

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА, ПРИМЕНЯЕМЫХ В НАРУЖНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Джугля Ю.А., Пацко М.Н.
Научный руководитель - к.т.н., доцент Козловская В.Б.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТОКАМИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Плешко Д.Ю., Зарихта К.С.
Научный руководитель - доцент Константинова С.В.

SOLAR IMPULSE – САМОЛЕТ БУДУЩЕГО

Галин А.Д., Матяс Т.В.
Научный руководитель - доцент Константинова С.В.

АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ЗДАНИЙ.

Ахундова Ю.Д.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В.Б.

ОТКАЗЫ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ

Кузьма А. Ю.
Научный руководитель – к.т.н, доцент Радкевич В.Н.

УСТАНОВКИ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ, РАБОТАЮЩИХ НА БИОГАЗЕ

Журавлёв Е.Д.
Научный руководитель – ас. Михайлова Я.В.

СОВРЕМЕННЫЕ МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Зарихта К.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Супрунук А.В., Мильто А.В.
Научный руководитель - к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Павлович Е.В.
Научный руководитель – ст. преподаватель Калечиц В. Н.

МИКРОМАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Плешко Д. Ю.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С. В.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ

Полоневич П.В.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Константинова С.В.

РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Свирида Я.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

**ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С РАЗНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ
КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

Сикорский Н.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ В КАЧЕСТВЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Дубатовка А.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В.Б.

**ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С МАГНИТОПРОВОДОМ ИЗ
АМОРФНОЙ СТАЛИ**

Сорока А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ ЛАМП

Марчук А.В.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Козловская В.Б.

**СПОСОБЫ ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Швед Г.А.

Научный руководитель - ст. преподаватель Колосова И.В.

СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ ЭКРАНОВ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Угаров М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

УДК 621.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА, ПРИМЕНЯЕМЫХ В НАРУЖНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Джугля Ю.А., Пацко М.Н.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Козловская В.Б.

Общие требования к наружному освещению городов, поселков и сельских населенных пунктов регламентируется ТКП 45-4.04-287-2013.

Основные положения:

- Осветительные установки должны удовлетворять требованиям безопасности движения транспорта и людей.
- В обязательном порядке должно быть организовано уличное освещение всех архитектурных объектов и памятников.
- Уличные источники света устанавливаются с учетом особенностей поверхности дорог в пределах обслуживаемой территории (принимается во внимание светоотражательные свойства покрытия).
- При выборе светильников для уличного освещения необходимо учитывать:
 - Тип опорной конструкции;
 - Вид лампы и её основные характеристики (мощность, световая отдача, срок службы);
 - Экономичность установок, рациональное использование электроэнергии;
 - Надежность работы осветительных установок (защищенность корпуса фонаря);
 - Удобство и безопасность обслуживания и управления осветительными установками;
 - Стоимость;

Для уличного освещения применяется множество различных ламп, которые имеют существенное отличие и различный принцип действия. Обычно могут использоваться лампы типа ДНАТ, ДРЛ, ДРИ, а также светодиодные и индукционные лампы.

Дуговые натриевые трубчатые лампы высокого давления типа ДНаТ сегодня считаются одними из наиболее экономичных. Везде, где необходима контрастная видимость при любых погодных условиях, мы чаще всего встречаем именно такие лампы. В большинстве ДНаТ наполнителем является амальгам натрия, соединение натрия с ртутью. Диапазон мощности ламп — 70...400 Вт.

Очевидными достоинствами ламп типа ДНаТ являются, прежде всего, их экономичность, обеспеченная высокой светоотдачей — до 150 лм/Вт, а также большой по длительности срок службы от 12 до 25 тысяч часов.

В то же время ряд технических характеристик этих ламп заметно сужает область их применения. Доминирование желтого цвета, достаточно продолжительное время зажигания — от 6 до 10 минут, необходимость специальной утилизации, кроме того, натриевые лампы хуже светят в холодную погоду.

Дуговые ртутные люминесцентные лампы типа ДРЛ имеют высокую световую отдачу (до 60 лм/Вт), срок службы до 15000ч, они компактны, а также неприхотливы к условиям окружающей среды (кроме сверхнизких температур). Диапазон мощностей от 80 до 2000 Вт. Однако от момента запуска и до выхода на полное свечение требуется в среднем 5-7 минут, а также требуется специальная утилизация. По сравнению с лампами типа ДНаТ они имеют лучшие цветовые характеристики, однако менее экономичны и обладают меньшим сроком службы.

Металлогалогенные дуговые ртутные лампы с излучающими добавками типа ДРИ от других газоразрядных ламп отличаются тем, что для коррекции спектральной

характеристики дугового разряда в парах ртути, в горелку лампы добавляются специальные излучающие добавки (ИД), представляющие собой галогениды некоторых металлов. Лампы ДРИ излучают яркий белый свет высокого качества и имеют отличную цветопередачу. В связи с этим ДРИ активно используют для подсветки рекламных щитов и витрин, для освещения спортивных сооружений и стадионов, для архитектурной подсветки зданий и сооружений.

Диапазон мощностей от 20 до 3500 Вт, срок службы до 10000 часов. К достоинствам этих ламп можно отнести: хорошую светоотдачу (до 110 лм/Вт), компактность, надежность работы при различных температурах и условиях эксплуатации.

Главными недостатками ламп ДРИ являются: высокая стоимость, длительное время разгорания, необходимость специальной утилизации. Из всех перечисленных газоразрядных ламп высокого давления эти лампы имеют наименьший срок службы.

Индукционные лампы характеризуются мгновенным запуском (при этом лампы сразу светят на 75% мощности), обладают длительным сроком службы: 60 000 – 150 000 часов (благодаря безэлектродному исполнению срок службы значительно выше, чем у традиционных источников света), высокой светоотдачей от 80 лм/Вт, стабильностью светового потока при различных температурах окружающей среды и надежным зажиганием при низких температурах до минус 30°C.

При этом в местах эксплуатации ламп не должно быть агрессивной среды, взрывчатых и горючих веществ, электрических разрядов.

К недостаткам можно отнести необходимость специальной утилизации, кроме того они неэкономичны в штучном применении.

В настоящее время индукционные лампы как источник общего освещения имеют характеристики лучше, чем традиционные источники света, такие как ртутные, натриевые, металлогалогенные лампы и даже светодиодные лампы. Однако широкого распространения в наружном освещении они не нашли.

В светодиодных источниках света используются светодиоды, данный вид светильников применяются для промышленного, бытового и уличного освещения.

Принцип свечения светодиодов в светодиодной лампе позволяет использовать в производстве и работе самой лампы безопасные компоненты. Светодиодные лампы не содержат ртутьсодержащих веществ, поэтому являются одним из самых экологически чистых источников света.

Преимущества светодиодных светильников — это низкое энергопотребление, световая отдача от 85 до 120 лм/Вт, средняя мощность светодиодной лампы — от 1 до 7 Вт, светильник также отличается долгим сроком службы до 100000 часов, он прост в установке, имеет хорошую яркость, высокую механическую прочность, зачастую небольшие габариты.

Основной недостаток - это высокая цена и цветовой спектр свечения. Правда эти сравнительно небольшие недостатки чаще всего компенсируются экономией электроэнергии, экономией на обслуживании (замене ламп), что особенно актуально для уличного освещения.

Светодиодные лампы по своей сути являются цифровыми системами, благодаря чему в них легко встраиваются коммуникационные функции для автоматизации систем освещения. Использование дистанционного управления с помощью беспроводной связи или передачи данных по линиям электросети позволяет уменьшить энергопотребление, снизить эксплуатационные затраты и затраты на обслуживание.

Экономия от применения светодиодов может достигаться не только за счет снижения потребления энергии, но и благодаря использованию токоподводящих кабелей меньшего сечения. Светодиодные светильники практически мгновенно выходят на максимальную силу света. Это их свойство не зависит от температуры воздуха, они легко зажигаются и нормально работают даже при экстремальной температуре в — 60°C.

Таблица 1-Основные характеристики для ламп уличного освещения

Характеристика	Тип ламп				
	ДНаТ	ДРЛ	ДРИ	Светодиодные	Индукционные
Мощность, Вт	70-400	80-2000	20-3500	1-25	15-500
Световая отдача, лм/Вт	130-150	30-60	80-110	85-120	>80
Срок службы, тыс. ч	12 - 25	12 - 15	8 - 10	50 - 100	60 - 150
Специальная утилизация	Да	Да	Да	Нет	Да

Вывод: Исходя из таблицы 1, наилучшими светотехническими характеристиками для уличного освещения обладают лампы типа ДНаТ, индукционные и светодиодные, при этом для первых двух типов требуются также дополнительные расходы на утилизацию.

Литература

1. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение: учебник – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с.
2. ТКП 45-4.04-287-2013 Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Правила проектирования – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2013. – 19с.
3. Лампы освещения. Общие технические характеристики ламп [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.calc.ru/Lampy-Osveshcheniya-Obshchiye-Tekhnicheskiye-Kharakteristiki.html>
4. Критерии выбора светильников уличного освещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://proosveschenie.ru/landshaftnoe-osveshhenie/vybor-svetilnikov-dlya-ulicy.html>
5. Обзор рынка ламп, используемых в установках наружного освещения/ журнал Энергосовет [Электронный ресурс]. – 2009. – № 2 – Режим доступа: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=15
6. Наружное освещение городов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/lighting/1129-naruzhnoe-osveshhenie-gorodov.html>

УДК 621.3

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТОКАМИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Плешко Д.Ю., Зарихта К.С.

Научный руководитель - доцент Константинова С.В.

Публикуемые в научно-технической литературе материалы свидетельствуют о том, что проблема энергетической эффективности электропривода в последние годы решается за счет совершенствования существующих и разработки новых типов электродвигателей и полупроводниковых преобразователей с повышенными энергетическими.

Основным фактором повышения энергетической эффективности преобразователей является использование полностью управляемых полупроводниковых приборов силовой электроники (MOSFET, IGBT, IEGT, GTO, IGCT).

Несмотря на значительный прогресс в области силовой электроники и микропроцессорных средств управления, в регулируемых электроприводах сравнительно мало используются их возможности для реализации энергосберегающих алгоритмов управления режимами электропривода. Во многих случаях реализуются законы управления электрическими двигателями, которые не полностью отвечают требованиям задачи энергосбережения.

Существующие алгоритмы оптимизации условно можно разделить на два основных способа формирования электромагнитного момента электрической машины. Одним из них является способ формирования электромагнитного момента, обеспечивающий управление электрической машиной по минимуму тока статора или суммарных потерь. Этот способ управления применяется в электроприводах, не отличающихся высоким быстродействием. Для динамических систем переменного тока электромагнитный момент формируют в условиях стабилизации потокосцепления ротора или статора.

Несмотря на то, что применение этого способа не обеспечивает экономичности регулирования, формирование электромагнитного момента в условиях стабилизации потокосцепления считается целесообразным в предположении, что в этом случае к обмоткам двигателя необходимо подвести минимум мгновенной мощности для изменения электромагнитного момента.

Модель потерь мощности в асинхронной машине включает активные и магнитные потери в статоре и роторе, дополнительные и механические. В пределах модели получено уравнение восьмой степени относительно энергетически оптимального значения потока ротора асинхронной машины и найдено аналитическое решение этого уравнения. Получен упрощенный вариант этого решения, предназначенный для практического применения в энергосберегающих асинхронных электроприводах. Однако данный аналитический метод показывает приемлемую точность результатов лишь в определенном диапазоне значений потокосцепления ротора. В ином случае приходится использовать численные методы решения задачи минимизации потерь.

Поэтому была предложена математическая модель общих (суммарных) потерь мощности в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах, состоящих из потерь мощности в выпрямителе, инверторе и двигателе. Затем с помощью данной модели проведена оптимизация общих потерь мощности в асинхронном электроприводе с АИН - ШИМ.

Требования оптимальности по потерям рассмотрены по отношению к двигателю, преобразователю частоты и в целом к электроприводу. Предложены аналитические и численные методы решения задачи оптимизации работы системы «преобразователь частоты - асинхронный двигатель». Рассмотрено влияние режимов двигателя на характеристики ПЧ и в первую очередь на мощность потерь в ПЧ при постановке задачи оптимизации по минимуму суммарных потерь электропривода. Результаты исследований статических характеристик двигателя показывают, что АД как объект управления обладает экстремальными характеристиками по ряду частных критериев качества.

Наличие экстремумов тока статора I_1 и активной мощности P обуславливает экстремальный характер отдельных составляющих электрических потерь выпрямителя, инвертора и суммарных электрических потерь преобразователя. В частности, режим минимальных потерь АД обеспечивает минимум электрических потерь в источнике питания АИН.

Оптимальные характеристики электрических машин зависят не только от их параметров, но и от соотношений между ними.

С использованием метода множителей Лагранжа поставлена и решена задача оптимального управления токами двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) в стационарном режиме протекания токов, а именно обеспечение минимально возможных потерь в обмотке якоря и обмотке возбуждения при создании требуемого электромагнитного момента.

Традиционно решение данной задачи находится при условии, что магнитный поток машины и, соответственно, потери в обмотке возбуждения являются постоянными, вследствие чего обеспечить минимальные потери в ДПТ НВ можно, регулируя только ток якоря.

SOLAR IMPULSE – САМОЛЕТ БУДУЩЕГО

Галин А.Д., Матяс Т.В.

Научный руководитель - доцент Константинова С.В.

На сегодняшний день перелеты являются доступными для большей части населения Земли. Каждый день более чем 50 тысяч летательных аппаратов транспортируют около 9 миллионов пассажиров ввиду того, что это быстро и комфортабельно. Но существует ряд недостатков.

Во-первых, самые популярные самолеты, такие как Boeing 737-800 и Airbus A321, хоть и являются высокотехнологичными и экономичными, все еще потребляют огромное количество дорогостоящего авиационного топлива, около 3000 литров за один час полета. Во-вторых, при каждом сгоревшем килограмме керосина выделяется около 2.5 килограммов углекислого газа. Пассажирский самолет, пролетев 1000 километров, производит 9 тонн CO₂, а также большое количество других вредных веществ. Самолеты производят около трех процентов всего углекислого газа в мире. Таким образом, авиация наносит огромный вред окружающей среде.

Сегодня используется огромное количество различных альтернативных видов энергии для того, чтобы снизить выбросы вредных веществ в атмосферу. Область авиастроения не является исключением. Поэтому Google, а также ряд инвесторов наняли высококвалифицированных специалистов для создания проекта, помогающего решить данную экологическую проблему. Этот проект был назван Solar Impulse.

Анализируя историю, мы узнали, что Solar Impulse-1, который был создан швейцарскими конструкторами Андре и Берtrandом, был продемонстрирован широкой публике в 2009 году. В течение первого полета Solar Impulse-1 находился в воздухе около 75 минут. За четыре месяца пилоты совершили 26-часовой полет в режиме энергосбережения, посредством накопления энергии в солнечных батареях в дневное время.

Одним из основных партнеров в реализации проекта стал известный швейцарский бизнесмен, а одновременно и высококлассный пилот – Андре Боршберг, который с самого детства увлекался авиацией и к моменту начала реализации проекта мог управлять самолетами и вертолетами самых разнообразных категорий. Партнеры практически сразу взялись за работу и в течение 2003 года провели все необходимые исследования, которые показали, что с инженерной точки зрения проект вполне реализуем. Но пока это была теория, поэтому в ноябре 2003 года была начата разработка прототипа, будущего «Солнечного самолета».

Самолет снабжен четырьмя электродвигателями, которые приводятся в движение энергией, получаемой с помощью 17 248 солнечных панелей. Самолет развивает скорость в 170 км/ч на максимальной высоте в 8500 метров. Вес этого огромного воздушного судна всего 2.3 тонны, что соизмеримо с массой легкового автомобиля, в то время как его размах крыльев составляет 72 метра, что больше чем у Boeing 747. На протяжении всего полета, пилот находится в кабине объемом всего 3.8 кубических метра.

Ограниченность грузоподъемности создает необходимость продумывать рацион с максимально возможной точностью: общая масса еды и воды не должна превышать 30 килограммов. За питание отвечает Nestlé Health Science. На сон придется несколько раз в день отводить по 20 минут, что требует от пилотов обладания техниками быстрого достижения глубокого сна. Температура будет меняться от -40 до +40 градусов Цельсия.

Кабина одноместная, поэтому второй пилот будет добираться до места очередной посадки не в Solar Impulse 2. Каждый перелет будет занимать от 12 до 120 часов.

Путь самолета вокруг света разделен на 13 отдельных перелетов. Аппарат под управлением Берtrandом Пикардом начал свой путь в Абу-Даби, проследовав в Японию, делая остановки в Омане и Мьянме. Пересекая Тихий океан, аккумуляторные батареи самолета были сильно повреждены в результате нагрева. После годового ремонта на Гавайях

Solar Impulse продолжил свой путь, достигнув Западного побережья США. Сделав остановки в городах Тульза и Оклахома, он следовал в Нью-Йорк, пересек Атлантику и вернулся на точку старта в Абу-Даби.

В нашем докладе мы рассмотрели инновационный проект Solar Impulse, который был разработан высококвалифицированными инженерами с помощью Google Inc. Главным преимуществом данного аппарата является возможность летать без использования традиционных источников, потребляя только солнечную энергию, которая бесплатная, экологически чистая и безопасная. Данный проект интенсивно пропагандирует альтернативные источники энергии, внедряя инновации в отрасли гражданской авиации. Мы можем значительно уменьшить выброс вредных веществ в атмосферу. Сокращение выбросов углекислого газа приводит к снижению парникового эффекта, которое способствует замедлению Глобального потепления. Хотя Solar Impulse не запущен в массовое производство, мы надеемся, что данный проект является многообещающим и получит дальнейшее развитие.

Solar Impulse – это самолет будущего!

Литература

- 1 Solar Impulse [Электронный ресурс] официальный сайт проекта
URL:<http://www.solarimpulse.com>
- 2 Достичь небес: Аэронавты, люди-птицы и космические старты / Ричард Брэнсон ; Пер. с англ. — М.: Альпина нон-фикшн, 2013. — 335 с. + 16 с. вкл. — (Чтения Дюаристов).
- 3 Solar Impulse – aircraft of tomorrow [Электронный ресурс]
URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/Solar_Impulse

УДК 621.3

АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ЗДАНИЙ.

Ахундова Ю.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В.Б.

В ходе работы выполняется расчет архитектурно-художественного освещения общественного здания двумя вариантами возможного освещения: в первом случае для подсветки используются лампы типа ДНаТ и ДРИ, во втором - используются светодиодные источники света. В качестве объекта, для которого производится освещение, было принято здание театра. Предполагаем, что прожекторы будут установлены по периметру здания внизу и на крыше. Театр имеет форму прямоугольника со сторонами $a=50$ м, $b=70$ м.

I вариант**Подсветка, выполненная лампами ДНаТ и ДРИ**

Для достижения наиболее удачного цвета свечения подсветки используются лампы ДНаТ и ДРИ, причем прожекторы устанавливаются по определенной последовательности. Так при расчете освещения по крыше прожекторы устанавливаются равномерно с шагом в 3 м. Чередование источников света выглядит следующим образом: устанавливается один светильник ГО17 2Ех с источником света ДНаТ, за ним следуют 3 светильника типа ГО17 2Ех с лампой типа ДРИ.

Оба типа ламп, используемых в данной работе обладают мощностью $P_{ном} = 70$ Вт и со световым потоком для ламп ДНаТ и ДРИ 5800 лм и 5700 лм соответственно.

Количество ламп ДНаТ-20 штук, ДРИ - 59 штук.

Размещение прожекторов по крыше показано на рисунке 1.

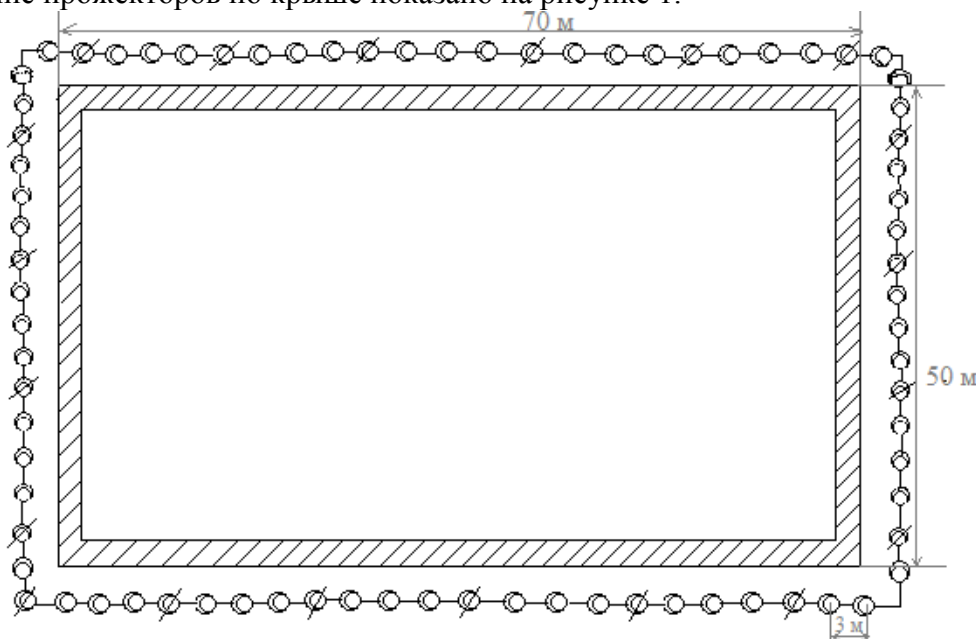


Рисунок 1 Размещение прожекторов подсветки по крыше:



- прожектор с лампой типа ДНаТ;



- прожектор с лампой типа ДРИ.

Освещение по основанию здания производится только лампами ДНаТ. Устанавливаются прожекторы типа ГО17 2Ех через каждые 6 м. Так как фасад здания обладает колоннами, их подсветка выполняется независимо от шага, с которым расположены

прожекторы с боковых и задней сторон. Используется 41 прожектор с лампами мощностью $P_{ном} = 70$ Вт и со световым потоком 5800 лм.

На рисунке 2 показано размещение прожекторов подсветки основания здания.

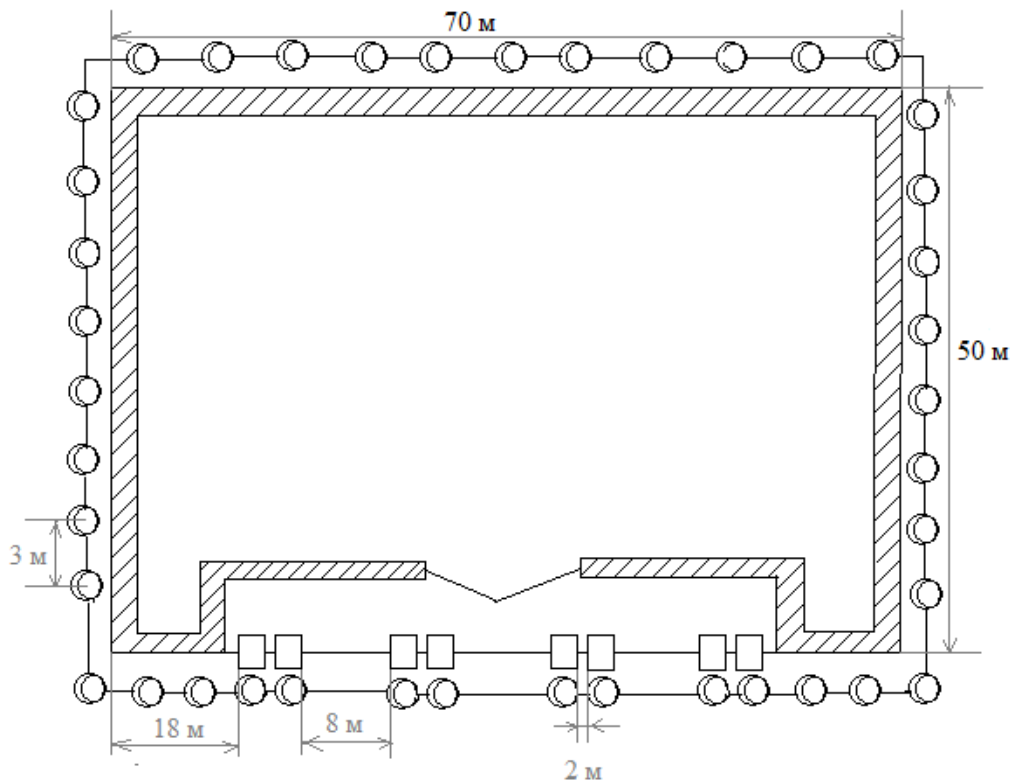


Рисунок 2 Размещение прожекторов подсветки основания здания.

