

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет
Энергетический факультет



ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

**Материалы 78 – й научно – технической конференции
студентов и аспирантов**

«Актуальные проблемы энергетики»

(Апрель 2022г.)

Минск. БНТУ. 2022

УДК 621.311
ББК 31 я 43
Э43

Редакционная коллегия:

Пономаренко Евгений Геннадьевич – декан энергетического факультета БНТУ, кандидат технических наук, доцент;

Новиков Сергей Олегович – заведующий кафедрой «Системы и сети», к.т.н., доцент;

Козловская Влада Борисовна – к.т.н., доцент.

Составитель:

Жуковская Т.Е. – старший преподаватель кафедры «Электротехника и электроника» БНТУ

В сборник включены материалы секции «Электроэнергетика и электротехника». 78 – й научно-технической конференции студентов и аспирантов БНТУ «Актуальные проблемы энергетики» (Апрель 2022 г.).

Статьи печатаются в авторской редакции

Белорусский национальный технический университет.

Энергетический факультет.

пр - т Независимости, 65/2, г. Минск, Республика Беларусь

Тел.: (017) 292-42-32 Факс: 292-71-73

E-mail: ef@bntu.by

<http://www.bntu.by/ef.html>

© Жуковская Т.Е. редак., комп. дизайн.

© БНТУ ЭФ, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	7
К.В. ВАЩУК, Д. О. ЖАРКОВА	7
Научный руководитель – А. Л. Старжинский, к.т.н., доцент	7
ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ПОТОКОВ МОЩНОСТИ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ RASTRWIN3 ДЛЯ СХЕМ С РАЗНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ УЗЛОВ.....	11
Г.Д. КОЗИН, С.В. КЛИМЧУК	11
Научный руководитель – Е.В. Мышковец, старший преподаватель	11
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АЭС НА ПРИМЕРЕ ТРЕТЬЕЙ ГРУППЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	16
Д.Д. ТАРАСЕВИЧ, Д.О. ЛОСЕНКОВ.....	16
Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент	16
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	20
В. В. Люкевич.....	20
Научный руководитель - старший преподаватель Старжинский А. Л.	20
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УМНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕТИ	26
А.Э. Мартынович, А. И. Мисюля	26
Научный руководитель – А. Л. Старжинский, к.т.н., доцент	26
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ	29
К.А. Марчук	29
Научный руководитель – Попкова Н.А., старший преподаватель	29
ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ	33
А.А. Пальчастая.....	33
Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент	33
ПЕРСПЕКТИВЫ МАССОВОГО ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ...	38
Е.В. Радюк, В.Д. Слесарев	38
Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер	38
АВТОМАТИЧЕСКОЕ ЧАСТОТНОЕ ДЕЛЕНИЕ	42
А.В. Чекавый.....	42
Научный руководитель – ст. преподаватель Макаревич В.В.....	42
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБОЙЛЕРНЫХ УСТАНОВОК (ЭБУ) НА БАЗЕ ВОДОГРЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ КОТЛОВ	44
Д.П. Лобач	44
Научный руководитель – М.Л. Протасеня, старший преподаватель.....	44
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАБЕЛЕЙ ТИПА АВВГ-НГ В СРАВНЕНИИ С КАБЕЛЯМИ АВВГ	50
А.В. Кажуро, Е.А. Прищепов	50
Научный руководитель – Т.М. Ярошевич, старший преподаватель	50
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ	55
М.Н. Джугля	55
Научный руководитель – В.Б. Козловская, к. т. н., доцент	55

УЛУЧШЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ТЕХНИКО ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	59
С.Н. Лычковский	59
Научный руководитель – И.В. Колосова, старший преподаватель	59
ЗАРЯДНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ. ИХ ВИДЫ, ОСОБЕННОСТИ, ТРЕБОВАНИЯ	64
А.В. Огиевич, А.Д. Рубаносова, В.В. Скакалова	64
Научный руководитель – В.Б. Козловская к.т.н., доцент	64
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГАШЕНИЯ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО МОМЕНТА ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ	70
В.В. Гарновский, А.В. Василюк	70
Научный руководитель – А.В. Горностай, к.т.н., доцент	70
СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПОДСТАНЦИИ ПС «РОССЬ» 330КВ С УПРАВЛЯЮЩИМ ШУНТИРУЮЩИМ РЕАКТОРОМ	73
А.В. Огиевич, А.Д. Рубаносова, В.В. Скакалова	73
Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент	73
ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗКИ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ	79
А.Ю. Сенько, магистрант	79
Научный руководитель - Н. Е. Шевчик, к.т.н., доцент	79
ПРИМЕНЕНИЕ КАСКАДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ	83
П.В. Сурович	83
Руководитель – А.Ю. Капустинский, ассистент	83
ПРИМЕНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ.....	87
Р.А. Голубев, К.Д. Короткевич	87
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель	87
ПРОЗРАЧНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СТРУКТУРЫ	93
Е.И. Индюкова, Е.В.Таранко	93
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель	93
ЭЛЕМЕНТЫ ПЕЛЬТЬЕ И ЗЕЕБЕКА	98
М. В. Урбан, К. Д. Сосик	98
Научный руководитель – Т. Е. Жуковская, старший преподаватель	98
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРА ОТКРЫТИЯ ДВЕРИ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ В УЧЕБНОЙ МАСТЕРСКОЙ КОЛЛЕДЖА	103
С.А. Долгий	103
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская старший преподаватель	103
ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	108
Н.О. Савко	108
Научный руководитель – Сизиков С.В., к.т.н., доцент	108
CALCULATION OF DIRECT CURRENT ELECTRICAL CIRCUITS.....	116
А. PRYAZHKO	116
SUPERVISOR — S. SIZIKOV, CANDIDATE OF TECHNICAL SCIENCES, DOCENT	116
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ЭНТРОПИЯ КВАНТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	122
Траскевич Д.И.	122
Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент	122
ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРА ДЛЯ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ	127
Н.В. Бунас, Д.И. Романеко	127
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель	127

СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ И ВИДЕОКАРТ СОВРЕМЕННЫХ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ	129
Е.А. КАРИЖСКИЙ, З.Л. ЗАВАЛОВ, К.В. ЮДЧИЦ	129
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель	129
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ДОМАХ	133
А.С. ЩИГЕЛЬСКИЙ, Н.А. ФЕДОРЕНКО, Е.В. ЧАЛКО	133
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель	133
КРУПНЕЙШИЕ ОБЪЕКТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	138
Е.Н. СТРЕМОУС, В.А. АНИСИМОВ, Ю.А. БРАТКОВСКИЙ	138
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель	138
РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ АВТОМОБИЛЯ.....	143
С.В. КАЗЛОВСКИЙ, Г.Ю. КУЛИКОВ.....	143
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель	143
МОТОР-КОЛЕСО.....	146
Д.С. ДОГИЛЬ	146
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель	146
ПИРОМЕТРЫ	150
А.С. ГУЛЕНКОВ, Д.М. ДИКОВИЦКИЙ, Ю.А. КАЗЕКО.....	150
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель	150
МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ	153
А.Н. ГРИНЬКО	153
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель	153
ИМПУЛЬСНЫЕ БЛОКИ ПИТАНИЯ. ПРИНЦИП РАБОТЫ	157
В.Ю. ЯКОВЕЦ, П.А. БЕЛЬКОВИЧ	157
Научные руководители – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель,	157
В.В. ЗЕЛЕНКО, старший преподаватель.....	157
УСИЛИТЕЛЬ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ. НЕКОТОРЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ	161
К.П. ЦЕХОВОЙ	161
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель	161
ДАТЧИК FASEBIT	164
К.А. ГАЛИШЕВА, Д.С. ШУЛЕПОВ	164
Научный руководитель – О.А. ПЕКАРЧИК, старший преподаватель	164
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ, ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯХ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ.....	166
Е.С. ВЕЖНОВЕЦ, И.О. АЛИКЕВИЧ	166
Научный преподаватель – О.А. ПЕКАРЧИК, старший преподаватель	166
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	169
Е.А. ГАРИСТ, Н.Р. ДЕРКАЧ	169
Научный преподаватель – О.А. ПЕКАРЧИК, старший преподаватель	169
ЭЛЕКТРОННЫЙ ТЕКСТИЛЬ	171
Е.А. МИСЕВИЧ, Д.О. ЧЕРНЕНКО	171
Научный руководитель – О.А. ПЕКАРЧИК, старший преподаватель	171
УМНЫЕ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	174
М.А. ЗАРУБА, М.В. РЫНКЕВИЧ	174
Научный преподаватель – О.А. ПЕКАРЧИК, старший преподаватель	174
ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИИ НА ЭЛЕКТРОНИКУ	177

Н.О. Соловьёв, К.О. Клименков.....	177
Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель	177
УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА	181
З.В. Ковганов	181
Научный руководитель – Л.И. Новикова, старший преподаватель	181

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА
НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
INFLUENCE OF DIFFERENT TYPES OF RELAY PROTECTION ON THE
RELIABILITY OF ELECTRIC NETWORKS**

К.В. Ващук, Д. О. Жаркова

Научный руководитель – А. Л. Старжинский, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
astarginsky@bntu.by

K. Vashchuk, D. Zharkova

Supervisor - A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной работе рассмотрены различные типы релейной защиты с точки зрения надежности их использования в энергосистеме. Проведен анализ и выявлен наиболее приемлемый способ защиты в современных условиях.

Abstract: The article consider various types of relay protection are considered in terms of the reliability of their use in the power system. An analysis was carried out and the most acceptable method of protection in modern conditions was identified.

Ключевые слова: релейная защита, электромеханические защитные реле, микропроцессорное защитное устройство

Keywords: relay protection, electromechanical protective relays, microprocessor protective device

Введение

Назначением релейной защиты является отключение поврежденных частей электрической сети от неповрежденных во избежание развития масштабной аварии. [1] Неисправность релейной защиты является по меньшей мере одной из наиболее важных причин серьезных сбоев, которые периодически происходят в энергосистемах по всему миру. По данным Североамериканского Совета по надежности электроснабжения, в 74% случаев причиной серьезных сбоев в энергосистемах были некорректные действия релейной защиты при попытке отключить поврежденный участок. Исходя из этого можно сделать вывод, что надежность энергосистемы более чем в 50% случаев зависит от надежности релейной защиты. Для оценки надежности в технике существует целый набор различных критериев и параметров, однако, для оценки надежности устройств релейной защиты выбран один из них: «наработка на отказ», который получил повсеместное распространение и указывается в технической документации, рекламных проспектах, тендерной документации как основной показатель, характеризующий надежность устройств релейной защиты. [2]

Основная часть

Электромеханические защитные реле (ЭмЗР) в последнее время не пользуются популярностью в мире энергетики, кроме того исследования и разработка таких реле давным-давно поставлена на паузу ведь на смену им пришли сначала электронные, а после них и микропроцессорные защитные устройства (МЗУ).

После многих лет использования ЭмЗР изнашивались и устарели и, следовательно, являются причиной снижения надежности электроснабжения. Переход на МЗУ в электроэнергетике требует немалых вложений инвестиций, как для приобретения МЗУ, так и для различного современного оборудования, а также для замены дорогостоящих блоков МЗУ, которые могут выйти из строя и не подлежать дальнейшему ремонту.

Самой главной причиной, из-за которой весь мир стал переходить на МЗУ, несомненно является его практически совершенная надежность в сравнении с его предшественниками. Но на самом деле МЗУ не так идеальны, и в основе вышеприведенного утверждения лежит целый ряд мифов о МЗУ.

Неисправность ЭмЗР обычно связана со старением и повреждением изоляции проводки (износ, высыхание), коррозией винтов и клеммных зажимов, износом основных частей реле. Но если посчитать количество рабочих циклов в течение всего срока службы ЭмЗР на практике, то оно не превысит несколько сотен. Что не дает права утверждать, что с течением времени у ЭмЗР значительно падает надежность работы. Единственная причина, по которой ЭмЗР могут проиграть в надежности с этой стороны, это брак при изготовлении какой-либо детали или использование материалов, не прошедших проверку на качество. На этом основании можно отметить, что ЭмЗР являются надежными с точки зрения механического ресурса, чего нельзя сказать о МЗУ. Ведь там в один момент находятся в постоянном движении тысячи различных составных частей: генераторы сигналов, многочисленные транзисторные ключи, усилители, компараторы, таймеры, счетчики, логические элементы, стабилизаторы напряжения, постоянно работают; микропроцессор постоянно обменивается сигналами с элементами памяти, аналого-цифровой преобразователь постоянно ведет обработку входных сигналов и т. д. При работе в особенно тяжелых условиях импульсные источники питания нередко становятся причиной ошибок, возникающих в МЗУ.

Кроме того, существует мнение, что надежность МЗУ гораздо больше, чем у других типов релейной защиты из-за встроеной самодиагностики, однако это тоже не совсем так. Безусловно наличие таких составных частей как аналого-цифровой преобразователь, память, процессор, источник питания имеет массу преимуществ перед механическими реле. Но не стоит забывать, что в наше время не малую роль играет размер устройства. Для решения проблемы непосредственного переключения расцепителей высоковольтных выключателей, а также для организации надежного и быстродействующего управления достаточно мощными реле основная часть производителей МЗУ используют небольшие электромагнитные реле. Как показывает практика, реальные условия работы МЗУ и те, для которых они создаются абсолютно не

соответствуют друг другу. Безусловно, это не может не отражаться на надежности самой защиты.

На сегодняшний день можно смело говорить о том, что непрерывно увеличивающееся количество функций РЗ, а именно МЗУ, в одном устройстве не только не гарантируют увеличение надежности срабатывания реле, а скорее даже наоборот способствуют ее снижению.

Рассмотрим пример. У нас есть микропроцессорная и электромеханическая защиты. В 2017–2018 гг. количество электромеханических реле в эксплуатации составляло 2312 штук, а микропроцессорных – 3787 штук. Электромеханические реле за 2017 год отказали один раз, а за 2018 год – 4 раза, что касается МЗУ: 2017 год – 43 раза, 2018 год – 51 раз. Пусть N – количество реле в эксплуатации, F – количество повреждений. Необходимо рассчитать годовую интенсивность отказов этих защит и сравнить, какая из них наиболее надежная.

Приведем расчет для электромеханических защит:

$$q = \frac{F}{N} \cdot 100,$$

где q – относительное количество повреждений, %

$$q_{2017} = \frac{1}{2312} \cdot 100 = 0,043\%$$

$$q_{2018} = \frac{4}{2312} \cdot 100 = 0,173\%$$

Теперь найдем среднегодовое относительное количество повреждений:

$$q_{cp(эм)} = \frac{q_{2017} + q_{2018}}{2} = \frac{0,043 + 0,173}{2} = 0,108\%$$

Проделаем аналогичные действия для расчета микропроцессорной защиты:

$$q_{2017} = \frac{43}{3787} \cdot 100 = 1,135\%$$

$$q_{2018} = \frac{51}{3787} \cdot 100 = 1,347\%$$

$$q_{cp(мзу)} = \frac{q_{2017} + q_{2018}}{2} = \frac{1,135 + 1,347}{2} = 1,24\%$$

Найдем годовую интенсивность отказов МЗУ относительно электромеханических защит:

$$k = \frac{q_{cp(мзу)}}{q_{cp(эм)}} = \frac{1,24}{0,108} = 11,3$$

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что надежность МЗУ получается ниже, чем надежность электромеханических реле. Использование нанотехнологий при изготовлении элементов МЗУ приводит к возникновению

проблем, не известных ранее для релейной защиты. Игнорирование этих проблем может привести к катастрофическим последствиям. Но так как нанотехнологии – это наше будущее, а в какой-то степени и настоящее, необходимо более тщательно подходить к изготовлению МЗУ, а также постоянно проводить мероприятия по совершенствованию данного вида релейной защиты.

Литература

1. Для чего нужна релейная защита [Электронный ресурс]/ школа энергетика. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/803-dlja-chego-nuzhna-relejinaja-zashhita.html> /. – Дата доступа: 10.04.2022.
2. Для оценки надежности современной релейной защиты нужен новый критерий [Электронный ресурс]/ studref. – Режим доступа: https://studref.com/575937/prochie/otsenki_nadezhnosti_sovremennoy_releynoy_zaschity_nuzhen_novyuy_kriteriy/. – Дата доступа: 10.04.2022.

УДК 621.317.384

**ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ПОТОКОВ МОЩНОСТИ НА
ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРОГРАММЫ RASTRWIN3 ДЛЯ СХЕМ С РАЗНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ
УЗЛОВ**

**THE IMPACT OF ACCURACY OF POWER-FLOW CALCULATIONS ON
THE ACCURACY OF CALCULATING POWER-LOSSES THROUGH THE
USE OF THE RastrWin3 FOR GRID WITH THE DIVERSE NUMBER OF
POWER UNITS**

Г.Д. Козин, С.В. Климчук

Научный руководитель – Е.В. Мышковец, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

myshkavets@bntu.by

G. Kozin, S. Klimchuk

Supervisor – E. Mishkovets, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье определяется зависимость влияния точности расчета потоков мощности на точность расчета потерь мощности для схем с различным количеством узлов.

Abstract: the given article defines correlation between the impact of accuracy of power-flow calculations and the accuracy of calculations of power losses for grid with the diverse number of power units.

Ключевые слова: потоки мощности, потери активной мощности, установившийся режим, электрическая сеть.

Keywords: power-flow, active power loss, steady state, electrical network.

Введение

Основной задачей расчета установившегося режима является определение потерь в элементах рассматриваемой электрической сети. Любая математическая модель установившегося режима представляет собой нелинейную алгебраическую систему уравнений, с комплексными коэффициентами и переменными. Система может быть решена только численно, причем из-за ее нелинейности в основном методами последовательных приближений (итерационными). В данном исследовании для расчетов потоков мощности используется метод Ньютона, реализованный на базе программы RastrWin3. Сходимость метода Ньютона зависит от выбора начального приближения, поэтому при утяжелении или разгрузке режима получаются различные значения потоков мощности, и как следствие, различные значения потерь мощности [1].

Основная часть

Основой для оптимизации работы электрических сетей являются расчеты и оптимизация их установившихся режимов. В зависимости от загруженности сети не всегда удается добиться сходимости итерационного процесса с одной и той же точностью. Поэтому в данной статье используется 6 разных режимов,

которые соответствуют 6 различным начальным приближениям напряжений в узлах, от которых будет производиться расчет потоков мощности.

Своей задачей ставим выявить зависимость влияния точности расчета потоков мощности на точность расчета потерь мощности с использованием программы RastrWin3 для схем с разным количеством узлов. Выставляем следующие параметры расчета программы для проведения эксперимента:

-Плоский старт (Пл. старт): Нет; Каждый последующий расчет будет начинаться не с номинальных модулей и нулевых углов напряжений, а с последней рассчитанной величины напряжения в узле. Для получения различных приближений режим сети утяжелялся или облегчался путём увеличения или уменьшения активных мощностей нагрузок на 75%, 50%, 25% соответственно [2];

-Точность расчета (dP):1|0.5|0.1; Данная величина характеризует максимально допустимый небаланс активной мощности в узле, при достижении которого программа завершает итерационный процесс и расчет считается завершенным.

Следовательно, имеем 6 расчетов потерь активной и реактивной мощностей для каждой точности расчета потока мощности. Произведем расчет для схем электрической сети 1 и 2 [2].

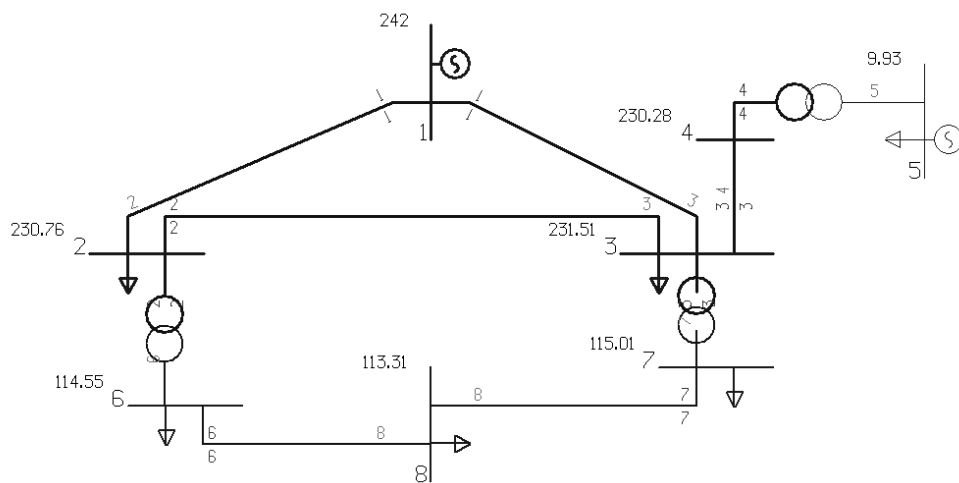


Рисунок 1 – Схема №1

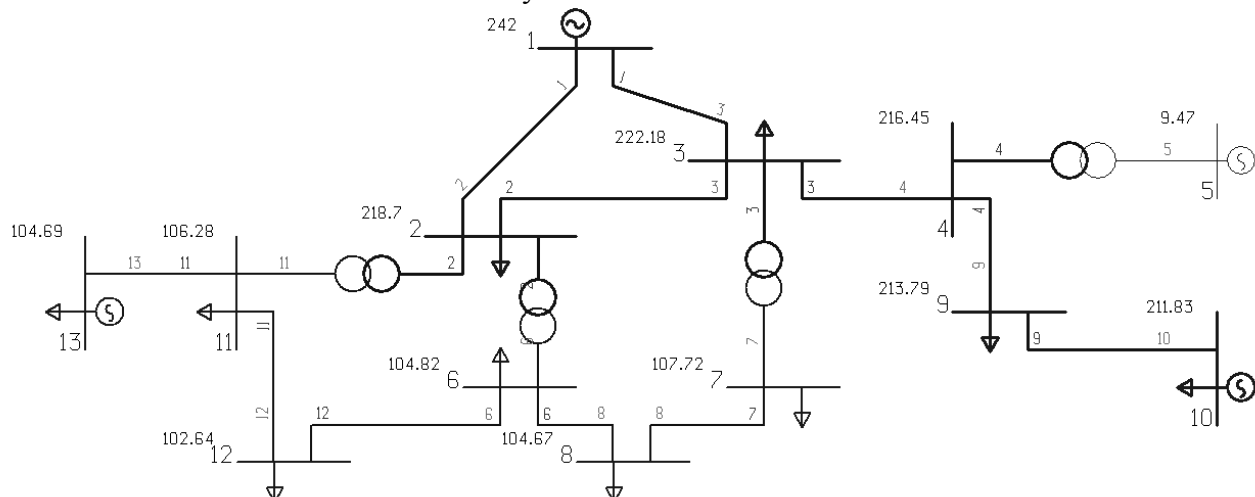


Рисунок 2 – Схема №2

Таблица 1 – Параметры линий Схемы №1.

Тип	N _{нач}	N _{кон}	N _п	R	X	B	Кт/г	P _{нач}	Q _{нач}	I max
ЛЭП	1	2	0	7,84	32,32	-211,2	0	- 110,893	-53,7344	306,964 2
ЛЭП	1	3	0	4,13	23,1	-148,5	0	- 142,203	-83,4633	403,591 7
ЛЭП	2	3	0	7,26	26,1	-156	0	8,55322	8,32233 2	29,8575 8
ЛЭП	3	4	0	6,05	21,75	-130	0	- 8,23321	-7,29592	41,0226 2
Тр-р	4	5	0	5,6	158,7	7,4	0,045	- 8,21237	-14,1518	41,0225 7
Тр-р	2	6	0	2,8	104	6	0,526	- 47,3201	-30,097	140,308
Тр-р	3	7	0	1,03	59,2	11,8	0,526	- 83,4362	-53,4462	247,109 9
ЛЭП	6	8	0	3,645	9,3	0	0	- 17,1109	-8,6813	96,7045 6
ЛЭП	7	8	0	3,65	9,3	0	0	- 23,1836	-12,0568	131,180 1

Таблица 2 – Параметры узлов Схемы №1

Тип	Номер	U _{ном}	Район	P _н	Q _н	P _г	Q _г	V	Delta
База	1	220	1	0	0	253,096	137,197	242	0,000351
Нагр	2	220	1	70	35	0	0	230,7642	-3,19651
Нагр	3	220	1	40	20	0	0	231,5063	-2,98955
Нагр	4	220	1	0	0	0	0	230,2789	-3,11191
Нагр	5	10,5	1	18	5	10	-8	9,929809	-4,4615
Нагр	6	110	1	30	15	0	0	114,5522	-8,71498
Нагр	7	110	1	60	30	0	0	115,0093	-8,52325
Нагр	8	110	1	40	20	0	0	113,3085	-9,27775

Таблица 3 – Параметры линий Схемы №2.

Тип	N _{нач}	N _{кон}	R	X	B	KT/г	P _{нач}	Q _{нач}	I max
ЛЭП	1	2	7,84	32,3 2	- 211,2	0	-181,806	-130,895	550,3618
ЛЭП	1	3	4,13	23,1	- 148,5	0	-230,53	-170,624	695,5986
ЛЭП	2	3	7,26	26,1	-156	0	16,3819 7	28,2675 8	86,24827
ЛЭП	3	4	6,05	21,7 5	-130	0	-76,783	-34,9115	226,2762
Тр-р	4	5	5,6	158, 7	7,4	0,04 5	9,81371 1	-8,93324	35,39715
Тр-р	2	6	2,8	104	6	0,52 6	-51,9962	-42,8368	177,8452
Тр-р	3	7	1,03	59,2	11,8	0,52 6	-91,2865	-69,5689	298,2488
ЛЭП	6	8	3,645	9,3	0	0	-9,51205	2,02232 5	53,56406
ЛЭП	7	8	3,65	9,3	0	0	-30,972	-23,3101	207,7695
ЛЭП	4	9	3,65	9,3	0	0	-85,7179	-29,0021	241,3689
ЛЭП	9	10	6,05	21,7 5	0	0	-25,1001	-12,3727	75,57325
Тр-р	2	11	1,03	59,2	11,8	0,52 6	-69,2139	-63,9752	248,8118
ЛЭП	11	12	3,65	9,3	0	0	-48,9206	-23,0895	293,8613
ЛЭП	12	6	3,65	9,3	0	0	12,0002 3	19,3222 7	127,9422
ЛЭП	11	13	7,26	26,1	0	0	9,87778	-9,42987	74,18412

Таблица 4 – Параметры узлов Схемы №2

Тип	Номер	U _{ном}	Район	P _н	Q _н	P _г	Q _г	V	Delta
База	1	220	1	0	0	412,3359	301,5188	220	0,000351
Нарп	2	220	1	70	35	0	0	220	-5,20442
Нарп	3	220	1	40	20	0	0	220	-4,91031
Нарп	4	220	1	0	0	0	0	220	-6,62546
Нарп	5	10,5	1	0	0	10	-8	10,5	-4,57386
Нарп	6	110	1	30	15	0	0	110	-12,1682
Нарп	7	110	1	60	30	0	0	110	-11,6372
Нарп	8	110	1	40	20	0	0	110	-12,6686
Нарп	9	220	1	60	15	0	0	220	-7,48145
Нарп	10	220	1	40	10	15	-2	211,8285	-8,07746
Нарп	11	110	1	30	20	0	0	106,282	-10,4396
Нарп	12	110	1	60	40	0	0	102,6408	-12,3869
Нарп	13	110	1	10	5	20	-4	104,686	-8,7592

Таблица 5 – Результаты измерений.

dP	Режим	Схема 1		Схема 2		Относительная погрешность, %			
		ΔP , МВт	ΔQ , МВАр	ΔP , МВт	ΔQ , МВАр	P	Q	P	Q
1	1,75	5,1	4,2	17,39	77,69	-0,49261	-5,74906	-0,40416	-0,64775
	1,5	5,06	3,79	17,38	77,53	0,295567	4,574066	-0,34642	-0,44047
	1,25	5,09	4,11	17,15	76,06	-0,29557	-3,483	0,981524	1,46392
	0,75	5,09	4,13	17,22	76,56	-0,29557	-3,98657	0,577367	0,816168
	0,5	5,07	3,94	17,39	77,68	0,098522	0,797314	-0,40416	-0,6348
	0,25	5,04	3,66	17,39	77,62	0,689655	7,847251	-0,40416	-0,55707
0,5	1,75	5,1	4,2	17,39	77,68	-0,16367	-1,69492	0	-0,00644
	1,5	5,1	4,2	17,39	77,68	-0,16367	-1,69492	0	-0,00644
	1,25	5,09	4,11	17,39	77,69	0,032733	0,484262	0	-0,01931
	0,75	5,09	4,13	17,39	77,7	0,032733	0	0	-0,03219
	0,5	5,07	3,94	17,39	77,68	0,425532	4,600484	0	-0,00644
	0,25	5,1	4,2	17,39	77,62	-0,16367	-1,69492	0	0,070808
0,1	1,75	5,1	4,2	17,39	77,68	0	0	0,009583	-0,00215
	1,5	5,1	4,2	17,4	77,7	0	0	-0,04792	-0,02789
	1,25	5,1	4,2	17,39	77,69	0	0	0,009583	-0,01502
	0,75	5,1	4,2	17,39	77,7	0	0	0,009583	-0,02789
	0,5	5,1	4,2	17,39	77,68	0	0	0,009583	-0,00215
	0,25	5,1	4,2	17,39	77,62	0	0	0,009583	0,075096

Заключение

Анализируя полученные результаты, можем сделать вывод, что при увеличении точности расчета, увеличивается также точность расчета потерь мощности. Для схемы №1 (схема с меньшим количеством узлов) это наглядно демонстрируется при помощи столбцов относительной погрешности. В схеме №2 (схема с большим количеством узлов) наименьшие погрешности получились при точности расчета 0.5.

Литература

1. Вычислительные модели потокораспределения в электрических системах: монография / Б.И. Аюев, В.В. Давыдов, П.М. Ерохин, В.Г. Неуймин; под ред. П.И. Бартоломея. - М. : Флинта: Наука, 2008. - 256 с. : ил.
2. Программный комплекс «RastrWin3» Руководство пользователя / В.Г. Неуймин, Е.В. Машалов, А.С. Александров, А.А. Багрянцев, Д.М. Максименко, С.С. Богданов - Екатеринбург : 2020. - 331 с. : ил.

УДК 621.321

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АЭС НА
ПРИМЕРЕ ТРЕТЬЕЙ ГРУППЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
DETERMINATION OF THE RELIABILITY OF THE NPP'S OWN NEEDS
ON THE EXAMPLE OF THE THIRD GROUP OF CONSUMERS**

Д.Д. Тарасевич, Д.О. Лосенков

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

astarginsky@bntu.by

D.D. Tarasevich, D.O. Losenkov

Supervisor - A.L. Starzhinsky, c.t.s., docent

Belarusian National Technical University,

Minsk, Republic of Belarus

Аннотация: в работе приведен расчет определения надежности собственных нужд АЭС.

Abstract: the article deals with the calculation of determining the reliability of the NPP's own needs.

Ключевые слова: собственные нужды АЭС, надежность собственных нужд.

Keywords: the NPP's own needs, the reliability of its own needs.

Одной из важнейших частей любой электрической станции, в том числе и атомной (АЭС) являются собственные нужды (СН), так благодаря им осуществляется расхолаживание реакторов, обеспечивается надежное функционирование устройств нормальной эксплуатации, защитных и локализирующих устройств. Отказ отдельных видов электрооборудования в условиях нормальной эксплуатации из-за нарушения надежности СН может привести к срабатыванию релейной защиты реактора и остановке энергоблока. В результате чего могут создаваться предпосылки для развития системной аварии, которая повлечет за собой полный отказ системы СН.

СН АЭС принято разделять на три большие группы, в зависимости от требований надежности, которые предъявляются к данным потребителям. К первой группе принято относить потребителей, которые в процессе своей работы не допускают перерыв в электроснабжении даже на доли секунд. Вторая группа включает в себя потребителей, которые могут останавливаться до десятков минут. Электропотребители, которые в процессе своей работы не предъявляют повышенные требования к надежности снабжения электроэнергией относят к третьей группе. Такие потребители допускают перерыв в электроснабжении до автоматического ввода резерва (АВР).

Так как к схемам СН предъявляются высокие показатели надежности, то на этапе разработки схем СН моделируют различные отказы системы, с целью определения показателей надежности. К таким отказам можно отнести:

1. Отключение рабочих и резервных источников электроснабжения СН в результате аварии;

электроснабжения и их длительности, коэффициенты неготовности потребителей к данному событию.

Значения λ и T в общем виде определяются по выражениям:

$$\lambda = \sum_{k=1} \lambda(k);$$

$$T = \frac{1}{\lambda} \sum_k T(k) \lambda(k);$$

где $\lambda(k)$, $T(k)$ – частота и длительность смоделированной аварий k -го вида, приводящих к расчетному погашению.

$$\lambda(k) = q(k, j) \lambda(k, m) \prod_s Q(k, s);$$

$$T(k) = q(k, j) \lambda(k, m) \min\left\{\frac{t(k, j)}{2}; t(k, j); t_{on}\right\} \prod_s Q(k, s);$$

где $q(k, j)$ – относительная длительность ремонтного простоя j -го элемента, о.е.;

$\lambda(k, m)$ – частота повреждения m -го элемента схемы, 1/год;

t_{on} – время оперативных переключений, ч;

$Q(k, s)$ – вероятность отказа в срабатывании s -го устройства релейной защиты, коммутационных аппаратов или автоматического ввода резерва;

$t(k, m), t(k, j)$ – длительность послеаварийного восстановления m -го и j -го элементов схемы, ч.

Коэффициент неготовности потребителей k_H вычислим по формуле:

$$k_H = \frac{T\lambda}{8760}$$

Для проведения расчетов понадобятся показатели надежности элементов СН АЭС, которые представлены в таблице 1. Результаты расчета надежности схемы СН АЭС приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Показатели надежности элементов СН АЭС

Элемент	Частота отказа λ , 1/год	Время послеаварийного восстановления $T_{в}$, ч	Частота планового ремонта $\lambda_{рем}$, 1/год	Длительность планового ремонта $T_{рем}$, ч
Линия	0,020	1,2	0,200	10
Генератор	0,550	91	1,000	540
Блочный трансформатор	0,008	60	0,250	6
Трансформатор СН	0,005	40	0,250	7,5
Сборные шины	0,090	2	0,498	15
Резервный трансформатор СН	0,008	60	0,250	6
Кабельная линия	0,005	4,4	1,000	2
Выключатель	0,010	10	0,200	10
Разъединитель	0,010	1,8	0,166	1,8

Таблица 2 – Результаты расчета надежности схемы СН АЭС

Вид аварии	Суммарная частота события $\lambda_{\text{сум}}$, 1/год	Средняя продолжительность отключения T , ч	Коэффициент неготовности, о. е.
Отключение одной секции нормальной эксплуатации	0,1021	1,855	$0,2127 \cdot 10^{-4}$
Отключение двух секций нормальной эксплуатации	$0,5128 \cdot 10^{-3}$	0,5416	$0,3157 \cdot 10^{-7}$
Отключение трех секций нормальной эксплуатации	$0,1831 \cdot 10^{-3}$	0,6125	$0,1282 \cdot 10^{-7}$

Как видно из результатов расчетов надежности, даже отключение одной секции нормальной эксплуатации возможно 1 раз в течении 10 лет, что говорит о высокой надежности схемы СН АЭС. При этом вероятность погашения двух и более секций крайне мала.

Литература

1. Гук, Ю. Б. Устройство, проектирование и эксплуатация схем электроснабжения собственных нужд АЭС / Ю. Б. Гук, В. М. Кобжув, А. К. Черновец. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 296 с.
2. Электрическая часть электростанций: учеб. для вузов / под ред. С. В. Усова. – 2-е изд. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 616 с.

УДК 621.316.1

**ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
BASIC CONCEPTS AND INDICATORS OF RELIABILITY OF OVERHEAD
POWER TRANSMISSION LINES**

В. В. Люкевич

Научный руководитель - старший преподаватель Старжинский А. Л.

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

astarginsky@bntu.by

Liukevich V.V.

Supervisor – Starzhinsky A. L.,

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: оценка надежности воздушной линии с помощью специальных показателей.

Abstract: assessment of the reliability of an overhead line using special indicators.

Ключевые слова: воздушная линия, сеть, энергосистема, отказ, надежность, электроэнергетические системы, долговечность, безотказность.

Keywords: overhead line, power grid, power system, failure, reliability, electric power systems, durability, non-failure operation.

Введение

В современном мире цены на электроэнергию стремительно растут, поэтому надежности электроэнергетических систем выделяется особое внимание. Расчет надежности воздушных линий (ВЛ) производят для того чтобы минимизировать случаи аварий, отказов, массового простоя и недоотпуска продукции на предприятиях в связи с перебоями электроснабжения и это влечет к большим затратам.

Самая главная роль в работе энергосистемы и ее надежности отведена воздушным линиям. Примерно 30 - 50 % отказов и отключений наблюдается среди ВЛ 35-750 кВ.

Наиболее частыми предпосылками отключения или повреждения воздушных линий являются различные климатические условия. Линии электропередач (ЛЭП) в зимнюю погоду могут подвергаться гололеду и сильному ветру. Нередко атмосферные перенапряжения и перепады температур могут являться причиной повреждения ВЛ. Иногда случаются расстрелы гирлянд изоляторов или случайные наезды на опору – все это ведет к нарушению энергоснабжения потребителей электроэнергии.

Исследование надежности воздушных линий старается решить проблемы диспетчерского управления, разработать различные нормативы аварийных резервов оборудования, проанализировать конструкции всего технического

оборудования воздушных линий и оценить эффективность мероприятий по улучшению надежности и устойчивой работе ВЛ.

Важной составляющей оценки надежности ВЛ высоких и сверхвысоких напряжений являются специальные комплексные показатели. На практике используют всего пять основных групп:

- 1) Показатель безотказности ВЛ – с помощью этого коэффициента определяют какую часть времени от наработки или определенного промежутка функционирования воздушная линия работала безотказно.
- 2) Ремонтпригодность ВЛ – это свойство воздушной линии, которое заключается в решении проблем отказа в работе ВЛ путем ремонта и обслуживания.
- 3) Долговечность ВЛ – это способность воздушной сохранять свою работоспособность до тех пор, пока ее дальнейшая эксплуатация будет невозможна, даже после ремонта.
- 4) Комплексные показатели – это одни из важных показателей для оценки надежности ВЛ, они характеризуют сразу несколько свойств, которые являются компонентами надежности энергосистемы.
- 5) Экономические показатели - с помощью этого показателя ведется оценка эффективности затрат, которые идут на повышение самой надежности на ВЛ.

Основная часть

1. Безотказность ВЛ

Воздушная линия – это такой объект, который может восстанавливаться. Показатель безотказности ВЛ обозначается следующим образом $\omega(t)$. Его еще иногда называют параметром потока отказов. Так что же влияет на величину этого показателя « ω »? Износ оборудования и плановые ремонты. Эта зависимость отображена на графике, представленном на рисунке 1.

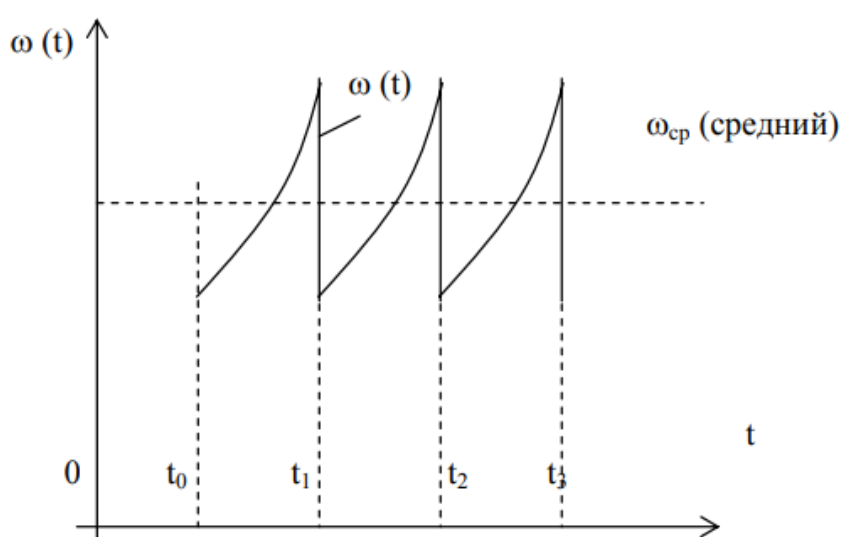


Рисунок 1 – График зависимости параметра потока отказов от момента времени выполнения капитальных ремонтов. t_1 , t_2 , t_3 – момент времени выполнения капитальных ремонтов. t_0 – окончание приработки (периода освоения).

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M[r(t + \Delta t)] - M[r(t)]}{\Delta t}, \quad (1)$$

Где M – математическое ожидание отказов воздушной линии;

$r(t)$ - число отказов за время t ;

$r(t + \Delta t)$ - число отказов за время $(t + \Delta t)$;

$\omega(t)$ - среднее число отказов, ожидаемых в малом интервале времени.

Из анализа причин отказа воздушных линий:

$$\omega(t) = \omega_1(t) + \omega_2, \quad (2)$$

Где ω - поток отказов воздушной линии;

$\omega_1(t)$ - отражает связь с износом и старением воздушных линий от срока службы;

ω_2 - этот параметр связан с внешними воздействиями на воздушную линию.

Гниение древесины, износ арматуры, проводов, тросов, коррозия – все это характеризуется потоком отказов, а такие погодные явления, как гололед, ветер, удары молний в линию электропередач (ЛЭП), ледоходы, обрывы проводов и пожары напрямую связаны с потоком. Так как параметр никак не зависит от различных плановых ремонтов и времени эксплуатации системы, его обычно принимают за постоянную величину.

Вероятность безотказной работы воздушных линий отражает понятие функции надежности линий - $p(t)$.

$$p(t) = 1 - \sum p_i(t) \cdot q_i(t), \quad (3)$$

Где i – возможное состояние воздушных линий;

$p_i(t)$ - вероятность нахождения воздушных линий в момент времени t в состоянии i ;

$q_i(t)$ - вероятность нарушения надежности воздушных линий в момент времени t в состоянии i .

2. Ремонтопригодность воздушных линий

Средняя продолжительность плановых отключений линий, среднее время восстановления ЛЭП после отказа, средняя периодичность ремонтов ВЛ и ее оборудования, средние затраты за труд, который был приложен на капитальный ремонт и техобслуживание линий – все это определяет ремонтопригодность воздушной линии.

3. Долговечность воздушных линий

Самыми недолговечными ЛЭП являются те, что были сооружены на деревянных опорах, принято считать, что срок службы таких линий составляет в среднем 30 лет, а металлические или железобетонные могут прослужить около 50 лет.

4. Комплексные показатели

а) коэффициент технического использования – это часть времени, при котором ВЛ была в рабочем состоянии относительно времени самой ее эксплуатации. Из данного определения становится сразу ясно, что этот показатель имеет следующую формулу:

$$K_{T,И} = \frac{T_0}{T_0 + T_B + T_P} \approx 1 - \omega \cdot T_B - \mu \cdot T_P, \quad (4)$$

Где T_0 - среднее время работы воздушной линии между отказами;

T_B - среднее время восстановления воздушной линии;

T_P - среднее время преднамеренного отключения воздушной линии;

ω - параметр потока отказов;

μ - средняя периодичность ремонтов.

Этот показатель характеризует работу ВЛ. Чем больше было отказов, плановых отключений и простое в работе ЛЭП, тем меньше будет этот показатель [2].

б) Коэффициент готовности имеет почти такую же формулу, как и коэффициент технического использования. Разница заключается в том, что коэффициент готовности не имеет в знаменателе показатель среднего времени преднамеренного отключения ВЛ. Поэтому, можно сказать, что этот коэффициент показывает какую часть времени ЛЭП находилась в рабочем состоянии учитывая среднее время восстановления воздушной линии и исключая среднее время преднамеренного отключения воздушной линии. Этот показатель имеет формулу:

$$K_G = \frac{T_0}{T_0 + T_B} \approx 1 - \omega \cdot T_B, \quad (5)$$

Где T_0 - среднее время работы воздушной линии между отказами;

T_B - среднее время восстановления воздушной линии.

в) коэффициент простоя воздушной линии из-за отказов:

$$K_{П,О} = \frac{T_B}{T_0 + T_B}, \quad (6)$$

г) коэффициент простоя воздушной линии при ремонтах:

$$K_{П,Р} = \frac{T_P}{T_0 + T_P}, \quad (7)$$

5. Экономические показатели надежности воздушной линии

а) эффективность затрат на повышение надёжности воздушной линии:

$$\mathfrak{Z}_H = \frac{\Delta H}{Z_H}, \quad (8)$$

Где ΔH - повышение надёжности линии в результате введения резерва;

Z_H - величина приведенных затрат на образование резерва.

б) суммарные затраты на проведение техобслуживания или ремонта за определённый срок.

в) ущерб от отказа воздушной линии.

Приведем пример расчета комплексных показателей надежности одноцепной железобетонной воздушной линии 35 кВ [3]. Известно, что параметр потока отказов воздушной линии (ω) равен 0,72 1/год на 100 км линии, среднее время восстановления линии (T_B) составляет 10 часов, средняя периодичность ремонтов (μ) – 1,2 1/год на одну линию, среднее время преднамеренного отключения (T_P) – 15 часов на одну линию. Надо найти коэффициент технического использования и коэффициент готовности ВЛ.

Воспользовавшись формулой (4) найдем коэффициент технического использования:

$$K_{T,И} = 1 - \omega \cdot T_B - \mu \cdot T_P = 0,997,$$

По формуле (5) коэффициент готовности:

$$K_G = 1 - \omega \cdot T_B = 1 - 0,72 \cdot \frac{10}{8760} = 0,999.$$

Заключение

Учет надежности электроснабжения – это одна из важнейших и неотъемлемых частей проектирования современных электрических сетей. На сегодняшний день, для того, чтобы обеспечить эффективное управление надежностью воздушных линий, идет активная разработка системы мониторинга в направлении электроэнергетики, а также обеспечение развития такой отрасли, как «интеллектуальные системы электроснабжения» для повышения надежности электроэнергетических систем. Владение основами теории надежности содействует безошибочному принятию решений при эксплуатации и проектировании энергосистем. Поэтому при подготовке высококвалифицированных кадров в сфере энергетики, надежности уделяется особое внимание.

В качестве исследуемого объекта была представлена одноцепная сеть номинального напряжения 35 кВ. Был проведен расчет комплексных показателей электрической сети и мы получили следующие результаты: коэффициент технического использования $K_{T,И} = 0,997$, коэффициент готовности $K_G = 0,999$. Можно сделать вывод, что сеть работает практически

безотказно и никаких мер по увеличению надежности сети проводить не следует.

Литература

1. Поспелов, Г. Е. Электрические системы и сети / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин, П. В. Лычев. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 720 с.
2. Барг, И. Г. Указания по применению показателей надежности элементов энергосистем и работы энергоблоков с паротурбинными установками / И. Г. Барг [и др.] // ИС Меганорм [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Index2/1/4294817/4294817220.htm>. – Дата доступа: 27.03.2022.
3. Показатели надежности линий электропередачи // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studopedia.info/5-72842.html>. – Дата доступа: 23.03.2022.

УДК 621.3.019.34

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УМНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕТИ SMART GRIDS USE TO INCREASE THE RELIABILITY OF THE POWER GRID

А.Э. Мартынович, А. И. Мисюля

Научный руководитель – А. Л. Старжинский, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

astarginsky@bntu.by

A.E. Martynovich, A. I. Misyulya

Supervisor - A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной работе рассмотрено внедрение умных сетей для повышения надежности сети. Проведен анализ использования распределения генерации и эффективность данного метода.

Abstract: This work considers the introduction of smart networks to improve the reliability of the network. An analysis of the use of generation distribution and the effectiveness of this method was carried out.

Ключевые слова: умная сеть, распределение генерации, электроэнергетическая система, надежность энергоснабжения

Keywords: smart grid, generation distribution, electric power system, power supply reliability

Введение

В настоящее время электрические сети часто сталкиваются с серьезными отказами и отключениями. Именно по этой причине проводится так много испытаний на надежность. Надежность электроснабжения может быть нарушена из-за различных причин. Поэтому энергетические компании стремятся модернизировать свои объекты, чтобы свести к минимуму затраты, повышая при этом надежность и безопасность сети. Переход к умным сетям позволяет улучшать производства, технологии автоматизацию и связь. [1]

Основная часть

Умная сеть — будущее поколение электрической сети, которая разумно интегрирует действия производителей и потребителей связываться и общаться вместе, чтобы обеспечить эффективное, устойчивое, надежное, безопасное и экономичное снабжение электричеством. Умная сеть рассматривается как самодостаточная система, позволяющая интегрировать любые источники генерации в электрической сети с целью надежной, безопасной и устойчивой электроэнергии для потребителя.

По сравнению с обычной сетью, умная сеть - это следующее поколение распределения энергии, включающее тысячи новых устройств информационных и коммуникационных технологий.

Умная сеть дает несколько преимуществ для энергосети:

- надежности за счет сокращения перебоев и нарушений энергоснабжения;
- экономии за счет минимизации потребления электроэнергии;
- эффективности за счет снижения себестоимости производства, распределения и потребления энергии;
- защита окружающей среды за счет сокращения выбросов загрязняющих веществ, за счет интеграции возобновляемых источников энергии; [2]

Она предоставляет все необходимые устройства для управления и автоматизации электрической сети, а также для обеспечения потребителей доступной и надежной энергией.

Умная сеть может интегрировать распределение генерации, чтобы уменьшить зависимость от ископаемых ресурсов. Распределение генерации — это новый метод, основанный на возобновляемых источниках энергии, который может оказать положительное влияние на распределительную сеть. Возобновляемые энергетические ресурсы рассматриваются как основные ресурсы для будущих «запасов» энергии в связи с энергетическим кризисом. Распределительный генератор может быть подключен к генераторам электроэнергии или непосредственно к точкам потребления для обеспечения энергией нагрузок. В действующей электрической сети электрическая мощность распределяется на нагрузки через линии и электрические элементы, что может привести к снижению напряжения и увеличению потерь мощности в сетях. Таким образом, линии электропередачи не важны, когда генераторы расположены рядом с потребителями. Следовательно, такое подключение может снизить потери мощности в сети.

Для анализа сети мы создадим сеть, состоящую из узлов, объединенных линиями, одного источника энергии и нагрузок. Предположим возникновение перегрузки из-за большого кол-во энергии потребляемой нагрузками в одно и тоже время. Как следствие этой неисправности может произойти обрыв сети или перебои электроснабжения. Чтобы избежать данной неисправности, связанной с перегрузкой сети мы можем воспользоваться энергией от блоков распределённой генерации, что сможет снизить потребление энергии от основного источника энергии и значительно снизит вероятность возникновения неисправности.

Чтобы математически определить индекс надежности воспользуемся частотой и интенсивностью отказов, соответственно формулы (1) и (2):

Частота отказов по статистическим данным об отказах определяется выражением

$$f(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t} \quad (1)$$

где $\Delta n(t)$ - число отказавших изделий на участке времени $(t, t + \Delta t)$;

$f(t)$ - статистическая оценка частоты отказов изделия;

Δt - интервал времени.

