

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

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

ИНДУКЦИОННЫЕ ЛАМПЫ

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

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

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

ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Заранко В.И., Капустинский А.Ю.
Научный руководитель – ассистент Гаврилович О.Н.

СЛАБЫЕ ЗВЕНЬЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Кузьма А. Ю.
Научный руководитель – старший преподаватель Сацукевич В. Н.

КОНСТРУКЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.

Микитич Е.Н.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА С МАГНИТОПРОВОДОМ, ВЫПОЛНЕННЫМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Миренков А.С.
Научный руководитель - старший преподаватель Прокопенко Л.В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГЕНЕРАТОРОВ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Капустинский А.Ю.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

КРИТЕРИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

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

РАЗРАБОТКА ОДНОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОСНАСТКИ

Студент Богданович Л.А.
Научный руководитель - к.т.н., доцент, Козловская В.Б.

ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Гороховик И. В
Научный руководитель –д.т.н., доцент Анищенко В.А.

УСТАНОВКИ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ, РАБОТАЮЩИХ НА БИОГАЗЕ

ЖУРАВЛЁВ Е.Д.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К. Т. Н., ДОЦЕНТ ОЛЕШКЕВИЧ М.М..

АРХИТЕКТУРНО – ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

АХУНДОВА Ю.Д.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - К.Т.Н., ДОЦЕНТ КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

БЕЛЯЦКИЙ Р. А.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ КОНСТАНТИНОВА С.В.

ПРИМЕНЕНИЕ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

УГАРОВ М.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ РАДКЕВИЧ В.Н.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ В НАРУЖНОМ ОСВЕЩЕНИИ

КОНДРАТЬЕВ Е. В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТ. ПРЕПОДАВАТЕЛЬ КАЛЕЧИЦ В. Н.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

ШВЕД Г.А.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ КОЛОСОВА И.В.

SMART GRID – УМНЫЕ СЕТИ: НОВАЯ ИДЕЯ ИЛИ ЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»

ЗЛОТНИКОВА Е.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНОГО УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

ПАВЛОВИЧ Е.В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТ. ПРЕПОДАВАТЕЛЬ КАЛЕЧИЦ В. Н.

УДК 621.313

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Мильто А.В.

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

Сегодня во всем мире наблюдается тенденция удорожания энергоресурсов, поэтому все более актуальными становятся вопросы сбережения электроэнергии и, как следствие, рационального выбора силовых распределительных трансформаторов. При таком подходе, как правило, необходимо принимать во внимание не только основные критерии выбора силовых распределительных трансформаторов, но также, такие как КПД (и его зависимость от загрузки трансформатора), потери в магнитной системе и в обмотках трансформатора. При необходимости транспортировки и сложных условиях монтажа целесообразно учитывать габариты и массу трансформатора. Учитывая достаточно большой ассортимент типоразмеров трансформаторов на рынке электротехнической продукции, выбор наиболее рационального варианта может быть затруднен и требовать детального анализа предлагаемых трансформаторов, обладающих сходными технико-экономическими показателями.

В данной работе рассматриваются технические характеристики силовых распределительных трансформаторов серий ТНЗ, ТНЭЗ, ТМ, ТМЗ, ТМГ, ТМГ11, ТМГ12, ТМГ21 и ТМГ15. Для этого были построены: 1) графики зависимости КПД трансформаторов от коэффициента загрузки; 2) диаграммы масс и диаграммы потерь рассматриваемых трансформаторов.

Исследования выполнены для номинальных мощностей 400, 630, 1000, 1250, 1600 и 2500 кВ·А. В данной работе представлены результаты для наиболее распространенных в системах электроснабжения промышленных предприятий трансформаторов мощностью 1000кВ·А и 1600кВ·А. Коэффициент мощности принят равным $\cos\varphi=0,9$.

Коэффициента полезного действия трансформатора в процентах определяется по формуле [1]

$$\eta = \left(1 - \frac{\Delta P_x + \beta_T^2 \Delta P_k}{\beta_T \cdot S_{ном} \cos \varphi_2 + \Delta P_x + \beta_T^2 \Delta P_k}\right) 100, \quad (1)$$

где ΔP_k - потери в обмотках трансформатора, кВт;

ΔP_x - потери в магнитопроводе трансформатора, кВт;

β_T - коэффициент загрузки трансформатора;

$S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$\cos \varphi_2$ - коэффициент мощности нагрузки трансформатора на стороне вторичного напряжения.

На рисунке 1 представлены зависимости КПД от коэффициента загрузки для трансформаторов мощностью 1000 кВ·А разных серий. Из представленной зависимости следует, что самый высокий КПД имеет трансформатор новой серии ТМГ15 при оптимальном коэффициенте загрузки, далее следует ТМГ12. Однако с ростом коэффициента загрузки КПД трансформаторов серий ТМГ15 и ТМГ12 снижаются в большей степени, в отличие от ТНЭЗ с обмотками из меди, который при несколько меньшем максимальном КПД имеет менее крутой график зависимости. Низкие КПД имеют трансформаторы ТНЭЗ (с обмотками из алюминия) и ТМЗ.

Рисунок 2 отражает зависимость КПД трансформатора мощностью 1600 кВ·А. Очевидно, что ТНЭЗ-1600/10 с обмотками из меди имеет наибольший КПД и меньшую зависимость его от коэффициента загрузки при $\beta_{тр} \geq 0,4$. При $\beta_{тр} < 0,4$ трансформаторы ТМ-1600, ТМГ21-1600/10 и ТМГ11-1600/10 имеют более высокий КПД. Однако, как

правило, трансформаторы работают при $\beta_{тр} = 0,5 - 0,7$. Худшие показатели при данной мощности имеют трансформаторы типа ТНЗ-1600/10 и ТНЭЗ-1600/10А с алюминиевыми обмотками.

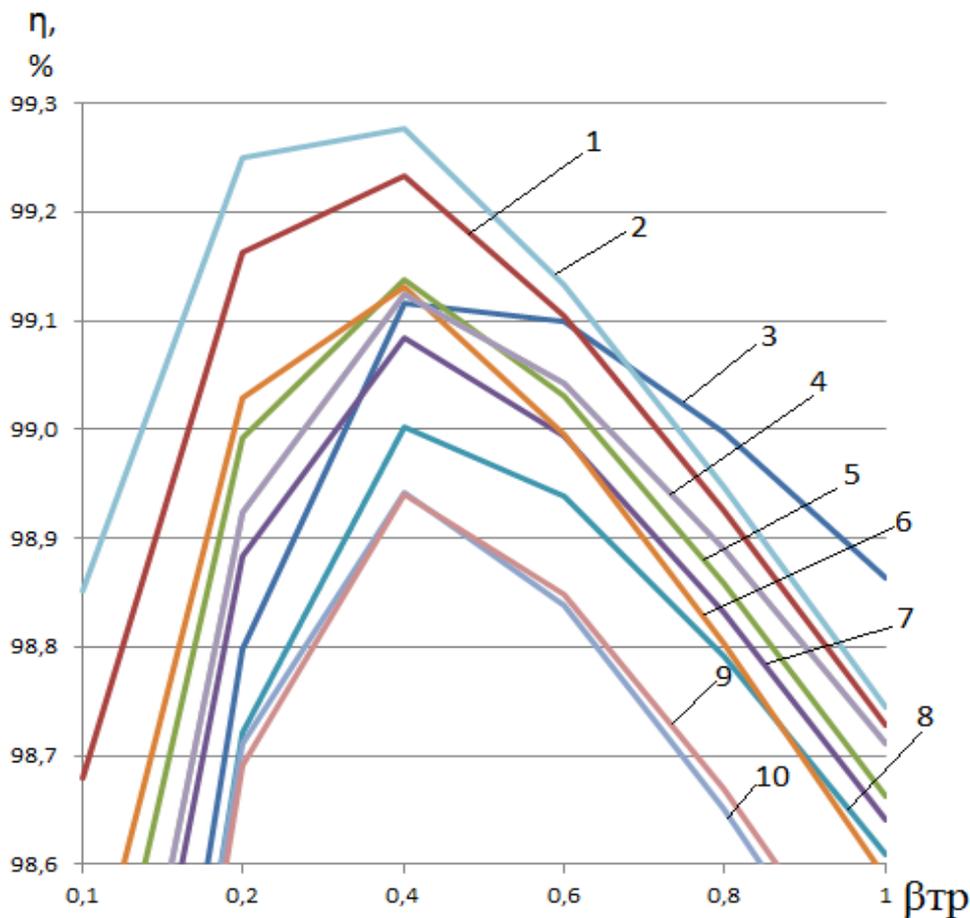


Рисунок 1 - Зависимости КПД трансформаторов мощности S=1000 кВ·А от коэффициента загрузки: 1-ТМГ15; 2- ТМГ12; 3-ТНЭЗ с обмотками их меди; 4-ТМ; 5-ТМГ11; 6-ТМГ; 7-ТМГ21; 8-ТНЗ; 9-ТМЗ; 10-ТНЭЗ с обмотками из алюминия

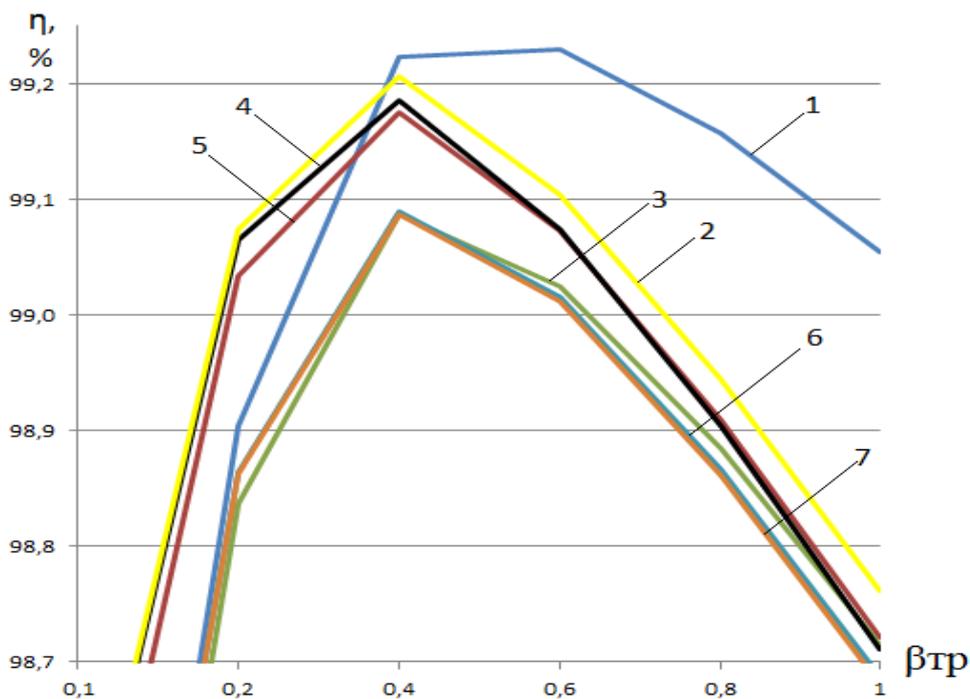


Рисунок 2 - Зависимости КПД трансформаторов мощности S=1600 кВ·А от коэффициента загрузки: 1- ТНЭЗ с обмотками их меди; 2- ТМ; 3- ТНЭЗ с обмотками из алюминия; 4-ТМГ21; 5-ТМГ11; 6-ТНЗ; 7-ТМЗ.

Из рисунка 3 следует, что при номинальной мощности 1000 кВ·А наибольшие потери имеет трансформатор типа ТНЭЗ-1000/10А с обмотками из алюминия, а наименьшие ТНЭЗ-1000/10 с медными обмотками. Разница потерь между ТНЭЗ-1000/10А и ТНЭЗ-1000/10 составляет 4кВт. Трансформатор ТМГ15-1000/10 на втором месте по наименьшим потерям, а ТМГ12-1000/10 на третьем. Отметим, что трансформатор ТМГ15-1000/10 по сравнению с ТМГ12-1000/10 имеет примерно на 10% более низкие потери холостого хода.

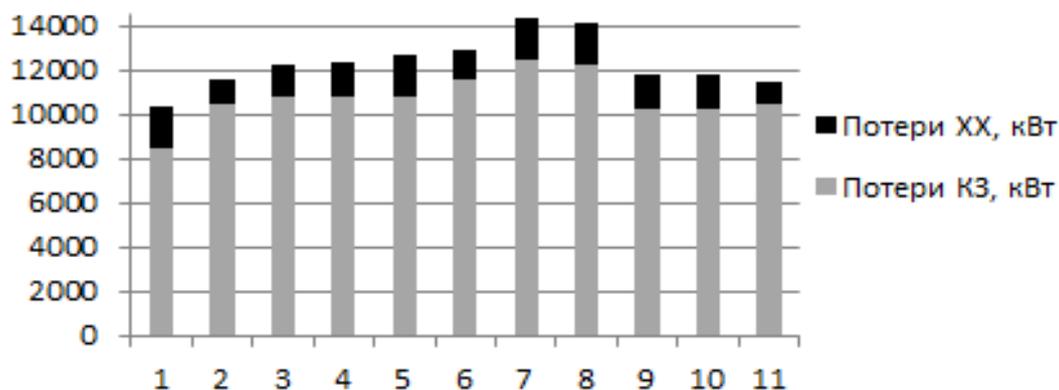


Рисунок 3 - Потери трансформаторов мощности S=1000 кВ·А:

1-ТНЭЗ с обмотками их меди; 2- ТМГ12; 3ТМГ11; 4-ТМГ; 5-ТНЗ; 6-ТМГ21; 7- ТНЭЗ с обмотками из алюминия; 8-ТМЗ; 9-ТМГ; 10-ТМ; 11-ТМГ15.

Из рисунка 4 видно, что у основной части трансформаторов с номинальной мощностью 1600 кВ·А потери примерно одинаковы. Выделяются лишь ТНЭЗ-1600/10, у которого потери меньше на 5кВт, и ТМ-1600/10, у которого потери примерно на 1кВт меньше относительно других рассматриваемых трансформаторов.

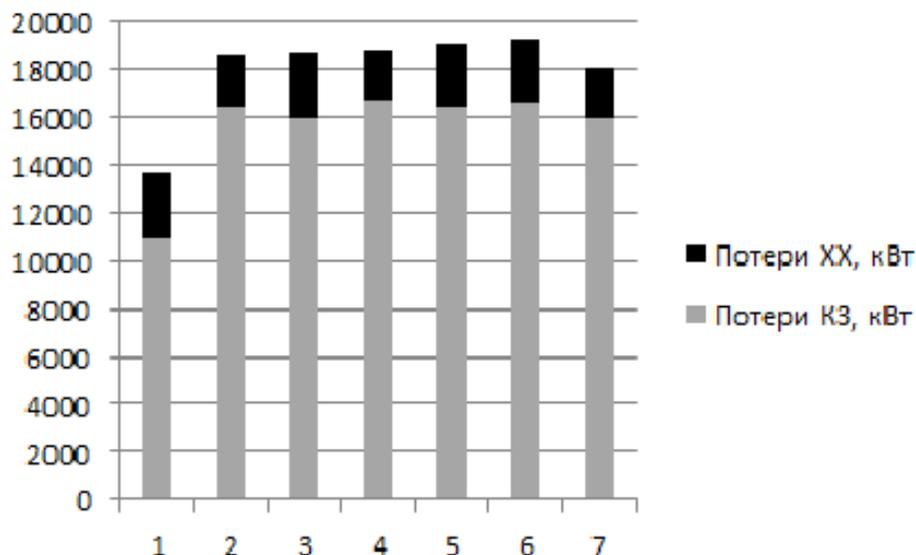


Рисунок 4 - Потери трансформаторов мощности S=1600 кВ·А:

1-ТНЭЗ с обмотками их меди; 2- ТМГ11; 3- ТНЭЗ с обмотками из алюминия; 4-ТМГ21; 5-ТНЗ; 6-ТМЗ; 7-ТМ.

По показателям массы трансформаторов при мощности 1000 кВ·А наиболее легкий – ТМГ21-1000/10, имеющий массу 2550кг. Трансформаторы серий ТМГ15-1000/10 и ТМГ12-1000/10, имеют равные массы (2820 кг), а ТНЭЗ-1000/10 с медными обмотками с массой 3850кг, является наиболее тяжелым. По сравнению с трансформатором типа ТНЭЗ-1000/10А с обмотками из алюминия, имеющим массу 3330кг, он тяжелее на 520кг.