II вариант

Подсветка, выполненная светодиодными источниками света

В настоящее время светодиоды стали довольно популярны в виду своих довольно высоких электрических и цветовых показателей. В виду этого произведен расчет вторым вариантом освещения- светодиодными лампами, что позволит определить наиболее лучший и экономичный вариант. Количество прожекторов-79 единиц. Используется прожектор светодиодный типа OSF50-04, мощность которого составляет $P_{ном} = 50$ Вт, а световой поток- 6000 лм.

Размещение прожекторов по крыше здания аналогично рисунку 1.

Освещение по основанию здания производится также светодиодными лампами с такой же номинальной мощностью. Устанавливаются они аналогично первую варианту освещения. Используется также 41 прожектор (рис. 2).

Для описанных выше вариантов выполнения подсветки, рассчитываются электрические показатели, такие как:

- Расчетная мощность

$$P_p = K_c \cdot \sum_{i=1}^n K_{ППAi} \cdot P_{номi},$$

где K_c -коэффициент спроса осветительных установок;

$K_{ППAi}$ -коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующем аппарате;

n - количество ламп.

- Количество часов горения ламп.

$$T_n = M \cdot \frac{T_1'' + T_2''}{2},$$

где M -общее число суток в рассматриваемом периоде, $M=365$ суток [1];

T_1'' -продолжительность включения наружного освещения в сутки с наибольшей

продолжительной зимней ночи (21 декабря), принимаем $T_1''=12$ ч;

T_2'' - продолжительность включения наружного освещения в сутки с наиболее

короткой летней ночи (21 июня), принимаем $T_2''=7$ ч;

➤ Расход электроэнергии.

$$W = P_p \cdot T_n \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

➤ Световая отдача.

$$H = \frac{\Phi}{P_{ном}}, \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$$

где Φ -световой поток лампы,

➤ Суммарный расход электроэнергии подсветки как крыши, так и основания здания:

$$W_{\Sigma} = W_k + W_o, \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где W_k -расход электроэнергии подсветки крыши, $\text{кВт} \cdot \text{ч}$;

W_o - расход электроэнергии подсветки основания здания, $\text{кВт} \cdot \text{ч}$;

Результаты расчета указанных величин для сравниваемых вариантов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов двух вариантов подсветки

№	Расчетные величины	I вариант		II вариант	
		по крыше ДНаТ	по ДРИ основанию	по крыше	по основанию
1	$P_{ном}$, Вт	70	70	50	50
2	n, шт	20	59	41	41
3	$P_p = K_c \cdot \sum_{i=1}^n K_{ппAi} \cdot P_{номi}$, кВт	6,083	3,157	4,34	2,25
2	$T_n = M \cdot \frac{T_1'' + T_2''}{2}$, ч	3467,5	3467,5	3467,5	3467,5
3	$W_k = P_p \cdot T_n$, кВт·ч	21092,8	10946,9	15066,29	8842,12
4	$H = \frac{\Phi}{P_{ном}}, \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$	82,86	81,43	82,86	85,7
5	$W_{\Sigma} = W_k + W_o$, кВт·ч	32039,7		23908,41	

Как видно из таблицы, суммарный расход электроэнергии, в случае, когда в качестве источника света используется светодиодная лампа, значительно меньше, чем в случае, когда использовались традиционные источники света.

Получив все необходимые данные, следует вычислить на сколько снизилось годовое потребление электроэнергии при использовании светодиодных светильников:

$$W_{\%} = \frac{W_{\Sigma I} - W_{\Sigma II}}{W_{\Sigma II}} \cdot 100\% = \frac{32039.7 - 23908.41}{23908.41} \cdot 100\% = 34.01\%.$$

Таким образом, используя нетрадиционный источник света, можно снизить годовой расход электроэнергии на подсветку здания на 34 %.

Литература

1. Лесная О.И. Декоративно-художественное освещение архитектурной среды: Учебное пособие.– Харьков: ХНАГХ, 2008. – 284 с.
2. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие/ В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И. В. Колосова. –Минск : ИВЦ Минфина, 2015. -589 с.
3. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г. М. Кнорринга. Л., «Энергия»,197. -384 с.
4. Электрическое освещение: учебник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич.- Минск:Техноперспектива, 2011. -543 с.

УДК 621.383.52

ОТКАЗЫ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ

Кузьма А. Ю.

Научный руководитель – к.т.н, доцент Радкевич В.Н.

Светодиодный светильник — это электромеханическая система, в которую помимо источника света входят теплоотвод, блоки электрического управления и формирования оптического сигнала, опорная механическая конструкция и система защиты, а также элементы дизайна. В силу того, что светодиоды характеризуются продолжительным сроком службы, другие компоненты светильника должны служить так же долго. Качественные светодиоды, установленные в плохо спроектированных приборах, могут быстро выйти из строя.

В настоящий момент не существует стандартов, определяющих срок службы и критерии надежности для светодиодов, хотя имеются предложения авторитетных организаций считать сроком службы время, в течение которого световой поток деградирует до некоторого значения (30%) от начальной величины. Даже при использовании высококачественных компонентов, уменьшение светового потока неизбежно, что связано с множеством факторов, таких как условия отвода теплоты, температура окружающей среды, вентиляция, влажность и другие параметры. Надежность самих светодиодов, особенно в части скорости деградации, зависит от качества компонентов. Условия эксплуатации, такие как величина и нестабильность тока могут существенно сократить срок службы [3].

Деградация кристалла. Излучение света в светодиоде происходит в результате рекомбинации инжектированных носителей в активной области. Дефекты кристаллической структуры приводят к деградации внутренней части этой области. Высокая плотность инжектированного тока, нагрев из-за инжектированного тока и тока утечки, а также испускаемый свет ускоряют развитие дефекта, который ведет себя как неизлучающий центр, препятствующий естественной излучающей рекомбинации и в результате генерирующий дополнительное тепло внутри активного слоя. В связи с этим выбор материала имеет огромное значение [2].

Деградация электродов. Деградация электродов в светодиодах в основном имеет место на электроде *p*-области (обычно прибор состоит из подложки *n*-типа и электрод *p*-области формируется вблизи активной области прибора). Основная причина деградации электрода заключается в диффузии металла во внутреннюю область (так называемая периферийная диффузия) полупроводника. Диффузия усиливается с увеличением инжектированного тока и температуры [2].

Термическая деградация. Теплота, выделяющаяся при работе светодиодов, требует их монтажа на радиатор или теплопоглощающую подложку, часто с помощью припоя. Если дефекты в припое создают условия для недостаточного теплоотвода, возникающие горячие точки приводят к тепловой деградации и отказу. Тепловая деградация из-за дефектов в припое часто доминирует в светодиодах в первые 10000 часов работы [2].

Когда в металле протекает достаточно большой ток, ионы металлов мигрируют к противоположным полюсам, приводя к образованию кристаллов и бугорков. Их рост, который может начаться под действием внутренних напряжений, температуры, влажности и особенностей материала, обычно происходит на границе между припоем и радиатором и может привести к короткому замыканию [2].

Электростатический разряд и электрическая перегрузка. Полупроводники чувствительны к дефектам, вызванным электростатическим разрядом. Видами отказа из-за электростатических разрядов могут быть внезапный отказ, параметрические сдвиги или внутреннее повреждение, приводящее к деградации в процессе последующей эксплуатации. Пробои из-за перегрузки и электростатических разрядов являются существенной проблемой

для светодиодов. Большинство коммерческих светодиодов формируется на сапфировых подложках, не имеющих электрической проводимости. Это приводит к появлению остаточного электрического заряда в приборе, что делает его более чувствительным к повреждениям, вызванным электростатическим разрядом и перегрузкой [2].

Термическая усталость. Термические напряжения в герметике являются наиболее частой причиной отказа в светодиодах. Если, вследствие электрической перегрузки или высокой внешней температуры, температура корпуса достигает температуры перехода стеклянного наполнителя герметика, смола начинает быстро расширяться. Разница в коэффициенте термического расширения внутренних компонентов светодиода может привести к механическому повреждению. При очень низких температурах может произойти растрескивание эпоксидной композиции, из которой изготовлены линзы. Высокая температура, вызванная внутренним нагревом и неизлучающей рекомбинацией, и достигающая 150°C, приводит к пожелтению эпоксидной композиции, что в результате меняет выходную оптическую мощность или цвет излучаемого света. Если индекс преломления герметика не соответствует индексу преломления полупроводникового материала, индуцированный свет остается в полупроводнике, в результате чего возникает дополнительный источник тепла. В результате перегрева эпоксидной композиции может происходить разрыв или отделение электродного вывода и снижение прочности соединения кристалла с подложкой. Эти проблемы в свою очередь могут привести к отслоению кристалла и эпоксидной композиции [2].

Также имеют место внезапные отказы, основной причиной которых является выход из строя компонентов блока питания из-за превышения температуры. С помощью математических моделей рассчитывается срок службы в зависимости от температуры эксплуатации. Упрощенная электрическая схема блока питания светодиодного светильника отображена на рисунке 1.

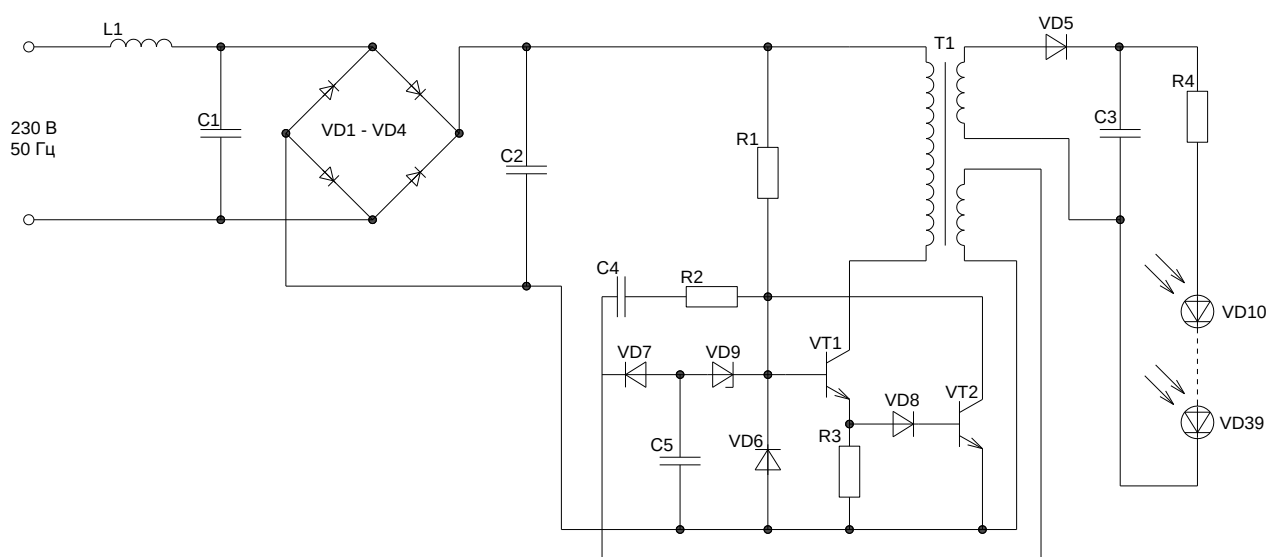


Рисунок 1. Упрощенная электрическая схема блока питания светодиодного светильника

Для элементов схемы модель для расчета эксплуатационной интенсивности отказов будет иметь вид:

$$\text{диоды } VD1-VD8: \lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_{\Phi} K_D K_U K_{\Sigma} K_{\Pi};$$

$$\text{стабилитрон } VD9: \lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_{\Sigma} K_{\Pi};$$

$$\text{конденсаторы электролитические } C1-C5: \lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_C K_{\Sigma} K_{\Pi};$$

$$\text{транзисторы биполярные } VT1-VT2: \lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_{\Phi} K_D K_U K_{\Sigma} K_{\Pi};$$

$$\text{резисторы } R1-R4: \lambda_{\Sigma} = \lambda_B K_P K_R K_{\Sigma} K_{\Pi};$$

дрессель $L1$:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} K_{\text{р}} K_{\text{э}} K_{\text{п}};$$

трансформатор $T1$:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} K_{\text{р}} K_{\text{э}} K_{\text{п}};$$

светодиоды $VD10$ - $VD39$:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} K_{\text{р}} K_{\text{э}} K_{\text{п}},$$

где $\lambda_{\text{б}}$ – базовая интенсивность отказов (при температуре окружающей среды $+25^{\circ}\text{C}$ и номинальной электрической нагрузке); $K_{\text{р}}$ – учитывает значение мощности рассеивания и температуры в рабочем режиме; $K_{\text{ф}}$ – учитывает функциональное назначение элемента; $K_{\text{д}}$ – учитывает максимально допустимую нагрузку по мощности (току); $K_{\text{у}}$ – учитывает отношение рабочего напряжения к максимально допустимому; $K_{\text{с}}$ – учитывает значение номинальной емкости; $K_{\text{р}}$ – учитывает значение номинального сопротивления; $K_{\text{э}}$ – учитывает жесткость условий эксплуатации; $K_{\text{п}}$ – учитывает степень жесткости требований к контролю качества и правил приемки элементов в условиях производства [1].

Значения этих параметров сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Значения параметров математической модели

Группа элементов	Параметры, входящие в математическую модель							
	$\lambda_{\text{э}} \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	$K_{\text{ф}}$	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{у}}$	$K_{\text{с}}$	$K_{\text{р}}$	$K_{\text{э}}$	$K_{\text{п}}$
$VD1$ - $VD8$	0,091	1,5	0,6	1			1,5	5,5
$VD9$	0,0041						1,7	5,5
$C1$ - $C5$	0,173				0,6		1,5	5
$VT1$ - $VT2$	0,044	1,5	0,5	3,03			1,5	5,5
$R1$ - $R3$	0,034					1	1,5	3
$R4$	0,034					2	1,5	3
$L1$	0,033						1,6	5
$T1$	0,0035						1,6	20
$VD10$ - $VD39$	0,034						1,3	5,5

Коэффициент режима работы $K_{\text{р}}$ зависит от температуры окружающей среды. Его значения могут быть рассчитаны с помощью следующих математических моделей [1]:

для диодов $VD1$ - $VD8$, стабилитрона $VD9$, транзисторов $VT1$ - $VT2$

$$K_{\text{р}} = A \cdot \exp \left[\frac{N_{\text{T}}}{273 + t_{\text{окр}} + \Delta t} + \left(\frac{273 + t_{\text{окр}} + \Delta t}{T_{\text{М}}} \right)^L \right]; \quad (1)$$

для электролитических конденсаторов $C1$ - $C5$

$$K_{\text{р}} = A \cdot \left[\left(\frac{K_{\text{Н}}}{N_{\text{С}}} \right)^H + 1 \right] \cdot \exp \left[B \left(\frac{273 + t_{\text{окр}}}{N_{\text{T}}} \right)^G \right]; \quad (2)$$

для резисторов $R1$ - $R4$

$$K_{\text{р}} = A \cdot \exp \left[B \left(\frac{273 + t_{\text{окр}}}{N_{\text{T}}} \right)^G \right] \cdot \exp \left\{ \left[\left(\frac{K_{\text{Н}}}{N_{\text{С}}} \right) \left(\frac{273 + t_{\text{окр}}}{273} \right) \right]^{0,886} \right\}; \quad (3)$$

для дросселя $L1$

$$K_{\text{р}} = 0,46 + 0,012(t_{\text{окр}} - 50)^{1,3} + 0,54 K_{\text{Н}}^{3,5} \exp[0,2(t_{\text{окр}} - 50)^{0,8}]; \quad (4)$$

для трансформатора $T1$

$$K_p = A \cdot \exp \left[\left(\frac{273 + 13,75(3K_H^2 + 1) + t_{окр}}{T_M} \right)^G \right]; \quad (5)$$

для светодиодов $VD10$ - $VD39$

$$K_p = (K_H)^{1,5} \cdot \exp \left[\frac{0,6}{8,625 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{273 + 45} - \frac{1}{t_{окр} + 295} \right) \right], \quad (6)$$

где A , N_T , T_M , L , Δt , N_S , B , G – постоянные коэффициенты; K_H – коэффициент нагрузки по току (для конденсаторов по напряжению) [1].

Значения коэффициентов, используемых в формулах (1)-(6), приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения констант и коэффициента K_H математической модели для расчета K_p

Группа элементов	A	N_T	T_M	L	Δt	K_H	N_S	B	G
Диоды $VD1$ - $VD8$	44,1025	-2138	448	17,7	150				
Стабилитрон $VD9$	2,1935	-800	448	14,0	150				
Конденсаторы электролитические $C1$ - $C5$	0,0359	358				0,6	0,55	4,09	5,9
Транзисторы биполярные $VT1$ - $VT2$	5,2	-1162	448	13,8	150				
Резисторы $R1$ - $R4$	0,26	343				0,6	0,878	0,5078	9,278
Дроссель $L1$						0,6			
Трансформатор $T1$	0,81		329			0,6			15,6
Светодиоды $VD10$ - $VD39$						0,6			

Результаты расчета коэффициента K_p по формулам (1) – (6) в зависимости от температуры сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчета коэффициента K_p в зависимости от температуры

Группа элементов	n , шт	K_p в зависимости от температуры, °C				
		40	50	60	70	80
$VD1$ - $VD8$	8	0,26	0,32	0,40	0,55	0,80
$VD9$	1	0,38	0,44	0,52	0,64	0,85
$C1$ - $C5$	5	0,53	0,77	1,19	1,98	3,56
$VT1$ - $VT2$	2	0,37	0,43	0,52	0,66	0,89
$R1$ - $R3$	3	0,72	0,80	0,90	1,03	1,24
$R4$	1	0,72	0,80	0,90	1,03	1,24
$L1$	1	0,55	0,55	1,02	1,86	3,35
$T1$	1	4,89	13,58	63,78	646,49	19954,69
$VD10$ - $VD39$	20	3,50	6,39	11,28	19,30	32,08

Суммарная интенсивность отказов устройства определяется по выражению

$$\Lambda_3 = \sum_{i=1}^N \lambda_{3i} n_i, \quad (7)$$

где n_i – количество элементов i -й группы [1].

Наработка на отказ

$$T = 1 / \Lambda_{\Sigma}. \quad (8)$$

Результаты расчета показателей надежности блока питания в зависимости от температуры сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчета показателей надежности блока питания

Показатели надежности	Температура, °C				
	40	50	60	70	80
$\Lambda_{\Sigma} \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч}$	22,31	38,77	70,64	179,28	2 412,40
$T, \text{ч}$	44 815,09	25 793,07	14 156,68	5 577,85	414,53

На основании расчетов можно сделать вывод о том, что увеличение температуры внутри блока питания существенно снижает надежность компонентов схемы и всего светодиодного светильника в целом. Поэтому при проектировании и выборе светодиодных световых приборов нужно уделять особое внимание разработке эффективной системы теплоотвода, чтобы обеспечить максимальный срок службы светильника.

Литература

1. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств/ С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян – Минск: БГУИР, 2010. -68 с.: ил.
2. Годовицын, И. В. Срок службы сверхярких светодиодов. Причины отказов/ Годовицын И. В.// [Электронный ресурс] URL: <http://led22.ru/ledstat/otkazi-svetodiodov/otkazi-svetodiodov.html> (дата обращения 11.04.2017).
3. Срок службы светодиодных светильников: рекомендации по тестированию [Электронный ресурс] URL: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2195/doc/53575/> (дата обращения 10.04.2017).

УДК 620.93

УСТАНОВКИ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ, РАБОТАЮЩИХ НА БИОГАЗЕ

Журавлёв Е.Д.

Научный руководитель – ас. Михайлова Я.В.

Рассмотрим стационарную теплоэнергетическую установки с фосфорно-кислотными топливными элементами РС-400. Она предназначена для систем распределенной генерации электроэнергии, а также для систем с комбинированным производством электроэнергии и тепла. Она способна производить 400 кВт постоянной, надежной электроэнергии при образовании теплоты, которую можно в дальнейшем применять для обогрева помещений, в устройствах нагрева воды, а также для запуска абсорбционной холодильной установки. Кроме этого, установка подает резервное питание, когда энергосистемы общего пользования выходят из строя.

Сначала в системе обработки топлива биогаз превращается в водород в результате процесса, известного как преобразование при помощи каталитического пара. Затем водород и воздух поступают в 4 батареи фосфорно-кислотных топливных элементов, в которых водород и кислород соединяются электрохимическим путем для образования электро-, водо- и теплоснабжения с постоянным током. Конечный этап: электроэнергия с использованием переменного тока производится посредством встроенного преобразователя постоянного тока в переменный. Тепло, вырабатываемое в топливном элементе, производит пар, который подается обратно в систему обработки топлива для дальнейшего использования в процессе преобразования пара. Используемое тепло поставляется в предоставленный потребителем источник воды через встроенные радиаторы рекуперации тепла.

Таблица 1 - Производительность теплоэнергетической установки

Технические характеристики	Производительность
Полезная выходная электрическая мощность	400кВт/471 кВА, 480 В, 50 Гц, 3 фазы
Электрический КПД	42% - начальный уровень 40% - номинальный уровень
Выходная мощность по теплу	0,39 Гкал/ч - начальный уровень 0,43 Гкал/ч - номинальный уровень
Комплексный КПД системы, низкая теплотворная способность	До 90%
Расход биогаза (при теплоте сгорания 38 МДж/м ³)	1,70 м ³ /мин - начальный уровень 1,75 м ³ /мин - номинальный уровень
Удельный расход биогаза	0,26 м ³ /кВт-ч
Расход воды:	
- при температуре окружающей среды $\leq +30$ °C	- не потребляет
- при температуре окружающей среды $+43,3$ °C	- 3,8 л/мин (при давлении 276 кПа)
Выход воды	Отсутствует

Модель собирается на заводе изготовителе, а теплоэнергетическая установка с протестированным топливным элементом состоит из двух главных компонентов: блок питания и модуль охлаждения. Блок питания состоит из пяти подсистем, собираемых и тестируемых, как комплектная система на заводе-изготовителе. Блок питания поставляется на место производства полностью укомплектованным вместе с необходимым оборудованием, проводкой и трубопроводами. Обычно требуется поставляемый заводом-изготовителем модуль охлаждения, который может быть установлен в непосредственной близости от блока питания. На рисунке 1 изображены все подсистемы блока питания.



Рисунок 1. Пять подсистем модели

Модуль системы электроснабжения содержит 4 батареи топливных элементов, которые составляют основу модели. Каждая батарея топливных элементов, или модуль батарей элементов, содержащая 376 отдельных элементов, может вырабатывать более 100 кВт электроэнергии. Батареи топливных элементов соединяются последовательно, как показано на рисунке 1-5. Вместе они вырабатывают постоянный ток высокого напряжения.