Интенсивность отказов по статистическим данным об отказах определяется формулой :

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot n(t)} \quad (2)$$

где $n(t)$ - среднее число изделий, не отказавших к моменту времени t ;

$\Delta n(t)$ - число отказавших изделий на участке времени $(t, t + \Delta t)$;

$\lambda(t)$ - статистическая оценка интенсивности отказов изделия.[3]

Расчитав формулы (1) и (2) для электроэнергетической сети можно отметить, что частота отказов для небольшой сети напряжением 110 кВ была равна 0,445, а интенсивность 0, 215 за интервал времени равный году. А при введение в использование умной сети частота отказа снизилась до значений равных 0, 398.

Важно отметить что данный способ повышения надежности сети, при помощи введения дополнительных генераторов является дорогостоящим как со стороны введения нового оборудования, так и со стороны налаженной работы всей умной сети. Следовательно, важно учитывать величину затрат, необходимых для реализации и стоимость аварийного ремонта оборудования при возникновении перенапряжения.

Заключение

Таким образом можно рассмотреть новый метод моделирования умных сетей для повышения надежности электроснабжения потребителей. Можно отметить что при неисправности вероятность падения напряжения в сети снизится с 45 % до 40%. Это доказывает возможность внедрения умных сетей для повышения надежности.

Литература

3. SMART GRID или умные сети электроснабжения [Электронный ресурс]/ eneca.by – Режим доступа: <https://eneca.by/novosti/energetika-i-energoeffektivnost/smart-grid-ili-umnye-seti-elektrosnabzheniya/>. – Дата доступа: 11.04.2022.
4. «Умные сети»: перспективы и реалии [Электронный ресурс]/ cleandex.com – Режим доступа: http://www.cleandex.ru/articles/2014/09/11/umnye_seti_perspektivy_i_realii/. – Дата доступа: 11.04.2022.
5. Количественные показатели надежности [Электронный ресурс]/ all4study.ru – Режим доступа : <https://all4study.ru/proizvodstvo/kolichestvennye-pokazateli-nadezhnosti.html/>. – Дата доступа: 11.04.2022.

УДК 621.311.153.001.24

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ
PREDICTION OF LOAD SCHEDULES**

К.А. Марчук

Научный руководитель – Попкова Н.А., старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

popkova@bntu.by

Marchuk K.A.

Supervisor – Popkova N.A., Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В работе рассматривается возможность применения моделей машинного обучения для решения задачи прогнозирования графиков электрической нагрузки. Выявлены закономерности в исходных и полученных данных, проведено сравнение их с действительными, произведен поиск лучшей модели на основании выбранной метрики.

Abstract: The paper considers the possibility of using machine learning models to solve the problem of predicting electrical load curves. Regularities in the initial and received data are revealed, they are compared with the real ones, and the best model is searched based on the selected metric.

Ключевые слова: графики нагрузки, корреляционная матрица, RMSLE.

Keywords load graphs, correlation matrix, correlation, RMSLE.

Введение

Предсказание будущих событий — перспективная, но и интересная задача во многих сферах: начиная с прогноза погоды и заканчивая предсказанием роста акций, курса валют. Машинное обучение уже сегодня позволяет значительно сократить время и трудозатраты на принятие управленческих решений, например, ввод дополнительного числа генерирующих устройств или же вывод. Прогнозирование графиков нагрузки дает возможность изначально предсказать загрузку генерирующих аппаратов и распределить загрузки между ними таким образом, чтобы себестоимость электроэнергии была минимальна [1].

Достижению высокой точности прогнозирования мешают много факторов:

- внезапное изменение температуры;
- отсутствие возможности учета случайных событий;
- зависимость от вида дня;
- точность предсказанной погоды;

Для прогнозирования графиков нагрузки используются следующие виды данных: история потребления и прогноз температуры. Для начала обучения необходимо проверить данные на аномалии, наиболее подходящим решением является корреляционная матрица в виде тепловой карты. Данная матрица показывает, как переменные в наборе данных связаны друг с другом и как они перемещаются относительно друг друга. Значение корреляции колеблется от -1

до +1. Нулевой коэффициент корреляции означает, что две переменные не зависят друг от друга. Положительная корреляция указывает на то, что переменные движутся в одном направлении, а отрицательная корреляция указывает на противоположное [2].

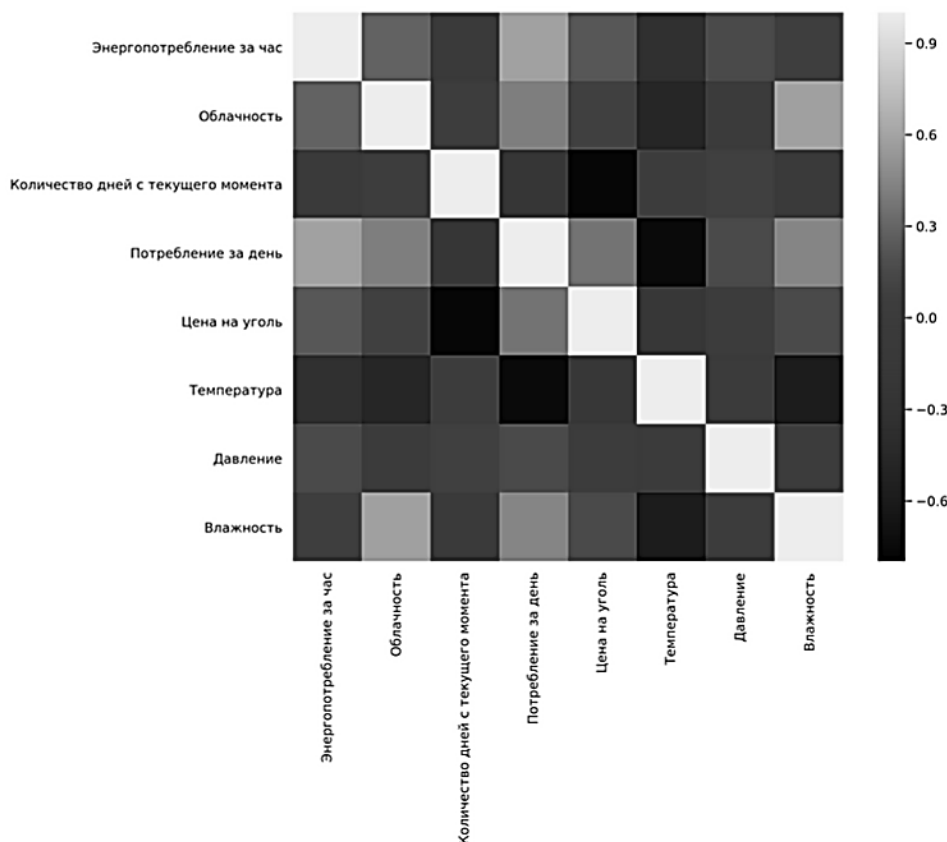


Рисунок 1 - Корреляционная матрица в виде тепловой карты

После предварительного просмотра данных, стоит задача с определением зависимостей и проверки этих зависимостей с действительностью. Как правило, потребление электроэнергии в зимний и осенний период больше, чем в весенний и летний, что и отражено на графиках энергопотребления показанных на рисунке 2.

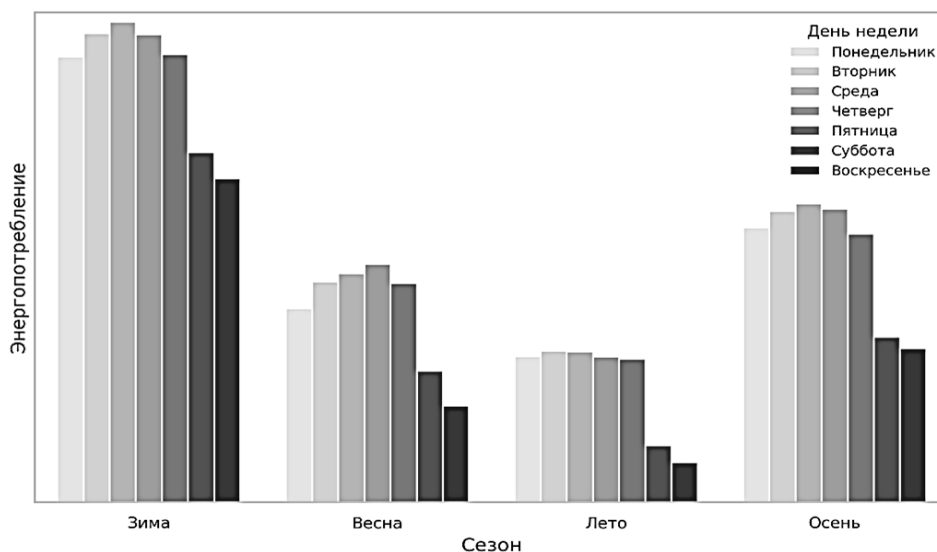


Рисунок 1 - Потребление электроэнергии от времени года

После обработки данных и установки всех зависимостей ставиться задача: выбора модели и метрики, по которой будет проводиться оценка модели. В качестве метрики используют r^2 (R - коэффициент детерминации, показывающий, как сильно условная дисперсия модели отличается от дисперсии реальных значений) и RMSLE (Root Mean Squared Logarithmic Error, или среднеквадратичная логарифмическая ошибка, которая является расстоянием между двумя точками на плоскости) [3].

Модель будет подобрана путем перебора моделей по лучшему качеству, а лучшие параметры для модели будут определены с помощью встроенных функций, результаты точности предсказания каждой модели приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества для каждой модели

Метрика	LightGBM	Catboost	XGBoost	Prophet	SARIMAX
r^2	0.94137	0.93984	0.92909	0.81435	0.73778
MSLE	0.02468	0.02477	0.01219	0.00829	0.00658

Как видно из таблицы 1, что лучшая модель LightGBM, результаты прогноза представлены на рисунке 3.

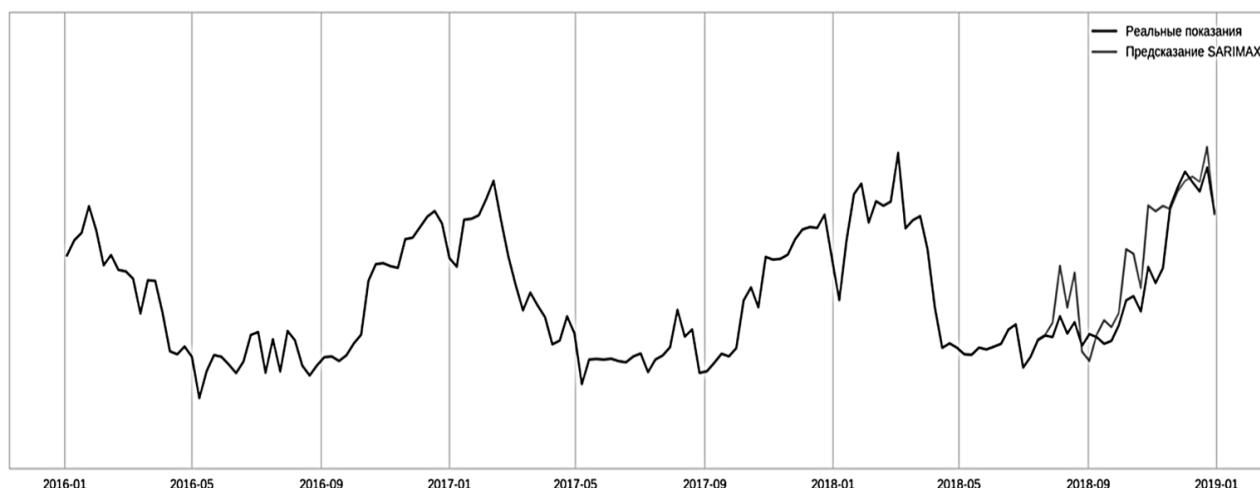


Рисунок 3 — График прогноза потребления

В крупных городах, как правило, есть почти линейная зависимость потребляемой мощности от температуры наружного воздуха. Если потребление не отвечает этим сложившимся графикам, значит вмешался какой-то фактор, который невозможно предсказать.

Вывод

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что недоотпуск электроэнергии потребителям в случае возникновения аварии приводил к серьезной погрешности исследуемой модели. Наиболее перспективным вариантом будет проведение предсказания нагрузки по районам, предприятиям, кварталам города добавив к уже имеющимся признакам, новые, которые будут отвечать за вероятность появления аварии, а для нахождения суммарной нагрузки, нужно будет обучить модель на суммарных предсказаниях других моделей.

Литература

1. Управление нагрузками // [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://forca.ru/knigi/arhivy/ekspluataciya-elektricheskikh-sistem-3.html>. Дата доступа: 14.04.2022.
2. Тепловая карта корреляции в Seaborn // [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.delftstack.com/ru/howto/seaborn/correlation-heatmap-seaborn-python>. Дата доступа: 14.04.2022.
3. Машинное обучение в энергетике, или не только лишь все могут смотреть в завтрашний день // [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/lanit/blog/487944>. Дата доступа: 14.04.2022.

УДК 621.3

**ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ
RELIABILITY INDICATORS OF RENEWABLE ELEMENTS OF
ELECTRIC SYSTEMS**

А.А. Пальчастая

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

alexeystminsk@gmail.com

A. Palchastaya

Supervisor – A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной работе рассмотрены основные показатели надежности восстанавливаемых элементов электрических систем.

Abstract: In this paper, the main indicators of the reliability of the restored elements of electrical systems are considered.

Ключевые слова: показатели надежности, восстанавливаемый элемент, электрическая система, надежность.

Keywords: reliability indicators, recoverable element, electric system, reliability.

Введение

Показатели надежности - это количественные характеристики одного или нескольких параметров объекта, характеризующие степень свойственных данному объекту параметров, ее отдельные состояния, которые определяют надёжность.

Зачастую сложные электрические системы с длительными сроками службы являются восстанавливаемыми. Это означает, что отказы элементов систем могут устраняться при ремонте, т.е. отказавший элемент может переходить из неработоспособного состояния в работоспособное.

Основная часть

Для того, чтобы оценить надежность восстанавливаемых элементов, применяются следующие показатели надежности:

1. Вероятность восстановления элемента или вероятность своевременного завершения ремонта $S(t)$ – это вероятность того, что отказавший элемент может быть восстановлен в течение заданного промежутка времени t .

Для оценки вероятности восстановления элемента используется формула:

$$S(t) = \frac{N_B}{N_{OB}}, \quad (1)$$

где N_{OB} – количество отказавших элементов, которые подлежат ремонту;

N_B - количество отказавших элементов, время ремонта которых меньше заданного времени t .

2. Вероятность несвоевременного завершения ремонта $G(t)$ – это вероятность того, что отказавший элемент не может быть восстановлен в течение заданного промежутка времени t .

Для оценки вероятности несвоевременного завершения ремонта используется формула:

$$G(t) = \frac{N_{OB} - N_B}{N_{OB}}. \quad (2)$$

Исходя из выражений (1) и (2) следует, что:

$$S(t) + G(t) = 1. \quad (3)$$

3. Частота восстановления $a_B(t)$ – это плотность распределения времени восстановления отказавшего элемента:

$$a_B(t) = S'(t) = -G'(t). \quad (4)$$

Формула для оценки частоты восстановления $a_B(t)$:

$$a_B(t) = \frac{n_B(\Delta t)}{N_{OB} \cdot \Delta t}, \quad (5)$$

где N_{OB} - количество элементов, подлежащих ремонту;

$n_B(\Delta t)$ - количество элементов, восстановленных в течение времени $\left(t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right)$.

4. Интенсивность восстановления $\mu(t)$ – это условная плотность распределения времени восстановления для момента времени "t" при условии, что до этого момента времени элемент не восстановили:

$$\mu(t) = \frac{a_B(t)}{1 - S(t)} = \frac{a_B(t)}{G(t)}. \quad (6)$$

Формула для оценки интенсивности восстановления $\mu(t)$:

$$\mu(t) = \frac{n_B(\Delta t)}{N_{B,CP} \cdot \Delta t}, \quad (7)$$

где $N_{B,CP}$ - среднее число элементов, которые не восстановили в течение интервала времени $(0, t)$.

$n_B(\Delta t)$ - количество восстановленных элементов за интервал времени t .

5. Среднее время восстановления T_B - математическое ожидание времени восстановления:

$$T_B = \int_0^\infty G(t) dt, \quad (8)$$

$$T_B = \int_0^\infty t a_B(t) dt = \int_0^\infty [1 - S(t)] dt. \quad (9)$$

Время восстановления определяется по формуле:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^{N_{OB}} t_{Bi}}{N_{OB}}, \quad (10)$$

где t_{Bi} - время восстановления i-го элемента;

N_{OB} – число элементов, которые подлежат ремонту.

При $\mu = \text{const}$:

$$T_B = \frac{1}{\mu}. \quad (11)$$

Среднее время восстановления состоит из продолжительности планового ремонта $T_{ПЛ}$ и продолжительности послеаварийного ремонта T_{AB} :

$$T_B = T_{ПЛ} + T_{AB}. \quad (12)$$

Формула оценки времени восстановления имеет вид:

$$T_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i, \quad (13)$$

где m - число отказов;

t_i – время восстановления i -го отказа.

6. Поток отказов $\omega(t)$ – среднее количество отказов всех элементов, происшедших за единицу времени t к числу элементов на испытании, с учетом того, что все элементы, которые отказали, заменяются новыми.

Поток отказов $\omega(t)$ определяется по формуле:

$$\omega(t) = \frac{\Delta n(t, t + \Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t} = \frac{n_1(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (14)$$

где $\Delta n(t, t + \Delta t)$, $n_1(\Delta t)$ – число элементов, которые отказали в интервале времени Δt или $\left(t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right)$ если учесть, что элементы, которые отказали, заменяются новыми.

N_0 – количество элементов в процессе испытания, с учетом замены отказавших элементов.

$$\omega(t) = \lambda(t) = \omega = \lambda = \text{const.} \quad (15)$$

Время наработки на отказ:

$$T' = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\omega} = \frac{8760}{\omega \text{ год}^{-1}}. \quad (16)$$

Также для расчета надежности элементов применяются комплексные показатели надежности. Разница между этими показателями состоит в том, что комплексные показатели характеризуют восстанавливаемый элемент одновременно с нескольких сторон.

Комплексные показатели включают в себя:

1. Математическое ожидание продолжительности цикла работы элемента:

$$T_{\text{цикла}} = T + T_B, \quad (17)$$

где T - среднее время наработки до отказа элемента;

T_B - среднее время восстановления элемента.

2. Частота отказов объекта f :

$$f = \frac{1}{T_{\text{цикла}}}. \quad (18)$$

3. Коэффициент готовности K_G – вероятность, что объект является работоспособным в любой промежуток времени:

$$K_G = \frac{T}{T_{\text{цикла}}} = \frac{T}{T + T_B} = \frac{\mu}{\mu + \lambda}. \quad (19)$$

Оценка коэффициента готовности производится по следующей формуле:

$$K_G = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i + \sum_{i=1}^m t_{vi}}, \quad (20)$$

где t_i - время безотказной работы i -го элемента;

t_{vi} - время восстановления i -го элемента;

m - количество отказов элемента.

4. Коэффициент неготовности K_H – вероятность того, что объект является неработоспособен в любой промежуток времени.

$$K_H = 1 - K_G = \frac{T_B}{T + T_B} = \frac{T_B}{T_{\text{цикла}}} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}. \quad (21)$$

Статистическая оценка коэффициента неготовности K_H :

$$K_H = \frac{\sum_{i=1}^m t_{Bi}}{\sum_{i=1}^m t_{Bi} + \sum_{i=1}^m t_{ti}}. \quad (22)$$

При этом, нужно учитывать, что:

$$K_G + K_H = 1. \quad (23)$$

5. Коэффициент оперативной готовности $K_{OG}(t, \tau)$ – вероятность того, что элемент работоспособен в произвольный момент времени t и сможет проработать без отказа в аварийных условиях в течение времени τ .

$$K_{OG}(t, \tau) = K_G(t)P(\tau). \quad (24)$$

6. Коэффициент технического использования $K_{ТИ}$ – это характеристика продолжительности времени работы:

$$K_{ТИ} = \frac{T_{РАБ} + T_{РЕЗ}}{T_{РАБ} + T_{РЕЗ} + T_{АВ} + T_{ПР}}, \quad (25)$$

где $T_{РАБ}$ – время, в течение которого элемент находится в работе;

$T_{РЕЗ}$ – время, в течение которого элемент находится в резерве;

$T_{АВ}$ – время, в течение которого элемент находится в аварийном простое;

$T_{ПР}$ – время, в течение которого элемент находится в плановом ремонте.

Приведем примеры расчета оценки надежности:

Задача 1. В объекте электрической системы было обнаружено 6 отказов. Время восстановления каждого из отказов составляло: $t_1 = 10$ мин, $t_2 = 14$ мин, $t_3 = 21$ мин, $t_4 = 19$ мин, $t_5 = 28$ мин, $t_6 = 15$ мин. Необходимо определить среднее время восстановления элемента системы T_B .

Воспользуемся формулой (13):

$$T_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i = \frac{10+14+22+19+28+15}{6} = 18 \text{ мин.}$$

Задача 2. Объект электрической системы имел среднюю наработку на отказ $T = 45$ ч и среднее время восстановления $T_B = 1,25$ ч. Необходимо определить коэффициент готовности K_G и коэффициент неготовности K_H .

Используем формулы (19) и (21):

$$K_G = \frac{T}{T + T_B} = \frac{45}{45 + 1,25} = 0,97.$$

$$K_H = 1 - K_G = 1 - 0,97 = 0,03.$$

Задача 3. Определить коэффициент технического использования объекта ЭС, если известно, что время нахождения элемента в работе составило 8760 часов (один год), в резерве – 40 часов, в аварийном простое – 9 часов и в плановом ремонте – 480 часов (20 суток).

Используем формулу (25):

$$K_{ТИ} = \frac{T_{РАБ} + T_{РЕЗ}}{T_{РАБ} + T_{РЕЗ} + T_{АВ} + T_{ПР}} = \frac{8760 + 40}{8760 + 40 + 9 + 480} = 0,95.$$

Заключение

Следовательно, оценка надежности считается непростой задачей в связи с необходимостью учета множества факторов и свойств объектов, которые влияют на надежность. Расчеты показателей надежности осуществляются на основании данных, полученных в результате испытаний или во время эксплуатации объектов. В процессе расчета показателей надёжности, эксплуатацию рассматривают в виде процесса последовательного чередования работоспособного и неработоспособного состояний объекта.

Литература

1. Савоськин Н. Е. Надежность электрических систем – Пенза, 2004. – 30с.
2. Показатели надежности восстанавливаемого элемента системы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studme.org/39331/tovarovedenie/pokazateli_nadezhnosti_vosstanavlivaemogo_elementa_sistemy. – Дата доступа: 01.04.2022.

УДК 621.499

**ПЕРСПЕКТИВЫ МАССОВОГО ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В
РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**
**PROSPECTS FOR THE MASS INTRODUCTION OF ELECTRIC
VEHICLES IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Е.В. Радюк, В.Д. Слесарев

Научный руководитель – В.А. Ханевская, инженер
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

hanevskaya@bntu.by

E. Radziuk, V. Slesarev

Supervisor – V. Khanevskaya, Engineer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Supervisor –Khanevskaya V., Engineer Belarusian national technical university,
Minsk, Belarus

Аннотация: В современном мире, где так остро стоит вопрос загрязнения окружающей среды, продолжается внедрение нового вида автомобилей, работающих за счёт энергии, хранящейся на аккумуляторных батареях, которые заряжаются от домашней сети. Электромобиль – экологически чистый транспорт. Есть ли преимущества для использования данной инновации именно в нашей стране?

Abstract: In today's world, where the issue of environmental pollution is so acute, the introduction of a new type of car that runs on energy stored in batteries that are charged from the home network continues. An electric car is an environmentally friendly vehicle. Are there any advantages to using this innovation in our country?

Ключевые слова: электромобиль, электрический транспорт, экология, энергия.

Keywords: electric car, electric transport, ecology, energy.

Введение

В современном мире автомобили являются неотъемлемой частью жизни людей. Многие люди не представляют свою жизнь без этого вида транспорта, поэтому он очень востребован. Главное преимущество любого транспорта в том, что за минимальный промежуток времени можно преодолеть довольно большие расстояния. Но у автомобиля с двигателем внутреннего сгорания есть существенные минусы – высокий экологический ущерб.

Автомобили с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) создают целый ряд тяжелых проблем, например, шум, тепловое загрязнение, продукты сгорания и выхлопные газы, аварийные разливы топлива и жидкостей.

Для снижения воздействия на окружающую среду необходимо внедрять экоинновации, а именно необходимо переходить с автомобилей с двигателями внутреннего сгорания на электромобили, так как данный вид транспорта развивается очень быстро и имеет огромный потенциал как в масштабе нашей страны, так и для всего мира.

Основная часть

Для того, чтобы оценить преимущества такого вида транспорта, как электромобиль, рассмотрим примеры других стран, внедривших эту экоинновацию.

Значительные фискальные стимулы смогли помочь первоначальному внедрению легковых электромобилей (LDV) и способствовали расширению производства электромобилей и производства аккумуляторов. Меры — в первую очередь субсидии на покупку и/или скидки на налог на покупку и регистрацию транспортных средств — были разработаны для сокращения ценового разрыва с обычными автомобилями. Такие меры были реализованы еще в 1990-х годах в Норвегии, в США в 2008 году и в Китае в 2014 году.

Постепенное ужесточение стандартов экономии топлива и выбросов CO₂ в выхлопных газах повысило роль электромобилей в соблюдении этих стандартов. Сегодня более 85% продаж автомобилей во всем мире подчиняются таким стандартам. Стандарты выбросов CO₂ в Европейском союзе сыграли значительную роль в стимулировании продаж электромобилей, которые в 2020 году продемонстрировали самый большой годовой прирост, достигнув 2,1 миллиона. В некоторых юрисдикциях применяются обязательные целевые показатели продаж электромобилей, например, в течение десятилетий в Калифорнии и в Китае с 2017 года.

Удобные и доступные общедоступные зарядные устройства будут приобретать все большее значение по мере увеличения масштабов производства электромобилей. Чтобы помочь решить эту проблему, правительства оказали поддержку инфраструктуре зарядки электромобилей с помощью таких мер, как прямые инвестиции для установки общедоступных зарядных устройств или стимулы для владельцев электромобилей устанавливать точки зарядки дома. В некоторых местах строительные нормы и правила могут требовать нового строительства или существенной реконструкции для включения точек зарядки, например, в многоквартирных домах и торговых заведениях.

Усилия городов по повышению ценности электромобилей стимулировали продажи даже за пределами городских районов. Такие меры включают стратегическое развертывание инфраструктуры зарядки и внедрение схем льготного/запрещенного обращения или доступа, таких как зоны с низким и нулевым уровнем выбросов или дифференцированные сборы за обращение. Такие меры сильно повлияли на продажи электромобилей в Осло и ряде городов Китая.

В рамках ответных мер, связанных с пандемией, Европейский Союз ускорил развертывание электромобилей благодаря своей приверженности безуглероживанию в рамках «Зеленого соглашения» ЕС и последующего Плана ЕС по восстановлению следующего поколения. В декабре 2020 года Стратегия и План действий ЕС в области устойчивой и интеллектуальной мобильности подкрепили эти планы для транспортного сектора амбициозными целями развертывания производства электромобилей для массового внедрения. В

настоящее время пересматривается ряд директив и правил ЕС, чтобы адаптировать их для достижения заявленных целей.

Электромобиль может стать для вас, как потребителя, отличным способом сэкономить много денег на бензине. Тем не менее, существует так много разных причин, по которым вам следует инвестировать в электромобиль в условиях современных технологий.

Самым большим преимуществом электромобиля является его экологичность. Электромобили на 100 % экологичны, поскольку они работают на двигателях с электрическим приводом.

Он не выделяет токсичных газов или дыма в окружающую среду, поскольку работает на экологически чистом источнике энергии. Они даже лучше, чем гибридные автомобили, поскольку гибриды, работающие на газе, производят выбросы. Вы будете способствовать здоровому и зеленому климату.

Заключение

В 2020 году на дорогах мира было десять миллионов электромобилей. Это был ключевой год для электрификации общественного транспорта. Продажи электромобилей составили 4,6% от общего объема продаж автомобилей по всему миру. Доступность моделей электромобилей расширилась. Были запущены новые инициативы в области критически важных аккумуляторных технологий. И этот прогресс был достигнут в разгар пандемии Covid-19 и связанных с ней экономического спада и карантина.

За последнее десятилетие на ключевых рынках были введены различные политики поддержки электромобилей (EV), которые помогли стимулировать значительное расширение моделей электромобилей.

Но задача остается огромной. Для достижения траектории, соответствующей Сценарию устойчивого развития МЭА, к 2030 году на дорогах мира должно быть 230 миллионов электромобилей.

Чтобы электромобили полностью раскрыли свой потенциал для борьбы с изменением климата, 2020-е годы должны стать десятилетием массового внедрения легких электрических транспортных средств. Кроме того, особая политическая поддержка и расширение моделей для сегментов автомобилей средней и большой грузоподъемности будут иметь решающее значение для сокращения выбросов и достижения целей в области климата.

Для крупных городов также имеется необходимость перехода на экологически чистый транспорт, что в совокупности создает благоприятную среду для развития этого направления. Ощутимый толчок следует ожидать после выхода, следующего поколения электромобилей, которые будут иметь улучшенные характеристики, что вполне осуществимо в ближайшие несколько лет.

Литература

1. Conserve energy future [Электронный ресурс]/Electric cars. - Режим доступа: <https://www.conserve-energy-future.com/advantages-and-disadvantages-of-electric-cars.php>— Дата доступа: 22.04.2022.

2. IEA [Электронный ресурс]/ Electric vehicle deployment. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/policies-to-promote-electric-vehicle-deployment/>. – Дата доступа: 22.04.2022.

УДК 621.311

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ ЧАСТОТНОЕ ДЕЛЕНИЕ
AUTOMATIC FREQUENCY DIVISION**

А.В. Чекавый

Научный руководитель – ст. преподаватель Макаревич В.В.

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

zaqwedc098123@gmail.com

A.V. Chekaviy

Supervisor – V. Makarevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье рассматривается автоматика частотного деления. Также рассмотрены случаи при которых используется автоматика частотного деления и причины возникновения таких случаев.

Abstract: This article discusses the automation of the frequency division. Cases are also considered in which automatic frequency division is used and the reasons for the occurrence of such cases.

Ключевые слова: автоматика, деление, частота.

Keywords: automation, frequency, division.

Введение

Автоматическое частотное деление – один из методов деления электрической системы, который используют в качестве одного из видов противоаварийной автоматики, и работает во время переходного процесса методом отключения линий электропередачи, или же отключением междушинных выключателей на станциях.

Основная часть

Опасные ситуации, которые появляются с недостатком активной мощности, приводят к снижению частоты в системе. Главные причины аварийного снижения частоты – выключение области генерирующей мощности; отсоединение части системы с недостатком генерирующей мощности из-за вынужденного выключения линий электропередач; несоблюдение стабильности электростанций с будущим выключением линий электропередач и генераторов. Деятельность электростанции с пониженной частотой плохо сказывается на работе и самой станции, и потребителя.

Существенное понижение частоты вызывает аварию – лавину частоты – вплоть до абсолютного отключения энергосистемы и электроприемников на крупных территориях. Лавина частоты появляется, когда абсолютно исчерпана мощность станций.

Возобновление работы энергосистемы требует подачи на каждую из них электроэнергии от рабочей части станции, что при крупном количестве абсолютно нерабочих электростанций весьма затруднительно и занимает достаточно большое количество времени.

Аварийное снижение частоты проходит достаточно быстро, и возможности вмешаться в этот процесс практически нет. И для устранения и ограничения

возможности аварий со снижением частоты в энергосистемах используется совокупность средств противоаварийной автоматики. Один из таких средств является автоматическое частотное деление.

Автоматическое частотное деление на электростанциях используется: для отсоединения электростанций со сбалансированной нагрузкой, которые являются запасными источниками для разворота мощных блочных тепловых электростанций при их “посадке на ноль” в условиях тяжелых аварий со снижением частоты; для отсоединения электростанций полностью или частично с целью сохранения их собственных нужд при авариях со значительной нехваткой мощности в системе или конкретных узлах.

Автоматическое деление действует так, чтобы доля энергосистемы с частью нагрузки была или с маленьким «остаточным» недостатком (устраняемый трудом автоматической частотной разгрузки в конкретном районе или, в наилучшем случае, без срабатывания автоматической частотной разгрузки), или с маленьким избытком генерируемой мощности (устраняемым работой автоматических регуляторов турбин).

Автоматическое частотное деление имеет многоступенчатый характер и работает при снижении частоты в пределе времени, а ещё в случаях единовременного снижения частоты и напряжения. В нескольких случаях преждевременной деятельностью автоматического частотного деления есть автоматический перевод питания собственных нужд на другую часть станции.

Заключение

Работа частотного деления бывает востребована в случаях тяжелых и опасных аварийных ситуациях, стимулированных снижениями частот в энергосистеме, то есть почти при разрушении всей системы. Главная задача в таких случаях – это сохранение при работе хотя бы единичных блоков для будущего их использования как источников напряжения при пуске остановленных за время аварии электростанций.

Литература

1. Что такое АЧД, АЧР, ЧАПВ [Электронный ресурс] / энергетика. – Режим доступа: <https://foraenergy.ru/chto-takoe-achd-achr-chapv/> – Дата доступа: 24.04.2022.
2. Деление энергосистемы [Электронный ресурс] / автоматическое противоаварийное управление. – Режим доступа: <https://forca.ru/knigi/arhivy/avtomaticheskoe-protivoavariynoe-upravlenie-9.html> – Дата доступа: 24.04.2022.

УДК 621.365

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБОЙЛЕРНЫХ УСТАНОВОК (ЭБУ) НА
БАЗЕ ВОДОГРЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ КОТЛОВ
USE OF ELECTRIC BOILER INSTALLATIONS (ECU) ON THE BASIS OF
HOT WATER ELECTRODE BOILERS**

Д.П. Лобач

Научный руководитель – М.Л. Протасеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

protasenia@bntu.by

D. Lobach

Supervisor – M. Pratasenia, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *Описаны особенности конструкции ЭБУ на базе водогрейных электродных котлов Parat IEH мощностью по 50 МВт, перечислены требования к качеству сырья, перечислены параметры, подлежащие автоматическому контролю под руководством системы автоматизированного управления. Указаны способы управления выходными параметрами и энергопотреблением в зависимости от параметров сетевой воды. Описан опыт применения установки в производственных условиях.*

Abstract: *The design features of the ECU based on Parat IEH hot-water electrode boilers with a capacity of 50 MW are described, the requirements for the quality of raw materials are listed, and the parameters subject to automatic control under the guidance of an automated control system are listed. The ways of controlling output parameters and energy consumption depending on the parameters of network water are indicated. The experience of using the installation in production conditions is described.*

Ключевые слова: *водогрейные электродные котлы, контроллер температуры, энергопотребление, системы автоматизированного управления*

Keywords: *hot water electrode boilers, temperature controller, energy consumption, automated control systems*

Введение

В рамках перспективных направлений модернизации энергосистемы Республики Беларусь, а также с целью создания потребителей-регуляторов мощности для прохождения минимальных в основном ночных электрических нагрузок вводятся эксплуатацию электродкотлы различной мощности.

Основная часть

На Минской ТЭЦ-3 работают две электробойлерные установки (далее ЭБУ) на базе водогрейных электродных котлов Parat IEH мощностью по 50 МВт.

Для корректной работы совместно с двумя электродкотлами устанавливаются четыре насоса замкнутого контура Etanorm RSY 300-400 мощностью по 52,4 кВт; два пластинчатых теплообменника Alfa Laval T-35 PFD; две автоматические установки поддержания давления и подпитки замкнутого контура; одна общая установка подготовки добавочной воды.

Для обеспечения циркуляции между теплообменниками и коллекторами обратной и прямой сетевой воды, расширителя слива из предохранительных клапанов, бака слива из расширителя и двух насосов откачки из бака в машзал главного корпуса установлены два сетевых насоса Grundfos LS500-300-710E мощностью по 1000 кВт (1 – раб., 1 – рез.)

Технические характеристики электрокотлов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики электрокотла типа Parat IEN

Parat IEN Рабочее напряжение	10 кВ ± 10 %
Частота тока	50 ± 0,4 Гц
Мощность электрокотла	50 МВт
Диапазон регулирования	от 2 % до 100 %
Расчётное давление	10 бар
Рабочее давление	8 бар
Тестовой давление	15,7 бар
Расчетная максимальная температура	184,1 °С
Уставка отключения по температуре	160 °С
Рабочая температура подачи из котла	140 °С
Температура подачи воды от теплообменника	90 °С
Объём котла	30 м3
Номинальный расход теплоносителя	860 м3/ч

Электродный водогрейный котел (далее – электрокотел) предназначен для преобразования электрической энергии в тепловую посредством нагревания теплоносителя с последующей подачи его потребителю.

Принципиальная схема электрокотла представлена на рисунке 1.

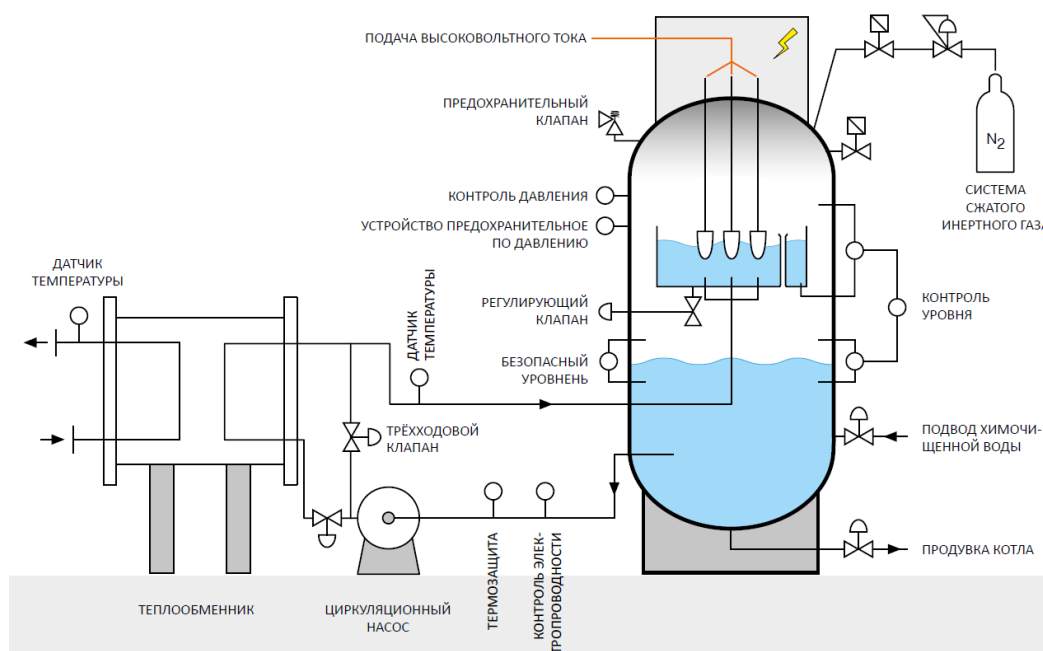


Рисунок 1 – Принципиальная схема электрокотла

Котел состоит из наружного и внутреннего резервуаров, которые электрически изолированы друг от друга и от конструкции с закрепленными электродами. Котловая вода циркулирует через верхний резервуар (резервуар нагрева), где производится ее нагрев электродами до необходимой температуры. В котле мощностью 50 МВт установлено 12 электродов, расположенных в верхнем резервуаре котла. Котел позволяет устанавливать постоянную температуру с шагом 1 °С до ее максимального значения. Выдача горячей воды с котла в греющий контур управляется дроссельной заслонкой.

Котел выполнен для 3-фазной сети, имеет угловое соединение (звездой). Одна фаза соединена с каждым электродом. В зависимости от конструкции каждая фаза состоит из четырёх электродов. Электрический ток проходит прямо в воде между фазовыми электродами и электродами нулевой точки. При работе котла все электроды должны быть включены, в случае выхода из строя одного из электродов котёл отключается.

Уровень воды в обоих резервуарах измеряется с помощью датчиков уровня и может быть визуально считан на смотровых стёклах. По показаниям этих датчиков определяется общий объём воды в котле. Важным параметром, связанным с оптимальным функционированием котла, является электрическая проводимость воды. Проводимость непрерывно контролируется для гарантирования производительности. При превышении установленного параметра проводимости включается автоматическая продувка.

Для эксплуатации котла рекомендовано следующее качество воды первичного контура электрокотла:

- удельная электрическая электропроводимость Н-катионированной пробы
 - не более 3,0 мкг-экв/л;
- общая жесткость – не более 3,0 мкг-экв/л (при авариях до 6);
- содержание растворённого кислорода, кремнекислоты, соединений меди, соединений натрия являются ненормируемыми показателями.

Производитель допускает значение электропроводимости до 6,0 $\mu\text{S}/\text{см}$ без ухудшения характеристик работы котла.

Вода в сосуде при эксплуатации котла находится под давлением азота. Азот в системе не потребляется, для поддержания функционирования системы требуется два стандартных баллона азота на год эксплуатации, т.е. до планового ТО. Такая система обеспечивает:

- предотвращение закипания воды в котле любых режимах эксплуатации;
 - отсутствие кавитации на всосе насосов;
- отсутствие необходимости установки расширительного бака.

При продувке верхней секции котла (выполняется автоматически в случае образования водорода) 1-2 сек в течение 24 часов работы, расход азота минимальный. Для предотвращения аварийных ситуаций, вызванных не контролируемым повышением давления в резервуаре, котел снабжается предохранительными клапанами. Для сброса неконденсирующихся газов в конструкции котла предусмотрены автоматические вентиляционные клапаны. Они открываются с заданным интервалом времени для проветривания или вентиляции котла.

Установка работает полностью автоматически под руководством системы автоматизированного управления (САУ), которая обеспечивает:

- автоматическую проверку готовности к пуску;
- автоматический пуск с выходом на режим заданной нагрузки;
 - стабилизацию заданного режима;
- автоматический и автоматизированный (с участием человека) пуск;
 - контроль и отображение параметров электрокотла;
 - предупредительную и аварийную сигнализацию;
- защиту электрокотла при пусках, остановках и работе под нагрузкой;
- интеграция локальной САУ со станционной системой управления (АСУТП) и отработку ее команд (при необходимости);
- автоматизацию вспомогательного оборудования электрокотла;
 - архивирование информации;
- регистрацию аварийных ситуаций, включая регистрацию информации о технологических параметрах за определенный период, предшествующий возникновению аварии.
- перечень технологических защит, действующих на отключение электрокотла:
- повышение давления в котле выше номинального расчётного (без выдержки времени);
- повышение температуры, выходящей из электрокотла воды выше максимальной (с выдержкой времени);
 - понижение давления в котле ниже минимального рабочего;
- достижение минимально допустимого расхода воды первичного контура;
- превышение допустимого значения кондуктивности (проводимости) воды;
- превышение электрической мощности номинального значения на 10 %;
- неисправность распределительного устройства высокого напряжения.

Электрокотел используется для создания установок нагрева воды электрическим током, работающих по закрытой двухконтурной схеме в системах теплоснабжения. Котел включается в первичный контур, а вторичный контур подключается к системе горячего водоснабжения. Контуров разделены через теплообменник.

В котле при прохождении электрического тока через воду между электродами происходит нагрев воды. Количество электрической энергии, преобразуемой в тепловую в единицу времени, зависит от площади поверхности нулевых и фазовых электродов, погруженной в воду. Управление теплопроизводительностью котла осуществляется регулирующим клапаном в отводящем трубопроводе верхнего резервуара. Он регулирует переток воды из внутреннего резервуара во внешний. Изменяя его положение можно регулировать количество воды в верхнем резервуаре, что влечёт за собой изменение мощности котла. Также в регулировании мощности электрокотла участвуют циркуляционные насосы. Котел спроектирован так, что его максимальная производительность достигается тогда, когда верхний резервуар

заполнен полностью (при этом электроды полностью погружены в воду), а температура воды на выходе из котла составляет 140 °С. Для предотвращения закипания воды в первичном контуре система находится под давлением. Давление создается системой поддержания давления, представляющей собой резервуар, заполненный газообразным азотом. Для контроля температуры обратной сетевой воды в котле используется 3-ходовой перепускной клапан, который состоит из двух дроссельных заслонок, используемых для увеличения или уменьшения расхода теплоносителя. При понижении температуры в обратном трубопроводе котла расход воды в перепускной трубопровод увеличивается и уменьшает расход через теплообменник, а при повышении температуры в обратном трубопроводе расход в перепускном трубопроводе уменьшается. Температура воды влияет на её кондуктивность. Это значит, что если температура снижается, то и мощность котла будет уменьшаться. Поэтому важно, чтобы вода в теплообменнике не подвергалась излишнему охлаждению. Для этого шунты должны снизить скорость потока через теплообменник и тем самым увеличить скорость потока в обводной линии для поддержания нужной температуры в котле. Предпочтительное значение для контроллера температуры прямой сетевой воды регулируется на панели управления.

Контроллер температуры системы прямой сетевой воды получает значение от индикатора температуры. Выходной сигнал от контроллера передается к переключателю с наименьшим сигналом. Предпочтительное значение для контроллера температуры обратной сетевой воды регулируется на панели управления. Контроллер температуры для обратного трубопровода котла получает данные от индикатора. Выходной сигнал от контроллера передается к переключателю с наименьшим сигналом. Этот выходной сигнала обратный, это означает, что при понижении температуры, выходной сигнал снижается для того, чтобы закрыть доступ к теплообменнику. А когда температура повышается, увеличивается и сигнал, чтобы открыть доступ к теплообменнику. Наименьший из сигналов от двух контроллеров затем передается на приводы шунтов для увеличения/уменьшения.

Обычно котел управляется в зависимости от температуры прямой сетевой воды, но если нагрузка слишком высока, то контроллер температуры обратной сетевой воды предотвращает излишнее снижение температуры в котле. Таким образом, котел может работать на полной мощности, даже если нагрузка слишком высока. Однако, если температура в котле снижается, мощность может быть уменьшена на 25 % – 50 % в зависимости от нагрузки.

Если требуется более низкая температура прямой сетевой воды, температура в подающей и обратной линиях котла должна быть уменьшена на столько же. В противном случае велик риск возникновения проблем с управлением шунтов при более низких нагрузках. Это явление может также возникнуть при низких нагрузках с нормальными настройками. Для того, чтобы исправить это, предпочтительные установленные значения для температуры линии подачи котла следует уменьшить. В таком случае обычно ситуация стабилизируется.

Основными потребителями электроэнергии в ЭБУ являются электроды электродвигателя мощностью 50 МВт, сетевой насос Grundfos LS500-300-710E мощностью 1000 кВт, два циркуляционных насоса замкнутого контура котла (один резервный) Etanorm RSY 300-400 мощностью по 52,4 кВт каждый, два дренажных насоса (один резервный) мощностью по 1,1 кВт, насос дозирования химических реагентов Grundfos DME 375-10 AR мощностью 0,24 кВт, автоматическая установка подпитки замкнутого контура котлов с насосами Grundfos CR15-06 A-F-A-E-HQQE мощностью 4,41 кВт. Суммарная мощность САУ составляет 0,5 кВт.

Заключение

В работе рассмотрены вопросы практического использования современного котельного оборудования, которые могут быть использованы при последующем проектировании объектов электроэнергетической системы.

Такой вид котельного оборудования используется по закрытой двухконтурной схеме в системах теплоснабжения, кроме того, это ещё и надежный компонент повышения манёвренности и безопасности эксплуатации всей энергосистемы.

Литература

1. Испытания оборудования — залог безопасной эксплуатации [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <https://eepir.ru/article/ispytaniya-oborudovaniya-nbsp-zalog-bezopasnoj-ekspluatacii/>
2. Электрические и паровые газомазутные котлы — Беларусь [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://altenergy.lv/ru/электрические-и-паровые-газомазутны>

УДК 621.311

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАБЕЛЕЙ
ТИПА АВВГ-нг В СРАВНЕНИИ С КАБЕЛЯМИ АВВГ
TECHNOLOGICAL JUSTIFICATION FOR THE USE OF AVVG-ng TYPE
CABLES IN COMPARISON WITH AVVG CABLES**

А.В. Кажуро, Е.А. Прищепов

Научный руководитель – Т.М. Ярошевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

A.V. Kazhuro, E.A. Prishchepov

Supervisor – T. M. Yaroshevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Рассматриваются вопросы использования кабелей АВВГ-нг, их технологические свойства, преимущества в сравнении с кабелями АВВГ.

Abstract: The issues of using AVVG-ng cables, their technological properties, advantages in comparison with AVVG cables are considered.

Ключевые слова: Кабели, АВВГ, АВВГ-нг, соответствие выбранного сечения, защитные кабельных линий.

Keywords: Cables, AVVG, AVVG-ng, compliance with the selected section, protective cable lines.

Введение

В системах электроснабжения для передачи электроэнергии и питания различных потребителей зачастую используются кабельные линии. В основном на производстве, в административно-бытовых помещениях для питания силовых нагрузок и осветительных нагрузок используются кабели с оболочкой из сшитого полиэтилена или поливинилхлоридного пластика.

В марте 1963 года в США изобрели сшитый полиэтилен. Главная особенность кабелей в изоляции из СПЭ – изоляция сшитый полиэтилен, основной недостаток которого – это. резкое снижение характеристик при температурах, приближающихся к температуре плавления.

Изоляция из термопластичного полиэтилена начинает менять свою форму, а так же электрические и механические характеристики при 90° С [1]. Ввиду ухудшения характеристик при небольших температурах, значительно лучше использовать кабели в оболочке из поливинилхлоридного пластика (ПВХ). В связи с тем, что данный пластик достаточно стоек к воздействию прямых лучей солнца и низких температур, кабель с изоляцией из ПВХ подходит для прокладки проводки внутри зданий

Данный кабель может изготавливаться хладостойким; экранированным (защита от электрополей) и пожаростойким (для систем эвакуации, безопасности и пожаротушения). Наиболее известными кабелями с оболочкой из ПВХ пластика, являются кабели АВВГ (А – алюминиевая токопроводящая жила, В – изоляция из ПВХ пластика, В – оболочка из ПВХ пластика, Г – голый (отсутствие защитного покрова)) и ВВГ (то же, только с медной токопроводящей жилой).

Основная часть

Существует несколько основных условий выбора кабеля. К ним относятся: выбор сечений проводников по допустимому нагреву, проверка выбранного сечения проводников силовой сети по экономической плотности тока, расчет силовой электрической сети по потере напряжения, проверка выбранных сечений жил кабелей по термической стойкости, проверка соответствия сечения проводников выбранным устройствам защиты.

При изучении перегрева проводников и кабелей при протекании слишком больших токов, большой интерес вызывает условие проверки соответствия кабеля выбранным аппаратам защиты. При необходимости защиты электрических цепей от токов перегрузки необходимо обеспечивать согласованность применяемых проводников и защитных устройств. Плавкие предохранители и автоматические выключатели должны отключать ток перегрузки. Для этого должно выполняться следующее условие

$$I_{доп} \geq I_{ном.з} \geq I_p ,$$

где $I_{ном.з}$ - номинальный ток устройства защиты (плавкой вставки предохранителя, теплового или комбинированного расцепителя автомата)[2].

Согласно ПУЭ 7 п.3.1.10-3.1.11[3] и требованиям 7.3.94 ряд электрических сетей внутри помещений должны быть защищены от перегрузки.