Для трансформаторов с номинальной мощностью 1600 кВ·А по показателю массы

наблюдается та же тенденция, что и в предыдущем случае: наиболее легкий трансформатор – ТМГ21-1600/10 (4250кг), а ТНЭЗ-1600/10 с медными обмотками - самый тяжелый (5675кг). Массовая разница с ТНЭЗ с обмотками из алюминия (4820кг) увеличилась до 745кг.

Выводы

1. На основе полученных графиков можно сделать вывод, что исполнение обмоток трансформатора из меди позволяет уменьшить потери в обмотках почти на треть и получить меньшую зависимость КПД от коэффициента загрузки. Однако нужно учитывать, что медь примерно в три раза дороже и в два раза тяжелее алюминия.

2. Сравнение трансформаторов типа ТМГ15-1000/10 и ТНЭЗ-1000/10 показывает, что даже при применении для обмоток алюминия можно получить высокие значения КПД и относительно небольшие потери мощности.

Литература

1. Копылов, И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.

УДК 621.32

ИНДУКЦИОННЫЕ ЛАМПЫ

Марчук А.В.

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

Индукционная лампа — 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. [4]

Включение и свечение лампы происходит после подачи питающего напряжения на балласт. Электромагнитное поле разогревает амальгаму, испаряя из нее атомы ртути, и разгоняет свободные электроны, которые сталкиваются с атомами ртути и возбуждают их, передавая им свою энергию. Возбужденные атомы ртути, возвращаясь в свое спокойное состояние, выделяют энергию - квант ультрафиолетового света и снова возбуждаются ударяющими их электронами. Невидимый ультрафиолетовый свет, проходя через люминофор, преобразуется в видимое свечение. Реакция в колбе нарастает лавинообразно, мгновенно зажигая лампу и поддерживая в ней горение до отключения питающего напряжения. [2]

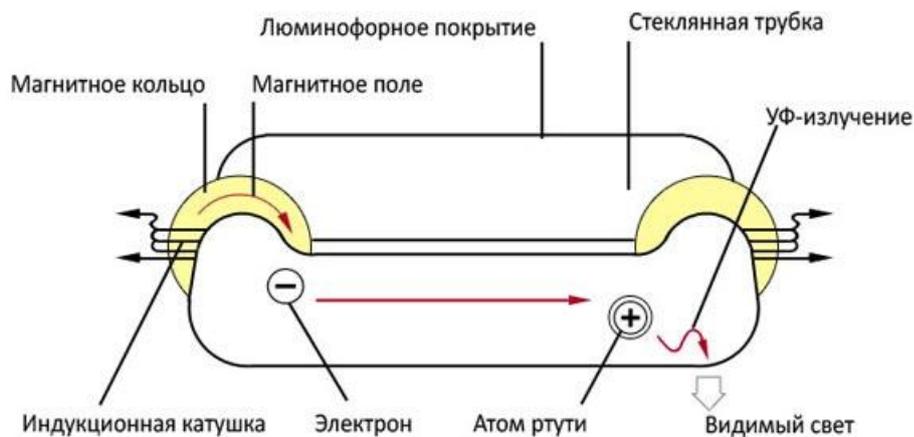


Рисунок 1. Схема работы индукционной лампы

Индукционная лампа состоит из трёх основных частей:

- газоразрядной трубки, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором,
- магнитного кольца или стержня (феррита) с индукционной катушкой,
- электронного балласта (генератора высокочастотного тока).

Электронный балласт вырабатывает высокочастотный ток, протекающий по индукционной катушке на магнитном кольце или стержне. Балласт питается переменным сетевым напряжением 120 В или 220 В (или постоянным 12 В или 24 В) и выпрямляет его. Затем микросхема управления балластом преобразовывает постоянный ток в переменный ток высокой частоты, 225 кГц. За счет регулирования работы лампы балластом, и использования управляющего микропроцессора, КПД балласта достигает 98%. Только 2% энергии тратится на его нагрев, против 10...15% в лампах с обычными балластами, применяемыми в большинстве систем освещения в настоящее время.

Электромагнит и индукционная катушка создают газовый разряд в высокочастотном электромагнитном поле, и под воздействием ультрафиолетового излучения разряда происходит свечение люминофора. Конструктивно и по принципу работы лампа напоминает

трансформатор, где имеется первичная обмотка с высокочастотным током и вторичная обмотка, которая представляет собой газовый разряд, происходящий в стеклянной трубке. Основным преимуществом и отличием индукционных ламп от газоразрядных является отсутствие термокатодов и нитей накала, что намного увеличивает срок службы ламп. Главной причиной выхода из строя контактных ламп (ДРЛ, ДНАТ, ЛОН) является постепенное разрушение нити накала из-за вибрации, когда лампа включена и нить накала раскалена. Поэтому безэлектродная конструкция исключает эту причину выхода из строя ламп. [3]

Основные характеристики

Срок службы: 60 000 – 150 000 часов (благодаря безэлектродному исполнению срок службы значительно выше, чем у традиционных источников света). [3]

Срок службы данной лампы не зависит от количества включений/выключений, от температуры окружающей среды:

лампа надежно работает в диапазоне температур от -40 до + 50 градусов Цельсия. Благодаря отсутствию нагревающих элементов (спиралей) невосприимчива к вибрациям и встряскам. [5]

Световая отдача:

- номинальная светоотдача: > 80 лм/Вт;

- эффективная светоотдача (видимая): 120 – 180 Флм/Вт (Данный параметр часто используется специалистами для качественной оценки источника света и способности восприятия света и оттенков цветов человеческим глазом. Например, натриевая лампа высокого давления имеет номинальную светоотдачу 70-110 лм/Вт, но реально воспринимается как источник света со светоотдачей 40-70 Флм/Вт); Флм/Вт показывает фотооптическую эффективность, в то время как лм/Вт характеризует эффективность и экономичность источников света.

Цветовые характеристики:

- высокий уровень светового потока после длительного использования (после 60 000 часов уровень светового потока составляет свыше 70% от первоначального);

- высокий индекс цветопередачи (CRI): $R_a > 80$ (комфортное освещение, мягкий и естественный излучаемый свет, что благоприятно сказывается на восприятии оттенков цветов, в отличие от натриевых ламп ($R_a > 30$), которым присущ желто-оранжевый оттенок света и неестественная цветопередача);

- диапазон цветовых температур: 2700К – 6500К;

Напряжение питания: 120/220/277/347В AC, 12/24В DC;

Номинальные мощности: 12 – 500 Вт. [3]

Индукционные лампы применяются для наружного и внутреннего освещения, особенно в местах, где требуется хорошее освещение с высокой светоотдачей и цветопередачей, длительным сроком службы: улицы, магистрали, туннели, промышленные и складские помещения, производственные цеха и др. Светотехническое оборудование на индукционных лампах позволяет обеспечить комфортное освещение помещений и территорий благодаря приближенному к солнечному спектру и отсутствию мерцаний, имея при этом высокую энергетическую эффективность.[3] Благодаря чрезвычайно большому сроку службы ИЛЛ представляют собой идеальный источник света для освещения цехов с непрерывным режимом работы и в случаях, когда доступ к светильникам при обслуживании затруднен, например, при значительной высоте установки (потолки) и загроможденности зон подхода, а также там, где замена ламп связана со значительными материальными затратами. [6]

Индукционные лампы имеют лучшие характеристики, чем традиционные источники света, такие, как ртутные, натриевые и металлогалогенные.

Таблица 1 Сравнительные характеристики индукционных, ртутных, натриевых и металлогалогенных ламп

Параметр \ Лампа	Индукционная	Металлогалогенная	Натриевая	Ртутная
Светоотдача*, лм/Вт	>80; видимая 150 Plm/W	>40; видимая 70 Plm/W	>40...100; видимая 30...80 Plm/W	>30...50; видимая 25...40 Plm/W
Срок службы*, ч	60 000-120 000	3 000-12 000	3 000-20 000	3 000-6 000
Гарантия*, лет	5	1	1	1
Снижение уровня светового потока (%) после 2000 ч	<4	<40	<30	<45
Температура лампы, °С	<85	>250	>250	>250
Индекс цветопередачи, Ra	>80	>60	>30	>25
Повторный запуск через, минут	немедленно	5-15	5-15	5-15
Мерцания	отсутствуют	есть	есть	есть

Исходя из рассмотренных выше характеристик ИЛ, несмотря на техническое преимущество, возникает вопрос о экономической целесообразности замены катодных ламп индукционными. Индукционные лампы дороже и их замена потребует определенных единовременных капиталовложений.

Уличное освещение:

Параметры улицы: длина 3 км, расстояние между опорами 30 м, двустороннее расположение светильников, количество светильников – 200 шт. При расчетах учитывалось, что светильник работает по 10 ч в день.

Выбрана стоимость электроэнергии– 150 руб./кВт·ч.

Итог: использование индукционных ламп вместо натриевых позволяет снизить расходы на электроэнергию более чем в 2 раза (без учета расходов на замену ламп).

Промышленное освещение:

Параметры помещения: высота подвеса светильников – 6-8 м, трехрядное расположение светильников, количество светильников – 90 шт. При расчетах учитывалось, что светильник работает круглые сутки.

Выбрана стоимость электроэнергии– 150 руб./кВт·ч.

Итог: использование индукционных ламп вместо ртутных позволяет снизить расходы на электроэнергию более чем в 3 раза (без учета расходов на их замену).

Расчетные данные приведены в табл.2, 3.

Таблица 2 Уличное освещение. Замена натриевых ламп на индукционные лампы

Параметр	Освещение на натриевых лампах			Освещение на индукционных лампах		
	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.
Источник света	400	480	200	200	216	200
Потребление электроэнергии	28 800 кВт·ч/месяц			12 960 кВт·ч/месяц		
	345 600 кВт·ч/год			155 520 кВт·ч/год		
Экономия электроэнергии, кВт·ч	15 840 кВт·ч/месяц			15 840 кВт·ч/месяц		
	190 080 кВт·ч/год			190 080 кВт·ч/год		
	1 900 800 кВт·ч/10лет			1 900 800 кВт·ч/10лет		
Стоимость электроэнергии, руб.	28 800 кВт·ч x150руб.=4 320 000 руб./месяц			12 960 кВт·ч x150 руб.=1 944 000 руб./месяц		
	51 840 000 руб./год			23 328 000 руб./год		
Экономия средств, руб.	28 512 000 руб./год			28 512 000 руб./год		
	285 120 000 руб./10лет			285 120 000 руб./10лет		
Экономия, %	55			55		

Таблица 3 Промышленное освещение. Замена ртутных ламп на индукционные лампы

Параметр	Освещение на ртутных лампах			Освещение на индукционных лампах		
	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.
Источник света	400	480	90	150	162	90
Потребление энергии	31 104 кВт·ч/месяц			10 497,6 кВт·ч/месяц		
	373 248 кВт·ч/год			125971,2 кВт·ч/год		
Экономия энергии	20 606,4 кВт·ч/месяц			20 606,4 кВт·ч/месяц		
	247 276,8 кВт·ч/год			247 276,8 кВт·ч/год		
	2 472 768 кВт·ч/10лет			2 472 768 кВт·ч/10лет		
Стоимость электроэнергии	28 800 кВт·ч x150 руб.=4 320 000 руб./месяц			10 497,6 кВт·ч x150 руб. = 1 574 640 руб./месяц		
	55 987 200 руб./год			18 895 680 руб./год		
Экономия средств	37 091 520 руб./год			37 091 520 руб./год		
	370 915 200 руб./10лет			370 915 200 руб./10лет		
Экономия, %	67			67		

Также следует учитывать затраты на обслуживание светильников. Например, на замену уличной лампы выезжает оборудованная подъемником машина и бригада рабочих, для замены в цеху подвесной лампы требуется частично остановить в нем работу персонала. Зарплата рабочим, стоимость горюче-смазочных материалов в сумме составляют значительную часть затрат на обслуживание светильников с традиционными лампами, срок службы которых в 10 раз меньше, чем у индукционных ламп, а, следовательно, и затраты будут больше. Также стоит помнить, что за период 60 000-120 000 часов, которым определяется срок службы индукционной лампы, придется сменить более 6-10 штук традиционных ламп, применяемых для освещения.

Вывод очевиден: использование в освещении индукционных ламп позволяет окупить денежные вложения спустя 1,5-2 года, значительно снизить потребление электроэнергии, уменьшить количество используемых ламп и стоимость технического обслуживания.

Литература

1. http://elredy.by/induktsionnye_lampy/
2. <http://e-elf.ru/Индукционные%20лампы.html>
3. <http://malahit-irk.ru/index.php/2011-01-13-09-04-43/158-2011-05-20-14-44-07.html>
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Индукционная_лампа
5. <http://sd-svet.ru/info/stati/lampa-indukcionnogo-osveshheniya.-otvety-na-samye-chasto-zadavaemye-voprosy>
6. <http://www.diagram.com.ua/list/elektriku/elektriku211.shtml>

УДК 621.313

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сикорский Н.Ю.

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

Параллельной работой нескольких силовых трансформаторов называется такая их работа, при которой к вторичным обмоткам подключена общая нагрузка, а первичные обмотки присоединены к одной электрической сети. Такой режим работы силовых распределительных трансформаторов может применяться в системах электроснабжения промышленных предприятий в следующих случаях:

- для обеспечения бесперебойного электроснабжения электроприемников;
- с целью уменьшения колебаний напряжения в электрической сети вторичного напряжения;

- при наличии суточных или сезонных колебаний нагрузки для снижения потерь электроэнергии в трансформаторах;

- если нагрузка потребителей электроэнергии превышает мощность, на которую может быть выполнен один трансформатор.

Применение параллельной работы цеховых трансформаторов позволяет достичь:

- уменьшения на 25 - 30 % суммарной установленной мощности трансформаторов (по сравнению с раздельной их работой) за счет снижения общей суммарной нагрузки из-за несовпадения максимумов нагрузок потребителей, получающих питание от отдельных трансформаторов. Этому способствует также более высокая степень загрузки параллельно работающих трансформаторов и меньшая требуемая резервная мощность на случай выхода трансформаторов из строя;

- повышения качества электроэнергии из-за стабильного уровня токов короткого замыкания (КЗ) во всей сети, что дает возможность подключения электроприемников с нелинейными нагрузками большей мощности (электросварочные установки, вентильные преобразователи и т.п.). В ряде случаев такой режим работы трансформаторов позволяет осуществлять совместное питание нелинейных нагрузок с электроприемниками, требующих обеспечения качества электроэнергии (световые приборы, компьютеры, микропроцессорные устройства, станки с числовым программным управлением и др.);

- повышения надежности срабатывания защитных аппаратов при однофазных КЗ в электрической сети вторичного напряжения;

- обеспечения возможности поэтапного ввода трансформаторных мощностей по мере роста фактических нагрузок предприятия (цеха);

- снижения потерь электроэнергии трансформаторах за счет рационального режима работы и отключения части ненагруженных трансформаторов при одно- и двухсменных режимах работы предприятия.

При параллельном включении трансформаторов снижаются потери мощности и электроэнергии в СЭС, уменьшаются электромагнитные помехи и повышается качество напряжения в электрических сетях. На параллельную работу могут включаться трансформаторы цеховых подстанций с двумя и тремя трансформаторами. Возможно также включение на параллельную работу трансформаторов подстанций с одним трансформатором через магистральные шинопроводы [1]. Существующие автоматические выключатели и магистральные шинопроводы технически допускают параллельное включение пяти трансформаторов с единичной номинальной мощностью 1000 кВ·А, трех – до 1600 кВ·А и двух - 2500 кВ·А.

При параллельной работе силовых трансформаторов должны соблюдаться следующие условия [2]:

- группы соединения обмоток одинаковые;

- соотношение номинальных мощностей трансформаторов не более 1:3;
- коэффициенты трансформации отличаются не более чем на $\pm 0,5\%$;
- напряжения КЗ (U_k) отличаются не более чем на $\pm 10\%$;
- произведена фазировка трансформаторов.