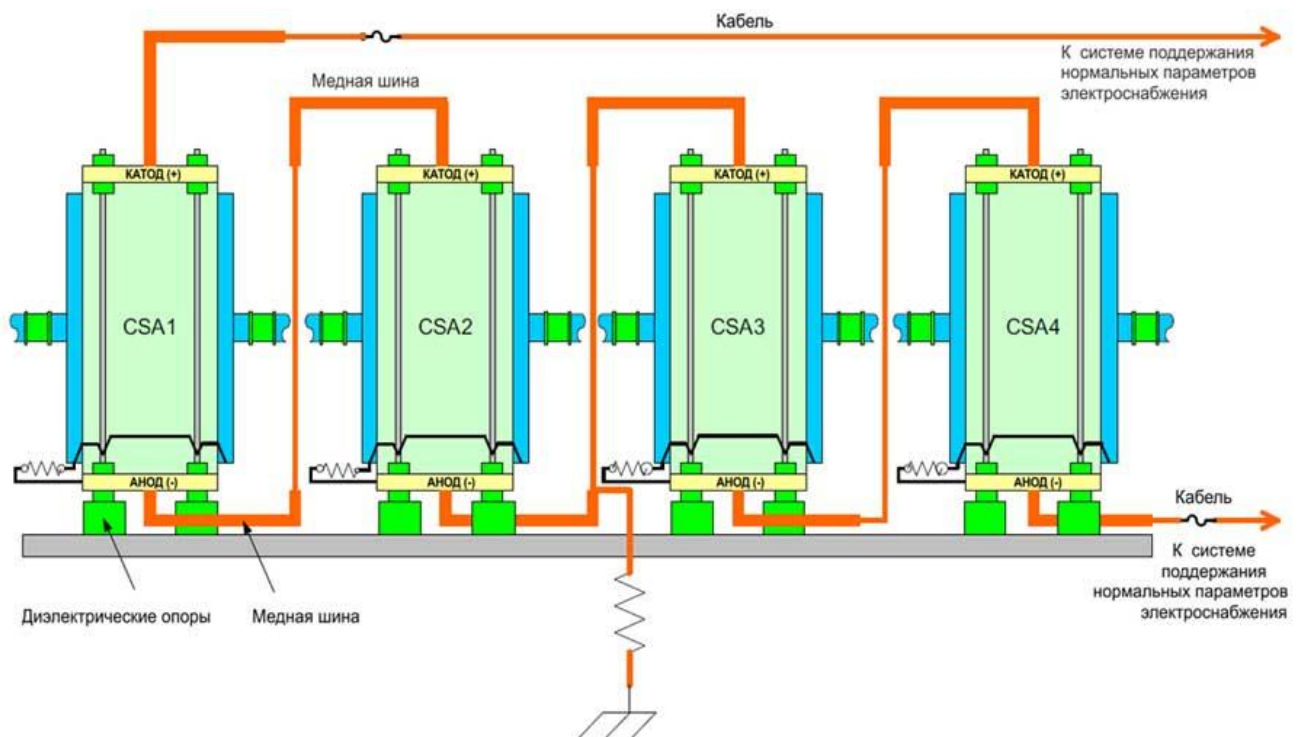


Рисунок 2. Конфигурация четырех батарей топливных элементов

Продукт преобразования водорода и поток воздуха подходит к каждой из батарей топливных элементов одновременно и так, чтобы уровень выходной мощности был одинаковым на всех четырех батареях. Вода, выделяемая при реакции топливных механизмов, покидает батареи вместе с отработавшими газами. Вырабатываемое во время реакции тепло удаляется потоком воды через изолированные охлаждающие элементы, встроенные на всем периметре модуля батарей.

Запуск модели происходит посредством использования энергосети потребителя. Требуемая мощность при запуске составляет в среднем 70 кВт на протяжении 5 часов. Максимальное значение требуемой мощности составляет 158 кВт. При начальном запуске происходит подогрев интегральной низкотемпературной системы и модуля батарей элементов до рабочей температуры. Используются электрические нагревательные элементы. После запуска энергетическая установка будет поставлять энергию напрямую к охлаждающим модулям и системам связи (внутренние нагрузки будут поддерживать чистую заданную выходную мощность для потребителя в 400 кВт).

Таблица 2 - Электрические характеристики

Электрические характеристики при подключении к сети	
Номинальная мощность энергетической установки	
Номинальная мощность (чистая)	400кВт/ 471 кВА
Стандартные конфигурации напряжения и частоты	480В, 3 фазы, 3 провода, 50 Гц
Электрические характеристики	
Диапазон рабочих режимов	0-100% - установлено заводом изготовителем
Диапазон коэффициента мощности (при номинальном линейном напряжении)	От 0,85 до 1,0 отставание/ опережение (регулируется), 0,85 - опережение до $\pm 5\%$ линейного напряжения. 0,9% отставания при 5% линейного напряжения.
Стабильность подачи и точность энергии	Полезная мощность регулируется при $\pm 1\%$ от нормы. Реактивная мощность при $\pm 2\%$ от нормы. Данные значения достигаются в течение 100 миллисекунд после изменения состояния энергосети.
Ток короткого замыкания	110% от установленного среднеквадратичного тока, определяется за 1 цикл
Нулевой экспорт электроэнергии	Энергетическая установка может опционально «следовать за нагрузкой» (контролировать экспорт полезной мощности) через выходной сигнал внешней системы контроля экспорта/импорта (кВт)
Разбаланс линейного напряжения	2%, между фазами, кВА, установлено на заводе-производителе. 5%, кВА, отклонение от нормы до 85%. Отклонение линейно по отношению к норме. При разбалансе прерывание меньше 5%.
Гармонический ток	Гармонический ток должен соответствовать стандарту UL1741 при номинальной мощности (эксплуатация при стандартном сопротивлении, 4% индуктивная нагрузка шунтируется 56% резистивной нагрузкой). Для источника генератора, соединенного с электрической сетью, необходимо, чтобы гармоническое напряжение соответствовало стандартам IEEE 519.
Выход	Фиксированная нагрузка между 0% и 100% Приведите в соответствие изменения от минимальной нагрузки до максимальной за менее, чем 40 секунд при макс. 10 кВт/сек

Габариты установки.

Вид спереди: общая ширина – 6080 мм, высота до входного воздушного фильтра – 4590 мм, высота выпускной трубы (требуется для установок без рекуперации тепла) – 4408 мм.

Вид сбоку: общая длина – 8512 мм, высота электрической части установки – 3587 мм, высота до выпускного отверстия – 4408 мм

Таблица 3 – Данные по выбросам газов

	Грамм	Число частей на миллион по объему 15,4% O ₂
NO _x	9,06	0,50
CO	9,06	0,67
VOC	9,06	1,36
CO ₂	498300	

Уровень шума энергетической установки с топливными элементами составляет менее 65 дБА на 10 метров в любой области установки. Это соответствует уровню шума при нормальном разговоре. При работе устройства рекуперации тепла на полной мощности охлаждающий модуль выключается, и уровень шума падает до 60 дБА на 10 метров.

Литература

1. http://www.intech-gmbh.ru/energy_unit_400kW.php
2. <http://www.ence.ch/rus/>

УДК 621.318.2

СОВРЕМЕННЫЕ МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Зарихта К.С.

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

Издавна магнит был очень загадочным и необъяснимым предметом, который повлиял на становление человечества. Постоянный магнит – главная составляющая компаса, что сегодня является надежным атрибутом воздушной и морской навигации. Также это основной элемент исследований электродинамического процесса, что сформировал ряд теорий и является фундаментом всей электродинамической техники.

На сегодня сфера применения магнитов гораздо шире. Чаще всего их используют для:

- производства микроэлектродвигателей;
- телевизоров, компьютерных мониторов;
- научных, медицинских и измерительных приборов;
- телефонов;
- систем возбуждения электрических машин;
- динамических громкоговорителей и микрофонов;
- кредитных и дебетовых карт;
- маломощных держателей (сепараторы, защелки, ловители и др.);
- декоративных изделий и игрушек.

К основным современным видам постоянных магнитов относят:

1) **Магниты с полимерным наполнителем, применяемые в медицине** эластичные магнитофоры (магнитопласты, магнитоэласты).

B_r = до 0.05 Тесл (50 миллитесл = 500 Гаусс).

2) **Магнитопласты на основе наполнителя** (например, порошка анизотропного $NdFeB$). Поддаются механической обработке, благодаря пластичности (как резина) и возможности изготовления сложных форм методом литья под давлением (в том числе, с монтажными отверстиями и средствами крепления). Не нагреваются при работе в переменных электромагнитных полях (нечувствительны к воздействию вихревых токов). Максимальная рабочая температура – до 120–220 градусов Цельсия, в зависимости от теплостойкости связующего материала.

B_r = 0.5–0.6 Тл (5000–6000 Гаусс) ($Nd-Fe-B$).

3) **Ферриты** (прессованные керамические ферритобариевые и ферритостронциевые, недорогие ферромагниты чёрного цвета). В отличие от “железных” магнитов, имеют очень высокое электрическое сопротивление (поэтому феррит бария используют в цепях, подвергающихся действию высокочастотных полей), хорошую механическую прочность, коррозионную стойкость, меньший вес, по сравнению с железными – в 1.5–2 раза. Есть возможность осуществлять у них многополюсное намагничивание на цельном изделии. Имеют неплохую устойчивость к воздействию внешних магнитных полей. По стоимости – на порядок дешевле ЮНДК, имея, при этом, более высокие показатели коэрцитивной силы. Широко применяются в двигателях постоянного тока, в генераторах, в профессиональных и домашних аудио-системах (повышенную индукцию – набирают склейкой двух колец). Недостатки ферромагнитов – хрупкость и твёрдость (обрабатывать можно только шлифованием и при помощи алмазной резки) и уменьшение коэрцитивной силы при охлаждении ниже – 20 °C (что снижает, на морозе, стойкость к размагничиванию маг. полем; зимой, при – 60 градусах – магнитные свойства необратимо теряются и не восстанавливаются при возврате к нормальным термическим условиям) или при нагреве (особенно чувствительны бариевые). Если температура изменяется быстрее 5–10 °C/мин – на феррите образуются трещины, что ухудшает его физические свойства. Максимальное энергетическое произведение – в несколько раз хуже, чем у $SmCo$. Температурный коэффициент остаточной магнитной индукции – раз в десять хуже, т.е. больше, чем у литых магнитов.

$Br = 0.1\text{--}0.4$ Тл (1000–4000 Гаусс).

Современные – от 0.2 до 0.43Тл.

$T_c \text{ of } Br \sim -0.20\%$ на $^{\circ}C$ (Температурный коэффициент).

$T_{max}/T_{cur} = 250\text{--}300 / 450$ $^{\circ}C$ (Максимальная рабочая температура / Точка Кюри).

$H_{cb} = 2\text{--}4$ кЭ (Коэрцитивная сила по индукции, килоэрстед).

Диапазон максимальной энергии (энергетическое произведение) – от 1,1 до 4,5 МГЭ.

4) **Термостабильные литые или спечённые магниты “Альнико” ($AlNiCo$, российское название – ЮНДК)** на основе сплавов железо–алюминий–никель–медь–кобальт. Они легче редкоземельных самарийкобальтовых, при примерно одинаковых параметрах индукции, и заметно дешевле их. Имеют высокую коррозионную и радиационную стойкость. Используются в акустических системах и динамических студийных микрофонах (ставят *Alnico V*), в гитарных звукоснимателях, в электродвигателях и электрогенераторах, в приборостроении (сенсоры, реле и т.д.) Типовые формы: пластины, призмы, кольца и трубки, диски и стержни. Недостаток – $AlNiCo$ хрупкие (обрабатываются полированием, шлифованием, резкой абразивным кругом) и легко размагничиваются (низкая коэрцитивная сила) под воздействием внешнего магнитного поля, что делает неверными показания стрелочных приборов, в которых они установлены.

$Br = 0.7\text{--}1.3$ Тл.

$T_c \text{ of } Br \sim -0.02\%$ на $^{\circ}C$ (это очень хороший показатель).

$T_{max}/T_{cur} = 250\text{--}550/800\text{--}850$ $^{\circ}C$.

$H_c = 0.6\text{--}1.9$ кЭ.

Диапазон максимальной энергии – от 1,4 до 7,5 МГсЭ.

5) **Термоустойчивые деформируемые магниты типа ХК (железо–хром–кобальт, $Fe\text{--}Cr\text{--}Co$).** Прочность и пластичность современных типов этого сплава – на порядок превосходит аналогичные показатели ЮНДК24 (Алنيко 5) при сопоставимых магнитных свойствах. Могут быть получены в виде холоднокатаного листа, горячекатаного и кованого прутка для последующей механической и термомагнитной обработки. В последние годы, осваиваются новые, перспективные наноструктурные, магнитотвёрдые $FeCrCo$ – сплавы с улучшенными характеристиками. Максимальные рабочие температуры достигают 450 $^{\circ}C$.

$Br = 1.1\text{--}1.5$ Тл.

$T_c \text{ of } Br = \text{от } -0,015 \text{ до } -0,028\%$ на $^{\circ}C$ (ГОСТ 24897–81).

H_{cb} – больше 0.5 кЭ.

6) **Спечённые редкоземельные магниты** на основе сплавов самарий–кобальт ($SmCo$, долговечная металлокерамика). Имеют лучшую коррозионную стойкость (то есть, не ржавеют, поэтому и не нуждаются в защитном покрытии) по сравнению с остальными редкоземельными материалами и большие значения максимальной рабочей температуры (термостабильные до 350 $^{\circ}C$) и коэрцитивной силы (то есть, магнитотвёрдые – устойчивые к размагничиванию). По сравнению с ЮНДК – на порядок большая коэрцитивная сила по намагниченности. Недостатки – хрупкость и высокая цена. Применяются в космических аппаратах и мобильных телефонах, в мотоциклах и газонокосилках, в авиационной и компьютерной технике, в медицинском оборудовании, в миниатюрных электромеханических приборах и устройствах (наручных часах, наушниках и т.д.) Используются в современном приборостроении.

$Br = 0.8\text{--}1.1$ Тл.

$T_c \text{ of } Br \sim -0.035\%$ на $^{\circ}C$.

$T_{max}/T_{cur} = \text{от } -60 \text{ до } 250\text{--}500 / >700\text{--}800$ $^{\circ}C$.

$H_{cb} = 8\text{--}10$ кЭ.

Диапазон максимальной энергии – от 18 до 32 МГсЭ.

7) **Неодимовые** – редкоземельные супермагниты на основе сплавов неодим–железо–бор ($Nd\text{--}Fe\text{--}B$, $NdFeB$).

Диапазон рабочих температур – от -60 до $+150\text{--}220$ $^{\circ}C$.

Они хрупкие и чувствительные к температуре (предел допустимого нагрева – зависит от марки магнита). После сильного перегрева – необратимо и полностью теряется намагниченность (восстановить можно перемагничиванием на специальной установке). Имеют невысокую коррозионную стойкость – легко окисляются (ржавеют), если повреждено антикоррозионное покрытие (краска, лак, тонкая металлическая плёнка из никеля, меди или цинка). В виде порошка – могут воспламениться, с выделением ядовитого дыма. Лучше поддаются механической обработке – гибкие Nd -магнитопласты ($NdFeB$). Спечённые неодимовые магниты имеют преимущество – наибольшую, по сравнению с остальными видами, силу остаточной магнитной индукции и очень высокое энергетическое произведение. Максимальная рабочая температура будет выше – при добавлении кобальта вместо железа, но это ведёт к удорожанию материала. Широко применяются в компьютерной технике (двигатели электроприводов дисков, устройства считывания и записи информации), в моторах и датчиках.

$Br = 1.0\text{--}1.4$ Тл (10000–14000 Гаусс).

$T_{c\ of\ Br}$ = от – 0.07 до – 0.13% на °C.

$T_{max}/T_{cur} = 80(N_{xx})\text{--}120(N_{xx}H)\text{--}150(N_{xx}S/U)\text{--}200(xxEH)\text{--}220 / 310\text{--}330$ $H_c = 12$ кЭ.

Диапазон макс. энергии – от 1 до 50 МГЭ.

8) **Сверхпроводящие магниты**, относящиеся к категории сверхмощных, могут иметь максимальные значения индукц.

$Br > 5$ Тл.

Способы усиления

Для усиления (концентрации силовых линий) магнитного поля – используют полюсные наконечники в виде сужающихся конусов, что значительно увеличивает индукцию в малом объёме.

Из нескольких магнитов, соединяя их последовательно (разноимёнными полюсами) – можно собирать магнитные батареи. В итоге – повышение мощности и более протяжённые, и линейные (на достаточном расстоянии) силовые линии поля.

Основные характеристики современных магнитов

Остаточная магнитная индукция (Br , Тесл или Гаусс, G) – намагниченность, оставшаяся после намагничивания материала, из которого изготовлен постоянный магнит, измеренная на его поверхности, в замкнутой системе. Единица измерения – Тесла, в системе СИ или Гаусс, в сист. СГС. Это основная характеристика магнита. Иногда, эту величину называют – “сила магнита”.

Магнитная индукция, B / Br (Тесл или Гаусс, G) – результат приборного измерения (гауссметром / тесламетром или магнитометром) реального, фактического поля магнита на каком-то расстоянии от него или на его поверхности.

Коэрцитивная сила по индукции, H_{cb} (кА/м) – величина внешнего магнитного поля, требуемого для полного размагничивания магнита, намагниченного до состояния насыщения. Характеризует устойчивость к размагничиванию (ГОСТ 19693).

Максимальное энергетическое произведение, $(BH)_{max}$ МГсЭ (МГауссЭрстед, в системе СГС) – мощность магнита.

Температурный коэффициент остаточной магнитной индукции, $T_{c\ of\ Br}$ ($TKBr$) (% на °C) – характеризует изменение магнитной индукции от температуры.

Максимальная рабочая температура, T_{max} (градусов по Цельсию) – предел температуры, при которой магнит временно теряет часть своих магнитных свойств. При последующем охлаждении – все магнитные свойства восстанавливаются (в отличие от точки Кюри). Превышение нагрева на несколько десятков градусов больше T_{max} – может вызвать частичное размагничивание магнетика (после остывания, оставшаяся сила притяжения будет меньше изначальной; при этом, точные измерительные стрелочные приборы и т.п. – уже не годятся для работы).

Точка Кюри, T_{cur} (°C) – температура, выше которой исчезает намагниченность ферромагнетиков.

Никель – +358 °С.

Железо – +769 °С.

Кобальт – +1121 °С.

Сила сцепления – усилие (направленное перпендикулярно плоскостям контакта), необходимое, чтобы оторвать магнит от обработанной, плоской и ровной стальной поверхности. Например, относительно небольшой неодимовый магнетик, выполненный в виде компактного цилиндра или шайбы без центрального отверстия, с собственным весом, примерно, триста грамм, диаметром 50 миллиметров и высотой 20 мм – притягивается к железу с силой, составляющей более 80 килограмм. Нужно учесть, что при продольном сдвиге вдоль контактной поверхности или при отрыве с края – понадобится приложить меньшие усилия. Мощность и индукция одностипных магнетиков, приблизительно, пропорциональны их массе. При работе с сильными магнитами, необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, особенно – беречь от травм руки, чтобы их не прищемило.

Размагничивание и срок службы

Магниты теряют намагниченность – при сильных механических вибрациях, ударах, деформациях и значительных перепадах температуры. Полное размагничивание произойдёт при нагревании выше температуры Кюри (она отличается для каждого конкретного ферромагнитного материала, например – Железо +769 °С и свои значения – для сплавов нескольких металлов) или в мощном магнитном поле, затухающем переменном или противоположно направленном постоянном, напряжённостью – не меньше величины коэрцитивной силы для данного магнетика. Самые распространённые железные магниты, в обычных комнатных условиях и без нарушения условий эксплуатации – будут размагничиваться очень долго. За период 10 лет – неодимовые магниты теряют менее 2 % силы, кобальтовые – меньше 1 процента своей намагниченности. Хуже параметры у ферритов и Альнико – они ненадёжны, быстро садятся, стареют и работают в полсилы, что, нередко, считается их недомагнитенностью и заводским браком в производстве.

Подводя итог всему вышеописанному следует отметить, что мы много знаем об электричестве и магнетизме и с каждым днем узнаем все больше и больше. Но за одной проблемой встают другие, не менее сложные и интересные. Жизнь всегда будет полна загадок. И наряду с самыми сложными – загадкой жизни и загадкой Вселенной – загадка магнита всегда будет давать пищу для любознательного ума.

Вряд ли, когда-нибудь найдется человек, который возьмет на себя смелость утверждать: “Я постиг загадку магнита!” Однако ученые, познающие толику тайны, смогли создать устройства, способные соперничать с самыми сильными магнитами, созданными природой.

Литература

1. Большая советская энциклопедия – М. : Советская энциклопедия , 1974.
2. Карцев, В.П. Магнит за три тысячелетия / В.П. Карцев. – М. : Знание , 1986г. – 230с.
3. Пятин, Ю.М. Постоянные магниты / Ю.М. Пятин. – М. : Энергия, 1980.

УДК 658.26

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Супрунчук А.В., Мильто А.В.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

При проектировании новых и реконструкции действующих систем электроснабжения (СЭС), а также в процессе эксплуатации электроустановок средних и крупных промышленных предприятий производится выбор силовых распределительных трансформаторов, от которых питаются электроприемники на напряжении до 1 кВ. В данной работе рассматриваются технические характеристики силовых распределительных трансформаторов, учет которых может быть полезным при их выборе.

Согласно [1] распределительным называется трехфазный трансформатор номинальной мощностью $S_{\text{ном}} \leq 2500$ кВ·А или однофазный, имеющий $S_{\text{ном}} \leq 833$ кВ·А, классов напряжения до 35 кВ включительно. В зависимости от мощности распределительные трансформаторы подразделяются на следующие габариты: I - $S_{\text{ном}} = 25-100$ кВ·А; II - $S_{\text{ном}} = 160 - 630$ кВ·А; III- $S_{\text{ном}} = 1000-2500$ кВ·А.

В СЭС промышленных предприятий, как правило, применяются трансформаторы, имеющие $S_{\text{ном}} = 1000-1600$ кВ·А. Трансформаторы мощностью до 630 кВ·А могут использоваться при малой плотности нагрузок, в частности на мелких и средних объектах, на периферийных участках крупных предприятий, для электроснабжения административных зданий и т.п.

На рынке электротехнических изделий изготовителями и дилерами предлагаются силовые трансформаторы разных типов, изготавливаемые в странах СНГ. Выпускаются маслонаполненные трансформаторы известных типов (ТМ, ТМЗ, ТМГ, ТМГ11), а также энергоэффективные трансформаторы с использованием инновационных технических решений (ТМГ12, ТМГ15, ТНЭЗ, ТНЭЗ А, ТМГ21).

Для силовых распределительных трансформаторов ГОСТ 4.316-85 [2] устанавливает следующие основные показатели качества силовых трансформаторов:

- 1) удельная масса по отношению к номинальной мощности, кг/кВ·А (основной конструктивный показатель);
- 2) установленный срок службы $T_{\text{сл.п}}$, лет (показатель надежности, характеризующий долговечность);
- 3) потери холостого хода (ХХ) $\Delta P_{\text{х}}$, кВт;
- 4) потери короткого замыкания (КЗ) $\Delta P_{\text{к}}$, кВт;
- 5) ток холостого хода, $I_{\text{х}}$, %.

Рассмотрим эти показатели качества силовых трансформаторов более подробно.

Удельная масса силового трансформатора, кг/ (кВ·А), определяется по выражению

$$m = M / S_{\text{ном}}, \quad (1)$$

где M - полная масса силового трансформатора, кг;

$S_{\text{ном}}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ·А.

Показатели массы для силовых трансформаторов, применяемых в системах электроснабжения промышленных предприятий, приведены в таблице 1.

Анализ приведенных в таблице 1 данных показывает, что наиболее тяжелыми являются трансформаторы типа ТНЗЭ и ТМЗ, что обусловлено особенностями их конструктивного исполнения. Трансформаторы типа ТНЗЭ имеют обмотки, выполненные из меди, а ТМЗ – более мощный бак. Это ухудшает их показатели полной M и удельной m массы. Лучшие показатели массы у трансформаторов типа ТМГ21, вторичная обмотка которых выполнена

из алюминиевой фольги. Удельная масса рассмотренных трансформаторов, за исключением типа ТМ, уменьшается с увеличением номинальной мощности трансформатора $S_{ном}$.

Установленный срок службы трансформаторов составляет 25-30 лет.