Для защиты сетей от перегрузок, параметры аппаратов защиты в этих сетях $I_{ном.з}$ по отношению к $I_{доп}$ должны иметь предельные кратности которые зависят от материала выполненных проводников и вида защитного аппарата.

Следовательно, если сеть защищена от перегрузки, условием соответствия кабеля аппарату защиты можно пренебречь, приняв меньшее сечение кабеля, так как завышение сечения проводников приводит к увеличению стоимости кабеля, что может быть экономически нецелесообразным. Разберем это на наглядном примере:

Имеем асинхронный двигатель с тяжелыми условиями пуска и номинальными параметрами: $P_{ном} = 7,5 кВт, U_{ном} = 400В, \eta = 87,5\%, \cos \varphi_{ном} = 0,86, \frac{I_{пуск}}{I_{ном}} = 7,5$. Данный

двигатель защищается предохранителем и питается через кабель. Окружающая среда невзрывоопасная. Номинальный (расчетный) ток двигателя:

$$I_p = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,86 \cdot 0,875} = 14,389 А.$$

Пусковой ток двигателя

$$I_{пуск} = 7,5 \cdot I_p = 7,5 \cdot 14,389 = 107,918 А.$$

Для данного двигателя по условиям выбора $I_{н.в} \geq I_p \geq 14,389 А,$

$I_{н.в} \geq \frac{I_{пуск}}{\alpha} \geq \frac{107,918}{1,6} \geq 67,449,$ где $I_{н.в}$ - номинальный ток плавкой вставки предохранителя, α - коэффициент перегрузки, который для двигателей с

тяжелыми условиями пуска = 1,6, выбираем предохранитель ПН2-100 с током плавкой вставки $I_{н.г} = 80 A$. Выберем кабель по допустимому нагреву

$$I_{доп} \geq \frac{I_p}{K_n} \geq \frac{14,389}{0,92} \geq 15,64,$$

где K_n - поправочный коэффициент на допустимый ток, учитывающий фактические условия прокладки проводов и кабелей. В результате чего мы можем подобрать кабель АВВГ 5×2,5 с $I_{доп} = 19 A$ (табл. ПЗ.3) [2]. Однако при учете условия соответствия сечения проводников выбранным устройствам защиты, имеем предельную кратность для проводников, прокладываемых в невзрывоопасных помещениях $\frac{I_{ном.з}}{I_{доп}} = 1$, следовательно

$$I_{доп} \geq I_{ном.з} \geq I_p \geq 80 A.$$

В результате, мы должны выбрать кабель АВВГ 5×35 с $I_{доп} = 90 A$ (табл. ПЗ.3) [2]. Стоимость кабеля АВВГ 5×2,5, согласно официальному сайту компании wsd.by, составляет 1,36 BYN за 1 м, в то время, как стоимость кабеля АВВГ 5×35, составляет 11,15 BYN за 1 м, что больше почти в 10 раз [4,5].

Можно сделать вывод, что увеличение сечения кабелей может вести за собой достаточно большие денежные затраты. В таких случаях намного целесообразнее пренебречь условием соответствия аппарату защиты и выбрать негорючий кабель для обеспечения пожаробезопасности при перегреве кабелей. Индекс "нг" обозначает негорючие виды кабеля с изоляцией из огнеупорного пластика, имеющего высокую степень негорючести (АВВГнг, ВВГнг, ВВГЭнг, ВВГнг-ХЛ). Данный кабель при перегреве не плавится, в результате чего может загореться соседняя проводка и оборудование, как АВВГ, а рассыпается.

Рассмотрим детальнее особенности состава оболочки данного кабеля.

Таблица 1 - Состав ПВХ-пластиката пониженной

Кабель с изоляцией с поливинилхлоридного пластиката с пониженной горючестью [6]		
Состав	Назначение	Достоинство
Антипирены	Для снижения горючести и задымления	- Имеют достаточно малую горючесть; - высокие технологические свойства: термостабильность, высокая текучесть расплава, стойкость к низким температурам; - не имеет близкорасположенных или слипшихся гранул, пор и агломератов, создает блестящую внешнюю часть изделий
Поглотители водорода	Для уменьшения выделения коррозионных летучих продуктов горения	
Пластификаторы	Для повышения эластичности и морозостойкости	
Наполнители, стабилизаторы	Понижают выделение опасных для здоровья дымов	

Таблица 2—Компоненты полимерной композиции сниженной горючести, мас.ч

Суспензионный поливинилхлорид	100
Сложноэфирный пластификатор	45-70
Хлорпарафин ХП-470 и/или хлорированные α-олефины	15-20
Трехосновный сульфат свинца	5-7
Стеарат кальция	1-2
Гидроксид алюминия или гидроксид магния	45-60
Трехокись сурьмы	1-10
Дифенилолпропан	0,1-0,5
Эпоксидная диановая смола	2-4
Сажа	0,5-2,0

Преимуществами огнестойких кабелей является их способность не поддерживать распространение горения, свойство самозатухания, низкое дымовыделение. Огнестойкие кабели не выделяют галогенов и коррозионных газов, сохраняют работоспособность при воздействии пламени в течение 180 мин. (FE 18Q) при жестком механическом воздействии (EN 50200 Ph 90 – 90 мин.). С учетом требований Технического регламента по пожарной безопасности кабельные изделия по показателям пожарной безопасности должны соответствовать условиям их применения.

Заключение

Можно отметить, что в различных отраслях промышленности, строительства и народного хозяйства происходят пожары, причинами которых являются перегрузки и короткие замыкания в кабельных изделиях. Безопасность эксплуатации кабельных изделий во многом зависит от эффективности работы аппаратов защиты. Аппараты защиты должны ограничивать время действия токов КЗ и перегрузок, предотвращая тем самым нагрев кабельных изделий выше пожаробезопасной температуры. И, подробно разобрав состав и строение кабеля АВВГ-нг, можно сделать вывод, что он обеспечивает намного большую безопасность, в сравнении с АВВГ. Так же можно отметить, что, при проверке соответствия сечения проводников, нецелесообразно применять кабель с завышенным сечением, так как это экономически невыгодно. Для этого достаточно взять кабель марки АВВГнг, который из-за своих характеристик позволяет использовать жилы более маленького сечения.

Литература

1. Сравнение силовых кабелей в изоляции из СПЭ перед силовыми кабелями в БПИ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.a-cab.ru/articles/2018/oblast-primeneniya-tekhnologii-sshivki-reglament-vkhodnogo-kontrolya-i-preimushchestva-silovykh-kabe/>. – Дата доступа 06.04.2022.
2. Радкевич, В. Н. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий : пособие для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. – Минск : БНТУ, 2017. – 172 с.

3. Правила устройства электроустановок, 7-е издание.
4. <https://wsd.by/catalog/kabel-provod-shnur/avvg-kabel-avvg-p/avvg/kabel-avvg-5kh2-5/>
5. <https://wsd.by/catalog/kabel-provod-shnur/avvg-kabel-avvg-p/avvg/kabel-avvg-5kh35/>
6. Поливинилхлоридный кабельный пластикат пониженной горючести [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/232/2321090.html>. – Дата доступа 06.04.2022.

УДК 621.32

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ
OUTDOOR LIGHTING CONTROL SYSTEMS**

М.Н. Джугля

Научный руководитель – В.Б. Козловская, к. т. н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
vkozlovskaya@bntu.by

M.Juhlia

Supervisor – V. Kozlovskaya, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация. Автоматизация системы наружного освещения является одной из первоочередных задач при обеспечении комфортных условий освещения и экономии электроэнергии.

Annotation. Automation of the outdoor lighting system is one of the primary tasks in providing comfortable lighting conditions and saving energy.

Ключевые слова: наружное освещение, освещенность, система управления, автоматизация, надежность.

Keywords: outdoor lighting, illumination, control system, automation, reliability.

Введение

На освещение расходуется около 20% от общего количества потребления электроэнергии в мире. Замена существующих источников света освещения на светодиодные технологии позволяет сократить потребление электроэнергии на 40%, а если мы также будем использовать системы управления освещением, этот показатель может достигать 80%. Любое наружное освещение требует контроля и управления [1].

Освещение улиц и проезжих частей населенных пунктов, а также подсветка сооружений – одна из наиболее затратных статей на электроэнергию в городском бюджете. Стоит отметить, что при сокращении времени работы источников света наружного освещения, примерно в 2 раза увеличивается их срок службы, тем самым уменьшая затраты на эксплуатацию т.е. замену отработавших ламп и транспорт. Однако и это ещё не всё. Населенные пункты непрерывно развиваются, ежегодно появляются новые жилые районы, которые также необходимо освещать. Частично скомпенсировать затраты на ввод новых мощностей можно путем сокращения электропотребления на наружное освещение в старых районах.

В наружном освещении можно автоматизировать системы управления освещением улиц и подсветкой фасадов зданий, рекламы, витрин магазинов, автостоянок, железнодорожных переездов, остановочных пунктов,строек, коттеджей и т. п.

Основная часть

Уровень развития современной электротехники позволяет создать абсолютно автоматизированную систему управления наружным освещением,

что может обеспечить более комфортные условия наружного освещения и одновременно значительно снизить затраты на электроэнергию.

Системы управления наружным освещением имеют две основные функции: управление и мониторинг. Управление относится к функциям, связанным с включением, отключением и снижением уровня освещенности источников света, и всегда зависит от внешних факторов, таких как естественное освещение, плотность или скорость движения транспорта. Что касается мониторинга, то он в основном будет связан с информацией о состоянии источников света (включен или отключен, находится ли он на максимальном или пониженном уровне напряжения и имеются ли какие-нибудь неисправности). Дополнительными функциями мониторинга также являются: контроль состояния сети, контроль за открытием дверцы шкафа управления, количество часов работы каждого элемента установки, электрические параметры (напряжение, ток, частота и т.д.).

Существующие системы имеют ряд недостатков, связанных с надежностью, экономичностью, безопасностью. Одним из основных недостатков этих систем является то, что они не обладают необходимой гибкостью, так как не позволяют контролировать каждый источник света в отдельности, а кроме того сигналы, которые поступают диспетчеру, исходят от группы источников света, тем самым картина информация об установке наружного освещения не достоверна в полном объеме.

Наиболее оптимальным решением на сегодняшний день для эффективного управления наружным освещением населенных пунктов является внедрение полностью автоматизированных систем управления и диспетчеризации наружного освещения (АСУНО).

Системы управления разделяют на два больших класса:

- Автоматизированные системы управления (АСУ) – человек непосредственно участвует в процессе управления;
- Системы автоматического управления (САУ) – возможность человека повлиять на процесс исключена.

Внедрение и эксплуатация АСУНО позволяет осуществлять телекоммуникационный контроль состояния сетей и приборов уличного освещения, управлять режимами работы светильников, дистанционно управлять уровнем освещенности улиц по заранее заданному графику, а также вести учет потребления электроэнергии и следить за её эффективным использованием.

Системы автоматического управления (САУ) — один из самых простых и эффективных способов добиться значимых результатов в вопросах экономии электрической энергии. Они имеют следующие преимущества[2]:

- в автоматическом режиме строго придерживаются расписания, т.к. исключено влияние человеческого фактора;
- не требуется выезжать на проверку включения или отключения освещения;
- в случае неотключения освещения не произойдет значительных потерь электроэнергии, т.к. диспетчер оперативно об этом оповещается и

принимаются соответствующие меры (ранее о не отключении сообщали лишь через несколько часов сами граждане - потери могли быть весомыми);

- для осуществления технического учета энергии не требуется выезжать и снимать показания со счетчиков визуально;
- телеизмерения позволяют оперативно выявлять несанкционированные подключения к сетям освещения и выявлять хищения электроэнергии;
- с помощью телеизмерений напряжений, токов и мощностей можно осуществить первичную диагностику осветительной сети при возникновении аварий;
- более надежная система, построенная из современных компонентов, требует меньше затрат на свое обслуживание.

Для наружного освещения не менее важной задачей является автоматическое включение освещения. Основным фактором включения освещения является уровень естественного освещения, время суток, а также интенсивность движения на данном участке улицы.

Согласно [3] включение наружного освещения улиц, дорог и площадей, территорий микрорайонов и любых других освещаемых территорий следует производить при снижении уровня естественной освещенности до 20 лк, отключение — при повышении уровня до 10 лк. ТКП никак не регламентируется освещенность в зависимости от интенсивности движения.

Системы автоматического управления наружным освещением, условно можно разделить на две основные группы — так называемые локальные и централизованные. Для локальных систем свойственно управление какой-то одной небольшой группой источников света, а с помощью централизованной системы можно допустить подключение практически бесконечного количества раздельно управляемых групп светильников.

Выбор одной из автоматических систем управления наружным освещением населённого пункта зависит еще от такого фактора, как количество жителей в нём: при более 50 тыс. применяется централизованное телемеханическое управление; от 20 до 50 тыс. — централизованное телемеханическое или дистанционное; при менее 20 тыс. — централизованное дистанционное управление.

Варианты организации систем управления наружным освещением тесно связаны с энергоэффективностью освещения. При производстве и эксплуатации светотехнических устройств, наиболее затратной является стадия эксплуатации. Если создать оптимальные условия для работы наружных осветительных сетей, то будут отмечены следующие достижения: минимизация расходов на электроэнергию, текущий ремонт и обслуживание осветительных установок.

Также в уличном освещении городов и населённых пунктов предусматривают вечерний и ночной режимы работы осветительных установок с целью экономии электроэнергии. Переключение на ночной режим с помощью отключения какой-то части источников света или диммированием осуществляется при значительном снижении активности населения, снижении интенсивности дорожного движения и других факторах.

При управлении по фазам есть возможность отключать некоторую часть светильников. Такой вариант экономии электроэнергии имеет свои ограничения в применении, обусловленные вероятностью возникновения значительной неравномерности освещённости.

Заключение

В настоящее время системы дистанционного управления разрабатываются с учетом потребностей различных групп потребителей электроэнергии. Опыт показывает, что необходимо работать с открытыми системами, чтобы система управления освещением работала и взаимодействовала с другими системами, такими как обработка воздуха, системы безопасности и т. д.

Интеллектуальное освещение, помимо своих функций мониторинга и управления энергопотреблением, также способствует уменьшению избытка искусственного света, которому подвержены наши города, делая их более пригодными для жизни.

Эффект от внедрения АСУНО:

- удаленная диспетчеризация управления с выводом на пульт оператора или на защищённый сервер;
- индивидуальное и групповое управление светильниками (вкл/выкл, диммирование);
- создание режимов работы освещения и возможность контроля над ними;
- доступ к основным электрическим характеристикам в режиме онлайн с формированием статистических отчетов за любой интересующий нас период;
- онлайн идентификация сбоев с различными возможностями оповещения.

Литература

1. Technological forecasting & social change light the way for smart cities: Lessons from Philips lighting. Technological Forecasting and Social Change. – Eindhoven : Univ. of technology, 2019. – p.194 – 209.
2. Системы автоматического управления наружным освещением [Электронный ресурс]/ системы автоматического управления наружным освещением.–Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/>. –Дата доступа: 10.04.2022.
3. ТКП 45-4.04-287-2013 «Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Правила проектирования».

УДК 621.311

**УЛУЧШЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С
ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ****IMPROVEMENT OF THE OPERATING MODES OF ELECTRIC
NETWORKS FROM THE POINT OF VIEW OF INCREASING THEIR
TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS**

С.Н. Лычковский

Научный руководитель – И.В. Колосова, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

kolosova@bntu.by

S. Lychkowski

Supervisor – I. Kolosova, Senior Lecturer

Belarussian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье дано понятие о потерях мощности, причинах их возникновения, а также способах их уменьшения.

Abstract: this article gives the concept of power losses, their causes, as well as ways to reduce them.

Ключевые слова: потери мощности и электроэнергии, трансформатор, электрическая сеть, компенсация реактивной мощности, напряжение.

Keywords: power and electricity losses, transformer, electrical network, reactive power compensation, voltage.

Введение

Потери мощности и электрической энергии являются основным технико-экономическим показателем работы электрических сетей. Различают технический (проектный) и организационный пути снижения потерь мощности и электроэнергии.

Технический путь предполагает уменьшение потерь электроэнергии за счет дополнительных капитальных затрат (установка дополнительного оборудования, прокладка дополнительных линий и т.п.). К техническому пути относятся такие меры снижения потерь мощности, как: повышение номинального напряжения линий электропередачи и электрической сети; компенсация реактивной мощности; установка дополнительных устройств для регулировки; установка устройств предназначенных для принудительного распределения мощностей в неоднородных замкнутых сетях; замена сечений проводов воздушных линий распределительных сетей с целью оптимизации; использование теплоты, отбираемой от трансформаторов подстанцией; применение накопителей энергии др.

Организационный путь связан с оптимизацией режимов существующей сети в условиях эксплуатации, не требует дополнительных капитальных затрат (повышение уровня рабочего напряжения в разомкнутых распределительных сетях; оптимизация режимов напряжений и реактивных мощностей в системообразующей сети; управление потоками мощности в неоднородных

замкнутых сетях; выравнивание нагрузок фаз трехфазной сети; оптимизация режимов работы трансформаторов на подстанциях; управление электропотреблением и др.)

Основная часть

Рассмотрим лишь некоторые меры снижения потерь мощности в электрических сетях: оптимизация коэффициентов трансформации трансформаторов связи и автотрансформаторов; компенсация реактивной мощности оптимизация числа работающих трансформаторов на подстанциях электрических сетей; размыкание замкнутых сетей в оптимальных точках.

Электрическим сетям современных энергосистем свойственна высокая степень неоднородности, причем с течением времени она возрастает. Причина этого - быстрый рост протяженности линий электропередачи сверхвысокого напряжения 330 - 750 кВ, которые с помощью автотрансформаторов связываются на параллельную работу со сложнзамкнутыми сетями более низких напряжений.

Для оптимизации числа работающих трансформаторов на подстанциях электрических сетей исследуются суммарные потери активной мощности в трансформаторах подстанций, которые можно рассчитать по выражению:

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{xi} + \sum_{i=1}^n \Delta P_{ki} \left(\frac{S_i}{S_{ni}} \right)^2, \quad (1)$$

где ΔP_{Σ} - суммарные потери активной мощности в трансформаторах;

ΔP_{xi} ΔP_{ki} - соответственно, потери холостого хода и короткого замыкания в i -ом трансформаторе;

S_i - мощность, протекающая через i -ый трансформатор;

S_{ni} - номинальная мощность i -го трансформатора.

Воспользовавшись данным выражением, можно построить зависимости суммарных потерь мощности в трансформаторах от нагрузки при разном числе включенных трансформаторов на подстанции. На рис.1 показан характер таких зависимостей при числе включенных трансформаторов один, два, три. По оси абсцисс отображены нагрузки подстанции, а по оси ординат – потери активной мощности в трансформаторах. Линия 1 соответствует работе одного трансформатора, линия 2 - двух, и линия 3 – трех трансформаторов.

Как видно из рисунка, существуют граничные значения мощностей, при которых целесообразно изменять число включенных трансформаторов. Точка a – точка пересечения линий 1 и 2 дает нагрузку S_A , при которой потери мощности в одном и двух включенных трансформаторах одинаковы. Так при мощности нагрузки большей S_B целесообразно включать три трансформатора, при мощности нагрузки от S_A до S_B – два, при мощности нагрузки меньшей S_A – один.

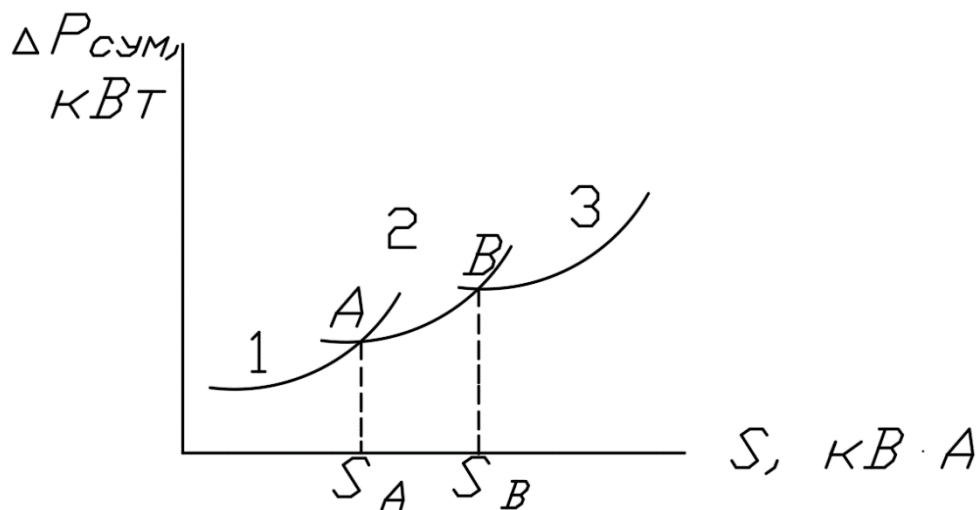


Рисунок 1. Зависимость потерь активной мощности от нагрузки и числа включенных трансформаторов

Допустим, что мощности через трансформаторы при естественном потокораспределении пропорциональны их номинальным мощностям, благодаря этому можем получить выражения для расчета граничного значения мощности суммарной нагрузки через трансформаторы S_T , при которой целесообразно переходить от n работающих трансформаторов к $n-1$.

При разных значениях номинальных мощностей трансформаторов на подстанции, выражение для расчета S_2 примет вид:

$$S_2 = \sqrt{\frac{\Delta P_{xn} \cdot S_{n\Sigma(n-1)}^2 \cdot S_{n\Sigma n}^2}{[\Delta P_{k1} + \dots + \Delta P_{k(n-1)}] \cdot S_{n\Sigma n}^2 - [\Delta P_{k1} + \dots + \Delta P_{kn}] \cdot S_{n\Sigma(n-1)}^2}}, \quad (2)$$

где ΔP_{xn} - потери холостого хода в трансформаторе n ;

$S_{n\Sigma(n-1)}^2$ - сумма номинальных мощностей $n-1$ трансформаторов;

$S_{n\Sigma n}^2$ - сумма номинальных мощностей n трансформаторов;

ΔP_{k1} и т.д. - потери короткого замыкания в трансформаторах 1, 2 и т.д.

Если на подстанции установлены трансформаторы одинаковой номинальной мощности, то выражение приобретает следующий вид:

$$S_2 = S_n \sqrt{\frac{n(n-1) \cdot \Delta P_x}{\Delta P_k}}, \quad (3)$$

где, ΔP_x , ΔP_k - номинальная мощность, потери холостого хода и короткого замыкания одного трансформатора, соответственно.

Для уменьшения потерь активной мощности на подстанциях электрических сетей используется компенсация реактивной мощности.

Как известно, компенсирующие устройства (синхронные компенсаторы, статические конденсаторы, статические компенсаторы и др.) устанавливают в электрических сетях энергосистемы для снижения потерь мощности и энергии.

Одновременно они в комплексе с другими средствами (генераторами, трансформаторами с РПН, вольтодобавочными трансформаторами и др.) позволяют регулировать напряжение.

Рациональность дополнительной установки компенсирующих устройств (КУ) в энергосистеме описывается следующим неравенством:

$$З_{\text{э}} - З_{\text{к}} \geq 0, \quad (4)$$

где $З_{\text{э}}$ - экономия приведенных затрат за счет установки КУ;

$З_{\text{к}}$ - затраты на компенсацию реактивной мощности, тыс. руб.

Затраты, связанные с установкой КУ,

$$З_{\text{к}} = (p_{\text{н}} + p)k_{\text{у}}Q_{\text{к}} + \Delta P_{\text{у}}Q_{\text{к}}T_{\text{м.к.}}\beta, \quad (5)$$

где $p_{\text{н}}$ - нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат;

p - отчисления на амортизацию и текущий ремонт КУ, тыс. руб;

$k_{\text{у}}$ - удельные капитальные затраты в КУ, тыс. руб/квар;

$Q_{\text{к}}$ - мощность КУ, квар;

$\Delta P_{\text{у}}$ - удельные потери мощности в КУ;

$T_{\text{м.к.}}$ - число часов работы КУ в году, определяемое графиками нагрузки потребителей и требуемыми режимами напряжений, ч.;

β - стоимость 1 кВт·ч потерянной энергии, коп.

Затраты можно представить в виде:

$$З_{\text{к}} = Q_{\text{к}}T_{\text{м.к.}}\beta. \quad (6)$$

Здесь расчетное значение стоимости 1 квар·ч, выдаваемого компенсирующим устройством,

$$\beta_{\text{к}} = \frac{З_{\text{к}}}{Q_{\text{к}}T_{\text{м.к.}}} = \Delta P_{\text{у}}\beta + \frac{k_{\text{у}}(p_{\text{н}} + p)}{T_{\text{м.к.}}}. \quad (7)$$

При установке КУ за счет снижения потерь активной мощности и энергии, потерь реактивной мощности и повышения качества напряжения получается повысить экономичность.

Экономия на потерях активной мощности и энергии за счет повышения уровней напряжения и снижения потоков реактивной мощности в основных сетях энергосистемы выглядит:

$$З_{\Delta\text{э}} = (\Delta P_1\tau_{1\text{р}} - \Delta P_2\tau_{2\text{р}})\beta, \quad (8)$$

где ΔP_1 и ΔP_2 - потери активной мощности до и после установки КУ в максимальном режиме, кВт;

$\tau_{1\text{р}}$ и $\tau_{2\text{р}}$ - время потерь от протекания реактивной мощности до и после компенсации, ч.

С некоторым допущением для практических расчетов можно считать, что:

$$3_{\Delta\Xi} = Q_k k_{\Xi}^{cp} \tau_p^{cp} \beta, \quad (9)$$

где τ_p^{cp} - среднее значение времени потерь, ч;

k_{Ξ}^{cp} - среднее значение экономического эквивалента реактивной мощности в узле нагрузки после установки компенсирующего устройства мощностью Q_k .

Для соответствия нормативным требованиям срока окупаемости дополнительных капиталовложений в компенсирующее устройство значение экономического эквивалента реактивной мощности:

$$K_{\Xi}^o = \frac{T_{м.к.}}{\tau_p^{cp}} \cdot \frac{\beta_k}{\beta}. \quad (10)$$

Расчетное значение мощности компенсирующего устройства:

$$Q_{ki} = Q_{ni} \cdot \frac{K_i}{K_{max}} \cdot k_m \quad (11)$$

где Q_{ni} - реактивная нагрузка в i-том узле, квар;

K_i - мощность компенсирующего устройства в i-том узле, квар;

K_{max} - максимальная мощность компенсирующего устройства в рассматриваемых узлах, квар;

k_m - коэффициент, влияющий на точность расчетов. В данном случае нам целесообразно принять его равным 0.3.

Заключение

Проанализировав способы повышения технико-экономических показателей работы электрических сетей можем сделать вывод, что единственного верного способа достижения поставленной задачи не существует, напротив, имеет место комбинирование решений.

Литература

1. Федин В.Т., Прокопенко В.Г. Планирование характерных режимов электрических сетей 110-750 кВ по напряжению и реактивной мощности. – Электрические станции.
2. Компенсация реактивной мощности [электронный ресурс]/ компенсация реактивной мощности: способы и средства. -Режим доступа: <https://www.nucon.ru/reactive-power/reactive-power-and-types-of-compensation.php> – Дата доступа 19.04.2022.

УДК 621.311

**ЗАРЯДНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ. ИХ ВИДЫ,
ОСОБЕННОСТИ, ТРЕБОВАНИЯ**
**CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES. THEIR TYPES,
FEATURES, REQUIREMENTS**

А.В. Огиевич, А.Д. Рубаносова, В.В. Скакалова
Научный руководитель – В.Б. Козловская к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
vlada_koz@tut.by

A. Ogievich, A. Rubanosova, B. Skakalova
Supervisor – V.B. Kozlovskaya, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в данной научной работе мы рассмотрим, различные зарядные станции для электромобилей, их особенности и виды.*

***Abstract:** in this scientific work, we will consider various charging stations for electric vehicles, their features and types.*

***Ключевые слова:** электромобиль, зарядная станция, зарядное устройство, время зарядки.*

***Keywords:** electric car, charging station, charger, charging time.*

Введение

Сейчас всё больше и больше в мире находят применение электромобили. Они необходимы для улучшения экологии, нет необходимости в бензине, снижается уровень шума в городах.

Не отстаёт от этих тенденций и Беларусь, особенно это актуально в связи с вводом Белорусской АЭС. В Беларуси было принято постановление Совета Министров №731 от 10 октября 2018 г. об утверждении программы создания государственной зарядной сети для зарядки электромобилей. Для нормального функционирования электромобилей должна быть создана сеть зарядных станций на территории РБ и выполнена реконструкция электрических сетей и подстанций ГПО «Белэнерго» для возможных подключений этих зарядных станций.

Основная часть

Для зарядки электромобилей разработаны станции различных типов. По структуре выделяют следующие типы ЭЗС:

Mode 2 – зарядное устройство для электромобилей, осуществляющее зарядку переменным током от бытовой сети с использованием системы защиты внутри кабеля (время зарядки составляет от 12 часов);

Mode 3 – зарядное устройство для электромобилей, осуществляющее одно-, трехфазную зарядку переменным током с использованием специального разъема, в котором реализованы системы защиты и контроля хода зарядки электромобиля (время зарядки составляет от 4 до 8 часов);

Mode 4 – зарядное устройство для электромобилей, осуществляющее быструю зарядку постоянным током (время зарядки составляет от 15 до 30 минут и обеспечивает 80 процентов заряда батареи).

Наиболее характерными для практического применения можно рассмотреть 4 основных моделей наиболее оптимальных по соотношению цена – качество, например, компания ОАО «Связьинвест» в Беларуси, таблица 1. [2]

Таблица 1- Основные модели зарядных устройств для электромобилей

Вид зарядной станции	Характеристика станции	Технические характеристики
Портативная зарядная станция постоянного тока на 20кВт	Данная зарядная станция оснащена разъёмом CHAdeMO, благодаря своему удобному исполнению, портативную станцию постоянного тока можно перемещать в любом удобном месте будь то собственный гараж или гаражное помещение автомобильной станции. Быстрая зарядная станция Inabikari 20кВт DC состоит из зарядных модулей, монитора, интеллектуального счётчика, НМИ, модуля связи, зарядного разъёма, управления и кабинета. Данное зарядное устройство сочетает в себе очень удобное для эксплуатации исполнение с передовой технологией зарядки, которая соответствует электромобилям следующего поколения.	Входное напряжение: Переменный ток – 3 фазы (VAC) 380; Тип напряжения переменного тока – трехфазный; Однофазное линейное напряжение (VAC) – 85-300; Ток (А) – 0- 30А; Частота (Гц) – 45-55
Настенная зарядная станция постоянного тока для электромобильного транспорта	Данная зарядная станция постоянного обеспечивает быструю и безопасную зарядку вашего транспортного средства. Такая станция обычно используется в качестве «домашней» зарядной станции, её вес составляет 20 кг.	Входное напряжение: Переменный ток – 3 фазы (VAC) 380; Тип напряжения переменного тока – трехфазный; Однофазное линейное напряжение (VAC) – 85□300; Ток (А) – 0□30А; Частота (Гц) – 45□55
Зарядная станция постоянного тока для электромобильного транспорта	Зарядная станция поставляется разъёмами стандарта CHAdeMO, CCS (комбо) для электромобильного транспорта. Достоинствами данной зарядной станции являются: - Возможность использования интеллектуального модуля, состоящего из системы распределённого управления, в варианте работы с несколькими модулями, сбой одного	Напряжение на линии (В пост. тока) – 380 В; Тип напряжения – 3 фазы; Номинальное выходное напряжение (В) – 400/700; Выходной ток (А) – 0□200А

	модуля не повлияет на работу системы в целом. - Модель структуры использует полную изоляцию пыли, встроенный вентилятор охлаждения с интеллектуальным управлением скорости, что может автоматически регулировать скорость вентилятора в соответствии с нагрузкой для увеличения срока службы вентилятора. - Наличие команды на удалённое аварийное выключение.	
Зарядная станция переменного тока для электромобильного транспорта	Зарядная установка переменного тока используется для обеспечения электромобильного транспорта электропитанием переменного тока. Зарядная станция проста в применении благодаря компактности и её удобной установке. Её можно установить на зарядных станциях электромобильного транспорта, общественных парковках, стоянках жилых районов, стоянках больших торговых центров и других внутренних и внешних стоянках автотранспорта. Достоинствами данной зарядной станции являются: - Обеспечение функции защиты от токов короткого замыкания, сверхтоков, утечки тока и низкого напряжения. - Формирование конфигурирования в одно касание. - Функция определения счёта за электроэнергию и считывания с карт: поддержка режима заряда и выставление счёта на основе количества денег, количества электроэнергии автоматической полной зарядки и тд. Поддержка многоскоростной настройки, возможность установки различных скоростей и разное время, максимум 8 скоростей. - Водонепроницаемая, пылезащитная конструкция и класс защиты IP54 и соответствует требованиям к работе вне помещения.	Мощность 3,5 кВт и 7кВт: Напряжение (В) – 220 В (одна фаза, три провода); Ток (А) – 16 А (для 3,5кВт), 32 А (для 7кВт); Емкость (кВА) – 3,5кВА (для 3,5кВт), 7 кВА (для 7кВт); Мощность 10,5 кВт и 21кВт: Напряжение (В) – 380 В (три фазы, пять проводов); Ток (А) – 16 А (для 10,5кВт), 32 А (для 21кВт); Емкость (кВА) – 10,5 кВА (для 10,5кВт), 21 кВА (для 21 кВт); Частота (Гц) – 45□65

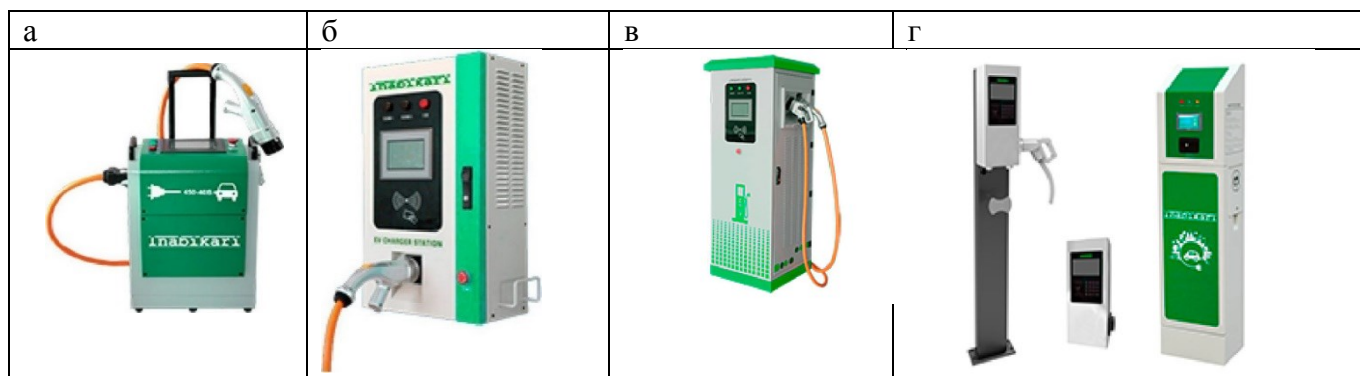


Рисунок 4 – а) Портативная зарядная станция постоянного тока на 20кВт; б) Настенная зарядная станция постоянного тока для электромобильного транспорта; в) Зарядная станция постоянного тока для электромобильного транспорта; г) Зарядная станция переменного тока для электромобильного транспорта

Принципы построения зарядных станций

С точки зрения электротехники зарядная станция для электротранспорта ничем не отличается от обычного выпрямительного устройства и должна обеспечивать три ключевые функции:

- преобразование переменного напряжения питающей сети в постоянное;
- преобразование уровня напряжения питающей сети;
- обеспечение электрической изоляции питающей сети от бортовой сети электромобиля (гальваническую развязку).

Классическая система электроснабжения большинства зданий («последняя миля» передачи электрической энергии) состоит из трехфазной электрической проводки с напряжением 230/400 В, подключаемой к трансформатору, понижающему напряжение местной распределительной сети (обычно 10...12 кВ) (рисунок 5). Вторичные обмотки трансформатора, как правило, соединяются по схеме «звезда» с заземленной нейтралью, поэтому электрическая изоляция на зарядных станциях должна обязательно присутствовать во избежание поражения электрическим током.

Из всех существующих электротехнических устройств максимально эффективно передать электрическую энергию из одной цепи в другую без использования электрической связи можно только с помощью трансформатора. Трансформатор также позволяет преобразовать параметры напряжения, то есть обеспечить одновременно две из трех функций зарядного устройства. [1]

Однако габариты трансформатора обратно пропорциональны частоте его рабочего напряжения, поэтому если преобразовывать напряжение с частотой промышленной сети (50 Гц), то он будет иметь значительные размеры, массу и стоимость, что неприемлемо в большинстве случаев. Единственным выходом из этой ситуации является повышение рабочей частоты трансформатора, которая в современных выпрямительных устройствах обычно превышает 20 кГц. В этом случае структурная схема зарядного устройства состоит из четырех ключевых узлов (рисунок 6):

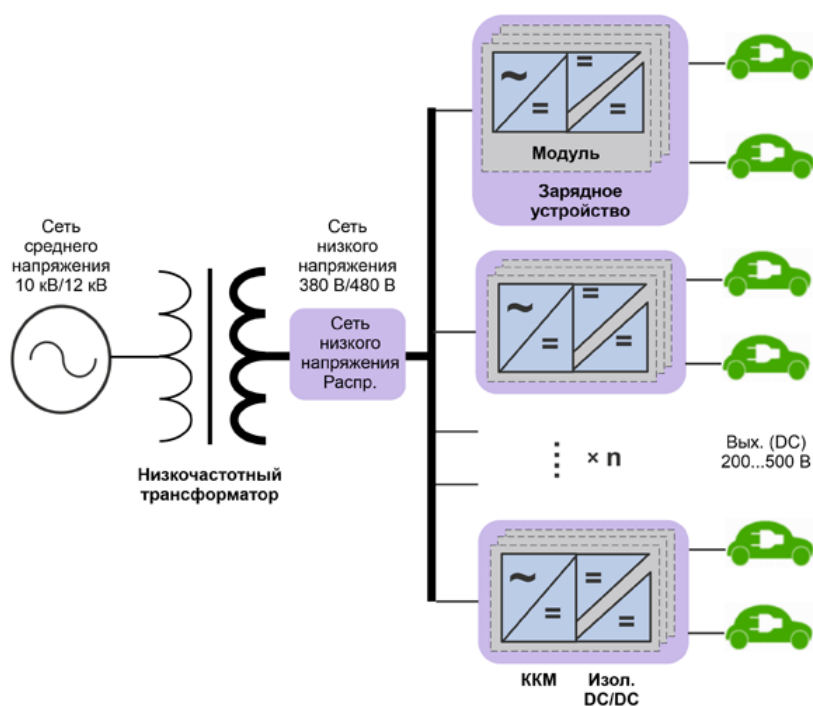


Рисунок 5 – Распределительная сеть

- входного выпрямителя (AC/DC), преобразующего трехфазное переменное напряжение в постоянное;
- инвертора (DC/AC), преобразующего постоянное напряжение в переменное с частотой свыше 20 кГц;
- трансформатора, обеспечивающего электрическую изоляцию и преобразование уровня входного напряжения;
- выходного выпрямителя, преобразующего переменное напряжение вторичной обмотки трансформатора в постоянное.

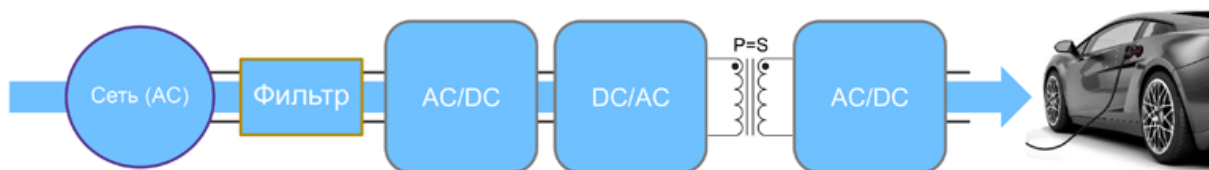


Рисунок 6 – Структурная схема зарядного электромобилей

Заключение

На 2018 год в Беларуси установлены 45 электрозарядных станций: 14-Mode4, 24-Mode3, 7-Mode2. Создание и развитие Белорусской зарядной сети предполагает три этапа. Так первый этап (до 2021 г. включительно) предполагает установку 431 ЭЗС (Mode 4 – 230, Mode 3 - 201) по территории Беларуси. Во второй этап (2022-2025) предполагается установить 144 ЭЗС (Mode 3 – 30, Mode 4 – 114) в г. Минске и в областных центрах и городах будет установлено 278 ЭЗС (Mode 3 – 50, Mode 4 – 228). Во время реализации третьего этапа в планах установить 113 ЭЗС (Mode 3 – 10, Mode 4 – 103) в

г.Минске, в областных центрах будут установлены 117ЭЗС (Mode 3 – 10, Mode 4 – 107), в городах Республики Беларусь – 177 ЭЗС (Mode 3 – 60, Mode 4 – 117).[2]

Литература

1. Компэл [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/143222>. – Дата доступа: 01.03.2022.
2. ПСМ 731 10 10 2018 об утверждении Программы создания государственной зарядной сети для зарядных электромобилей.

УДК 621.548

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГАШЕНИЯ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО МОМЕНТА
ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ
DEVICE FOR EXTINGUISHING THE GYROSCOPIC MOMENT OF THE
WIND TURBINE**

В.В. Гарновский, А.В. Василюк

Научный руководитель – А.В. Горностай, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

alekssvu@gmail.com

V. Harnovski, A. Vasiliuk

Supervisor – A. Gornostay, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Предложена структурная схема устройства для гашения гироскопического момента ветродвигателя, содержащего быстроходное ветроколесо с горизонтальной осью вращения, состоящее из вала с втулкой и связанных с ними основных радиальных лопастей. При этом ветроколесо снабжено разнесенными грузами, установленными на полуосях, которые соединены с валом и расположены перпендикулярно относительно радиальных лопастей из условий динамической балансировки ветроколеса.

Abstract: A structural diagram of a device for damping the gyroscopic moment of a wind turbine containing a high-speed wind wheel with a horizontal axis of rotation consisting of a shaft with a sleeve and associated main radial blades is proposed. In this case, the wind wheel is equipped with spaced loads mounted on semi-axes that are connected to the shaft and arranged perpendicular to the radial blades from the conditions of dynamic balancing of the wind wheel.

Ключевые слова: ветродвигатель, ветрогенератор, быстроходное ветроколесо, гироскопический момент.

Keywords: wind turbine, wind generator, high-speed wind wheel, gyroscopic moment.

Введение

Известны быстроходные крыльчатые ветродвигатели с горизонтальной осью вращения и двухлопастным ветроколесом, осуществляющие разворот головки по ветру с помощью хвостового стабилизатора [1]. Недостатком таких ветродвигателей является то, что при повороте головки, происходящем при изменении направления ветра, возникает вредный гироскопический циклический момент, вызывающий нежелательные вибрации, особенно на валу ветроколеса, что приводит к уменьшению надежности всей конструкции.

Основная часть

Для повышения надежности конструкции крыльчатого ветродвигателя, а также повышении страгивающего момента и улучшении начального разгона ветродвигателя авторами предложена схема устройства для гашения гироскопического момента ветродвигателя, содержащего быстроходное ветроколесо с горизонтальной осью вращения, состоящее из вала с втулкой и

связанных с ними основных радиальных лопастей [2]. При этом ветроколесо снабжено разнесенными грузами, установленными на полуосях, которые соединены с валом и расположены перпендикулярно относительно радиальных лопастей из условий динамической балансировки ветроколеса.

Структурная схема устройства приведена на рисунке 1, векторная диаграмма и графики изменения гироскопического момента показаны на рисунке 2.

Ветроколесо включает в себя основные лопасти 1, полуоси 2, грузы 3 и вал 4 с втулкой. Полуоси 2 несут на своих концах грузы 3 и соединены с валом 4. Грузы 3 расположены перпендикулярно лопастям 1 и имеют в сечении форму аэродинамического профиля. При сборке и балансировке грузы 3 навинчиваются на концевую резьбу полуосей 2 и после балансировки закрепляются в требуемом положении.

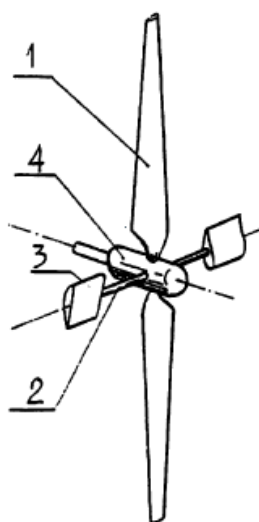


Рис. 1. Структурная схема устройства для гашения гироскопического момента ветродвигателя

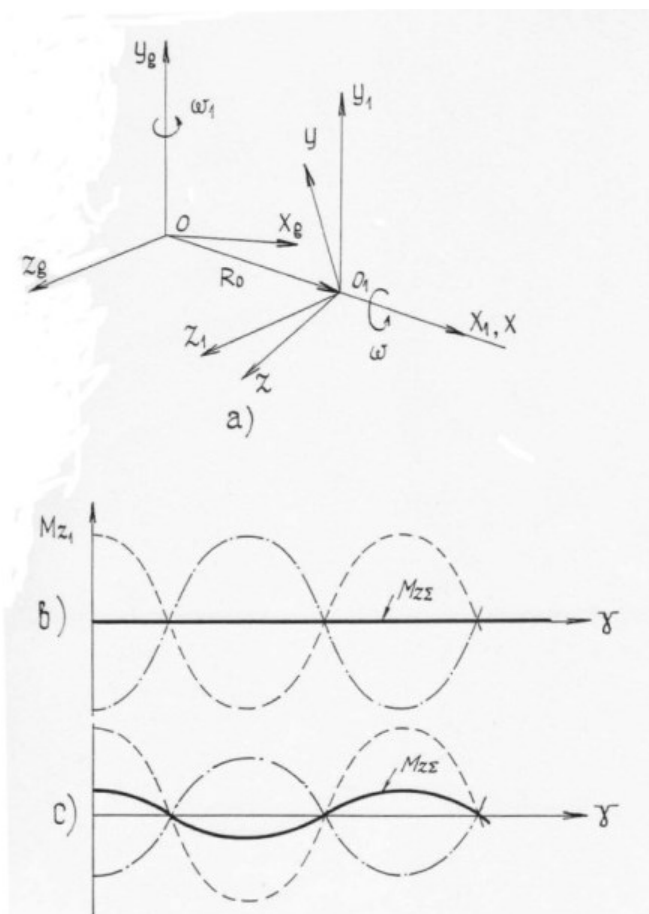


Рис. 2. Векторная диаграмма и графики гироскопического момента

Устройство для гашения гироскопического момента ветродвигателя работает следующим образом.

При начале вращения лопастей 1 профилированные грузы 3, установленные под большим установочным углом к потоку участвуют в увеличении момента страгивания и улучшении разгона ветроколеса, а также в турбулизации ветрового потока. При повороте головки с ветроколесом при изменении направления ветра возникает гироскопический момент Mz_1 , вектор которого направлен по поперечной оси Oz_1 (фиг. 2, а). При повороте головки с ветроколесом по ветру относительно оси Oy_g с угловой скоростью ω_1 возникает гироскопический циклический момент (фиг. 2, с – сплошная линия), который может полностью (фиг. 2, b – штриховая линия) погашен антимоментом, находящимся в противофазе с моментом Mz_1 , и который создается грузами 3, причем его величина будет зависеть от массы грузов 3 и плеча полуосей 2.

Заключение

Таким образом, дополнение ветроколеса разнесенными грузами, установленными на полуосях, соединенных с валом, расположенными перпендикулярно относительно радиальных лопастей, гасит гироскопический циклический момент, возникающий при развороте головки с ветроколесом по ветру, что повышает надежность устройства в целом. А выполнение грузов с аэродинамическим профилем и их предложенная начальная установка, создают требуемое приращение к начальной величине страгивающего момента, чем и обеспечивают улучшение разгона ветроколеса.

Литература

1. Шефтер, Я.И. Использование энергии ветра. 2-е изд., перераб. и доп. / Я.И. Шефтер–М.: Энергоатомиздат, 1983. 200 с., ил.
2. Горностай А.В., Ролик Ю.А. Патент на полезную модель РБ 10567, опубл. 28.02.2015.

УДК 621.311

**СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПОДСТАНЦИИ ПС «РОССЬ» 330кВ С
УПРАВЛЯЮЩИМ ШУНТИРУЮЩИМ РЕАКТОРОМ
SCHEME AND PRINCIPLE OF OPERATION OF THE SUBSTATION PS
"ROSS" 330kV WITH A CONTROL SHUNT REACTOR**

А.В. Огиевич, А.Д. Рубаносова, В.В. Скакалова
Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
Svkon2000@gmail.com

A. Ogievich, A. Rubanosova, B. Skakalova
Supervisor – S.V. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной научной работе мы рассмотрим, схему и принцип работы подстанции с управляемым шунтирующим реактором и её преимущества.

Abstract: in this scientific work, we will consider the scheme and principle of operation of a substation with a controlled shunt reactor and its advantages.

Ключевые слова: управляемый шунтирующий реактор, обмотка управления, разъединитель, трансформатор, заземляющие ножи, компенсирующая обмотка.

Keywords: controlled shunt reactor, control winding, disconnecter, transformer, grounding knives, compensating winding.

Введение

Управляемый шунтирующий реактор предназначен для компенсации избыточной зарядной мощности линии электропередачи, а также для стабилизации напряжения в точках его подключения. Кроме того, в аварийных режимах быстрое управление мощностью реактора повышает устойчивость энергосистемы. По сравнению с традиционным шунтирующим реактором (ШР), который, в свою очередь, является пассивным элементом сети и служит для компенсации избыточной зарядной мощности в линиях электропередачи сверхвысокого напряжения (ЛЭП СВН) УШР — активный элемент, который предоставляет возможность осуществлять управление режимами энергосистемы. Однако, следует принять во внимание, что УШР обладает существенно более сложной конструкцией, по сравнению с ШР, и, как следствие, требуют более значительных затрат на их установку и эксплуатацию. Поэтому их использование требует технико-экономического обоснования в каждом индивидуальном случае.

Основная часть

На рассматриваемой ПС 330кВ/220кВ/110кВ/35кВ «Рось» установлены два силовых трансформатора АТ-3 200 МВА 30/110/35 кВ и АТ-1 125 МВА 220/110/35 кВ (рисунок 1).

