательных интервалов

Рассмотрим схему двухфазного нулевого тиристорного преобразователя.

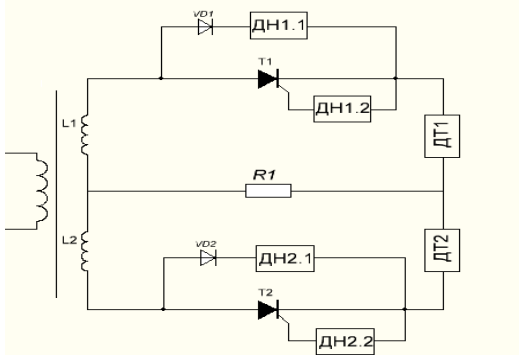


Рисунок 2 – Схема двухфазного нулевого ТП

Основные виды неисправности ТП:

- Короткое замыкание
- Диодное состояние
- Обрыв ветви

Рассмотрим более подробно каждую неисправность, составим уравнение и по нему принципиальную и монтажную схемы

- Короткое замыкание одного из тиристорных ветви

$$y_{к.з} = ДТ1 \times \overline{ДН1.2} + ДТ2 \times \overline{ДН2.2}$$

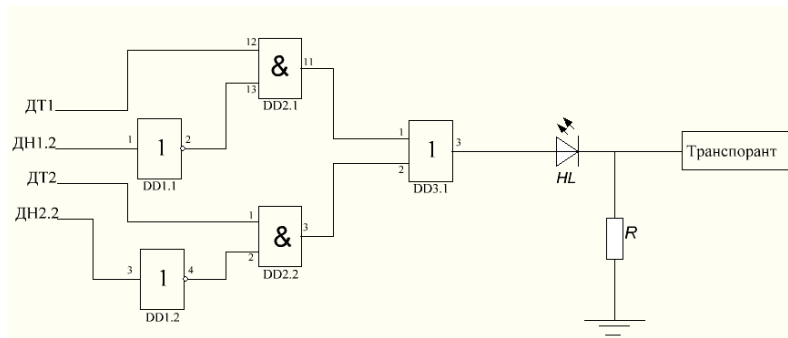


Рисунок 3 – Принципиальная схема при к.з.

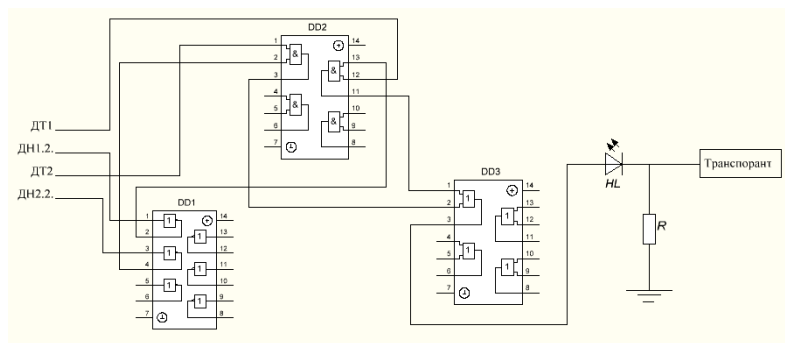


Рисунок 4 – Монтажная схема при к.з.

Диодное состояние

$$y_{д.с} = DT1 \times \overline{ДН1.1} \times \overline{ДН1.2} + DT2 \times \overline{ДН2.1} \times \overline{ДН2.2}$$

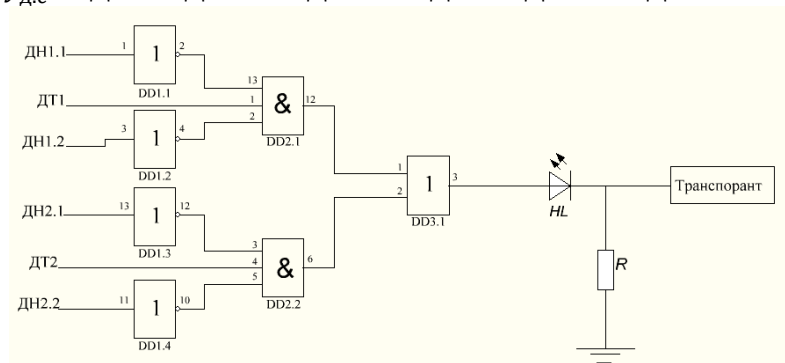


Рисунок 5 – Принципиальная схема при диодном состоянии

Обрыв ветви в зависимости от места обрыва подразделяется на два типа:

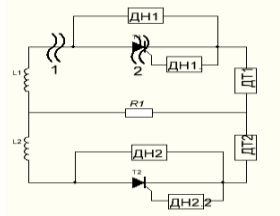


Рисунок 6 – виды обрыва ветви

Рассмотрим первый случай обрыва:

$$y_{о.в.1} = \overline{DT1} \times \overline{ДН1.1} \times ДН2.2 + \overline{DT2} \times \overline{ДН2.1} \times ДН1.2$$

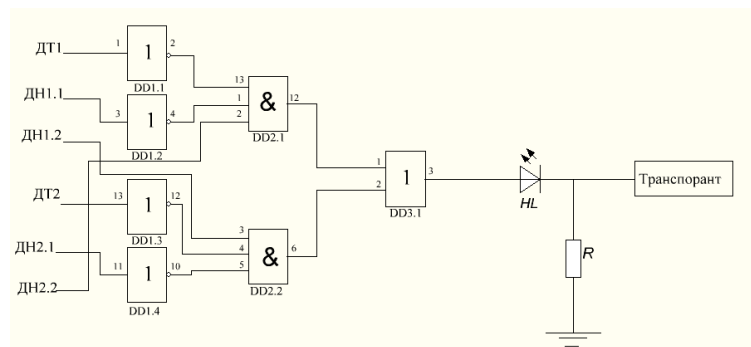
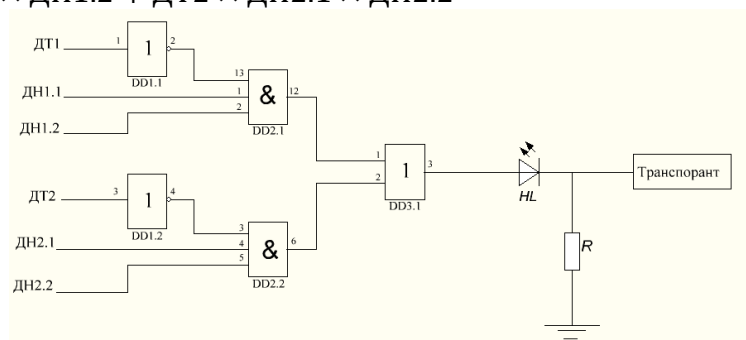


Рисунок 6 – Принципиальная схема при неисправности типа «обрыв» 1

Второй случай обрыва:

$$Y_{0.в.2} = \overline{ДТ1} \times ДН1.1 \times ДН1.2 + \overline{ДТ2} \times ДН2.1 \times ДН2.2$$



Список использованных источников:

1. Стальная М. И. Диагностика и контроль логических полупроводниковых схем в энергетике : Учебное пособие для студентов энергетических специальностей / М. И. Стальная, А. В. Ведманкин – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. - 73 с.
2. Стальная М. И. Элементы систем автоматики: Методические указания к индивидуальным лабораторным работам / М. И. Стальная, С. Ю. Еремочкин, А. В. Ведманкин – Барнаул : Изд-во АлтГТУ.- 2013.- 23 с.
3. Подлесный В. И. Элементы систем автоматического контроля и управления / В. И. Подлесный, В. Г. Рубанов – К1 Выща шк., 1991. – 461 с. - ISBN 5-11-002445-6

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

Д.Н. Крюков – аспирант, Федянин В.Я. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Важнейшей задачей для энергетики России является повышение эффективности существующих систем энергоснабжения. Также указанная проблема актуальна и для Алтайского края в связи с большими затратами на доставку привозного органического топлива. Поэтому особую значимость приобретает модернизация систем энергоснабжения сельских потребителей Алтайского края с использованием возобновляемых топливно-энергетических ресурсов.