Таблица 1- Показатели массы силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ

Тип трансформатора	Масса, кг, при $S_{ном}$, кВ·А			Удельная масса, кг/ кВ·А, при $S_{ном}$, кВ·А		
	630	1000	1600	630	1000	1600
ТНЭЗ	2900	3850	5675	3,9	3,5	3,9
ТНЭЗ А	2300	3330	4820	3,3	3,0	3,3
ТМГ	1950	2890	-	2,9	-	2,9
ТМГ11	1860	2750	4250	2,8	2,7	2,8
ТМГ12	1870	2820	-	2,8	-	2,8
ТМГ15	1870	2820	-	2,8	-	2,8
ТМГ21	1700	2550	3860	2,6	2,4	2,6
ТМЗ	2650	3600	4930	3,6	3,1	3,6
ТМ	2030	2609	4520	2,6	2,8	2,6

Согласно [2] основными характеристиками трансформаторов, определяющими их энергоэффективность, являются потери ХХ ΔP_x и КЗ ΔP_k . Для рассматриваемых распределительных трансформаторов эти данные приведены в таблице 2.

Таблица 2- Потери ХХ и КЗ силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ

Тип трансформатора	Значение ΔP_x , кВт, при $S_{ном}$, кВ·А			Значение ΔP_k , кВт, при $S_{ном}$, кВ·А		
	630	1000	1600	630	1000	1600
ТНЭЗ	1,45	1,85	2,75	5,1	8,5	11,0
ТНЭЗ А	1,45	1,85	2,75	7,5	12,5	16,0
ТМГ	1,05	1,55	-	7,6	10,2	-
ТМГ11	1,1	1,4	2,15	8,7	10,8	16,5
ТМГ12	0,8	1,1	-	6,75	10,5	-
ТМГ15	0,73	0,94	-	6,75	10,5	-
ТМГ21	1,03	1,3	2,05	7,45	11,6	16,75
ТМЗ	1,25	1,9	2,65	7,9	12,2	16,5
ТМ	1,25	1,9	2,35	7,6	11,6	16,5

Рассмотрим более детально потери ХХ трансформатора. В режиме ХХ имеют место магнитные потери мощности в стальных частях и потери в первичной обмотке из-за тока ХХ, составляющие менее 1% от ΔP_x . Также существуют диэлектрические потери в изоляционном слое, но для силовых трансформаторов промышленной частоты такие потери невелики и не учитываются при расчете.

Магнитные потери происходят вследствие гистерезиса и вихревых токов. При использовании холоднопрокатной электротехнической стали, на гистерезис приходится примерно четверть от магнитных потерь, соответственно на вихревые токи - около 75% потерь ХХ.

Основные причины увеличения потерь ХХ:

1. Коррозия металла, которая происходит из-за нарушения целостности лакового слоя.
2. Некачественная изоляция стягивающих шпилек, которая приводит к возникновению замкнутого короткого контура.
3. Некачественная шихтовка.
4. Перегрев стальных узлов элементов трансформатора.
5. Нестабильные качественные характеристики используемой стали.

6. Допущение механических повреждений при сборке.

По причинам 2,5,6 потери ХХ могут отличаться от номинальных, но не более чем на 15%.

Большое влияние на величину потерь ХХ оказывает качество электротехнической стали. Факторы, влияющие на характеристики стали условно можно разделить на конструктивные и технологические.

Конструктивные факторы зависят от формы стыковки пластин, метода прессовки стержней, а также типа сечения ярма, а технологические – от особенностей изготовления самих пластин (методов удаления заусенцев, способов лакировки и т.д.).

Потери КЗ напрямую зависят от трех факторов:

1. Нагрузочного тока, протекающего в обмотках трансформатора.
2. Материала проводников обмоток.
3. Сечения проводников обмоток.

При мощности 630 и 1000 кВ·А наименьшие потери ХХ имеют трансформаторы типа ТМГ15, а при 1600 – типа ТМГ21. Минимальные потери КЗ у трансформаторов с медными обмотками типа ТНЭЗ.

Трансформаторы являются основным элементом комплектных трансформаторных подстанций, для которых одним из показателей экономного расхода энергии являются суммарные потери силового трансформатора, определяемые согласно [2] по формуле

$$\Delta P_T = \Delta P_X + \Delta P_K . \quad (2)$$

Расчеты показали, что для всех рассмотренных номинальных мощностей меньшие значения ΔP_T имеют трансформаторы типа ТНЭЗ, большие – типа ТМГ11 при $S_{ном} = 630$ кВ·А, ТНЭЗ А при $S_{ном} = 1000$ и ТМЗ при $S_{ном} = 1600$ кВ·А

Энергоэффективность масляных распределительных трансформаторов в странах Западной Европы оценивается по стандарту HD428 [3], в соответствии с которым в трансформаторах мощностью 630-1600 допустимые уровни потерь мощности КЗ и ХХ имеют значения, приведенные в таблице 3.

Таблица 3- Допустимые уровни потерь в трансформаторах мощностью 630-1600

$S_{ном}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	Допустимые уровни потерь холостого хода, кВт			Допустимые уровни потерь короткого замыкания, кВт		
	$\Delta P_{ха}$	ΔP_{xb}	ΔP_{xc}	$\Delta P_{ка}$	ΔP_{kb}	ΔP_{kc}
630	1,3	1,03	0,86	6,5	8,4	5,4
1000	1,7	1,4	1,1	10,5	13,0	9,5
1600	2,6	2,2	1,7	17,0	20,0	14,0

Стандарт HD428 допускает следующие комбинации потерь ХХ и КЗ в силовых распределительных трансформаторах:

$$\Delta P_{та} = \Delta P_{ха} + \Delta P_{ка}; \quad (3)$$

$$\Delta P_{tb} = \Delta P_{xb} + \Delta P_{kb}; \quad (4)$$

$$\Delta P_{tc} = \Delta P_{xc} + \Delta P_{kc}; \quad (5)$$

$$\Delta P_{tbc} = \Delta P_{xb} + \Delta P_{kc}; \quad (6)$$

$$\Delta P_{tca} = \Delta P_{xc} + \Delta P_{ка}. \quad (7)$$

Сопоставив технические характеристики трансформаторов (таблица 2) с данными таблицы 3, оценим энергоэффективность рассматриваемых силовых трансформаторов. Полученные результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Трансформаторы, соответствующие стандарту HD 428.

Тип трансформатора	Потери ХХ, кВт	Потери КЗ, кВт	Допустимые потери, кВт, для уровня энергоэффективности (номер комбинации)
ТМГ-1000	1,55	10,2	$\Delta P_{\text{та}} = 1,7 + 10,5$ (3)
ТМГ11-1000	1,4	10,8	$\Delta P_{\text{тб}} = 1,4 + 13,0$ (4)
ТМГ11-1600	2,15	16,5	$\Delta P_{\text{та}} = 2,6 + 17,0$ (3) $\Delta P_{\text{тб}} = 2,2 + 20,0$ (4)
ТМГ12-630	0,8	6,75	$\Delta P_{\text{тса}} = 0,86 + 6,5$ (7)
ТМГ12-1000	1,1	10,5	$\Delta P_{\text{та}} = 1,7 + 10,5$ (3) $\Delta P_{\text{тб}} = 1,4 + 13,0$ (4) $\Delta P_{\text{тса}} = 1,1 + 10,5$ (7)
ТМГ15-630	0,73	6,75	$\Delta P_{\text{тб}} = 1,03 + 8,4$ (4)
ТМГ15-1000	0,94	10,5	$\Delta P_{\text{та}} = 1,7 + 10,5$ (3) $\Delta P_{\text{тб}} = 1,4 + 13,0$ (4) $\Delta P_{\text{тса}} = 1,1 + 10,5$ (7)
ТМГ21-630	1,03	7,45	$\Delta P_{\text{тб}} = 1,03 + 8,4$ (4)
ТМГ21-1000	1,3	11,6	$\Delta P_{\text{тб}} = 1,4 + 13,0$ (4)
ТМГ21-1600	2,05	16,75	$\Delta P_{\text{та}} = 2,6 + 17,0$ (3) $\Delta P_{\text{тб}} = 2,2 + 20,0$ (4)
ТМ -1600	2,35	16,5	$\Delta P_{\text{та}} = 2,6 + 17,0$ (3)

Минимальный уровень суммарных потерь в маслонаполненных силовых распределительных трансформаторах соответствует комбинации $\Delta P_{\text{тс}} = \Delta P_{\text{кс}} + \Delta P_{\text{хс}}$. Ни один из рассмотренных трансформаторов не соответствуют данному уровню потерь мощности. Тем не менее, приведенные в таблице 4 трансформаторы, имея меньшую энергоэффективность, соответствуют стандарту HD428.

Выводы

1. При выборе распределительных трансформаторов следует учитывать основные показатели качества, регламентированные ГОСТ 4.316-85.

2. Важной характеристикой трансформаторов является их энергоэффективность. Оценка энергоэффективности рассмотренных силовых трансформаторов показала, что в максимальной степени критериям стандарта HD428 соответствуют распределительные трансформаторы типа ТМГ12, ТМГ15 и ТМГ21. Энергоэффективными являются также трансформаторы мощностью 1000 кВ·А типа ТМГ и ТМГ11, а также 1600 кВ·А типа ТМГ11 и ТМ.

Литература

1. ГОСТ 14209-97. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов.
2. ГОСТ 4.316-85. Система показателей качества продукции. Трансформаторы силовые, нулевого габарита, измерительные. Подстанции комплектные трансформаторные. Вводы высоковольтные. Номенклатура показателей.
3. Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных распределительных трансформаторов (электронный ресурс). Ресурс доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2384.

УДК 621.32

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Павлович Е.В.

Научный руководитель – ст. преподаватель Калечиц В. Н.

Системы автономного освещения на основе солнечных фото модулей становятся всё популярней с каждым днём. Наружное освещение необходимо не только в городе, где энергетическая инфраструктура хорошо развита, но и в местах, удалённых от центральной энергосети.

В освещении нуждаются не только улицы, но и удаленные парковки, стоянки сельскохозяйственных машин, проблемные участки автотрасс, территории рекреационного назначения (парки, пляжи) и многое другое.

Автономное светодиодное освещение на основе фотомодулей имеет много преимуществ. Наиболее весомым достоинством является полная независимость от внешних сетей, что в сочетании с бескабельной системой даёт возможность создания освещения на отдалённых участках без доступа к электросетям, что значительно позволяет сэкономить как трудовые, так и материальные ресурсы.

К преимуществам можно отнести: недорогое обслуживание, надёжность и длительный срок эксплуатации, отсутствие мерцания.

Яркость и максимальная естественность света, а также свобода в выборе цвета освещения даёт возможность использовать автономное уличное освещение в качестве архитектурного освещения.

К недостаткам можно отнести небольшую выработку электроэнергии в пасмурные дни и возможные сбои в работе аккумуляторов при большой отрицательной температуре[1].

Также на сегодняшний день к минусам можно отнести высокую стоимость комплекта оборудования.

Далее рассмотрены варианты использования автономных осветительных установок.

1) Пешеходный переход

Комплект освещения пешеходного перехода предназначен для идентификации и освещения пешеходного перехода (рис. 1). В состав входит светофор типа Т.7 с миганием желтого света и светодиодный светильник направленного света, оснащенный датчиком движения и датчиком освещенности. Светодиодный светильник срабатывает сразу же, когда в темное время суток к пешеходному переходу подходит пешеход. Таким образом, установка обеспечивает комплексное решение идентификации и освещение пешеходного перехода.

Устанавливается в местах, где доступ к электросети затруднен или отсутствует, таких как: дороги вне населенных пунктов, междугородние автомагистрали, улицы в населенных пунктах вдали от электросети [2].

2) Автономное светодиодное освещение рекламных щитов на основе солнечных панелей

Всё большей популярностью пользуются системы автономного светодиодного освещения рекламных щитов, которые запитаны от солнечных батарей (рис. 2).

В таких случаях используется минимальное количество оборудования. Как правило, это солнечный модуль, крепление модуля, ящик для хранения оборудования, контроллер заряда, АКБ, автоматы, провода, коннекторы.



Рисунок 1. Автономное освещение пешеходного переходы

Конкретное количество оборудования определяется размером подсвечиваемой поверхности и временем подсветки. На сегодняшний день, освещение билбордов происходит до полуночи, в более позднее время количество проезжающего транспорта падает. Что дает возможность существенно снизить стоимость оборудования.

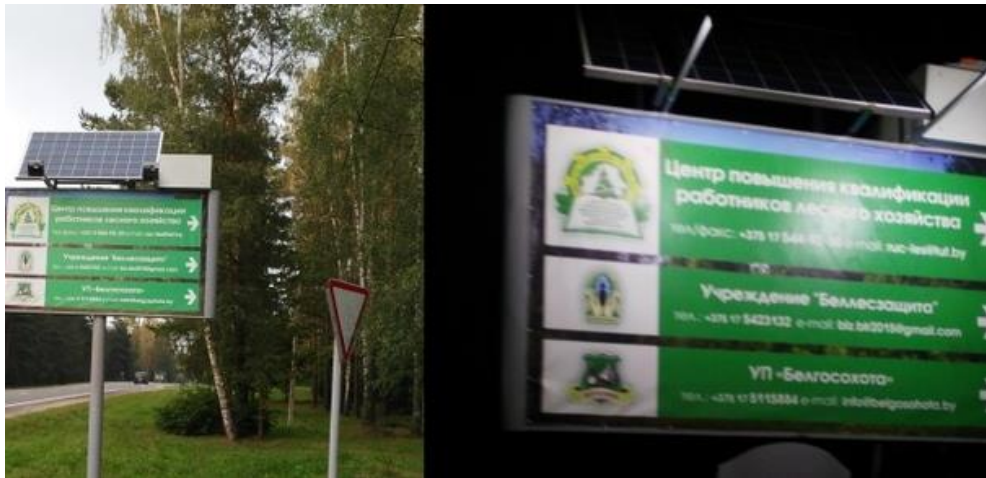


Рисунок 2. Комплект оборудования для подсветки баннера размером 2.5*1.5м. Установлен в этом году в Минском районе. В этом случае, достаточно 4 светильников мощностью 10Вт и напряжением 24В. Стоимость комплекта оборудования - от 2 100 белорусских рублей. [5].

Здесь же, как и в случае использования на пешеходном переходе основным преимуществом будет являться возможность подсветки билбордов в местах, где доступ к электросети затруднён или отсутствует.

3) Автономная светодиодная система освещения для дачи и сада

Очень часто солнечные светодиодное освещение на дачах используется для декора (подсветка дорожек, въезда, крыльца, клумб, газонов, деревьев и т.п.). Модели декоративных светодиодных светильников имеют различные формы (гирлянды, звери, птицы, причудливые фигурки и т.д.). Часто декоративное освещение оснащено дополнительными контроллерами, для работы в режиме мигания, мерцания, бегущих огоньков.

Также можно обеспечить автономное освещение внутри дачного дома и территории вокруг (светодиодные фонари на солнечных батареях) [3].

4) Автономная светодиодная система освещения для парков и общественных мест

Принцип системы автономного освещения парков и общественных мест такой же, как и для улицы. Упор делается на обеспечения яркого освещения в тёмное время.

Светодиоды используются для ландшафтной и архитектурной подсветки, что снижает затраты на декоративную городскую подсветку в ночное время. Также светодиодные фонари на солнечных панелях можно установить и на междугородних транспортных остановках [3].

Характерные особенности автономного уличного освещения

1. Место расположения аккумуляторных батарей

Аккумуляторная батарея при автономном освещении должна содержать в себе все те особенности, что и аккумуляторы для автономного и резервного электроснабжения:

- иметь малую массу.
- иметь высокую емкость.
- быстро заряжаться.
- большой срок службы.
- устойчивость к глубокому разряду.

Однако из-за того, что автономное освещение находится удалённо и обслуживать их, как и обеспечивать защиту не всегда возможно, необходимо принять меры для обеспечения комфортных условий и надлежащей защиты.

Всего рассмотрим три варианта расположения аккумулятора:

Таблица 1 – Варианты расположения аккумуляторных батарей		
Место расположения	Плюсы	Минусы
В опоре	1.Защита от вандалов.	1. Габариты аккумуляторных батарей или же самой опоры. Из-за чего этот вариант зачастую недоступен.
	2.Относительно равномерное распределения центра масс.	
Под солнечной панелью	3.Возможность обслуживания.	
	1.Возможность обслуживания	1.Парустность.
Под опорой, в земле	1.Защита от вандалов.	2.В зимнее время года низкая температура окружающей среды
	2.Равномерно распределённый центр масс	1.Невозможность обслуживания
	3.Постоянная положительная температура	

2. Солнечные панели.

Существует три вида солнечных панелей:

1. Монокристаллические. Данные солнечные батареи представляют собой силиконовые ячейки, объединенные между собой. Для их изготовления используют максимально чистый кремний. После затвердевания готовый монокристалл разрезают на тонкие пластины толщиной 250-300 мкм, которые пронизывают сеткой из металлических электродов. Используемая технология является сравнительно дорогостоящей, поэтому и стоят монокристаллические батареи дороже, чем поликристаллические или аморфные. Выбирают данный вид солнечных батарей за высокий показатель КПД (порядка 17-22%).

2. Поликристаллические. Для получения поликристаллов кремниевый расплав подвергается медленному охлаждению. Такая технология требует меньших энергозатрат, следовательно, и себестоимость кремния, полученного с ее помощью меньше. Единственный минус: поликристаллические солнечные батареи имеют более низкий КПД (12-18%), чем монокристаллические солнечные панели. Причина заключается в том, что внутри поликристалла образуются области с зернистыми границами, которые и приводят к уменьшению эффективности элементов.

3. Аморфные. Если проводить деление в зависимости от используемого материала, то аморфные батареи относятся к кремниевым, а если в зависимости от технологии производства – к пленочным. В случае изготовления аморфных панелей, используется не кристаллический кремний, а силан или кремневодород, который тонким слоем наносится на материал подложки. КПД таких батарей составляет всего 5-6%, у них очень низкий показатель эффективности, но, несмотря на эти недостатки, они имеют и ряд достоинств:

3. Контролеры заряда

Контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи несомненно является одним из важнейших компонентов солнечной электростанции (СЭС). Он выступает своеобразным связующим звеном между солнечной батареей и аккумуляторной батареей. В его основные функциональные обязанности входит:

- автоматическое подключение солнечной батареи на заряд аккумуляторной батареи;
- многостадийный заряд аккумуляторной батареи;
- автоматическое отключение солнечной батареи при полном заряде аккумуляторной батареи;
- автоматическое отключение нагрузки при установленном уровне разряда аккумуляторной батареи;

— переподключение нагрузки при восполнении заряда аккумуляторной батареи;

Все эти функции необходимы для сохранения ресурса аккумуляторной батареи, преждевременный выход из строя которой повышает расходы на обслуживание системы. Систематический перезаряд приводит к кипению электролита и вспучиванию герметичных аккумуляторной батареи. Глубокий же разряд опасен для аккумуляторов тем, что ведет к сульфатации пластин и гибели аккумуляторной батареи. Особенно чувствительны к перезаряду и переразряду свинцово-кислотные аккумуляторы, наиболее часто применяемые в фотоэлектрических системах. Сейчас популярны контроллеры двух типов: технологии ШИМ (PWM) - широтно-импульсная модуляция (Pulse-width modulation) и MPPT - поиск точки максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking)

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

При наличии возможности подключение к системе электроснабжения, окупаемость автономного уличного освещения на сегодняшний день может занять очень долгий срок. Целесообразно использовать автономное освещение в местах, где подключение к системе электроснабжения затруднено, а проведение коммуникаций требует больших ценностных и временных затрат

В освещении нуждаются не только улицы, но и удаленные парковки, стоянки сельскохозяйственных машин, проблемные участки автотрасс, пешеходные переходы, территории рекреационного назначения (парки, пляжи) и многое другое [1].

Оптимальным решением является использование автономных светильников на солнечной энергии. Их установка не требует ни подключения к электросети, что зачастую весьма проблематично. Вы сами выбираете место установки и просто монтируете солнечный светильник на любую подходящую опору — столб, стену здания, забор или даже дерево!

Литература

1. Автономное освещение улиц и дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.multiwood.ru/>. – Дата доступа: 10.02.2017.
2. Автономное уличное освещение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atmosfera.ua/>. – Дата доступа: 10.02.2017.
3. Экономия с уличным освещением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://strmnt.com/>. – Дата доступа: 10.02.2017.
4. АГРОМАСТЕР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pk-agromaster.ru/>. – Дата доступа: 10.02.2017.
5. SOLAR TIME [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solartime.by/> – Дата доступа: 14.03.2017.

УДК 629.73.08; 629.7.004.67

МИКРОМАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Плешко Д. Ю.

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

Рассмотрены микромашинны постоянного тока, перспективы развития бесколлекторных машин постоянного тока и их использование в авиационной аппаратуре.

Электрическая машина – основной преобразователь механической энергии в электрическую и электрической в механическую. Электрические машины могут преобразовывать механическую энергию в электрическую (генераторы), электрическую – в механическую (двигатели), электрическую энергию – в электрическую другого рода тока, частоты или напряжения (преобразователи), а также электрическую энергию переменного тока одного напряжения – в другое (трансформаторы). Кроме того, существуют электрические машины, которые усиливают передаваемые электрические сигналы малой мощности до весьма значительных мощностей, что позволяет малыми сигналами на входе производить регулирование больших мощностей на выходе (электромашинные и магнитные усилители).

В бортовом оборудовании широкое применение находят электрические машины, которые преобразуют электрический сигнал в заданное механическое вращение или поворот вала (исполнительные двигатели автоматических устройств), механическое вращение в электрический сигнал (тахогенераторы), механический угол поворота вала в электрический сигнал (поворотные трансформаторы), а также служат для одновременного поворота или вращения двух или нескольких механически не связанных между собой осей (сельсины) [1].

По роду тока электрические машины разделяются на машины постоянного и переменного тока. Машины постоянного тока используются как двигатели, электромашинные усилители, тахогенераторы, генераторы и преобразователи напряжения постоянного тока. Двигатели постоянного тока обычно предназначаются для приводов, требующих широкого диапазона регулирования скорости вращения. Двигатели постоянного тока малой мощности часто применяются в системах автоматического регулирования в качестве исполнительных двигателей.

К машинам переменного тока относятся синхронные и асинхронные машины, трансформаторы и коллекторные двигатели и преобразователи переменного тока. Синхронные машины ранее использовались главным образом как генераторы переменного тока и компенсаторы реактивной мощности. В настоящее время они находят применение в качестве двигателей самых разнообразных мощностей. Большое распространение имеют синхронные двигатели малых мощностей в схемах, требующих постоянной скорости вращения.

Электрическая микромашинна (микроэлектромашинна) – электрическая машинна переменного или постоянного тока малой мощности (до 750 Вт), предназначенная для работы в системах регулирования и управления, гироскопических устройствах, бытовых приборах.

Электрические микромашинны по назначению разделяются на две группы: общего применения (коллекторные, синхронные, асинхронные микродвигатели) и электрические машинны устройств и приборов(силовые (преобразуют электрическую энергию в механическую), информационные (преобразуют угол поворота, угловую скорость и ускорение в электрический сигнал), гироскопические, преобразователи частоты и напряжения, усилители мощности).

Основные типы микромашин: электромашинные усилители, электрические микродвигатели постоянного тока, асинхронные и синхронные микродвигатели, тахогенераторы, сельсины, вращающиеся трансформаторы.

Микромашины постоянного тока используются в бортовых системах автоматики в качестве исполнительных двигателей, двигателей для привода лентопотяжных самозаписывающих механизмов, в качестве тахогенераторов и электромашинных усилителей. Двигатели постоянного тока находят главным образом для питания радиостанций, двигателей постоянного тока, зарядки аккумуляторных батарей, сварки, электрохимических низковольтных установок.

Вентильный электродвигатель – это синхронный двигатель, основанный на принципе частотного регулирования с самосинхронизацией, суть которого заключается в управлении вектором магнитного поля статора в зависимости от положения ротора [2]. Вентильные двигатели (в англоязычной литературе BLDC или PMSM) ещё называют бесколлекторными двигателями постоянного тока, потому что контроллер такого двигателя обычно питается от постоянного напряжения.

В последнее время, этот тип двигателей быстро приобретает популярность, проникая во многие отрасли промышленности. Находит применение в различных сферах использования: от бытовых приборов до рельсового транспорта. Вентильный электродвигатель с электронными системами управления часто объединяют в себе лучшие качества бесконтактных двигателей и двигателей постоянного тока.