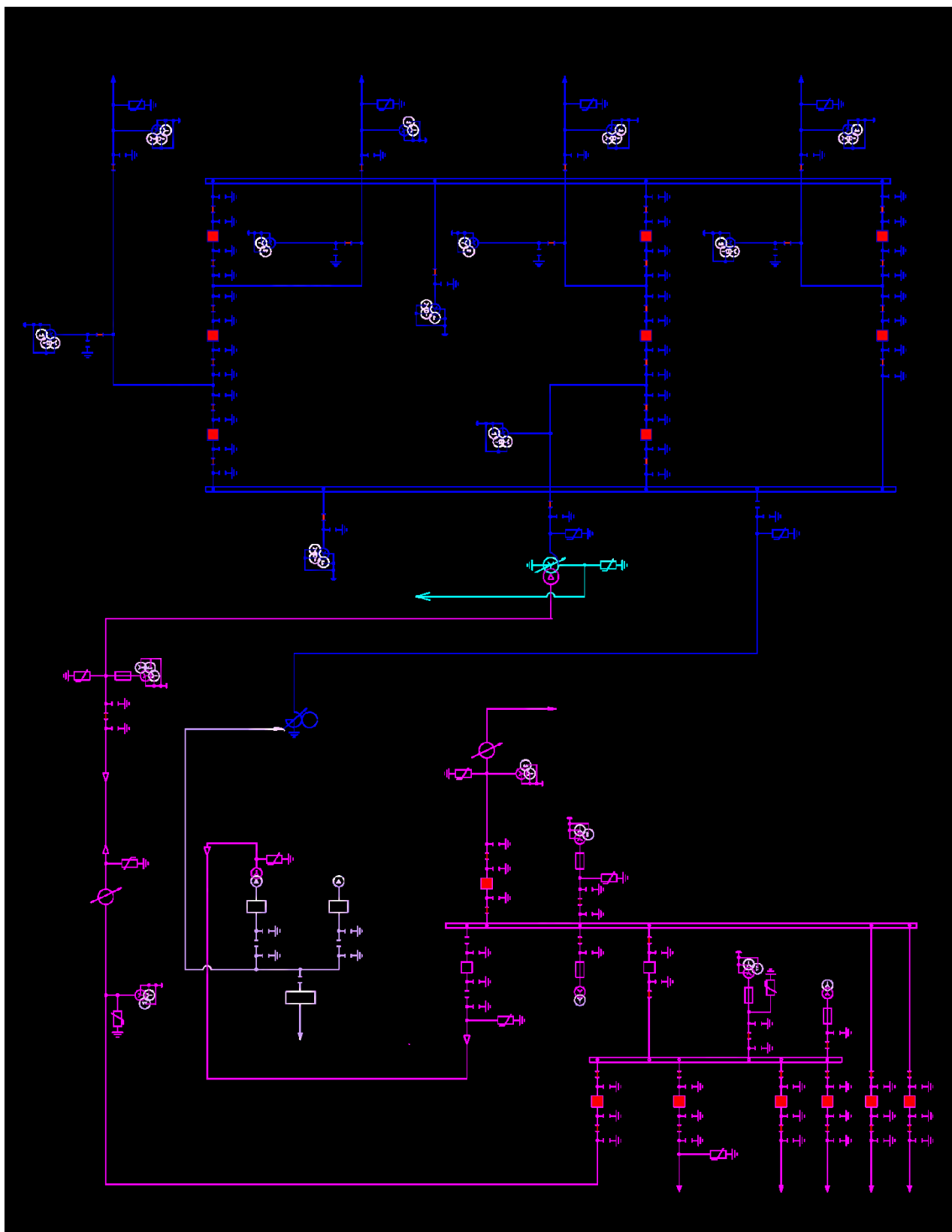


Рисунок 1- Пусковая схема для комплексного опробования УШР 180МВАр на ПС 330кВ «Россь»

ПС 330кВ «Россь» подключена к энергосистеме четырьмя линиями 330 кВ:

1. ВЛ 330 кВ Белорусская АЭС-Россь протяжённостью 42,8 км
2. ВЛ 330 кВ Барановичи-Россь протяжённостью 87,1 км
3. ВЛ 330 кВ Белоозёрск-Россь протяжённостью 34 км

4. ВЛ 330 кВ Гродно-Южная-Россь протяжённостью 42,2 км

Как известно, протяжённые линии, которые мы можем наблюдать на схеме выше, приводят к увеличению реактивной мощности, а, соответственно, к потере электроэнергии в сетях. Для компенсации (уменьшения) потерь в электросетях 330кВ на ПС 330кВ «Россь» установлен управляемый шунтирующий реактор (УШР), подключённый к первой секции шин 330 кВ. [3]

УШР имеет компенсационную, сетевую и обмотку управления (рисунок 2).

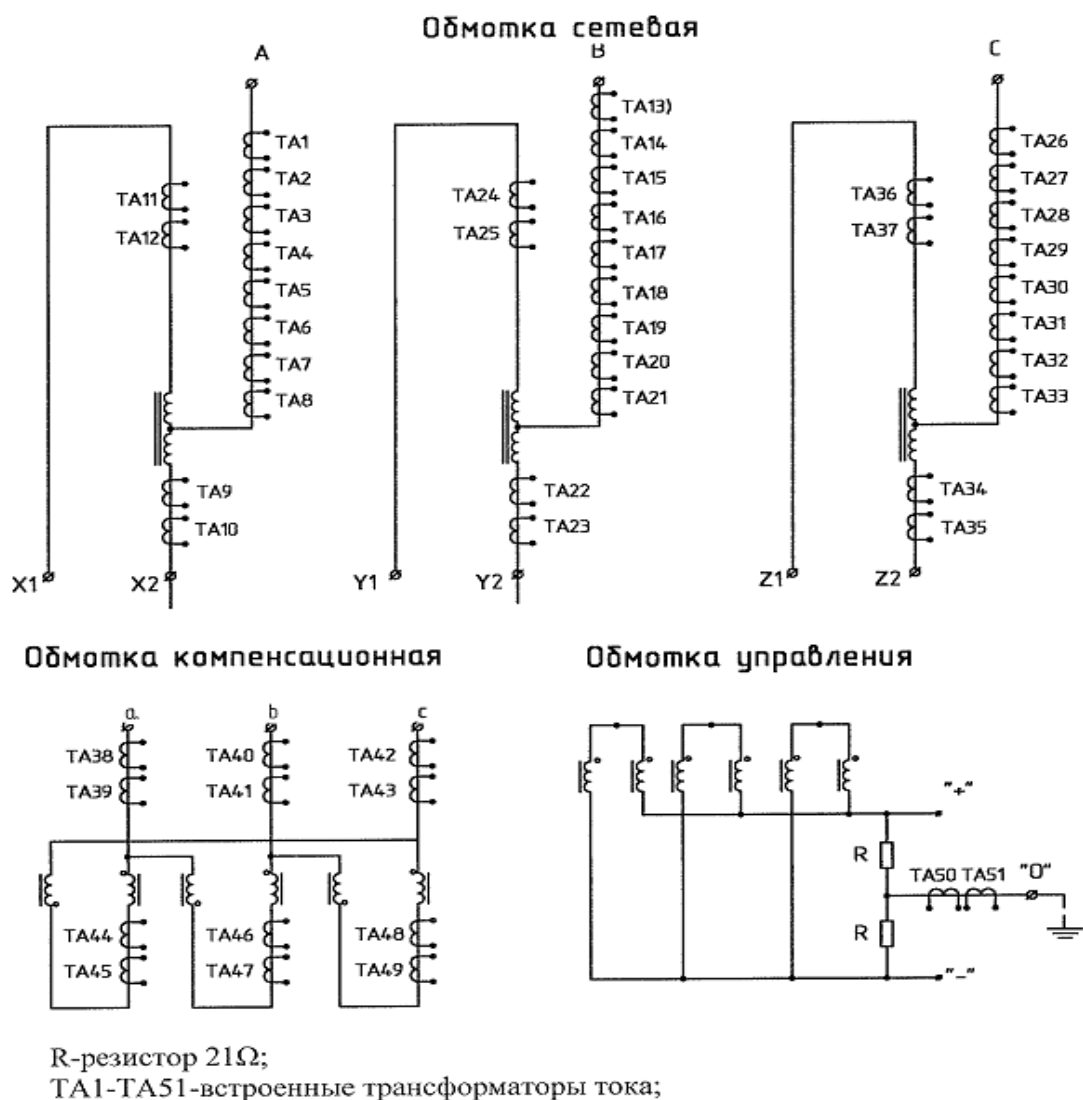


Рисунок 2- Схема электрическая принципиальная электромагнитной части

1. Сетевая обмотка (СО)- необходима для передачи мощности в основную сеть 330кВ. Сетевая обмотка электромагнитной части реактора РТДУ-180000/330-У1 соединена в звезду с выведенными наружу с помощью вводов (X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2) нейтральными концами, предназначенными для подключения к контуру заземления подстанции.
2. Линейные вводы (А, В, С) фаз СО электромагнитной части реактора подключают к шинам подстанции или линии, нейтральные вводы - к контуру заземления подстанции.
3. Обмотка управления (ОУ)соединена в двойную звезду с встречно

включенными секциями, что обеспечивает равнопотенциальность нейтральных концов ОУ относительно индутированного в ней напряжения. Подсоединенные к вводам «+» и «-» указанные нейтральные концы образуют вход управления электромагнитной части.

4. Вход управления предназначен для подключения полупроводниковых преобразователей из состава преобразовательных блоков. Кроме того, нейтральные концы ОУ подключены через равные плечи резистора R , установленного в баке электромагнитной части, к контуру заземления подстанции с помощью заземляющего ввода «О».

5. Компенсационная обмотка (КО) выполняет две основные функции – исключения из потребляемого сетевого тока гармоник, кратных трем, и питания основного трансформатора с преобразователем, обеспечивающего требуемый уровень подмагничивания магнитопровода через ОУ. Компенсационная обмотка соединена в треугольник. Вводы компенсационной обмотки (а, b, с) подключают к первичным обмоткам трансформаторов из состава преобразовательных блоков, обеспечивающих необходимое подмагничивание магнитной системы электромагнитной части.

6. Электромагнитная часть, по сути, представляет собой трехфазное статическое плавно регулируемое индуктивное сопротивление.

На подстанции «Россь» 330 кВ УШР подключён к первой секции шин 330кВ через разъединитель Р-330 УШР с защитой ОПН-330 УШР. ОПН – ограничитель перенапряжения, в случае попадания молнии основной ток молнии пойдёт через него в землю. [1]

Работа УШР осуществляется с помощью обмотки управления (дополнительная обмотка УШР, предназначенная для создания управляющего магнитного поля), рассчитанной на напряжение 0,4кВ. Управление ОУ возможно при подключении её от сети 35 кВт ВТПЕ-21/300-У1 (выпрямитель трёхфазный постоянного тока воздушного естественного охлаждения).

К сети 35кВ ОУ соединена через разъединитель 2 Р ОУ с заземляющими ножами 2 ЗН ОУ, ПР (полупроводниковый преобразователь резервный) и ТПР1МВА 35/0,4 кВ (трансформатор преобразовательный резервный) имеющий защиту ОПН. ТПР в свою очередь соединён с секцией шин 35 кВ.

К ВТПЕ-21/300-У1 ОУ соединена через разъединитель ВТПЕ (Р ВТПЕ) и далее к щиту собственных нужд (ЩСН). В ТПЕ представляет собой трехфазный мостовой преобразователь с несимметричной схемой, в котором одна из групп силовых вентилей – управляемая тиристорная, а другая – неуправляемая диодная. Выпрямитель помещается в шкаф для наружного размещения, совместно с питающим силовым трансформатором. Посредством силовых вводов, установленных на крыше шкафа, полюса выпрямителя подключаются к обмотке управления УШР.

Компенсационная обмотка (КО) УШР подключена через ОПН-10кВ КО, вакуумный выключатель В-10, который используется в качестве коммутатора, призванного выполнять отключение оборудования на случай аварийных ситуаций или в рамках текущей эксплуатации, сам ТПО (трансформатор

преобразовательный основной), ПО (полупроводниковый преобразователь основной) 0,4кВ, разъединитель ПО с заземляющими ножами.

Высоковольтные разъединители предназначены для включения и отключения электроустановок (только без нагрузки!) и обеспечения видимого разрыва цепи.

Управление в самом УШР происходит благодаря САУ.САУ – система автоматического управления предназначена для автоматического управления индуктивностью управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора посредством двух полупроводниковых преобразователей, формирующих ток подмагничивания реактора с целью стабилизации напряжения в сети 330 кВ или для автоматического поддержания заданной мощности (тока) реактора; предварительного подмагничивания реактора и обеспечения динамических режимов, а также перевода реактора в режим холостого хода при возникновении аварийных режимов и перегрузок, или для плавного управления индуктивностью УПШР в ручном режиме. Предварительное подмагничивание реактора обеспечивается от ПР, запитанного от сети 35 кВ подстанции, либо от преобразователя ВТПЕ, запитанного от сети 0,4 кВ подстанции.

В соответствии с указанным назначением САУ должна выполнять следующие функции:

- Автоматическое управление величиной индуктивности УПШР в заданных пределах для обеспечения стабилизации напряжения на шинах 330 кВ подстанции;
- Обеспечение режима ручного регулирования тока УПШР ступенчатым изменением угла управления тиристорами ПП;
- Автоматическое поддержание заданного значения тока сетевой обмотки реактора;
- Перевод УПШР из режима автоматического управления в режим ручного управления и обратно;
- Индикация параметров режима, заданных уставок регулирования и состояния схемы комплекса РТУ-180000/330;
- Сигнализация о перегрузках и повреждениях в преобразователе ПП;
- Контроль перегрузки УПШР по току сетевой обмотки с последующим автоматическим ограничением мощности и выдачей сигнала;
- Контроль перегрузки и перегрева преобразователей с последующим автоматическим ограничением мощности и выдачей сигнала;
- Контроль управления тириستоров преобразователей;
- Обеспечение режима предварительного подмагничивания УПШР;
- Обеспечение автоматической (без участия оперативного персонала) подготовки реактора к включению и включение его в сеть 330 кВ по командам от систем ПА и АСУ ТП;
- Обеспечение возможности изменения мощности реактора по командам от системы ПА с использованием сухих контактов. [1]

Заключение

В ходе проделанной работы было установлено, что рассматриваемые управляемые шунтирующие реакторы (УШР) рекомендуется устанавливать для снижения потерь в сетях и регулировки уровней напряжения на всех подстанциях 330 кВ и выше в Белорусской энергосистеме.

Литература

1. Фарамакс. Специализированные производители силовых трансформаторов и управляемые шунтирующие реакторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.faramax.com/>. – Дата доступа: 21.02.2022.
2. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Дата доступа: 25.02.2022.
3. Курилович, И.Ф, Первый в Гродненской области / И.Ф, Курилович // Энергетик Принеманья. – 2021. – № 6. – С. 3-5

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗКИ НА ПОТЕРИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
THE EFFECT OF LOAD ASYMMETRY ON ELECTRICITY LOSSES IN
THE ELECTRICAL NETWORK**

А.Ю. Сенько, магистрант

Научный руководитель - Н. Е. Шевчик, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь,

neshevchik@gmail.com

A. Yu. Senko

Supervisor - N.E. Shevchik, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: в работе проведен анализ изменения потерь электроэнергии в сети на примере коттеджной застройки. Показано, что при токе в нулевом проводе равном 25% от номинального, потери увеличиваются на 75% по сравнению с симметричным режимом.

Abstract: the article analyzes the changes in electricity losses in the network on the example of cottage development. It is shown that when the current in the zero wire is equal to 25% of the nominal, the losses increase by 75% compared to the symmetrical mode.

Ключевые слова: несимметрия нагрузки, потери электроэнергии в электрической сети, метод симметричных составляющих.

Keywords: load asymmetry, electric power losses in the electric network, the method of symmetric components.

Введение

В настоящее время расчет потерь электроэнергии в электрических сетях проводится на основе количества проходящей по элементам указанной сети электрической энергии. Так в [1] рекомендованы следующие методы: "Расчет потерь на основе полных схем линий», в котором потери электроэнергии в электрической сети проводится с учетом полной схемы электрической сети и отпущенной электроэнергии с шин ТП 10/0,4 в сеть 0,4 кВ. При этом нагрузки распределяются по узловым точкам. Определяются нагрузки участков линий и по формуле Джоуля-Ленца рассчитываются потери.

Также предлагается упрощенная методика расчета по потерям напряжения: "Расчет потерь электроэнергии на основе измеренных максимальных потерь напряжения в линии". Она основана на том, что формулы для расчета потерь мощности и потерь напряжения в линии содержат одни и те же параметры, поэтому потери мощности определяются по потерям напряжения. Одним из недостатков указанной методики является то, что он не учитывает потери энергии в ответвлениях.

Кроме того, имеется методика "Расчет потерь на основе обобщенных данных о схемах линий". Расчет в ней проводится по упрощенным данным электрической сети.

Недостатками предлагаемых методик является большая погрешность расчетов, связанная с принятыми в них допущениями. Ни одна из них не учитывает дополнительные потери в линии при несимметрии нагрузок.

Более точная методика расчета предлагается кафедрой "Электрические системы" БНТУ [2]. В ней определяются токи в фазных и нулевых проводах также на основе отпущенной электроэнергии. Поэтому анализ потерь электроэнергии в сети 0,4 кВ с несимметричной нагрузкой в данной работе проведен с использованием методики БНТУ.

Основная часть

Для анализа принята электрическая сеть 0,4 кВ, питающая коттеджную застройку с трансформатором мощностью 160 кВА и схемой соединения обмоток У/Ун, тремя линиями, выполненными самонесущим изолированным проводом сечением 35 мм², длиной 600 м, с равномерно распределенной по длине линии нагрузкой. Загрузка трансформатора составляет 70% номинальной его мощности.

Расчет потерь энергии в электрической сети проведен методом симметричных составляющих. Они определяются по формуле:

$$\Delta P = 8760 * P_x + 3 * \tau * \left[(I_1^2 + I_2^2) * r_k + I_0^2 * r_0 \right] + \\ + \tau * \sum_{i=1}^n \left\{ I_i * \left[3 * (I_{1i}^2 + I_{2i}^2 + I_{0i}^2) * r_\phi + (3I_{0i})^2 r_n \right] \right\},$$

где P_x - потери холостого хода трансформатора, Вт, для трансформатора ТМГ12-160/10 $P_x = 450$ Вт;

τ - время потерь, для коммунально-бытового сектора 1200 ч/год;

r_k, r_0 - активные сопротивления короткого замыкания и нулевой последовательностей трансформатора, Ом, для трансформатора ТМГ12-160/10 $r_k = 0,01625$ Ом, $r_0 = 0,219$ Ом;

I_1, I_2, I_0 - токи прямой, обратной и нулевой последовательностей в трансформаторе, А;

I_{1i}, I_{2i}, I_{0i} - токи прямой, обратной и нулевой последовательностей на участках линии, А;

r_ϕ, r_n - удельное активное сопротивление фазного и нулевого проводов, 0,868 Ом/км;

n - количество участков линий,

Токи прямой, обратной и нулевой последовательностей определяются по известным формулам [3].

Известно, что несимметрия нагрузок достаточно сильно влияет на качество напряжения и потери электроэнергии. В свою очередь, на несимметрию нагрузок влияют два фактора: 1 - неравномерное распределение нагрузок по фазам, 2 - случайные включения электроприемников.

Расчеты проведены для 3-х вариантов нагрузки:

1. Идеальный вариант — нагрузка по фазам равномерная $I_a = I_b = I_c = 0,7I_{\text{ном}}$, загрузка трансформатора 70% от номинальной.
2. Несимметрия токов, вызванная случайным включением однофазных нагрузок $I_a = I_b = 0,7I_{\text{ном}}$; $I_c = 0,56I_{\text{ном}}$, при загруженном на 70 % трансформаторе в фазе "С" нагрузка снизилась еще на 20%.
3. К фазе "b" подключена дополнительная нагрузка, при этом случайная несимметрия сохранилась $I_a = 0,70I_{\text{ном}}$; $I_b = 0,81I_{\text{ном}}$; $I_c = 0,56I_{\text{ном}}$.

Третий вариант нагрузки можно объяснить следующим образом. К примеру, в уже застроенном коттеджном массиве были выделены дополнительные участки. И, если на основной массив выполняется проект, в котором правильно подобраны сечения проводов, нагрузка равномерно распределена по фазам, то электроснабжение дополнительных участков часто выполняется в целях экономии двумя проводами, часто меньшего сечения, чем в основной застройке. Это приводит к еще большей несимметрии нагрузок.

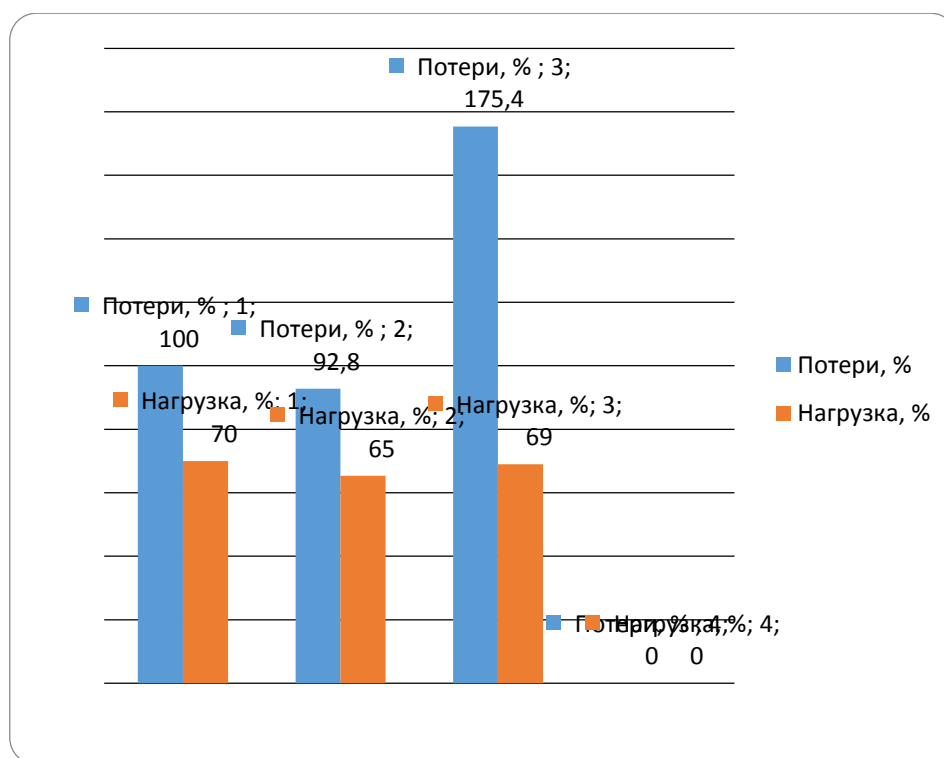


Рис. 1 Потери в электрической сети:

1 - симметричная нагрузка $I_a=I_b=I_c=0,7I_{\text{ном}}$; 2 - случайная несимметрия $I_a=I_b=0,7I_{\text{ном}}$, $I_c=0,56I_{\text{ном}}$; 3 - несимметрия, вызванная добавленной однофазной

По первому варианту потери электроэнергии при симметричной нагрузке составили 12000 кВт*ч/год (рис.1). На указанном рисунке нагрузка приведена в процентах к номинальной мощности трансформатора, а потери — в процентах к потерям всей электрической сети при симметричной нагрузке. Если неравномерную нагрузку по фазам легко устранить, то случайные включения электроприемников устранить практически невозможно. В статье

рассмотрены режимы работы линии со случайной несимметрией, которая, как правило, не превышает 25 %, поэтому в расчетах принято 20%.

Потери электроэнергии в сети со случайной несимметрией нагрузок будут равны 11138 кВт*ч/год. Следует отметить, что в целом по сети нагрузка снизилась на 5%, а потери снизились на 7,2% (рис.1, вариант 2). Потери на рисунке приведены в процентах к потерям при симметричной нагрузке.

Предположим, что было принято решение увеличить застройку и, как сказано выше, к дополнительным зданиям протянули два провода сечением 35 мм². Но если раньше здания были запитаны от 3-х фаз, то сейчас вновь введенные нагрузки легли на одну фазу.

Так как несимметрия нагрузок была случайная, выбор фазы при подсоединении дополнительной нагрузки также случаен. Наилучший вариант — присоединение к фазе "с". Тогда нагрузка по фазам выровняется. В расчетах дополнительную нагрузку присоединим к фазе «в». Нагрузка трансформатора стала $I_a = 0,70I_{\text{ном}}$; $I_{\text{в}} = 0,81I_{\text{ном}}$; $I_c = 0,56I_{\text{ном}}$.

Потери электроэнергии в сети составят 21047 кВт*ч/год. Если сравнить с симметричным режимом, то потери выросли в 1,75 раза, хотя суммарная нагрузка трансформатора уменьшилась в целом на 1 % по сравнению с симметричной нагрузкой.

Заключение

Несимметрия нагрузок приводит к резкому увеличению потерь электроэнергии в сети. При токе в нулевом проводе 25% от номинального потери увеличились на 75% по сравнению с симметричным режимом.

Литература

1. Расчет потерь электроэнергии в сетях 0,4 кВ: формулы, схемы [Электронный ресурс]/ПУЭ8.- Режим доступа: <https://pue8.ru/uchet-elektroenergii/2-1-11-raschet-poter-elektroenergii-v-setyah-0-4-kv.html> - Дата доступа 27.04.2022.
2. Фурсанов М. И. Расчеты технологического расхода (потерь) электроэнергии на ее транспорт в электрических сетях энергосистемы: учебно-методическое пособие/ Фурсанов М. И., Золотой А.А., Макаревич В.В. - Минск, БНТУ, 2018 - 112 с.
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_симметричных_составляющих

УДК 620.9

**ПРИМЕНЕНИЕ КАСКАДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
CURRENT-LIMITING AUTOMATIC CIRCUIT BREAKERS
APPLICATION**

П.В. Сурович

Руководитель – А.Ю. Капустинский, ассистент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
A.Kapustynski@eneca.by

P. Surovich

Supervisor – A. Kapustinski, professor assistant
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В статье указаны преимущества применения каскадных соединений автоматических выключателей. Также в работе подробно описано конструктивное исполнение токоограничивающих автоматических выключателей. Статья рекомендована студентам электроэнергетических специальностей и специалистам в области электроэнергетики.

Abstract: The article deals advantages of circuit breakers' cascading. Current-limiting automatic circuit breakers' design is mention in the text. The paper is recommended to students with electrical energy specialization and to electric network specialists.

Ключевые слова: каскадирование, короткое замыкание, автоматический выключатель, токоограничение, электрическая дуга, отключающая способность выключателя.

Keywords: cascading, short circuit, circuit breaker, current limitation, electric arc, circuit breaker's breaking capacity.

Введение

В связи с ростом потребления электрической энергии промышленным и коммунально-бытовым сектором продолжается интенсивное увеличение числа и установленной мощности генерирующих устройств энергосистем. Увеличение мощности генерирующего оборудования в энергосистеме зачастую приводит к увеличению токов короткого замыкания во всех точках электроэнергетической системы. Это, в свою очередь, зачастую приводит к необходимости замены оборудования, которое перестает удовлетворять требованию термической стойкости, электродинамической стойкости и отключающей способности. Одним из способов увеличения отключающей способности автоматических выключателей в силовых сетях до 1 кВ является применение каскадных соединений автоматических выключателей

Основная часть

Принцип каскадных соединений автоматических выключателей заключается в следующем. При высоком значении токов короткого замыкания, протекающих через вышестоящий аппарат, происходит незначительное

размыкание контактов данного устройства, обусловленное его конструкцией. При размыкании контактов появившаяся в месте размыкания контактов электрическая дуга увеличивает полное сопротивление цепи протекания тока короткого замыкания, за счет чего и происходит снижение протекающего тока короткого замыкания. После отключения автоматическим выключателем тока короткого замыкания его контакты вновь замыкаются, так как по ним перестает протекать ток короткого замыкания.

Применять автоматические выключатели с каскадным соединением в случае отсутствия селективности не имеет смысла, так как неселективное отключение тока короткого замыкания будет производиться вышестоящим аппаратом защиты, в то время как нижестоящий аппарат срабатывать не будет. Рассмотрим работу автоматических выключателей при применении каскадных соединений в случае протекания по ним тока короткого замыкания. Автоматический выключатель D2 выбран с предельной отключающей способностью ниже, чем ожидаемый ток короткого замыкания, так как он расположен ниже по электрической схеме, чем выключатель D1. В данном случае выключатель D1 согласно описанному выше алгоритму сможет ограничить ток короткого замыкания. За счет дополнительного токоограничения вышестоящим аппаратом D1 отключающая способность нижестоящего аппарата D2 увеличивается.

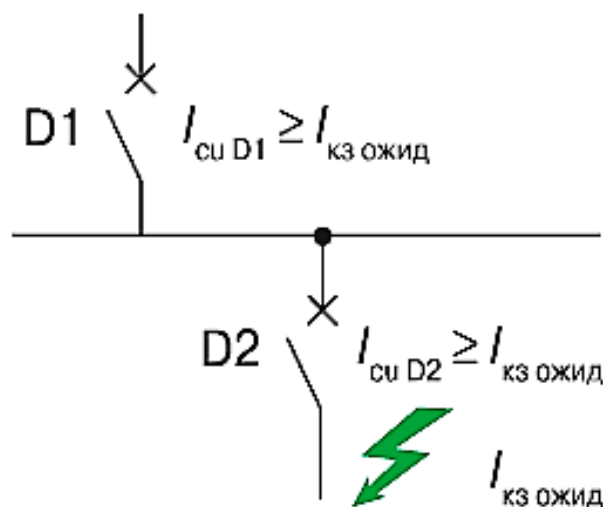


Рисунок 1 – Пример работы автоматических выключателей при каскадирования

Для обоснования установки автоматического выключателя с низким значением отключающей способности в сети с высокими значениями токов короткого замыкания производителем защитных аппаратов производятся расчеты. После подтверждения данных расчетов лабораторными испытаниями составляются специальные таблицы, в которых указана усиленная отключающая способность нижестоящего автоматического выключателя

(допустимые значения отключаемых токов короткого замыкания при применении вышестоящего автоматического выключателя с определенным номинальным током с функцией токоограничения). Таблицы, в которых указано увеличенное значение отключающей способности нижестоящего аппарата, называются таблицами каскадных соединений.

Применение каскадных соединений защитных аппаратов и, как следствие, аппаратов защиты с более низкой отключающей способностью, позволяет значительно снизить экономические затраты на их установку в точках сети с высоким значением тока короткого замыкания. В ряде случаев при отсутствии необходимости завышения предельной отключающей способности автоматических выключателей, рассчитанных на малый ток нагрузки, отсутствует необходимость установки аппаратов защиты с завышенным номинальным током после проверки предельной отключающей способности данного оборудования. Принцип каскадного соединения автоматических выключателей предложен большинством электротехнических компаний, что приводит к его все большему распространению.

Заключение

Применение методики каскадирования позволяет снизить отключающую способность защитного аппарата в сети с высокими значениями тока КЗ. Это, в свою очередь, позволяет существенно снизить стоимость электрооборудования проектируемой или эксплуатируемой сети. В некоторых случаях, помимо снижения стоимости аппаратов за счет снижения предельной отключающей способности, удастся добиться уменьшения номинального тока и размера защитных аппаратов, и, как следствие, распределительного устройства в целом. Ввиду данных преимуществ каскадирование защитных аппаратов находит все большее распространение.

Литература

1. Капустинский, А. Ю. Каскадирование автоматических выключателей / А. Ю. Капустинский // Энергетика Беларуси-2020 [Электронный ресурс] : сборник научных работ Республиканской научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов ЭФ БНТУ (проводится в рамках 72-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ), 10 ноября 2020 г. / редкол.: Е. Г. Пономаренко, Н. В. Шведко. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 23.
2. Капустинский, А. Ю. Способы токоограничения в электрических сетях до 1 кВ = MethodsofCurrentLimitationinLowVoltage (upto 1 kV) ElectricNetworks / А. Ю. Капустинский, С. В. Константинова // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2021. – № 6. – С. 492-504.
3. Сурович, П. В. Способы токоограничения в сетях до 1 кВ = Methods of short circuit current limitation in a low voltage grid / П. В. Сурович ; науч. рук. А. Ю. Капустинский // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс] :

материалы 77-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, апрель 2021 г. / редкол.: Е. Г. Пономаренко [и др.] ; сост. Т. Е. Жуковская. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 66-70.

4. Техническая коллекция SchneiderElectric. Выпуск 4. Координация защитнизкого напряжения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://profsector.com/media/catalogs/566c7b0888ff0.pdf>. Дата доступа: 15.04.2022 г.

УДК 621.311

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В
ЭНЕРГЕТИКЕ**
**APPLICATION OF REACTIVE POWER SOURCES IN THE ENERGY
SECTOR**

Р.А. Голубев, К.Д. Короткевич

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

Г. Минск, Республика Беларусь

zukovskya@bntu.by

R. Golubev, K. Korotkevich

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В статье рассмотрена тема использования источников реактивной мощности в энергетике. В статье описаны основные источники реактивной мощности и принцип их работы

Abstract: The article discusses the topic of using reactive power sources in the energy sector. The article describes the main sources of reactive power and the principle of their operation

Ключевые слова: реактор, реактивная мощность, тиристоры, выключатели, шунтирующий, комбинированный

Keywords: reactor, reactive power, thyristors, switches, shunt, combine, saturating

Введение:

Для того чтобы ограничивать ток короткого замыкания и уменьшить последствия его воздействия в электрических сетях, удерживать некоторый уровень напряжения на шинах, применяют реакторы. Потребность использования реакторов обусловлена вероятностью повреждения электроустановок по фактору воздействия электродинамических сил. Поэтому в сфере оптимизации электроэнергии стоит одна из главных задач – наиболее полно обеспечить компенсацию реактивной мощности.

Основная часть:

Базой конструкции реактора является катушка индуктивности, включённая последовательно в разрыв основной цепи питания.

Реакторы подразделяются:

- 1) наружного использования и внутреннего;
- 2) среднего и высокого напряжения;
- 3) бетонные, сухие, масляные и броневые;
- 4) с вертикальной, горизонтальной и ступенчатой позицией фаз;
- 5) одинарные и сдвоенные;
- 6) фидерные, фидерные пакетные и межсекционные.

В основном реактор подключается на шины или к третичной обмотке трансформатора через выключатель. Постоянная характеристика реактора

линейна, но при присутствии железного сердечника линейна в рабочем диапазоне, а за его границами может проявляться нелинейной. Выключатели, коммутирующие реакторы, обладают в своей конструкции наружными резисторами, а сами реакторы – разрядниками, обеспечивающими защиту изоляции от перенапряжений. Реакторы повышают применение реактивной мощности, содействуя его ограничению, тем самым проявляют стабилизирующий эффект.

Для регулирования реактивной мощности используют насыщающиеся реакторы, рабочий охват регулирования которого располагается в насыщенной части его статической характеристики. В нелинейной части характеристики сопротивление реактора колеблется в зависимости от приложенного к нему напряжения. Увеличивая напряжение, увеличивается и ток в реакторе, следовательно, увеличивается потребление реактивной мощности, что приводит к стабилизации напряжения в точке подключения реактора. Параллельное подключение к источнику реактивной мощности конденсаторной батареи позволяет обеспечить параметрическое регулирование в режиме потребления и генерирования реактивной мощности. Конденсаторная батарея выполняет функцию фильтрокомпенсирующего устройства и её мощность выбирают исходя из условия, что суммарная мощность источника реактивной мощности при номинальном напряжении будет равняться нулю. Следовательно, увеличив напряжения выше номинального, источник потребляет реактивную мощность, а, снизив напряжение выше номинального, источник генерирует реактивную мощность.

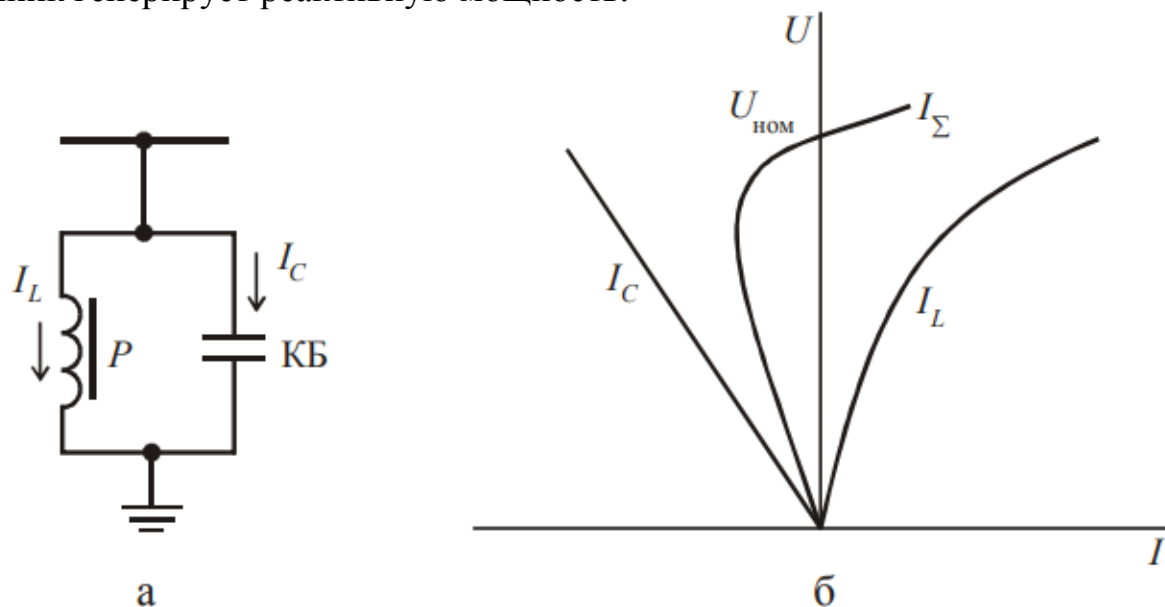


Рисунок 1 - Параметрический ИРМ с насыщающимся реактором: а – принципиальная схема; б – статическая характеристика

Существует реактор, коммутируемый с сетью бесконтактными полупроводниковыми ключами вентильного типа. Принцип его работы заключается в закрытии тиристорных ячеек при переходе тока сквозь нулевые значения и открытии в момент одинаковых значений напряжений на нагрузке и в сети. Принципиальная схема реактора представлена на рисунке 2.

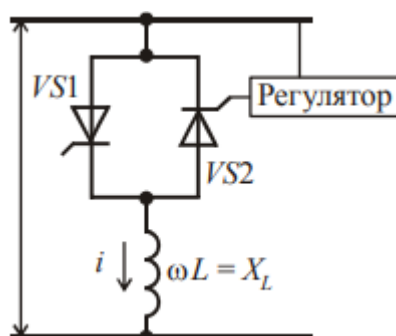


Рисунок 2 – Принципиальная схема реактора

Коммутируемые посредством затвора тиристоры открываются и закрываются по установленному углу управления и позволяют прерывисто давать напряжение на нагрузку по принципу фазового регулирования или широтно-импульсной модуляции. Мощность реактора регулируется с помощью увеличения или уменьшения углов управления двух тиристоров, включённых встречно и параллельно, что приводит к изменению тока в самом реакторе. При этом углы управления равны. Если угол управления равен $\pi/2$, тиристоры открыты и ток в реакторе максимальный. Данный ток представлен пунктирной линией на рисунке 3. По мере увеличения угла управления и его изменения в пределах $\pi/2 \leq \alpha \leq \pi$ ток в реакторе уменьшается и утрачивает синусоидальный характер. Характер этого тока на рисунке 3 показан непрерывной линией.

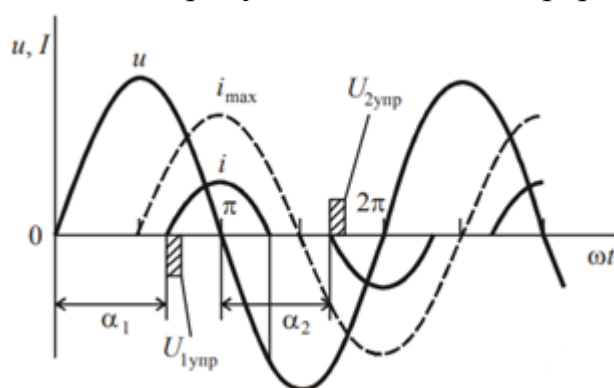


Рисунок 3 – Диаграмма токов и напряжений

Несовершенством реактора, контролируемого тиристорами, является то, что при углах $\alpha > \pi/2$ он становится источником высших гармоник тока. Порядок гармоник и их значения близки к гармоникам, генерируемые 6-импульсными преобразователями. Для компенсации гармоник реакторы включают при помощи трансформаторов с обмоткой, собранной по схеме треугольник-звезда-треугольник.

Для плавной регулировки реактивной мощности в режиме ее потребления и в режиме её генерации используют комбинированные источники реактивной мощности. Принципиальная схема комбинированного источника реактивной мощности, который называется статическим тиристорным компенсатором (СТК), изображена на рисунке 4.

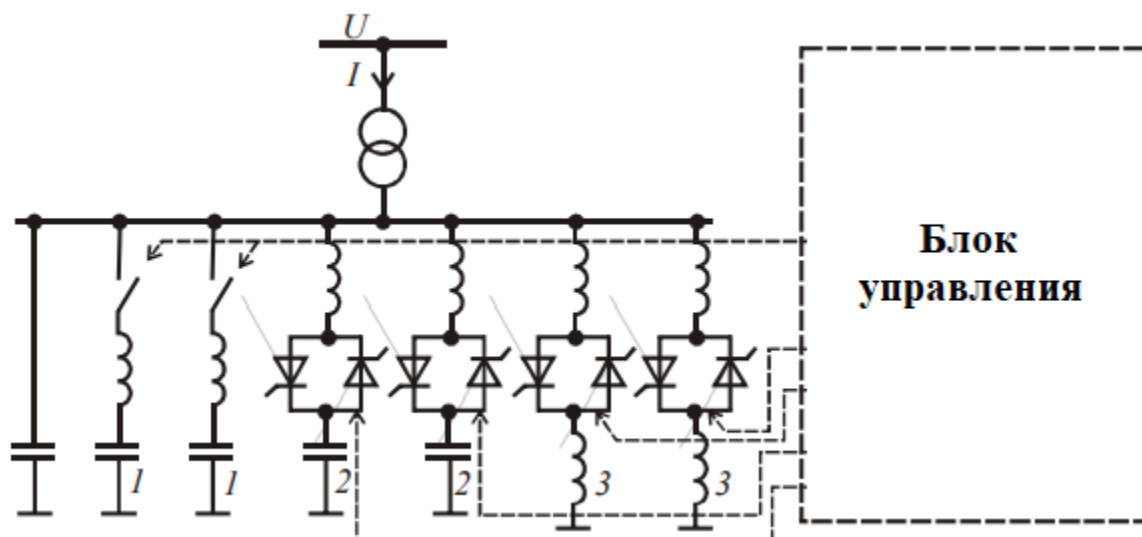


Рисунок 4 – Принципиальная схема комбинированного СТК

Одним из основных элементов комбинированного источника реактивной мощности является управляемый шунтирующий реактор, используемый эффект предельного насыщения стали, благодаря специальной конструкции и подмагничивания магнитопровода. Управляемый шунтирующий реактор представляет собой трёхфазное ферромагнитное устройство, мощность которого изменяется от нуля до номинального значения за счёт подмагничивания постоянным током сердечника реактора, что приводит к изменению индуктивности реактора. Реактор состоит из двух обмоток, одна из которых называется сетевая и подключена к электрической сети, создаёт переменный магнитный поток промышленной частоты, вторая обмотка называется управляющей и подключена к регулируемому источнику постоянного напряжения, создаёт постоянный и регулируемый магнитный поток подмагничивания. Постоянный магнитный поток подмагничивания изменяет индуктивное сопротивление устройства за счёт смещения переменного тока в область насыщения кривой намагничивания стали, в свою очередь это приводит к изменению намагничивающей силы, данный процесс представлен на рисунке 5.

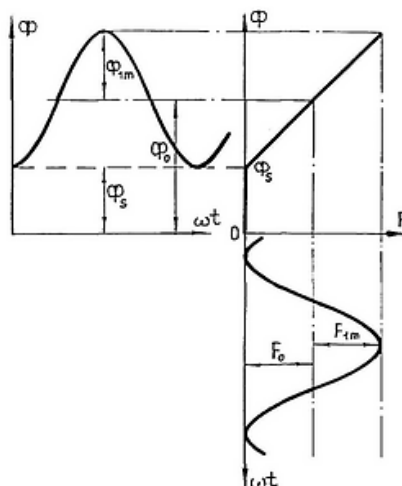


Рисунок 5 – Кривые намагничивания

Для питания обмоток управления реактора необходим управляемый тиристорный выпрямитель, который питает масляный трансформатор и управляется системой автоматического управления.

Исходя из назначения комбинированного статического тиристорного компенсатора, выбирается рабочий диапазон регулирования реактивной мощности, установленная мощность нерегулируемой или ступенчато регулируемой батареи, мощность регулируемых тиристорами реакторов. Существует огромное количество отношений между установленной мощностью реактора и конденсаторной батареи. В качестве демонстрации статических характеристик рассматриваются два отношения:

- 1) установленная мощность реактора и конденсаторной батареи равны;
- 2) установленная мощность реактора больше в 2 раза мощности конденсаторной батареи.

При первом отношении мощностей рабочий спектр регулирования генерируемой реактивной мощности находится в зоне режимов от генерирования мощности, равноправной поставленной мощности КБ, до нуля, когда тиристоры реактора открыты полностью. Статическая характеристика показана на рисунке 6.

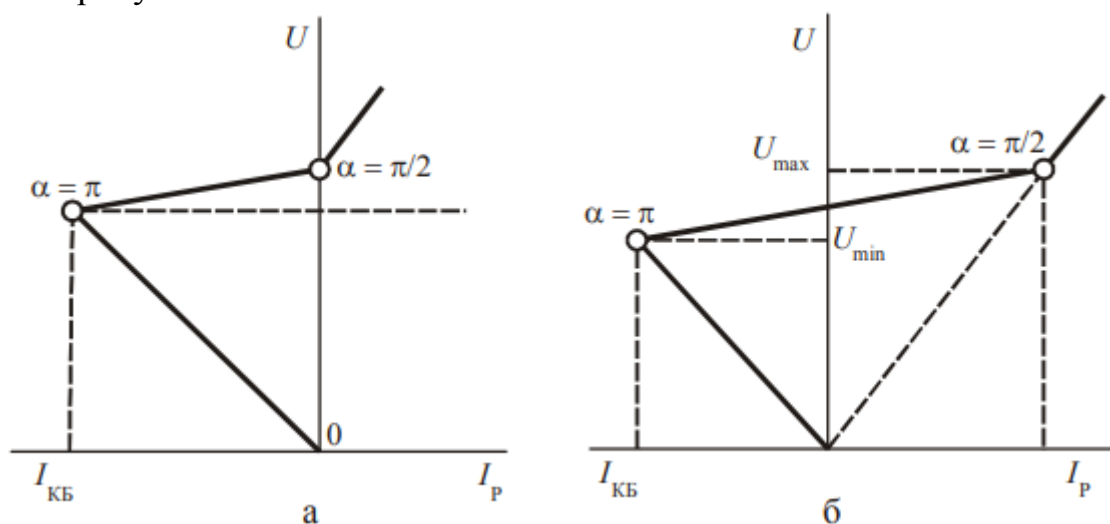


Рисунок 5 – Статические характеристики при двух отношениях мощностей: а – при равном отношении; б – установленная мощность реактора в 2 раза больше конденсаторной батареи

При втором отношении мощностей статический тиристорный компенсатор работает в двух режимах, а именно в режиме генерирования и употребления реактивной мощности.

Заключение:

Передаваемые в нагрузку неактивные составляющие полной мощности отрицательно влияют на режимы работы электрических сетей и на показатели качества электроэнергии, поэтому для их компенсации нужны источники реактивной мощности. Представленные в статье источники реактивной мощности являются устройствами, благодаря быстрдействию и способности регулировки, оказывают положительное влияние на режимы электрических

систем и сетей, поэтому необходимо расширять производство и объекты установки ИРМ.

Литература

1. Кабышев А. В., Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 234с.
2. Сетевые компенсаторы реактивной мощности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.skrm.com.ru/mcsr>. – Дата доступа: 10.04.2022
3. CyberPedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberpedia.su/6x6291.html>. – Дата доступа: 12.04.2022
4. Инфопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infopedia.su/3x84bc.html>. – Дата доступа: 13.04.2022

УДК 621.315.592

ПРОЗРАЧНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СТРУКТУРЫ
TRANSPARENT SEMICONDUCTOR STRUCTURES

Е.И. Индюкова, Е.В.Таранко

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

zukovskya@bntu.by

E. Indukova, E. Taranko

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье представлен обзор новейших технологий в области применения полупроводников. Рассматривается возможность внедрения технологии прозрачных тонкопленочных фотоактивных материалов в солнечной энергетике. Проанализирован потенциал практического применения современных разработок.

Abstract: this article provides an overview of the latest technologies connected with the application of semiconductors. The possibility of introducing the technology of transparent thin-film photoactive materials in solar energy is considered. The potential of practical usage of modern developments is analyzed.

Ключевые слова: полупроводник, фотоэлемент, тонкопленочное устройство, кремниевые фотоэлементы, солнечная панель.

Key words: semiconductor, photoelectric cell, thin-film device, silicon photovoltaic cells, solar panel.

Введение

Современный мир трудно представить без электронных устройств, сегодня они используются во всех сферах жизни общества: промышленное производство, энергетика, связь, здравоохранение, наука, образование. В оборудовании разной конфигурации применяются микросхемы, изготовленные из полупроводниковых материалов. Именно полупроводники (кремний, германий, селен, оксид никеля, двуокись титана и др.), занимающие по своей способности проводить ток промежуточное положение между проводниками и диэлектриками, позволяют качественно и практически мгновенно осуществлять нужные операции. Во многих странах постоянно проводятся новые исследования в области полупроводниковых материалов, каждое из которых вносит вклад в будущее электроники. Одно из передовых направлений – тонкопленочные технологии, когда разными способами получают и обрабатывают тонкие пленки проводников, диэлектриков и полупроводников при изготовлении всевозможных элементов интегральных схем. Сегодня прослеживается стремление создать электронные устройства всё меньшей толщины, меньшей массы, да и вовсе прозрачными, невидимыми. Существует большое количество исследований о прозрачных фотоэлементах. Такие технологии имеют потенциал для применения в гелиоэнергетике, ведь они расширяют область использования фотоэлементов.

Основная часть

Сегодня актуальны разработки в области солнечной энергетики. Например, растёт коэффициент преобразования ультрафиолетового излучения в электричество. Но использование нынешних фотоэлементов несколько ограничено из-за их непрозрачности. Солнечные панели обычно устанавливают на крышах, в удаленных местах. Чтобы выработать большое количество электроэнергии, необходимы панели соответственно большой площади.

Недавнее исследование корейских ученых фокусировалось на создании эффективного и полностью прозрачного солнечного элемента [1]. Необычные свойства прозрачных фотоэлементов позволяют применять их в широком количестве мест, например, в окнах зданий или в смартфонах.

Прозрачный фотоэлемент в результате исследования был создан с помощью комбинации полупроводников из оксида никеля (NiO) и диоксида титана (TiO₂). Оксид никеля имеет высокие характеристики оптической прозрачности. Он широко используется в керамической промышленности, в качестве зеленого пигмента для стекла. Диоксид титана сегодня используют в солнечных батареях, он нетоксичный и экологически чистый. Месторождения титана, 90% которого после добычи используется для создания диоксида, находятся в большом количестве в Австралии, США, Норвегии, России и других странах. Хотя потребление растет и в лакокрасочной промышленности, и в производстве пластмасс, запасов титановой руды в мире пока достаточно. Следовательно, его хватит и для новых фотоэлементов. Сочетание описанных выше элементов позволит создавать прозрачные солнечные панели. К сожалению, эффективность преобразования энергии таких панелей составила всего лишь 2,1 %, что слишком мало для масштабного применения и получения прибыли.