Энергосистема Алтайского края связана с энергосистемами соседних субъектов Российской Федерации и с объединенной энергосистемой Республики Казахстан. За счет этих связей осуществляется переток электрической энергии и мощности по межсистемным линиям электропередачи напряжением 110, 220 и 500 кВ для обеспечения потребности Алтайского края.



Энергосистема края условно поделена на четыре энергорайона:

Барнаульский;

Бийский, включая город-курорт Белокуриха;

Кулундинский;

Рубцовский.

Для производства электрической энергии используются тепловые электростанции, работающие на углях Кузнецкого, Канско-Ачинского бассейнов, месторождений Хакасии. Котельные в Алтайском крае в качестве топлива используют уголь, газ и мазут.

Общее количество источников теплоснабжения в крае составляет 2109 ед., в том числе 10 ТЭЦ. Общая установленная электрическая мощность энергетического комплекса края на 01.01.2015 составила 1551,6 МВт, суммарная мощность источников теплоснабжения на 01.01.2015 - 6687,0 Гкал/ч. Электростанции Алтайского края производят около 2/3 потребляемой в регионе электрической энергии. Остальная энергия поступает в край от генерирующих мощностей ОЭС Сибири.

Основными собственниками существующих электростанций в Алтайском крае являются ООО «СГК», которой принадлежит 41,3 % от суммарной установленной электрической мощности (представлена в крае АО «Барнаульская генерация», АО «Барнаульская ТЭЦ-3», АО «Барнаульская теплосетевая компания»), АО «Бийскэнерго» - 35,0 % и ОАО «Алтай-Кокс» - 13,1 %. При этом они производят 97,5% от всей произведенной в крае электроэнергии (ООО «СГК» - 38,5 %, АО «Бийскэнерго» - 41,9 %, ОАО «Алтай-Кокс» - 17,1 %). Также в крае располагается 6 тепловых электростанций с установленной электрической мощностью до 36 МВт.

Протяженность линий электропередачи края по цепям составляет около 70 тыс. км., 15558 трансформаторных подстанций с суммарной трансформаторной мощностью 13,5 тыс. МВА [5].

Важнейшей проблемой электросетевого комплекса Алтайского края является моральный и физический износ основных фондов. Основные электрические сети Алтайского края требуют реконструкции, усиления и развития. Износ распределительных сетей края достигает более 70%. Причиной сложившейся ситуации является нехватка у энергокомпаний финансовых средств на проведение работ по реконструкции и ремонту. На сегодняшний день источник финансирования этих работ - затраты, заложенные в тарифы, а включение в тарифы затрат на выполнение этих работ в полном объеме приведет к резкому росту последних. В этой ситуации сетевые компании вынуждены основную часть имеющихся средств направлять на работы только с системообразующим оборудованием (ЛЭП и ПС классом напряжения 110-35 кВ), которое составляет около 25% всей энергосистемы края.

Характерными особенностями Энергосистемы Алтайского края являются:

1) потребность в электрической мощности и электроэнергии покрывается за счет ее производства на ТЭЦ края (около 2/3) и сальдо-перетоков с соседними энергосистемами;

2) сезонная разгрузка ТЭЦ из-за отсутствия тепловых нагрузок, в частности, снижение на летний период нагрузки Барнаульских ТЭЦ с 741 МВт до 320 МВт (более чем в 2 раза) при общем снижении потребления Алтайского края с 1708 МВт до 1200 МВт (в 1,4 раза);

3) отсутствие концентрированной потребительской нагрузки - крупных потребителей, которые могли бы оказывать системные услуги по участию в противоаварийной разгрузке при внезапном дефиците мощности или энергии;

4) разветвленная и протяженная сеть класса напряжения 110 кВ и ниже, а также длинные линии электропередачи с большим количеством подстанций;

5) зависимость режимов работы от величины и направления перетока Сибирь - Казахстан - Урал, которые существенно влияют на величину напряжения в прилегающей сети;

6) отсутствие необходимого количества средств компенсации реактивной мощности в сети 220-110 кВ.

С целью организации системного подхода в развитии энергетического комплекса Алтайского края в 2008 году принята энергетическая стратегия Алтайского края на период до 2020 года. Стратегии предусматривается шесть стратегических направлений:

1. Развитие газификации края.
2. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности.
3. Нарастивание генерирующих мощностей.
4. Развитие электрических сетей.
5. Создание собственной угледобывающей промышленности.
6. Использование возобновляемых источников энергии [2]

Алтайский край не обладает значительными запасами ископаемых видов топлива, а тарифы на электроэнергию одни из самых высоких в Сибирском Федеральном округе. С учетом того, что почти весь уголь, нефтепродукты и природный газ в Алтайском крае поступают из других регионов Российской Федерации, можно сделать вывод о зависимости энергетической отрасли края от привозного топлива.

На фоне этого стратегическое направление «Использование возобновляемых источников энергии» имеет особую значимость для экономики Алтайского края. Основными привлекательными чертами использования возобновляемых источников энергии является их доступность, отсутствие потребности в топливе при эксплуатации таких источников энергии и их экологическая чистота. Внедрение систем энергоснабжения на основе комплексного использования возобновляемых источников энергии, доступных в условиях юга Западной Сибири, способно обеспечить повышение эффективности энергетики региона.

Стратегическое направление «Использование возобновляемых источников энергии», направлено на повышение энергетической безопасности и бюджетной эффективности ТЭК Алтайского края и связано с решением следующих стратегических задач:

- снижение зависимости Алтайского края от поставок ТЭР из соседних регионов;
- повышение надежности энергоснабжения удаленных и изолированных потребителей энергии;
- внедрение новых технологий;
- развитие инновационной составляющей экономики края.

Учитывая природно-климатические условия Алтайского края и степень проработанности технологий использования ВИЭ, наиболее перспективными направлениями развития альтернативной энергетики на территории Алтайского края являются: гидроэнергетика, ветроэнергетика, солнечная энергетика и энергетика, основанная на использовании возобновляемой биомассы.

Таблица 1 – Ресурсы возобновляемых источников энергии Алтайского края, млн. т у.т./год

Ресурсы	Валовый потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Малая гидроэнергетика	5,2	1,7	0,9
Энергия биомассы	0,8	0,3	0,2
Энергия ветра	1126,0	87,4	0,4
Энергия солнечной радиации	26038,3	26,0	0,2
Низкопотенциальное тепло	529,9	3,4	0,4
Итого НВИЭ	27700,2	118,9	2,1

Возобновляемые источники энергии в виде воды и ветра должны найти самое широкое применение для коммерческого производства электроэнергии. Солнечная энергия кроме производства электричества может широко использоваться для горячего водоснабжения. Очень важна роль децентрализованной энергетики на возобновляемой биомассе в формировании оптимального топливно-энергетического баланса Алтайского края.

Повышение коммерческой эффективности электроэнергетического комплекса края в связи с предлагаемой реструктуризацией приведет к необходимости перевода населенных пунктов, которые оказываются в зоне низкой экономической эффективности, на энергоснабжение от автономных источников тепла и электроэнергии, использующих возобновляемые виды энергии. Внедрение экономически эффективных проектов использования НВИЭ должно производиться с учетом снижения (до полного сокращения) затрат на содержание низкоэффективных тепловых и электрических сетей и замещения дальнепривозного органического топлива. Важность использования в Алтайском крае возобновляемых источников энергии обусловлена не только необходимостью диверсификации доступных источников топлива, но и стоящими перед краем задачами в области охраны окружающей среды. Развитие производства электроэнергии на основе децентрализованных возобновляемых источников энергии также уменьшит нагрузку на окружающую среду [1].