При несоблюдении указанных условий режим работы трансформаторов существенно ухудшается. Например, при разных группах соединений обмоток вторичные линейные напряжения трансформаторов окажутся сдвинутыми по фазе относительно друг друга и в цепи трансформаторов появится разностная ЭДС, под действием которой возникает значительный уравнивающий ток. Уравнивающий ток протекает по первичным и вторичным обмоткам и ограничивается только их сопротивлениями. Этот ток вызывает циркуляцию мощности от одного трансформатора к другому, и, следовательно, неравномерную нагрузку трансформаторов, сопровождающуюся увеличением потерь мощности и повышением температуры нагрева трансформаторов.

Уравнивающий ток может превышать номинальный в несколько раз, что равносильно короткому замыканию. Поэтому параллельная работа трансформаторов с различными группами соединения обмоток не допускается.

В случае различия коэффициентов трансформации первичные и вторичные напряжения не равны. В связи с этим, даже в режиме холостого хода (ХХ), в замкнутом контуре вторичных обмоток возникает уравнивающий ток. При нагрузке трансформаторов уравнивающий ток накладывается на нагрузочный. При этом трансформатор с более высоким напряжением ХХ (с меньшим коэффициентом трансформации) оказывается перегруженным, а равный ему по мощности трансформатор с большим коэффициентом трансформации – недогруженным. Падения напряжений от уравнивающих токов выравнивают вторичные напряжения обмоток. В общем случае допускается работа трансформаторов с различием коэффициентов трансформации до $\pm 0,5\%$. При этом желательно, чтобы трансформатор с большей мощностью имел меньший коэффициент трансформации.

Если при параллельной работе трансформаторов напряжения КЗ U_k не равны, то перегружается трансформатор с меньшим значением U_k , т.е. с меньшим полным сопротивлением. Относительные мощности (нагрузки) параллельно работающих трансформаторов обратно пропорциональны их U_k . В итоге неравенство U_k приводит к перегрузке трансформатора с меньшим U_k и недогрузке трансформатора с большим U_k .

В этом случае, чтобы не допустить перегрузки трансформатора необходимо снизить общую нагрузку всей группы параллельно работающих трансформаторов, что приводит к недоиспользованию установленной мощности трансформаторов. С учетом того, что практически не всегда возможно подобрать трансформаторы с одинаковыми значениями U_k , действующими нормативными документами допускается включение на параллельную работу трансформаторов при разнице U_k не более чем 10% от их среднего арифметического значения.

В заключение отметим, что параллельная работа силовых трансформаторов оказывает влияние на построение электрических сетей первичного и вторичного напряжения. Поэтому такой режим работы трансформаторов должен быть обоснован.

Литература

1. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: [учебное пособие для учреждений высшего образования по специальности "Электроснабжение"] / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова - Минск: ИВЦ Минфина, 2015. - 588 с.: ил
2. Электрические машины / Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Часть 1, 1987 г. Ресурс доступа: http://www.induction.ru/library/book_001/glava2/2-14.html

УДК 621.32

ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Заранко В.И., Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – ассистент Гаврилович О.Н.

Идея использования газового разряда в качестве источника света появилась давно, однако, ввиду трудности воплощения, массовое развитие данного рода технология получила не сразу.

Широко известно, что в газе при определенной напряженности возникает разряд. В случае, когда мы говорим о светотехнических приборах, это либо дуговой разряд, либо тлеющий разряд. Разряд в газе сопровождается излучением различного спектра, обычно это ультрафиолетовое излучение. В некоторых газах разряд сопровождается также излучением видимого спектра, что обуславливает их применение в промышленности и хозяйственной деятельности человека. В таблице 1 приведены инертные газы, используемые в настоящее время в качестве наполнителей источников света, а также область их применения и цветовая характеристика получаемого излучения.

Таблица 1: характеристики используемых газов

Газ	Оттенок испускаемого видимого излучения	Использование
Гелий (He)	Бело-оранжевый; при некоторых условиях может иметь серый, зеленовато-голубой или голубой оттенок	Используется художниками для специального освещения
Неон (Ne)	Красно-оранжевый	Используется в неоновых рекламных знаках и в неоновых лампах
Аргон (Ar)	Фиолетово-голубой	Используется художниками для специального освещения, зачастую с парами ртути
Криптон (Kr)	Сероватый тусклый грязно-белый. Может быть зеленоватым. В разрядах высокого напряжения яркий синевато-белый	Используется художниками для специального освещения
Ксенон (Xe)	Сероватый или синевато-серый тусклый белый, в разрядах высокого напряжения в высоких пиковых потоках, очень яркий синевато-зелёный	Используется в ксеноновых фотовспышках, лампах подсветки индикаторов, ксеноновых дуговых лампах, а также художниками для специального освещения
Пары ртути (Hg)	Светло-голубой; интенсивное ультрафиолетовое излучение	В сочетании с люминофорами используется для получения света разных цветов. Широко используется во ртутных газоразрядных лампах
Пары натрия (Na)	Ярко жёлтый	Используется в натриевых газоразрядных лампах.

Первыми источниками света, получившими широкое распространение, стали газоразрядные лампы низкого давления, или люминесцентные лампы. Серийный выпуск люминесцентных ламп начался еще в 1936 г, а первые светящиеся трубки появились еще в 1860 г в Англии. Люминесцентная лама представляет собой запаянную с обоих концов трубку, покрытую слоем люминофора (вещества, которое под воздействием какого-либо

возбуждения способно излучать свет). Из трубки откачан газ, она заполнена инертным газом при пониженном давлении, порядка 300 Па, с добавлением ртути. Данные условия являются весьма благоприятными для создания тлеющего разряда. При подаче напряжения на противоположные электроды возникает тлеющий разряд. Тлеющий разряд сопровождается выделением тепла, под воздействием которого ртуть превращается в пар. Разряд сопровождается сильным излучением в ультрафиолетовом спектре, которое преобразуется в видимый спектр люминофором.

Интересным фактом является то, что ввиду того, что ртуть в них добавлена с избытком, могут светиться в достаточно сильном электромагнитном поле, которое не так уж и тяжело встретить. Источником такого электромагнитного излучения могут стать, к примеру, другие электроприемники или линии электропередач. Значительная длина трубчатых люминесцентных ламп обуславливает появление на концах лампы разности потенциалов, ввиду чего по парам ртути протекает ток, приводящий к появлению такого свечения.

В Великобритании находится поле, в которое один местный энтузиаст, Ричард Бокс, поместил 1301 люминесцентную лампу после того, как узнал о возможности такого свечения. Трубчатые люминесцентные лампы вставлены одним концом в землю и расположены в месте, где провес проводов воздушных линий имеет наибольшее значение. Разности потенциалов между концами ламп оказалось достаточно для ее зажигания. Однако в таких условиях лампа дает световой поток гораздо меньше номинального. Расчеты, имеющее эмпирическое подтверждение, показывают, что при снижении подведенного напряжения на 10% от номинального, световой поток уменьшается на 15 %.

Свечение инертного газа под действием внешнего ионизатора, находящегося вне колбы, нашло широкое применение в индукционных лампах. Индукционная лампа — безэлектродная люминесцентная лампа, в которой газовый разряд инициируется с помощью электромагнитного поля. Они позиционируются производителями как энергосберегающие источники качественного света, по техническим характеристиками превосходящие традиционные виды источников освещения.

Впервые безэлектродную лампу продемонстрировал Н. Тесла на Всемирной колумбийской выставке в Чикаго в 1893 г. Она была похожа на большой шар и светилась странным зеленоватым светом. Питалась она от электромагнитного поля вблизи катушки Тесла. В 1904 г. П. Хьюитт разработал индукционную лампу, в которой использовались пары ртути. Лампы имели форму сферы и сдвоенной сферы с внешним и внутренним дросселем. В 1967 г. Дж. Андерсон разработал первый надежный прототип индукционной лампы, а в 1994 г. его компактная лампа GENURA (впервые ВЧ- генератор был расположен в цоколе лампы) вышла на рынок. Первые серийные образцы индукционных люминесцентных ламп (ИЛЛ) были выпущены в 1991-92 гг. Лидерами в производстве ИЛЛ стали иностранные фирмы PHILIPS Lighting, GE Lighting, OSRAM.

Российские ученые также занимались практической разработкой таких ламп. Источники света с индуктивным возбуждением в СССР выпускались серийно в 60-х годах прошлого века. Например, выпускалась ультрафиолетовая косметическая лампа «ФОТОН», в которой источником света являлся шарик диаметром 2 см., рядом с которым располагалась катушка ВЧ-генератора 27, 12 МГц. Были созданы экспериментальные образцы ИЛЛ мощностью от 100 Вт до 100 кВт. Однако ввиду отсутствия финансирования исследования были прекращены. В настоящее время монополия на производство этих ламп принадлежит Китаю.

Основные элементы конструкции индукционной лампы:

- а) стеклянная трубка тороидальной формы, заполненная инертным газом: аргоном или криптоном, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, от вида которого зависит цвет свечения (как и в обычных люминесцентных лампах). В специальном отрезке колбы содержатся шарики амальгамы;
- б) магнитопровод с системой первичных обмоток;
- в) электронный балласт (генератор высокочастотного тока).

Электронный балласт подключается к сети синусоидального напряжения 127/220/380 В (или к источнику постоянного напряжения 12 или 24 В). Система управления балластом преобразует переменный ток частотой 50 Гц в переменный ток высокой частоты (190–250 кГц или 2,65 МГц) и может изменять частоту и силу тока через катушку индуктора для обеспечения стабильной работы лампы. Электромагнит и индукционная катушка создают высокочастотное электромагнитное поле, атомы ртути возбуждаются (газовый разряд), возникает ультрафиолетовое излучение, которое преобразуется люминофором в видимое свечение. Как и в стандартных люминесцентных лампах, различное сочетание люминофоров в покрытии колбы дает различные цвета свечения. Наиболее общие цветовые температуры свечения ламп: 3500, 4100, 5000, 6500 К

Существуют два типа конструкции индукционных ламп: *индукционная лампа с отдельным балластом*, и *индукционная лампа со встроенным балластом*. По виду индукции также возможны два типа индукционных ламп: магнитное кольцо расположено вокруг трубки (*внешний индуктор*) или *внутри* её. Лампы с внешним индуктором (их еще называют низкочастотными лампами, рабочая частота 190–250 кГц) имеют лучшие условия теплообмена с окружающей средой, поэтому у них более высокий КПД преобразования и длительный срок службы 90000–100000 ч по сравнению с лампами с *внутренним индуктором* (высокочастотные лампы, рабочая частота 2–3 МГц, индукционная катушка намотана на ферритовый сердечник, находящийся внутри колбы). В последних тепло, выделяемое катушкой, оказывается внутри полости лампы (имеют более высокую рабочую температуру) и выводится излучением через стеклянные стенки колбы и теплопередачей через цоколь. Такие лампы похожи на обычные лампы накаливания и имеют срок службы 60000–75000 ч. Внутренний индуктор лампы имеет более низкий КПД преобразования.

В настоящее время индукционные лампы применяются для освещения промышленных, общественных, торговых и жилых помещений, городских улиц, пешеходных зон, а также архитектурной и художественной подсветки, также используются в сельскохозяйственных предприятиях. Например, российская компания «Наносвет» предлагает индукционные лампы для тепличных хозяйств. Лампа излучает свет в двух диапазонах: синий и красный, что ускоряет рост растений. При этом экономия электроэнергии достигает от 35–70%

В 2012 году проводились испытания ламп в Москве (метрополитен), Екатеринбурге (уличное освещение), Миассе, а также на промышленных предприятиях. Все испытания подтвердили высокую экономичность, потребление электроэнергии уменьшилось в 3–5 раз. При этом отмечалась стабильная работа светильников при пониженном напряжении. Результаты производственных испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2: результаты производственных испытаний

Источник света	ИЛЛ	Светодиоды	ДРЛ	ДРИ
Н, лм/Вт	80-100	110	70-140	40-60
Ra	80-90	80-90	25-30	40-60
τ , час	100000	100000	20000	7000
t_p , °С	-40°С - +40°С	-60°С - +40°С	-60°С - +45°С	-40°С - +40°С
$\tau_{вкл}$	0,01 с	0,01 с	10 мин	7-10 мин
Кп	0,1	0,1	4,9	7,3
cosφ	0,74-0,95	0,74-0,95	0,5	0,5
T, К	2700 - 6500	2700 - 6500	2300 - 2900	2300 - 2900
Диммирование	есть	есть	нет	нет
Потеря светового потока	10%-15% после 30000 часов	25% по 50000 часов	20%-40% после 5000 часов	30%-60% после 3000 часов
Экология	амальгама	безопасно	ртуть	ртуть
Горячий запуск	есть	есть	нет	нет
Стоимость, бел. руб.	4.000.000 + + 2.000.000	5.500.000	2.000.000 + + 150.000	2.000.000 + + 60.000

Однако, у индукционных ламп имеется ряд недостатков, наиболее значимыми из которых являются их размеры, производимое ими электромагнитное излучение и рабочая температура.

В таблице 3 приведены результаты испытаний ООО «Арсенал-А», наглядно отображающие значимость такого недостатка индукционных ламп, как наличие электромагнитного излучения.

Таблица 3: результаты производственных испытаний ООО «Арсенал-А»

Расстояние от источника, м	Значение напряженности электромагнитного поля, мВ/м	
	измеренное	допустимое
0,5	90	25
1	7	25
2	2	25
3	–	25

Как мы можем видеть, уже на расстоянии 3-х метров от источника прибор не улавливает никаких электромагнитных волн. Так как индукционные светильники в основной своей массе предназначены для освещения помещений с высокими пролётами, размещают их на высоте от 6 метров и выше. На этом расстоянии, говорить о каком-либо вредном воздействии электромагнитного поля на человека, было бы не корректно. Хотя в паспорта индукционных светильников необходимо добавить примечание с рекомендациями о размещении индукционных светильников на расстоянии более 1 метра от предполагаемого места нахождения людей.

Говоря о рабочей температуре, необходимо отметить, что практическое применение индукционных ламп показывает, что при -20°C , для достижения 70% светового потока от номинального значения необходимо 20 минут. Поэтому многие производители стали предупреждать про влияние холода на режим работы индукционной лампы.

Внушительные размеры светильников для индукционных ламп создают в некоторых ситуациях проблемы. Например, в складских помещениях стеллажи для товара устремляются вплоть до потолка, это все осуществляется для рационального использования площади помещения, однако установка индукционных светильников вызывает некоторые затруднения из-за больших габаритов.

Рассматривая вкуче данные проблемы можно сказать, что преимуществ у современного индукционного освещения несомненно больше. Но почему же современные источники света не пользуются популярностью на просторах рынка Республики Беларусь? Ответ прост: главным фактором в проведении тендеров является стоимость. И несмотря на отсутствие необходимости в эксплуатации данных источников освещения, снижения затрат на обслуживающий персонал, в наших реалиях все же необходимо исходить из условий минимальной стоимости на продукцию.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение индукционных источников света в промышленности, уличном освещении и для тепличных хозяйств является целесообразным в точки зрения энергосбережения и технических характеристик.

Литература

1. Кунгс Я.А., Ковалева О.А., Кибардин В.В., Журнал «Вестник Красноярского государственного аграрного университета»
2. Борис Алексеев. Журнал: «Электроника инфо». Статья: «Индукционная лампа – источника качественного и энергоэффективного освещения»
3. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение: учебник - Минск: Техноперспектива, 2011. 543 с., [12] л.цв.ил.
4. Степанчук К.Ф., Тиняков Н.А. Техника высоких напряжений: [Учеб. пособие для электроэнерг. спец. вузов]. – 2-е изд., перераб. и доп.–Мн: Выш. школа, 1982.–367с. ил.

СЛАБЫЕ ЗВЕНЬЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Кузьма А. Ю.

Научный руководитель – старший преподаватель Сацукевич В. Н.

Надежность изделия в целом определяется характеристиками надежности входящих в него элементов. Описывая технические характеристики светодиодного светильника производитель, как правило, делает упор на типы используемых светодиодов. Тем не менее, надежность светильника определяется не столько светодиодами, сколько блоком питания. Однако некоторые важные параметры данного узла не сообщаются производителями даже по запросу. Поэтому задача выбора светильников с качественными блоками питания является весьма сложной.

Блоком питания (БП) называется источник питания преобразующий электрическую энергию от сети. В светотехнике для обозначения БП часто жаргонно используется термин «драйвер». На самом деле, драйвер — это устройство, которое стабилизирует ток, питающий светодиоды. Другими словами, БП – источник напряжения, а драйвер – источник тока. Некоторые драйверы способны регулировать световой поток у светодиодов, т.е. диммировать их. Но драйвер не выполняет функций преобразования питающего напряжения и выпрямления тока. Тем не менее, на некоторых БП можно встретить слово driver, означающее в данном контексте стабилизацию выходного тока.