Другая группа ученых из Южной Кореи предлагает использовать для прозрачных солнечных панелей другой полупроводник – кремний. Кристаллический кремний отлично подходит для разработки стекловидных, бесцветных солнечных элементов. Чтобы добиться прозрачности, в фотоэлементе пробиваются маленькие отверстия, расположенные в определенном порядке. Их невозможно заметить невооруженным глазом, но при этом они не ухудшают коэффициент полезного действия элемента [2].

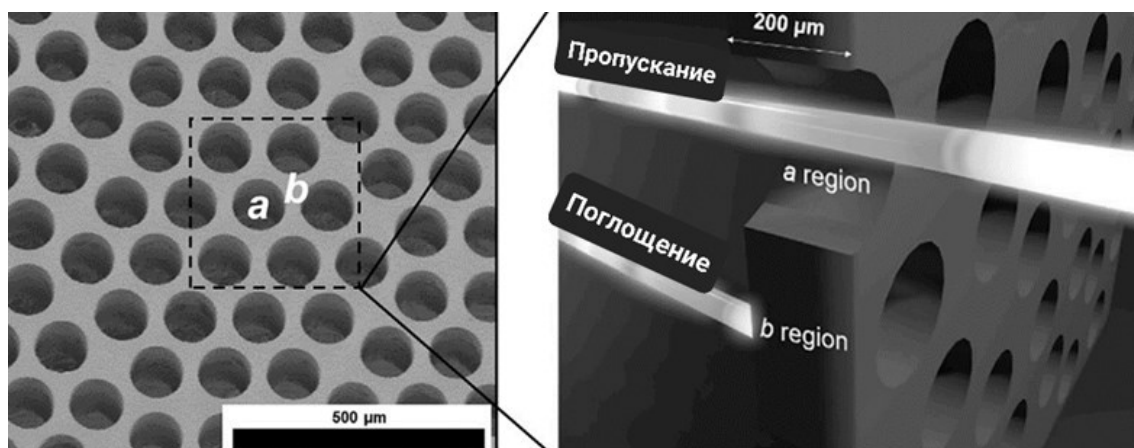


Рисунок 1 – Принцип работы фотоэлемента с отверстиями

На рисунке 1 изображено два случая падения луча: пропускание и поглощение. Один из продемонстрированных лучей, проходя через поверхность фотоэлемента толщиной 200 мкм, попадает в отверстие и проходит дальше. Именно это даёт прозрачность, и человеческий глаз видит предметы, находящиеся под панелью. Значит, можно использовать такие элементы в окнах и экранах. Второй луч поглощается, попадая на получившуюся решетку. Благодаря таким лучам солнечная энергия преобразуется в электричество.

Испытания свидетельствуют о том, что прозрачный фотоэлемент из кремния сохраняет производительность 12,2%. Хотя у непрозрачных элементов данный показатель составляет 20 — 25%, у прозрачных он ниже того, на что способны кремниевые. Кроме того, если подобные фотоэлементы ставить вертикально, то лучи света, падающие под пологим углом, приводят к снижению электрического тока примерно на 30%. В новых кремниевых элементах с отверстиями такой проблемы не обнаружено, в ходе испытания производительность снизилась на почти 4%.

Что касается эффективности стандартных кремниевых фотоэлементов, она обычно не превышает 29,1%. Это происходит потому, что каждый фотон может выбить только один электрон. Исследователи из Массачусетского технологического институт преодолели этот предел производительности кремниевых фотоэлементов. Они сделали так, чтобы один фотон смог выбить сразу два электрона, и это увеличило коэффициент полезного действия до 35%. Такого успеха удалось добиться благодаря материалов, содержащих возбужденные квазичастицы экситоны. Такая частица представляет собой электронное возбуждение в диэлектрике, полупроводнике или металле, которое мигрирует по кристаллу и не связано с переносом электрического заряда и массы. Под действием экситонов энергия одного фотона разделяется на две независимые единицы. Этот процесс известен как синглетное деление экситона, он изображен на рисунке 2 [3].

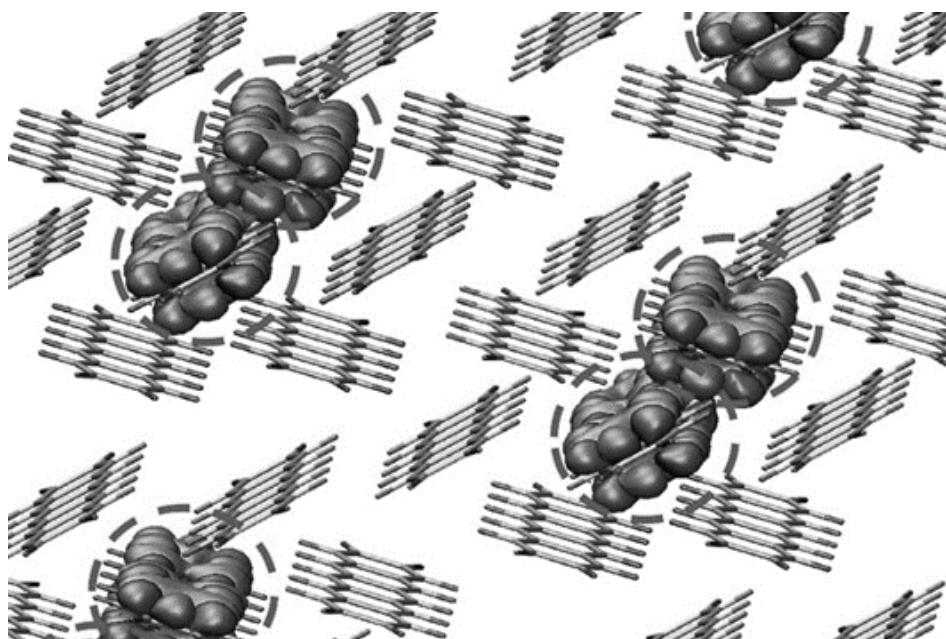


Рисунок 2 – Синглетное деление экситона

До этого исследования не получалось связать энергию экситонов с неэкситонным кремнием. В итоге за счет добавления очень тонкого слоя между поверхностным слоем из тетрацена и кремниевым солнечным элементом получилось добиться нужного эффекта. Этот переход толщиной всего несколько атомов состоит из оксинитрида гафния.

После объединения трех элементов количество энергии, производимой солнечным светом в сине-зеленой части спектра, увеличилось в два раза. Это означает увеличение теоретического максимума кремниевых фотоэлементов с 29,1% до 35%. Коммерческое использование разработки, очевидно, начнется нескоро. Необходимо оптимизировать используемые кремниевые элементы и протестировать полученные пластинки на прочность.

Другой путь получения экранов нового типа лежит в технологии нового материала, который сочетает высокую подвижность зарядов и способность к люминесценции. Так можно получить гибкий прозрачный источник света. Российские и немецкие ученые создали первый органический 2D-светотранзистор, изображенный на рисунке 3 [4].

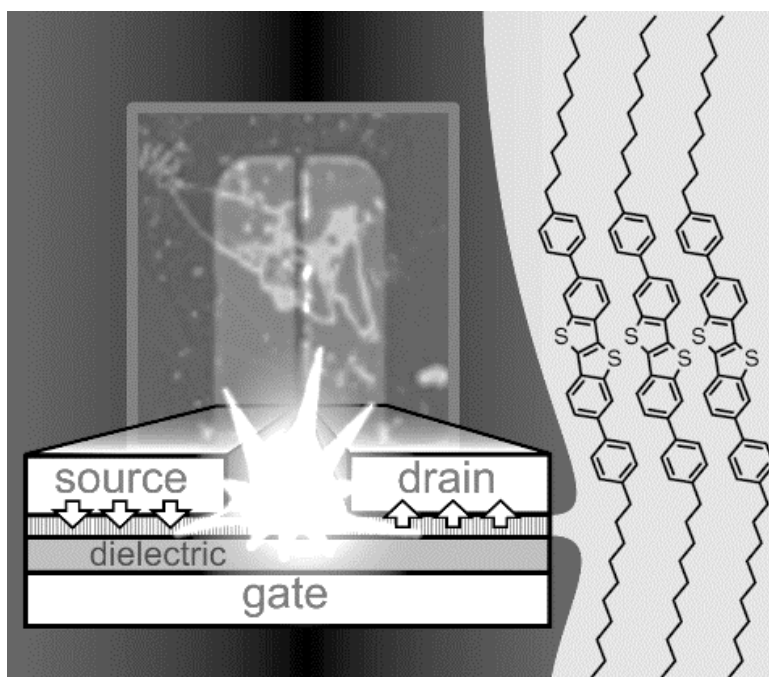


Рисунок 3 – Структура органического 2D-светотранзистора

Были синтезированы новые молекулы на основе жесткого центрального фрагмента, состоящего из ароматических колец и отвечающего за полупроводниковые и светоизлучающие свойства. Также его модифицировали длинными гибкими алкильными «хвостами» для увеличения растворимости. Такая молекулярная структура позволяет выращивать из раствора 2D-монокристаллы размерами до одного миллиметра. Полученный материал анализировали, используя методов оптической, атомно-силовой и фотолюминесцентной микроскопии, полученный материал. Полученные 2D-кристаллы обладали подвижностью носителей заряда намного выше, чем в аморфном кремнии. Также структуры выдерживают повышенные температуры

— выше 200 °С, в то время как другие известные органические полупроводники, полимеры и низкомолекулярные соединения, которые используются в органических светодиодах и солнечных батареях, теряют свои кристаллические свойства при таком нагреве. Высокая подвижность носителей заряда и ярко выраженные люминесцентные свойства могут быть объединены в одном органическом 2D-кристалле и благодаря своим свойствам данный материал может быть использован для оптоэлектроники нового поколения. Также на его основе могут быть созданы ультратонкие источники света высокой яркости и разнообразные сенсорные устройства.

Органические 2D-материалы служат активными пикселями в экранах и элементами различных сенсоров, а также они могут быть платформой для управляемых током органических лазеров. Однако только недавно стало известно о 2D-монокристаллах органических полупроводников, сочетающих в себе оба полезных свойства. Благодаря свойствам этих материалов возможно создание гибкой, сверхтонкой, прозрачной и дешевой электроники. Полупроводники включают в себя один или несколько слоев органических молекул и, если их удастся упаковать в макроскопические монокристаллы, размером 1 см, то они становятся отличным материалом для транзисторов, которые являются базовым элементов любых электронных устройств, таких как датчики, сенсоры, пиксели дисплеев, источники света и другие.

Заключение

Таким образом, прозрачные полупроводниковые материалы, хотя еще в зачаточной стадии разработки, имеют большой потенциал. Есть еще много проблем и вопросов, которые необходимо решить. Тем не менее, прозрачные фотоэлементы открывают новые возможности для расширения использования солнечной энергетики. Вероятно, что новые полупроводники скоро станут важной частью электроники.

Литература

1. Transparent photovoltaic cells and self-powered photodetectors by TiO₂/NiO heterojunction / Thanh TaiNguyen [et al.] – Journal of Power Sources – 2021. – Vol. 481.
2. Neutral-Colored Transparent Crystalline Silicon Photovoltaics [Электронный ресурс]/ Joule. – Режим доступа: [https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351\(19\)30538-0#relatedArticles/](https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351(19)30538-0#relatedArticles/). – Дата доступа: 27.03.2022.
3. Experiments show dramatic increase in solar cell output [Электронный ресурс]/ Science Daily. – Режим доступа: <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/07/190703134054.htm/>. – Дата доступа: 05.04.2022.
4. Luminescent High-Mobility 2D Organic Semiconductor Single Crystals [Электронный ресурс]/ Wiley Online Library. – Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aelm.202101281/>. – Дата доступа: 12.04.2022.

УДК 621.315.592

ЭЛЕМЕНТЫ ПЕЛЬТЬЕ И ЗЕЕБЕКА Peltier and Seebeck elements

М. В. Урбан, К. Д. Сосик

Научный руководитель – Т. Е. Жуковская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

zukovskya@bntu.by

M. Urban, K. Sosik

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной работе представлен обзор элементов Пельтье. Рассматриваются возможные пути применения элементов Пельтье, их достоинства и недостатки.

Abstract: this article provides an overview of the Peltier elements. Possible ways of using Peltier elements, their advantages and disadvantages.

Ключевые слова: термоэлектрический прибор, полупроводники, элементы Пельтье, элементы Зеебека.

Key words: thermoelectric device, semiconductors, Peltier elements, Seebeck elements.

Введение

В 19 веке было обнаружено, что в некоторых материалах при подаче напряжения возникает разность температур. Также было обнаружено что этот эффект имеет и обратное свойство: создавать электроэнергию за счёт разницы температур. Множество десятилетий инженеры пытаются использовать этот феномен на практике, постоянно совершенствуя эту технологию, и пытаясь найти новые совершенные материалы, которые могут выразить эффект максимально эффективно. Ведь потенциал данной технологии крайне высок и способствует толчку в развитии энергетики.

Основная часть

Элемент Пельтье – термоэлектрический прибор способный под действием приложенного к нему напряжения создавать разность температур на своих пластинах. Принцип работы элемента построен на эффекте Пельтье, открытом в 1934 году Жан Пельтье. Эффект заключается в переносе тепловой энергии под действием электрического тока в местах соединениях разнородных проводников. При соединении разнородных металлов эффект выражен слабо, наиболее сильное проявление наблюдается у полупроводников р и n типов, соединённых между собой.

Элемент состоит из керамических пластин (1), полупроводников (2,3) и металлических соединителей (4) [1]. Пластины являются корпусом элемента и необходимы для проведения и отведения тепла. Полупроводниковые элементы выполняются в форме прямоугольных параллелепипедов и соединены между собой попарно в последовательную цепь. Соединяются они между собой

металлическими соединителями, необходимые для проведения тока и отведения тепла от пластины, соединение происходит пайкой с температурой плавления около 80-200°C.

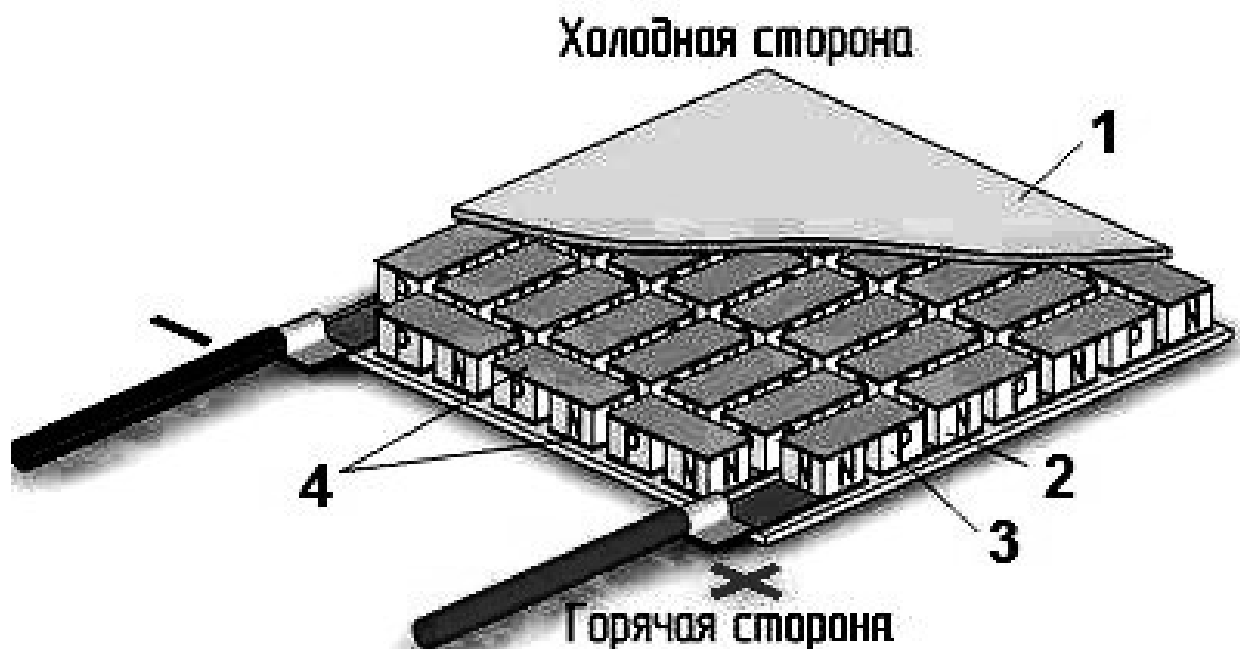


Рисунок 1 – Структура элемента Пельтье

При приложении напряжения к контактам элемента, одна из его пластин будет охлаждаться, вторая – нагреваться, причем чем интенсивнее происходит отведение тепла от нагревающейся пластины, тем ниже температура опустится на охлажденной стороне. Если провести электричество в обратном направлении, элемент также будет работать, но охлажденная и нагретая стороны поменяются между собой.

В технике элемент Пельтье широко применяется для принужденного охлаждения небольших устройств, например, процессоров, требовательных к низкой температуре. Также удобно использовать элемент Пельтье в термостатировании, в виду его способности достаточно точно охлаждаться или нагреваться в зависимости от приложенного к нему напряжения. Но он имеет крупный недостаток – низкий КПД, поэтому на больших мощностях он не используется. Вместо них целесообразно использовать компрессорные устройства, которые намного эффективнее и выгоднее. В маломощных устройствах, где эффективность не так важна, элемент Пельтье имеет большое преимущество в том, что при холодообразовании в нем не происходит никаких механических процессов и при постоянной температуре и мощности работы его ресурс максимален. Вольтамперная характеристика самого распространенного элемента Пельтье, TEC-12709, изображена на графике 2 (dT – разница температур между пластинами) [2].

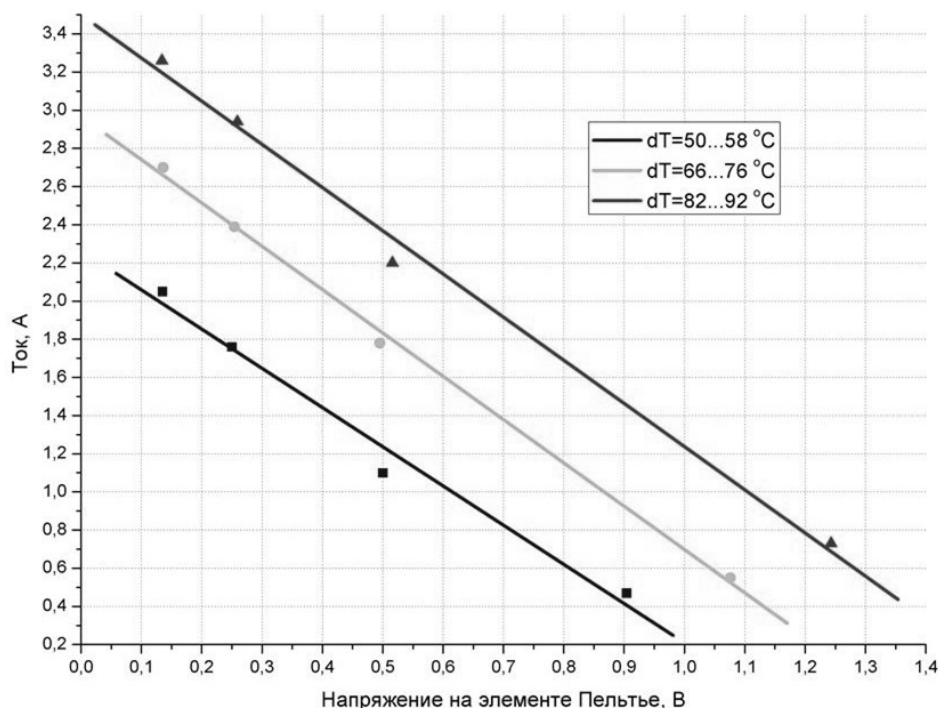


График 2 – Вольт-амперная характеристика ТЕС-12709

Однако элемент имеет ресурс по циклам включения и выключения, так как все элементы в процессе работы подвержены температурным расширениям, которые и определяют срок службы элемента. В основном у элементов Пельтье заявленный ресурс циклов включения равен около 5000 раз.

Так как из-за тепловых расширений скорее изнашивается элемент, то для изменения мощности необходимо менять само значение напряжения, а не его среднее значение. Поэтому регулировать мощность с помощью ШИМ чревато выходом из строя модуля. Также элемент сильно восприимчив к пульсациям, при 5% пульсаций или выше эффективность элемента сразу падает на 30-40%, поэтому не всякий блок питания подойдет для регуляции мощности охлаждения или нагрева.

Основной проблемой в повышении КПД элементов Пельтье является то, что свободные электроны в веществе являются одновременно переносчиками и электрического тока, и тепла. Получается, что материал для элемента Пельтье должен одновременно обладать двумя взаимоисключающими свойствами — хорошо проводить электрический ток, но плохо проводить тепло. В Джоулевы потери и потери на теплопроводность сильно снижают КПД элемента. Поэтому до сих пор введётся поиск доступного материала и усовершенствуются технологии для расширения сферы применения элементов Пельтье.

Кроме элементов Пельтье существуют также элементы Зеебека, основанные на эффекте Зеебека, открытом в 1821 году Томасом Иоганном Зеебеком. Эффект Зеебека является противоположностью эффекту Пельтье и состоит в том, что при разности температур на элементе Пельтье на контактах возникнет напряжение, причём чем больше разность температур, тем выше напряжение на контактах элемента. По сути любой элемент Пельтье является

видом термоэлектрического генератора, преобразующий напрямую разность температур в электроэнергию.

Элементы Пельтье предназначенные для выработки электроэнергии иногда называют элементами Зеебека. Они более устойчивы к перепаду температуры и имеют более высокую мощность генерации электроэнергии. Температура, до которой можно нагревать элемент, зависит от вида припоя, которым спаяны полупроводниковые элементы. Например, элемент SP1848 имеет максимальную мощность генерации 3.5 Вт, при габаритных размерах 40x40 мм. Подключив стабилизатор напряжения можно одним элементом произвести зарядку мобильного телефона. Максимальная мощность получается при подключении определённого сопротивления, то есть при согласованной нагрузке. А максимальная мощность генерации самого распространённого элемента ТЕС-12706 при той же габаритной составляющей составляет около Ватта [3].

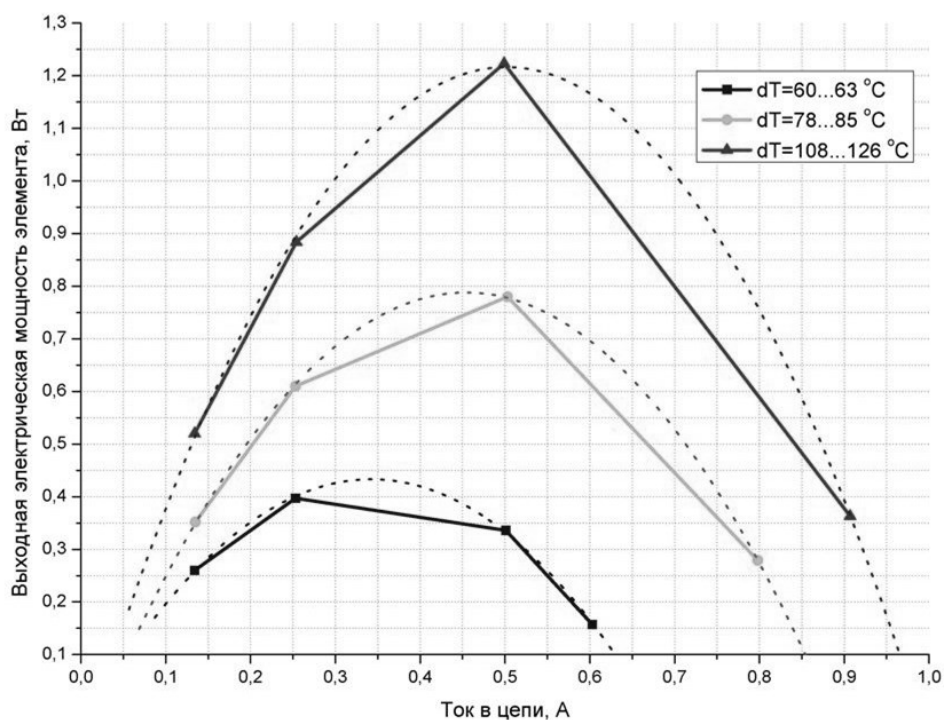


График 3 – Генерация мощности на ТЕС-12706

Как источник холода элемент Пельтье занял свою нишу в быту и промышленности, однако, как генератор на малых мощностях применяется редко, на больших мощностях не используется совсем, из-за высокой стоимости самого элемента и его низкой эффективности как генератора электроэнергии. Например, как генератор они хорошо себя показали в наручных часах, которые имеют очень маленькое энергопотребление и находятся в постоянной разности температур человеческого тела и окружающей среды. Также идёт разработки по внедрению элемента в автомобиль ввиду постоянной выработке тепла двигателя.

На базе элемента Пельтье можно создавать маломощные походные электростанции, на водяном охлаждении которые получают энергию от горения дров.

В настоящее время создавать большие генерируемые мощности на базе эффекта Пельтье экономически не оправдано. Однако, если в дальнейшем получится в разы снизить стоимость, повысить эффективность и надёжность, элементы можно будет использовать в геотермальной энергетике, особенно в местах, где экстремально низкая температура воздуха, ведь на глубине несколько десятков метров под землёй есть плюсовая температура. Разница в несколько десятков градусов уже достаточно для выработки электроэнергии.

Вывод

В настоящее время у элементов Пельтье есть несколько больших недостатков: низкий КПД, высокая стоимость материалов и их эффективность. Но развитие в будущем этого направления сможет открыть множество возможностей эффективного применения данного феномена.

Литература:

1. Элемент Пельтье – как устроен и работает, как проверить и подключить (электронный ресурс) / Electricalschool –Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/1977-jelement-pelte-kak-ustroen-i-rabotaet.html>
2. Элемент Пельтье, принцип работы (электронный ресурс) / principraboty – Режим доступа: <https://principraboty.ru/yelement-pelte-princip-raboty/>

УДК 621.311

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРА ОТКРЫТИЯ ДВЕРИ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ
ПОМЕЩЕНИЯ В УЧЕБНОЙ МАСТЕРСКОЙ КОЛЛЕДЖА
THE USE OF A DOOR OPENING GENERATOR FOR LIGHTING A ROOM
IN A COLLEGE TRAINING WORKSHOP**

С.А. Долгий

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

zukovskya@bntu.by

S. Douhi

Supervisor – T. Zhukovska

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В статье предлагаю рассмотреть генераторное устройство для освещения помещения в учебной мастерской при открывании двери.

Abstract: In the article, I propose to consider a generator device for lighting a room in a training workshop when opening a door.

Ключевые слова: генераторное устройство, садовый светильник, дрель электрический, углошлифмашина.

Keywords: generator set, garden lamp, electric drill, angle grinder.

Введение

Перед педагогами стоит важная задача: воспитать новое поколение, которое, внедряя и используя современные технологии в различных отраслях производства, в то же время будет понимать важность экономии энергоресурсов, ибо, обладая ими, государство обеспечивает свою энергетическую безопасность, а бережное отношение к ним гарантирует экологическую чистоту окружающего нас мира.

Основная часть

В процессе обучения в колледже, была идея создать приспособление для преобразования механической энергии открытия двери в световую энергию светильника для освещения коридора.

Задачи проекта:

- Изучить технологию работы возобновляемых и нетрадиционных источников энергии.

- Разработать схему генератора электроэнергии.
- Подобрать комплектующие для создания электросхемы.
- Собрать схему.

Материально, технические ресурсы:

- База: УО «Кличевский государственный аграрно-технический колледж».
- Оборудование: станок сверлильный, паяльная станция, дрель электрическая, углошлифмашина.

- 3. Материалы: лист из нержавеющей стали 100×100×0,8мм, саморез 4×6мм, клей эпоксидный.

Предполагаемый результат:

- 1. Снижение бюджетных затрат на освещение учебных мастерских колледжа за счет создания дополнительного источника энергии.

В колледже было создано устройство, которое преобразует механическую энергию открывания двери в световую энергию светильника. В качестве прототипа для генератора открытия двери была использована электрическая схема садового фонарика на солнечных батареях.

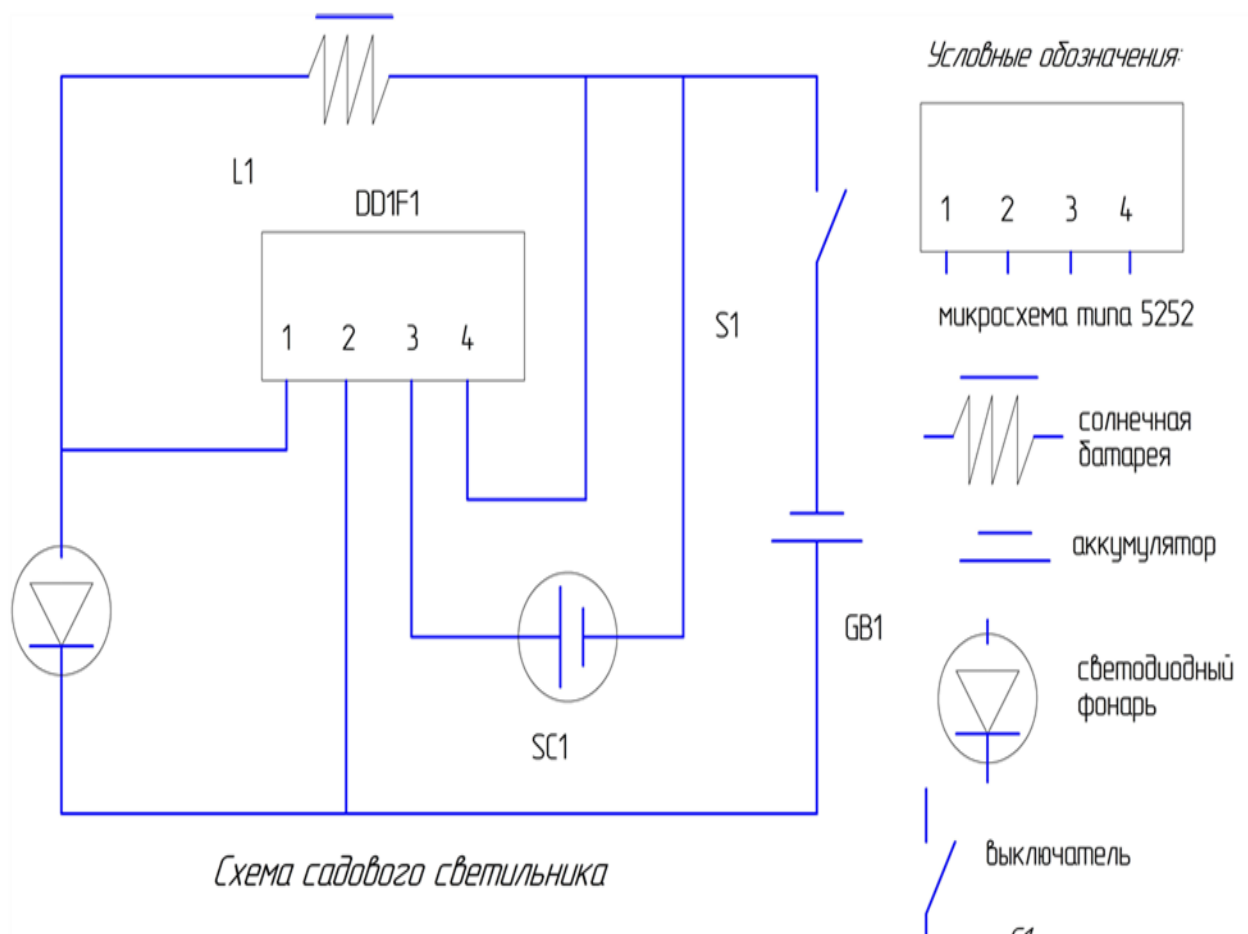


Рисунок1- Схема садового светильника

Принцип работы: Солнце в течение дня, освещая солнечный элемент светильника, заряжает встроенный аккумулятор. А с наступлением сумерек, когда солнечная батарея уже не дает энергии, электроника светильника включает схему электронного преобразователя, который преобразует запасенную энергию аккумулятора в более высокое напряжение для питания сверхъяркого светодиода.

Все солнечные светильники малого и среднего ценового диапазона в настоящее время оборудованы практически одинаковыми солнечными батареями площадью не больше 9 квадратных сантиметров. Солнечная батарея заражает аккумулятор. Размер и емкость аккумулятора зависит от габаритов светильника. Как правило, применяются стандартные аккумуляторы небольшой или средней емкости.

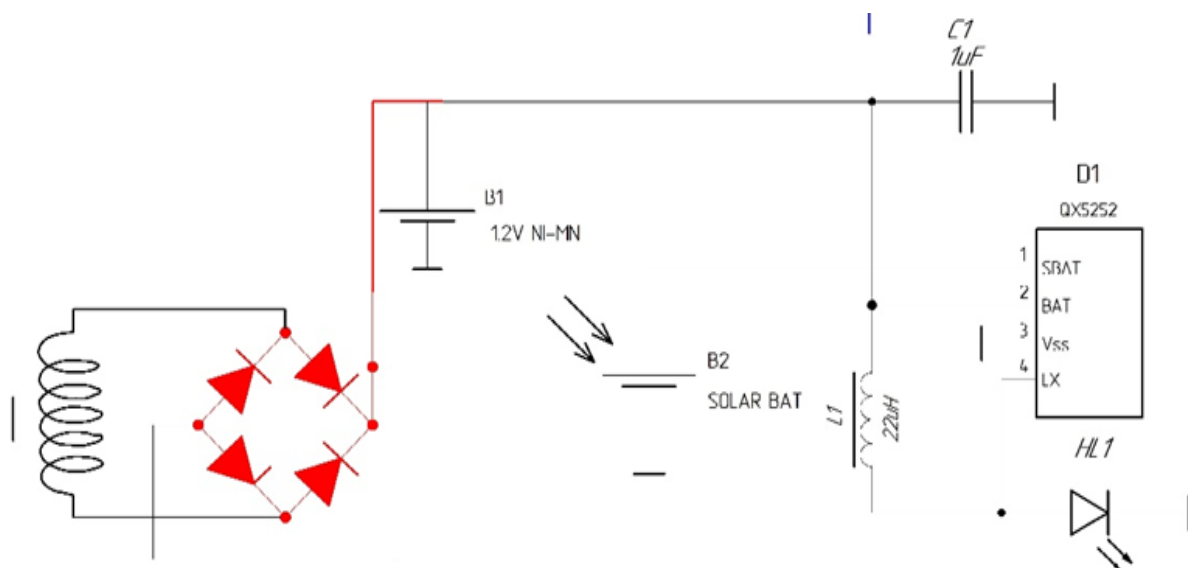


Схема светильника на генераторе открытия двери

Условные обозначения:

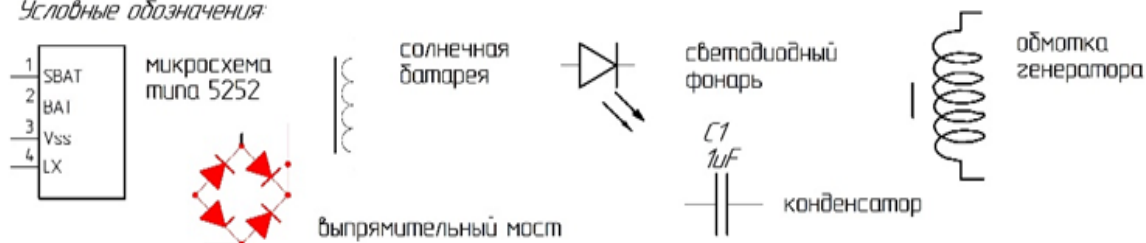


Рисунок 2 – Схема светильника на генераторе открытия двери

Вся электроника, за исключением индуктивности преобразователя L1, сосредоточена на одной микросхеме (в данных светильниках найдены две одинаковые микросхемы типа 5252 и 5251). Микросхемы при снижении напряжения от солнечной батареи начинают формировать пульсирующее напряжение для питания сверхяркого светодиода.

Для нашего устройства мы использовали микросхему садового светильника для управления включением света в зависимости от освещенности помещения. Дополнительно в эту схему мы устанавливаем генератор от динамического фонарика с выпрямительным мостом.

При недостаточной освещенности аккумулятор устройства заряжается от генератора. Генератор установки взят из карманного фонаря с динамо-машиной. В сумерках солнечный элемент включает лампу.



Рисунок 3 – Фонарик садовый



Рисунок 4 – Фонарь светодиодный

В учебной мастерской под руководством старшего мастера производился монтаж элементов электрической схемы генератора открытия двери, компоновка деталей и сборка генератора, после чего было выбрано место установки.



Рисунок 5 – Сборка генератора

Чтобы подтвердить экономию этого устройства, предлагаю ознакомиться с технико-экономическим показателем генератора открытия двери.

Таблица 1 – Техничко – экономические показатели генератора открытия двери

Показатель	Единица измерения	Значение
Стоимость генератора открытия двери Сг	рублей	18,6
Рабочее напряжение	В	1,2
Потребляемая сила тока	мА	20
Потребляемая мощность	Вт	0,07
Световой поток	Лм	100
Мощность генератора	Вт	0,5
Емкость аккумулятора	мАч	1000
Время полного заряда аккумулятора	Циклов «открытие-закрытие двери»	2000
Время непрерывной работы светодиодной лампы	час	8
Экономия электроэнергии при не включении 4-х люминесцентных ламп на освещение коридора в день	рублей	$\mathcal{E}=4\text{лампы}\times 0,04\text{кВт}\times 4\text{ часа}\times 0,26871=0,17$
Годовая экономия	рублей	$\mathcal{E}_{\text{год}}=0,17\times 255=43,6$
Срок окупаемости	лет	$0=\text{Сг}/\mathcal{E}_{\text{год}}=18,6/43,6=0,43$

За год использования устройства приносимая им экономия составляет 43 рубля 60 копеек.

Заключение

Применение в Республике Беларусь данного устройства, является важным источником снижения бюджетных затрат на освещение учебных мастерских колледжа, за счет создания дополнительного источника энергии.

Литература

1. Устройство для освещения помещения [Электронный ресурс]/ устройство для освещения помещения. -Режим доступа: <http://energoeffekt.gov.by/> . – Дата доступа: 22.03.2021.

УДК 378.001

**ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА
ОСНОВЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
TRACTION ELECTRIC DRIVE OF A VEHICLE BASED ON AN
ASYNCHRONOUS MOTOR**

Н.О. Савко

Научный руководитель – Сизиков С.В., к.т.н., доцент

sizikovsv@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N.O. Sauko

Scientific adviser – Sizikov S.V., Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной работе разработана система тягового электропривода для грузового электротранспорта магистрального типа. Для реализации системы тягового электропривода был разработан специализированный асинхронный электродвигатель, и система векторного управления

Ключевые слова: электромобиль, электропривод, эффективность, скорость, график.

Annotation: In this paper, a system of traction electric drive for electric freight transport of the main type has been developed. To implement the traction electric drive system, a specialized asynchronous electric motor was developed, and a vector control system

Key words: electric car, electric drive, efficiency, speed, schedule.

Введение

Электромобили (ЭМ) на сегодняшний день представляют собой один из наиболее перспективных путей развития автотранспорта, энергетической безопасности и сокращению выбросов загрязняющих веществ в городах. В долгосрочной перспективе электромобили важны для стран, стремящихся к уменьшению уровня выбросов углеводородов от наземного транспорта в городах.

Электромобиль в своём составе имеет систему тягового электропривода, который предназначен для приведения в движение транспортных средств (электровозов, электропоездов, тепловозов и теплоходов с электроприводом, трамваев, троллейбусов, электромобилей и т.п.).

Электротранспорт становится неотъемлемой частью современного мира, таким образом актуальность данной работы не вызывает сомнений.

Основная часть

Принципиальное отличие данного процесса регулирования скорости тяговых электродвигателей (второго характерного процесса в замкнутой системе) от процесса изменения параметров с целью формирования новой механической характеристики заключается в возможности получения различных значений скорости ЭД при постоянном значении величины момента

сопротивления. Воздействие водителя при этом является внешним воздействием.

За основу промышленной установки примем грузовик МАЗ-4371С0, для которого необходимо разработать тяговый электропривод, который заменит имеющийся ДВС.

На электромобили устанавливают литий-ионную батарею, которая состоит из нескольких модулей, соединенных между собой. Выдаваемый ток такой батареи составляет порядка 400-600 А постоянного тока, а ее емкость соответствует мощности электродвигателя.

Сила сопротивления движения в гору определяется по формуле:

$$F_{\pi} = mg \cdot \sin \alpha; \quad (1)$$

К электроприводу предъявляются следующие требования:

- время регулирования должно быть, как можно меньше;
- быстродействие ограничивается значением рывков;
- перерегулирование $< 5\%$;
- количество пусков и торможений определяется из энергетических показателей электропривода;
- максимальная скорость $V_{max} = 90$ км/ч;
- минимальная скорость $V_{min} = 5$ км/ч;
- диапазон регулирования $D = 18$;
- ускорение $0,6$ м/с².

Расчёт механической части автоматизированного электропривода механизма. Для анализа механической части электропривода используется переход от реальной кинематической схемы к одномассовой.

Расчетная схема одномассовой системы приведена на рисунке 1:

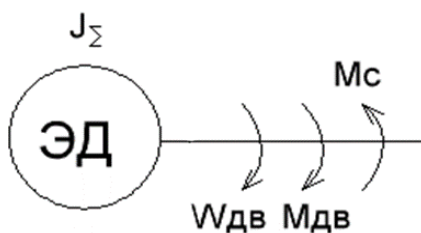


Рисунок 1 – Расчетная схема одномассовой системы электропривода

$$J_{\Sigma} = \delta \cdot J_{дв} + J_{мехпр}, \quad (3)$$

На данном этапе проектирования момент инерции ротора электродвигателя неизвестен.

Полная снаряжённая масса автомобиля (m_{π}): $m_{\pi} = 12000$ кг.

Максимальная скорость $V_{max} = 90$ км/ч = 25 м/с.

На каждой передаче электродвигатель выходит во вторую зону регулирования на скоростях от 314 до 840 рад/с.

Рассчитаем точные скорости автомобиля при переключении АКПП для второй зоны регулирования:

$$V_{авт} = \frac{\omega_{400-840} \cdot R_k}{i} = \frac{(400 - 840) \cdot 0,405}{15,25} = 10,68 - 24,5 \frac{м}{с},$$

Примем максимальную нагрузку необходимую для разгона до максимальной скорости с максимальной загрузкой на ровном участке дороги:

$$f = f_0(1 + (0,006 \cdot V_a)^2) = 0,007(1 + (0,006 \cdot 25)^2) = 0,0072,$$

$$F_k = mg \cdot f = 12000 \cdot 9,81 \cdot 0,0072 = 840 \text{ Н},$$

$$F_{св} = k_b \cdot S \cdot V^2 = 0,48 \cdot 7,7 \cdot 25^2 = 2310 \text{ Н},$$

$$m \cdot a = 12000 \cdot 2 = 24000 \text{ Н},$$

$$F_s = F_k + F_{св} \pm ma = 840 + 2310 + 24000 = 27150 \text{ Н}.$$

Время разгона:

$$t_{p1} = \frac{V_1}{a} = \frac{90 \cdot 1000}{0,6 \cdot 3600} = 41,6 \text{ с}.$$

Исходя из полученных данных, можно рассчитать мощность, необходимую для движения автомобиля при данных условиях.

$$P = F \cdot V_a = 3150 \cdot 25 = 78,750 \text{ Вт}.$$

Необходимо привести данные силы к моменту на колесе механизма:

$$M_s = F_s \cdot R_k = 27150 \cdot 0,405 = 10995,75 \text{ Н},$$

$$M = F \cdot R_k = 3150 \cdot 0,405 = 1275,75 \text{ Н}.$$

Скоростная характеристика механизма представлена на рисунке 2:



Рисунок 2 – Расчетная скоростная характеристика механизма

Параметрами электрических машин называются активные и индуктивные сопротивления Т-образной электрической схемы замещения (рисунок. 3).

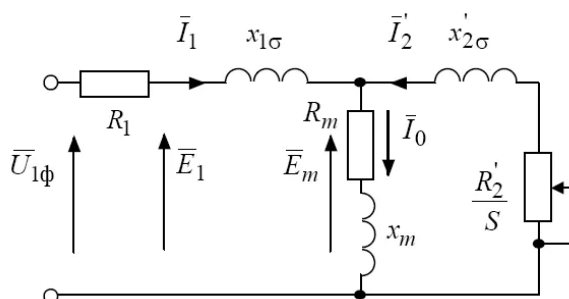


Рисунок 3 – Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Параметры асинхронного двигателя можно считать постоянными неизменными.

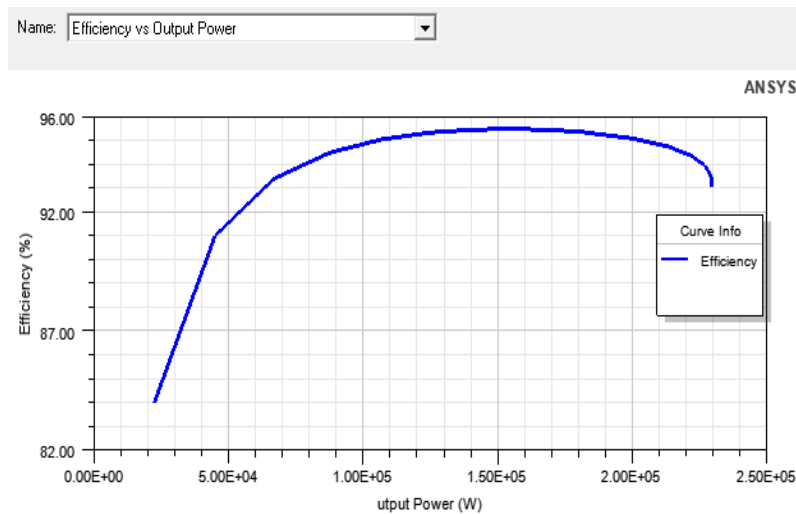


Рисунок 4 – Зависимость КПД асинхронного двигателя от его мощности

Исходя из полученных результатов, можно судить о то, что КПД двигателя достигает максимально 95%, cosφ асинхронного двигателя составляет 87%. Двигатель в состоянии работать в диапазоне частот вращения до 9000 об/мин, в режиме постоянства мощности, и имеет небольшой запас по моменту на всём диапазоне частот вращения.

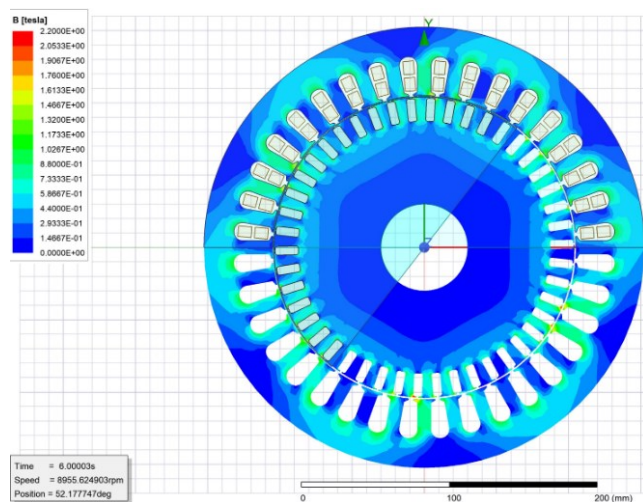


Рисунок 6 – Значение магнитной индукции асинхронного двигателя для скорости 9000 об/мин при номинальной нагрузке

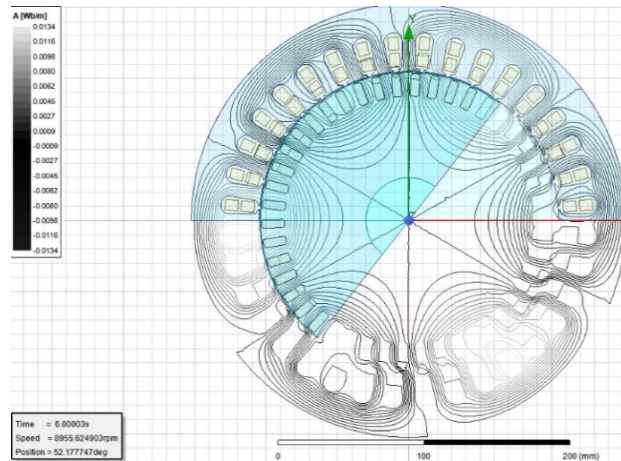


Рисунок 7 – Значение магнитного потока, электрической машины при скорости 9000 об/мин при номинальной нагрузке

По полученным результатам расчёта асинхронного двигателя заполним таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры схемы замещения АД

R_1 , Ом	X_1 , Ом	R_2' , Ом	X_2' , Ом	X_μ , Ом	$L_{1\sigma}$, Гн	$L_{2\sigma}$, Гн	L_m , Гн
0.012	0.0857	0.0064	0.0779	1.43	0.0001	0.0001	0.0015

Дифференциальные уравнения, описывающие электромеханическое преобразование энергии в асинхронном короткозамкнутом двигателе при описании во вращающейся системе координат ХУ будут иметь следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{1x} = R_1 i_{1x} + \frac{L_{12}}{L_2} \frac{d\Psi_2}{dt} + \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} \right) \left(\frac{di_{1x}}{dt} - i_{1y} \omega_0 \right), \\ u_{1y} = R_1 i_{1y} + \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_2 \omega_0 + \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2} \right) \left(\frac{di_{1y}}{dt} - i_{1x} \omega_0 \right), \\ 0 = \frac{R_2'}{L_2} \Psi_2 + \frac{d\Psi_2}{dt} - R_2' \frac{L_{12}}{L_2} i_{1x}, \\ 0 = R_2' \frac{L_{12}}{L_2} i_{1y} - \Psi_2 \omega_2, \\ M = \frac{3}{2} p \frac{L_{12}}{L_2} \Psi_2 i_{1y}, \end{array} \right. \quad (5)$$

Представим третье и четвертое уравнения системы уравнений в виде:

$$p\Psi_2 = R_2' \frac{L_{12}}{L_2} i_{1x} - \frac{R_2'}{L_2} \Psi_2,$$

$$\Psi_2 \omega_0 = \Psi_2 \omega + R_2' \frac{L_{12}}{L_2} i_{1y}.$$

Передаточная функция звена, преобразующая проекцию тока статора i_{1x} в потокосцепление Ψ_2 , имеет вид:

$$W_r = \frac{\Psi_2}{i_{1x}} = \frac{L_{12}}{T_2 p + 1}.$$

Структурная схема объекта управления (АД и преобразователь напряжения) во вращающейся системе координат ХУ представлена на рис 8.