Для определения перспектив использования гибридных систем электро-, теплоснабжения жилых и производственных помещений на территориях с низкой плотностью заселения была проведена оценка существующего потребления топливно-энергетических ресурсов сельским населением Алтайского края.

По данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю на 01.01.2015 на территории Алтайского края постоянно проживало 2384 тыс. человек. Средний размер домохозяйства в крае – 2,5 человека. По данным энергокомпаний среднегодовое потребление электрической энергии 1 семьей в месяц составляет около 180 кВт час.

При этом необходимо отметить, что в крае количество малых сельских населенных пунктов (до 100 человек) составляет 365 ед. или 23% от общего количества сельских населенных пунктов. В них проживает 16,3 тыс. человек, что составляет 1,5 % сельского населения. Для обеспечения электрической энергией указанного сельского населения используются линии электропередачи большой протяженности.

Существующая технология электроснабжения на основе радиальных незарезервированных цепей 6/10 кВ ненадежна, требует повышенных затрат материальных и трудовых ресурсов на создание и эксплуатацию. Длина воздушных линий электропередачи составляет до нескольких десятков километров, среднегодовая нагрузка понижающих трансформаторов, установленных в конце прошлого века – 3÷4 %, фактические потери электроэнергии в таких сетях соизмеримы с полезным потреблением.

В литературе отмечается, что вопросы преобразования в коммунальной энергетике обсуждаются на различных уровнях власти и при этом требуется изменение механизмов управления и функционирования как отрасли в целом, так и ее структурных единиц - энергопредприятий [4].

В последнее время на внутреннем рынке появилось большое число надежных и относительно дешевых энергетических установок различного типа, а также специализированных организаций, обеспечивающих весь жизненный цикл установки (проектирование – сооружение – обслуживание). В таких условиях возможно сооружение энергетических установок с оптимальными (для каждого конкретного случая) набором оборудования и заранее известными техническими и стоимостными показателями, что обеспечивает доверие потенциальных инвесторов [3].

Совместное использование суммарного эффекта от энергосберегающих архитектурно-планировочных решений и применения возобновляемых топливно-энергетических ресурсов для систем жизнеобеспечения зданий позволяет выйти на более низкий уровень энергопотребления при сохранении комфортного внутреннего микроклимата.

Выполненный в 2009 году в Алтайском государственном техническом университете имени И.И. Ползунова сравнительный анализ суммарных затрат на создание и эксплуатацию новой технологии электроснабжения и существующей централизованной системы свидетельствует о том, что подобные гибридные системы способны решить

проблемы электроснабжения объектов в сельской местности, находящихся на расстоянии нескольких десятков километров от центров электрической нагрузки. С помощью подобных гибридных систем можно осуществлять электроснабжение как отдельных зданий, так и небольших сельских поселений даже на территориях с умеренными запасами ветровой энергии, характерными для юга Западной Сибири.

Внедрение на территории Алтайского края возобновляемых источники энергии создаст благоприятные перспективы решения энергетических, социальных и экологических проблем в будущем.

Список использованных источников:

1. Федянин В. Я. Инновационные технологии для повышения эффективности Алтайской энергетики [Текст]: монография / В. Я. Федянин, В.А. Мещеряков. - Барнаул: Изд-во ААЭП, 2010. – 192 с.
2. Энергетическая стратегия Алтайского края на период до 2020 года: цели, приоритеты и задачи развития ТЭК [Текст] / А.М. Карасевич, А.Б. Карлин и др. - М: Страхование ревью, 2009. – 136 с.
3. Распределенное производство энергии [Текст] / В.М. Зайченко, А.Д. Цой, В.Я. Штеренберг. – М: БуКос, 2008. – 207 с.
4. Булавин И.В. Автореферат диссертации по теме «Организационно-экономическое обоснование преобразований в коммунальной энергетике». – Вологда, 2003.
5. Указ Губернатора Алтайского края от 25 июня 2015 года № 63 «Об утверждении схемы и программы «Развитие электроэнергетики Алтайского края» на 2016-2020 годы».

## ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НА РАБОТУ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Пилипчук Д.Н. – студент 8Э-53, Федянин В.Я. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Проведен анализ влияния несимметричного режима трехфазной электрической сети на дополнительные потери электрической энергии в асинхронных двигателях. Представлены результаты расчетов изменения относительных потерь мощности в асинхронных двигателях серии 4А за счет снижения коэффициента обратной последовательности.

В современных условиях роста экономики, при развитии человечества во всех сферах деятельности происходит ухудшение качества электрической энергии. Это в свою очередь приводит к увеличению дополнительных потерь активной мощности и, следовательно, к снижению эффективности работы систем электроснабжения и потребителей, подключенных к ним. Но при этом большая часть дополнительных потерь мощности обусловлена наличием несимметричных режимов работы электрической сети.

Наиболее частой причиной несимметрии напряжений на практике является неравенство токовых нагрузок фаз.

Любую несимметричную систему трех напряжений можно разложить на три симметричные системы, представленные на рисунке 1:

- прямой последовательности  $U_1$ , чередование фаз которой совпадает с чередованием фаз исходной системы;
- обратной последовательности  $U_2$ , чередование фаз которой противоположное;
- нулевой последовательности  $U_0$ , все векторы которой направлены одинаково

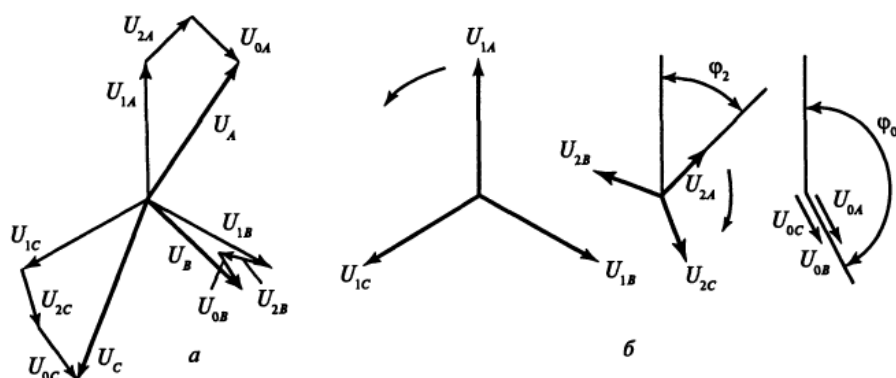


Рисунок 1. Разложение несимметричной системы векторов на симметричные составляющие

Воздействие несимметричной системы напряжений на электрооборудование складывается из воздействий этих трех симметричных систем. Результаты этого воздействия на однофазные и трехфазные ЭП различны. Для однофазных электропотребителей значение имеет лишь напряжение той фазы, к которой они подключены. Так как средства РН в ЦП изменяют напряжения одинаково во всех трех фазах, то соотношение между напряжениями остается неизменным. В результате отклонение напряжения во всех фазах в ряде случаев не удается поддерживать в допустимых пределах.

Для трехфазных электропотребителей (например, трехфазных двигателей) воздействие обусловлено обратным чередованием фаз напряжения обратной последовательности. Так как  $U_1$  значительно больше  $U_2$ , двигатель вращается в соответствии с чередованием фаз прямой последовательности, а обратная последовательность оказывает на него тормозящее действие. Это вызывает некоторое снижение скорости вращения асинхронного двигателя (увеличивается скольжение  $s$ ), скорость же вращения синхронного двигателя, естественно, измениться не может. В обмотках двигателей возникает ток обратной последовательности, значение которого определяется сопротивлением обратной последовательности обмоток. Сопротивление обмоток двигателя зависит от скольжения ротора относительно статора  $s$  и выражается зависимостью, показанной на Рисунке 2. При нормальной работе асинхронного двигателя скольжение мало ( $s \ll 1$ ), для синхронного двигателя  $s = 0$ , поэтому сопротивление двигателя  $x_d$  близко или равно  $x_c$ .