Достоинства:

- высокое быстродействие и динамика, точность позиционирования; - широкий диапазон изменения частоты вращения;
- бесконтактность и отсутствие узлов, требующих техобслуживания - бесколлекторная машина;
- возможность использования во взрывоопасной и агрессивной среде; - большая перегрузочная способность по моменту;
- высокие энергетические показатели (КПД более 90 % и $\cos\phi$ более 0,95);
- большой срок службы, высокая надёжность и повышенный ресурс работы за счёт отсутствия скользящих электрических контактов;
- низкий перегрев электродвигателя, при работе в режимах с возможными перегрузками.

Недостатки:

- относительно сложная система управления двигателем;
- высокая стоимость двигателя, обусловленная использованием дорогостоящих постоянных магнитов в конструкции ротора.

Из-за неразвитости электроники по-прежнему во многих случаях рациональным оказывается применение асинхронного двигателя с преобразователем частоты. Трёхфазные бесколлекторные электродвигатели постоянного тока обеспечивают превосходные характеристики, как при управлении с датчиками положения, так и без них. Управление с датчиками используется, если момент сопротивления неизвестен или варьируется, а также, если необходимо достичь большого пускового момента. Управление без датчиков, как правило, используется в вентиляторах, где позволяет избавиться от применения датчиков Холла и исключить проводные связи с ними.

Типичные сферы применения:

- электропривод;
- холодильное/морозильное оборудование (компрессоры);
- системы нагрева, вентиляции и кондиционирования воздуха (например, вентиляторы).

Несмотря на недостатки, электрические микромашины постоянного и переменного тока занимают значительное место в автоматических системах управления и регулирования счетно-решающих и гироскопических устройствах, бытовых приборах. Генераторы являются основными источниками электроэнергии на самолете.

Литература

1. Барвинский А.П. Электрооборудование самолетов / А.П. Барвинский, Ф.Г. Козлова. – М.: Транспорт, 1981. – 288 с.
2. Арменский Е.В. Электрические микромашины / Е.В. Арменский, Г.Б. Фалк. – М.: Высшая школа, 1975. – 240 с.

УДК621.313.13

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ

Полоневич П.В.

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

Первые исследования двигателя с катящимся ротором (ДКР) были начаты в 1944 г. Москвитиным, а позднее конструкции ДКР и процессы электромагнитного преобразования энергии в них наиболее полно освещены в работах Шон Р., Бертинов А.И., Борзяк Ю.Г., Варлей В.В., Зайков М.А., Наний В.П., а также в работах G. Kaminski, H. Wrotek, A. Viviani и других. Однако среди современного ряда предлагаемых электродвигателей (двигателей постоянного тока, асинхронных и синхронных двигателей, шаговых двигателей, линейных двигателей) Вы с трудом найдёте ДКР. Поэтому для начала рассмотрим принцип действия данного типа двигателя.

ДКР относятся к синхронным ре активным двигателям, основным отличием которых является отсутствие обмотки на роторе. Это тихоходные электродвигатели с высоким вращающим моментом и низкой частотой вращения вала. Другой принципиальной особенностью ДКР, отличающей их от других машин, является эксцентричное расположение ротора в расточке статора. Вращающий момент здесь создается за счет сил одностороннего магнитного притяжения (СОМП).

Принцип действия ДКР рассмотрим с помощью рисунка 1, на котором изображен статор с эксцентрично расположенным ротором. Допустим, что обмотка статора создает несимметричное магнитное поле, максимум которого в данный момент приходится на т.А. Несимметричное поле создает СОМП, под действием которой ротор будет соприкасаться со статором в той же т. А (рис.1, а). По мере вращения магнитного поля сила одностороннего притяжения перемещается по расточке статора с синхронной скоростью. В любой момент времени ее можно разложить на составляющие F_x и F_y (рис. 1, б). Видно, что F_x , притягивая ротор к статору, заставляет его катиться по внутреннему диаметру последнего с синхронной скоростью. Ротор же медленно поворачивается вокруг собственного центра, причем в противоположном направлении. (На рис. 1. поле статора повернулось на 45° против часовой стрелки, а точка p , принадлежащая телу ротора, повернулась по часовой стрелке на угол φ_p , который заметно меньше 45°). Это вращение и является выходным.

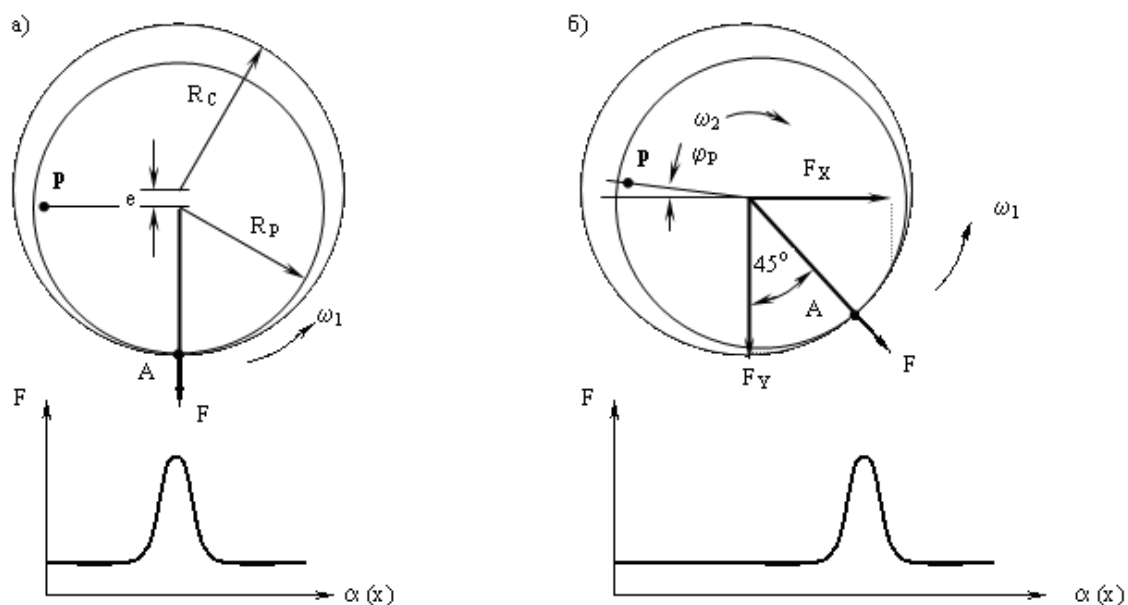


Рисунок 1. Принцип действия ДКР

В конечном итоге при повороте поля статора на один оборот ($j_c = 2\pi$) ротор повернется на угол, равный разности длин окружностей статора и ротора, деленной на радиус ротора R_p :

$$\varphi_p = \frac{2\pi R_c - 2\pi R_p}{R_p} = 2\pi \frac{R_c - R_p}{R_p}$$

Переходя к частоте вращения и учитывая, что $\omega_1 = 2\pi$, получим

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{R_c - R_p}{R_p}$$

Так как в ДКР $(R_c - R_p)/R_p \ll 1$, то ω_2 существенно меньше ω_1 , т.е. коэффициент редукции здесь весьма значительный:

$$k_{ред} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_p}{R_c - R_p}$$

В ДКР различают два момента: электромагнитный момент $M_{эм}$, вызывающий вращение центра ротора вокруг центра статора со скоростью n_1

$$M_{эм} = F_x \cdot e$$

и момент M_2 , приложенный к ротору и вызывающий медленное вращение ротора вокруг собственного центра со скоростью n_2 .

$$M_2 = -F_T \cdot R_p$$

где: F_T – сила, возникающая в точке касания ротора о статор, равная по значению F_x и противоположного ей направленной.

Двигатели с катящимся ротором могут работать в синхронном и асинхронном режимах. Определяется это соотношением силы трения F_T в точке касания и составляющей F_x . Если $F_T > F_x$, проскальзывание невозможно и ДКР работает в синхронном режиме. В противном случае ротор вращается с проскальзыванием и машина переходит в асинхронный режим.

Основным достоинством ДКР является возможность его использования в безредукторном электроприводе. Скорость вращения выходного вала двигателя при частоте питающей сети 50 Гц может достигать 2-200 об/мин. ДКР развивают большой вращающий момент (номинальный и «пусковой»). Вес ДКР, приходящийся на единицу мощности, соизмерим с относительным весом электропривода, состоящего из быстроходного электродвигателя и редуктора. Безредукторный электропривод с ДКР имеет хорошие динамические свойства. Это обусловлено тем, что приведенный момент инерции ротора двигателя весьма мал. Время разгона ДКР практически во всем диапазоне мощностей не превышает 0,01 с (при частоте питающей сети 50 Гц). ДКР может быть относительно просто реверсирован путем переключения следования фаз обмотки переменного тока. При этом время реверса примерно равно 0,015-0,025 с. Наряду с хорошими временными показателями пуска ДКР имеет кратность пускового тока порядка 2-3.

В системах автоматизированного электропривода во многих случаях необходимо, чтобы при отсутствии сигнала рассогласования привод обеспечивал самоторможение. Использование в этом случае ДКР в качестве приводного двигателя является также рациональным. ДКР при отключении питания по переменному току развивает большой тормозной момент, который зачастую может превышать номинальный вращающий электромагнитный момент. Синхронный ДКР с подмагничиванием можно также использовать в качестве электромагнитного тормоза.

Применение ДКР в системах автоматизированного электропривода исключает необходимость использования тормозных муфт и самотормозящихся кинематических звеньев. Последние, как известно, существенно снижают общий КПД электропривода.

ДКР имеют относительно высокие значения коэффициента мощности, который может быть и опережающим.

ДКР благодаря своей способности к «мгновенной» остановке и разгону находят применение в приводах точных механизмов: нониуса копировальных станков, для намотки реохордов, потенциометров, проволочных датчиков сопротивлений, в часовых механизмах, резальных машинах, в различных системах телеметрического управления, например, для

привода «механических рук» при точных манипуляциях с радиоактивными продуктами. Двигатель устанавливается непосредственно для привода рукояток управления различных машин, движков реостатов и потенциометров, подвижных стрелок контроля.

Несмотря на малую известность и популярность ДКР сегодня, во второй половине 20 века было разработано множество конструкций и разновидностей электрических машин с катящимся ротором (ЭМКР). В первую очередь конструкция ДКР зависит от выбора типа питающей сети, а также наличия преобразователя для управления работой двигателя. Для сети переменного напряжения необходимо иметь две обмотки: одна обмотка для униполярного подмагничивания, а вторая для создания вращающегося магнитного поля. В конструкциях ДКР, работающих от сети постоянного тока необходимо наличие устройства, коммутирующего поочередно катушки статора для создания СОМП.

Также существуют конструкции асинхронных ДКР, синхронных ДКР, синхронные ДКР с волновым ротором, синхронные ДКР с дисковым ротором, реактивный трехфазный ДКР с вентильным подмагничиванием, ДКР постоянного тока, шаговые ДКР, двигатели-насосы и др. Конструкции вышеприведенных ДКР рассмотрены в [1].

Таким образом в области ЭМКР имеется широкий спектр разработок перспективных в своем применении, т.к. ДКР имеют значительное количество достоинств. Эти достоинства позволяют ЭМКР конкурировать с классическими системами электроприводов. Применяемые сегодня материалы (электротехнические стали, постоянные магниты) имеют лучшие характеристики, чем материалы 50-х 80-х годов 20 века, что позволяет вновь взяться за усовершенствование существующих конструкций ЭМКР. В частности, целесообразно рассмотреть ротор с постоянными магнитами, что увеличит СОМП, и, следовательно, увеличит вращающий момент и мощность машины на единицу массы.

Литература

1. Бертинов А.И. Электрические машины с катящимся ротором / Бертинов А.И., Варлей В.В. – М.: Энергия, 1969. – 200 с.
2. Борзяк Ю.Г. Электродвигатели с катящимся ротором / Борзяк Ю.Г., Зайков М.А., Наний В.П. – К.: Техніка, 1982. – 120 с
3. В. В. Наний. Движение ротора в электродвигателе с катящимся ротором / В. В. Наний, В. А. Лыках, А. М. Масленников. – Харьков: Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2014 (86). – с. 9-13.

УДК 621.32 (075.8)

РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Свирида Я.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

В осветительных установках (ОУ) промышленных и общественных зданий широко используются световые приборы с газоразрядными лампами, питающиеся от сети переменного тока напряжением до 1 кВ. Электрический разряд в газах является неустойчивым физическим процессом. Даже небольшие колебания подведенного напряжения могут прервать разряд или привести его к лавинообразному процессу, который вызывает преждевременный износ слоя люминофора колбы электрической лампы. С целью стабилизации тока разряда последовательно с газоразрядной трубкой лампы включается ограничивающее балластное сопротивление. В качестве балласта в световом приборе, как правило, используется дроссель, представляющий собой катушку индуктивности со стальным сердечником. Дроссель служит также для создания зажигающего импульса за счет ЭДС самоиндукции. Он уменьшает паузы переменного тока и, следовательно, пульсацию светового потока, создаваемого лампой. В то же время дроссель потребляет реактивную мощность. Естественный коэффициент мощности световых приборов с газоразрядными источниками света $\cos\varphi=0,5-0,6$. Потери активной мощности в стали и обмотке дросселя составляют 10-20% номинальной мощности светового прибора.

Потребление реактивной мощности световыми приборами может быть значительным и влиять на параметры электропотребления не только ОУ, но и системы электроснабжения объекта в целом.

Наличие реактивной мощности может приводить к необходимости использования более мощных силовых трансформаторов и к увеличению сечения проводников, чем это требуется при чисто активной нагрузке. Появление в сети реактивной нагрузки имеет следующие негативные последствия:

- увеличение потребляемой полной мощности;
- снижение пропускной способности электрических сетей по активной мощности;
- увеличение потерь напряжения и мощности в элементах систем электроснабжения;
- сокращение срока службы электрооборудования;

По этим причинам в соответствии с [1] люминесцентные лампы должны применяться с пускорегулирующими аппаратами (ПРА), обеспечивающими $\cos\varphi$ не ниже 0,9.

В ОУ возможна как индивидуальная компенсация реактивной мощности — непосредственно у ламп, так и групповая, когда конденсаторы устанавливаются у щитков освещения (ЩО) и обслуживают целую группу ламп.

Групповая компенсация имеет определенные преимущества: могут применяться более надежные и долговечные конденсаторы, по сравнению с используемыми индивидуальными конденсаторами разных типов, специально не предназначенными для данных условий применения.

Использование в ОУ с люминесцентными лампами пускорегулирующих устройств по двухламповой стартерной схеме автоматически решает вопрос компенсации, так как конденсаторы, которые служат для создания в цепи лампы опережающего тока, обеспечивают повышение коэффициента мощности примерно до 0,92.

Для металлогалогенных (типа ДРИ) и дуговых ртутных люминесцентных ламп (типа ДРЛ) применяется как индивидуальная, так и групповая компенсация реактивной мощности.

Комплект лампы ДРЛ — ПРА имеет коэффициент мощности около 0,57, что, как отмечено выше, может повести к увеличению сечений проводников электрической сети. Компенсация реактивной мощности может снизить расход цветного металла, но, в свою

очередь, связана с установкой сравнительно дорогих индивидуальных или групповых конденсаторов.

По данным, приведенным в [2], для повышения коэффициента мощности до 0,9 — 0,95 в сетях напряжением 230В с дуговыми разрядными лампами необходимо установить конденсаторы следующих емкостей (таблица 1):

Таблица 1. Емкости конденсаторов для дуговых разрядных ламп

Мощность лампы, Вт	1000	750	500	250
Емкость конденсатора, мкФ	80	60	40	20

Конденсаторы с указанной в таблице 1 емкостью в настоящее время не выпускаются, что ограничивает применение индивидуальной компенсации ламп типа ДРЛ. Из изготавливаемых промышленностью конденсаторов наиболее подходящими являются металлобумажные конденсаторы типа МБГО емкостью 10 мкФ напряжением 600 В. Для получения необходимой мощности эти конденсаторы приходится соединять параллельно и устанавливать в стальных ящиках совместно с разрядными сопротивлениями, обеспечивающими быстрый разряд конденсаторов после их отключения.

В установках с групповой компенсацией необходимая мощность конденсатора Q может быть определена по формуле

$$Q = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2), \quad (1)$$

где P - установленная мощность световых приборов, кВт, включая потери в ПРА; $\operatorname{tg} \varphi_1$ и $\operatorname{tg} \varphi_2$ - значения исходного и желаемого коэффициента реактивной мощности.

Для повышения коэффициента мощности с 0,57 до 0,95 на каждый 1 кВт установленной мощности требуются конденсаторы мощностью 1,1 квар. При групповой компенсации могут быть использованы бумажно-масляные трехфазные конденсаторы типа КМ-0,38-25 мощностью 25 квар, а также другие, меньшей мощности, например, 10 квар.

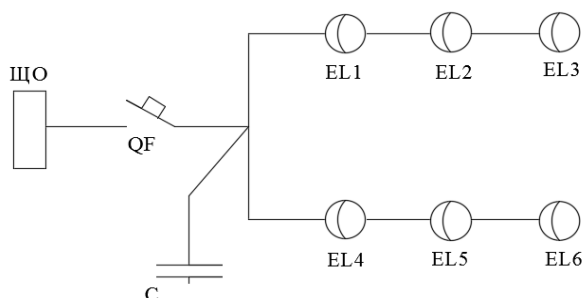


Рисунок 1. Возможная схема подключения групповой линии при компенсации реактивной мощности:

ЩО – щиток освещения, C – конденсатор,
 QF – автоматический выключатель, EL – источники света

Конденсатора мощностью 25 квар достаточно для группы световых приборов мощностью 22 кВт, включая потери в ПРА. Групповые линии могут разветвляться за местом установки конденсаторов, как показано на рис. 1.

Конденсаторы вместе с сопротивлениями устанавливаются вблизи щитков в стальных шкафах, обычно по три — пять в одном шкафу. Размеры шкафа на пять конденсаторов 1250 x 1450 x 700 мм.

Произведенные научно-исследовательским институтом «Тяжпромэлектропроект» сопоставительные расчеты показали, что вариант с компенсацией реактивной мощности на групповых линиях экономически почти равноценен варианту без компенсации реактивной

мощности. Однако некоторое предпочтение можно отдать варианту с компенсацией, имеющему определённые преимущества на высоковольтной стороне системы электроснабжения. Кроме того, во всех случаях, когда отсутствие компенсации приводит к необходимости увеличения мощности трансформатора, целесообразность компенсации бесспорна.

От компенсации реактивной мощности рекомендуется отказываться в случаях, когда к трансформатору подключена перекомпенсированная силовая нагрузка или, когда имеется перекомпенсация на высоковольтной стороне системы электроснабжения промышленного предприятия.

Из сказанного видно, что вопрос компенсации реактивной мощности в сетях освещения нельзя решать изолированно от всего комплекса вопросов электроснабжения и без детального учета местных условий.

Целесообразно отметить, что если питающие осветительные линии имеют небольшую длину, то установка конденсаторов у групповых щитков почти не уменьшает затрату проводникового металла, хотя может привести к уменьшению числа групп.

Следует иметь в виду важное эксплуатационное преимущество установки конденсаторов в комплекте ПРА или вообще вблизи ламп, заключающееся в отключении конденсаторов одновременно с лампами. В настоящее время многие производители светотехнических изделий поставляют ПРА, в комплект которых входят компенсирующие конденсаторы. При надежной конструкции последних это повышает эффективность компенсации реактивной мощности в электроустановках.

Реактивная мощность зависит от величины напряжения в электрической сети переменного тока. Рассмотрим, как влияет величина подведенного напряжения на потребление реактивной мощности газоразрядными световыми приборами. Для этого воспользуемся приведенными в [3] аппроксимирующими функциями, позволяющими приближенно оценивать реактивную мощность комплекта «ПРА – лампа» с разными источниками света. Для расчета потребляемой реактивной мощности необходимо знать номинальную потребляемую мощность светового прибора $Q_{ном}$, номинальное напряжение светового прибора $U_{ном}$ и величину подведенного напряжения U . Преобразовав функции [3], получим выражения для расчета относительного потребления реактивной мощности $Q^* = \bar{Q} / Q_{ном}$ (здесь $\bar{Q}$ – аппроксимированное значение реактивной мощности) в зависимости от относительного напряжения $U^* = U / U_{ном}$. Получены зависимости $Q^* = f(U^*)$ для следующих световых приборов:

светильники с лампами типа ДРЛ:

$$Q^* = 3,59U_* - 2,59 ; \quad (2)$$

светильники с лампами типа ДРИ с компенсированными ПРА:

$$Q^* = 22,322U_*^2 - 37,921U_* + 16,606 ; \quad (3)$$

ПРА: светильники с натриевыми лампами типа ДНаТ с некомпенсированными

$$Q^* = 0,327U_*^2 + 1,116U_* - 0,433 ; \quad (4)$$

светильники с лампами типа ДНаТ с компенсированными ПРА:

$$Q^* = 16,429U_*^2 - 28,882U_* + 13,416 ; \quad (5)$$

светильники с компактными люминесцентными лампами (КЛЛ):

$$Q^* = 1,169U_*^2 - 1,114U_* + 0,943 . \quad (6)$$

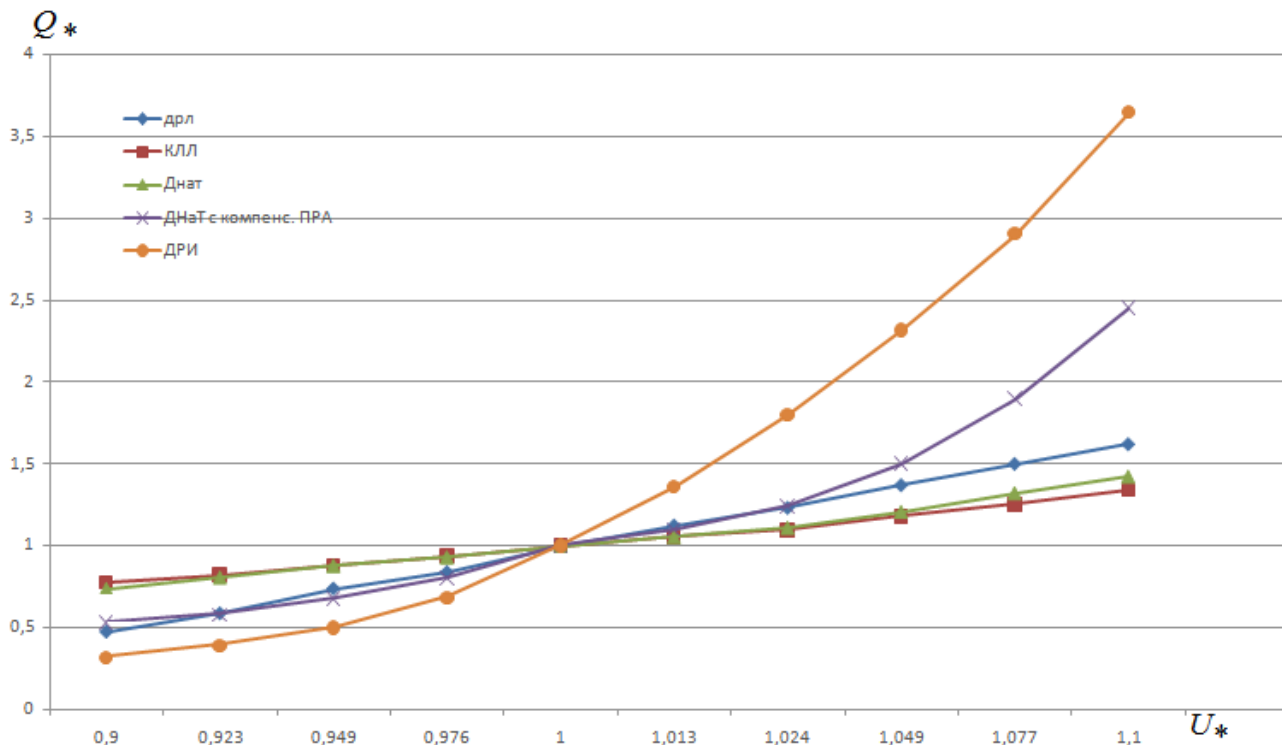


Рисунок 2. Зависимость относительной реактивной мощности газоразрядных световых приборов от относительного подведенного напряжения

По выражениям (2) - (6) выполнены расчеты для различных световых приборов при изменении относительного напряжения в диапазоне 0,9-1,1. По результатам расчетов построены графические зависимости, представленные на рисунке 2.