L_1 , L_2 , L_{12} – индуктивности статора, ротора и взаимоиндукции соответственно:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0.00009 + 0.0015 = 0.0016 \text{ Гн},$$

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_m = 0.00008 + 0.0015 = 0.0016 \text{ Гн},$$

$$L_{12} = L_m = 0.0015 \text{ Гн}.$$

Электромагнитная постоянная времени цепи ротора:

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{0.0016}{0.0064} = 0.2513 \text{ с}.$$

Коэффициент магнитной связи ротора:

$$K_M = \frac{L_{12}}{L_2} = \frac{0.0015}{0.0016} = 0.9435.$$

Заданное значение потокоцепления ротора:

$$\psi_{2x} = \frac{1}{p_{\pi}} \sqrt{\frac{2M_{\text{НОМ}} R'_2}{3\omega_{\text{НОМ}} S_{\text{НОМ}}}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{2 \cdot 384 \cdot 0.0064}{3 \cdot 314.16 \cdot 0.0057}} = 0.3198 \text{ Вб}.$$

Заданные значения токов i_{1x} и i_{1y} рассчитываются по выражениям:

$$i_{1x} = \frac{\psi_{2x}}{L_{12}} = \frac{0.3198}{0.0015} = 210.76 \text{ А},$$

$$i_{1x\max} = 2i_{1x} = 2 \cdot 210.7582 = 421.52 \text{ А},$$

$$i_{1y\max} = \frac{2M_{\max}}{3p_{\pi} K_M \psi_{2x}} = \frac{2 \cdot 725}{3 \cdot 3 \cdot 0.9435 \cdot 0.3198} = 534.01 \text{ А}.$$

Постоянные времени цепи статора:

$$T_{1x} = \frac{L_{1\sigma}}{R_1} = \frac{0.00009}{0.012} = 0.0076 \text{ с},$$

$$T_{1y} = \frac{\sigma L_1}{R_1} = \frac{0.1099 \cdot 0.0016}{0.012} = 0.0147 \text{ с}.$$

Максимальные значения напряжений по осям x и y:

$$U_{1x\max} = R_1 i_{1x\max} - \omega_1 \sigma L_1 i_{1y\max},$$

$$U_{1x\max} = 0.012 \cdot 421.52 - 2 \cdot \pi \cdot 150 \cdot 0.1099 \cdot 0.0016 \cdot 534.01 = -83.89 \text{ В},$$

$$U_{1y\max} = R_1 i_{1y\max} + \omega_1 (\psi_{2x} + L_{1\sigma} i_{1x\max}),$$

$$U_{1y\max} = 0.012 \cdot 534.01 + 2 \cdot \pi \cdot 150 \cdot (0.3198 + 0.00009 \cdot 421.52) = 343.92 \text{ В}.$$

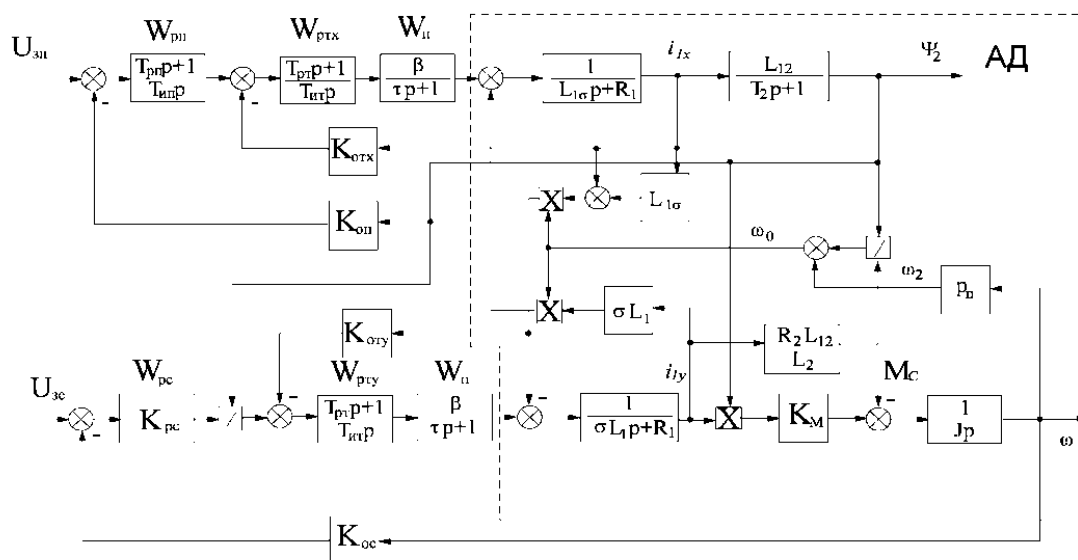


Рисунок 8 – Структурная схема АД и преобразователя напряжения

Заключение

Оптимальной системой решено выбрать асинхронный двигатель – преобразователь частоты, и спроектирована функциональная схема.

Расчёт и построение нагрузочных диаграмм показал, в качестве электродвигателя необходимо выбрать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР280S8 $P_H = 50$ кВт, $n_{ном} = 740$ об/мин. После выбора была произведена предварительная проверка по нагреву.

В качестве преобразователя электрической энергии был выбран преобразователь частоты фирмы Brusa DMC524 $P_H = 60$ кВт, $I_{ном,пр} \geq 108$ А.

Компьютерная имитационная модель автоматизированного электропривода механизма в среде Matlab позволила промоделировать переходные процессы в системе и более точно определить оптимальные значения регуляторов. Рассчитаны зависимости задающего воздействия от времени. Построены статические характеристики электропривода и рассчитаны переходные процессы, определены показатели качества системы.

В связи с тем, что данная установка не имеет заземления, и должна соответствовать особым требованиям по электробезопасности, были рассмотрены вопросы охраны труда и описаны меры безопасности при эксплуатации аккумуляторных батарей.

Экономическое обоснование технических решений показало, что данная система не имеет высокого экономического преимущества, однако это может значительно изменить в ближайшем времени.

Литература

1. Фираго, Б.И. Теория электропривода: учебное пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Минск: ЗАО "Техноперспектива", 2004. – 527 с.
2. Фираго, Б.И. Расчёты по электроприводу производственных машин и механизмов / Б.И. Фираго. – Минск: ЗАО "Техноперспектива", 2012. – 639 с.
3. Фираго, Б.И. Учебно-методическое пособие к курсовому проектированию по теории электропривода / Б.И. Фираго. – Минск, 2005.

4. Виноградов, А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов. ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 298 с.
5. Руктешель, О. С. Выбор параметров и оценка тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля: учебно-методическое пособие для студентов / О. С. Руктешель. – Минск: БНТУ, 2015. – 80 с.
6. Фролов, Ю.М.. Проектирование электропривода промышленных механизмов / Ю.М. Фролов. – М.: 2014. – 346 с.
7. Руктешель, О. С. Учебное пособие для студентов специальности «Автомобилестроение» по дисциплине "Конструкция автомобилей" / О.С. Руктешель. – Минск: БНТУ, 2000. – 68 с.
8. Петухов, С.В. Электропривод промышленных установок: учебное пособие / С.В. Петухов, М.В. Кришьянис. – Архангельск, 2015 – 300 с.

УДК 621.3.01

CALCULATION OF DIRECT CURRENT ELECTRICAL CIRCUITS

A. Pryazhko

Supervisor — S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

sizikovsv@bntu.by

Abstract: The article discusses two basic methods for calculating DC electrical circuits, their features and applications. One method is most effective for circuits with up to three nodes, the other is most effective for circuits with more than three nodes.

Keywords: Kirchhoff's laws, loop method, equation, node of electrical circuit, direction of current, loop, loop current, circuit branch.

Introduction

One of the most common tasks in electrical engineering is the calculation of a DC electrical circuit. And its solution is based on Kirchhoff's and Ohm's laws. There are several basic methods for calculating DC electrical circuits two of which we will consider.

The first is a direct application of Kirchhoff's laws to a circuit according to which equations are made according to the first and second laws. Almost any circuit can be calculated using this method, but the more nodes there are in the circuit, the more equations have to be made and the longer it takes to solve them [1]. For this reason, it is most efficient to calculate circuits through direct application of Kirchhoff's laws when there are no more than three nodes.

If the circuit will have more than three nodes, it makes sense to apply the loop method. The method is based on Kirchhoff's second law and the calculation of true currents through loops and allows the overall number of equations to be reduced [2].

Main body**Calculation of a direct current electrical circuit through direct application of Kirchhoff's laws**

Consider the sequence of circuit calculations through Kirchhoff's laws on the example of circuit 1.1 [3], fig.1. Resistances and EMF of all elements are known. It is required to find out the currents in all the branches of the circuit.

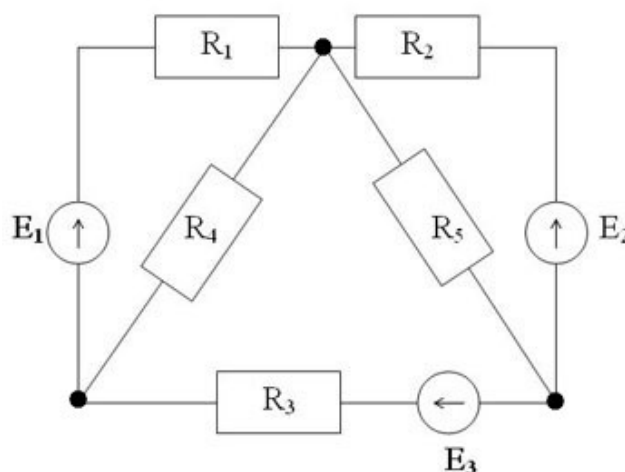


Fig.1 — Circuit 1.1

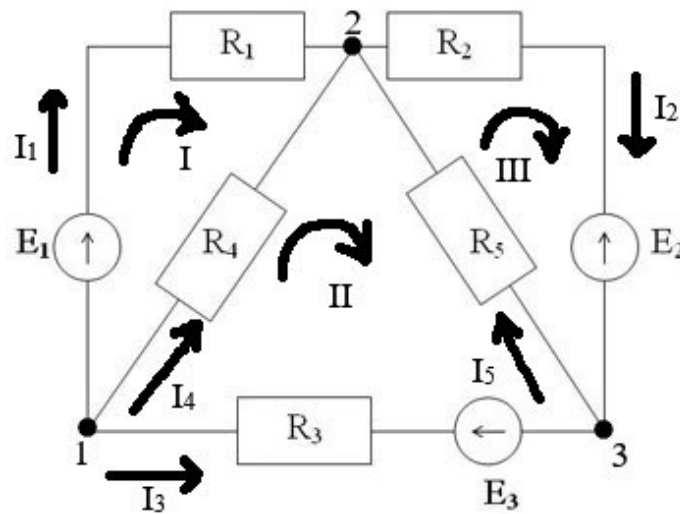
The number of unknown currents is equal to the number of branches (sections of circuit starting at one node and ending at another) in the circuit. The circuit 1.1 shows five branches, hence it follows that the unknown currents are also five, I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 .

The number of independent loops (a closed circuit section containing at least one new branch) is three.

According to Kirchhoff's first law, the number of equations to be made up is $n-1$, where n is the number of nodes. In this case the number of nodes is three and the number of equations according to Kirchhoff's first law is two [2].

Let's designate the nodes and the directions of currents and loop bypasses, fig.2. The directions are chosen arbitrarily as this has no effect on the end result. If we get a negative result for the currents, this will only indicate that the true direction of the currents is opposite to the one chosen.

Fig.2 — Circuit 1.2



Now make the equations according to Kirchhoff's first law. The currents leaving the node will be negative and those entering the node will be positive [3].

$$\text{Node 1: } -I_1 - I_3 - I_4 = 0$$

$$\text{Node 2: } I_1 - I_2 + I_4 + I_5 = 0$$

Next, we have to make equations according to Kirchhoff's second law. The number of equations in this case is equal to the number of independent loops, we have three of them [2]. The EMFs and currents whose directions match the chosen direction of the loop bypass will be positive, and those that do not match will be negative [3].

$$\text{Loop I: } I_1 R_1 - I_4 R_4 = E_1$$

$$\text{Loop II: } I_4 R_4 - I_5 R_5 - I_3 R_3 = E_3$$

$$\text{Loop III: } I_2 R_2 + I_4 R_4 = -E_2$$

In the end, the resulting system of equations will look as follows:

$$\begin{cases} -I_1 - I_3 - I_4 = 0 \\ I_1 - I_2 + I_4 + I_5 = 0 \\ I_1 R_1 - I_4 R_4 = E_1 \\ I_4 R_4 - I_5 R_5 - I_3 R_3 = E_3 \\ I_2 R_2 + I_4 R_4 = -E_2 \end{cases}$$

The system can be calculated in matrix form using the Cramer method.

It is useful to use the power balance [1] to check the correctness of the calculations. If the directions of the EMF and the current do not coincide, the power will be negative.

$$\sum EI = \sum I^2 R$$

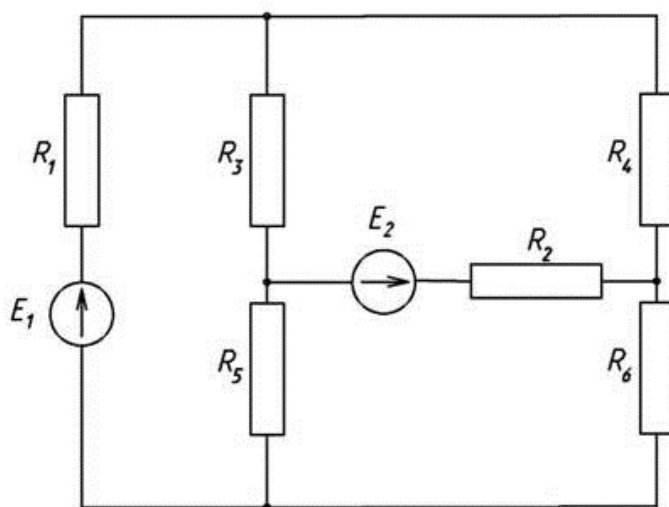
$$E_1 I_1 - E_2 I_2 - E_3 I_3 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2$$

Calculation of direct current electrical circuits using the loop method

When calculating complex circuits with more than three nodes, it is not practical to make equations according to Kirchhoff's laws, because the resulting system of equations is much too complex. In this method, the equations are only compiled for loop currents. Thus we exclude from the system the equations which are composed according to the first Kirchhoff's law [2].

Consider circuit 2.1 [4], fig. 3. Resistances and EMF of all elements are known. It is necessary to determine the currents in all branches of the circuit.

Fig.3 — Circuit 2.1



Circuit 2.1 has six branches and six unknown currents $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$, as well as four current sources and three independent circuits.

Let's number the nodes, mark the directions of currents and chose directions for bypassing the loop currents, circuit 2.2, fig.4.

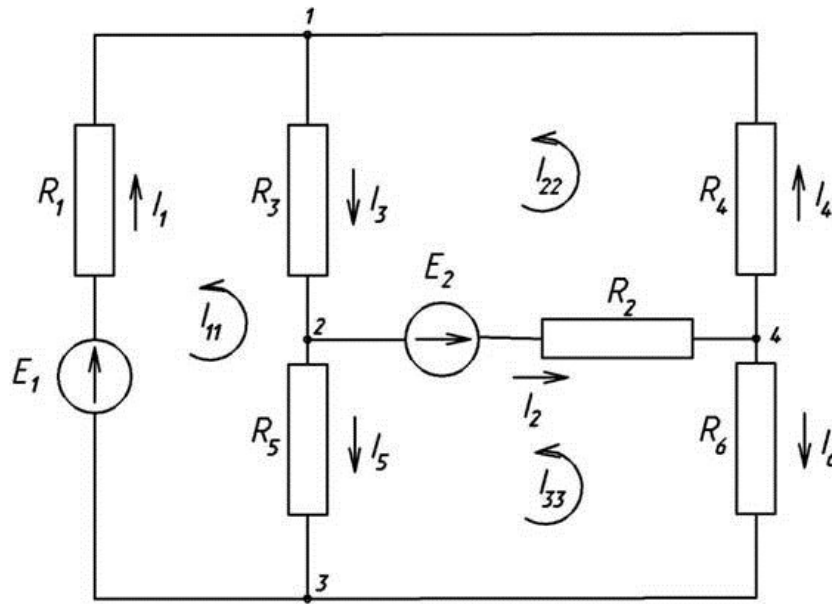


Fig.4 — Circuit 2.2

Since there are three independent loops in circuit 2.2, there will be an equal number of equations made according to Kirchhoff's second law for the loop currents I_{11} , I_{22} , I_{33} . These equations will be made in overall form, which requires calculating the eigen-resistances of all loops R_{11} , R_{22} , R_{33} , they are equal to the sum of all loop resistances [1]. Also it should be determined their relative resistance R_{12} , R_{21} , R_{23} , R_{32} , R_{13} , R_{31} , they are equal to the resistance of the overall branches of the two loops and are negative if the directions of the loop currents coincide [4].

$$R_{11} = R_1 + R_3 + R_5$$

$$R_{12} = R_{21} = -R_3$$

$$R_{22} = R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{23} = R_{32} = -R_2$$

$$R_{33} = R_2 + R_5 + R_6$$

$$R_{13} = R_{31} = -R_5$$

Now we should find the EMFs of loops E_{11} , E_{22} , E_{33} , they are equal to the sum of the EMFs in their loops, with those EMFs whose direction coincides with the direction of bypassing of the loop currents being positive. However, due to the specificity of the circuit the EMFs of the sources will only change their sign depending on the loop in question but will not change the result [1]. Therefore, in the

system of equations, instead of the EMF of the loops E_{11} , E_{22} , E_{33} the EMF of the sources E_1 and E_2 will be written.

The system of equations will have the following overall form:

$$\begin{cases} R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + R_{13}I_{33} = -E_1 \\ R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + R_{23}I_{33} = E_2 \\ R_{31}I_{11} + R_{32}I_{22} + R_{33}I_{33} = -E_2 \end{cases}$$

Since the resistances and EMFs are known from this system we will get the values of the loop currents I_{11} , I_{22} , I_{33} . It is also possible to use the matrix form, Cramer's method, for calculations here. Assuming that the values of the loop currents are the same as the real currents in the outer branches, but equal to the difference of the adjacent loop currents in the inner branches, we find the branch currents [2].

If the direction of the real current does not coincide with the loop current, the latter is written with a minus sign [4].

$$\begin{aligned} I_1 &= -I_{11} \\ I_4 &= I_{22} \\ I_6 &= -I_{33} \\ I_2 &= I_{22} - I_{33} \\ I_3 &= I_{22} - I_{11} \\ I_5 &= I_{33} - I_{11} \end{aligned}$$

It remains to check the power balance.

$$\sum EI = \sum I^2 R$$

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2 + R_6 I_6^2$$

Conclusion

Having considered the direct application of Kirchhoff's laws and the loop method for the calculation of a direct current electrical circuit, the following conclusions can be made:

- 1) The two methods are based on Kirchhoff's laws and are suitable for the calculation of direct current circuits;
- 2) The loop method makes it possible to calculate the currents of all branches with less time than the direct application of Kirchhoff's laws.

Since the direct application of Kirchhoff's laws results in systems with a large number of equations, for the calculation of complex branched circuits with many nodes and independent loops it is more rational to use the loop method.

Independently of which method to use for calculating the circuit, the correct answer will be obtained.

References

1. Bessonov, L. A. / L. A. Bessonov. Theoretical foundations of electrical engineering. Electrical circuits. Twelfth edition, revised and enlarged [Electronic

resource] : Elektrotehnicheskiy internet-portal. – Mode of access: <https://elec.ru>. – Date of access: 27.04.2022

2. Gerasimov, V.G./ Gerasimov V.G. Electrical and Electronics. Book 1 Gerasimov V. [Electronic resource] : PADABUM. – Mode of access: <https://padabum.com>. – Date of access: 27.04.2022

3. Calculation of complex DC circuits according to Kirchhoff's I and II laws) [Electronic resource] : Mode of access: <https://urok.1sept.ru>. – Date of access: 27.04.2022

4. Calculation of a branched linear DC electrical circuit with several sources of electrical energy [Electronic resource] : Free writes. – Mode of access: <https://freewriters.narod.ru/>. – Date of access: 27.04.2022

УДК 621.311.019.3

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ЭНТРОПИЯ КВАНТОВЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ**
**INFORMATION CAPABILITIES AND ENTROPY OF QUANTUM
MEASUREMENTS**

Траскевич Д.И.

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
savkova@bntu.by

D. Traskevich

Supervisor – Y.N. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university,
Minsk, Belarus

Аннотация: В данной работе описывается возможность использования квантовых измерений и квантовых компьютеров, а также проблемы информационной энтропии.

Ключевые слова: квантовые измерения, информационная энтропия, квантовые компьютеры.

Abstract: This paper describes the possibility of using quantum measurements and quantum computers, as well as problems of information entropy.

Keywords: quantum measurements, information entropy, quantum computers.

Четвертая Индустриальная революция ужесточила требования к точности контроля параметров продукции и послужила стимулом для развития квантовых измерений. Анализ работ [1-7] позволил сделать вывод, что квантовые измерения реализуются при помощи квантовых компьютеров и точек. Квантовый компьютер обрабатывает информацию иначе, чем обычный или «классический» компьютер в двух фундаментальных аспектах. Квантовая точка – это нанокристал неорганического полупроводникового материала (кремния, фосфида индия, селенида кадмия) [2]. Квантовые вычисления предоставляют новую парадигму для решения сложных задач оптимизации.

Метеорология. Квантовые компьютеры используются для картографирования чрезвычайно сложных погодных условий, предоставлять прогнозы для небольших, более конкретных регионов, в отличие от «стандартных» погодных систем, они могут [2]. Так, на выставке CES 2019 генеральный директор IBM Джинни Рометти представила новую систему прогнозирования погоды, разработанную компанией совместно с The Weather Company. Чтобы повысить точность прогноза в регионах, где нет специализированных метеорологических установок, в IBM собираются впервые использовать данные с датчиков атмосферы, установленных на самолетах [3].

Кибербезопасность. Квантовые компьютеры могут осуществлять взлом алгоритмов шифрования, защищающих инфраструктуру Интернета и конфиденциальные данные. Квантовобезопасные алгоритмы выполняют шифрование финансовых и банковских операций, военной и

правительственной связи, корпоративных сетей, медицинских записей и личных данных в облаке [2].

Аккумуляторы нового поколения. В своем исследовании IBM и Daimler симулировали основное состояние и дипольный момент молекул, используемых в литий-серной батарее: гидрид лития (LiH), сероводород (H₂S), гидросульфида лития (LiSH) и сульфида лития (Li₂S). Вычисления совершались с использованием четырех кубитов квантового компьютера IBM Q Valencia. Исследователи Daimler считают, что квантовые компьютеры способны с высокой точностью симулировать и вычислять поведение молекул в литий-серных батареях. Цель молекулярной симуляции — найти основное квантовое состояние элемента, его наиболее стабильную конфигурацию [4].

Солнечная энергия. Австралийские исследователи из Университета Квинсленда уже разработали гибкие и печатаемые квантовые точки, обеспечивающие эффективность преобразования энергии более чем на 16 % [5].

Оптимизация дорожных магистралей и трафиков. В 2018 г. На технической конференции Web Summit в Лиссабоне (Португалия) автоконцерн Volkswagen Group анонсировал систему управления дорожным трафиком на основе квантовых вычислений [2]. Группа ИТ-специалистов Volkswagen разработала алгоритм для регулирования транспортного потока, используя возможности высокопроизводительных квантовых компьютеров. Для реализации проекта Volkswagen воспользовалась мощностями квантовых компьютеров компании D-Wave. С помощью новой технологии «управляющие общественным транспортом организации, таксопарки и поставщики транспортных услуг смогут еще более эффективно использовать свои автопарки [1].

Медицина (диагностика заболеваний на ранних стадиях). Корпорация Microsoft, исследователи которой совместно с учеными из Университета Кейс Вестерн Резерв (Case Western Reserve University) в Кливленде успешно применили квантовые алгоритмы к методу медицинской визуализации - магнитно-резонансной дактилоскопии (MRF). В то время как традиционная магнитно-резонансная томография может идентифицировать только светлые или темные области, MRF способна точно различать типы тканей, позволяя получать более подробные и интерпретируемые изображения [6].

Физика элементарных частиц. На Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе (Европейская организация по ядерным исследованиям) дают данные по одному петабайту в секунду от миллиарда столкновений частиц каждую секунду. Анализ выполняется на одном миллионе процессорных ядер, работающих в 170 центрах обработки данных по всему миру. К 2027 году вычислительная мощность, необходимая для обработки и анализа данных ЦЕРН, увеличится в 50-100 раз. ЦЕРН уже начал работать с IBM над квантовыми компьютерами. Исследователи использовали «квантовую машину опорных векторов», чтобы увидеть, как контролируемое квантовое машинное обучение может быть использовано для идентификации событий бозона Хиггса в данных о столкновениях. Другая группа исследователей успешно смоделировала решеточные калибровочные теории на квантовом компьютере [2].

Другие области применения квантовых точек - защита документов и изделий от фальсификации, изготовление и идентификация маркеров в медицинских и биологических исследованиях, производство современных дисплеев, лазерные технологии, энергетика [5].

В последние несколько лет правительства по всему миру и крупные технологические компании, такие как Google, IBM, Microsoft, Alibaba и многие другие, инвестируют средства в квантовые вычисления. Примеры включают в себя европейский флагман квантовых технологий стоимостью 2 миллиарда евро, квантовый центр Китая стоимостью 10 миллиардов долларов США и счет за квантовые вычисления в размере 1,2 миллиарда долларов США. Ученые из Корнелльского университета провели систематическое исследование квантовых вычислений для задач оптимизации энергетических систем, выявив новые перспективы. Так, в январе 2019 года крупная газовая компания ExxonMobil подписала соглашение с IBM о разработке энергетических и производственных технологий нового поколения с использованием квантовых вычислений [8].

В таблице 1 показаны среды выполнения одного ядра процессора и квантового процессора D-wave для различного количества объектов. Таблица показывает, что вычислительное время для первого растет экспоненциально с количеством объектов: для 14 объектов одно ядро процессора работает более 11 часов, в то время как процессор Dwave занимает всего 16 минут [8].

Таблица 1 – Среда выполнения одного ядра процессора и квантового процессора D-wave для различного количества объектов

No. facilities	Best known solution	Gurobi solver (single CPU core)		Quantum solver (D-wave 2000Q)	
		time(s)	obj. fun.	time (s)	obj. fun.
3	24	1.33	24	0.024	24
4	32	1.48	32	0.062	32
5	58	1.5	58	0.066	58
6	94	1.35	94	0.043	94
8	214	1.96	214	0.127	214
9	264	2.01	264	445.23	264
12	578	325.68	578	1946.12	578
14	1014	42,010.42	1014	1008.7	1026
15	1150	— ^a	1160	986.19	1160
17	1732	— ^a	1750	921.71	1786
20	2570	— ^a	2674	744.76	2640

В некоторых трактовках статистической термодинамики, человек связывает физическую энтропию со статистической «информацией». Трудность этого подхода заключается в том, что информационная энтропия S не всегда просто связана с термодинамическим теплом [7]:

$$d'Q = -f_k dx^k \quad (1)$$

При этом статистическая энтропия квантового измерения считается возрастающей, однако фрикционный нагрев (т.е. увеличение

термодинамической энтропии $d'Q/T$) в низкоскоростном при проективном измерении практически равен нулю [7].

Парадокс может быть разрешен, если понять, что во время развития унитарного времени в уравнении [7]:

$$ih \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right) = [H, \rho], \quad (2)$$

где:

i - мнимое число;

h - постоянная Планка;

H – оператор Гамильтона;

ρ - матрица плотности.

на самом деле строго верно, что статистическая энтропия уравнения [7]:

$$S = -k_B \text{Tr}(\rho \ln \rho), \quad (3)$$

не увеличивается вообще, т.е. [7]:

$$\frac{dS}{dt} = -k_B \frac{d}{dt} \text{Tr}(\rho \ln \rho), \quad (4)$$

Только благодаря самому постулату проекции можно показать, что статистическая энтропия увеличивается [7]:

$$'Q = T dS, \quad (72)$$

и тогда нет большой разницы между статистической энтропией и термодинамической [7]:

$$S = k_B \ln \Omega \quad (5)$$

где:

k_B - постоянная Больцмана;

Ω – статический вес макросостояния с энтропией S .

Если квантовый объект имеет бесконечное число степеней свободы, то разумно сослаться на неединичное развитие времени между гильбертовыми пространствами, которые не являются унитарно эквивалентными. Для этой ситуации представляется разумным, что эквивалентность между статистической энтропией и термодинамической энтропией может быть установлена во время необратимой динамики. Обсуждение, представленное в данной работе, является точным и описывает проблему понимания связи между квантовыми измерениями и вторым термодинамическим законом увеличения энтропии [7].

Литература

1. Volkswagen начала использовать квантовый компьютер для управления трафиком на дорогах [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru>.
2. 12 лучших применений квантовых вычислений дорогах [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://new-science.ru/12-luchshih-primenenij-kvantovyh-vychislenij/>.

3. IBM представила новую систему прогнозирования погоды GRAF - InfoCity [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://infocity.az/2019/01/ibm-sistema-graf/>.
4. IBM и Daimler разрабатывают аккумулятор нового поколения для автомобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vc.ru/future/100858-ibm-i-daimler-razrabatyvayut-akkumulyator-novogo-pokoleniya-dlya-avtomobiley>.
5. Квантовые точки: полиграфия и другие области применения дорогах [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pechatnick.com/articles/kvantovie-tochki-poligrafiya-i-drygie-oblasti-primeneniya>.
6. Таблетка от смерти: как квантовые алгоритмы меняют медицину [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/611b66af9a79471c0b131f3b>
7. Quantum Measurements, Information and Entropy Production [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/quant-ph/9810095>.
8. Use cases of quantum computing in the energy industry | by Jirawat Tangpanitanon | QTFT | Medium [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://medium.com/qtft/use-cases-of-quantum-computing-in-the-energy-industry-2974705d379a>

УДК 621.373.826

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРА ДЛЯ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ LASER APPLICATION FOR COMMUNICATION AND INFORMATION TRANSMISSION

Н.В. Бунас, Д.И. Романеко

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Bunas, D. Romaneko

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье мы рассмотрим принцип работы устройств лазерной связи, различные виды и способы лазерной связи.

Abstract: In this article, we will consider the principle of operation of laser communication devices, various types and methods of laser communication.

Ключевые слова: лазер, приемник, передатчик, связь, устройство.

Keywords: laser, receiver, transmitter, communication, device.

Введение

На данный момент невозможно представить наш мир без различного рода компьютеров и сетей на их основе. Развитие электротехники и электроники, в наше время, набирает все большие и большие обороты. Ни для кого не секрет – для осуществления коммуникаций больше не препятствует ни время, ни физические границы, ни расстояние. Одной из новейших, беспроводных видов связи открытой относительно недавно, является лазерная связь. Рассмотрим ее.

Основная часть

Для начала рассмотрим один из простейших способов связи с помощью лазера. Этот способ заключается в передаче текста при помощи азбуки Морзе. Для этого способа необходим: непосредственно сам лазер и приемное устройство. При помощи периодического включения лазера с разной продолжительностью включения можно передавать информацию от одного источника к другому.

Например: одно короткое включение и одно длинное – буква «А», одно длинное и три коротких – буква «Б» и т.д.

Существует так же усовершенствованный способ связи при помощи лазера. Для него необходимы два устройства: передатчик сигнала и приемник. Устройство передачи состоит из: лазера; модулятора, который необходим для наложения информации на лазерный пучок; оптической системы, для передачи информации на большое расстояние; а также микрофона с усилителем. В приемное устройство входят: оптическая система, фотодетектор, демодулятор, усилитель звука и динамик. Если приемник и передатчик сигнала не стационарные так же необходимо использовать устройство нацеливания лазера. Принцип работы данной линии связи: речь, в виде звуковой частоты, поступает на микрофон передатчика. С помощью микрофона речь преобразуется в электрический сигнал, поступающий на модулятор, через который проходит излучение лазера. Оно становится промоделированным и поступает на

оптическую систему. Данным излучением с помощью прицельного устройства облучается то место, где расположен приемник. Оптическая система приемника собирает лазерный пучок и направляет его на фотодетектор. С фотодетектора сигнал поступает на демодулятор, где он преобразует сигнал в электрическую частоту, которая проходит через усилитель звука и поступает на динамик.

Заключение

Подведем итог. Лазерная связь имеет большое преимущество перед радиосвязью при осуществлении беспроводных подключений. Также, одной из сильных сторон лазерных устройств коммуникаций является их сочетаемость с большим спектром теле-оборудования разного применения (мостов, маршрутизаторов, повторителей и т.д.), что подтверждает факт того, что лазерные устройства коммуникации, также решающие задачу передачи информации более продуктивным и малоуязвимым образом, имеют и будут иметь все большее применение в различных сферах нашей жизни.

Литература

1. Федоров, Б.Ф. Лазеры. Основы устройства и применение: учеб. Пособие / Б.Ф. Федоров. – Москва: ДОСААФ, 1988. – 190 с.
2. Борейшо, А.С. Лазер. Применения и приложения: учеб. пособие / А.С. Борейшо, И.М. Евдокимов, В.А. Борейшо. – Санкт-Петербург: Лань. 2016 – 528 с.
3. Байбородин, Ю.В. Основы лазерной техники: учеб. пособие / Ю.В. Байбородин. – Киев: Выща школа, 1988. – 210 с.

УДК 621.314

**СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ И ВИДЕОКАРТ
СОВРЕМЕННЫХ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ
POWER SYSTEMS OF MICROPROCESSORS AND VIDEO CARDS OF
MODERN PERSONAL COMPUTERS**

Е.А. Карижский, З.Л. Завалов, К.В. Юдчиц

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Karizhsky, Z. Zavalov, K. Yudchits

Scientific supervisor – G. Mikhaltsevich, senior lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье мы рассмотрим систему питания микропроцессоров и современных персональных компьютеров, разберём проблемы и методики их решения.

Abstract: In this article we will consider the power supply system of microprocessors and modern computers, analyze the problems and methods of their solution.

Ключевые слова: Драйвер, высокие токи, пульсации, блок питания.

Keywords: Driver, high currents, ripples, power supply.

Введение

Центральный вычислительный модуль (CPU), или же просто центральный процессор. Мозговой центр любого устройства, будь то смартфон или мощная научная вычислительная станция. CPU состоит из нескольких высокочастотных исполнительных блоков (ядер) и каждое ядро обладает собственной сверхбыстрой кэш-памятью. Это устройство справляется с последовательной обработкой данных, поэтому обеспечивает бесперебойную обработку всех текущих задач на устройстве, кроме графики – за нее отвечает GPU, графический модуль.

Актуальные графические процессоры в компьютерах, предназначенные для параллельных вычислений большого количества операций, типа GPU потребляют большое количество электроэнергии. Они питаются малым напряжением (1.2-1.5 В) и при этом потребляют значительные силы тока от блока питания. Это может привести к нагреву силовых элементов блока питания и энергетическим потерям в нём. Пусть, видеокарта потребляет 350 Вт. Если напряжение электропитания на чип составляет около 1,35 В, то ток в питающих проводах должен составлять примерно 260 А. Для передачи такого тока с небольшими энергетическими потерями на 1 метр от блока питания до видеокарты нам нужен будет медный провод сечением, по крайней мере, в 120-150 мм². Даже не принимая во внимание то, что какие следует выбрать клеммы для того, чтобы предотвратить их плавление, появляются проблемы пластичности подобного провода, а в свою очередь токоподводящие провода будут стоять на порядок дороже тех блоков питания, которые в данный момент находятся в продаже.

В настоящее время на материнскую плату для питания процессора подают напряжение величиной 12 В. Блок питания может выдавать и иные напряжения, но для блоков, потребляющих большую мощность, используют именно 12 В линию, чтобы обеспечить наименьшие потери при передаче электрического тока. А всё остальное, то есть преобразование 12 В, в более низкие напряжения уже осуществляется на материнской плате или на плате видеокарты в непосредственной физической близости к самим кристаллам.

Основная часть

Итак, допустим, что у нас есть питание в 12 В, а нам надо 2 В. Для этого можно использовать линейный стабилизатор напряжения, однако, как уже говорилось, мы имеем дело с достаточно высокими мощностями и КПД подобной схемы будет крайне низок. Поэтому в современных материнских платах используется импульсный преобразователь, который преобразует постоянное напряжение 12 В, в импульсное напряжение с нужной широтно-импульсной модуляцией. Затем для сглаживания скачков напряжения ставится *LC* фильтр. На выходе мы получим некоторое подобие постоянного при получении высокого КПД (рисунок 1). Конечно, это не 100%, но значительно больше, чем в линейном стабилизаторе.

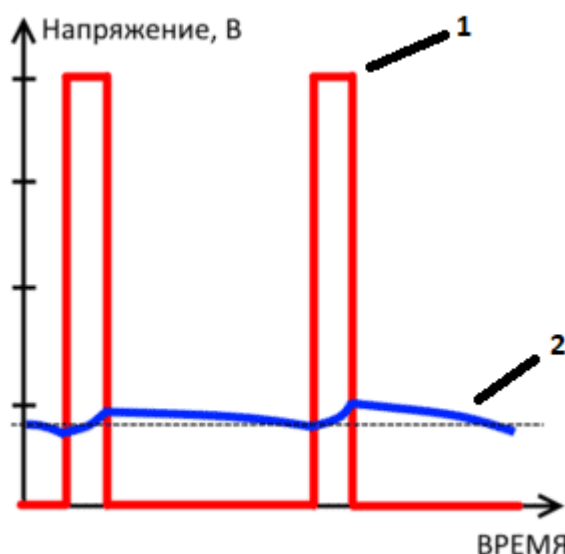


Рисунок 1 – Форма сигнала на входе и выходе преобразователя:
1) импульсы до сглаживания, 2) – импульсы после сглаживания

Для подачи импульсного питания применяем сборку из пары МДП транзисторов (МДП транзисторов с изолированным затвором *n*-типа). Затворами этих транзисторов управляет драйвер, с низким выходным сопротивлением. У драйвера есть задачи, которые представляют собой быстрое управление затворами МДП-транзисторов. Нагрузка, то есть потребление процессором, непрерывно изменяется, и эти драйверы обязаны делать это на требуемый промежуток времени. А этот требуемый промежуток времени включения драйверу передает контроллер. Задача лишь заключается в том, чтобы получить среднее значение постоянного напряжения при некотором

значении пульсаций напряжения. Процессор потребляет значительное количество энергии. Таким образом, существуют две основные задачи. Одна задача заключается в решении проблемы высоких потребляемых токов в видеокартах и процессоре, а другая в сглаживании пульсаций в импульсных преобразователях устройств питания.

Начнём с решения проблемы высоких токов

Суть в том, что физические размеры n -перехода в открытом состоянии в МДП-транзисторах существенно ограничены, а это означает, что в этом месте есть определённое сопротивление и как следствие осуществляется их нагрев при протекании тока. Часто применяются МДП-транзисторы с максимальным значением тока в открытом состоянии – 25-65 А.. Задача с недостатком пропускной способности по току решается относительно легко. Это делают при помощи простого увеличения количества цепей питания (рисунок 2).

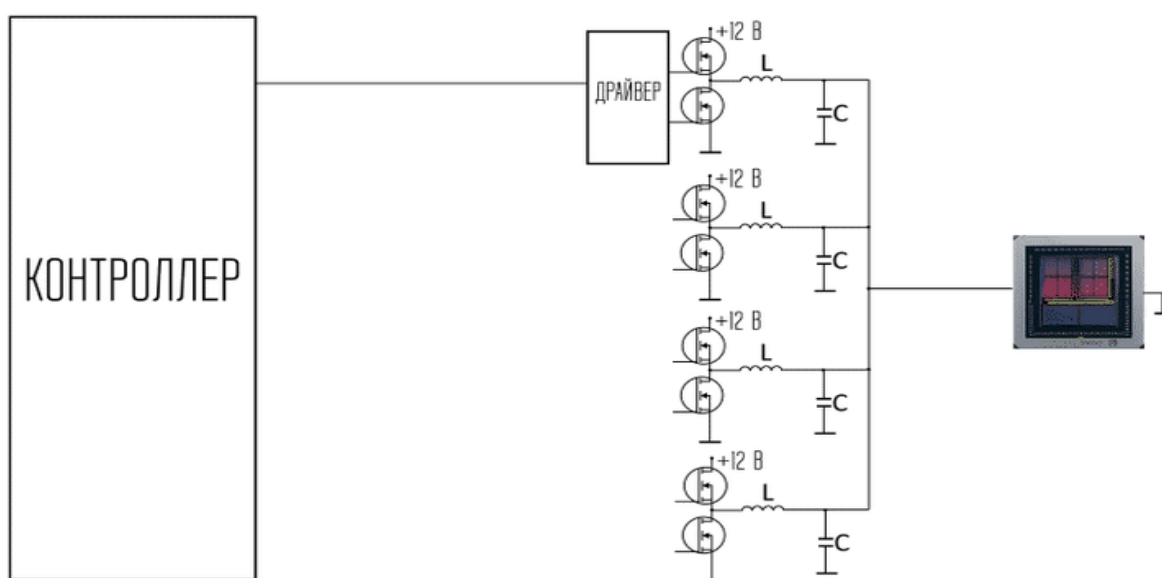


Рисунок 2 – Узел питания видеокарты с увеличенным выходным током

Предположим, нам необходимо обеспечить ток питания 240 А, разработчик, имеет, транзисторы способные пропускать 40 А, делим 240 на 40 и получается 6. Такое количество цепей питания минимум потребуется.

Переходим ко второму вопросу – пульсациям. Тут есть два пути решения проблемы:

1) Первый – наиболее простой и понятный. Если повысить частоту импульсов. При этом промежуток времени, на котором происходит сглаживание импульсов выходного сигнала, будет гораздо короче. Такой метод хорошо себя показывает и широко используется, однако проблема состоит в том, что характеристики транзистора в момент переключения значительно ухудшаются. То есть, при повышении частоты повышается нагрев МДП-транзисторов. При этом снижается КПД цепи. И все же такой способ применяется весьма часто.

2) Второй способ основан на том, что нужно фазу включения и выключения транзисторов разделить, не допуская их наложения друг на друга (эта работа лежит на контроллере), пульсации значительно уменьшаются, и при

этом не произойдет ни повышения температуры, ни потери КПД, виртуально частично имитируя более высокую частоту.

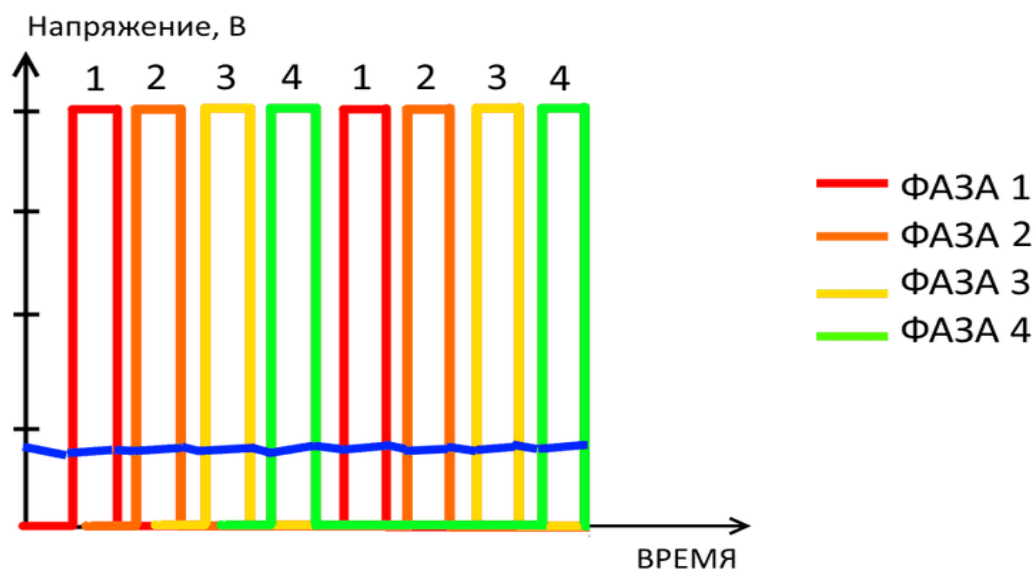


Рисунок 3 – Форма импульсов управления с нужной фазой включения и выключения транзисторов

Заключение

Стоит добавить, что подобная схема питания используется также и в графических ускорителях (видеокартах). Цепи питания в них располагаются непосредственно на текстолите, рядом с графическим чипом.

Литература

1. Еременко, В.Т. Основы электротехники и электроники: учебник для высшего профессионального образования / В.Т. Еременко, А.А. Рабочий, А.П. Фисун и др.; под общ. ред. В.Т. Еременко. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2012. – 529 с.
2. Касаткин, А.С. Электротехника. Учебное пособие для вузов / Касаткин А.С., Немцов М.В. – Энергоатомиздат, 2001.

УДК 621.311

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ДОМАХ USE OF SOLAR ENERGY IN HOMES

А.С. Щигельский, Н.А. Федоренко, Е.В. Чалко

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

A.S. Shchigelsky, N.A. Fedorenko, E.V. Chalko

Scientific supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior lecturer

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье рассмотрено использование солнечной системы в домах, в качестве отопления.

Abstract: This article discusses the use of the solar system in homes, as heating.

Ключевые слова: солнечные панели, отопление в домах, электростанция, энергетическая эффективность.

Keywords: solar panels, heating in houses, power plant, energy efficiency.

Введение

Во многих климатических условиях отопление является крупнейшим потребителем энергии в доме. Вот несколько вариантов использования обогревателей на солнечных батареях, чтобы оставаться в тепле зимой.

В большинстве климатических зон, центральное отопление осуществляется с использованием ископаемого топлива. Наиболее распространен природный газ, но во многих регионах по-прежнему используется масляное отопление. Даже уголь не исчез полностью для домашнего отопления. Но зачем отапливать свой дом ископаемым топливом, когда есть солнце? Как минимум, солнце может обеспечить дополнительное отопление вашего дома. Если потребности в отоплении скромны или если у вас супер изолированный дом в холодном климате, солнечная энергия может обеспечить 100% потребностей в отоплении.

Даже если дом довольно обычный, то можно переоборудовать систему отопления на солнечных батареях практически в любую существующую установку.

Энергетическая эффективность в первую очередь: если вы хотите добавить в свой дом отопление на солнечных батареях, вашим первым шагом должно стать решение проблемы энергетической эффективности. Ваша система отопления будет меньше и дешевле, если в ней будет меньше работы, а изоляция и герметизация дома, как правило, являются самым дешевым способом снизить ваши счета за электроэнергию.

Самый лучший солнечный обогреватель для дома

Солнечные тепловые панели будут улавливать больше солнечной энергии в виде тепла, но для большинства домов, лучший способ отапливать дом солнечной энергией – это установить тепловой насос и фотоэлектрические солнечные панели. Для этого есть несколько причин:

- 1) Широкодоступный опыт. На всей планете насчитывается несколько миллионов солнечных фотоэлектрических установок и множество компаний, которые их устанавливают. Установщики тепловых насосов также очень распространены, учитывая, что они очень похожи на кондиционеры. С другой стороны, солнечная тепловая энергия встречается гораздо реже, а это значит, что найти опытного подрядчика, как правило, будет сложнее.
- 2) Большой выбор товаров: Солнечные фотоэлектрические и тепловые насосы очень популярны во всем мире, поэтому существует большой выбор производителей на выбор. С другой стороны, солнечная тепловая энергия популярна в некоторых частях мира, но гораздо менее распространена в Беларуси. Из-за этого у вас меньше солнечных тепловых продуктов на выбор; некоторые домовладельцы даже выбирают маршрут DIY и строят свои собственные тепловые коллекторы. Солнечные тепловые системы требуют большего обслуживания. Можно использовать фотоэлектрическими панелями в течение 25 лет, при этом редко проводить их техническое обслуживание, если у них имеется автоматическая очистка поверхности панели. Тепловые насосы, как и кондиционеры, требуют периодических сервисных проверок. Но солнечные тепловые системы основаны на водопроводе, солнечных коллекторах, теплоносителях, насосах и многом другом. Существует гораздо больше механического оборудования, о котором нужно заботиться, и больше компонентов, которые могут выйти из строя.

Основная часть

Вы получаете нагрев и охлаждение: тепловые насосы могут обогревать и охлаждать ваш дом, заменяя как печь, так и кондиционер. С другой стороны, солнечная тепловая система может обогревать только ваш дом.

Другими словами, в то время как солнечный тепловой коллектор будет улавливать больше солнечной энергии для обогрева вашего дома, другие практические соображения означают, что большинству людей лучше использовать более популярную технологическую комбинацию фотоэлектрических панелей и теплового насоса.

Тем не менее, существует большое разнообразие домашних систем солнечного отопления, начиная с пассивных солнечных до активных солнечных, использующих наземные или воздушные тепловые насосы. Каждая из этих технологий имеет преимущества, которые могут подойти вашему дому.

Солнечное отопление для дома: существует два типа отопления солнечной энергией: пассивное солнечное и активное солнечное.

Пассивная солнечная энергия основана на конструкции дома для обогрева без использования механических устройств, в то время как активная солнечная энергия использует различные технологии, такие как фотоэлектрические и солнечные тепловые нагреватели.

Для большинства домов наилучшим подходом является активное солнечное отопление с использованием фотоэлектрических элементов и

теплового насоса. В то время как существуют и другие типы доступных солнечных обогревателей, многие из них довольно экзотические и редко используются.

Тепловые насосы становятся обычным явлением и часто могут быть установлены любым подрядчиком, который уже устанавливает центральные кондиционеры. Кроме того, многие коммунальные предприятия предлагают скидки на высокоэффективные тепловые насосы.

Что такое пассивное солнечное отопление? Пассивное солнечное отопление означает, что здание спроектировано таким образом, чтобы улавливать солнечный свет для обогрева внутренних помещений. В Северном полушарии это означает наличие большого количества стекла, выходящего на южную сторону, которое пропускает солнечный свет внутрь здания, и меньшего количества стекла на северной стороне, чтобы лучшая изоляция стен могла удерживать тепло.

Другие особенности могут включать длинные навесы, предназначенные для того, чтобы пропускать свет в зимние месяцы, но затенять окна летом, когда солнце находится выше в небе. Частью этого может быть озеленение, например, использование лиственных пород на южной стороне здания, которые теряют свои листья и пропускают солнечный свет зимой, но блокируют солнечный свет летом.

Этот метод называется пассивным, потому что в нем не используется электричество или механические технологии. Тем не менее, могут быть использованы высокие технологии, такие как окна, с двойным или тройным остеклением, или тепловые массы в стенах или полу, которые помогают удерживать тепло.

В то время как полностью пассивный солнечный дом должен быть спроектирован с нуля, любой домовладелец все равно может сделать простые вещи, чтобы максимизировать приток солнечного тепла зимой и уменьшить его летом.

Например, вы можете сэкономить большое количество энергии, просто управляя жалюзи. Если это солнечный день зимой и у вас много окон, выходящих на южную сторону, оставляя ваши жалюзи широко открытыми, вы можете добавить тепла, эквивалентного включению обогревателя. И наоборот, если держать жалюзи, закрытыми летом, это может значительно сократить ваши потребности в кондиционировании воздуха.

Пассивные солнечные обогреватели для дома: Принцип пассивного солнечного нагрева может быть использован для создания обогревателей, которые не используют никаких технологий, кроме небольшого вентилятора.

Эти простые обогреватели используют солнечный свет для пассивного нагрева воздуха внутри обогревателя и небольшой вентилятор для перемещения теплого воздуха внутри здания. Они могут быть эффективными и в принципе аналогичны более сложным коммерческим продуктам для солнечных тепловых коллекторов.

Что такое активные системы солнечного отопления? Активное солнечное отопление использует механическую или электрическую технологию для

добавления тепла в ваше здание. Существует множество различных типов солнечных обогревателей, некоторые из них довольно экзотические.

Отопление дома с помощью солнечных тепловых коллекторов: солнечные тепловые коллекторы непосредственно улавливают солнечную энергию в виде тепла и передают ее в резервуар для горячей воды в доме.