По своей конструкции БП можно разделить на две большие категории — изолированные и неизолированные. Особенностью изолированного БП является то, что его выход не имеет гальванической связи с входом. В принципе, БП изолированного типа — это и есть та самая классическая конструкция БП на основе трансформатора. Отличия от классического варианта в том, что трансформатор работает не на частоте сети, а на более высокой частоте. Изолированные БП стоят относительно дорого, но они хорошо справляются с бросками напряжения и импульсными помехами, которые есть в электрических сетях.

Неизолированные БП имеют гальваническую связь с выходом. Преимуществами неизолированных БП являются компактность, низкая цена и немного больший КПД, чем у изолированных БП.

По месту размещения БП делятся на внешние (размещаются вне корпуса) и внутренние (размещаются внутри корпуса светильника). При этом внешние БП могут идти в комплекте со светильником или приобретаться отдельно /1/.

Светодиоды не излучают энергию в инфракрасном диапазоне длин волн (как устройства на базе других технологий), они излучают свет только в видимом спектре. Поэтому, несмотря на то, что светодиоды более энергоэффективны, чем другие источники света, они рассеивают намного больше тепла в самой лампе. КПД также играет большую роль в выделении тепла. Например, при его снижении с 95 до 85% рассеиваемая мощность уменьшается вовсе не на 10%. Напротив — количество рассеиваемого тепла увеличивается в 3,3 раза. Рассмотрим серию популярных 150-Вт устройств EUC-150S с постоянным выходным током. Как видно из рисунка 1, если КПД при полной нагрузке и напряжении 220 В AC составляет 92%, величина рассеиваемой мощности равна 13 Вт. Изменение КПД всего лишь на 1% может привести к заметному изменению потерь мощности. Поскольку у разных моделей драйверов величина КПД может значительно варьировать, температура внутри корпусов устройств существенно различается /4/.

Следствием рассеиваемого тепла является ограничение срока службы компонентов драйвера. Для того, чтобы излучать больше света, лампа должна работать при довольно высокой температуре — часто от 80 до 100°C. При такой температуре срок службы платы драйвера может влиять на долговечность в целом. Особую проблему представляют собой транзисторы и электролитические конденсаторы.

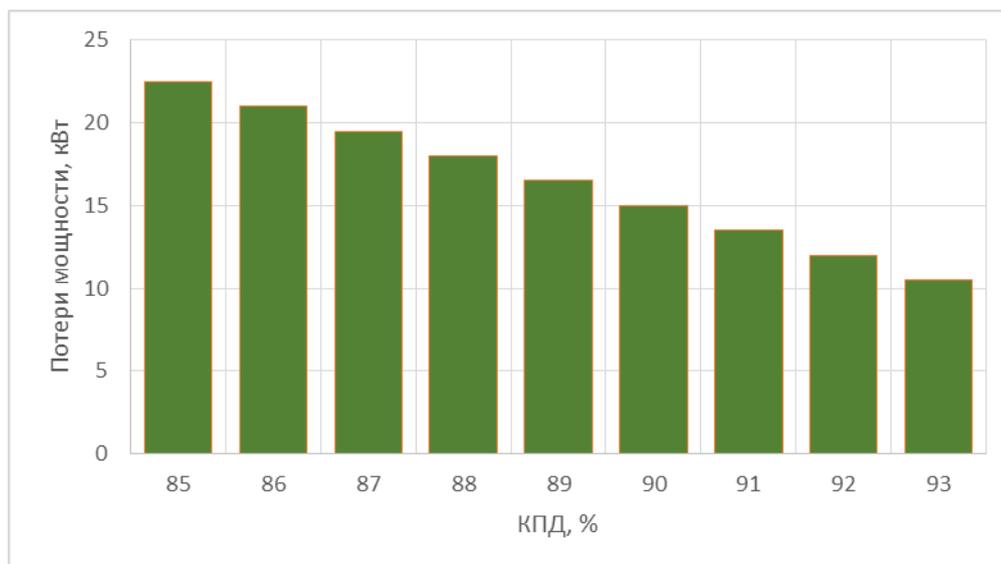


Рисунок 1. Зависимость потерь мощности от КПД для 150-Вт драйвера

Транзисторы, входящие в состав драйвера светодиодного светильника, также являются элементами, чей срок службы сильно зависит от температуры. При расчете показателей надежности устройств необходимо располагать справочными данными о показателях надежности элементов. В настоящее время основной характеристикой безотказности элементов, приводимой в технических документах, является интенсивность отказов (λ – принимается постоянным в течение определенной наработки и соответствует номинальному электрическому режиму нормальным условиям эксплуатации). На практике условия работы часто являются более жесткими, чем нормальные, поэтому возникает задача определения интенсивности отказов, соответствующей эксплуатационным факторам (электрическому режиму, условиям работы и конструктивно-технологическим особенностям элемента). Эту интенсивность отказов называют эксплуатационной:

-для биполярных транзисторов - $\lambda_{\text{э}} = \lambda_0 K_p K_{\phi} K_d K_U K_{\text{э}} K_{\text{п}}$;

-для полевых транзисторов - $\lambda_{\text{э}} = \lambda_0 K_p K_{\phi} K_{\text{э}} K_{\text{п}}$,

где λ_0 – базовая интенсивность отказов элементов данной группы (или конкретного типа), отвечающая температуре окружающей среды $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и номинальной электрической нагрузке; K_p – коэффициент режима работы, зависящий от температуры корпуса элемента; K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий функциональный режим работы прибора; K_d – коэффициент, зависящий от значения максимально допустимой по ТУ нагрузки по мощности (или току); K_U – коэффициент, зависящий от отношения рабочего напряжения к максимально допустимому по ТУ (коэффициента нагрузки по напряжению); $K_{\text{э}}$ – коэффициент эксплуатации, зависящий от жесткости условий эксплуатации; $K_{\text{п}}$ – коэффициент приёмки, учитывающий степень жесткости требований к контролю качества и правила приёмки элемента в условиях производства. Значения этих параметров сведены в таблицу 1 /2/.

Таблица 1 – Значения параметров математической модели

Тип транзистора	Параметры, входящие в математическую модель					
	$\lambda_{\text{б}} \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	K_{ϕ}	K_d	K_U	$K_{\text{э}}$	$K_{\text{п}}$
Биполярные кремниевые	0,044	1,5	0,5	3,03	1,5	5,5
Полевые кремниевые	0,065	1,5	1	1	1,3	5,5

Коэффициент режима работы K_p зависит от температуры окружающей среды. Его значения могут быть рассчитаны с помощью математической модели:

$$K_p = A \cdot \exp \left[\frac{N_T}{273 + t_{окр} + \Delta t} + \left(\frac{273 + t_{окр} + \Delta t}{T_M} \right)^L \right],$$

где $A, N_T, T_M, L, \Delta t$ – константы модели. Для транзисторов $A=5,5; N_T= -1162; T_M= -448; L=13,8; \Delta t=150 / 2$.

Наработка на отказ вычисляется по формуле: $T_0 = \frac{1}{\lambda_3}$.

Результаты расчета показателей надежности транзисторов при различных температурах окружающей среды сведены в таблицу 2. График зависимости наработки на отказ от температуры окружающей среды приведен на рисунке 2.

Таблица 2 – Расчет показателей надежности при различных температурах

Тип транзистора	Параметр	$t_{окр}, ^\circ\text{C}$				
		50	60	70	80	90
Биполярные кремниевые	K_p	3,7	7,9	20,87	72,36	354,12
	$\lambda_3, 10^{-6} \cdot \text{ч}^{-1}$	3,05	6,52	17,22	59,69	292,12
	$T_0, \text{ч}$	327851,89	153479,41	58081,63	16753,09	3423,23
Полевые кремниевые	K_p	3,70	7,90	20,87	72,36	354,12
	$\lambda_3, 10^{-6} \cdot \text{ч}^{-1}$	2,58	5,51	14,55	50,44	246,87
	$T_0, \text{ч}$	387951,61	181614,28	68728,79	19824,16	4050,76

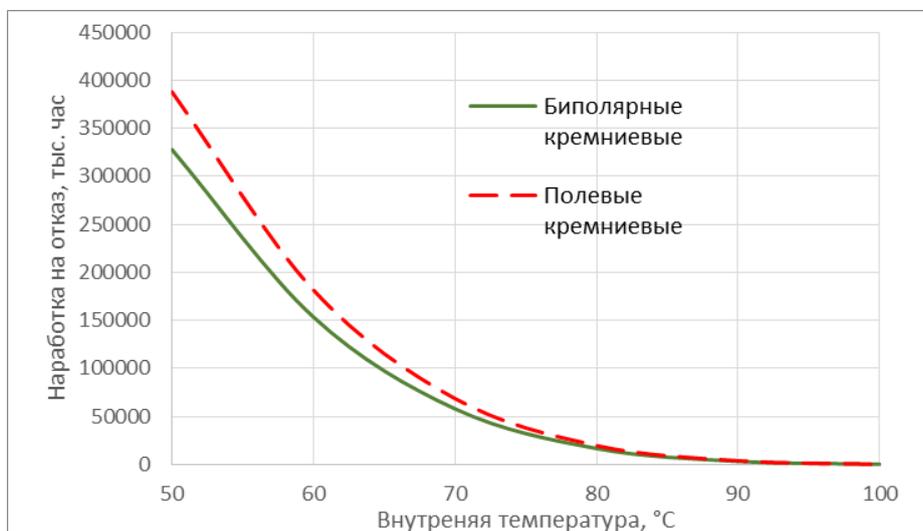


Рисунок 2. Зависимость наработки на отказ транзисторов от температуры окружающей среды

Результаты расчета подтверждают факт снижения срока службы транзистора с увеличением температуры окружающей среды.

Конденсаторы, которые используются в драйвере, при рабочих температурах светильника довольно быстро высыхают. Их срок службы ограничен немногим более 10000 часами, и это становится лимитирующим фактором для длительности работы всей лампы. Выражение для срока службы электролитического конденсатора выглядит следующим образом:

$$L_x = k \cdot L_0 \cdot 2^{(T_s - T_a)/10},$$

где L_x — срок службы; k — коэффициент, определяемый СКЗ тока пульсаций конденсатора и его рабочим напряжением; L_0 — величина срока службы, определенная в стандартных условиях и приведенная в техническом описании компонента; T_s — номинальная температура корпуса; T_a — рабочая температура корпуса. Из уравнения видно, что понижение температуры на 10° увеличивает срок службы в два раза /3/.

Проблему можно решить полной заменой электролитических конденсаторов на керамические, которые являются практически «вечными» электронными компонентами. График на рисунке 3 показывает пример деградации ресурса светодиодной лампы в зависимости от внутренней рабочей температуры лампы. Как можно видеть, при температуре около 80°C срок службы уменьшается для ламп, использующих электролитические конденсаторы по сравнению с лампами, которые используют керамические /4/.

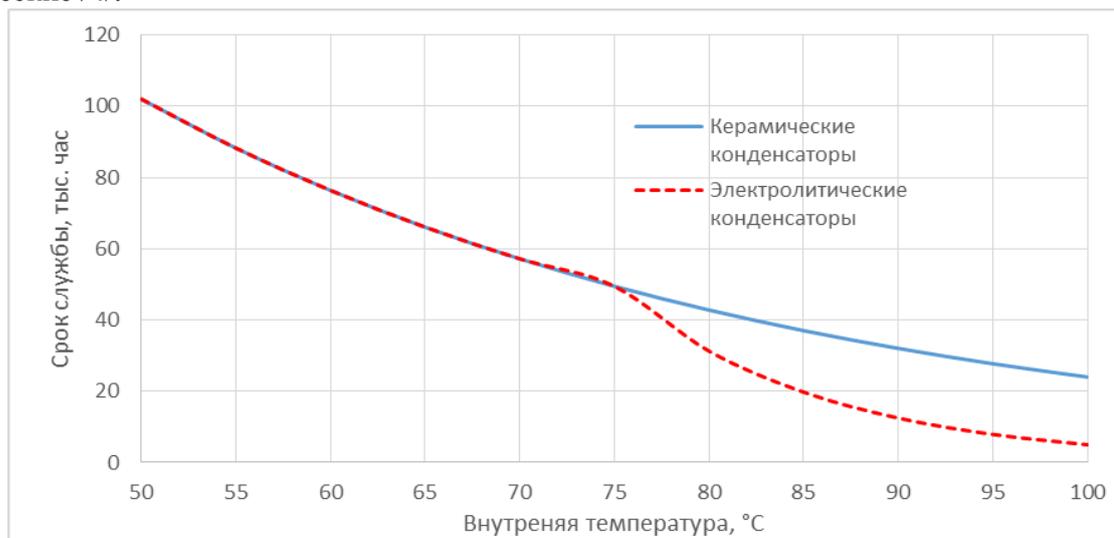


Рисунок 3. При увеличении внутренней температуры лампы ее срок службы уменьшается. Лампы, использующие электролитические конденсаторы на платах драйверов (красная линия) имеют меньший срок службы, чем лампы с керамическими конденсаторами (синяя линия)

Но здесь возникает вопрос цены по отношению к емкости конденсатора и общей целесообразности. Нет смысла в установке конденсаторов со сроком службы 100 тыс. часов в драйвер светильника, светодиоды которого прослужат 50 тыс. часов.

Теоретически оптимальным выбором является БП, специально разработанный для определенной модели светильника. На практике это могут удачно реализовать либо компании, имеющие, помимо светотехнического, еще и мощный бизнес по производству электронных устройств (LG, Philips), либо светотехнические компании, чьи БП хорошо зарекомендовали себя на рынке (Osram). В остальных случаях предпочтительным вариантом является использование в светильнике БП от ведущих фирм, специализирующихся на данном виде продукции (Meanwell, Helvar, Vossloh-Schwabe и некоторые другие). Использование унифицированного БП легкой заменяемой конструкции важно еще и для возможного ремонта светильника, так как БП обычно выходит из строя быстрее, чем светодиоды /1/.

Литература

1. Блок питания как «слабое звено» светодиодного светильника [Электронный ресурс] URL: <http://www.elec.ru> (дата обращения 08.04.2016).
2. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств/ С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян – Минск: БГУИР, 2010. -68 с.: ил.
3. Зависимость времени наработки на отказ электролитических конденсаторов от реальных условий их эксплуатации [Электронный ресурс] URL: <http://www.ptelectronics.ru> (дата обращения 08.04.2016).
4. Срок службы светодиодных светильников [Электронный ресурс] URL: <http://www.russianelectronics.ru> (дата обращения 04.04.2016).

УДК 621.313

КОНСТРУКЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.

Микитич Е.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Выбор типа генератора является основным вопросом комплектации ветроэнергетических установок (ВЭУ). В настоящее время, независимо от мощности и вида крыльчатки, практически всегда в них устанавливают асинхронные генераторы. Для применения на ВЭУ возможны следующие типы генераторов:

- 1) асинхронные генераторы с к.з. ротором;
- 2) синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением;
- 3) асинхронизированный синхронный генератор;
- 4) асинхронные генераторы с фазным ротором;
- 5) синхронные генераторы (СГ) с магнитоэлектрическим возбуждением, т.е. с возбуждением от постоянных магнитов.

АГ с к.з. ротором

Асинхронный генератор проще синхронного по конструкции, дешевле и значительно надежнее, если в качестве асинхронного генератора использовать асинхронную машину с короткозамкнутым ротором. Он позволяет в некоторых пределах регулировать частоту вращения, но нуждается в реактивной мощности для возбуждения и всегда работает с отстающим током. При автономной работе асинхронного генератора должны быть обеспечены условия самовозбуждения. В качестве источника реактивной мощности используется батарея конденсаторов.

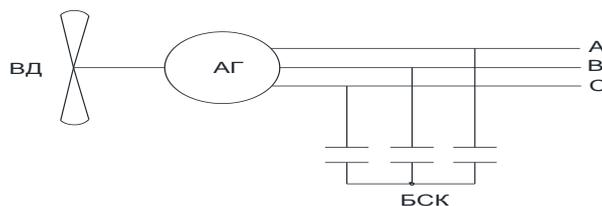


Рисунок 1 Принципиальная схема АГ с к.з. ротором при автономной работе. ВД- ветродвигатель; АГ-асинхронный генератор; БСК- батарея статических конденсаторов.