Для заторможенного двигателя  $s = 1$  сопротивление резко падает до  $x_k$ . Отношение  $x_c/x_k$  и определяет кратность пускового тока двигателя (обычно  $k_n = 4 - 7$ ).

При увеличении скольжения до  $s = 2$  (поле статора вращается в одну сторону, а ротора – в другую, что имеет место для токов обратной последовательности) значение  $x_d$  практически не изменяется по сравнению с  $x_k$ . А это значит, что для токов обратной последовательности сопротивление двигателя в  $k_n$  раз меньше, чем для прямой последовательности. Поэтому, например, при возникновении на вводе двигателя с  $k_n = 7$  величины напряжения обратной последовательности  $U_2/U_1 = 0,03$  ток обратной последовательности в его обмотках составит 21% тока прямой последовательности, что вызовет дополнительный нагрев обмоток двигателя.

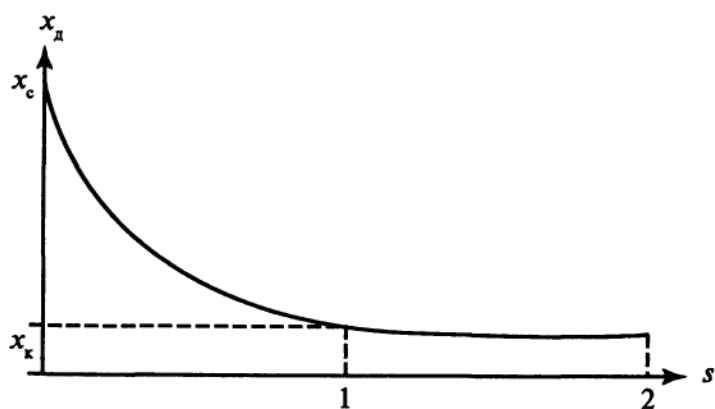


Рисунок2. Зависимость сопротивления асинхронного двигателя от скольжения

Превышение температуры обмоток над допустимым значением оказывает существенное влияние на сроки службы асинхронных электродвигателей. Дополнительный нагрев приводит к ускоренному старению изоляции и уменьшению располагаемой мощности двигателя (уменьшению к.п.д. двигателя). Срок службы полностью загруженного асинхронного двигателя, работающего при коэффициенте несимметрии напряжения 4%, сокращается в 2 раза. Следует также иметь ввиду, что при коэффициенте несимметрии напряжения 4% располагаемая мощность двигателя уменьшается на 4÷10%. Вследствие одновременного воздействия температуры окружающей среды, относительной загрузки двигателя по мощности  $\beta_m$ , напряжения обратной последовательности  $U_2$ , отклонения напряжения  $\Delta U$  и высших гармоник  $U_v$  происходит нагрев обмоток. Превышение температуры обмоток над температурой окружающей среды обуславливает четыре последних параметра.

При полной загрузке машины  $\beta_m=100\%$  и нижней границе допустимого отклонения напряжения  $\Delta U = -5\%$  происходит наибольший нагрев электрического двигателя. Любой вклад других факторов при таких значениях данных параметров приведет к превышению температуры обмоток над допустимым значением. При повышении напряжения и снижении загрузки машины на его вводе появляется запас температурного воздействия, в пределах которого допускается воздействие определенных уровней напряжения обратной последовательности и (или) высших гармоник.

Срок службы оборудования связан с превышением температуры обмотки соотношением:

$$T_{сл} = T_{сл.н} e^{b\Delta\tau},$$

Здесь  $T$  – нормативный срок службы;  $b$  – постоянный коэффициент, характеризующий данный вид изоляции;  $\Delta\tau$  – превышение температуры обмотки, град.

*Мероприятия по снижению несимметрии напряжений.*

Для снижения несимметрии напряжений, вызываемой работой мощных однофазных приемников применяют:

- подключение таких приемников к трансформаторам с большой мощностью короткого замыкания;
- пофазную компенсацию реактивной мощности (для потребителей с низким коэффициентом мощности);
- специальные симметрирующие устройства.

Несимметрия напряжений обусловлена двумя причинами – неравенством линейных токов и конечным значением сопротивления сети. Понятно, что для идеальной сети с бесконечно малым сопротивлением несимметрия токов не будет вызывать несимметрии напряжений. В свою очередь сопротивление всей сети в целом в значительной степени определяется сопротивлением источника, мерой которого служит мощность короткого замыкания  $S_{кз}$ . Чем больше мощность короткого замыкания, тем меньше сопротивление

(при постоянстве напряжений). Таким образом, возможность подключения неполнофазных приемников к узлу с большой мощностью короткого замыкания –наиболее простой путь снижения несимметрии напряжений.

Дополнительные потери мощности при отклонении симметрии и синусоидальности токов и напряжений можно определять по следующей формуле:

$$\Delta P_D = k_2 U_2 \frac{P_{Dн}}{10^{-4}}, \text{ кВт.}$$

Здесь  $U_2$  – напряжение обратной последовательности, %;  $P_{Dн}$  – номинальная мощность машины, кВт. Коэффициент  $k_2 = 2,41 k_D$ , где коэффициент  $k_D$  зависит от номинальной мощности двигателя и определяется по формулам:

при $P_{Dн} < 5$ кВт,	$k_D = 3 + 0,3 (5 - P_{Dн})$ ;
при $5 < P_{Dн} < 100$ кВт,	$k_D = 1 + 0,02 (100 - P_{Dн})$ ;
при $100 < P_{Dн} < 1000$ кВт,	$k_D = 0,4 + 0,0007 (1000 - P_{Dн})$ ;
при $P_{Dн} > 1000$ кВт,	$k_D = 0,4$ .

Рассмотрим, как снижаются потери мощности в асинхронных двигателях за счет снижения коэффициента обратной последовательности с 3 до 1%. Для этого сравним 6 двигателей серии 4А разной мощности, расчетные коэффициенты приведены в таблице 1

Таблица 1.

Тип двигателя	$P_{Dн}$ , кВт	$k_D$	$k_2$	$\Delta P_D / P_{Dн}$ , %
4АА56В2У3	0,25	4,43	10,68	0,85
4А90L2У3	3	3,6	8,68	0,69
4А160S2У3	15	2,7	6,51	0,52
4А250S2У3	75	1,5	3,62	0,29
4А250M2У3	132	1,01	2,43	0,19
4А250M2У3	315	0,88	2,12	0,17

Результаты расчетов представлены на рисунке 3.

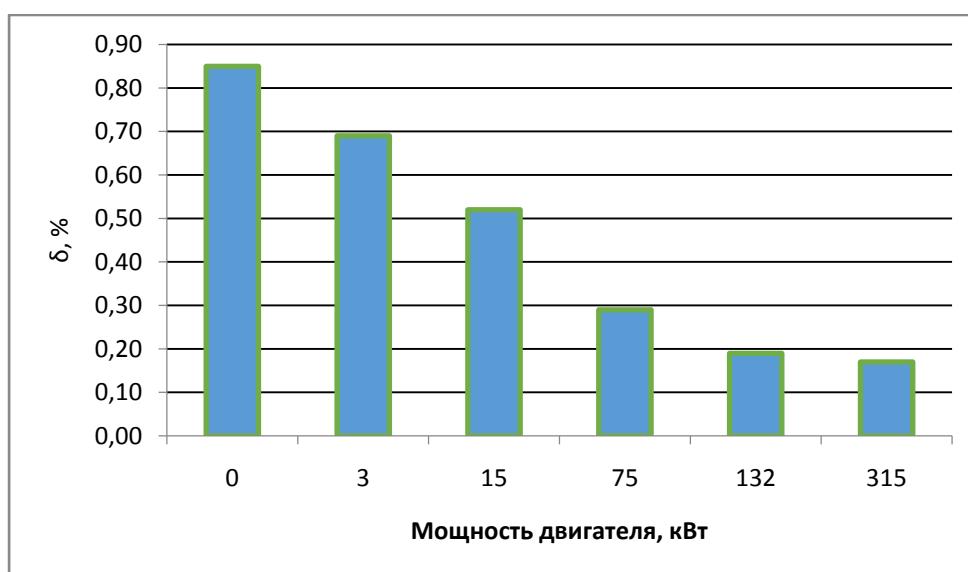


Рисунок3. Относительное снижение дополнительных потерь в асинхронных двигателях серии А4

По результатам расчетов можно сделать вывод о том, что энергосберегающие мероприятия по уменьшению несимметрии в трехфазной сети дают больший эффект для асинхронных двигателей малой мощности, чем для мощных асинхронных двигателей.