В отличие от солнечных фотоэлектрических панелей, которые используют полупроводники для преобразования солнечного света в электричество, солнечные тепловые коллекторы являются относительно простыми устройствами. Они работают, используя коллектор темного цвета для поглощения солнечных лучей. Коллектор нагревается, и нагретая жидкость внутри проходит по контуру к теплообменнику, который отводит тепло в резервуар для горячей воды. Подобная система может обеспечить потребности дома в горячей воде, или же горячую воду можно использовать для обогрева помещений.

Типы солнечных тепловых обогревателей для дома: существуют различные конструкции солнечных тепловых коллекторов. Электростанции коммунального масштаба используют зеркальные поля для отражения солнечного света в центральном коллекторе, который использует огромное количество собранной тепловой энергии для приведения в действие паровых турбин.

Электростанция *Ivanpah* огромна, её номинальная мощность составляет около 400 МВт. Такой тип дизайна возможен в пустыне, где пространство не имеет значения, но домовладельцу нужно что-то более компактное.

Вот что такое коллектор плоских пластин. Это просто набор заполненных жидкостью трубок внутри черного коллектора со стеклянной крышкой. Стеклянная крышка позволяет солнечному свету нагревать трубы внутри, а также помогает улавливать тепло внутри коллектора. В зависимости от вашего климата и необходимого количества тепловой энергии несколько коллекторов могут быть соединены вместе, чтобы конечная температура была очень высокой – даже выше точки кипения воды. Самое приятное в этих коллекторах то, что они незаметны. Каждый из них занимает примерно столько же места, сколько фотоэлектрическая панель. Существует два основных типа:

- Плоские пластинчатые коллекторы состоят из медных трубок внутри стеклянной панели. Жидкость движется по медному трубопроводу и нагревается перед выходом из коллектора.
- Вакуумные (вакуумные) трубчатые коллекторы работают аналогично, за исключением того, что вместо непрерывной медной трубки коллектор состоит из нескольких отдельных коллекторов, которые герметизированы под вакуумом, как термосы. Трубы также подвергаются прямому воздействию солнца, а не находятся внутри коллекторной коробки. Этот тип коллектора является лучшим выбором для холодного климата, поскольку в атмосферу теряется меньше тепловой энергии.

Горячая вода от солнца: тепло от любого из этих типов коллекторов сбрасывается в резервуар для хранения горячей воды. Пара коллекторов может быть всем, что вам нужно, чтобы удовлетворить потребности в горячей воде

для среднего дома. Если у вас большие потребности в горячей воде, например, для бассейна или гидромассажной ванны, вы можете просто добавить дополнительные коллекторы.

Гидравлический теплый пол: если у вас есть система водяного подогрева пола, ваша солнечная горячая вода может быть использована для обогрева вашего дома. Многие гидравлические системы используют одну и ту же систему для нагрева как жидкости для подогрева пола, так и для вашего горячего водоснабжения. Это позволило бы солнечной энергии удовлетворять все ваши потребности в отоплении.

Принудительное воздушное отопление: можно даже использовать солнечную тепловую систему для обогрева дома с принудительным воздушным отоплением. Это работает с использованием теплообменника в воздушном потоке системы принудительного воздуха. Теплообменник имеет металлические ребра, которые позволяют отводить собранное солнечное тепло в воздух, где оно циркулирует по воздуховодам.

Автономный теплообменник: другой вариант – запустить нагретую солнечными лучами жидкость в автономный теплообменник в вашем жилом помещении, такой как плинтус или настенный радиатор. Преимущество этого заключается в том, что нет необходимости изменять какие-либо существующие системы. Это может быть хорошим выбором для небольшого дома без существующей системы отопления, или если вы хотите добавить немного тепла в помещение, которое еще не отапливается.

Заключение

На данный момент, солнечная энергия, в Беларуси, не так популярна, как в других, более развитых странах, тем более с использованием солнечной энергии в качестве отопления в домах.

Литература

1. Сотникова, А.А. Развитие альтернативной энергетики в Беларуси: солнечные батареи = Development of alternative energy in Belarus: solar panels / А.А. Сотникова, Я.С. Яцухно; науч. рук. О.А. Пекарчик // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс]: материалы 77-й научно-технической конференции студентов и аспирантов (Апрель 2021 г.) / редкол.: Е.Г. Пономаренко [и др.]; сост. Т.Е. Жуковская. – Минск: БНТУ, 2021. – Ч. 2: Электроэнергетика и электротехника. – С. 150-153.
2. Нетрадиционные источники энергии: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»: в 2 ч. / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»; сост.: И.Н. Прокопья, Т.А. Петровская. – Минск: БНТУ, 2021. – Ч. 2: Солнечная энергетика. – 53 с.

УДК 620.91

КРУПНЕЙШИЕ ОБЪЕКТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ LARGEST RENEWABLE ENERGY FACILITIES

Е.Н. Стремоус, В.А. Анисимов, Ю.А. Братковский
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
E. Stremous, V. Anisimov, Y. Bratkovsky
Scientific adviser – G. Mikhaltsevich, senior lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация: Число станций возобновляемой энергетики за последнее время сильно увеличилось. За 2021 суммарная установленная мощность возобновляемой энергии составила 2839 ГВт. Более 20% мировой электроэнергии поступает с объектов возобновляемой энергетики. Каждая из них уникальна и имеет свои отличительные черты. В данной статье мы рассмотрим крупнейшие станции возобновляемой энергетики мира, увидим особенности и характеристики каждой из них.

Abstract: The number of renewable energy stations has increased greatly in recent years. In 2021, the total installed renewable energy capacity was 2839 GW. More than 20% of the world's electricity comes from renewable energy sources. Each of them is unique and has its own distinctive features. In this article, we will consider the largest renewable energy stations in the world, see the features and characteristics of each of them.

Ключевые слова: возобновляемые, электроэнергия, станции, общая мощность.

Keywords: renewable, electricity, stations, total power.

Введение

Во всем мире спрос растёт на электроэнергию, а также увеличивается необходимость появления и использования надежных, безопасных и, также экономичных источников электроэнергии.

Основная часть

Рассмотрим крупнейшие станции возобновляемой энергетики в мире.

Комплекс ветроэлектростанций Ганьсу

Мощность: 8 ГВт

Комплекс расположен в Китае и назван в честь провинции в которой он находится (Ганьсу), недалеко от города Цзюцюань. Ветроэлектростанция (ВЭС) Ганьсу возведена вдоль пустыни Гоби, в которой дуют экстремально сильные ветры. Строительство станции началось в 2009 году. Комплекс ветроэлектростанций является одним из 6 запланированных проектов в области ветроэнергетики Китая, целью которых является строительство ВЭС в этом регионе суммарной мощностью 20 ГВт. Стоимость проекта насчитывает 17,5 млрд. долл. Единственный недостаток комплекса состоит в том, что в регионе, где он находится, нет потребностей в таких количествах энергии, поэтому энергия направляется в восточные регионы, также часть энергии

экспортируется в другие страны, такие как Бутан, Непал, Индия. В будущем планируется увеличить мощность комплекса более чем в 2 раза.

Hornsea One

Мощность: 1,2 ГВт

Самая мощная и крупнейшая оффшорная (морского базирования) ветряная электростанция. Станция находится в 120 километрах от берегов Великобритании. Сам объект Hornsea One занимает значительную территорию в 407 км², что к примеру, превышает размеры таких стран как Мальдивы и Мальта. На станции Hornsea One расположены 174 башни, размеры которых достигают 190 метров, сами башни оборудованы 7-мегаваттными ветровыми турбинами от Siemens. А диаметр размаха лопастей каждой из них составляет около 180 метров. По словам руководителя Стефана Хунингса одного полного оборота такой турбины с головой хватит для обеспечения электричеством среднестатистического дома на протяжении целых суток. На реализацию проекта правительством Великобритании было потрачено около 730 миллионов долларов.

Дамба «Три ущелья»

Мощность: 22,4 ГВт

Дамба «Три ущелья» – гравитационная гидроэлектростанция, перекинутая через реку Янцзы у города Саньдоупин, в районе Илин, Ичан, провинция Хубэй, центральный Китай, ниже по течению от 3-х ущелий. Станция «Три ущелья» была наикрупнейшей в мире электростанцией по установленной мощности (22 500 МВт) с 2012 года. В год дамбы производит в среднем 95±20 ТВт*ч электрической энергии, зависимо от годового количества осадков в речной бассейн. В 2020 году после обильных муссонных дождей, годовая выработка дамбы практически достигла 112 ТВт*ч, побив мировой рекорд в ~ 103 ТВт*ч установленный плотиной Итайпу в 2016 году.

Любая из основных гидротурбин имеет мощность 700 МВт, всего 32 главные турбины. Для питания самой станции употребляются два генератора (50 МВт любая), общая электрическая мощность дамбы составляет 22 500 МВт.

Кроме производства электрической энергии, дамба создана для роста пропускной возможности реки Янцзы. Обеспечивая место для хранения паводков, дамба понижает возможность наводнений вниз по течению. Однако, дамба вызвала экологические изменения, в том числе завышенный риск оползней. Поэтому дамба вызвала споры как внутри государства, так и за границей.

«Oyster Wave Energy System»

Мощность: 2,25 МВт

Самая мощная волновая электростанция «Oyster Wave Energy System» располагается у берегов города Повуа-де-Варзин в северной части Португалии. Это 1-ая в мире коммерческая волновая электростанция. Она припоминает «змею», на 50% погруженную в воду, длиной 150 м и шириной 3,5 м. Накатываясь на этих «змей», волны передают им колебания, которые потом преобразовываются в энергию. Одна турбина производит 0,75 МВт электрической энергии. Сейчас введено три установки общей мощностью 2,25

МВт и ценой 13 млн. долл. США. В дальнейшем запланировано повышение мощности до 21 МВт.

«Solar Energy Generating Systems»

Мощность: 355 МВт

Наимощнейшая тепловая солнечная электростанция «Solar Energy Generating Systems» располагается внутри Соединенных Штатов Америки к тому же состоящая из 9 солнечных электрических станций, находящихся в пустыне на Юго-западе США. Из них 5 используют мощность 30 МВт каждая, 2 используют 80 МВт, и 2 станции на 14 МВт. В механизме предприятия применено 936 385 параболических концентраторов, они размещены на площади в 6,5 км².

«Гейзер»

Мощность: 1518 МВт

Наимощнейшая геотермальная электростанция «Гейзер», которая располагается в Соединенных Штатах Америки, представляет из себя комплекс, состоящий из 22-х геотермальных станций. Залежи геотермальных источников размещены в 116 км в северном направлении от Сан-Франциско и составляет 79 км². Энергия от этих источников позволяет обеспечить 60% потребности в электрической энергии северного побережья Калифорнии. Невзирая на то, что пиковая мощность 2100 МВт середине 1980-х годов снизилась сейчас до 1518 МВт, данный проект, как и раньше не прекращает оставаться самым большим по использованию геотермальной энергии.

«Oy Alholmens Kraft»

Мощность: 160 МВт термической энергии и 265 МВт электрической

Наимощнейшая в мире электростанция, которая сжигает биологическую массу – древесную породу и торф «Ой Альхольменс Крафт» размещена в Финляндии. В качестве дополнительного горючего может употребляться каменный уголь. Станция производит 265 МВт электрической энергии, и 60 МВт термической энергии для использования в централизованных системах обеспечения теплом и 100 МВт термической энергии для потребностей завода по производству бумаги. В час станция способна сжигать 1000 м³ биотоплива. Размеры котла, в котором случается сжигание горючего, составляют 8,5 м в поперечнике в основании и 24 м - вверху, при высоте 40 м. В день употребляется 120 больших грузовиков биотоплива.

Perovo Solar Power Station

Мощность: 100 МВт

Компания Activ Solar в 2011 году окончила завершающий шаг строительства фотоэлектрической станции общей мощностью 100 МВт находящейся недалеко от деревни Перово, в Крыму. Сооружение было готово 28 декабря 2011 года. Объект состоит из более, чем 440 тысяч кристаллических солнечных фотоэлектрических модулей. Данная фотоэлектрическая станция является самой крупной в мире. Электростанция занимает территорию в 200 гектар и владеет потенциалом производить 132 500 МВт*ч электрической энергии в год. Размеры данной электростанции можно сравнить с 260 футбольными полями.

Orbital O2**Мощность: 2 МВт**

Компания Orbital Marine Power в водах Шотландии запустила наимогущественную приливную турбину. Она называется Orbital O2, её пиковая мощность составляет 2 МВт. На данный момент её стараются скорее подключить к Европейскому центру морской энергетики. Вес турбины составляет 680 тонн. Строительство началось ещё в 2019 году. Длина лопастей составляет 10 метров, длина конструкции – 74 метра, площадь охвата лопастей – более 600 м². Мощности турбины хватит для обеспечения электроэнергией около 2000 домохозяйств Великобритании и компенсации около 2200 тонн углекислого газа в год.

Sihwa Lake Tidal Power Station**Мощность: 254 МВт**

Крупнейшая приливная гидроэлектростанция. Приливная электростанция, расположенная на озере Сихва считается крупнейшей в мире приливной электростанцией, общая выходная мощность составляет 254 МВт. После строительства дамбы в 1994 году, в только появившемся водохранилище озера Сихва накопилось большое количество вредных веществ, что привело к печальным последствиям, воду из водохранилища нельзя было использовать для сельского хозяйства. Концентрации перфтороктанового сульфоната, были одними из самых высоких концентраций в мире. В поисках решения проблемы инженеры в 2004 году решили использовать притоки от приливной плотины надежде смыть загрязнение.

Заключение

В современных реалиях роль возобновляемой энергии в мире как никогда высока. Так как ресурсы земли имеют свойство заканчиваться, а поиск новых залежей может растягиваться на долгие годы. А если учитывать, что станции возобновляемой энергии почти не загрязняют окружающую среду, а некоторые и вовсе её не загрязняют, то для человечества единственным верным решением будет полностью переходить на возобновляемые источники энергии. Но единственной проблемой остается то, что пока объекты возобновляемой энергетики не могут полностью взять на себя обеспечение электроэнергией всего мира. Поэтому нужно с каждым годом улучшать существующие ВЭС и, несомненно, создавать новые.

Литература

1. Пирогова, В.В. Тенденции развития возобновляемых источников энергии в мире / В.В. Пирогова; науч. рук. Е.А. Кравчук // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс]: материалы 76-й научно-технической конференции студентов и аспирантов: секция "Экономика и организация энергетики" / сост. Т.Е. Жуковская. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 84-88.
2. Клейлат, Мохамад Тенденции и структура развития возобновляемой энергетики / Мохамад Клейлат // VII Международная научно-техническая интернет-конференция "Информационные технологии в образовании, науке и производстве", 16-17 ноября 2019 года, Минск, Беларусь

[Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет; сост. Е.В. Кондратёнок. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 263-266.

УДК 621.313

РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ АВТОМОБИЛЯ VEHICLE ENERGY RECOVERY

С.В. Казловский, Г.Ю. Куликов

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь,

S. Kazlovskiy, G. Kylikov

Scientific adviser – G. Mikhaltsevich, senior lecturer

Belarusian National Technical University,

Minsk, Republic of Belarus

Аннотация: Гибридные и электромобили получили широкое распространение в странах Запада и США. В данный момент и на просторах СНГ они не являются редкостью. В связи с этим в данной статье мы рассмотрим развитие гибридных автомобилей и способы рекуперации энергии автомобиля.

Abstract: Hybrid and electric vehicles have become widespread in Western countries and the United States. At the moment, and in the CIS, they are not uncommon. In this regard, in this article we will consider the development of hybrid cars and methods for recuperating the energy of a car.

Ключевые слова: развитие электрификации автомобилей, системы рекуперации энергии.

Keywords: development of car electrification, energy recovery systems.

Введение

В современном мире автомобиль получил большое распространение в связи с его доступностью. Однако он имеет большие недостатки, связанные с выбросами в атмосферу продуктов горения топлива, низким коэффициентом полезного действия, до 50% для автомобилей с двигателем внутреннего сгорания. В последнее десятилетие стали получать большое распространение в странах Западной Европы и США автомобили с электрифицированным приводом ведущих колес, но он также имеет недостатки, такие как большая зависимость от инфраструктуры, большое время зарядки аккумуляторных батарей, меньший пробег до последующей зарядки по сравнению с дозаправкой автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Эти недостатки привели к появлению автомобилей со следующими гибридными усовершенствованиями: электромотор может работать как устройство, повышающее тяговое усилие, ДВС может участвовать только как привод генератора для зарядки аккумуляторных батарей и, получившая большое распространение, схема с комбинированным подключением. В этом случае автомобиль может двигаться только на электротяге или используя только мощность ДВС, а также при их совместной работе.

Инженеры продолжили работы над повышением КПД автомобилей и разработали системы, которые позволили рекуперировать энергию автомобиля.

Основная часть

Суть работы рекуперации энергии торможения

При движении автомобиля, двигатель тратит много мощности на разгон и последующее движение с этой скоростью, однако реальность такова, что в связи с изменением дорожной обстановки автомобиль движется не с равномерной скоростью, что в свою очередь приводит к большим потерям энергии на его разгон и торможение. Так как торможение осуществляется в большинстве случаев с помощью фрикционных механизмов, то энергия тратится на износ фрикционных элементов механизма, а также в большей степени переводится в нагрев его элементов. С использованием электрического привода ведущих колес инженеры начали уменьшать потери энергии, переводя энергию торможения в электричество и последующее использование ее при разгоне автомобиля.

Первые исполнения серийных гибридных автомобилей с рекуперацией энергии торможения

Первые гибридные автомобили с рекуперацией энергии начали производиться в Японии, как модификация серийных переднеприводных автомобилей. В них устанавливался дополнительный редуктор со свободным дифференциалом, который приводился в движение коллекторным электродвигателем, запитанным от бортовой сети автомобиля. Он создавал дополнительное тяговое усилие на скоростях до 30 км/ч. Торможение автомобиля осуществлялось совместной работой электромотора, в качестве генератора, и основной тормозной системы. Степень использования рекуперации при торможении зависело от интенсивности торможения, то есть при низком замедлении основная тормозная система не участвовала в торможении, а при более сильном замедлении работали совместно, отдавая электрическую энергию в бортовую сеть автомобиля.

Последующие генерации гибридных автомобилей

В связи с тем, что первые системы питались от бортовой сети, то они имели малую мощность при больших рабочих токах, что ограничило использование данных систем только на сверхлегких автомобилях. А с дальнейшим развитием данной системы, напряжение повысилось до 48V, в результате чего возросла мощность электромотора, но пришлось доукомплектовывать автомобиль дополнительной аккумуляторной батареей и генератором, приводимым от двигателя. Также автомобили лишились коллекторного электродвигателя, им на смену пришли бесщёточные, бесколлекторные электродвигатели постоянного тока с жидкостным охлаждением. Использование BLDC-моторов привело к повышению мощности и уменьшению диаметра проводов. В последующей генерации напряжение было увеличено до 200-300V для гибридных автомобилей и 300-800V для электромобилей.

Современные тенденции

Для понимания дальнейшего развития гибридных автомобилей нужно обратиться к “Законодателю мод” – автоспорту, где стали использовать высокооборотистые мотор-генераторы, для привода турбокомпрессора. Это электрическая машина, сидящая на валу турбокомпрессора. И работать она

может в обе стороны: извлекать энергию из выхлопных газов и раскручивать турбокомпрессор для сокращения “турболага”. Что позволяет вырабатывать энергию на прямых участках и получать максимальную мощность при старте автомобиля и выходе его из поворота (рисунок 1).

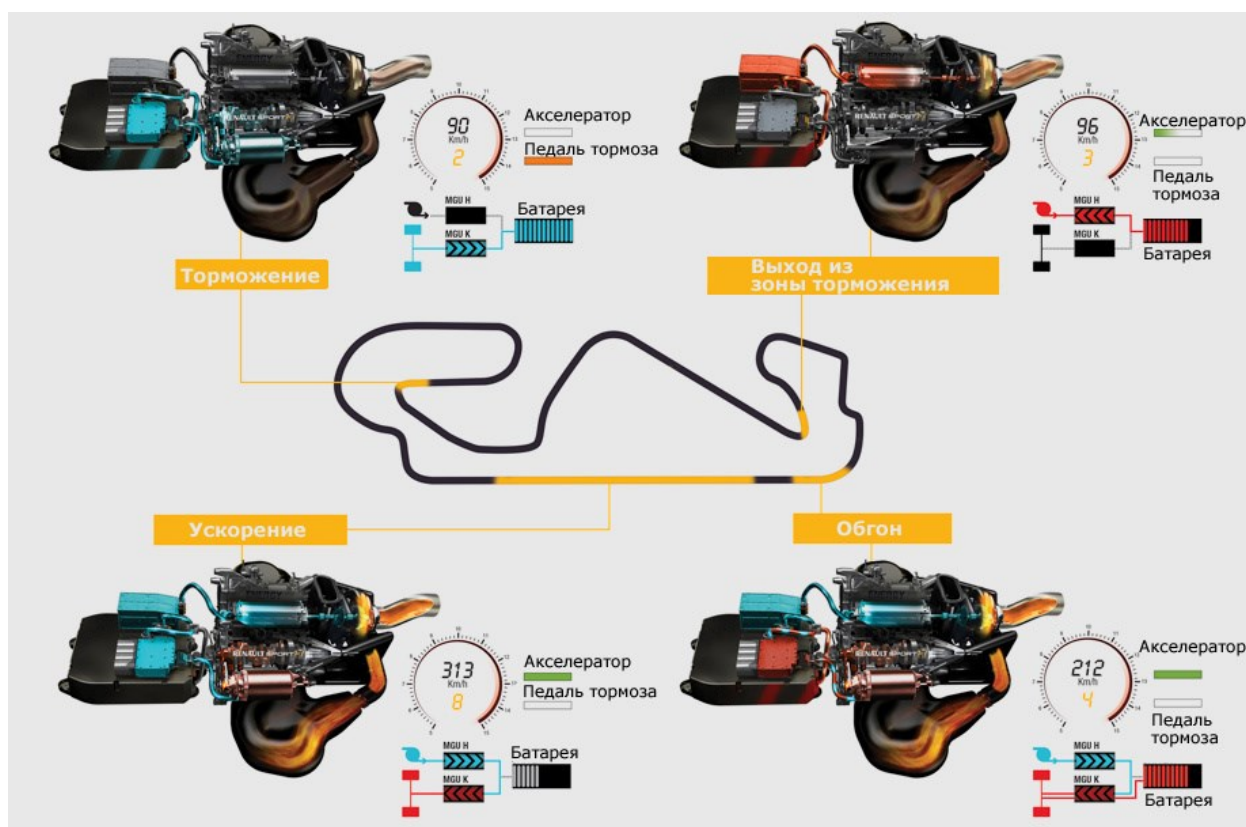


Рисунок 1 – Циркуляция энергии в различных режимах автомобиля

Заключение

С несовершенством нынешних параметров аккумуляторных ячеек, массовое использование электромобилей невозможно, поэтому ближайшее десятилетие будут получать широкое распространение гибридные автомобили, с использованием всевозможных устройств, для рекуперации энергий. Система рекуперации энергии торможения позволит владельцу экономить деньги на топливе и на расходных материалах тормозной системы при эксплуатации его в городском цикле, однако, в связи с большей стоимостью автомобиля (на 20%), на режим окупаемости он выйдет спустя большое время.

Литература

1. Савич, Е.Л. Устройство автомобилей / Е.Л. Савич, А.С. Гурский, Е.А. Лагун. – Минск: РИПО, 2020. – 448 с.

УДК 629.3.032

МОТОР-КОЛЕСО WHEEL HUB MOTOR

Д.С. Догиль

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,

D. Dohil

Scientific adviser – G. Mikhaltsevich, senior lecturer
Belarusian National Technical University,
Minsk, Republic of Belarus

Аннотация: Виды мотор колёс, способы повышения КПД.

Abstract: Types of motor wheels, ways to increase efficiency.

Ключевые слова: Мотор колесо, виды, применение, улучшение.

Keywords: Motor wheel, types, usage, improvement.

Введение

В наше время область применения мотор колёс на транспортных средствах различного класса сильно расширяется. Это связано с тем, что использование мотор колёс позволяет создавать машины новой конструкции, у которых отсутствует трансмиссия. Они нашли своё место в общественном транспорте, электровелосипедах, электроприводах, инвалидных колясках и т.д.



Рисунок 1 – Мотор-колесо на велосипеде

Основная часть

Первый, кто предложил идею мотор-колеса, был американец Адамс Велингтон в 1884 году и уже к 1890 появились первые патенты на велосипеды с мотор-колёсами, питающимися от батарей.

Мотор-колесо представляет собой агрегат включающий колесо, электродвигатель, тормозную систему и силовую передачу. Каждое колесо крепиться к раме транспортного средства благодаря кронштейнам или на поворотном механизме, когда колёса управляемые.

Основными преимуществами мотор-колёс являются: плавность в изменении крутящего момента на колёсах, высокий КПД колёс, из-за

маленького количества трущихся поверхностей, возможность выдавать большой крутящий момент, быстрый отклик и низкую инерцию.

Основными недостатками является то, что для такого привода нужен более точный механизм управления в отличие от других двигателей. Если двигатель работает при высоких нагрузках (подъём) или с небольшой скоростью КПД может падать до 50% и ниже.

В 2009 году компания EZ-Wheel разработала свою систему интегрированной системы из тягового электродвигателя, аккумулятора, электронного блока управления (ЭБУ) и батареи. Эта концепция представлялась как электромотор, который устанавливается на небольших и лёгких транспортных средствах, а именно: скутера, инвалидные коляски, тележки, велосипеды и т.д.

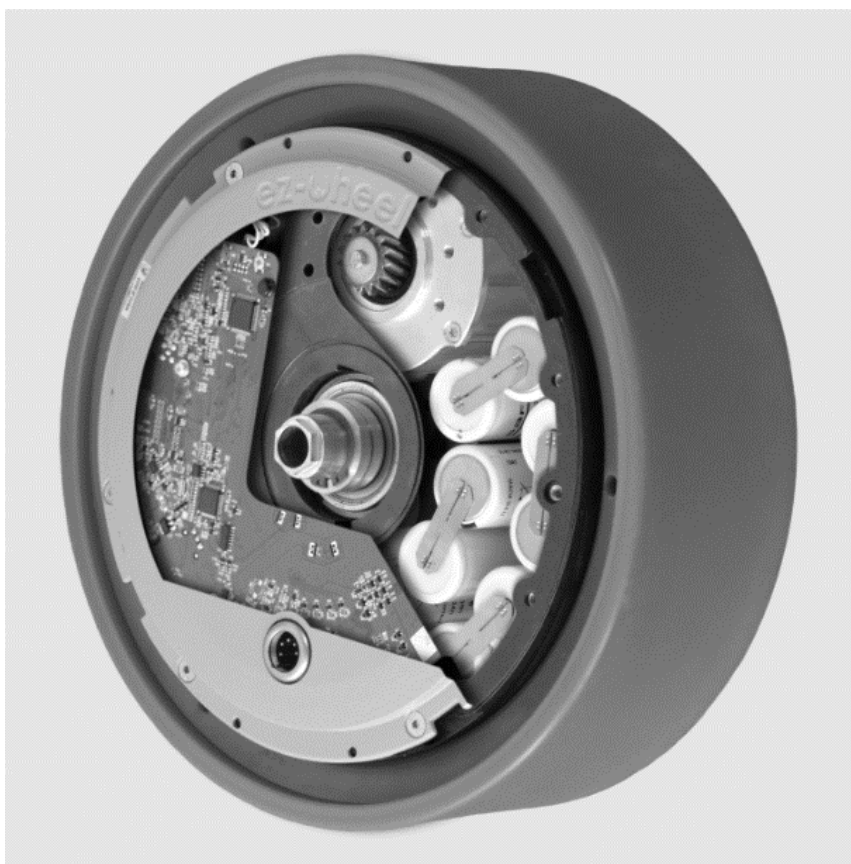


Рисунок 2 – Мотор-колесо компании EZ-Wheel

Active wheel – это система разработанная французской компанией Michelin. Это мотор-колесо состоит из тягового электродвигателя, электродвигателя и адаптивной электрической подвески, способной автоматически подстраиваться под условия дороги, а именно изменять клиренса на каждом колесе, что позволяет лучше проходить повороты и неровности дороги, а также система содержит принудительную вентиляцию тормозов системы. Компания Michelin стремилась максимально снизить вес мотор-колеса, что позволило уменьшить инерцию колеса и увеличило сцепление с дорогой. Это позволило превзойти по характеристикам другие мотор-колёса.



Рисунок 3 – Мотор-колесо с системой Active wheel

К недостаткам такого колеса можно отнести то, что у него более сложный редуктор, который увеличивает затраты на его производство и ремонт, большое количество элементов редуктора которые несколько снижают эффективность и надёжность колеса.

Принцип работы мотор-колеса такой же, как и у обычного электродвигателя, где вращение колеса создаётся благодаря ЭДС. В транспорте с таким приводом питание мотор-колеса осуществляют от батарей. Само мотор-колесо интегрировано в колесо и представляет с ним одно целое. Это позволяет использовать освободившееся пространство под необходимые нам нужды, а также под батареи.

Основные критерии, определяющие целесообразность применения:

- вес привода;
- КПД привода;
- срок службы;
- стоимость.

Различают мотор-колёса с прямым приводом и редукторные мотор-колёса.

Мотор-колесо с прямым приводом имеет вывод сразу на колесо что обеспечивает более высокую скорость и возможность рекуперации, когда происходит “накат”, колесо будет работать как генератор и подзаряжать аккумулятор, однако из-за этого при слабом заряде КПД колеса уменьшается.

Редукторные мотор-колеса представляют из себя электродвигатель и планетарный редуктор, встроенный в ступицу колеса. Использование редуктора позволяет повысить крутящий момент на колёсах, но максимальная скорость будет меньше, чем у мотор-колеса с прямым приводом.

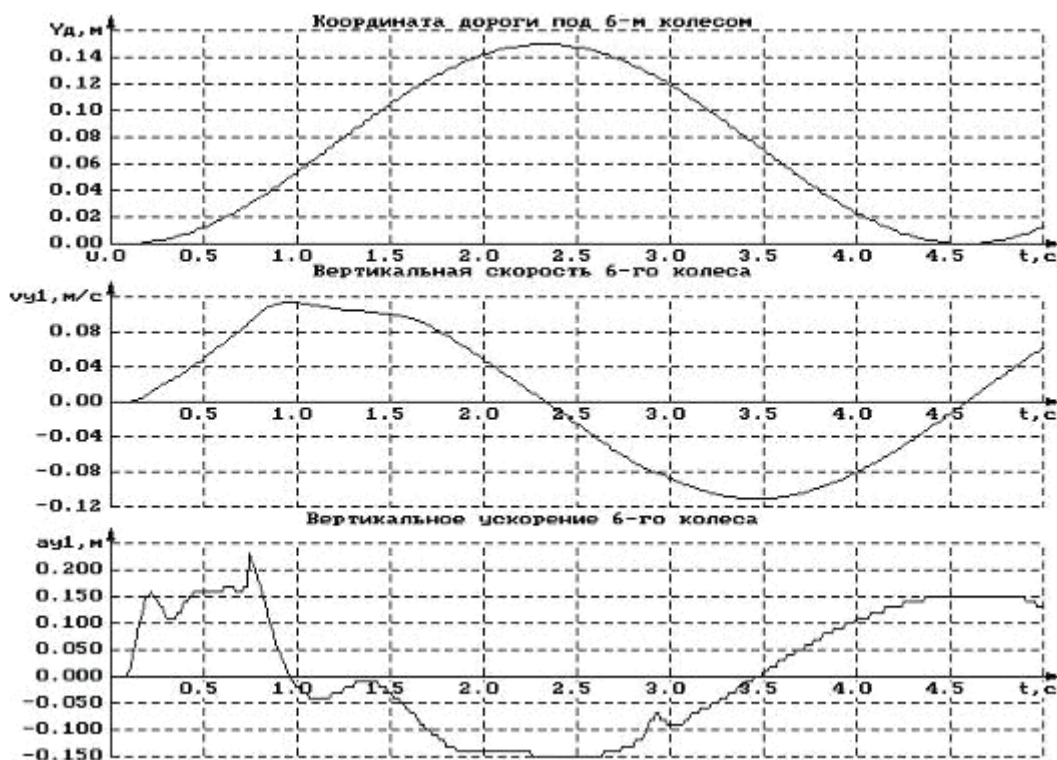


Рисунок 4 – Графики зависимости скорости и ускорения мотор колеса относительно неровностей на дороге

Развитие мотор-колёс продолжают и уже сейчас британские учёные нашли, как исправить один из главных недостатков мотор-колёс, их вес. Они предложили использовать алюминиевый матричный композит. Это композит на основе алюминиевой матрицы. Он на 50% жёстче и почти в 3 раза прочнее, чем углепластик, а вес имеет на 50% меньше стали. Роторы делаются по технологии “продвинутого гидроформинга”, которая позволяет точно упрочнять изделие. Изготовленное мотор-колесо по такой технологии будет на 40% процентов легче, чем его аналоги из стали или алюминия.

Заключение

Мотор-колёса заняли свою нишу, в которой их использование выгоднее, чем остальные способы подачи мощности на колёса. Уже сейчас предлагаются пути решения основных их недостатков и с последующим развитием технологий смогут заменить стандартные способы привода у электромашин.

Литература

1. Мотор-колесо специальной подвижной установки [Электронный ресурс]/ мотор-колесо специальной подвижной установки.
- Режим доступа: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=520666#text>. – Дата доступа: 13.04.2022.
2. Hub motors [Электронный ресурс]/ hub motors.
- Режим доступа: <https://www.explainthatstuff.com/hubmotors.html>. – Дата доступа: 17.04.2022.

УДК 536.521

ПИРОМЕТРЫ PYROMETERS

А.С. Гуленков, Д.М. Диковицкий, Ю.А. Казеко
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
A. Gulenkov, D. Dikovitsky, Y. Kazeko
Scientific adviser – G. Mikhaltsevich, senior lecturer
Belarusian National Technical University,
Minsk, Republic of Belarus

Аннотация: *Пирометр (инфракрасный термометр) – это устройство для определения температуры бесконтактным способом. Это высокоточный прибор, который может измерять температуру у объекта, находящегося на расстоянии. Этот прибор применяется в медицине, энергетике, промышленности и прочих отраслях. Также они бывают бытовыми. Учитывая их стоимость, они эффективно помогают контролировать хранение медикаментов и продуктов. Также, их используют пожарные бригады и т.д.*

Abstract: *Pyrometers (infrared thermometer) are a device for determining temperature in a non-contact way. It is highly accurate, and can measure the temperature of an object located at a distance. This device is used in medicine, energy, industry and other industries. They also happen to be household. Considering their cost, they effectively help to control the storage of medicines and products. Also, they are used by fire brigades, etc.*

Ключевые слова: *инфракрасный, оптический, термодетектор, радиометр, температура.*

Keywords: *infrared, optical, thermal detector, radiometer, temperature.*

Введение

Пирометр, или его другое название «термодетектор» – это точный прибор для бесконтактного и быстрого измерения температуры на расстоянии (не больше чем три метра). Создателем самого первого пирометра был Питер ван Мушенбрук. Сначала этот термин применялся только к приборам, которые определяют температуру визуально, а именно по яркости и цвету очень нагретого объекта. В настоящий момент смысл этого термина стал шире. Теперь некоторые типы пирометров дают возможность измерять довольно-таки низкие температуры. В середине 60-х годов двадцатого века началось развитие пирометрии, которое длится по настоящий момент. Тогда же были сделаны важные открытия в области физики, которые дали начало создания промышленных пирометров с серьезными характеристиками и малыми по габаритам размерами. В 1967 году был изобретен первый мобильный пирометр.

Основная часть

Пирометры различают:

1. Односпектральные. Они получают излучение только в одном из спектральных диапазонов, этот диапазон может быть широким. Вначале измеряли значение мощности, а потом это значение переводили в значение температуры. Односпектральные термодетекторы в свою очередь делятся:
 - Яркостные (сравнение яркости измеряемого объекта и эталонного нагретого тела).
 - Радиационные (определение мощности теплового излучения и перевод результата в температуру).
2. Мультиспектральные (также они называются как термодетекторы спектрального отношения и цветные термодетекторы). Они могут принимать излучение как минимум в двух спектральных диапазонах. Через сравнение мощностей в разных диапазонах измеряется температура объекта.

Строение

Основой термодетектора является детектор инфракрасного излучения, интенсивность и спектр которого полностью зависит от температуры объекта. Система пирометра может фиксировать и выводить на экран измеренные данные для удобства и последующего анализа пользователем.

Основные технические характеристики пирометра:

- Оптическое разрешение, или показатель визирования (кратность колеблется в диапазоне 2...600).
- Пределы измеряемой температуры (-50...+4000°C).
- Определяемое разрешение.
- Скорость работы (в более новых моделях термодетекторов скорость измерения меньше секунды, что важно при измерении постоянно меняющейся температуры).
- Габариты (современные термодетекторы имеют небольшие размеры).
- Вывод информации (аналоговый или цифровой).
- Погрешность.
- Наличие лазерного указателя (присутствует почти у всех моделей пирометров; в более дорогих есть двойной лазерный указатель).

Существуют модели, которые имеют usb-интерфейс для передачи данных на ПК и дальнейшего их анализа. В более современных моделях есть возможность фото и записи видео, а также удержание данных на дисплее (например, регистрировать минимум и максимум при измерении температуры)

Принцип работы

Учитывая, что нагретый объект есть источник инфракрасного излучения, и что чем сильнее нагрет объект, тем излучение мощнее, излучаемые объектом инфракрасные лучи проходят через объектив и проецируются на сенсор, который уже определяет температуру объекта исходя из интенсивности излучения. Глаза человека не видят этого излучения, но электронные сенсоры не видят особой разницы между видимым и инфракрасным светом.

Основные функции пирометра:

- Возможность измерять температуру объектов, которые находятся под напряжением, либо находящихся в труднодоступных местах.
- Быстрая фиксация температурных изменений поверхности объекта.
- Исследование объектов, которые обладают низкой теплоёмкостью или теплопроводностью.

Большим достоинством пирометра является простота использования: достаточно навести прибор на рассматриваемый объект, нажать и удерживать «курок» и на дисплее будут отображаться температурные данные.

Область применения

Пирометры обширно применяются в промышленности, быту и предприятиях, где очень важно контролировать температуру на разных этапах производства (металлургия, машиностроение). Также пирометры могут использоваться в теплоэнергетике и строительстве, т.к. с их помощью можно искать повреждения в теплоизоляционных слоях труб или стен. Бывают такие случаи, когда с рассматриваемым объектом невозможно физически взаимодействовать из-за высокой температуры. Тогда пирометр является незаменимым для правильного измерения температуры раскаленного объекта. Во время опытов и исследований в отрасли науки, их используют для точного определения температуры веществ и разных предметов.

Заключение

Для того чтобы результат измерения был максимально точным, в инструкции указано необходимое расстояние до объекта, которое нужно соблюдать. У некоторых термодетекторов имеется спусковой крючок (курок), который имеет 2 положения. При нажатии до половины он сканирует участки неодинаковые по температуре, данные на дисплее будут постоянно изменяться. Наивысшая температура закрепляется на экране при нажатии до второго положения. При помощи переключателя показателя коэффициента излучения можно более точно настроить прибор и получить точный результат. Такая настройка прибора производится по таблице, которая имеется в комплекте. Благодаря термодетекторам можно измерять температуру на некотором расстоянии от объекта измерения, что делает его незаменимым в определенных случаях. Самые новые приборы способны измерять с необходимой точностью и обладают сравнительно небольшой стоимостью.

Литература

1. Линеveg, Ф. Измерение температур в технике. Справочник / Ф. Линеveg. – Москва «Металлургия», 1980
2. Криксунов, Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники / Л.З. Криксунов. – М.: Советское радио, 1978. – 400 с.
3. Кременчугский, Л.С. Пирозлектрические приёмники излучения / Л.С. Кременчугский, О.В. Ройцина. – Киев: Наук. думка, 1979. – 382 с.
4. [Электронный ресурс] / - Режим доступа:
<https://www.elec.ru/publications/tsifrovye-tekhnologii-svjaz-izmerenija/4360/>
- Дата доступа: 20.04.2022.

УДК 629.1

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ
SMALL-SIZED ELECTRIC TRANSPORT

А.Н. Гринько

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

A. Hrynko

Supervisor – G. Mikhaltsevich

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация:** Малогабаритный электрический транспорт, достоинства и недостатки.*Abstract:** Small-sized electric transport, pros and cons of its use.****Ключевые слова:** электрический транспорт, сегвэй, электромотор, гироскутер.****Key words:** electric transport, segway, electric motor, gyro scooter.***Введение**

В наше время широкое применение находит электрический транспорт, имеющий такие преимущества перед видами транспорта с двигателями внешнего или внутреннего сгорания, как экологически чистое производство аккумуляторов и экологически чистую утилизацию отходов. Электрическим называется вид транспорта, который в качестве источника энергии применяет электричество. В приводе подобного транспорта используется тяговый электродвигатель. В повседневной жизни люди чаще всего обращаются к малогабаритному электрическому транспорту. К нему относятся технические средства с такими параметрами: 2 метра в длину, 2 метра в высоту, 1 метр в ширину. Малогабаритным электротранспортом считаются различные модификации сегвеев, гироскутеры, электровелосипеды, моноколеса, автомобили малых размеров и электрические погрузчики.

Основная часть

Двигателем в технике такого рода выступает электродвигатель или электромотор. Электродвигатель - это электрическая машина, которая преобразовывает электрическую энергию в механическую энергию. Электродвигатели подразделяются на двигатели с применением переменного тока и двигатели с применением постоянного тока. На данный момент самое частое использование на малогабаритном транспорте получил 3-х фазный асинхронный двигатель переменного тока. Работает электродвигатель благодаря трехфазной обмотке. Этот двигатель, состоит из 2 частей: ротора и статора. Электродвигатель устроен так: обмотки получают симметричное трехфазное напряжение, которое имеет сдвиг фаз напряжений и токов на 120°. В этом случае составляющие переменного тока изменяются во времени. Из-за

этого изменяется магнитное поле, которое создаётся обмотками. Во время этого, сохраняется одинаковая амплитуда, магнитное поле трехфазной обмотки начнет принимать разную ориентацию. Если поместить рамку из проводника внутри вращающегося магнитного поля, то по закону электромагнитной индукции, из-за изменяющегося магнитного поля возникнет ток в проводнике и возникает электродвижущая сила, действующая на него. В итоге рамка начнет вращаться.

Сегвэй

Сегвэй – транспортное средство, работающее на электричестве и способно самобалансироваться, созданное компанией Segway Inc. С виду он похож на колесницу: на маленькой плоскости по обе стороны от платформы расположены два колеса. Изобретатель сегвэя Дин Кеймен.

Устройство и принцип работы сегвэя

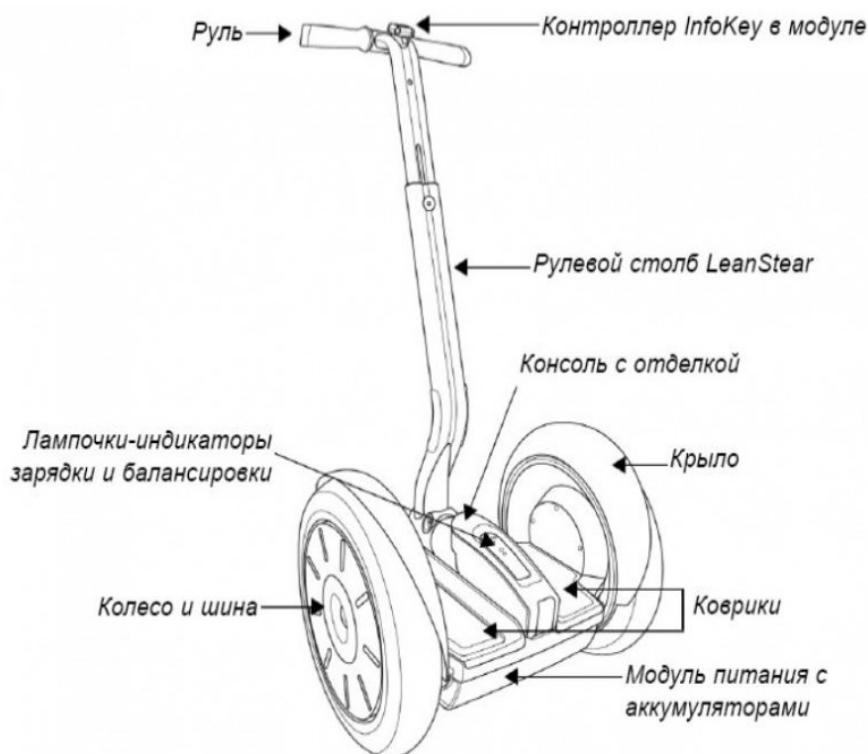


Рисунок 1 – Устройство сегвэя

По сторонам этой техники на одной оси находятся колёса. Каждое оборудовано индивидуальным электромотором. Электромоторы “тянут” колеса с помощью усиливающего редуктора. Во время движения сегвэй способен автоматически балансируется при изменении наклона корпуса ездока. Для этого используется система индикаторной стабилизации. При наклоне сигналы с гироскопических и жидкостных датчиков наклона поступают на микропроцессоры, которые вырабатывают электрические сигналы, а те, в свою очередь, воздействуют на двигатели и управляют их движениями. Управление основывается на таких правилах: - наклон вперед, сегвэй начинает катиться вперед, при увеличении угла наклона, скорость увеличивается, при отклонении корпуса назад самокат замедляет движение, останавливается или катится

задним ходом; руление в ранних моделях происходит за счет поворотной рукоятки, в современных моделях – качанием рулевой колонки вправо или влево; принцип поворота работает как в гусеничном тракторе: одна сторона замедляется, а вторая нет, тогда сегвэй поворачивает в сторону медленно вращающегося колеса. Сегвэй способен развить скорость 50 км/ч и весит около 40 кг (без батареи). Его ширина 60 см, а допустимая масса – 140 кг. Обычно аккумулятор даёт возможность проехать около 39 км. В зависимости от образца показатели могут отличаться. Для работы сегвэев созданы малогабаритные, но мощные (2 л. с.) электродвигатели. Устройство способно передвигаться по асфальту, тротуару, и также по грунту. Минимальная цена сегвея в Республике Беларусь на 20 апреля 2022 года 750 рублей. В продаже имеются модели и за 6000 рублей.

Гироскутеры



Рисунок 2 – Гироскутер

Одной из современной модификацией сегвея являются гироскутеры: у их нет рулевого управления, поэтому гироскутер более удобен в использовании. Своим видом они похожи на гантель, к которой присоединены колеса. Для того что бы поехать на гироскутере, надо: 1) стать на поверхность для ног, 2) отклониться вперед или назад. После одного часа катания на таком устройстве можно легко им овладеть.

Применение

Малогабаритный электрический транспорт пользуется большой популярностью среди любителей активного отдыха, а также среди обычных людей для прогулок по паркам или скверам, практически во всех странах мира. Сегвэи применяют почтовые служащие, полицейские, люди, играющие в гольф и другие. Полиция на сегвеях похожа на конную полицию, но способна проехать там, где конь не пройдет, например, в аэропортах. Кинооператоры используют сегвэи для перемещения камеры по съёмочной площадке без тряски. В Российской Федерации такие средства использует полицией для патруля парков. В Армении есть ансамбль, исполняющий танцы на сегвэях. Применяют на большом производстве для быстрого передвижения по цеху.

Сегвэи применяют как грузовые устройства (на них устанавливаются дополнительные платформы для перевозки малых грузов). Применять малогабаритный электрический транспорт рекомендуется в тех местах, где нужно передвигаться на большие расстояния пешком.

Таблица 1 – Сравнение гироскутера и сегвэя

Различия	Сегвэй	Гироскутер
Наличие руля	+	-
Габаритами	-	+
Компактностью	-	+
Размером	-	+
Стоимостью	-	+

Преимущества малогабаритного электрического транспорта: возможность использования на улице и в помещениях, а также для быстрого перемещения на производстве. Быстрое перемещение на большие расстояния в местах, где ранее было принято передвигаться пешком, а также экологичность, практичность, мобильность, бесшумность, одновременно и минус т.к. может привести к аварии.

Недостатки малогабаритного электрического транспорта: ограничения по запасу хода, долгое время «зарядки», требуется наличие подготовленных мест для передвижения, чтобы не затруднять движение пешеходов и других транспортных средств.

Заключение

Малогабаритный электрический транспорт – это удобные, практичные, и простые в эксплуатации средства для передвижения населения. Кроме того, они важны для оптимизации рабочего процесса на предприятиях. Многие представители малогабаритного транспорта, стали незаменимыми на производстве и в повседневной жизни многих людей. Возможно, что сегвеи и гироскутеры в скором времени тоже станут незаменимыми в жизни общества.

Литература

1. Изобретатель 2018 [Электронный ресурс] / изобретатель 2018.
- Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Кеймен,_Дин. -Дата доступа: 19.04.2022.
2. Устройство сегвэя [Электронный ресурс]/ устройство сегвэя.
- Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/incrediblmech/segway-vse-konec-legendy-5f0f10087e2b585adaa3cc54>. -Дата доступа: 19.04.2022.
3. Сегвей [Электронный ресурс]/- Режим доступа: https://yandex.by/images/seari_ZPbImMzcY.jpg&rpt=simage. -Дата доступа: 19.04.2022.
4. Устройство гироскутера [Электронный ресурс] / устройство гироскутера. - Режим доступа: <https://riverlife.rezdy.com/189506/segway-tour-1-hour?currency=JPY>. - Дата доступа: 19.04.2022.

УДК 004.3'144:621.314

ИМПУЛЬСНЫЕ БЛОКИ ПИТАНИЯ. ПРИНЦИП РАБОТЫ SWITCHING POWER SUPPLIES. THE PRINCIPLE OF OPERATION

В.Ю. Яковец, П.А. Белькович

Научные руководители – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель,

В.В. Зеленко, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

V. Yakavets, P. Belkovich

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer

Supervisor – V. Zelenko, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье мы рассмотрим принцип работы импульсных блоков питания, увидим основные преимущества и недостатки.*

***Abstract:** In this article we will look at the principle of operation of switching power supplies, we will see the main advantages and disadvantages.*

***Ключевые слова:** импульсные блоки питания, ИБП, инвертор, напряжение, трансформатор, импульсы.*

***Keywords:** switching power supplies, UPS, inverter, voltage, transformer, pulses.*

Введение

Импульсный блок питания (ИБП) предназначен для преобразования одного напряжения в другое напряжение одной или нескольких величин. Многие его элементы, том числе силовые, работают в ключевом режиме. Инвертор – это источник питания, использующий двойное преобразование переменного напряжения. Размер выходящих характеристик ИБП регулируется путем изменения продолжительности импульсов также, в определенных случаях, частоты их следования. Такой тип работы называется широтно-импульсной модуляцией выходных характеристик ИБП.

Если входное напряжение переменное, например, сетевое, то вначале необходимо произвести его выпрямление, затем сглаживание фильтром и последующее преобразование с помощью инвертора в последовательность высокочастотных импульсов. Именно это отличает его от стандартного трансформатора. Входное напряжение и соответственно выходное формирует сигналом отрицательной обратной связи, которая позволяет регулировать параметры импульсов, поступающих на силовые транзисторы

В конструкции многих ИБП нет понижающего сетевого трансформатора. В основном во всей современной технике установлены ИБП, так как они наиболее эффективные и имеют небольшие размеры.