Преимущества:

- 1) простота и надежность в обслуживании;
- 2) невысокая стоимость;
- 3) имеют сравнительно малые колебания генерируемой мощности, электромагнитного момента и тока при параллельной работе и при переменной скорости ветра и его порывах;
- 4) возможно устанавливать безредукторные установки с хорошими массогабаритными показателями, высоким КПД и возможностью регулировать напряжение и его частоту в широких пределах;

Недостатки:

- 1) необходимость установления редукторов, т.к. используют дешевые тихоходные турбины (с частотой вращения 20-30 об/мин). Поэтому генератор присоединяют через редуктор с высоким коэффициентом преобразования ($K_{ред} = 50-70$), что требует дополнительных расходов на установку, обслуживание, ремонт, снижает надежность, является источником механического шума;
- 2) невозможно управлять режимными параметрами, что необходимо при порывистом ветре;
- 3) для работы в автономном режиме необходим автономный источник реактивной мощности;

4) ограничение в промышленном применении из-за искаженной формы выходного напряжения и неудовлетворительных динамических свойств;

СГ с магнитоэлектрическим возбуждением

Синхронные генераторы с магнитоэлектрическим возбуждением с применением современных высокостабильных высококоэрцитивных магнитов из редкоземельных сплавов обладают высокой надёжностью и компактностью. Схема обеспечивает бесконтактное возбуждение (самовозбуждение) генератора и стабилизацию выходного напряжения при переменной частоте вращения и нагрузке.

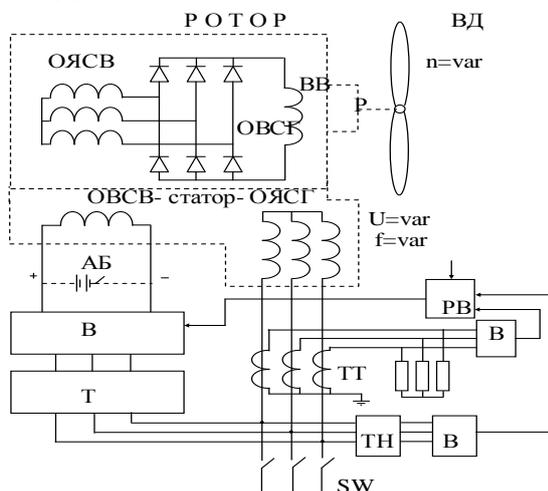


Рисунок 2. Схема бесконтактного возбуждения СГ от синхронного возбудителя с вращающимся выпрямителем.

ВД-ветродвигатель; Р-редуктор; ОВСГ-обмотка возбуждения СГ; ОЯСВ-обмотка якоря возбудителя; ВВ-вращающийся возбудитель; ОЯСГ-обмотка якоря СГ; ОВСВ-обмотка возбуждения возбудителя; В-выпрямитель; РВ-регулятор возбуждения; ТТ-трансформатор тока; ТН-трансформатор напряжения; АБ-аккумуляторная батарея; SW-автоматический выключатель.

Преимущества:

- 1) исключение скользящего контакта;
- 2) высокая надежность работы;
- 3) высокое значение КПД;

Недостатки:

- 1) постоянство магнитного потока, невозможность его регулировать;
- 2) высокая стоимость;

АГ с фазным ротором

При переходе генератора в двигательный режим он должен быть отключён от системы или от ветродвигателя. В последнем случае ветроустановка должна иметь между ветродвигателем и генератором электромагнитную или механическую муфту. При её отключении генератор переходит в двигательный режим без нагрузки. При использовании асинхронного генератора с фазным ротором эту задачу можно выполнить размыканием цепи ротора и переводом в режим холостого хода с разомкнутым ротором.

Преимущества:

- 1) Возможно использовать в автономных системах в сочетании с другими машинами;
- 2) простота и надёжность в обслуживании;
- 3) имеют сравнительно малые колебания генерируемой мощности, электромагнитного момента и тока при параллельной работе, при переменной скорости ветра и его порывах;

Недостатки:

- 1) необходимость установления редукторов, т.к. используют дешевые тихоходные турбины (с частотой вращения 20- 30 об/мин). Необходим редуктор с высоким коэффициентом преобразования ($K_{ред} = 50-70$), что требует дополнительных расходов на

установку, обслуживание, ремонт, снижает надежность, является источником механического шума;

2) невозможно управлять режимными параметрами, что бывает необходимо при порывистом ветре;

3) в автономном режиме необходим автономный источник реактивной мощности;

4) ограничение в промышленном применении из-за искаженной формы выходного напряжения и неудовлетворительных динамических свойств;

5) наличие скользящего контакта, что снижает надежность;

СГ с электромагнитным возбуждением

Нецелесообразно применение синхронных генераторов с возбудителями постоянного тока из-за низкой надежности коллекторной машины постоянного тока. Перспективны схемы с бесконтактным электромагнитным возбуждением и с магнитоэлектрическим возбуждением с использованием современных высококоэрцитивных постоянных магнитов из редкоземельных элементов.

Преимущества:

1) возможность управления реактивной мощностью с генераторной стороны;

Недостатки:

1) выше стоимость, сложнее конструкция, ниже надежность, чем у АМ;

2) наличие скользящего контакта и необходимость источника постоянного тока для обмотки возбуждения;

3) жесткая зависимость частоты ЭДС от скорости вращения. Это ограничивает, а в регионах с резкими порывами ветра делает невозможным, использование СГ для прямого включения в сеть без ППЧ;

Асинхронизированный синхронный генератор -это неявнополюсная бесколлекторная машина переменного тока, например, асинхронная машина с фазным ротором с 3-фазными обмотками на статоре и роторе.

Асинхронизированная машина может работать с переменной частотой вращения в синхронном или асинхронном режиме, в режиме недовозбуждения или перевозбуждения, так как ротор питается от постороннего источника – возбудителя.

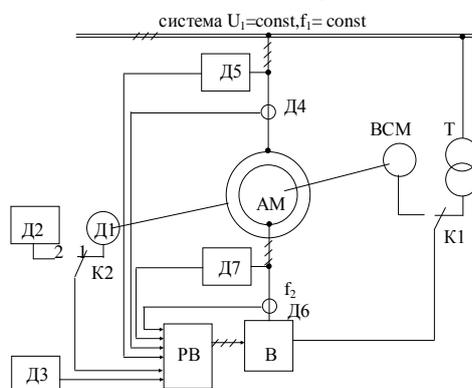


Рисунок 3 Асинхронизированная синхронная машина

В-возбудитель; ВСМ-вспомогательная синхронная машина; Т-трансформатор; РВ-регулятор возбуждения; Д1-датчик углового положения ротора; Д2-датчик независимой частоты; Д3-датчик тригонометрических функций угла вектора напряжения системы; Д4,Д5,Д6,Д7-датчики токов и напряжений статора и ротора.

Преимущества:

1) Возможно использовать в автономных системах в сочетании с другими машинами. Возможно каскадное соединение с АГ или соединение с АГ и ДПТ с параллельным возбуждением;

2) Большая устойчивость;

Недостатки:

1) наличие на роторе скользящего контакта для подвода напряжения к обмотке возбуждения ротора и необходимость в преобразователе частоты для регулирования напряжения возбуждения;

2) при отклонении скорости от синхронной требуется значительное увеличение реактивной мощности и напряжения в обмотке возбуждения;

Выводы.

Многие страны последние 20-25 лет уделяют особое внимание развитию нетрадиционных способов получения энергии, и в частности, использованию энергии ветра. Расширение использования ВЭУ может идти в направлениях:

–обеспечение электроэнергией различных малых объектов (25-100кВт).

–обеспечение совместной работы с существующими энергосистемами традиционной энергетики (3-15 МВт).

–снабжение электроэнергией промыслов нефтегазовой отрасли, удаленных от центральных систем энергоснабжения (передвижные и стационарные ВЭУ мощностью 100-1000 кВт.)

Классические по конструкции СГ с электромагнитным возбуждением устанавливаются на установках либо малой, либо очень большой мощности. Технология изготовления и опыт расчета таких машин позволяет регулировать напряжение в широких пределах за счет изменения тока возбуждения.

У СГ существует жесткая зависимость частоты, генерируемой ЭДС от скорости вала. Если ветер нестабилен, то в генераторе появляются высокие значения переменных составляющих в режимных параметрах, ухудшается работа таких генераторов параллельно с сетью. Это ограничивает, а в регионах с резкими порывами ветра делает невозможным, использование СГ для прямого включения в сеть. При такой работе между генератором и сетью устанавливают полупроводниковый преобразователь частоты.

Асинхронизированные синхронные генераторы (АСГ) находятся скорее в стадии разработки, чем в стадии промышленного применения. У АСГ к симметричному в магнитном отношении ротору, через три кольца, к трехфазной (иногда, двухфазной) обмотке возбуждения подводят напряжение, величина и фаза которого изменяется пропорционально скольжению. Регулирование напряжения возбуждения осуществляется за счет преобразователя частоты.

Установлено, что в автономных электрических сетях, при использовании ВЭУ мощностью до 200 кВт, рекомендуется применение синхронных генераторов (СГ) с постоянными магнитами (СГПМ), которые имеют преимущества по надежности, экономическим показателям и КПД.

Литература.

1. Нетрадиционные источники энергии: учеб.-метод. пособие для студентов высших учебных заведений специальности 1 43-01 03 «Электроснабжение»/ М.М. Олешкевич.– Минск:БНТУ,2007.–144с.

2 Сидельников Б.В. Современное состояние и сравнительный анализ конструктивных схем ветрогенераторов. // Вестник Щецинского технического университета, Польша, 2001.

3. Ass Ext., Hall D. Renewable Energy. Power for a Sustainable Future. // Oxford Unit. Press, 1996

УДК 658.26

ПРЕИМУЩЕСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА С МАГНИТОПРОВОДОМ, ВЫПОЛНЕННЫМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Миренков А.С.

Научный руководитель - старший преподаватель Прокопенко Л.В.

В настоящее время в качестве материала сердечников трансформатора тока используют электротехническую сталь и нанокристаллические сплавы. Нанокристаллические сплавы начали применяться в конце 80-х годов прошлого столетия в электротехнической промышленности США и Японии [1]. Эти сплавы на основе железа, кремния, бора, ниобия и меди получают путем розлива расплава через тонкую $\sim 25\text{мкм}$ фильеру на поверхность вращающегося с большой скоростью охлаждаемого вала. При высокой скорости охлаждения (до 1 миллиона градусов в секунду) атомы сплава не успевают сформировать крупнокристаллическую решетку. Сплав, таким образом, приобретает аморфный, нанокристаллический характер, когда размеры кристаллов и доменов в тысячи раз меньше обычных и уникальные магнитно-электрические свойства [1].

Поскольку трансформаторы тока (ТТ) работают в установившемся режиме в малых полях, то для их изготовления необходимо использовать материалы не только с большой магнитной проницаемостью, но и с высокой начальной магнитной проницаемостью.

Высокая начальная магнитная проницаемость и линейность характеристики намагничивания позволяет обеспечить метрологические характеристики ТТ с магнитопроводами из нанокристаллических сплавов во всем диапазоне изменения измеряемых токов. Характеристика намагничивания магнитопроводов из электротехнической стали в начале диапазона имеет нелинейный характер, чем и объясняется увеличенная погрешность измерений в диапазоне до 20% Ином.

На рис.1 представлены типовые петли гистерезиса для электротехнической стали и нанокристаллического сплава [1].

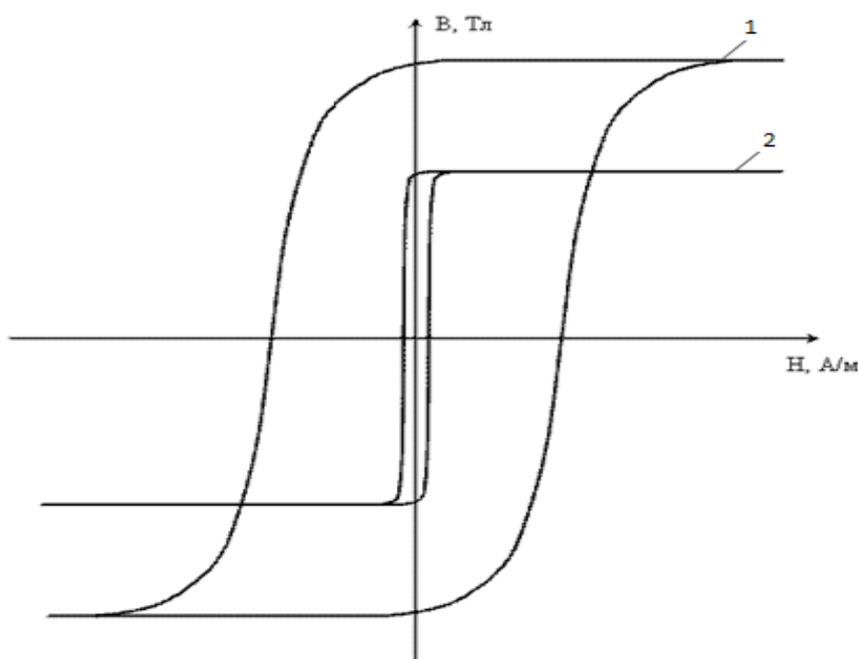


Рисунок 1. Петля гистерезиса для электротехнической стали и нанокристаллического сплава.
где 1 – электротехническая сталь, 2 – нанокристаллический сплав

Сравним характеристики электротехнической стали и нанокристаллического сплава [1].

Таблица 1. Сравнительная таблица характеристик материалов

Характеристика\Вид материала	Электротехническая сталь	Нанокристаллический сплав
Начальная магнитная проницаемость	20000	50000
Максимальная магнитная проницаемость	25000	80000
Магнитная индукция насыщения, Тл (при $H=800$ А/м)	1,75	1,2
Коэрцитивная сила (А/м)	80	2,5

Значение магнитной индукции насыщения для нанокристаллических сплавов меньше, чем для электротехнической стали, что позволяет снизить коэффициент безопасности.

Очень низкое значение коэрцитивной силы у нанокристаллического сплава практически исключает возможность намагничивания сердечника постоянным током. Полное перемагничивание сердечника при подаче переменного тока происходит уже при напряженности магнитного поля и значениях первичного тока 1-2 процента.

Для сердечников же из электротехнической стали, которые могут намагнититься при аварийных отключениях этого добиться трудно.

За счет высокого удельного сопротивления магнитные вихревые потери мощности в нанокристаллических сердечниках в 4-10 раз меньше, чем в сердечниках из электротехнической стали.

Нанокристаллические сплавы сохраняют свои магнитные свойства при нормальной температуре не менее 100 лет, а при температуре $+50^{\circ}\text{C}$ не менее 50 лет, что позволяет увеличивать межповерочный интервал ТТ.

Высокие магнитные качества сердечников трансформаторов тока из нанокристаллических сплавов делают трансформаторы на их основе чувствительными по метрологическим характеристикам к повышению нагрузки (увеличению сопротивления нагрузки) во вторичной цепи трансформаторов тока сверх номинальной при максимальном первичном токе, что требует на практике жесткого выполнения всех вышеуказанных противопоперегрузочных требований. Перегрузочные способности таких трансформаторов тока могут быть повышены за счет увеличения сердечников, что не всегда экономически оправдано для изготовителя, поскольку сердечники из нанокристаллических сплавов в 1,5-2 раза дороже сердечников из электротехнической стали.

Измерительные трансформаторы тока на сердечниках из нанокристаллических сплавов имеют перед трансформаторами тока на сердечниках из электротехнической стали следующие преимущества [2]:

- 1) Устойчивость метрологических характеристик к намагничиванию постоянным током.
- 2) Высокое электросопротивление материала и уменьшенные в 4-10 раз потери на вихревые токи и перемагничивание сердечника.
- 3) Повышенный (двойной) технологический запас по классу точности.
- 4) Более длительный срок службы с сохранением метрологических характеристик (и, тем самым, потенциально больший межповерочный интервал).
- 5) Меньшие затраты материала на сердечник и обмотки, меньшие габариты, вес сердечника и вес трансформатора тока в целом.
- 6) Большая устойчивость к хищениям электроэнергии (при нагрузках потребителя менее 50% номинальной) и росту коммерческих потерь.