Исследования показали, что современные источники света на основе светодиодов (СД), не потребляют, а генерируют реактивную мощность [4]. Эту их особенность следует учитывать при выполнении электрических расчетов осветительных установок.

Таблица2. Генерируемая реактивная мощность световых приборов на основе светодиодов

Тип прибора	Относительное напряжение U^*	Генерируемая реактивная мощность, вар	Относительная реактивная мощность $Q_{г*}$
Светильник типа <i>L-school</i> 16/1500/Д	0,87	5	0,77
	0,91	5,5	0,85
	0,96	5,5	0,85
	0,98	6	0,923
	1	6,5	1
	1,04	7,5	1,15
	1,07	7,5	1,15
Светодиодный прожектор типа <i>Kanlux PACO LED45-W</i>	0,87	15	0,65
	0,89	16	0,69
	0,96	19	0,83
	0,98	20	0,87
	1	23	1
	1,02	23	1
	1,04	23	1
	1,07	24	1,04

По экспериментальным данным, приведенным в [4] для светодиодного прожектора типа *Kanlux PACO LED45-W* и светильника типа *L-school* 16/1500/Д, определены

относительные значения генерируемой реактивной мощности $Q_{г*}$ при изменении подведенного напряжения в диапазоне 0,87 – 1,07 от номинального значения. Полученные результаты представлены в таблице 2.

По данным, приведенным в таблице 2, построены графические зависимости $Q_{г*} = f(U_*)$ (рисунок 3).

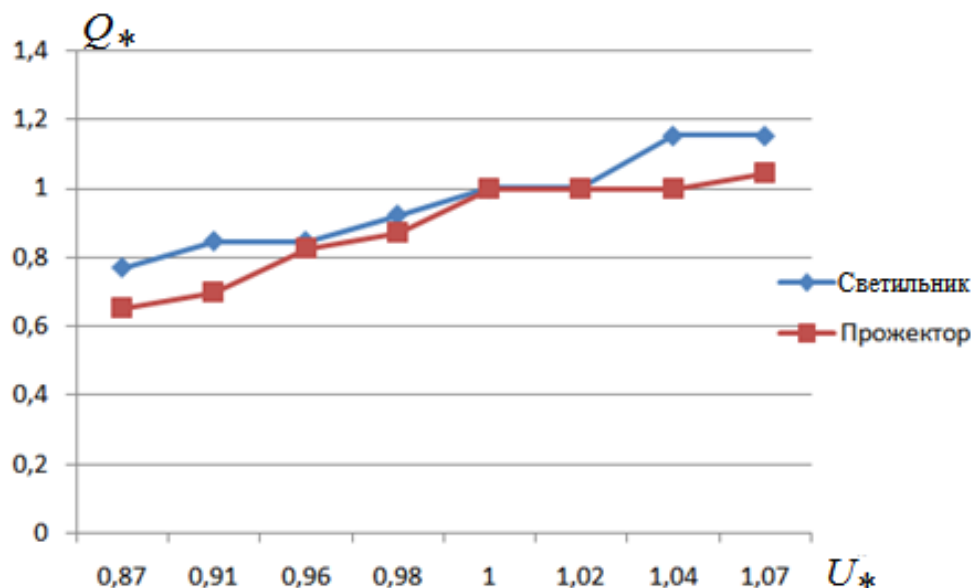


Рисунок 3. Зависимость относительной реактивной мощности источников света на основе светодиодов от относительного подведенного напряжения.

Анализ кривых, приведенных на рис.3 показывает, что в зависимости от величины подведенного напряжения генерируемая светодиодными световыми приборами реактивная мощность изменяется в достаточно широком диапазоне.

Выводы

1. Световые приборы могут, как потреблять, так и генерировать реактивную мощность. Светильники с рассмотренными газоразрядными источниками света являются потребителями реактивной мощности. Если не применять специальные технические средства для компенсации реактивной мощности, то ее величина может оказывать влияние на режимы работы электрических сетей.

2. Светодиодные световые приборы генерируют реактивную мощность. Это целесообразно учитывать при выборе компенсирующих установок в электрических сетях промышленных предприятий и сечений проводников осветительных сетей производственных и коммунально-бытовых объектов.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 640 с.
2. Компенсация реактивной мощности в установках с газоразрядными лампами [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://electricalschool.info>. - Дата доступа: 16.05.2011.
3. Оценка и повышение эффективности работы осветительных установок промышленных предприятий /В.А. Анищенко [и др.]. - Минск: БНТУ, 2014. - 218 с.
4. Радкевич, В.Н. Характеристики электропотребления светодиодных световых приборов и их учет при расчете электрических сетей //В.Н. Радкевич, Я.В. Михайлова. - Энергетика. Изв. ВУЗов и энергетических объединений СНГ. - Том 59, 2016.- 4.- С.289-300.

УДК 658.26

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С РАЗНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Сикорский Н.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

Применение параллельной работы цеховых трансформаторов напряжением 10(6)/0,4 кВ позволяет:

- уменьшить на 25 - 30 % суммарную установленную мощность трансформаторов (по сравнению с раздельной их работой), увеличить коэффициент загрузки трансформаторов и снизить требуемую резервную мощность на случай выхода трансформаторов из строя;
- повысить качество электроэнергии из-за стабильного уровня токов короткого замыкания (КЗ) во всей сети, что дает возможность подключать электроприемники с нелинейными нагрузками большой мощности (электросварка, вентильная нагрузка), а в ряде случаев, позволяет осуществлять совместное питание нелинейных нагрузок с электроприемниками, требующими высокого качества напряжения (электроосвещение, ЭВМ, станки с ЧПУ и др.);
- повысить надежность срабатывания защитных аппаратов при однофазных КЗ в электрической сети;
- обеспечить возможность поэтапного ввода трансформаторных мощностей по мере роста фактических нагрузок предприятия (цеха);
- снизить потерь электроэнергии в трансформаторах за счет возможного отключения части ненагруженных трансформаторов при одно- и двухсменных режимах работы предприятия и др.

При включении силовых трансформаторов на параллельную работу, должны соблюдаться следующие условия:

1. Группы соединения обмоток одинаковые;
2. Коэффициенты трансформации отличаются не более чем на $\pm 0,5\%$;
3. Напряжения КЗ трансформаторов (U_K) отличаются не более чем на $\pm 10\%$;
4. Соотношение номинальных мощностей трансформаторов не более 1:3;
5. Произведена фазировка трансформаторов.

Рассмотрим параллельную работу трех трансформаторов с разными напряжениями КЗ U_k (рисунок 1).

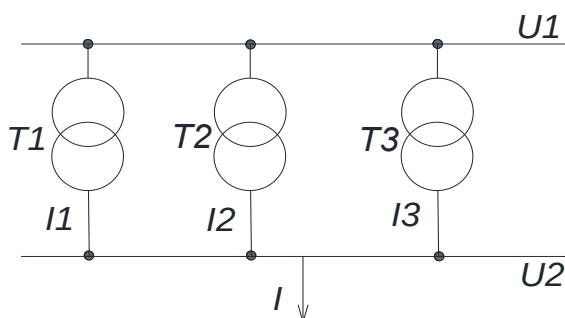


Рисунок 1. Схема включения трансформаторов на параллельную работу

Считаем, что трансформаторы имеют одинаковые группы соединений обмоток и равные коэффициенты трансформации. Пренебрегаем токами намагничивания (холостого хода) ввиду их незначительности по сравнению с током нагрузки. Упрощенную схему параллельной работы трех трансформаторов можно представить в виде, изображенном на рисунке.2.

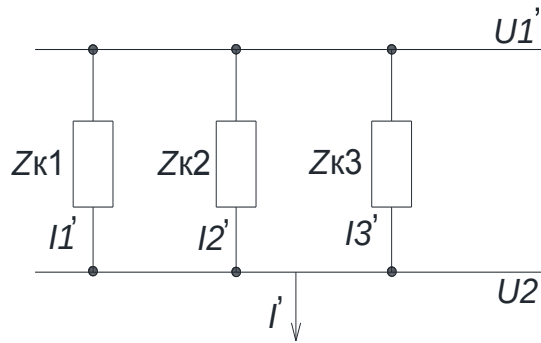


Рисунок 2. Схема замещения электроустановки

Из схемы замещения следует, что падения напряжения у всех трех трансформаторов одинаковы и равны:

$$\Delta \dot{U} = Z \cdot \dot{I}'. \quad (1)$$

где I' - общий ток нагрузки;

Z – суммарное полное сопротивление схемы замещения, определяемое по выражению

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_{k1}} + \frac{1}{Z_{k2}} + \frac{1}{Z_{k3}}} = \frac{1}{\sum_n \frac{1}{Z_{kn}}} \quad (2)$$

где Z_{k1} , Z_{k2} и Z_{k3} – полное сопротивление соответствующего трансформатора.

Тогда токи отдельных трансформаторов вычисляются по следующей формуле:

$$\dot{I}'_i = \frac{\Delta \dot{U}}{Z_{ki}} = \frac{Z \cdot \dot{I}'}{Z_{ki}} = \frac{\dot{I}'}{Z_{ki} \cdot \sum_n \frac{1}{Z_{kn}}} \quad (3)$$

В общем случае эти токи не совпадают по фазе, так как аргументы φ_{k1} , φ_{k2} , φ_{k3} комплексов сопротивлений КЗ могут быть не равны и тогда сопротивления выражаются по формулам

$$Z_{k1} = z_{k1} \cdot e^{j\varphi_{k1}}; \quad Z_{k2} = z_{k2} \cdot e^{j\varphi_{k2}}; \quad Z_{k3} = z_{k3} \cdot e^{j\varphi_{k3}}. \quad (4)$$

Однако в обычных условиях эти сдвиги по фазе незначительны и с достаточной для практических расчетов точностью можно принять, что

$$I = I_1 + I_2 + I_3. \quad (5)$$

В связи с этим, и арифметическая сумма полных мощностей трансформаторов может быть принята полной мощности нагрузки потребителя электроэнергии S :

$$S = S_1 + S_2 + S_3. \quad (6)$$

Вследствие изложенного, комплексные величины в выражениях (2) и (3) можно заменить их модулями:

$$z_{ki} = \frac{u_{ki\%}}{100} \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}}. \quad (7)$$

Аналогичные выражения получим и для z_{k2} и z_{k3} . Подставим выражения (4) для z_k в (3) и заменим токи на пропорциональные им полные мощности, умножив (3) на величину mU_n . Тогда можно записать следующее выражение:

$$m \cdot U_{\text{ном}} \cdot I_i = \frac{m \cdot U_{\text{ном}} \cdot I}{\frac{u_{ki\%}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}i}} \cdot \sum_n \frac{100 \cdot I_{\text{ном}j}}{u_{kj\%} \cdot U_{\text{ном}}}}; \quad (8)$$

$$S_i = \frac{S_p}{\frac{u_{ki\%}}{S_{\text{ном}i}} \cdot \sum_n \frac{S_{\text{ном}j}}{u_{kj\%}}}, \quad (9)$$

где S_p – общая нагрузка трансформаторов, кВ·А;

S_i – полная мощность, которая будет передаваться через рассматриваемый i -й трансформатор в сеть вторичного напряжения, кВ·А;

$S_{\text{ном}i}$ – номинальная мощность рассматриваемого i -го трансформатора;

$S_{\text{ном}j}$ – мощность j -го трансформатора, работающего параллельно, кВ·А;

$u_{ki\%}$ – напряжение короткого замыкания рассматриваемого i -го трансформатора, %;

$u_{kj\%}$ – напряжение короткого замыкания j -го трансформатора, %;

n – количество параллельно работающих трансформаторов.

Согласно [3], напряжения КЗ параллельно включенных трансформаторов могут отличаться не более чем на ± 10 %. В данном нормативном документе не указано, по отношению к какому значению U_k определяется это отклонение. Поэтому принимаем, что допускается различие в напряжениях КЗ по отношению к среднему значению $U_{\text{кс}}$ [1], определяемому по выражению

$$U_{\text{кс}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n U_{ki}. \quad (10)$$

Отклонение фактического напряжения КЗ j -го трансформатора от $U_{\text{кс}}$, выраженное в процентах, рассчитывается по формуле

$$\delta U_{\text{кс}} = \frac{U_{kj} - U_{\text{кс}}}{U_{\text{кс}}} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Распределительные трансформаторы номинальной мощностью 630-2500 кВ·А напряжением (6-10)/0,4кВ, применяемые в системах электроснабжения промышленных предприятий, имеют значения $U_k = 4,5; 5,5$ и 6% .

Рассмотрим, возможна ли параллельная работа двух распределительных трансформаторов, имеющих $U_{k1} = 5,5\%$ и $U_{k2} = 6\%$. Выполним расчеты по формулам (10) и (11):

$$U_{\text{кс}} = \frac{1}{2} \cdot (5,5 + 6) = 5,75\%;$$

$$\delta U_{k1} = \frac{5,5 - 5,75}{5,75} \cdot 100\% = -4,35\%; \quad \delta U_{k2} = \frac{6 - 5,75}{5,75} \cdot 100\% = +4,35\%$$

Так как $\delta U_{k1}, \delta U_{k2}$ не выходят за пределы ± 10 %, то параллельная работа рассмотренных силовых трансформаторов допустима. Аналогично можно произвести расчеты для других возможных сочетаний U_k для двухтрансформаторных и трехтрансформаторных подстанций. Результаты расчета представлены в таблице 1.

С учетом максимального значения одного трансформатора $U_k = 6\%$ предельно допустимая величина $\delta U_{kj} = \pm 10$ % имеет место при $U_k = 4,9\%$ второго трансформатора.

Определим мощности, передаваемые через трансформаторы в сеть напряжением до 1000В в зависимости от значений U_k и номинальных мощностей.

Таблица 1. Допустимость значений U_k параллельно работающих силовых трансформаторов.

Номер группы	Номер трансформатора.	Напряжение КЗ, %	Среднее значение U_k , %	Значение δU_k , %	Допустимость сочетания U_k
	1	4,5		-10,00	
1	2	5,5	5	+10,00	да
	1	5,5		-4,35	
2	-	-	5,75	-	да
	2	6		+4,55	
	1	4,5		-14,29	
3	2	6	5,25	+14,29	нет
	1	4,5		-6,90	
4	2	4,5	4,83	-6,90	нет
	3	5,5		+13,79	
	1	4,5		-12,90	
5	2	5,5	5,17	+6,45	нет
	3	5,5		+6,45	
	1	4,5		-10,00	
6	2	4,5	5,00	-10,00	нет
	3	6		+20,00	
	1	4,5		-18,18	
7	2	6	5,50	+9,09	нет
	3	6		+9,09	
	1	5,5		-2,94	
8	2	5,5	5,67	-2,94	да
	3	6		+5,88	
	1	5,5		-5,71	
9	2	6	5,83	+2,86	да
	3	6		+2,86	
	1	4,5		-15,63	
10	2	5,5	5,33	+3,13	нет
	3	6		+12,50	

При разных U_k и $S_{ном} = 1000$ кВ·А выполним расчет по формуле (9) для разн. общей мощности нагрузки ($S_p \leq \Sigma S_{номi}$). Для примера произведем расчет для первой группы трансформаторов (таблица 1):

$$S_1 = \frac{1000}{\frac{4,5}{1000} \cdot \left(\frac{1000}{5,5} + \frac{1000}{4,5} \right)} = 550 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$S_2 = \frac{1000}{\frac{5,5}{1000} \cdot \left(\frac{1000}{5,5} + \frac{1000}{4,5} \right)} = 450 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Аналогично проведем расчеты для остальных значений S_p и других допустимых сочетаний U_k . Результаты расчетов приведены в таблицах 3 - 6.

Таблица 3. Распределение мощности между трансформаторами для группы 1.

$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном1} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном2} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$
1000	550,00	450,00
1500	825,00	675,00
2000	1100,00	900,00
2400	1320,00	1080,00

Таблица 4. Распределение мощности между трансформаторами для группы 2.

$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном1} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном2} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$
1000	521,74	478,26
1500	782,61	717,39
2000	1043,48	956,52
2400	1252,17	1147,83

Таблица 5. Распределение мощности между трансформаторами для группы 8.

$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном1} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном2} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном3} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$
1000	342,86	342,86	314,29
1500	514,29	514,29	471,43
2000	685,71	685,71	628,57
2500	857,14	857,14	785,71
3000	1028,57	1028,57	942,86
3600	1234,29	1234,29	1131,43

Таблица 6. Распределение мощности между трансформаторами для группы 9.

$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном1} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном2} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном3} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$
1000	352,94	323,53	323,53
1500	529,41	485,29	485,29
2000	705,88	647,06	647,06
2500	882,35	808,82	808,82
3000	1058,82	970,59	970,59
3600	1270,59	1164,71	1164,71

Выполним аналогичные расчеты для трансформаторов с разными U_k и номинальными мощностями (таблица 7). Результаты расчета приведены в таблицах 8 - 11.

Таблица 7. Технические характеристики трансформаторов ТМГ12

Тип трансформатора	$S_{ном}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	Напряжение к.з., $U_k \%$
ТМГ12-400/10-У1(ХЛ1)	400	4,5
ТМГ12-630/10-У1(ХЛ1)	630	5,5
ТМГ12-1000/10-У1(ХЛ1)	1000	5,5
ТМГ12-1250/10-У1(ХЛ1)	1250	6,0

Таблица 8. Распределение мощности между трансформаторами для группы 1.

$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном1} = 400 \text{ кВ}\cdot\text{А}$	$S_{ном2} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$
1000	328,36	450,00
1500	492,54	675,00
2000	656,72	900,00
2400	788,06	1080,00

Таблица 9. Распределение мощности между трансформаторами для группы 2.

$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{\text{ном}1}=630 \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{\text{ном}2}=1250 \text{кВ}\cdot\text{А}$
1000	354,76	645,24
1500	532,14	967,86
2000	709,53	1290,47
2400	851,43	1548,57

Таблица 10. Распределение мощности между трансформаторами для группы 8.

$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{\text{ном}1}=630 \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{\text{ном}2}=1000 \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{\text{ном}3}=1250 \text{кВ}\cdot\text{А}$
1000	226,96	360,25	412,79
1500	340,44	540,38	619,18
2000	453,92	720,50	825,58
2500	567,40	900,63	1031,97
3000	680,88	1080,76	1238,37
3600	817,05	1296,91	1486,04

Таблица 11. Распределение мощности между трансформаторами для группы 9.

$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{\text{ном}1}=630 \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{\text{ном}2}=1250 \text{кВ}\cdot\text{А}$	$S_{\text{ном}3}=1250 \text{кВ}\cdot\text{А}$
1000	215,63	392,18	392,18
1500	323,45	588,28	588,28
2000	431,26	784,37	784,37
2500	539,08	980,46	980,46
3000	646,89	1176,55	1176,55
3600	776,27	1411,87	1411,87

Выводы

1. Расчеты показали, что при одинаковых значениях U_k , условия параллельной работы являются наилучшими. Если же U_k не равны, то при повышении нагрузки, номинальной мощности прежде всего достигнет трансформатор с наименьшим U_k . Другие трансформаторы при этом будут недогружены. Однако при этом дальнейшее увеличение общей нагрузки недопустимо, так как первый трансформатор будет перегружаться. Это справедливо в тех случаях, в которых номинальная мощность трансформаторов одинаковая.

2. Незначительная разница U_k , например, на 0,5%, параллельно работающих трансформаторов с одинаковыми номинальными мощностями, ведет к увеличению разницы мощностей, передаваемой через трансформаторы, приблизительно в 2,3 раза. Таким образом, установленная мощность трансформаторов будет недоиспользованной.

3. При параллельной работе трансформаторов с разными номинальными мощностями соотношение их номинальных мощностей не может превышать 1:3. Это вызвано тем, что даже при небольших перегрузках, трансформаторы меньшей мощности будут больше загружаться в процентном отношении и, особенно в том случае, если они имеют меньшие U_k .

Литература

1. Токарев, Б.Ф. Электрические машины / Б.Ф. Токарев. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 672 с.
 2. Копылов, И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 360 с.
- ТКП 181-2009(02230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - Минск: Минэнерго, 2009. - 326с.

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ В КАЧЕСТВЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Дубатовка А.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Козловская В.Б.

Светодиодное освещение – одно из перспективных направлений технологий искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов в качестве источника света.

Светодиод или светоизлучающий диод – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом или контактом металл-полупроводник, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока.

Типовая схема питания выполняется по бестрансформаторному принципу и содержит ограничительный конденсатор и диодный мост.

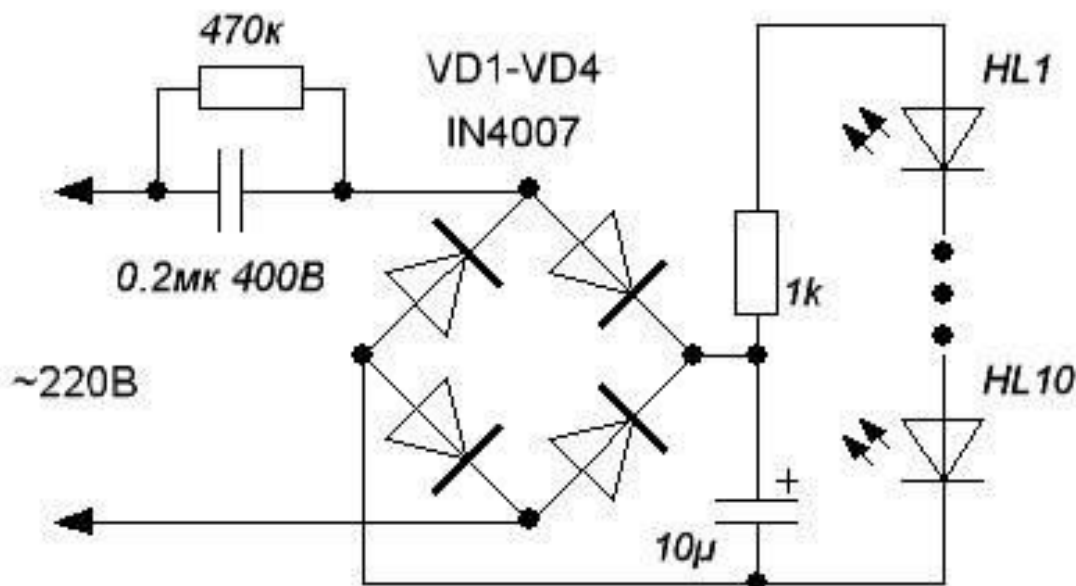


Рисунок 1 – Типовая схема питания светодиодной лампы

Конденсатор 0.2мк - балластный, его емкость выбрана такой, чтобы ток через светодиоды не превышал 25 мА. Основное назначение конденсатора 10мк - сглаживать пульсации напряжения, выпрямленного мостом VD1-VD4. Резистор 1к ограничивает ток через линейку светодиодов. Готовую лампу можно вставлять в стандартный патрон любого осветительного прибора.

Нет сомнений, что в скором времени на смену обычным газоразрядным лампам придут. Светодиодные лампы более энергоэффективны: они обеспечивают ту же освещенность при гораздо меньшей потребляемой мощности. Во-вторых, важным отличием ламп на светодиодах является срок их службы. Теоретически светодиод может работать бесконечно долго, но на практике производители гарантируют непрерывный срок службы в течение 50 000 ч. или до 7 лет (в бытовых условиях). Но это не означает, что лампа перестанет работать, она потеряет свою яркость, примерно, на 30-40%.

Основные параметры светодиодных ламп:

1) Световой поток. Для большинства светодиодных лам световой поток 80-100 лм/Вт. Существуют светодиоды на COB технологии, у которых световой поток достигает 180

лм/Вт, но в изделиях бытового назначения их не используют. В китайских лампочках нормальная яркость – 70-80 лм/Вт.

2) Мощность потребления электроэнергии. Энергопотребление складывается из потребления светодиодов и драйвера. На драйвер приходится 1-2 Вт.

3) Цветовая температура света. Свет делится на 3 вида: белый, как обычный дневной свет; теплый белый, как свет от обычной лампы накаливания; холодный белый, свет с голубоватым оттенком.