Основная часть

В сети напряжение имеет синусоидальную форму. Некоторым устройствам это и необходимо, другим нужно постоянное или импульсное напряжение. Вот в этом и заключается суть работы ИБП. Блок питания называют импульсным не

от формы выходного напряжения, а из-за стадий преобразования, которые формируют импульсы, которые на выходе выпрямляются и при необходимости сглаживаются.

Есть два вида импульсных блоков питания:

- с гальванической развязкой;
- без гальванической развязки.

С гальванической развязкой

Высокочастотные сформированные импульсы подаются на трансформатор, отвечающий за гальваническую развязку цепей. Приборы данного вида имеют сравнительно небольшие размеры ферритового сердечника, который характеризуется высокой отдачей по мощности на рабочих частотах. В основном сердечник трансформатора изготавливают из ферритов различных марок, но никак не из электротехнической стали, что дает возможность сделать элементы блока питания более компактными.

Современный ИБП любого компьютера создан по схеме, которая высоко безопасна и надежна. Для сигнала обратной связи применяется значение напряжения 5В или 12В, так как это напряжение необходимо иметь максимальной точности.

Импульсный блок питания, подключенный к сети, состоит из выпрямителя сетевого напряжения, сглаживающего фильтра, задающего генератора, формирователя прямоугольных импульсов регулируемой длительности, двухкаскадного или однокаскадного усилителя мощности, выходных выпрямителей и схемы стабилизации выходного напряжения.

В импульсных блоках питания, разработанных по алгоритмам, исключающие гальваническую развязку, высокочастотный разделительный трансформатор не используется, а сигнал поступает сразу на фильтр нижних частот.

Сигнал с ШИМ (широтно-импульсной модуляцией) поступает на выводы управляемых транзисторов, которые обычно включены по мостовой или полумостовой схеме. Вместо биполярных транзисторов в основном используются *IGBT* или *MOSFET* транзисторы, имеющие минимальное падение напряжения на переходах в открытом состоянии и высокую скорость при переключениях. Данные транзисторы меньше рассеивают мощность во время переключения при одинаковых размерах и параметрах по сравнению с биполярными транзисторами.

Классический и выходной импульсный трансформатор работают по одному принципу преобразования. Но при работе на повышенных частотах имеют меньшие размеры.

Напряжение с вторичных обмоток (вторичной обмотки) идёт на выходные выпрямители. Данные диоды должны иметь повышенную рабочую частоту, в отличие от входного выпрямителя. Лучше всего работают диоды Шоттки в данном выпрямителе, так как они имеют высокую рабочую частоту, малое падение напряжения, низкую ёмкость *p-n* перехода,

В большинстве случаев импульсные преобразователи напряжения применяются вместо традиционных трансформаторов с полупроводниковыми

стабилизаторами. Они имеют малый вес и массу, высокую надежность и КПД, а также возможность работы в большом диапазоне входного напряжения и иметь небольшой размер.

Для повышения эффективности импульсного блока питания, необходимо свести к минимуму влияние всех имеющихся паразитных элементов. Причиной недостижимости близкого к 100% КПД кроется именно в наличии этих паразитных элементов и характеристик некоторых самих элементов. В процессе проектирования нужно соблюдать баланс между КПД и себестоимостью блока питания.

Инверторные преобразователи используются в компьютерной технике, комплексах сигнализации, источниках бесперебойного питания, бытовой технике, видеонаблюдении. Нужно понимать, что наличие паразитных элементов не только понижает КПД, но и может быть полезным компонентом схемы. Например, в случае короткого замыкания на выходе преобразователя переменного в постоянное напряжение, паразитный элемент ограничивает ток короткого замыкания. С уверенностью можно сказать, что влияние паразитных элементов может быть, как положительным, так и отрицательным. При этом роль одного и того же элемента может меняться в различных ситуациях.

Преимущества ИБП:

- малые размеры;
- небольшой вес;
- высокий КПД, так как все потери в основном происходят на каскаде силовых ключей;
- большой диапазон входного напряжения;
- низкая стоимость, унифицированные детали, автоматическое производство, регулирование стоимости за счет менее мощных полупроводников;
- ИБП имеют КПД около 97%.

Недостатки ИБП:

- Ограничение по мощности. Не возможность работы, как при высоких, так и низких нагрузках в некоторых случаях.
- Высокочастотные помехи, которые вырабатывают ИБП при работе.
- Необходимость в подавлении помех.

Заключение

Современный мир нельзя представить без использования импульсных блоков питания. С каждым годом востребованность в них растет. Сегодня уже часто трудно найти прибор или блок питания, в котором будет использоваться старый трансформатор с сердечником из электрической стали. Импульсные блоки питания намного лучше трансформаторных блоков питания по безопасности, габаритам, возможности регулировки силы тока. ИБП применяются в зарядных устройствах для телефонов, ноутбуков, аккумуляторов. Также в источниках бесперебойного питания, усилителях,

приемниках, мониторах. ИБП можно считать величайшим достижением в сфере электроники.

Литература

1. Колпаков, А.И. В лабиринте силовой электроники: учеб. пособие / А.И. Колпаков. – Изд. Буковского, 2000. – 96 с.
2. Москатов, Е.А. Источники питания: учеб. пособие / Е.А. Москатов. – Мк-Пресс: 2011. – 208 с.
3. Шустов, М.А. Практическая схемотехника. Источники питания и стабилизаторы. / М.А. Шустов. – Изд. Альтекс А: 2002. – 189 с.

УДК 621.375

УСИЛИТЕЛЬ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ. НЕКОТОРЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ
AUDIO FREQUENCY AMPLIFIER. SOME VARIETIES

К.П. Цеховой

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

K. Tsekhovoy

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье мы рассмотрим принцип работы усилителя звуковых частот, увидим особенности и характеристики разных видов усилителей.

Abstract: In this article, we will look at the principle of operation of an audio frequency amplifier; see the features and characteristics of different types of amplifiers.

Ключевые слова: усилитель, звук, сигнал, ток, качество, устройство.

Keywords: amplifier, sound, signal, current, quality, device.

Введение

В разное время всегда и всюду люди очень любят слушать музыку. Музыку слушаем в дороге, в транспорте, в пеших прогулках, при спортивных занятиях, работая за компьютером и занимаясь физическим трудом.

В последнее время техническое совершенство бытовой звуковой аппаратуры значительно растет. Постоянно растет её выбор, а пользовательские качества становятся лучше. Еще, само радиооборудование в сегодняшнем времени становится все более и более сложным из-за совершенствования технологии производства и базы наработок в этой области. Это зависит от того, что слушая музыку важно увеличить качество приема радио и телевидения, проигрывания и записывания звука, и усиления звука. В проектировании и производстве новых устройств в сегодняшнем времени есть желание как можно больше упростить управляющие системы электронным оборудованием, чтобы сделать его простым в использовании для обычного человека. Все равно, без конкретных, хотя бы базовых познаний в области радиоаппаратуры и принципов работы радиоустройств бывает сложно вполне оценить преимущества какого-нибудь устройства и правильно им управлять. Благодаря усилителю можно обеспечить проведение дискотек, разных мероприятий и т.д. Его можно использовать совместно с разными источниками, а количество каналов (например – 4), подключенных к 4-ём колонкам позволяет создать объемный звук.

Основная часть

Электронные усилители звуковой частоты нужны в устройствах, для того чтобы усиливать сигнал переменного тока, частота их изменяется от малой частоты 10 Гц до высокой частоты 20 кГц. Первооткрывателем в области электронных усилителей стал Роберт фон Либен в 1906 году. Его усилитель

использовал электронно-лучевую трубку Брауна для замещения в телеграфных линиях электромеханических ретрансляторов.

Высококачественное аудиоустройство, будь то автомобильное радио или домашняя аудиосистема, везде есть звуковой усилитель. Это узкоспециализированная система, которая усиливает небольшой электрический сигнал в большой, через повышение мощности, за счет увеличения напряжения и тока. Звуковой усилитель мощности бывает в виде независимого устройства, являющимся частью звуковой системы, либо встроенной частью, в какое-либо устройство, с усилителем мощности в составе.

У обычного усилителя для звуковых динамиков есть особенности параметров:

- 1) Выходная мощность на конкретное сопротивление нагрузки.
- 2) Заданная полоса усиливаемых частот.
- 3) Входное номинальное напряжение.
- 4) Входное сопротивление.
- 5) Уровень нелинейных искажений в заданной полосе частот.

Любой простой усилитель звука, независимо от класса и конструктивных особенностей, работает по следующей схеме:

1) В блоке питания поступающее электрическое напряжение от стандартной электрической сети или автомобильного аккумулятора преобразуется в напряжение заданной величины и необходимой мощности.

2) Усилители звука для домашней акустики получают сигнал от источника звукового сигнала (например, проигрывателя компакт-дисков и др.) через предварительный усилитель, который увеличивает его амплитуду и корректирует частотную характеристику, с помощью, желательно, эквалайзера.

3) Усиленный звуковой сигнал до необходимой величины передается на выход (динамики, звуковые колонки), через который он воспроизводится.

Акустическое оборудование имеет множество характеристик и применений, поэтому усилитель звука имеет несколько разновидностей. По назначению различают:

- 1) Предварительные, которые являются промежуточным звеном.
- 2) Оконечные, непосредственно увеличивающие входное напряжение и мощность.
- 3) Интегральные, часто объединяющие две предыдущие разновидности в единое устройство.

По электронной базе различают: ламповые, транзисторные, интегральные устройства. По количеству подключенных каналов устройства подразделяются на: одноканальные устройства, двухканальные устройства, многоканальные усилители.

Заключение

Таким образом, в зависимости от области применения звуковых устройств, в них применяют те или иные виды усилителей с учётом их преимуществ и недостатков. Само собой разумеется, что сделать идеальный УЗЧ технически сложно, но инженеры стремятся постоянно увеличить их технические характеристики и возможности.

Литература

1. Данилов, А.А. Прецизионные усилители низкой частоты / А.А. Данилов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2008. - 474 с.
2. Рогов, И.Е. Конструирование источников питания звуковых усилителей / И.Е. Рогов. - М.: Инфра-Инженерия, 2011. - 522 с.

УДК 681.586

ДАТЧИК FACEBIT FACEBIT SENSOR

К.А. Галишева, Д.С. Шулепов

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

piakarchyk@bntu.by

K. Galisheva, D. Shulepov

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данной работе мы разберем принцип работы датчика контроля здоровья FaceBit и рассмотрим его роль в жизни человека.

Abstract: In this paper, we will analyze the principle of operation of the FaceBit health monitoring sensor and consider its role in human life.

Ключевые слова: FaceBit сенсор, батарея, медицинская маска.

Keywords: FaceBit sensor, battery, medical mask.

Введение

В 2019 году весь мир столкнулся с глобальной проблемой – эпидемией Covid-19. Маски стали обыденным атрибутом в жизни человека. Многие ведущие медицинские учреждения стали придумывать новые способы контроля здоровья, ведь не всегда есть возможность своевременно обратиться к врачу. Благодаря датчику FaceBit и его возможности подключения к вашему смартфону вы всегда сможете следить за своей частотой сердцебиения и дыхания [1].

Основная часть

Для начала рассмотрим принцип работы датчика FaceBit.

Данной системе требуется большая батарея, чтобы ее хватало более, чем на неделю. Но это увеличит вес датчика и вызовет неудобство у эксплуататора.

Датчик включает в себя держатель батареи для небольшой ячейки ёмкостью 105 мВт*ч, а также схему сбора энергии и устройства хранения для питания платы от источников постоянного и переменного тока. Он объединяет в себе три конденсатора по 3 мФ, которые удерживают 104 мкВт*ч энергии (рисунок 1).

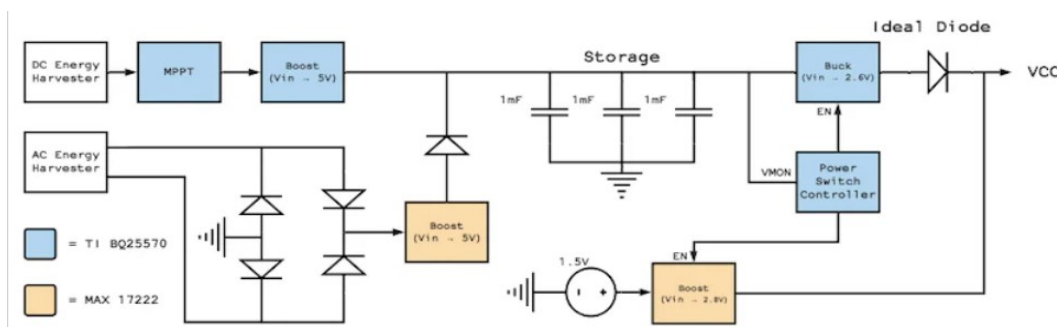


Рисунок 1 – Гибридная схема питания FaceBit

По словам ученых, такая компоновка позволяет продлить срок службы батареи. Устройство также включает дополнительные гибкие режимы, такие как режим, в котором система работает только от накопленной энергии конденсаторов.

Сенсор помещается в маску с помощью магнита. Он считывает температуру тела, ритм сердцебиения и частоту дыхания, также может анализировать качество сна [2]. Все данные поступают в мобильное приложение. Затем система оценивает их и в случае наличия каких-либо отклонений предлагает обратиться за медицинской помощью (рисунок 2).

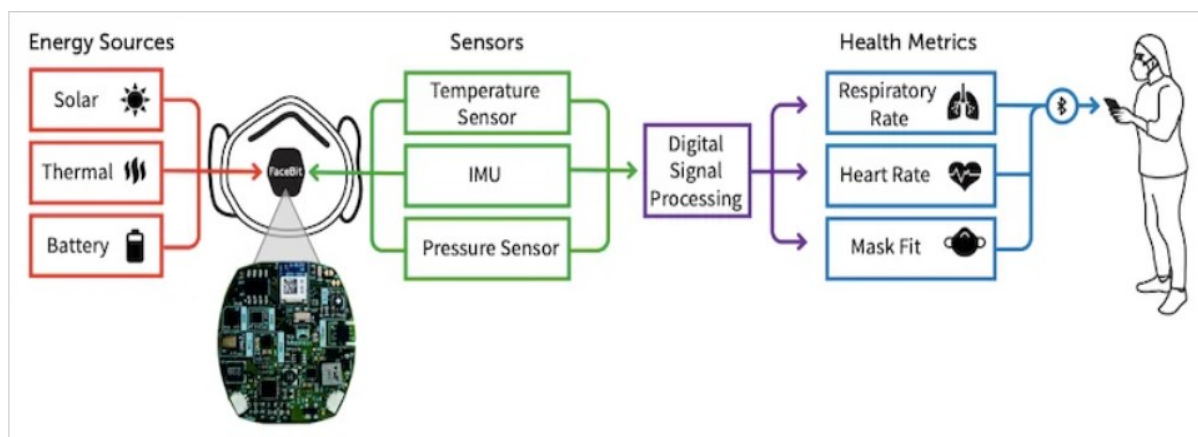


Рисунок 2 – Принцип работы FaceBit

Ученые провели опрос среди врачей и выявили одну из важнейших потребностей – качество прилегания маски. Медицинским работникам периодически необходимо проверять состояние прилегания маски, что занимает длительный период [3]. Сенсор FaceBit помогает контролировать этот процесс, что значительно облегчает процесс работы.

Заключение

В заключении мы можем сказать, что данная инновационная технология позволяет сделать огромный шаг в развитии медицины. Огромным плюсом датчика FaceBit является возможность бесконтактной помощи врачей пациентам.

Литература

1. FaceBit похож на FitBit, но для вашего лица [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.designboom.com/technology/facebit-smart-mask-sensor-03-12-2022/>. -Дата доступа: 11.04.2022
2. FaceBit прикрепляет интеллектуальные датчики к маскам [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.allaboutcircuits.com/news/facebit-the-fitbit-for-the-face-attaches-smart-sensors-to-masks/>.- Дата доступа: 11.04.2022
3. FaceBit может следить за здоровьем владельца [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://news.northwestern.edu/stories/2022/01/fitbit-for-the-face-can-turn-any-face-mask-into-smart-monitoring-device/>.- Дата доступа: 11.04.2022

УДК 620.9-027.36+620.9-027.36

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ,
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯХ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ
ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGIES IN ENERGY, ELECTRICAL
TECHNOLOGIES AND ELECTRICAL ENGINEERING**

Е.С. Вежновец, И.О. Аликевич

Научный преподаватель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск

piakarchyk@bntu.by

E. Vezhnovets, I. Alikevich

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье затрагивается тема энергоэффективных технологий в отрасли энергетики, а также изложены некоторые факторы развития технологий.

Annotation: the article touches upon the topic of energy-efficient technologies in the energy sector, and also outlines some of the factors in the development of technologies.

Ключевые слова: Технологии, модернизация, эффективность.

Keywords: Technology, modernization, efficiency.

Введение

Энергетика в наше время модернизируется и обновляется быстрыми темпами, в связи с повышением требований потребителей.

В странах СНГ процесс модернизации идет медленнее, чем в странах Западной Европы. Но в свою очередь системы отопления и водоснабжения модернизируются стремительными темпами.

Причиной тому является желание населения затрачивать меньшее количество денежных средств на коммунальные услуги, а также быть более самостоятельными в обеспечении себя всеми видами энергоресурсов. Несмотря на низкий уровень централизованных сетей ведутся разработки по их улучшению.

Основная часть

В связи с давними обновлениями системы электро- и газоснабжения, многие из них требуют полной модернизации.

Основными причинами являются: низкий КПД по сегодняшним меркам, большая изношенность оборудования и его опасность для человека в процессе работы.

Из-за большого количества котельных, большинство ТЭЦ работают в конденсационном режиме.

Процесс распределения электрического и теплового снабжения – децентрализация, в связи с ростом стоимости обслуживания централизованных магистралей, не обратим. Также из-за роста цен на тепловую и электрическую

энергию, нынешние установки перестают быть эффективными из-за своего низкого КПД.

В связи с этим, нынешние станции нуждаются в новых технологиях, при помощи которых удастся повысить их эффективность, а также понизить затраты на их обслуживание.

Можно выделить некоторые факторы развития технологий:

- Объем электро- и тепловой энергии, используемой потребителем, на данный момент растет, что показано на диаграмме (рисунок 1) [3];
- Страны, которые массово отказываются от топлива, в виде угля, газа и атомной энергии в пользу «зеленой» энергетики;
- Автоматизация систем управления и мониторинга энергоресурсов.

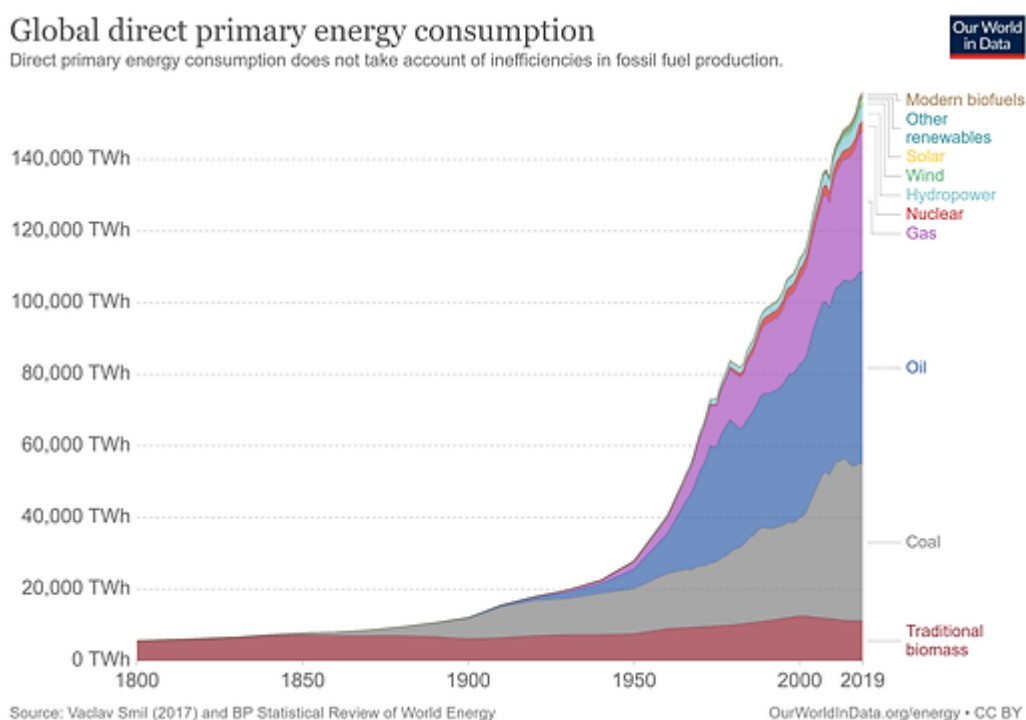


Рисунок 1 – Мировой рост потребления энергии

Данные факторы позволяют сделать вывод, что совсем скоро старые технологии перейдут на новую комбинированную систему энергоснабжения.

Это позволит перестать использовать традиционные источники энергии, которые неблагоприятно воздействуют на человека и ОС (окружающую среду). Вместо старых источников энергии будут использоваться более продуктивные, такие как метан, водород и так далее.

Новые технологии, которые уже появятся в ближайшем будущем необходимо ввести в таких сегментах, как:

- Частные сектора;
- Электро- и теплоснабжение;
- Промышленные конденсаторы и сети;

Некоторые из новых технологий уже нашли свое применение в отраслях, но их разработка все еще ведется и улучшается.

Новые технологии в частном секторе помогут понизить затраты на коммунальные услуги. В данный момент широкое применение в электроэнергетике начинают находить солнечные панели, системы умного дома и новые строительные материалы с повышенными характеристиками эксплуатации.

Технологии в теплоснабжении нуждаются в модернизации в плане контроля, управления и оптимизации систем нагрузки.

Технологии в промышленности улучшаются намного быстрее, чем в других отраслях. В связи с чем, понижается стоимость готовой продукции, что весьма выгодно нынешнему потребителю.

В наше время сети необходимо модернизировать для повышения эффективности управления децентрализованной нагрузкой.

В последнее время развитие технологий направлено на экономию затрат электроэнергии, с одновременным увеличением КПД.

Светодиоды, как источник света, используются в автомобилях, медицине, компьютерах, что позволяет уменьшить расход затрачиваемого электричества.

На данный момент лидером по внедрению новых технологий является Китай.

Новые технологии в электротехнике затронули и аграрный сектор, где уже давно используется автоматика, упрощающая работу человека.

Успешно внедрены целые линии, предоставляющие уборку и кормежку скота, что снижает себестоимость продукции.

Заключение

Внедрение новых технологий – первоочередная задача всех предприятий, осуществляемая для повышения эффективности по сравнению со старым оборудованием и снижения себестоимости продукции.

Литература

1. Новые технологии в электроэнергетике [Электронный ресурс] / Новые технологии в электроэнергетике. – Режим доступа: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/novye-tehnologii-v-elektroenergetike/> – Дата доступа 19.04.2022.

2. Инновационные технологии современной научной деятельности: стратегия, задачи, внедрение [Электронный ресурс] / Инновационные технологии современной научной деятельности: стратегия, задачи, внедрение. – Режим доступа: <https://os-russia.com/SBORNIKI/KON-302-1.pdf> – Дата доступа 19.04.2022.

3. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B8 [Электронный ресурс]. – Дата доступа 19.04.2022.

УДК 621.315.592:62.22-022.532

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ALTERNATIVE SEMICONDUCTOR MATERIALS

Е.А. Гарист, Н.Р. Деркач

Научный преподаватель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск

piakarchyk@bntu.by

E. Garist, N. Derkach

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: в статье затрагивается тема полупроводниковых приборов и материалов, которые лежат в их основе. В статье изложены краткие сведения о набирающих популярность материалах.

Abstract: the article touches upon the topic of semiconductor devices and the materials that underlie them. The article provides brief information about the materials that are gaining popularity.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, графен, кремний, полупроводник, транзистор.

Keywords: carbon nanotubes, graphene, silicon, semiconductor, transistor.

Основная часть

Технологии улучшаются с огромной скоростью, и в некоторых местах приближаются к предельным технологическим размерам. Уменьшение размеров транзисторов становится все дороже и сложнее, на данный момент, толщина окисла может составлять менее ста атомных слоев.

Самые популярные аналоги кремния, для транзисторов: углеродные нанотрубки и графен. Углеродные нанотрубки представляют собой большие молекулы, состоящие только из атомов углерода. Их диаметр не превышает десяти нанометров, в то время как длина может достигать несколько миллиметров. Электрические свойства нанотрубки зависят от степени скрученности. При определенной скрученности нанотрубка будет обладать электронной проводимостью как у металлов.

Углеродные нанотрубки можно использовать для создания полевых транзисторов, в качестве канала проводимости. Такие транзисторы уже превзошли по характеристикам традиционные кремниевые, их электропроводность больше, как и величина критического тока. Заряды в них движутся быстрее, что позволит сделать более быстрые полупроводниковые приборы. Транзисторы на основе углеродных нанотрубок могут применяться в гибкой электронике, например, в смартфонах. Их принцип действия схож с принципом действия обычных транзисторов, за исключением того, что каналом переноса зарядов является сама нанотрубка. Еще одним плюсом является стоимость производства нанотрубок, которая намного дешевле, чем производство традиционных транзисторов, на основе кремния.

Углеродные нанотрубки можно использовать не только для изготовления полевых транзисторов, они так же могут быть использованы для создания энергонезависимой оперативной памяти NRAM. Данная память интересна по двум причинам. Первая – плотность записи информации в несколько раз больше, чем в современных микросхемах памяти. Вторая – рабочая частота, которая также в несколько раз больше, чем в обычных микросхемах памяти.

Другим материалом, который может использоваться в электронике вместо кремния является графен. Представляет собой очень тонкую пленку со строго упорядоченную гексагональную кристаллическую структуру. Графен очень схож, по своим физическими свойствам, с углеродистыми нанотрубками. Для этого материала характерны – высокая проводимость и стабильность при различных температурах. Подвижность электронов в графене в несколько раз выше, чем у наиболее используемых полупроводниковых материалов. Благодаря графену можно создавать транзисторы, которые работают на очень больших частотах. В таких транзисторах можно легко увеличивать управляющий ток. Их производство дешевле, чем производство аналогичных приборов на основе углеродных нанотрубок. Однако, о коммерческом производстве говорить еще рано. На данный момент инженеры и ученые лишь подтвердили теоретические основания.

Заключение

Наука, в том числе и электроника, каждый день развивается. Уже сегодня ученые почти достигли предельных значений, однако, новые технологии также появляются. Новые технологии частично позволяют решить проблему дефицита тех или иных материалов, а также увеличат скорость выполнения различных технических процессов.

Литература

1. Тенденции развития электронных технологий. Ближайшие перспективы [Электронный ресурс] / Тенденции развития электронных технологий. Ближайшие перспективы. – Режим доступа: <https://russianelectronics.ru/tendenczii-razvitiya-elektronnyh-tehnologij-blizhajshie-perspektivy/>. – Дата доступа 09.04.2022.

2. Транзисторы из углеродных нанотрубок впервые обошли кремниевые [Электронный ресурс] / Транзисторы из углеродных нанотрубок впервые обошли кремниевые. – Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2016/09/03/nanotube-domine/>. – Дата доступа 09.04.2022.

3. Представлен сверхпроводящий транзистор из графена [Электронный ресурс] / Представлен сверхпроводящий транзистор из графена. – Режим доступа: <https://3dnews.ru/991071/predstavlen-sverhprovodyashchiy-tranzistor-iz-grafena/>. – Дата доступа 09.04.2022.

УДК 677.017.5:621.38

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТЕКСТИЛЬ ELECTRONIC TEXTILE

Е.А. Мисевич, Д.О. Черненко

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

E. Misevich, D. Chernenko

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в статье представлена информация о материалах, технологиях производства, сферах применения и характеристик гибкой электроники на текстильной основе, тканевых датчиков и носимых интеллектуальных систем.

Annotation: the article provides information on materials, production technologies, applications and characteristics of textile-based flexible electronics, fabric sensors and wearable smart systems.

Ключевые слова: электронный текстиль, гибкая электроника, технология, носимая электроника.

Keywords: electronic textiles, flexible electronics, technology, wearable electronics.

Введение

Носимая электроника или же просто электронный текстиль – это текстиль со встроенной электроникой и некоторыми волокнистыми материалами, обладающими электрическими характеристиками и выполняющими некоторые полезные функции. Если он сочетается с электронными компонентами, он может ощущать изменения в окружающей среде и реагировать, излучая свет, звук или радиоволны. Компоненты и взаимосвязи являются частью тканевого материала и, следовательно, гораздо менее заметны. Электронный текстиль относится к текстильной подложке, которая включает в себя возможности для восприятия (биометрические или внешние), связи (обычно беспроводной), передачи энергии, и технология меж-соединений, позволяющая датчикам или таким вещам, как устройства обработки информации, быть объединенными в сеть внутри фабрики.

Основная часть

Электронный текстиль позволяет выполнять небольшие вычисления на теле. Они обычно содержат проводящие нити, которые либо прядут, либо скручены, и включают некоторое количество проводящего материала (например, нити из серебра или нержавеющей стали) для обеспечения электропроводности. Проводящие ткани и текстиль покрыты или сотканы из металлических элементов, таких как серебро, никель, олово, медь и алюминий, а именно: электро-нейлон, электро-нейлоновый никель, прозрачная сетка, мягкая сетка и стальная ткань. Все эти ткани демонстрируют удивительные электрические свойства с низким поверхностным сопротивлением, которые можно

использовать для изготовления гибких и мягких электрических цепей в одежде или других изделиях, а также в системах измерения давления и положения.

Свойства электронного текстиля:

1. Легкий.
2. Большая площадь поверхности восприятия.
3. Проницаемость.
4. Невидимый для окружающих.
5. Дешевое производство.

Основные недостатки и методы их ликвидации

Устройства становятся все более сложными, но часто им не хватает необходимых текстильных характеристик мягкости, гибкости и способности соответствовать поверхностям с двойной кривизной, потеря производительности при изгибе, растяжении, стирке, для решения которых все еще требуется огромный вклад со стороны уже упомянутых областей, в частности, материаловедения и нанотехнологий. Такие носимые датчики должны сохранять свои чувствительные способности в условиях нормального износа, который может вызвать серьезную механическую деформацию предмета одежды.

Новая технология, разрабатываемая в Университете Ноттингем Трент, включает готовые полупроводниковые микрочипы в сердцевину пряжи. Такой подход приводит к сохранению необходимых текстильных характеристик и позволяет стирать ткани в стиральной машине и сушить в сушилке. Эта технология имеет значительный потенциал в будущем с многочисленными приложениями в медицине, спорте, автомобильной и аэрокосмической промышленности, обороне, моде и социальных взаимодействиях

Типы электронных текстилей

Сферу носимой электроники можно разделить на два основных типа:

1. Электронный текстиль с классическими устройствами электроники, такими как проводники, интегральные схемы, обычные батареи и светодиоды, интегрированные в одежду.
2. Электронный текстиль с электроникой, встроенной непосредственно в текстильную основу. Это может быть, как пассивная электроника, такая как проводники и резисторы, так и активные компоненты, к примеру транзисторы, солнечные элементы и различные диоды.

Большинство исследовательских и коммерческих проектов электронного текстиля представляют собой гибриды, в которых электронные компоненты, интегрированные в текстиль, подключаются к классическим электронным устройствам или компонентам. К примерам можно отнести сенсорные кнопки, которые выполнены целиком в текстильной форме с использованием текстильных переплетений с проводящими свойствами, которые затем подключаются к таким устройствам, как музыкальные проигрыватели или светодиоды, которые устанавливаются на плетеных проводящих волоконных

сетях для формирования дисплеев. Печатные датчики для физиологического и экологического мониторинга были интегрированы в текстиль, включая хлопок и неопрен.

Применение электронного текстиля

Пожалуй, наиболее широко изученным применением электронного текстиля является медицина. В частности, отслеживание состояния здоровья пациента. В данный момент времени существуют медицинские носимые устройства, которые были изобретены для наблюдения за несколькими из аспектов состояния здоровья человека, таких как артериальное давление, частота сердцебиения и симптомы заболеваний.

Умный домашний текстиль с датчиками загрязнения воздуха, температуры и влажности могут регулировать системы вентиляции и кондиционирования воздуха, чтобы воздух оставался свежим и комфортным.

Кроме того, будущие возможности использования носимой электроники в военных целях сосредоточены на критериях выбора и функциональных возможностях специализированной электроники, которая должна быть разработана и интегрирована в военную форму и аксессуары.

Заключение

С ростом интереса к носимой электронике, производственные процессы развиваются, и их использование становится все более распространенным. В конечном счете, электронный текстиль будет играть важную роль в области медицины, безопасности и защиты, а видение носимых компьютеров описывает будущие электронные системы как неотъемлемую часть нашей повседневной одежды, выступающей в роли интеллектуальных личных помощников.

Литература

1. Электронный текстиль [Электронный ресурс] / Технология беспроводной зарядки. Режим доступа: <https://www.sciencedirect/topics/engineering/electronic-textile/>. – Дата доступа 10.04.2022.
2. Электронный текстиль [Электронный ресурс] / Технологии беспроводной зарядки. Режим доступа: <https://www.netinbag.com/ru/technology/what-are-electronic-textiles.html/>. – Дата доступа 09.04.2022.
3. Электронный текстиль [Электронный ресурс] / Технологии беспроводной зарядки. – Режим доступа: [https://textilelearner.net/electronic-textiles //](https://textilelearner.net/electronic-textiles//). – Дата доступа 11.04.2022.

УДК 658.26: 004

УМНЫЕ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ SMART POWER SUPPLY NETWORK

М.А. Заруба, М.В. Рынкевич

Научный преподаватель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
piakarchyk@bntu.by

M. Zaruba, M. Rynkevch

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Основная часть

Умная сеть вводит двухсторонний диалог, в котором электроэнергия и информация могут обмениваться между коммунальным предприятием и его потребителем. Это развивающаяся сеть коммуникации средств управления компьютеров, автоматизация новых технологий и инструментов, работающих вместе, чтобы сделать сеть более эффективной, надёжной и экологически чистой. Эта умная сеть позволяет интегрировать новые технологии, такие как производство энергии ветра и солнца и зарядка подключаемых электромобилей. При нашем участии в качестве информированных потребителей, этот интеллектуальный класс заменит устаревшую структуру современных сетей и коммунальные службы смогут лучше взаимодействовать с нами, чтобы помочь управлять нашими потребностями в электроэнергии.

Принцип работы

Умный дом взаимодействует с сетью и позволяет потребителям управлять электроэнергией. Чаще измеряя потребление электроэнергии в домах с помощью интеллектуального счётчика, коммунальные службы могут предоставить своим клиентам гораздо лучшую информацию для управления своими счетами за электроэнергию.

Внутри умного дома домашняя сеть подключает интеллектуальные приборы, термостаты и другие электрические устройства к системе управления энергопотребления. Умные устройства и приборы будут корректировать график своей работы, чтобы снизить спрос на электроэнергию в сети в критические моменты и снизить счета потребителей за электроэнергию. Этими умными устройствами можно управлять и контролировать через интернет или по телевизору.

Преимущества умных сетей электроснабжения

Возобновляемые ресурсы, такие как ветер и солнечная энергия являются устойчивым и растущим источником электроэнергии. Однако они изменчивы по своей природе и усложняют нормальную работу сети. Умная сеть предоставляет данные автоматизации необходимые для того, чтобы солнечные панели и ветряные электростанции могли подавать энергию в сеть и оптимизировать её.

Чтобы удовлетворять постоянно меняющиеся потребности в энергии, коммунальные службы должны включать и выключать электростанции в

зависимости от количества энергии необходимые в определённое время суток. Электроэнергия обходится дороже в часы пика, потому что для удовлетворения более высокого спроса необходимо запускать дополнительные, часто менее эффективные, электростанции. Умная сеть позволит коммунальным предприятиям управлять потреблением электроэнергии, особенно в периоды пикового спроса. Производство электроэнергии более равномерно распределяется в течение дня.

Количество вырабатываемой электроэнергии должно равняться потреблению по всей сети. Технологии умной сети предоставляет детальную информацию, которая позволяет операторам видеть потребление электроэнергии и управлять им в режиме реального времени. Такой контроль сокращает перебой в работе и снижает потребность в пиковых мощностях по всей сети.

Коммунальные предприятия полагаются на сложные схемы распределения электроэнергии и ручное переключение, чтобы обеспечить подачу электроэнергии своим потребителям. Любой сбой в этой системе может привести к перебоям в подаче электроэнергии. Умная сеть противостоит колебаниям энергии и перебоям, автоматически выявляя проблемы при перенаправлении и восстановлении подачи электроэнергии.

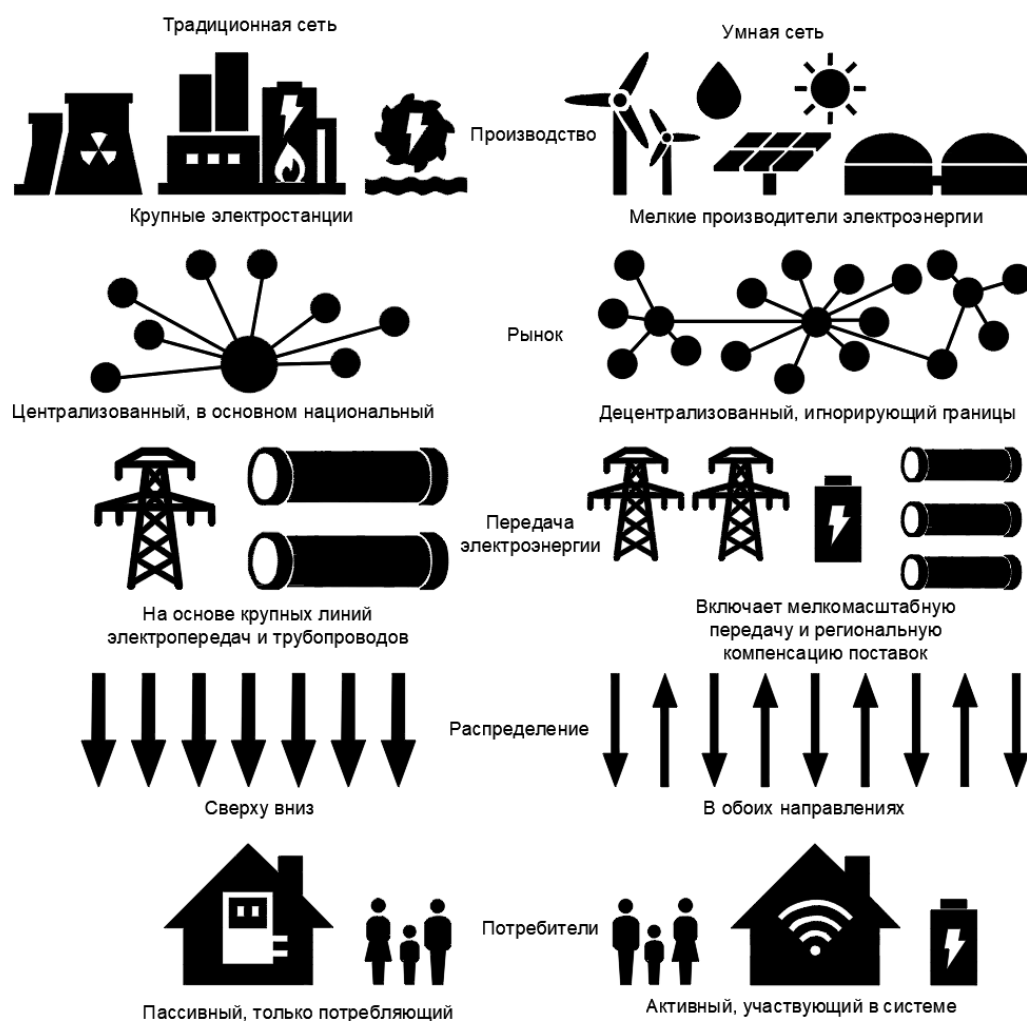


Рисунок 1 – Схема развития электросетей

Заключение

Умная сеть электроснабжения – это модернизированная сеть электроснабжения, которая позволяет автоматически повышать надёжность, эффективность, экономическую выгоду, устойчивость производства и распределение электроэнергии.

Литература

1. Умные сети [Электронный ресурс] / Умные сети электроснабжения. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Умные_сети_электроснабжения/](https://ru.wikipedia.org/wiki/Умные_сети_электроснабжения/). – Дата доступа 10.04.2022.
2. Smart grids: electricity networks and the grid in evolution [Электронный ресурс] / Smart grids. – Режим доступа: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/smart-grids-electrical-grid/>. – Дата доступа 10.04.2022.

УДК 621.38:539.16

**ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИИ НА ЭЛЕКТРОНИКУ
EFFECT OF RADIATION ON ELECTRONICS**

Н.О. Соловьёв, К.О. Клименков

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

piakarchyk@bntu.by

N. Salauyou, K. Klimenkou

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в статье затрагивается воздействие радиационных факторов на полупроводниковые компоненты электроники, их механизмы повреждения и способы предотвращения пагубных влияний.

Abstract: the article touches upon the impact of radiation factors on semiconductor components of electronics, their damage mechanisms and ways to prevent harmful effects.

Ключевые слова: полупроводниковые устройства, электронная схема, ионизация.

Keywords: semiconductor devices, electronic circuit, ionization.

Введение

С исторической точки зрения, изучение радиационных эффектов в электронных схемах началось в начале 60-х годов прошлого века в основном как ответ на две проблемы:

1. Растущий спрос на защищенную электронику, которая могла бы выдержать воздействие ядерного взрыва (гонка ядерных вооружений в то время была в самом разгаре).

2. Открытие радиационных поясов Ван Алленом и Верновым и возникшая потребность в защите от них (после начала освоения космоса).

Первые шаги электроники можно отнести примерно к тому же периоду: первый спутник (Спутник 1, 1957) появился в то же время, как и первая интегральная схема в германии (1958); транзистор металл-оксид-полупроводник (МОП) появился в 1960 году. Прогресс в области микроэлектроники, темпы развития которой никогда не снижались с момента ее появления, сделал использование электронных устройств, все более привлекательным, даже для применения в неблагоприятных условиях среды. Электронные схемы используются в нескольких областях, где требуется более или менее высокая степень радиационной стойкости: космические и авиационные приложения, высокоэнергетические физические эксперименты, ядерные и (все еще экспериментальные) термоядерные электростанции, медицинская диагностика и терапия, промышленная визуализация и обработка материалов. При работе в этих средах полупроводниковые устройства и интегральные схемы могут подвергаться прямому воздействию фотонов,

электронов, протонов, нейтронов или более тяжелых частиц; изменение их электрических свойств может привести к отказу электронной подсистемы. В зависимости от типа и характеристик падающего излучения могут возникать различные эффекты, как необратимые, так и (частично или полностью) обратимые. Знание механизмов, лежащих в основе радиационной реакции электронных устройств имеет первостепенное значение для:

1. Разработки методик обеспечения твердости, гарантирующие, что тестируемые устройства могут надежно работать в целевой среде.
2. Разработки радиационно-стойких схем и методов проектирования для повышения устойчивости электронных схем к специфическим воздействиям радиации в некоторых конкретных средах.

Основная часть

Полупроводниковые устройства и интегральные схемы в настоящее время работают в ряде враждебных сред:

1. Космическое пространство.
2. Земная среда.
3. Военная обстановка.
4. Атомная промышленность и электростанции.
5. Исследовательская среда физики высоких энергий.
6. Среда для научных исследований в области фотонов.
7. Медицинское и промышленное применение.

Воздействие излучения может меняться в зависимости от конкретного принципа работы рассматриваемого электронного устройства.

Существует множество видов повреждения в полупроводниковых устройствах. Несмотря на сложность процессов взаимодействия и их зависимость от свойств падающей частицы и материала-мишени, два из них являются основными механизмами радиационного повреждения, влияющими на полупроводниковые устройства:

1. Ионизационное повреждение: происходит, когда энергия, оседающая в полупроводнике или в изолирующих слоях, главным образом SiO_2 , освобождает носители заряда (пары с электронными отверстиями), которые диффундируют или дрейфуют в другие места, где они могут попасть в ловушку, в результате непреднамеренных концентраций зарядов и паразитарных полей. Такой ущерб является основным следствием воздействия рентгеновского и γ -излучения и заряженных частиц, он затрагивает главным образом устройства, основанные на поверхностной проводимости (например: MOSFETs).

2. Повреждение в результате смещения: падающее излучение вытесняет атомы из их решетки, в результате чего возникают дефекты, изменяющие электронные свойства кристалла, это основной механизм деградации устройства для высокоэнергетического нейтронного излучения. Такое повреждение в основном влияет на устройства, основанные на объемной проводимости (например, BJT, диоды, JFETs).

Воздействие излучения в полупроводниковых устройствах может быть включено в один из двух широких классов:

- Эффекты суммарной дозы: обусловлены постепенным накоплением удерживаемого заряда в изолирующих слоях или на интерфейсе Si/SiO₂ (вследствие ионизационных явлений) или дефектами в основной массе устройств (возникающими в результате накопления смещения).

- Эффекты одиночных событий: вызваны осаждением заряда одной частицей, которая пересекает чувствительную область устройства. Они могут привести к разрушительному или неразрушающему повреждению устройства.

На основе реакции устройства на излучение и механизмов радиационного повреждения могут быть приняты некоторые контрмеры для повышения радиационной устойчивости устройств и схем:

1. Технология радиационной закалки

Если устройство недостаточно радиационно-стойкое для предполагаемого применения, можно принять некоторые меры, чтобы сделать его более стойким; это может быть достигнуто путем:

- изменения геометрической схемы устройства (упрочнение путем компоновки)

- изменения одного или нескольких этапов процесса изготовления (упрочнение по технологии)

- соответствующим образом спроектировать общую схему или систему (упрочнение путем проектирования)

2. Современные технологии защиты

- Коммерческие глубоко субмикронные КМОП-технологии уже могут обеспечить уровни общей стойкости к ионизирующей дозе в диапазоне от нескольких единиц до нескольких десятков МРад. Использование ультратонких (несколько нм) оксидов ограничивает влияние захваченного оксидом заряда. Использование тонких эпитаксиальных слоев, ретроградных лунок и неглубокой изоляции траншей улучшает стойкость к защелкиванию.

- Технология SOI представляет значительный коммерческий интерес из-за преимуществ, которые она дает в плане скорости, мощности и плотности интеграции. Тот факт, что она также обеспечивает полную изоляцию устройства, является преимуществом с точки зрения радиационных эффектов, из-за изолирующего слоя технология не подвержена разрушительному защелкиванию.

3. Упрочнение в процессе и при проектировании

- Изготовление типичной МОП интегральной схемы включает большое количество этапов, и многие из них могут влиять на радиационную стойкость устройства. Наиболее важными являются факторы, влияющие на характеристики захвата заряда оксидов (оксид затвора, полевой оксид, интерметаллический оксид).

- Глубокие субмикронные технологии, как правило, более чувствительны к единичным сбоям, чем более старые технологии; однако устойчивость к однократным аварийным ситуациям может быть улучшена с помощью методов проектирования. В случае цифровых схем типичное решение включает использование логической избыточности, которая может заключаться, например, в утроении цепи цифровой обработки, в этом случае радиационно-

индуцированная ошибка в одном бите может быть переиграна двумя другими, не затронутыми радиацией компонентами.

Заключение

Усовершенствование способов повышения радиационной стойкости компонентов электроники значительно влияет на развитие космической и атомной промышленности, а так же медицинской техники, использующей ионизирующее излучение.

Литература

1. Ionizing Radiation Effects in Electronic Devices and Circuits [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://agenda.infn.it/event/5622/contributions/59843/attachments/43107/51149/Ratti_radiation_effects_on_electronics.pdf – Дата доступа: 16.04.2022.

2. Радиационная стойкость электронных приборов [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://studme.org/83201/tovarovedenie/radiatsionnaya_stoykost_elektronnyh_priborov – Дата доступа: 16.04.2022.

УДК 621.382.2/3

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА
STRUCTURE AND OPERATING PRINCIPLE OF MICROCONTROLLER

З.В. Ковганов

Научный руководитель – Л.И. Новикова, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

eie@bntu.by

Z. Kovganov

Supervisor – L. Novikova, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация:** описание работы микроконтроллера и его устройства.*Abstract:** the description of microcontroller operation and its structure.****Ключевые слова:** микроконтроллер, микросхема, алгоритм, прошивка, программатор, кварцевый резонатор.****Keywords:** microcontroller, microcircuit, algorithm, firmware upgrade, programmer, quartz-crystal resonator.***Введение**

Микроконтроллер – универсальна микросхема, в которой объединены процессор, память и периферия, т. е. данное устройство может работать как компьютер, только выполняя более простые задачи [1]. Микроконтроллеры достаточно популярны из-за своей многофункциональности и используются для уменьшения различных деталей в схеме либо для реализации какого-то устройства, где простейших логических элементов недостаточно. Микроконтроллеры значительно упрощают работу по созданию какой-нибудь новой схемы. Выбор его зависит от конкретной поставленной задачи и, соответственно, чем больше функций должно выполнять реализуемое устройство, тем больше требований к микросхеме. Например, если необходимо создать что-то похожее на новогоднюю гирлянду с четырьмя различными цветами и множествами режимами ее работы, таких как мигание, переливание и т.д. то достаточно будет микроконтроллера с восьмью выводами. А чтобы сделать такую же гирлянду, но уже не с четырьмя цветами, а с восьмью, то такого микроконтроллера будет недостаточно, и необходимо взять шестнадцати выводную микросхему. Также, чем больше режимов работы гирлянды нужно, тем больше памяти должен содержать микроконтроллеры. Но это далеко не единственный способ их применения. Существует огромное количество разных схем, где они используются.

Основная часть

Чтобы создать некое устройство на базе микроконтроллера, в первую очередь нужна сама микросхема. Далее, чтобы заставить микроконтроллер работать, необходимо реализовать алгоритм, а после – внедрить его в микросхему. В этом помогут специальные компьютерные программы, где с помощью языка программирования (В основном C/C++) создается код, который после преобразуется в прошивку, благодаря которой и будет работать

микроконтроллер. Полученную прошивку нужно записать в память микросхемы. Это делается с помощью специальных устройств – программаторов (рисунок 1) [2].



Рисунок 1 – Программатор

После записи, микроконтроллер практически готов к работе. Еще одна вещь, необходимая для его работы и всей схемы в целом – это кварцевый резонатор. Он служит для задания количества тактов работы в секунду, то есть он задает скорость работы контроллера. Однако у каждого микроконтроллера есть лимит, и если поставить кварцевый резонатор с частотой, которая выше максимального допускаемого значения контроллера, то ничего работать не будет.

Заключение

Таким образом на основе МК можно создать практически любую сложную схему. Необходимы только навыки программирования и создания алгоритмов. Данное устройство значительно упрощает схему и занимает меньше места, по сравнению с использованием вместо него обычных полупроводниковых элементов.

Литература

1. Что такое микроконтроллеры – назначение, устройство, софт [Электронный ресурс]/ Электрик Инфо. – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/automation/549-что-такое-mikrokontrollery-naznachenie-ustroystvo-princip-raboty-soft.html/>. – Дата доступа: 15.04.2022.
2. Топ-10 лучших программаторов и дебаггеров [Электронный ресурс]/ iXBT.Live. – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/live/topcompile/top-10-luchshih-programmatorov-i-debuggerov-s-aliekspress.html/>. – Дата доступа: 15.04.2022.