Список использованных источников:

1. Долингер С.Ю. Оценка дополнительных потерь мощности от снижения качества электрической энергии в элементах систем электроснабжения / С.Ю. Долингер, А.Г. Лютаревич, В.Н. Горюнов и др. // Омский научный вестник. –2013. –№ 2 – С. 120.

2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. / Ю.С. Железко – М.: ЭНАС, 2009.– 456 с.

3. Кравчик А. Э. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / Кравчик А.Э., Делаф М.М., Афонин В.И., Соболенская Е.А. / М.: Энергоиздат, 1982. –504 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СЕЛЬХОЗ ТЕХНИКИ

Дорожкин М.В. - студент, Коротких В.М. – к.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одной из важнейших задач агропромышленного комплекса является повышение ресурса сельхоз техники. По некоторым исследованиям, затраты, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием техники составляют около 15% от всей валовой продукции, из которых более 70% приходится на приобретение новых запчастей и всего 10% на восстановление и упрочнение вышедших из строя рабочих органов машин [1]. Не смотря на это восстановление и повышение износостойкости рабочих частей сельскохозяйственных машин является не только технически оправданным, но и экономически выгодным мероприятием [2]. Данный вид обслуживания особенно актуален для почвообрабатывающих машин, рабочие органы которых испытывают постоянный износ, проявляющийся в различных условиях в разной степени и приводящий в конечном итоге к выходу детали из строя [3]. Причиной преждевременного отказа является абразивное изнашивание поверхности и режущих кромок, обусловленное наличием в обрабатываемой почве твердых частиц. Данный разрушающий фактор является следствием специфических условий эксплуатации и может быть снижен за счет упрочнения рабочих поверхностей лемехов, лап, а также режущих дисков [4].

В настоящее время существуют десятки технологий упрочнения поверхности рабочих органов сельхоз машин, но наиболее часто применяются лишь два метода: изготовление рабочих органов из легированной стали марки 65Г с последующей термообработкой, упрочнение путем наплавки твердых износостойких материалов [1]. Изделия, изготовленные первым способом получают недорогими, однако их ресурс все же не высок. Второй способ получил широкое распространение как в России, так и за рубежом. Он имеет хорошие показатели по увеличению срока службы рабочих органов, которые значительно превышают показатели в сравнении с первым методом упрочнения [1]. Для наплавки используют различные технологии, и применяют всевозможные упрочняющие материалы.



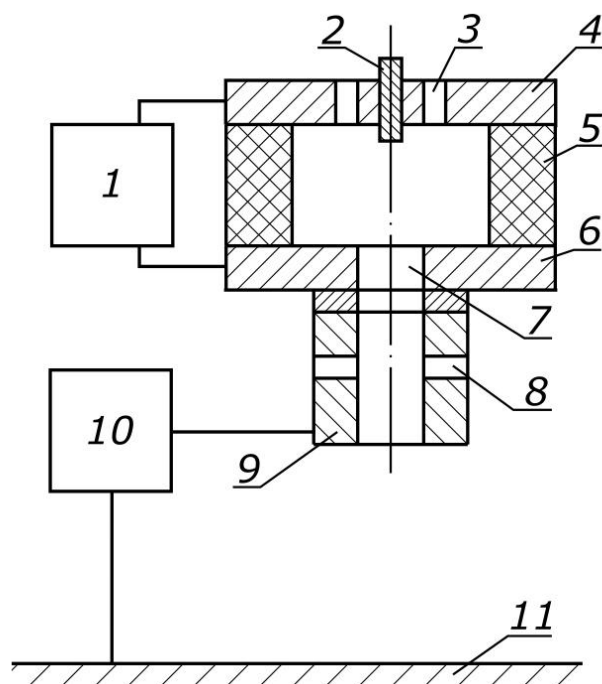


Рисунок 1 – схема установки плазменного напыления

Одним из таких перспективных методов является упрочнение рабочих поверхностей посредством напыления на нее износостойких материалов. Ключевым звеном данной технологии является установка плазменного напыления, от энергоэффективности которой практически напрямую зависят энергозатраты на ремонт. На рисунке 1 представлена схема установки, применяемой для нанесения покрытий из порошковых материалов на рабочие поверхности различных изделий [5].

Данное устройство позволяет получить поверхность с заданными свойствами. Для этих целей имеется возможность применять различные тугоплавкие порошковые смеси, которые другими способами нанести на поверхность практически не возможно. Установка состоит из источника электрического питания 1, катода 2 и анода 6 размещенного в корпусе 5, в котором расположена система подачи плазмообразующего газа, выполненная в виде отверстий 3. Сопло 9 вместе с системой подачи напыляемого порошкового материала 8 электрически изолировано от корпуса жаропрочной шайбой. Анод дополнительного источника электрического питания 10 соединен с соплом, а катод присоединен к напыляемой поверхности 11. Представленная установка обеспечивает повышенное качество получаемого покрытия и низкие потери порошкового материала за счет как высокой скорости истечения из сопла образовавшейся порошковой смеси, так и благодаря созданию дополнительным источником питания разности потенциалов, следствием которой является более равномерное напыление [5].

Использование плазменного напыления в мероприятиях по упрочнению рабочих органов почвообрабатывающей сельхоз техники можно осуществлять как на стадии производства, так и в процессе эксплуатации [4]. Такие меры как правило приводят к продлению межремонтной наработки сельхоз техники и приводят к увеличению их общего ресурса.

Список использованных источников:

1. Орлов П. В., Гринберг П. Б., Полещенко К. Н., Тарасов Е. Е. Применение нанотехнологии в производстве высокоресурсных почвообрабатывающих органов сельскохозяйственной техники // Вестник ОмГУ. 2012. №2 (64). С.245-248.
2. Семчук Г. И. Методы восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственных машин // ТАРП. 2013. №4 (13). С.57-59.

3. Таранов А. С. Упрочнение рабочих органов сельхозмашин методом поверхностного пластического деформирования в переменном магнитном поле // Достижения науки и техники АПК. 2009. №1. с 57-59

4. Крупин А. Е. Особенности эксплуатационного изнашивания рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий // Вестник НГИЭИ. 2010. №1. С.53-60.

5. Галышкин Н.В. Коротких В.М. Установка плазменного напыления// Патент России № 2335347. 2008. Бюл. № 28.

## ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СЕЛЬХОЗ ТЕХНИКИ

Дорожкин М.В. - студент, Коротких В.М. – к.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одной из важнейших задач агропромышленного комплекса является повышение ресурса сельхоз техники. По некоторым исследованиям, затраты, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием техники составляют около 15% от всей валовой продукции, из которых более 70% приходится на приобретение новых запчастей и всего 10% на восстановление и упрочнение вышедших из строя рабочих органов машин [1]. Не смотря на это восстановление и повышение износостойкости рабочих частей сельскохозяйственных машин является не только технически оправданным, но и экономически выгодным мероприятием [2]. Данный вид обслуживания особенно актуален для почвообрабатывающих машин, рабочие органы которых испытывают постоянный износ, проявляющийся в различных условиях в разной степени и приводящий в конечном итоге к выходу детали из строя [3]. Причиной преждевременного отказа является абразивное изнашивание поверхности и режущих кромок, обусловленное наличием в обрабатываемой почве твердых частиц. Данный разрушающий фактор является следствием специфических условий эксплуатации и может быть снижен за счет упрочнения рабочих поверхностей лемехов, лап, а также режущих дисков [4].

В настоящее время существуют десятки технологий упрочнения поверхности рабочих органов сельхоз машин, но наиболее часто применяются лишь два метода: изготовление рабочих органов из легированной стали марки 65Г с последующей термообработкой, упрочнение путем наплавки твердых износостойких материалов [1]. Изделия, изготовленные первым способом получаются недорогими, однако их ресурс все же не высок. Второй способ получил широкое распространение как в России, так и за рубежом. Он имеет хорошие показатели по увеличению срока службы рабочих органов, которые значительно превышают показатели в сравнении с первым методом упрочнения [1]. Для наплавки используют различные технологии, и применяют всевозможные упрочняющие материалы.

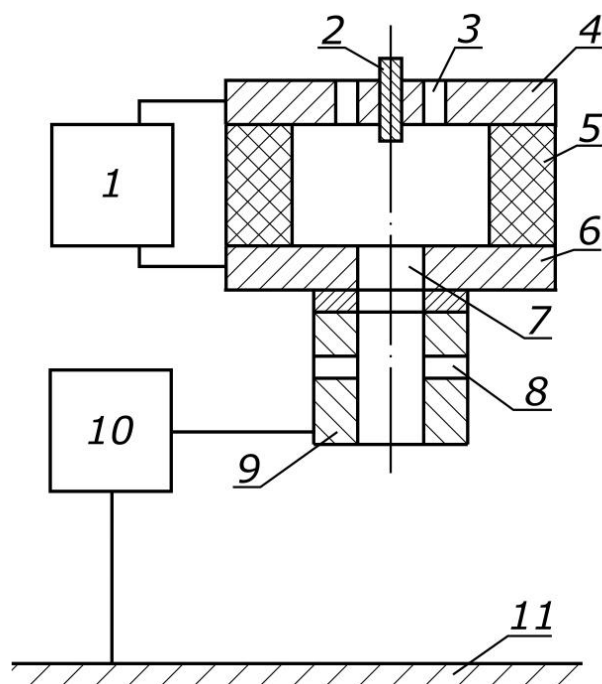


Рисунок 1 – схема установки плазменного напыления

Одним из таких перспективных методов является упрочнение рабочих поверхностей посредством напыления на нее износостойких материалов. Ключевым звеном данной технологии является установка плазменного напыления, от энергоэффективности которой практически напрямую зависят энергозатраты на ремонт. На рисунке 1 представлена схема установки, применяемой для нанесения покрытий из порошковых материалов на рабочие поверхности различных изделий [5].

Данное устройство позволяет получить поверхность с заданными свойствами. Для этих целей имеется возможность применять различные тугоплавкие порошковые смеси, которые другими способами нанести на поверхность практически не возможно. Установка состоит из источника электрического питания 1, катода 2 и анода 6 размещенного в корпусе 5, в котором расположена система подачи плазмообразующего газа, выполненная в виде отверстий 3. Сопло 9 вместе с системой подачи напыляемого порошкового материала 8 электрически изолировано от корпуса жаропрочной шайбой. Анод дополнительного источника электрического питания 10 соединен с соплом, а катод присоединен к напыляемой поверхности 11. Представленная установка обеспечивает повышенное качество получаемого покрытия и низкие потери порошкового материала за счет как высокой скорости истечения из сопла образовавшейся порошковой смеси, так и благодаря созданию дополнительным источником питания разности потенциалов, следствием которой является более равномерное напыление [5].

Использование плазменного напыления в мероприятиях по упрочнению рабочих органов почвообрабатывающей сельхоз техники можно осуществлять как на стадии производства, так и в процессе эксплуатации [4]. Такие меры как правило приводят к продлению межремонтной наработки сельхоз техники и приводят к увеличению их общего ресурса.

Список использованных источников:

1. Орлов П. В., Гринберг П. Б., Полещенко К. Н., Тарасов Е. Е. Применение нанотехнологии в производстве высокоресурсных почвообрабатывающих органов сельскохозяйственной техники // Вестник ОмГУ. 2012. №2 (64). С.245-248.
2. Семчук Г. И. Методы восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственных машин // ТАРП. 2013. №4 (13). С.57-59.

3. Таранов А. С. Упрочнение рабочих органов сельхозмашин методом поверхностного пластического деформирования в переменном магнитном поле // Достижения науки и техники АПК. 2009. №1. с 57-59

4. Крупин А. Е. Особенности эксплуатационного изнашивания рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий // Вестник НГИЭИ. 2010. №1. С.53-60.

5. Галышкин Н.В. Коротких В.М. Установка плазменного напыления// Патент России № 2335347. 2008. Бюл. № 28.

### ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ВЕКТОРНО – АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ТИПА

Королёв Д.А., Титова А.А. – студенты группы Э - 24, Стальная М.И. – к.т.н., профессор Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Как известно, для электроснабжения потребителей в сельской местности и в отдаленных районах, в основном, используется однофазная сеть переменного тока. Согласно статистическим данным, количество абонентов в сельской местности Алтайского края составляет:

- частный сектор с однофазной системой электроснабжения - 269337 абонентов
- частный сектор с трехфазной системой электроснабжения – 12162 абонента.

Таким образом, видно, что подавляющее число абонентов лишены трехфазной системы электроснабжения.

Однако, трехфазные асинхронные электродвигатели, для которых необходима трехфазная сеть питания, достаточно широко используются абонентами, имеющими однофазную систему электроснабжения [1]. Следовательно, для запуска и работы трехфазных электродвигателей при питании от однофазной сети питания необходимы специальные устройства. Наиболее распространенным методом запуска в этом случае является метод конденсаторного сдвига. Данный метод не достаточно надежен, не позволяет снять с вала двигателя его полную мощность, кроме того усложняется возможность осуществления реверса и регулировки скорости электродвигателя[2]. Предлагаемое устройство запуска и работы трехфазного асинхронного электродвигателя при питании от однофазной сети позволят электродвигателю работать практически на полную мощность, осуществлять реверс и регулировку скорости в широком диапазоне. За счет использования небольшого количества полупроводниковых ключей устройство имеет высокую надежность, а так же компактную систему управления. Благодаря простоте изготовления преобразователь имеет более низкую цену, чем другие частотные преобразователи[3].

Схема векторно - алгоритмического преобразователя представлена на рисунке 1.