4) Тип цоколя. Самый распространённый тип цоколя E27. Это классический размер цоколя под обыкновенные лампочки накаливания.

5) Диапазон рабочих температур. По умолчанию нормальная рабочая температура светодиодов от -30°C до $+60^{\circ}\text{C}$. В некоторых регионах температура на улице в зимний период может опускаться ниже указанных пределов. Так же такие лампы не рекомендуется устанавливать в помещения с высокой температурой, например, парилка сауны, и вблизи мощных источников тепловыделения.

6) Коэффициент пульсаций. Этот параметр редко указывается в паспортных данных. Тем не менее особо добросовестные производители не упускают и этот параметр. Для бытовых целей допустим коэффициент пульсации до 40%. А для зрительных работ он не должен превышать 20%.

7) Степень защиты. Существует несколько степеней защиты от влажности, влаги, пыли. Несоответствие степени защиты и условий эксплуатации приведет к преждевременному выходу из строя.

8) Срок службы. Срок службы современных бюджетных светодиодных ламп заявлен в 20 — 50 тысяч часов, и зависит от установленных LED комплектующих.

9) Напряжение питания. В наших магазинах все лампочки рассчитаны на 12В или 220В. В некоторых странах сетевое напряжение 110В, соответственно и источники света такого типа у них на 110В.

10) Размеры корпуса. Тут действует простое правило, чем ярче светит, тем она должна быть больше. Менее мощная должна быть пропорционально меньше.

В таблице ниже приведены результаты тестирования тринадцати светодиодных лампочек различных производителей.

Таблица 1 - Таблица соответствия номиналов различных производителей

Наименование, цена		Заявленные параметры					Измеренные параметры						
Модель	Цена	Мощн.	Экв.	Lm	K	Мощн.	Экв.	Lm	% Lm	K	CRI	Пульс	
Osram LED Star Classic A 60 AA74146 Bulb	515	10	60	806	2700	9,3	80	843	105	2742	83,2	1	
Osram LED Star Classic P 40 AA68546 G45	582	6	40	470	2700	5,6	50	427	91	2718	83,4	1	
Uniel LED-A60-8W/WW/E27/CL PLS02WH Bulb	368	8	75	800	3000	5,6	60	579	72	2973	83,1	0	
Uniel LED-CW37-6W/WW/E14/FR/DIM ALP01WH Candle	378	6	60	560	3000	5,7	45	418	75	3003	83,5	1	
Volpe LED-C37-6W/WW/E14/FR/DIM/O Candle	297	6	40	450	3000	5	45	363	81	3018	85,1	1	
Lexman 940369 E27 Bulb	396	10	60	806	3000	9,1	70	672	83	3054	82,8	1	
Lexman 961156 E27 Bulb	185	7	45	550	3000	5,6	45	412	75	2939	82,5	30	
Lexman 939632 E14 Candle	276	5	40	470	3000	4,6	45	396	84	3077	83,5	1	
Lexman 961149 GU10	208	5,5	35	350	3000	4,8	40	322	92	2990	83,1	29	
Wolta 25Y55BL9E27 Bulb	244	9	75	800	3000	8,5	75	762	95	2988	83,5	3	
Wolta 30YPAR16-230-7GU10	215	7	50	530	3000	5,5	60	439	83	3144	72,7	1	
Wolta 25YMR16-220-7GU5,3	225	7	60	600	3000	6,5	60	452	75	3037	83,4	2	
Bellight LED E27 4Вт = 35 Вт Bulb	98	4	35	320	4000	3,6	25	187	58	4287	86,5	102	

Стоит обратить внимание на нижнюю позицию. Светодиоды Bellight, производимые в Польше, имеют значительные несоответствия по паспортным параметрам. Такие лампы покупать однозначно не стоит. При таком коэффициенте пульсации устанавливать их в жилых помещениях опасно для здоровья.

В качестве источника освещения светодиодные лампы применяются в следующих основных областях:

- 1) Светодиодные лампы для уличного освещения;
- 2) Светодиодные лампы для производственных и офисных целей;
- 3) Светодиодные лампы для освещения производственных зданий и архитектурных сооружений;
- 4) Бытовые светодиодные лампы:
 - 4.1) Лампы освещения;
 - 4.2) Декоративные лампы.

В целом, область применения светодиодных ламп расширяется с каждым годом, ведь на сегодняшний день светодиодные лампы являются самым надежным и долговечным источником света, позволяющем к тому же значительно снизить уровень потребляемой электроэнергии.

Литература

- 1) <http://led-obzor.ru/svetodiodnyie-lampyi-tehnicheskie-harakteristiki>
- 2) <https://svetodiodinfo.ru/texnicheskie-momenty/parametry-svetodiodnyx-lamp.html>
- 3) http://magazine.company/publ/svetodiodnoe_osveshhenie/ustrojstvo_svetodiodnyks_led_lamp/11-1-0-50
- 4) <http://sputnikenergy.ru/articles/oblast-primeneniya-svetodiodnyx-lamp/>
- 5) https://ru.wikipedia.org/wiki/Светодиодное_освещение

УДК 658.26

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С МАГНИТОПРОВОДОМ ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ

Сорока А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

Конструкция силовых трансформаторов в течение многих десятилетий является практически неизменной: магнитопровод, обмотки, изоляция, бак (для масляных трансформаторов). Изменения, произошедшие в последние годы в силовых распределительных трансформаторах носят эволюционный характер. В частности, при изготовлении магнитопроводов вместо горячекатаной электротехнической стали начали применять разные марки холоднокатанной. Способ шихтовки магнитопровода изменился с «прямого стыка» на «косой стык». Наряду с толстостенными баками с расширительным бачком или без него применяются герметичные тонкостенные гофробаки. Обмотки трансформаторов выполняются как из алюминия, так и из меди. Для определения технического состояния мощных силовых трансформаторов на трансформаторных подстанциях начали устанавливать устройства мониторинга, такие, как, например, хроматографы, всевозможные датчики давления и температуры и т.д.

Основными способами повышения энергоэффективности силового трансформатора являются следующие:

- обеспечение оптимальной нагрузки трансформатора;
- увеличение коэффициента мощности нагрузки $\cos\varphi$;
- уменьшение потерь мощности холостого хода (ХХ) ΔP_x (потерь в магнитопроводе трансформатора);
- уменьшение потерь мощности короткого замыкания (КЗ) ΔP_k (потерь в обмотках трансформатора);
- снижение тока ХХ I_x трансформатора.

Первые два способа реализуются в процессе эксплуатации трансформаторных подстанций, остальные – при изготовлении трансформаторов. Значения ΔP_x , ΔP_k и I_x , являющиеся основными показателями экономичности трансформатора, зависят от его конструктивного исполнения.

Снижение ΔP_x связано с совершенствованием конструкции и материала магнитопровода. В этом направлении наиболее перспективным является применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов (АС). При их использовании обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь ХХ трансформаторов по сравнению с магнитопроводами из холоднокатаной электротехнической стали.

Уменьшение величины ΔP_k достигается внедрением инновационных решений в конструкции обмоток силового трансформатора. В этой области наибольший интерес представляют два направления. Первое связано с использованием высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов. Отметим следующие основные преимущества трансформаторов с обмотками из ВТСП-материалов [1]:

- 1) снижение ΔP_k почти в два раза;
- 2) уменьшение массы и габаритов трансформатора до 40%, что облегчает его транспортировку;
- 3) ограничение токов КЗ;
- 4) значительное уменьшение реактивного сопротивления;
- 5) большая перегрузочная способность;
- 6) уменьшение уровня шума;
- 7) пожаробезопасность и экологичность.

Второе направление уменьшения мощности потерь КЗ - это внедрение нового типа трансформатора *DryFormer* (фирма *ABB Transformatoren*), обмотки которого выполняются из

специального кабеля. Этот кабель имеет многопроволочную медную или алюминиевую токопроводящую жилу, поверх которой наложен тонкий слой полупроводящего материала, что позволяет устранить неравномерность электрического поля, вызванного многопроволочностью жилы. Фазная изоляция такой жилы изготавливается из полиэтилена. Ее толщина выбирается из соображений электрической прочности (практически достижим уровень напряжения 220 кВ). Поверх изоляции наложен экран, выполненный также из полупроводящего материала, который заземляется, что обеспечивает рациональное распределение электрического поля. Отсутствие масла, снижение более чем вдвое доли горючих материалов по сравнению с обычным трансформатором устраняют риск пожара, взрыва, загрязнения воды и почвы в случае повреждения трансформатора. Это позволяет применять такие аппараты в зонах с большой плотностью населения, в подземных установках, в экологически охраняемых регионах.

В настоящее время силовые распределительные трансформаторы с сердечником из АС серийно выпускаются и используются в США, Канаде, Японии, Индии, Словакии и других странах. Всего в мире уже изготовлено 60-70 тыс. трансформаторов мощностью 25-100 кВ·А. Примерно 1000 трансформаторов прошли успешные многолетние испытания в различных энергосистемах. Наибольших успехов добились США и Япония. Японская фирма «Hitachi» в сотрудничестве с американской «AlliedSignal» выпустила группу силовых трансформаторов с магнитопроводом из аморфного сплава мощностью от 500 до 1000 кВ·А. Испытания показали, что потери электроэнергии в магнитопроводах таких трансформаторов на 80% меньше по сравнению с трансформаторами со стальными сердечниками.

Компания «AlliedSignal» производит аморфный сплав для трансформаторов на заводе в г. Конуэй (США). Его цена не превышает стоимости кремнистой стали - 2-2,5 USD/кг. Тем не менее, руководство фирмы утверждает, что производство таких сердечников обходится дороже из-за большего потребления металла и несовершенства технологического процесса. Еще одной проблемой является усложнение процесса изготовления сердечника по мере увеличения его размеров. Японской фирме с этой целью пришлось освоить специальную технологию. Фирма «AlliedSignal» имеет два завода по выпуску сердечников из аморфных сплавов: один в Индии (работает с 1993 г.) и другой в КНР (в г. Шанхай, работает с 1996 г.). Годовая мощность последнего составляет 450 т. В перспективе предполагается её увеличение в три раза. Фирмы-партнёры рассчитывают на сбыт силовых трансформаторов с сердечником из аморфных металлов на рынках стран с высокой стоимостью электроэнергии.

Особенности АС потребовали изменения конструкции магнитопровода. В связи с малой толщиной аморфный материал наиболее пригоден для витой конструкции магнитопровода, которая может применяться у трансформаторов с номинальной мощностью до 1000 кВ·А.

Ленточные витые магнитопроводы, изготавливаемые из электротехнической стали или пермаллоевых сплавов, давно и довольно широко используются в трансформаторах, работающих в диапазоне частот до 100 кГц. Однако эти материалы не удовлетворяют требованиям комплексного обеспечения высокого КПД, экономичности, технологичности и других показателей энергоэффективных трансформаторов. Появление аморфных нанокристаллических сплавов, обладающих уникальными физическими и магнитными свойствами, в сочетании с усовершенствованием технологии получения таких сплавов, позволило за последние три десятилетия снизить их стоимость с 300 до 2,8–3,0 USD/кг. Это привело к тому, что стало экономически выгодно серийно изготавливать магнитопроводы из аморфных сплавов и, соответственно, энергоэффективные трансформаторы с такими магнитопроводами.

Исходным материалом для производства магнитопроводов энергоэффективных трансформаторов служит лента, получаемая методом сверхбыстрого (со скоростью порядка 10^6 К/с) охлаждения струи готового аморфного нанокристаллического расплава, который выливается на поверхность барабана, вращающегося с большой скоростью V_6 , как это упрощенно показано на рис.1 [1].

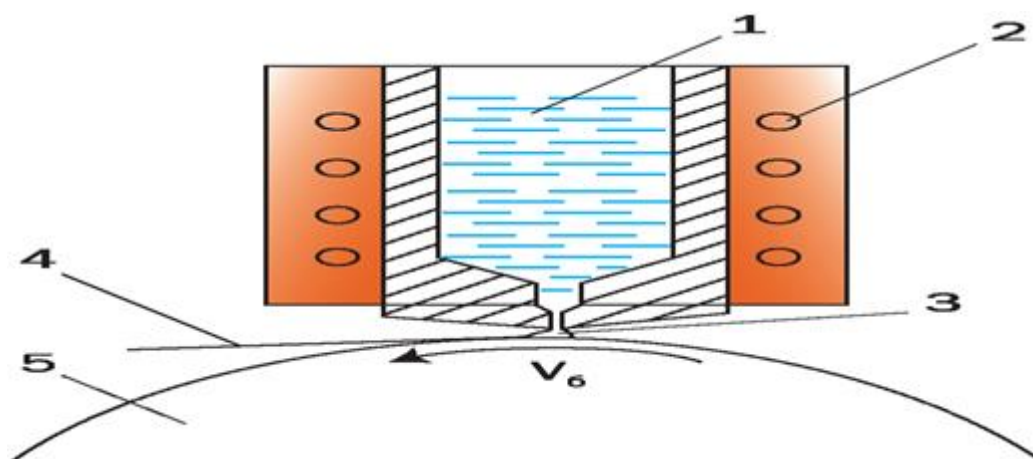


Рисунок 1. Получение аморфной ленты:

1- аморфный расплав; 2- плавильная камера; 3- лужа расплава; 4- лента; 5- охлаждающая поверхность

Упрощенная схема установки, используемая компанией *MetglasInk*. для изготовления ленты из аморфного расплава, показана на рис.2 [1].

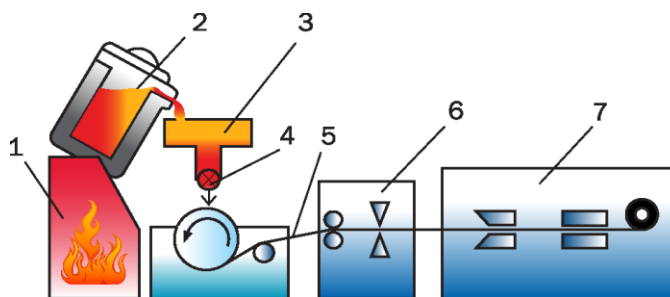


Рисунок 2. Схема установки для изготовления аморфной ленты:

1- печь; 2- аморфный расплав; 3- резервуар; 4- дозатор; 5- лента из аморфного расплава; 6- устройство непрерывного технологического контроля; 7- устройство, осуществляющее непрерывное охлаждение ленты

Изготовленную из аморфного расплава ленту отжигают в среде инертного газа при воздействии магнитного поля напряженностью 800 А/м, что позволяет получить значительно меньшую площадь петли гистерезиса, чем у трансформаторной стали, и, следовательно, достичь намного меньших потерь XX в аморфном магнитопроводе трансформатора. Так как аморфная лента имеет малую толщину (0,024 мм), ее сворачивают в пять слоев в рулон, тем самым увеличивая ее толщину в 5 раз. Затем изготавливают из нее витые конструкции магнитопроводов распределительных трансформаторов. В трансформаторах традиционных конструкций магнитопровод из трансформаторной стали является несущим элементом, поддерживающим всю активную часть. Магнитопровод, изготовленный из аморфной ленты, из-за низкой механической прочности не допускает воздействия на него чрезмерной весовой нагрузки. Поэтому он крепится к обмоткам, расположенным на несущей базе, и требует дополнительных мероприятий по увеличению жесткости конструкции.

В странах СНГ первый масляный трехфазный трансформатор типа ТМГ24-400/10 с витым магнитопроводом из аморфного сплава был изготовлен на Минском электротехническом заводе. Благодаря инновационным технологиям, используемым при изготовлении трансформатора, удалось добиться существенного улучшения его технических показателей, характеризующих энергоэффективность.

В частности, первый трансформатор имел следующие характеристики: $S_{ном} = 400 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $\Delta P_x = 0,29 \text{ кВт}$; $\Delta P_k = 5,8 \text{ кВт}$; $I_x = 0,3\%$; напряжение КЗ $U_k = 4,5\%$.

Если сравнивать ТМГ24-400/10 с трансформаторами такой же мощности других типов, то можно заметить, что он имеет значительное превосходство по показателям ХХ. Например, его значение ΔP_x примерно в три раза меньше, чем у трансформатора ТМГ11-400/10.

В странах Евросоюза уровень энергоэффективности масляных распределительных трансформаторов определяется стандартом HD428 «Трехфазные распределительные трансформаторы с рабочей частотой 50 Гц от 50 до 2500 кВ·А с масляным охлаждением и максимальным напряжением не выше 36 кВ». В таблице 1 приведены допустимые уровни потерь КЗ и ХХ в трансформаторах в соответствии с указанным стандартом [2].

Таблица 1-Допустимые уровни потерь по стандарту HD428

Номинальная мощность, кВ·А	Допустимые уровни потерь короткого замыкания, кВт			Допустимые уровни потерь холостого хода, кВт		
	$\Delta P_{ка}$	$\Delta P_{кб}$	$\Delta P_{кс}$	$\Delta P_{ха}$	$\Delta P_{хб}$	$\Delta P_{хс}$
250	3,25	4,20	2,75	0,65	0,53	0,42
400	4,60	6,00	3,85	0,93	0,75	0,61
630	6,50	8,40	5,40	1,30	1,03	0,86
1000	10,50	13,00	9,50	1,70	1,40	1,10
1600	17,00	20,00	14,00	2,60	2,20	1,70
2500	26,50	32,00	22,00	3,80	3,20	2,50

Как видно из таблицы 1, для масляных трансформаторов определенной номинальной мощности допускаются три уровня потерь ХХ ($\Delta P_{ха}$, $\Delta P_{хб}$, и $\Delta P_{хс}$) и три уровня потерь КЗ ($\Delta P_{ка}$, $\Delta P_{кб}$, и $\Delta P_{кс}$). При этом соблюдаются условия:

$$\Delta P_{ха} > \Delta P_{хб} > \Delta P_{хс}; \quad (1)$$

$$\Delta P_{кб} > \Delta P_{ка} > \Delta P_{кс}. \quad (2)$$

Значения допустимых потерь мощности определяются по специальной методике с учетом погрешности измерений. Теоретически существует девять возможных комбинаций ΔP_x и ΔP_k . Однако норматив HD428 допускает только пять комбинаций (рисунок 1), где комбинация $\Delta P_{та} = \Delta P_{ха} + \Delta P_{ка}$ (выделена утолщенной линией) принята за основу для сравнения.

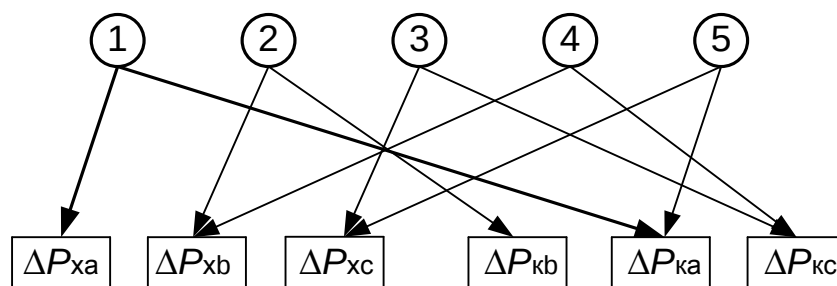


Рисунок 3. Допустимые комбинации уровня потерь.

В соответствии со схемой, показанной на рисунке 1, возможны следующие допустимые комбинации потерь ХХ и КЗ в силовых распределительных трансформаторах:

$$\Delta P_{та} = \Delta P_{ха} + \Delta P_{ка}; \quad (3)$$

$$\Delta P_{тб} = \Delta P_{хб} + \Delta P_{кб}; \quad (4)$$

$$\Delta P_{тс} = \Delta P_{хс} + \Delta P_{кс}; \quad (5)$$

$$\Delta P_{тbc} = \Delta P_{хб} + \Delta P_{кс}; \quad (6)$$

$$\Delta P_{тca} = \Delta P_{хс} + \Delta P_{ка}. \quad (7)$$

Используя данные таблицы 1, определим для рассмотренных комбинаций предельно допустимые численные значения ΔP_x и ΔP_k для трансформатора мощностью 400 кВ·А и приведем их в таблице 2.

Таблица 2- Допустимые уровни потерь для трансформатора мощностью 400 кВ·А.

Номер комбинации	Потери активной мощности, кВт		
	ΔP_x	ΔP_k	ΔP_T
1	0,93	4,6	5,53
2	0,75	6,0	6,75
3	0,61	3,85	4,46
4	0,75	3,85	4,6
5	0,61	4,6	5,21

Энергоэффективность распределительного трансформатора определяется следующими условиями:

$$\Delta P_{xi} \leq \Delta P_{xj} \quad (8)$$

$$\Delta P_{ki} \leq \Delta P_{kj}, \quad (9)$$

где ΔP_{xi} и ΔP_{ki} - соответственно фактические потери ХХ и КЗ i -го трансформатора, $i = 1, \dots, n$ (здесь n – количество рассматриваемых трансформаторов);

ΔP_{xj} и ΔP_{kj} - соответственно допустимые потери ХХ и КЗ j -й комбинации, $j = 1, \dots, 5$.

Сопоставим технические характеристики трансформатора типа ТМГ24-400/10 с данными таблицы 2 по условиям (8) и (9). Уровень потерь ХХ трансформатора (0,29 кВт) значительно меньше допустимого значения для любой комбинации, а по потере КЗ (5,8 кВт) трансформатор отвечает второй комбинации, для которой $\Delta P_{Tb} = 0,75 + 6 = 6,75$ кВт. Таким образом, трансформатор типа ТМГ24-400/10 по энергоэффективности соответствует стандарту HD428.

В 2012 году первой в России к выпуску силовых распределительных трансформаторов типа АТМГ с аморфными сердечниками АТМГ мощностью 250-1000 кВ·А приступила группа «Трансформер». В таблице 3 приведены сравнительные данные по потерям ХХ трансформаторов АТМГ «Трансформер».

Таблица 3-Потери холостого хода трансформаторов АТМГ «Трансформер»

Номинальная мощность, кВ·А	Потери ХХ в трансформаторе с обычной сталью, кВт	Потери ХХ в трансформаторе с аморфным сплавом, кВт	Снижение потерь ХХ, %
250	0,52	0,15	71%
630	1,0	0,28	77%
1000	1,7	0,35	80%
1600	2,1	0,49	77%
2500	2,7	0,55	80%

Проанализировав уровень потерь ХХ трансформаторов АТМГ «Трансформер», можно сделать вывод, что данные трансформаторы имеют потери холостого хода, соответствующие наиболее энергоэффективному уровню ΔP_{xc} (таблица 1).

Трансформаторы с магнитопроводами из АС имеют *высокую энергоэффективность, так как их* потери ХХ составляют примерно 1/3 от потерь холостого хода трансформаторов с сердечником из холоднокатаной электротехнической стали.

В то же время трансформаторы данной конструкции обладают и рядом недостатков.

Существенным недостатком магнитопроводов из АС является их более высокая стоимость по сравнению с сердечниками из традиционных материалов. Кроме того, аморфная сталь имеет толщину 25-30 мкм, большую твердость и хрупкость. Последний фактор усложняет сборку магнитопровода. В связи с этим аморфный материал наиболее пригоден для витой конструкции магнитопровода, то есть для трансформаторов, имеющих номинальную мощность до 1000 кВ·А.

Выводы

1. Применение трансформаторов с магнитопроводами из аморфных сплавов позволяет снизить потери мощности и электроэнергии в системах электроснабжения объектов разного назначения, а также связанные с электропотреблением технико-экономические показатели промышленного предприятия: плату за электропотребление, энергетическую составляющую себестоимости продукции, выброс CO₂ в атмосферу и т.д.

2. Серийное производство трансформаторов с магнитопроводами из аморфных сплавов в Республике Беларусь сдерживается высокой стоимостью аморфных материалов, которые приходится закупать в зарубежных странах. Освоение производства аморфных сплавов в нашей стране способствовало бы выпуску энергоэффективных трансформаторов на Минском электротехническом заводе.

Литература

1. Адольф, К.В., Метельский В. Масляные энергосберегающие трансформаторы /К.В. Адольф, В. Метельский // Международный электротехнический журнал ЭЛЕКТРИК – 2013. – № 138. – С. 14-17;

2. Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных распределительных трансформаторов (электронный ресурс). Ресурс доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2384.