Литература

1. Преимущества класса точности 0,5S перед 0,5 для трансформаторов тока//Панасенко В.В. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://www.rza.org.ua/article/read/Preimuchshestva-klassa-tochnosti-0-5S-pered-0-5-dlja-transformatorov-toka.html>. - Дата доступа: 2.05.2016.

2. Основные преимущества трансформаторов тока, изготовленных с применением сердечников из аморфного нанокристаллического сплава//Производственное предприятие "Юджэн" [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <http://yudzhen.by/ru/izmeritelnye-transformatory-preimuschestva>- Дата доступа: 2.05.2016.

УДК 620.9, 621.313

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГЕНЕРАТОРОВ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Капустинский А.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Олешкевич М.М.

Ввиду того, что наша страна не обладает значительным запасом источников энергии, вопрос энергетической безопасности является одним из самых актуальных для Беларуси. Собственные топливно-энергетические ресурсы страны покрывают лишь 15% от объема общего потребления. Одним из наиболее перспективных направлений реализации целей указанных проектов является развитие белорусской ветроэнергетики. Беларусь располагает значительными ресурсами энергии ветра, которые оцениваются потенциально возможной установленной мощностью более чем 1600 МВт·ч и годовой выработкой электроэнергии более чем 2,4 млрд кВт·ч. На территории нашей страны выявлено около 1840 площадок, пригодных для размещения ветроэнергетических станций и ветропарков. Эти площадки представляют собой в основном ряды холмов высотой от 250 м над уровнем моря, где средняя скорость ветра колеблется от 5 до 8 м/с. На каждой из них можно разместить от 3 до 20 ветроэнергетических установок.

Однако использование данного вида ресурсов в Республике Беларусь еще не нашло широкого применения несмотря на высокий потенциал развития. ГПО «Белэнерго» принадлежит всего одна введенная в эксплуатацию ветроустановка мощностью 1,5 МВт (рядом с д. Грабники, Новогрудский район) и готовятся к введению в эксплуатацию ещё 5 установок той же мощности в том же месте (на 26 апреля 2016 года к сети 10 кВ были подключены еще две ветроустановки, ввод в эксплуатацию оставшихся трех ожидается к концу месяца). Помимо этого, в стране установлено около 20 ветроустановок, не принадлежащих ГПО «Белэнерго», суммарная мощность которых не превышает 1000 кВт (размещены в поселке Жилихово (Копыльский район), Янковцы, Волма (Держинский район), агрогородке Занарочь, поселке Дружная (Мядельский район), Грабники (Новогрудский район), деревне Райца (Кореличский район), Жуково (Могилевский район) и др.).

Развитие ветроэнергетики во многом обусловлено стимулированием государством за счет применения повышающих коэффициентов. Согласно постановлению Министерства Экономики Республики Беларусь от 7 августа 2015 г. № 45 тарифы на электрическую энергию, производимую на территории Республики Беларусь, для ветроустановок вне зависимости от установленной мощности, введенных в эксплуатацию в период с 21 мая 2015 г. по 20 августа 2015 г. либо созданных в пределах, выделенных в установленном порядке квот на создание установок после 20 августа 2015 г., установлены с применением коэффициентов:

- первые десять лет со дня ввода в эксплуатацию установок с фактическим сроком службы оборудования с даты изготовления:
 - менее пяти лет – 1,2;
 - более пяти лет – 1,05;
- последующие десять лет эксплуатации установок – 0,75;
- свыше двадцати лет эксплуатации установок – 0,45.

В нашей стране развитием альтернативных источников энергии усиленно занимается компания «Белоруснефть». За последние пять лет компанией были введены в эксплуатацию 22 тепловых насоса, 15 гелиоколлекторов, 12 фотоэлектрических станций. Одна из них, которая находится на Белорусском газоперерабатывающем заводе мощностью 3,75 МВт, является крупнейшей солнечной электростанцией в Беларуси. Это был первый проект, реализованный по инвестиционному договору с Гомельским облисполкомом в сфере

возобновляемой энергетики. Второй проект договора предусматривает строительство фотоэлектрической станции мощностью 55 МВт. Также компания «Беларуснефть» занимается и вопросами ветроэнергетики. Компанией получены необходимые согласования на строительство двух ветропарков. Строительство ветропарков будет вестись в населенных пунктах Бурмаки (Минская область) и Лужище (Гродненская область). Первый предусматривает работу 15 ветроэнергетических установок суммарной мощностью до 50 МВт, второй - 29 установок мощностью до 80 МВт.

Данные повышающие коэффициенты также не зависят от типов генераторов. В ветроустановках в качестве генератора могут применяться синхронные и асинхронные машины. Самым простым и надежным является синхронный генератор с возбуждением постоянными магнитами. В таких генераторах отсутствует классическая система возбуждения, то есть отсутствует машина постоянного тока, а, следовательно, в электромагнитной цепи генератора отсутствуют такие ненадежные элементы, как контактные кольца, щетки и щеткодержатели, что повышает надежность машины. Так же отпускаемая в энергосистему мощность повышена ввиду отсутствия такой статьи расхода электроэнергии, как электроэнергия, потребляемая системой возбуждения.

Кроме того, что данная конструкция проще и надежнее альтернативных из-за отсутствия возбуждителя, она позволяет выполнить обмотку статора без укорочения шага, что, в свою очередь, опять упрощает конструкцию СГ. Подавление высших гармоник в такой обмотке возможно чисто геометрически за счет выполнения пазов статора скошенными на $2/7$ полюсного деления, а постоянных магнитов на роторе сдвинутыми друг относительно друга на $1/5$ полюсного деления [1]. Это позволяет полностью подавить 5 и 7 гармоники. Обмоточный коэффициент считается через коэффициенты скоса и сдвига.

$$k_{сдв} = \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}\right),$$

$$k_{ск} = \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4}\right),$$

$$k_{обм} = k_{ск} \cdot k_{сдв} = \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4}\right),$$

где: ν – номер гармоники

γ_1 – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате сдвига

$\gamma_2/2$ – электрический угол между ЭДС, возникающий в результате скоса

ЭДС ν -ой гармоники равна:

$$E_{\nu}' = E_{\nu} \cdot k_{обм} = E_{\nu} \cdot \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_1}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\nu \cdot \gamma_2}{4}\right) = E_{\nu} \cdot \cos\left(\frac{\nu}{2} \cdot \frac{1}{5} \cdot 180\right) \cdot \cos\left(\frac{\nu}{4} \cdot \frac{2}{7} \cdot 180\right)$$

Очевидно, что ЭДС 5 и 7 гармоники подавлены полностью. ЭДС более высоких гармоник подавлены частично, следственно их влияние не существенно.

Для работы такого генератора необходимы мощные постоянные магниты. Подходящими являются магниты NdFeB (Неодим-железо-бор). Магниты из этого материала обладают большой остаточной индукцией (1,1 Тл) и коэрцитивной силой (800000 А/м).

Расчет постоянного магнита выполняется на основании графика кривой размагничивания постоянного магнита в относительных единицах, где по оси ординат отложена индукция $\frac{B}{B_r}$, а по оси абсцисс напряженность магнитного поля в магните $\frac{H}{H_C}$,

где B_r и H_C - остаточная индукция и коэрцитивная сила магнита. Кривая размагничивания редкоземельного магнита – это прямая линия.

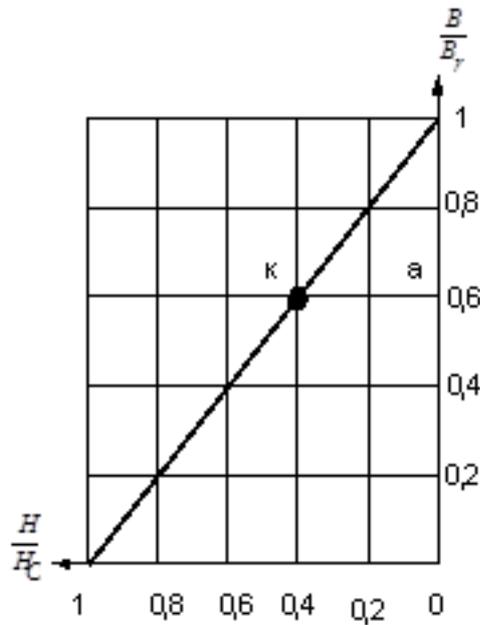


Рисунок 1: Кривая размагничивания постоянного магнита

Координаты рабочей точки на кривой размагничивания постоянного магнита определяются на основании отношения ординаты к абсциссе, которое равно:

$$\frac{oa}{ak} = \frac{\Phi_a \cdot \sigma \cdot H_C \cdot h_{МАГН}}{\Phi_{МАГН \max} \cdot F_{МАГН}} = \frac{2\mu_0 \cdot \sigma \cdot \tau \cdot l_{\delta} \cdot H_C \cdot h_{МАГН}}{\pi \cdot k_{\mu 0} \cdot B_r \cdot S_{МАГН} \cdot F_{ВН*} \cdot \delta'}$$

где ордината кривой размагничивания oa равна отношению основного магнитного потока машины к максимальному возможному потоку в нейтральном сечении магнита при отсутствии размагничивания

$$oa = \frac{\Phi_a \cdot \sigma}{\Phi_{МАГН \max}} = \frac{2 \cdot B_{\delta H} \tau \cdot l_{\delta} \cdot \sigma}{\pi \cdot B_r \cdot S_{МАГН}}$$

МДС магнита равна МДС магнитной цепи, т.е. равна МДС воздушного зазора с учетом коэффициента насыщения магнитной цепи и размагничивающего действия реакции якоря,

$$F_{МАГН} = ak \cdot H_C \cdot h_{МАГН} = F_{ВН*} \cdot B_{\delta H} \frac{\delta}{\mu_0},$$

откуда:

$$ak = \frac{F_{ВН*} \cdot B_{\delta H} \frac{\delta}{\mu_0}}{H_C \cdot h_{МАГН}}$$

где: $B_{\delta H}$ - основная гармоника индукции в воздушном зазоре при номинальных условиях, Тл,

$F_{ВН*}$ - МДС возбуждения с учетом реакции якоря (по диаграмме Потье), о.е.,

δ - средняя величина воздушного зазора, м,

$S_{МАГН} = b_{МАГН} \cdot l_{МАГН}$ - площадь сечения магнита, м²,

$h_{МАГН}$ - высота магнита, м,

$k_{\mu 0}$ - коэффициент насыщения магнитной цепи машины,

σ - коэффициент рассеяния полюсов.

В рамках данной научной работы мною был произведен уточненный расчет для машины 500 кВт. Сравним полученные параметры генератора с параметрами других типов генераторов той же мощности. Параметры, по которым производится сравнение, занесены в таблицу 1. Примечание: номинальный КПД и масса генератора были рассчитаны без учета подключения через частотный преобразователь, который незначительно ухудшит данные параметры.

Таблица 1: Характеристики аналогичных генераторов

Наименование электрической машины	Тип электрической машины	Номинальная мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Номинальный КПД, %	Масса, т	Температура обмотки °С
Разрабатываемый синхронный генератор с постоянными магнитами неодим-железо-бор	Синхронная с постоянными магнитами	500	18	90,6	14,5	85
Генератор АВВ, исп. в Nordtank 500 кВт	Асинхронная	500	30	85	18	–
Vestas V47	ECC5-61-4	660	28,5	89,2	20,4	–

Расчеты показали, что генератор такого типа соизмерим по расходу материалов и другим характеристикам с другими генераторами той же мощности, а некоторые генераторы даже заметно превосходит. Этот факт в сочетании с простотой конструкции и надежности в эксплуатации способствует развитию ветроэнергоустановок с возбуждением постоянными магнитами в последние годы.

Литература

1. Синхронная электрическая машина с постоянными магнитами: Патент на изобретение №14108 РБ от 2010.11.25/ Олешкевич В.М., Олешкевич М.М.; заявл. №20081055, 2008.08.08; МКИ, Н 02К 21/00; опубл. //Нацыянальны цэнтр інтэлектуальнай уласнасці Рэспублікі Беларусь. Афіцыйны бюлетэнь: вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры . №1(78) 2011.-с.148
2. Олешкевич М.М. Нетрадиционные источники энергии. Учебно-методическое пособие. Минск. БНТУ, 2007.
3. Постановление Министерства Экономики Республики Беларусь от 7 августа 2015 г. № 45
4. <http://www.energo.grodno.by/>

УДК 658.26

КРИТЕРИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сорока А.В.

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

Потери в распределительных трансформаторах составляют значительную часть общих потерь в системах передачи и распределения электроэнергии. Так, например, проведенный в конце XX века анализ работы сетей передачи и распределения энергии тихоокеанского побережья США показал, что потери в распределительных трансформаторах составляют более 30%, в то время, как в трансформаторах питающих подстанций теряется только 2%. Аналогичная картина имеет место и в отечественных распределительных трансформаторах. Учитывая значительное количество распределительных трансформаторов в электроэнергетических системах и большой срок их службы, снижение потерь электроэнергии в таких трансформаторах представляет собой ощутимый резерв энергосбережения.

В странах Евросоюза большинство требований к распределительным трансформаторам определяется национальными (BSI, NF, DIN, NEN, UNE OTEL), международными (ISO, IEC), а также европейскими (EN, HD) стандартами. 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 мощности короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ) в трансформаторах в соответствии с указанным стандартом [1].

Таблица 1-Допустимые уровни потерь по HD428

Номинальная мощность, кВ·А	Допустимые уровни потерь короткого замыкания, кВт			Допустимые уровни потерь холостого хода, кВт		
	$\Delta P_{ка}$	$\Delta P_{кб}$	$\Delta P_{кс}$	$\Delta P_{ха}$	$\Delta P_{хб}$	$\Delta P_{хс}$
100	1,75	2,15	1,47	0,32	0,26	0,21
160	2,35	3,10	2,00	0,46	0,37	0,30
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 КЗ ($\Delta P_{ка}$, $\Delta P_{кб}$, и $\Delta P_{кс}$.) и три уровня потерь ХХ ($\Delta P_{ха}$, $\Delta P_{хб}$, и $\Delta P_{хс}$). Значения потерь мощности определяются по специальной методике с учетом погрешности измерений. При несоответствии изделия стандарту HD428 во время испытаний производитель либо отбраковывает трансформатор, либо согласовывает с покупателем величину денежной компенсации. И наоборот, если фактические величины потерь у крупных трансформаторов существенно лучше требований соответствующего уровня нормы (или контрактной спецификации), производитель может получить от покупателя дополнительное вознаграждение[2].

Таким образом, норматив HD428 дает возможность выбора трех уровней потерь КЗ и трех ХХ от наименее эффективной комбинации $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$, до наиболее эффективной $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xc}$.

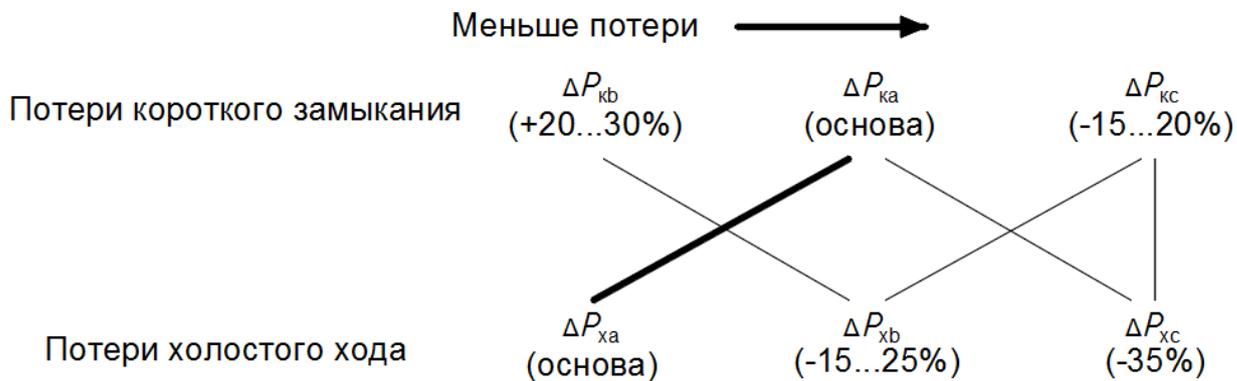


Рисунок 1- Допустимые комбинации уровней потерь

Теоретически существует девять возможных комбинаций. Однако норматив HD428 допускает пять возможных комбинаций (рисунок 1), где комбинация $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$ принята за основу сравнения[1].