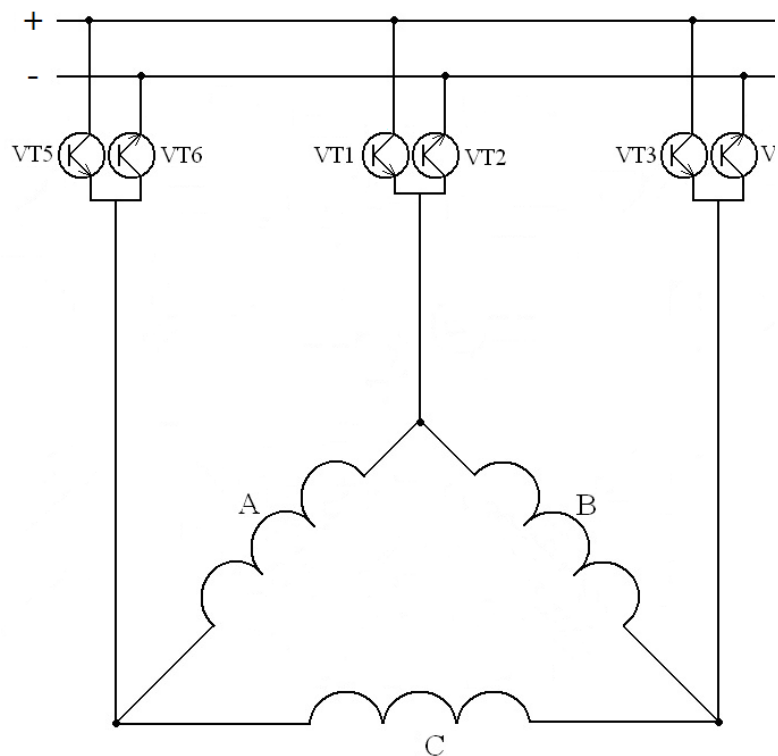


Рисунок 1 – Широкополосный преобразователь векторно – алгоритмического типа

На рисунке 2 представлен алгоритм работы преобразователя.

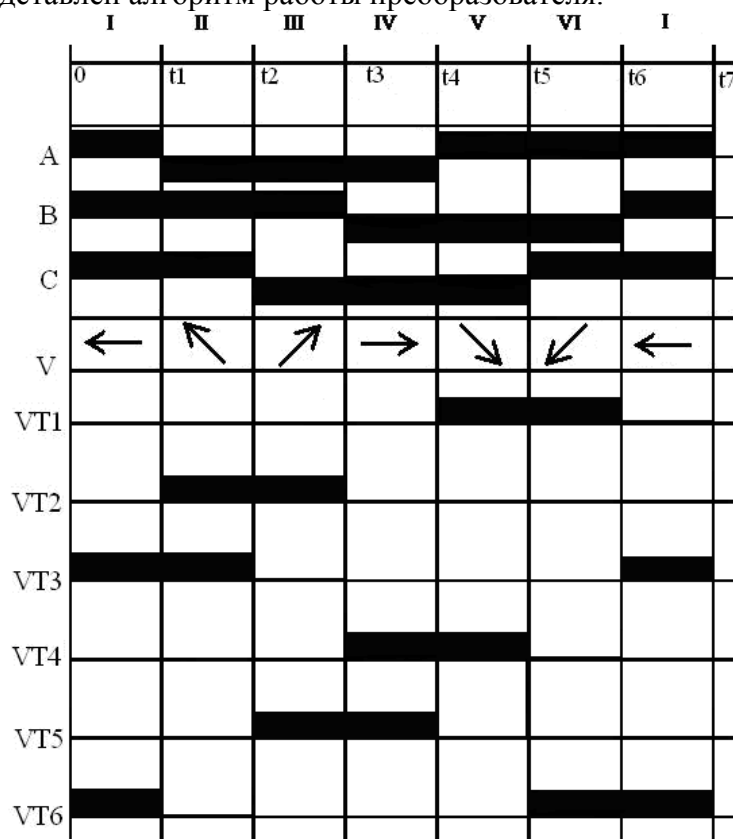


Рисунок 2 – Алгоритм работы преобразователя

На рисунке 3 представлено вращающееся поле статора.

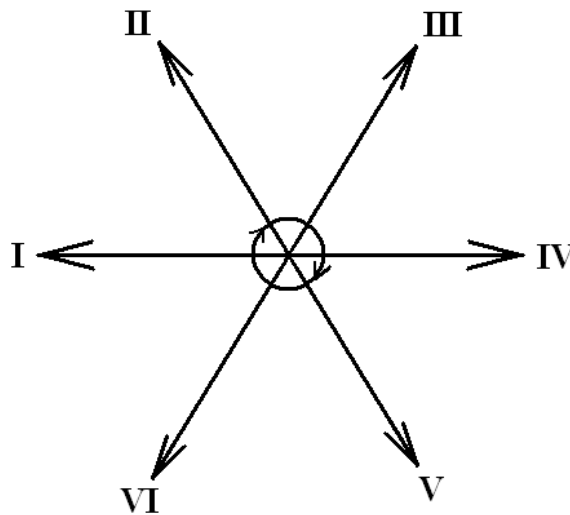


Рисунок 3 – Вращающееся поле статора

Работа широкополосного преобразователя векторно – алгоритмического типа осуществляется следующим образом. Для обеспечения вращения магнитного поля статора в начальный момент времени открываются транзистор VT3 и транзистор VT6, ток пойдет по трем обмоткам: обмотка С, обмотка В, обмотка А. Примем это направление тока в обмотках за положительное. Напряжение на обмотке С равно фазному  $U_{сети}$ , на обмотках А и В напряжение равно  $U_{сети}/2$  соответственно. Образуется первое положение вектора магнитного поля статора. В момент времени  $t_1$  закрывается транзистор VT6, открывается транзистор VT2, остается открытым транзистор VT3 и ток пойдет по трем обмоткам: обмотка В, обмотка С, обмотка А. Образуется второе положение вектора магнитного поля статора. В момент времени  $t_2$  закрывается транзистор VT3, открывается транзистор VT5, транзистор VT2 остается открытым и ток пойдет по трем обмоткам: обмотка А, обмотка С, обмотка В. Образуется третье положение вектора магнитного поля статора. В момент времени  $t_3$  закрывается транзистор VT2 и открывается транзистор VT4, остается открытым транзистор VT5, ток пойдет по трем обмоткам: обмотка С, обмотка А, обмотка В. Образуется четвертое положение вектора магнитного поля статора. В момент времени  $t_4$  транзистор VT5 закрывается и открывается транзистор VT1, транзистор VT4 остается открытым и ток пойдет по трем обмоткам: обмотка В, обмотка А, обмотка С электродвигателя. Образуется пятое положение вектора магнитного поля статора. В момент времени  $t_5$  закрывается транзистор VT4 и открывается транзистор VT6, транзистор VT1 остается открытым и ток пойдет по трем обмоткам: обмотка А, обмотка В, обмотка С. Образуется шестое положение вектора магнитного поля статора. Поле статора получается круговым, изменяющимся во времени. Для обеспечения плавного изменения частоты вращающегося поля статора порядок (алгоритм) включения транзисторов не изменяется, а меняется только частота тактирования подаваемых сигналов на транзисторы для их включения в системе управления.

Таким образом можно сделать вывод о том, что предложенный широкополосный преобразователь векторно – алгоритмического типа имеет ряд преимуществ по сравнению с известными методами запуска и работы трехфазного асинхронного двигателя при питании от однофазной сети.

Список использованных источников:

1. Брускин Д. Э. Электрические машины: Учеб. для электротехн. спец. вузов /Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов.- Ч. 1: —2-е изд. М.: Высш. шк., 1987. - 319 с.
2. Торопцев Н.Д. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором/ Н. Д. Торопцев//Б-ка электромонтера. – М.: Энергия, 1979. – №487. - 80с.

3. ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ЧАСТОТНЫЙ РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ ДЛЯ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ: пат. 157686 Рос. Федерация. № 2015116577/07; заявл. 29.04.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34. – 2 с.

СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Васильев В.Ю. – студент группы Э-54, Дедаев К.Е. – студент группы 8ПС-51,

Ведманкин А.В. – ассистент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

При разработке и синтезе систем автоматического управления электропривода на логических элементах для повышения надежности, стремятся получить более компактную схему. Это можно сделать, производя предварительную минимизацию логических уравнений, описывающих эти схемы. Поэтому возникает задача преобразования сложных алгебрологических формул в более простые. В данной статье приводится метод преобразования (минимизации) одного типа сложной алгебро-логической формулы в более простую

Пусть имеется уравнение вида:

$$a \cdot (a + b \cdot c + d) \quad \text{или} \quad (1)$$

$$(a + b) \cdot (a + b + c + d). \quad (2)$$

Тогда,

$$a \cdot (a + b \cdot c + d)$$

Раскрыв скобки в соответствии с распределительным законом, имеем:

$$a \cdot (a + b \cdot c + d) = a \cdot a + a \cdot b \cdot c + a \cdot d = a^2 + a \cdot b \cdot c + a \cdot d = a \cdot (1 + b \cdot c + d) = a$$

Таким образом,

$$a \cdot (a + b \cdot c + d) = a \quad (3)$$

Проведя минимизацию уравнение (2)

$$(a + b) \cdot (a + b + c + d)$$

Учитывая предыдущий пример, обозначаем слагаемые первой скобки уравнения (2) буквой  $x$ , тогда. Это уравнение запишется в виде:

$$(x) \cdot (x + c + d)$$

Учитывая предыдущий пример данное выражение примет вид:

$$(x) \cdot (x + c + d) = x,$$

И в данном случае имеем:

$$(a + b) \cdot (a + b + c + d) = a + b$$

На основании проведенного исследования для формул такого типа можно сформулировать правило.

Правило: Если даны выражения вида (1-2), которые состоят из произведения свободного члена и второго сомножителя, состоящего из суммы данного свободного члена с любыми другими членами, то после минимизации данные выражения сокращаются до одного свободного члена.

Список использованных источников:

1. Шенфилд Дж. Математическая логика [Текст] : рук. разработчика : [пер. с англ.] / И.А. Лаврова и И.А. Мальцева под ред. Ю.Л. Ершова. : Наука, 1975 – 527 с.
2. Колмогоров А. Н. Введение В Математическую Логику [Текст] : Учеб. пособие для вузов / Колмогоров А. Н. Драгалин А. Г. М. : УРСС, 2013. — 240 с – ISBN 978-5354-01447-7
3. Никольская И. Л. Математическая логика: Учебник / И. Л. Никольская.–М.: Высш. Школа, 1981.–С. 30.

**СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРИВОДАМИ НА ОСНОВЕ  
ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Парамзин В.М. – студент группы Э-54, Дедаев К.Е. – студент группы 8ПС-51,  
Ведманкин А.В. – ассистент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

При решении определенных практических задач, при разработке систем управления электрическим приводом возникает проблема преобразования сложных алгебраических формул в более простые и короткие. Но, в силу сложности некоторых из них, не представляется возможности быстро их сократить. Данная задача была решена для алгебро-логических выражений определенного вида с определением четких правил их минимизации.

Если имеются некоторые уравнения определенного типа, то их можно записать в более коротком виде. Для этого проведены следующие доказательства, используя 9 основных элементарных аксиом и равносильностей [1].

Например, даны следующие алгебро-логические выражения:

$$(a + b)(a + \bar{b}); \tag{1}$$

$$(a + b)(a + \bar{c}); \tag{2}$$

$$(a + b)(a + c)(a + \bar{c}); \tag{3}$$

$$(a + b)(a + c)(a + \bar{d}); \tag{4}$$

$$(a + b)(a + c)(a + \bar{cd}). \tag{5}$$

Докажем их с помощью простейших аксиом.

*Пример 1.  $(a + b)(a + \bar{b})$*

Раскрыв скобки в соответствии с распределительным законом, имеем:

$$(a + b)(a + \bar{b}) = a a + a \bar{b} + a b + b \bar{b}; \tag{6}$$

Как известно по закону идемпотентности -  $a * a = a$ , а по закону противоречия -  $b * \bar{b} = 0$ .

Тогда учитывая предыдущее высказывание, и вынося из слагаемых,  $a \bar{b} + a b$  в уравнение (6) общий множитель  $a$ , получим:

$$a + a(\bar{b} + b) + 0$$

Затем применив закон исключенного третьего  $\bar{b} + b = 1$ , получим:

$$a + a \cdot 1 + 0 = a.$$

Таким образом:

$$(a+b) \cdot (a + \bar{b}) = a. \tag{7}$$

*Пример 2.*

$$(a+b) \cdot (a + \bar{c}) \tag{8}$$

Раскрыв скобки в соответствии с распределительным законом, имеем:

$$(a+b) \cdot (a + \bar{c}) = a a + a \bar{c} + a b + b \bar{c}$$

или (в соответствии с законами, рассмотренными выше)

$$a + a \bar{c} + a b + b \bar{c} = a \cdot (1 + \bar{c} + b) + b \bar{c} = a + b \bar{c}$$

Таким образом,

$$(a+b) \cdot (a + \bar{c}) = a + b \bar{c}. \tag{9}$$

*Пример 3.*

$$(a+b) \cdot (a+c) \cdot (a + \bar{c})$$

Раскрыв скобки в соответствии с распределительным законом, имеем:



$$(a+v) \cdot (a+c) \cdot (a+\bar{c}) = a a a + a a \bar{c} + a a c + a c \bar{c} + a a v + a v \bar{c} + a v c + v c \bar{c}$$

или

$$a + a \bar{c} + a c + a v + a v (\bar{c} + c) = a + a(c + \bar{c}) + a v + a v(c + \bar{c})$$

или

$$a + a + a v + a v = a(1 + 1 + v + v) = a,$$

Таким образом

$$(a+v) \cdot (a+c) \cdot (a+\bar{c}) = a. \quad (10)$$

Пример 4.

$$(a+v) \cdot (a+c) \cdot (a+d) \quad (11)$$

Раскрыв скобки в соответствии с распределительным законом, имеем:

$$(a+v) \cdot (a+c) \cdot (a+d) = a a a + a a d + a a c + a c d + a a v + a v d + a v c + v c d =$$

или

$$a + a d + a c + a c d + a v + a v d + a v c + v c d = a(1 + d + c + c d + v + v d + v c) + v c d =$$

или

$$a \cdot 1 + v c d = a + v c d$$

Таким образом,

$$(a+v) \cdot (a+c) \cdot (a+d) = a + v c d. \quad (12)$$

Пример 5.

$$(a+v) \cdot (a+c) \cdot (a+\bar{c}d) \quad (13)$$

Раскрыв скобки в соответствии с распределительным законом, имеем:

$$(a+v) \cdot (a+c) \cdot (a+\bar{c}d) = a a a + a a \bar{c}d + a a c + a c \bar{c}d + a a v + a v \bar{c}d + a v c + v c \bar{c}d$$

*d*

или

$$a + a \bar{c}d + a c + a v + a v \bar{c}d + a v c = a(1 + \bar{c}d + c + v + v \bar{c}d + v c) = a \cdot 1 = a$$

Таким образом,

$$(a+v) \cdot (a+c) \cdot (a+\bar{c}d) = a + v c \bar{c}d = a \quad (14)$$

Итак, имеем все формулы с окончательным решением. Из проведенного исследования видно, что для формул такого типа можно сформулировать следующее правило.

Правило. Если даны выражения вида (1-5), в которых имеются произведения нескольких скобок сумм, каждая из которых состоит из двух элементов и в каждой из них имеется однотипный член, то после минимизации получается формула, состоящая из суммы свободного однотипного члена и второго слагаемого, состоящего из произведения всех оставшихся членов в остальных скобках.

Список использованных источников:

1. Шенфилд Дж. Математическая логика [Текст] : рук. разработчика : [пер. с англ.] / И.А. Лаврова и И.А. Мальцева под ред. Ю.Л. Ершова. : Наука, 1975 – 527 с.
2. Колмогоров А. Н. Введение В Математическую Логику [Текст] : Учеб. пособие для вузов / Колмогоров А. Н. Драгалин А. Г. М. : УРСС, 2013. — 240 с – ISBN 978-5354-01447-7
3. Никольская И. Л. Математическая логика: Учебник / И. Л. Никольская.–М.: Высш. Школа, 1981.–С. 30.