УДК 621.32 (075.8)

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ ЛАМП

Марчук А.В.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Козловская В.Б.

Индукционная лампа (ИЛ)— безэлектродная газоразрядная лампа, в которой первичным источником света служит плазма, возникающая в результате ионизации газа высокочастотным магнитным полем. Для создания магнитного поля баллон с газом лампы размещают рядом с катушкой индуктивности. Отсутствие прямого контакта электродов с газовой плазмой позволяет назвать лампу безэлектродной. Отсутствие металлических электродов внутри баллона с газом значительно увеличивает срок службы и улучшает стабильность параметров.

Для сравнения эффективности применения традиционных газоразрядных ламп высокого давления типа ДРЛ и ИЛ произведем светотехнический расчет ремонтно-механического цеха длиной 66м, шириной 15,6 м, со строительной высотой 8,2 м. Нормируемая освещенность $E_n=400$ лк.

Произведя расчет в соответствии с [1], принимаем к установке лампы ДРЛ1000(6) ($\Phi_{\text{л}}=58000$ лм, $P_{\text{л}}=1000$ Вт) и выбираем для нее светильник РСП 10-1000 (КПД=70%, степень защиты IP20 соответствует нормальным условиям окружающей среды). По результатам расчетов для индукционной лампы принимаем к установке лампы YML-WJY300H850W58Z мощностью $P=300$ Вт, $\Phi_{\text{ном}}=25500$ лм.

Размещение светильников с ИЛ представлено на рисунке 1:

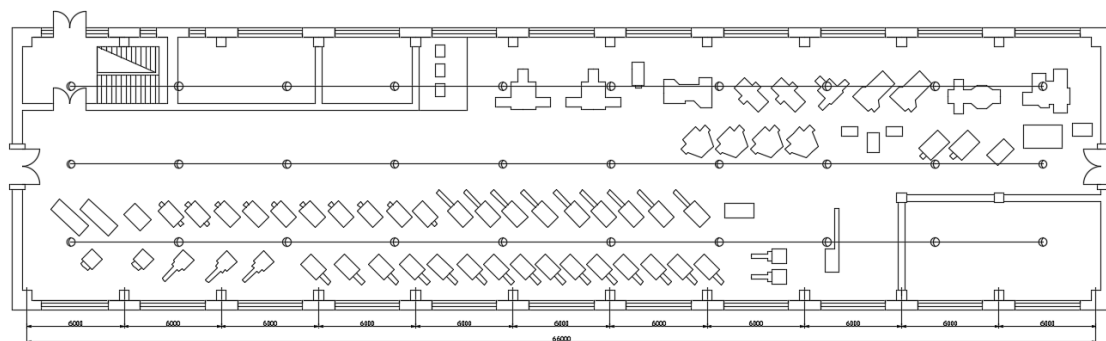


Рисунок 1. Размещение светильников с ИЛ на плане производственного помещения

Общая потребляемая мощность и годовой расход электроэнергии:

$$P_{\text{дрл}} = 1 \cdot 1,1 \cdot 14 \cdot 1 = 15,4 \text{ кВт}; \quad W_{\text{годрл}} = 15,4 \cdot 750 = 11550 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$P_{\text{ил}} = 1 \cdot 1,1 \cdot 30 \cdot 0,3 = 9,9 \text{ кВт}. \quad W_{\text{гоил}} = 9,9 \cdot 750 = 7425 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что применение индукционных ламп является более эффективным с точки зрения экономии электроэнергии. Также ИЛ имеют большой срок службы и высокие характеристики цветопередачи. Однако ИЛ имеют более высокую стоимость. Для сравнения стоимость лампы ДРЛ 400 Вт Е40 ТДМ составляет 13,02 руб., а стоимость ИЛ LVD 400 Вт- 500,00 руб. Кроме того, существует ограничение по мощности (максимальная мощность ИЛ $P_{\text{ном}} = 400$ Вт). [3][4]. Благодаря чрезвычайно большому сроку службы ИЛ представляют собой удобный источник света для освещения цехов с непрерывным режимом работы и в случаях, когда доступ к светильникам при обслуживании затруднен, например, при значительной высоте установки (потолка) и

загроможденности зон подхода, а также там, где замена ламп связана со значительными материальными затратами.

Литература

1. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение: учебник – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с.
2. http://elredy.by/indukcionnye_lampy/
3. <http://e-elf.ru/Индукционные%20лампы.html>
4. <https://nep.by/catalog/istochniki-sveta-tdm/gazorazryadnie-lampi/p-lampa-rtutnaya-visokogo-davleniya-drl-400-vt-e40-tdm/>
5. <https://liders.by/indukcionnye-lampy-i-svetilniki.html>

УДК 621.311.6.03

СПОСОБЫ ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Швед Г.А.

Научный руководитель - ст. преподаватель Колосова И.В.

Перенапряжение – это напряжение, величина которого превышает допустимое значение, вызванное появлением избытка энергии в электрической сети [1]. Перенапряжение с точки зрения пожарной опасности является одним из наиболее опасных аварийных режимов работы электрооборудования, вызывающих условия, в большинстве случаев достаточные для появления пожароопасных факторов (превышение допустимого значения напряжения приводит к нарушению нормальной работы или возможному возгоранию).

При ухудшении состояния инженерных систем, увеличения энергопотребления и некачественного обслуживания, основными причинами, вызывающими перенапряжения в электрических сетях, являются грозовые проявления (атмосферные перенапряжения), коммутационные переключения, неравномерность нагрузки фаз в электрических сетях промышленных предприятий в частности и т. д. Физическая картина внутренних перенапряжений обусловлена колебательными переходными процессами от начальных к установившимся распределениям напряжения по токоведущим участкам, вследствие различных ситуаций в электрических цепях.

Атмосферные перенапряжения считаются одним из наиболее опасных видов аварийных режимов работы электрической сети. Эти перенапряжения возникают в результате разряда молнии при атмосферных осадках путем концентрации электричества на поверхности объекта, заноса потенциала через инженерные токопроводящие сети и системы.

Внутренние перенапряжения бывают коммутационными, возникающими вследствие режимных или аварийных переключений высоковольтного оборудования; резонансными - когда электрическая цепь содержит избыточное количество элементов реактивной мощности (срабатывает принцип емкостно-индуктивного колебательного контура).

К существующим группам перенапряжений можно также отнести третью группу, объединяющую *перенапряжения по причинам аварий*, некачественного технического обслуживания и монтажа: обрыва нулевого провода, однофазных коротких замыканий, нарушения правил эксплуатации электроустановок. Перенапряжения третьей группы чаще всего возникают на стадии эксплуатации электрических сетей, где возможны плановые, режимные или аварийные ситуации. Поэтому диапазоны величин перенапряжений определяются границами от нескольких сотен вольт до десятков и сотен киловольт. Последствия воздействия этих негативных факторов на электронное оборудование и электропроводку могут быть фатальными, поэтому электрические сети различного назначения требуют комплексной защиты от перенапряжений с использованием различных типов устройств. При выборе и установке ограничителей перенапряжения и разрядников, уравнивающих потенциалы, необходимо принимать во внимание схемы сети электроснабжения, которые различаются заземлением источников питания и электрических устройств. Обычно применяют следующие типовые схемы: TN-C, TN-C-S, TN-S, TT, IT [3].

Для защиты от перенапряжения применяют множество устройств, среди которых следует выделить [2]:

1. Устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), которые ограничивают импульсы перенапряжения и отводят импульсы тока в землю. Уровень напряжения защиты U является важнейшим параметром, характеризующим УЗИП. Он определяет значение остаточного напряжения, появляющегося на выводах УЗИП вследствие прохождения разрядного тока. Для УЗИП 1-го класса U не должен превышать 4 кВ, для устройств 2-го класса - 2,5 кВ, для 3-го класса УЗИП устанавливается U не более 1,5 кВ это тот уровень

микросекундных импульсных перенапряжений, который должна выдерживать микропроцессорная техника.

УЗИП однократно может пропустить, сохранив при этом работоспособность, максимальный разрядный ток - величина импульса тока. Номинальный разрядный ток - величина импульса тока, которую УЗИП может выдержать многократно при условии его остывания до температуры окружающей среды в промежутке между импульсами.

Максимальное длительное рабочее напряжение U_c - действующее значение напряжения переменного или постоянного тока, которое длительно подается на выводы УЗИП. Оно равно номинальному напряжению с учетом возможного завышения напряжения при различных нештатных режимах работы электрических сетей промышленных предприятий.

Значение номинального тока нагрузки или постоянного тока, протекающего к нагрузке, защищаемой УЗИП важен для устройств защиты от импульсных перенапряжений, подключаемых в электрическую сеть последовательно с защищаемым оборудованием. Так как большинство УЗИП подключаются параллельно цепи, то данный параметр у них не указывается.

Для надежной защиты электрической сети от перенапряжений рекомендуется создание многоуровневой (по крайней мере, трехступенчатой) системы защиты из УЗИП разных классов.

УЗИП класса *B* (тип 1) рассчитано на номинальный разрядный ток 30-60 кА, для защиты при прямом попадании молнии, устанавливается на вводе в здание в главном распределительном щите.

УЗИП класса *C* (тип 2) - на ток 20-40 кА, используется при удаленном ударе молнии или при переключениях в системах электроснабжения, размещаются на вводе электроустановок.

УЗИП класса *D* (тип 3) на ток 5-20 кА, устанавливаются непосредственно возле потребителя.

При создании многоступенчатой системы защиты от перенапряжений следует обеспечить соответствие мощности каждой ступени, т.е. максимальный ток, протекающий через них, не должен превышать их номинальных характеристик. Но в первую очередь необходимо создать эффективную систему заземления.

2. Варисторы - это полупроводниковые резисторы, в работе которых используется эффект уменьшения сопротивления полупроводникового материала при увеличении приложенного напряжения, за счет чего они являются наиболее эффективным и дешевым средством защиты от импульсных напряжений любого вида. Варистор включается параллельно защищаемому оборудованию и при нормальной эксплуатации находится под действием рабочего напряжения защищаемого устройства. В рабочем режиме ток через варистор очень мал, и он в этих условиях представляет собой изолятор. При возникновении импульса напряжения сопротивление варистора резко уменьшается до долей Ома. В этом случае через него кратковременно может протекать ток, достигающий нескольких тысяч ампер. После гашения импульса напряжения он вновь приобретает очень большое сопротивление.

Выбор УЗИП производится в соответствии с принятой системой защиты. При этом обязательно учитываются технические характеристики устройств, которые должны быть приведены в каталоге и нанесены на лицевой части корпуса прибора.

УЗ-6/230, УЭ-18/400 предназначены для защиты электрической сети от кратковременных (до 12 кВ) и длительных перенапряжений, вызванных коммутационными, индуктивными и грозовыми процессами. Устройства, относящиеся к УЗИП 2-го и 3-го классов выполнены на варисторах. Для надежной защиты от длительных перенапряжений, вызванных авариями в электрических сетях, прибор нужно подключать после устройства защитного отключения (УЗО) и заземлять. Только при таком подключении создается ток утечки и обеспечивается срабатывание УЗО.

При установке УЗИП необходимо, чтобы расстояние между соседними ступенями защиты было не менее 10 м по кабелю электропитания. Выполнение этого требования очень важно для правильной последовательности срабатывания защитных устройств. Первая ступень защиты класса *B* монтируется за пределами здания во входном распределительном щите.

3. Разрядник - электрический аппарат, предназначенный для ограничения перенапряжений в электротехнических установках и электрических сетях. Разрядники выпускаются следующих типов: трубчатые, вентильные, магнито-вентильные, разрядники длинно-искровые.

4. Устройство защитного отключения - обеспечивает отключение электроэнергии сети, в случае пробоя утечки тока (если человек взялся за оголенные провода 10-30 мА или если произошло обгорание изоляции - 300мА). Данное устройство рекомендовано для установки при проектировании и реконструкции электрических сетей. Существуют два вида УЗО:

- электромеханические, гарантирует спасение жизни человека при любом напряжении, должны иметь внешний источник питания. Они мало применяются из-за дороговизны;

- электронные, самый распространенный тип, зависящий от напряжения электрической сети, но они не гарантируют спасение жизни человека при пониженном напряжении сети.

5. Датчик превышения напряжения - устройство, созданное специально для защиты от перенапряжений, сконструировано для совместной работы с любыми типами УЗО (на токи утечки 10-300 мА), как для однофазных, так и для трехфазных электрических сетей.

Для защиты от перенапряжений также используются: источники бесперебойного питания, фильтры помех, экранирование электрической проводки, стабилизаторы, стабилизаторы, устройства для защиты от импульсных перенапряжений и т.п. [4].

Обеспечение защиты от перенапряжений является актуальной проблемой, решение которой сказывается на надёжности и безопасности электроснабжения.

Литература

1. ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»

2. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения / Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. – 382 с.

3. Александров Д. С. Надёжность и качество электроснабжения предприятий: учебное пособие / Д. С. Александров, Е. Ф. Щербаков – Ульяновск: УлГТУ, 2010 – 155 с.

4. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова, М.Г. Зименкова, А.Г. Смирнова – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

УДК 621.311

СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ ЭКРАНОВ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Угаров М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

Проектирование электрических сетей напряжением 6-500 кВ с применением кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) сопряжено с рядом трудностей, когда трехфазные линии электропередачи формируются однофазными кабелями. Главная проблема – отсутствие четких методик и нормативных документов по выбору сечения экранов, способа соединения и заземления экранов. Также эти трудности вызваны отсутствием необходимого оборудования для реализации определенных систем соединения экранов, а именно – концевых коробок с ограничителями перенапряжения (ОПН) и коробок транспозиции с ОПН отечественного производства. Тем не менее, некоторый опыт разработки и эксплуатации кабельных сетей, выполненных кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена, а особенно результаты исследований [1, 2], позволяют сформулировать рекомендации, которые могут сделать проектирование таких сетей более простым и определенным.

Основное предназначение экрана – выравнивание электрического поля, воздействующего на изоляцию жилы. Экраны выполняются из меди, жилы – из меди или алюминия. Конструкция одножильного кабеля с изоляцией из СПЭ в упрощенном виде представлена на рис. 1. В экране, заземленном с обоих концов (рис.2), протекают три вида токов: токи смещения, вихревые токи (токи Фуко) – величиной в несколько ампер, и токи, текущие вдоль экрана, вызванные взаимной индуктивностью жилы и экрана – величиной десятки или сотни ампер в нормальном режиме.

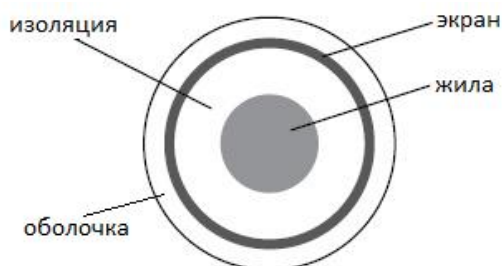


Рисунок 1. Конструкция однофазного кабеля

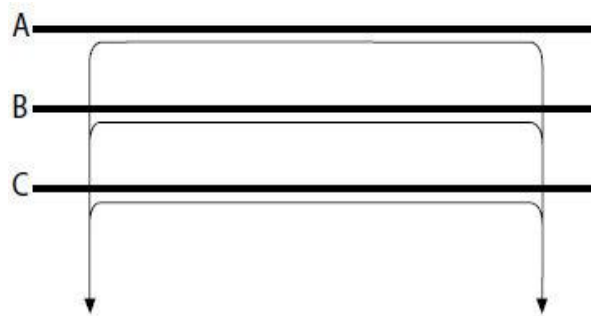


Рисунок 2. Заземление экранов с двух концов

При прокладке одножильные кабели могут располагаться в плоскости (рис. 3) или треугольником (рис.4). В расчетах используется среднее геометрическое расстояние между центрами токоведущих жил s , для каждого типа способа прокладки определяемое по своей формуле [3]. Следует отметить, что от значения s зависит отношение потерь мощности в экране к потерям в жиле, что будет показано далее.

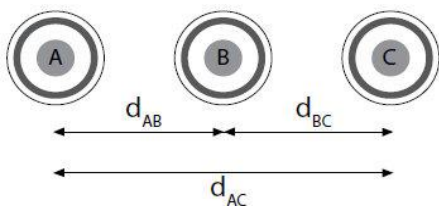


Рисунок 3. Расположение кабелей в ряд

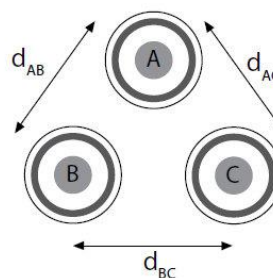


Рисунок 4. Расположение кабелей треугольником

Для способа, показанного на рис. 3:

$$s = \sqrt[3]{2} \cdot d_{AB} \quad (1)$$

Для способа, показанного на рис. 4:

$$s = d_{AB} = d_{BC} = d_{AC} \quad (2)$$

В [2] показано, что отношение потерь мощности в экране $P_э$ к потерям в жиле $P_ж$ для случая заземления экрана по концам кабеля (рис.2) независимо от его длины равно

$$\frac{P_э}{P_ж} = \frac{R_э / R_ж}{(1 + \frac{R_э^2}{X^2})} \quad (3)$$

где $R_э$ - активное сопротивление экрана, Ом;

$R_ж$ - активное сопротивление жилы, Ом;

X - взаимное индуктивное сопротивление между жилой и экраном, Ом, определяемое по формуле:

$$X \approx \omega L_K \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{2s}{d_э}\right) \quad (4)$$

где ω - круговая частота переменного напряжения, c^{-1} ;

L_K - взаимная индуктивность между жилой и экраном, Гн

s - среднее расстояние между осями соседних фаз кабеля, м;

μ_0 - магнитная проницаемость вакуума, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

$d_э$ - средний диаметр экрана кабеля, м.

Диаметр экрана $d_э$ можно выразить так: $d_э = d - 2\Delta_{об}$,

где d - внешний диаметр кабеля по каталогу, м;

$\Delta_{об}$ - толщина оболочки экрана, для кабелей 6-220 кВ составляет около (0,005-0,006) м.

В идеальном случае отношение (3) должно стремиться к нулю, что по понятным причинам невозможно. Это отношение позволяет оценить вклад паразитных потерь экранов в нагрев кабеля и является важным критерием при проектировании кабельных линий электропередачи. При расчете данного критерия следует учитывать, что экран кабеля выполняется из меди, а жила - из меди или алюминия. Кроме того, видно, что это отношение будет минимальным при наименьшем возможном X , то есть при наименьшем возможном отношении $s/d_э$ при прокладке кабелей сомкнутым треугольником. Следует учитывать, что ввиду электродинамических усилий нужно прочно скреплять кабели, проложенные сомкнутым треугольником, немагнитными хомутами, лентами, стяжками и скобами с шагом 1-1,5 м.

Согласно [2] следует, что удовлетворительное отношение $P_э / P_ж = 0,1...0,2$ возможно для кабелей с жилами сечением до 400 мм² и сечением экрана до 50 мм², проложенных сомкнутым треугольником. В других случаях приходится значительно снижать токи в экранах, что возможно при разземлении экранов на одном из концов (рис. 5) и транспозиции экранов (рис. 6).

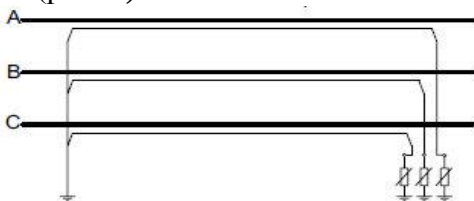


Рисунок 5. Разземление экранов

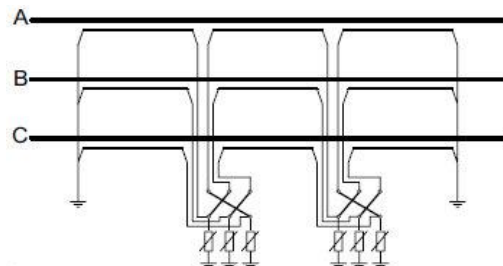


Рисунок 6. Транспозиция экранов

Ранее применению таких схем соединения экранов препятствовало отсутствие коробок (ящиков) разземления экранов (концевых коробок) и коробок (ящиков) транспозиции экранов соответственно. Эти электромонтажные коробки можно было приобрести лишь с кабельной продукцией зарубежных изготовителей. В последнее время такое оборудование стало выпускаться и в России.



Рисунок 7. Коробка транспозиции экранов



Рисунок 8. Коробка концевая с ОПН

Для обеспечения термической стойкости экранов к токам короткого замыкания (КЗ) необходимо повышать сечение, а, следовательно, уменьшать сопротивление экрана, что приведет к большей величине токов и потерь в экранах. Поэтому в сетях с глухо- и эффективно-заземленной нейтралью напряжением выше 110 кВ применять заземление с двух концов неэффективно, а рациональным решением будет разземление экранов для высоковольтных кабелей небольшой длины и их транспозиция для высоковольтных кабелей значительной длины [1].

Обычно в сетях рассматриваются короткие замыкания вида К(1) – однофазное, К(1,1) – двойное на землю, К(2) – двухфазное, К(3) – трехфазное. Однофазное КЗ вида К(1) является расчетным для сетей напряжение 110 кВ и выше, в сетях до 35 кВ расчетное – К(1,1). Выбор сечений экранов по этим видам КЗ приводит к тому, что для сетей с изолированной нейтралью принимают экраны сечением не менее 70 мм², а для сетей с заземленной нейтралью – экраны сечением не менее 185 мм². Ясно, что по условию (3) такие сечения не могут быть применены при заземлении экранов с двух сторон. В электрических сетях напряжением 6-35 кВ использование транспозиции или разземления не всегда экономически целесообразно. Применение экранов до 50 мм² становится возможным при уменьшении величины токов КЗ путем заземления нейтрали такой сети для определения и отключения однофазных повреждений (что не позволит им развиваться в многофазные) или путем уменьшения величины тока КЗ вида К(1,1).

В Беларуси ведется работа по созданию нормативной документации по проектированию сетей с кабелями с изоляцией из СПЭ. При проектировании кабельных сетей некоторые проектировщики пользуются компьютерной программой «ЭКРАН» российской разработки [1].

Выводы

1. В электрических сетях напряжением 6-500 кВ одножильные кабели рекомендуется прокладывать только сомкнутым треугольником, скрепляя их немагнитными хомутами, лентами, стяжками и скобами с шагом 1-1,5 м, а на изгибах трассы – с шагом не более 1 м.

2. В сетях напряжением 6-35 кВ сечение экрана необходимо выбирать в соответствии с рекомендациями изготовителей. Расчет сечения экрана с учетом их заземления с двух концов (рис.1) производить по току двойного замыкания на землю, так как наибольшие токи двойного замыкания на землю возникают, когда оба повреждения в сети находятся вблизи друг от друга и вблизи от центра питания (сборных шин). В такой ситуации величины токов двойного замыкания на землю сопоставимы с токами трехфазного КЗ. Именно поэтому в сетях 6-35 кВ иногда при выборе сечения экрана оперируют токами трехфазного короткого замыкания, хотя на самом деле повреждение трех фаз кабеля маловероятно. При

экономической нецелесообразности применения транспозиции экранов в сетях 6-35 кВ рекомендуется принимать сечение экранов до 50 мм² и сечение жил до 400 мм² при обязательном условии ограничения токов двойного замыкания на землю вида К(1,1) до допустимых по термической стойкости (т.е. 10,1 кА);

3. В сетях напряжением 110-500 кВ выбор сечения экрана по термической стойкости следует производить по току однофазного КЗ вида К(1); Для кабельных линий небольшой длины целесообразно применять заземление экранов с одной стороны по условию допустимого напряжения на незаземленном конце кабеля (рис.5). При значительной длине кабельной линии рекомендуется заземлять экраны с двух концов с обязательной транспозицией экранов (рис.6).

Литература

1. Дмитриев, М.В. Выбор сечения экранов однофазных силовых кабелей / М.В. Дмитриев // КАБЕЛЬ-news. – 2009. - №5. – с. 68-73.
2. Дмитриев, М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ / М.В. Дмитриев. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 154 с.
3. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Кабели электрические. Вычисление номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения – М.: Стандартиформ. – 24 с.