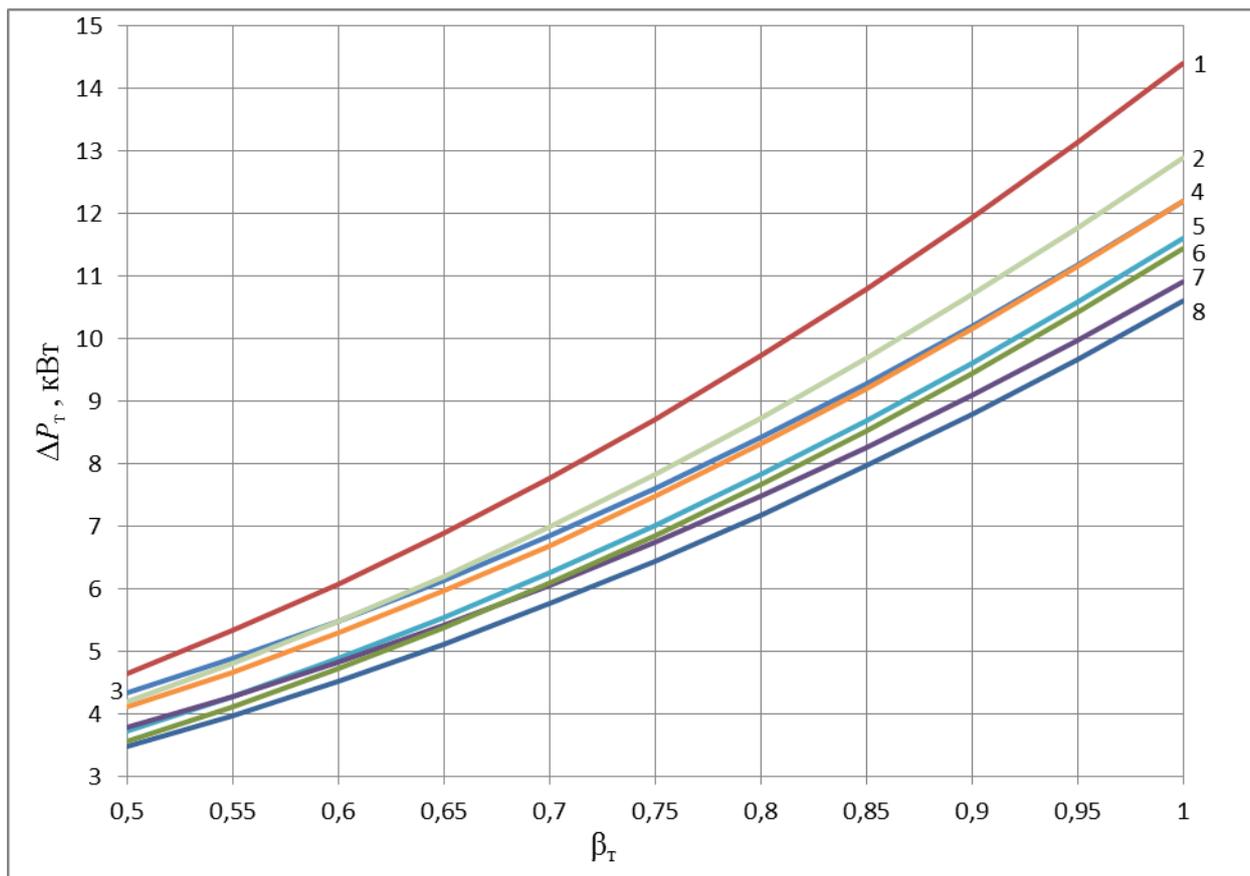


Рисунок 2- Суммарные потери трансформатора в зависимости от коэффициента загрузки:
 1- $\Delta P_{кб} - \Delta P_{xb}$; 2- ТМГ21; 3- $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$; 4- ТМГ11; 5- $\Delta P_{ка} - \Delta P_{xc}$, ТМГ11; 6- ТМГ15; 7- $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xb}$;
 8- $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xc}$

У значений суммарных потерь (нагрузки и холостого хода) между крайними значениями, а именно комбинациями $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$ и $\Delta P_{кс} - \Delta P_{хс}$, усматривается большая разница (около 1,5 кВт) для трансформаторов номинальной мощностью 630 кВ·А.

Фактические потери в распределительных трансформаторах определяются по формуле:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + \beta_T^2 \cdot \Delta P_K, \tag{1}$$

где ΔP_X - потери холостого хода, кВт;

ΔP_K - потери короткого замыкания, кВт;

β_T – коэффициент загрузки трансформатора.

На рисунке 2 приведена зависимость суммарных потерь трансформатора номинальной мощностью 1000 кВ·А от коэффициента загрузки для различных комбинаций уровней энергоэффективности.

Удельные потери в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta p_y = \Delta P_T / S_{ном}, \tag{2}$$

где $S_{ном}$ - мощность трансформатора, кВ·А.

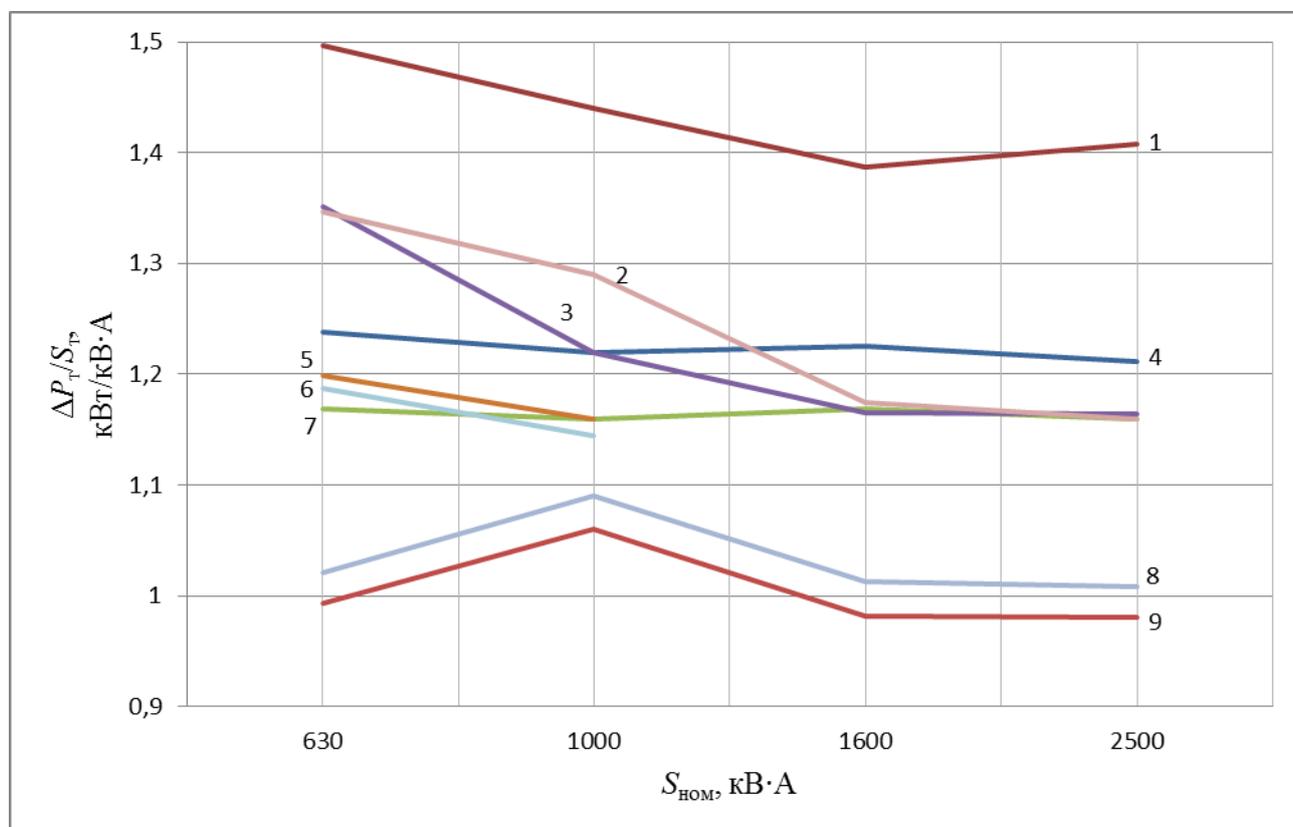


Рисунок 3- Зависимость относительных потерь в трансформаторе от номинальной мощности: 1- $\Delta P_{кб} - \Delta P_{xb}$; 2-ТМГ21; 3-ТМГ11; 4- $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$; 5-ТМГ12; 6- ТМГ15; 7- $\Delta P_{ка} - \Delta P_{хс}$; 8- $\Delta P_{кс} - \Delta P_{xb}$; 9- $\Delta P_{кс} - \Delta P_{хс}$

На рисунке 3 представлена зависимость удельных потерь от мощности трансформаторов по стандарту HD428 и серий ТМГ ОАО “МЭТЗ им. В.И. Козлова”.

Формально только уровень $\Delta P_{кс} - \Delta P_{хс}$ для масляных силовых распределительных трансформаторов можно считать энергоэффективным (стандарт HD428) [2]. Трансформаторы отечественного производства, как правило, не соответствуют данному уровню потерь. Однако некоторые из них можно отнести к менее энергоэффективным уровням потерь согласно HD428. Данные трансформаторы приведены в таблице 2.

Таблица 2-Трансформаторы ОАО “МЭТЗ им. В.И. Козлова”, соответствующие стандарту HD 428.

Тип трансформатора	Потери ХХ, кВт	Потери КЗ, кВт	Уровень энергоэффективности
ТМГ11-1000/10	1,4	10,8	$\Delta P_{xb} - \Delta P_{kb}$
ТМГ12-1000/10	1,1	10,5	$\Delta P_{xc} - \Delta P_{ka}$
ТМГ12-1000/10	0,97	10,5	$\Delta P_{xc} - \Delta P_{ka}$
ТМГ21-2500/10	2,5	26,5	$\Delta P_{xc} - \Delta P_{ka}$

Существуют и другие признаки для оценки энергоэффективности трансформаторов. Например, такие как применение специальных видов обмоток, усовершенствованных магнитопроводов и т. д. В США трансформатор с энергоэффективностью равной или лучшей, чем у 35 % самых продаваемых моделей, признается энергоэффективным. Такие способы оценки хоть и имеет право на существование, но не связаны напрямую с основным показателем – энергоэффективностью [2].

Литература

1. Стандарт EN 50464-1 “European standardisation for transformer losses reduction”.
2. Мельникова Е.В. Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных распределительных трансформаторов (электронный ресурс). Режим доступа http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2384

УДК 621.311

РАЗРАБОТКА ОДНОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОСНАСТКИ

Студент Богданович Л.А.

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

Удельный расход ЭЭ потребителя ТЭР за i -е сутки на выпуск продукции определяется как:

$$W_{уд_i} = \frac{W_{\phi_i}}{P_i} = \frac{W_{техн} \cdot P_i + W_{общ}}{P_i} = W_{техн} + \frac{W_{общ}}{P_i}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/ед.прод.},$$

где $W_{техн}$ – технологическая составляющая удельного расхода ЭЭ на выпуск продукции, кВт·ч/ед.прод; $W_{общ}$ – условно-постоянная составляющая расхода ЭЭ на выпуск продукции, не зависящая от объемов производства продукции, кВт·ч/сут;

P_i – суточный объем выпуска продукции, ед.прод/сут.

Именно наличие условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ, не зависящей от объема выпуска продукции, обуславливает вариацию производственного удельного расхода ЭЭ от 8,4 кВтч/н.ч. до 20,2 кВтч/н.ч. при изменении объема выпуска продукции от 5000 до 50000 усл. ед..

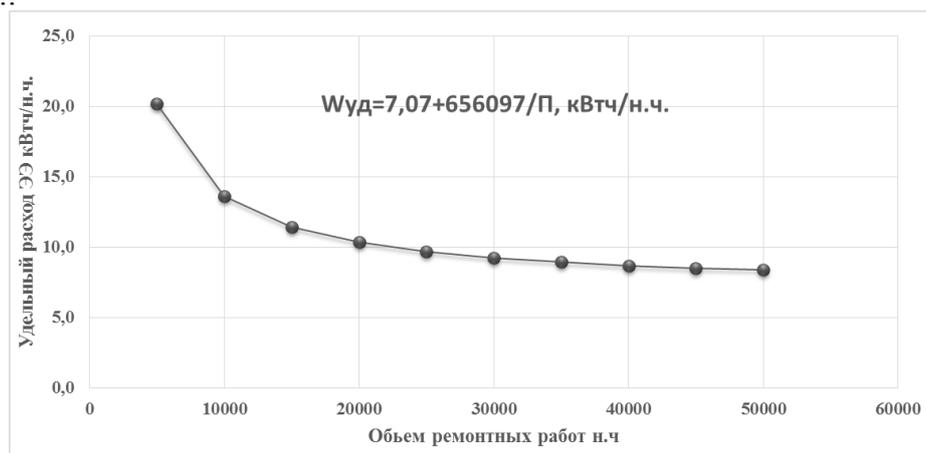


Рисунок 1. Однофакторная модель удельного расхода ЭЭ ЦБПО от выпуска продукции

Однофакторная статистическая модель удельного расхода ЭЭ (УРЭ) может быть построена с использованием суточной статистики по режимам потребления ЭЭ и фактическим объемам выпуска продукции (загрузка производства).

В зависимости от значений УРЭ выделяется три области загрузки технологического оборудования: зона высокой, низкой и средней эффективности загрузки оборудования (рис. 2). Зона низкой эффективности характеризуется значительными изменениями УРЭ при незначительных изменениях объема производства продукции. Зона средней эффективности соответствует средним загрузкам технологического оборудования. Зона высокой эффективности характеризуется незначительными изменениями УРЭ при значительных изменениях объемов производства продукции.

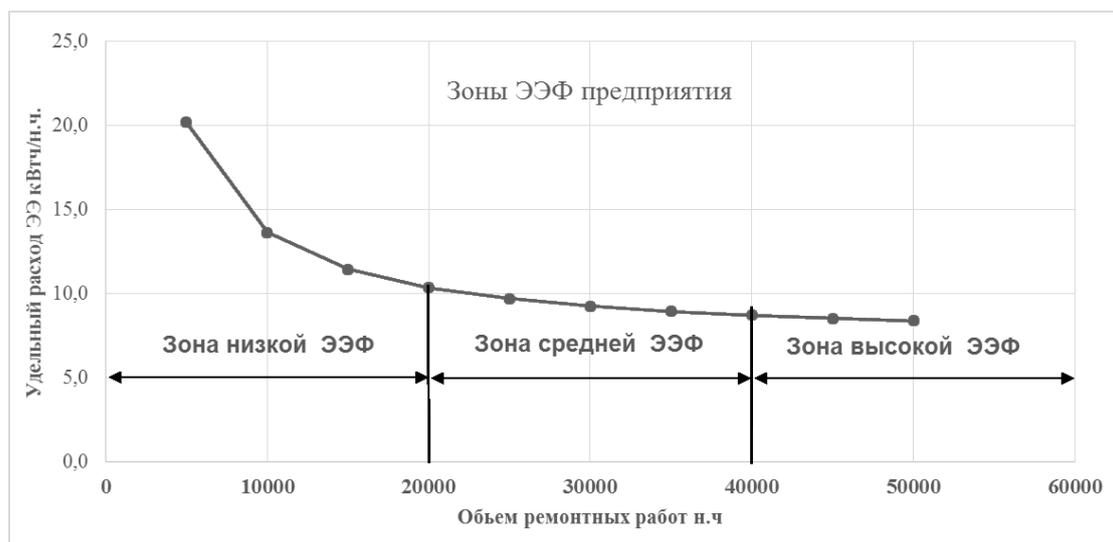


Рисунок 2 Зоны энергетической эффективности ЦБПО

Для рассматриваемого ремонтного цеха разработана однофакторная модель УРЭ от объема выпуска продукции за календарный месяц следующего вида:

$$W_{уд.,ЭЭ} = w_{уд.,техн} + W_{пост}/П = 7,07 + 65610/П, \text{ кВтч/усл.ед.},$$

где $W_{уд.,техн}$ - технологический удельный расход ЭЭ, $w_{уд.,техн} = 7,07$ кВтч/н.ч.,

$W_{пост}$ – условно– постоянная составляющая расхода ЭЭ за месяц, $W_{пост} = 65610$, кВтч;

$П$ – объем выпуска продукции за календарный месяц, н.ч.

При внедрении мероприятий по энергосбережению технологическая и условно-постоянная составляющая расхода ЭЭ будут изменяться. Соответственно им будут изменяться и значения УРЭ при соответствующей загрузке технологического оборудования. Параметры модели зависимости УРЭ от выпуска продукции тоже будут изменяться. При этом эффективность одного и того же мероприятия по энергосбережению при разной загрузке производства будет различна.

Пример 1. Рассмотрим случай, когда разработанные мероприятия по энергосбережению воздействуют на условно-постоянную расхода ЭЭ

Оценим эффективность внедрения мероприятий, направленных на снижение условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ в размере 5610 кВтч. Модель общепроизводственного УРЭ будет скорректирована по условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ и примет вид:

$$W_{уд.} = 7,07 + (65610 - 5610)/П = 7,07 + 60000/П, \text{ кВтч/усл.ед.}$$

Расчет значений удельного расхода ЭЭ при исходных данных структуры расхода ЭЭ и вариации месячного объема выпуска продукции от 5000 до 50000 усл.ед и после внедрения мероприятий, воздействующих на условно-постоянную расхода ЭЭ, а также изменение ЭЭФ при соответствующих объемам выпуска продукции, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения общезаводских удельных расходов ЭЭ до внедрения и после внедрения мероприятий

Объем выпуска продукции, П, усл. ед	Значение общепроизводственного УРЭ $W_{уд.1}$, по исходной модели, кВтч/усл.ед	Значение общепроизводственного УРЭ $W_{уд.2}$, по скорректированной модели, кВтч/усл.ед	Изменение ЭЭФ $\Delta ЭЭФ = (W_{уд.2} - W_{уд.1}) / W_{уд.1} \cdot 100\%$, %
5000	95350	100960	5,6
10000	130700	136310	4,1
15000	166050	171660	3,3
20000	201400	207010	2,7
25000	236750	242360	2,3
30000	272100	277710	2,0
35000	307450	313060	1,8
40000	342800	348410	1,6
45000	378150	383760	1,5
50000	413500	419110	1,3

Как видно из расчетов (табл.1), внедрение мероприятий, обеспечивающих снижение условно – постоянной расхода ЭЭ на 5610 кВтч/мес (8% от ее исходного значения) могут обеспечить снижение УРЭ от 5,6% до 1,3% в зависимости от производственной программы производства. Эффект от мероприятий, направленных на снижение условно-постоянной расхода ЭЭ усиливается в области низкой загрузки оборудования, и снижается в области высокой загрузки оборудования, где в меньшей степени сказывается влияние условно-постоянной расхода ЭЭ на величину общепроизводственного УРЭ.

Пример 2. Рассмотрим случай, когда разработанные мероприятия по энергосбережению воздействуют на технологическую составляющую расхода ЭЭ

Оценим, как изменяется эффективность от внедрения мероприятий, направленных на снижение технологического удельного расхода ЭЭ на 10% в условиях изменении объемов выпуска продукции шинного производства в диапазоне от 5000 до 50000 н.ч..

Модель общепроизводственного удельного расхода ЭЭ будет скорректирована по технологическому УРЭ и примет вид:

$$W_{уд.ЭЭ} = (7,07 - 0,707) + 65610/П = 6,363 + 65610/П, \text{ кВтч/н.ч.}$$

Расчет производственных значений УРЭ при изменении объемов выпуска продукции от 5000 до 50000 н.ч. в месяц до внедрения мероприятий по энергосбережению и после внедрения мероприятий, воздействующих на технологическую составляющую расхода ЭЭ, а также изменение ЭЭФ при соответствующих объемах выпуска продукции, представлены в таблице 2.

Это означает, что эффект от одних и тех же мероприятий, направленных на снижение технологической составляющей расхода ЭЭ усиливается в области высокой загрузки оборудования, и снижается в области низкой загрузки оборудования, где в большей степени сказывается влияние условно-постоянной расхода ЭЭ на величину общепроизводственного УРЭ.

Таблица 2 - Значения УРЭ до внедрения и после внедрения мероприятий воздействующих на технологическую составляющую расхода ЭЭ

Объем выпуска продукции, П, н.ч.	Значение общепроизводственного УРЭ $W_{уд.1}$, по исходной модели, кВтч/ н.ч.	Значение общепроизводственного УРЭ $W_{уд.3}$, по скорректированной модели, кВтч/усл.ед	Изменение ЭЭФ $\Delta ЭЭФ = (W_{уд.3} - W_{уд.1}) / W_{уд.1} \cdot 100\%$, %
5000	100960	97425	3,5
10000	136310	129240	5,2
15000	171660	161055	6,2
20000	207010	192870	6,8
25000	242360	224685	7,3
30000	277710	256500	7,6
35000	313060	288315	7,9
40000	348410	320130	8,1
45000	383760	351945	8,3
50000	419110	383760	8,4

Выводы:

1. Одно и то же мероприятие по энергосбережению в зависимости от загрузки производства ПП дает различный эффект, оцениваемый по снижению УРЭ при одних и тех же объемах выпуска продукции.

2. Установлено, что энергосберегающие мероприятия, направленные на снижение условно-постоянной расхода ЭЭ дают максимальный эффект в условиях низких объемов выпуска продукции. Энергосберегающие мероприятия, снижающие технологическую составляющую расхода ЭЭ обеспечивают максимальный эффект в условиях максимальной производительности производства.

3. При работе производства в условиях высокой загрузки влияние условно-постоянной составляющей расхода ЭЭ на величину удельного расхода снижается, а значит и снижается эффективность мероприятий, снижающих условно-постоянную составляющую расхода ЭЭ.

Литература:

1. Анищенко, В. А. Оценка и нормирование показателей энергоэффективности предприятий трубопроводного транспорта нефти / В. А. Анищенко, Н. В. Токочакова. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 233 с.
2. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» // Энергоэффективность. №7.1998. -С.2-5.
3. Токочакова, Н. В. Методология оценки энергоэффективности транспорта нефти на основе моделирования электропотребления: автореф диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Белорусский национальный технический университет, Учреждение Образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» Минск-Гомель, 2007 - 44 С.

УДК 621.314

ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Гороховик И. В

Научный руководитель – д.т.н., доцент Анищенко В.А.

При проектировании и в условиях эксплуатации предусматривают экономически целесообразный режим работы трансформаторов, сущность которого состоит в следующем. При наличии на подстанции нескольких трансформаторов, могущих работать на общие шины, число включенных трансформаторов определяется условием минимума потерь мощности в этих трансформаторах при работе их по заданному графику нагрузки. При этом учитывают не только потери активной мощности в самих трансформаторах, но и потери активной мощности, возникающие в системе электроснабжения по всей цепочки питания от генераторов электростанций до рассматриваемых трансформаторов из-за потребления трансформаторами реактивной мощности. Эти потери называют приведенными в отличие от потерь в самих трансформаторах, определяемых по выражению:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_x + K_3^2 \cdot \Delta P'_K, \tag{1}$$

где $\Delta P'_x = \Delta P_x + K_{и.п.} \cdot \Delta Q_x$ - приведенные потери XX трансформатора, учитывающие потери активной мощности как в самом трансформаторе, так и создаваемые им в элементах всей системы электроснабжения зависимости от реактивной мощности, потребляемой трансформатором; $\Delta P'_K = \Delta P_K + K_{и.п.} \cdot \Delta Q_K$ - приведенные потери КЗ.

Кривые приведенных потерь мощности трансформаторов в зависимости от изменения нагрузки $S_{нг}$ показаны на рис. 1.

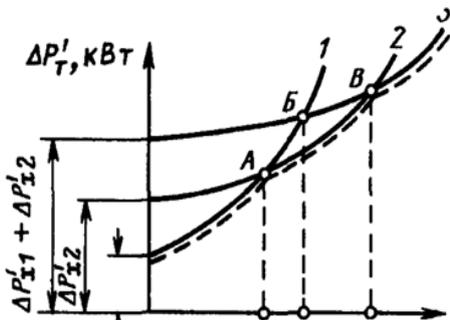


Рисунок 1. Зависимость приведенных потерь активной мощности $\Delta P'_T$ в силовых трансформаторах от изменения нагрузки $S_{нг}$: 1 и 2 - кривые потерь активной мощности в трансформаторах 1 и 2 при раздельной работе; 3 - кривая суммарных потерь активной мощности в трансформаторах 1 и 2 при параллельной работе; $\Delta P'_1, \Delta P'_2$ - приведенные потери XX в трансформаторах 1 и 2

Выражение (1) можно представить в иной форме:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_x + \frac{\Delta P'_K}{S_{ном.т.}^2} \cdot S_{нг}^2$$

Для упрощения дальнейшей записи обозначим:

$$\Delta P'_x = a \text{ и } \frac{\Delta P'_K}{S_{ном.т.}^2} = b,$$

тогда $\Delta P'_T = a + b \cdot S_{нг}^2$.

Это уравнение параболы, и поэтому на рис.1 точки пересечения А, Б и В, соответствующие нагрузкам S_1, S_2, S_3 лежащие каждая одновременно на двух параболах (например, точка А) имеют координаты, удовлетворяющие совместному решению уравнений $\Delta P'_{T1} = a_1 + b_1 \cdot S_{нг}^2$ и $\Delta P'_{T2} = a_2 + b_2 \cdot S_{нг}^2$. В общем случае это может быть любая пара подобных кривых, причем каждая соответствует определенному количеству параллельно включенных трансформаторов.

Для точки А справедливо равенство $\Delta P'_{T1A} = \Delta P'_{T2A}$, т.е. $a_1 + b_1 \cdot S_{нг.А}^2 = a_2 + b_2 \cdot S_{нг.А}^2$, откуда

$$S_{нг.А} = \sqrt{\frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}}$$

или, что равносильно,

$$S_{нг.А} = \sqrt{\frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}} \tag{2}$$

Из (2) для трансформаторов одинаковой мощности получаем

$$S_{нгр.А} = S_{ном.т} \cdot \sqrt{n \cdot (n - 1) \cdot \frac{\Delta P'_x}{\Delta P'_k}}$$

Точку А и соответствующую ей нагрузку $S_{нгр.А}$ определяют графическим и аналитическим способами аналитический способами. Аналитический способ является более удобным, так как обычно в расчетах интересуются только точками А, Б и В и соответствующими им нагрузками S_1, S_2, S_3 .

Выражением (2) пользуются для установления экономически целесообразного режим работы двух параллельно работающих трансформаторов, а также для решения вопроса об экономической целесообразности присоединения к группе трансформаторов дополнительно ещё одного трансформатора[1].

На двухтрансформаторной подстанции установлены трансформаторы разной номинальной мощности

Условно примем, что номинальная мощность первого трансформатора Т1 меньше мощности второго Т2.

На рис.2 показаны зависимости потерь активной мощности трансформаторе меньшей номинальной мощности $\Delta P_{Т1}$, большей номинальной мощности $\Delta P_{Т2}$ и суммарные потери в двух трансформаторах ΔP_{Σ} от нагрузки потребителей $S_{нгр}$. Точка пересечения графиков $S_{гр1}$ соответствует значению граничной мощности нагрузки, при которой потери мощности в Т1 равны потери мощности в Т2. Точка пересечения графиков $S_{гр2}$ соответствует значению граничной мощности нагрузки, при которой потери мощности в Т2 равны суммарная потерям мощности в Т1 и Т2. Следовательно, значение ограниченной мощности $S_{гр1}$

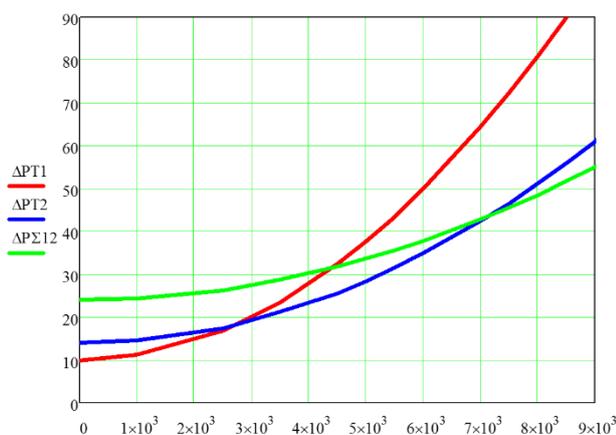


Рисунок 3 График потерь активной мощности в трансформаторах различной номинальной мощности.

определяют наиболее выгодного с точки зрения потерь мощности перехода от режима работы трансформатором меньшей мощности к трансформатору большей мощности, и наоборот. Значение граничной мощности $S_{гр2}$ определяет точку наиболее выгодного перехода от режима работы трансформатором большей мощности к работе двумя параллельными трансформаторами, и наоборот.

Значение граничной мощности $S_{гр3}$ не имеет качественной оценки для определения экономических режимов работы двухтрансформаторной подстанции, значение мощности находится выше кривой минимальных потерь мощности. Мощность

$S_{гр3}$ определяет точку наиболее выгодного перехода от режим работы двумя трансформаторами к работе одним трансформатором меньшей мощности, и наоборот.

Потери мощности в трансформаторе меньшей номинальной мощности:

$$\Delta P'_{Т1} = \Delta P'_{x1} + \frac{\Delta P'_{к1}}{S_{ном.т1}^2} \cdot S_{нгр1}^2$$

Потери мощности в трансформаторе большей номинальной мощности:

$$\Delta P'_{Т2} = \Delta P'_{x2} + \frac{\Delta P'_{к2}}{S_{ном.т2}^2} \cdot S_{нгр2}^2$$

При параллельной работе трансформаторов минимум потерь мощности соответствует распределению нагрузки пропорционально установленной мощности трансформаторов:

$$\frac{S_{нг1}}{S_{номт1}} = \frac{S_{нг2}}{S_{номт2}}$$

где $S_{нг1}$ и $S_{нг2}$ - мощность нагрузки первого и второго трансформаторов соответственно.

Суммарная мощность потерь при работе двух трансформаторов:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P'_{x1} + \Delta P'_{x2} + \frac{\Delta P'_{к1}}{S_{номт1}^2} \cdot S_{нг}^2 + \frac{\Delta P'_{к2}}{S_{номт2}^2} \cdot S_{нг}^2$$

Значения граничных мощностей нагрузки:

$$S_{гр.1} = \sqrt{\frac{S_{номт1}^2 \cdot S_{номт2}^2 \cdot (\Delta P'_{к2} - \Delta P'_{к1})}{S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к1} - S_{номт1}^2 \cdot \Delta P'_{к2}}}$$

$$S_{гр.2} = \left(1 + \frac{S_{номт1}}{S_{номт2}}\right) \cdot \sqrt{\frac{S_{номт2}^4 \cdot \Delta P'_{к1}}{(S_{номт1} + S_{номт2})^2 \cdot \Delta P'_{к2} - S_{номт2}^2 \cdot (\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2})}}$$

$$S_{гр.3} = \left(1 + \frac{S_{номт1}}{S_{номт2}}\right) \cdot \sqrt{\frac{S_{номт1}^2 \cdot S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к2}}{(S_{номт1} + S_{номт2})^2 \cdot \Delta P'_{к1} - S_{номт1}^2 \cdot (\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2})}}$$

Экономичный режим работы двухтрансформаторной подстанции с трансформаторами разной номинальной мощности определяется минимальными потерями в трансформаторах на всем диапазоне нагрузок. Потери мощности описывается кривой минимальных потерь $\Delta P_{x1} \rightarrow S_{нг.1} \rightarrow S_{нг.2} \rightarrow \Delta P_{\Sigma 12}$ на графике (рис.2).

На трехтрансформаторной подстанции установлены трансформаторы разной номинальной мощности

Значения граничных мощностей нагрузки:

$$S_{гр.1 \rightarrow 2} = \sqrt{\frac{S_{номт1}^2 \cdot S_{номт2}^2 \cdot (\Delta P'_{к2} - \Delta P'_{к1})}{S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к1} - S_{номт1}^2 \cdot \Delta P'_{к2}}}$$

$$S_{гр.2 \rightarrow 3} = \sqrt{\frac{S_{номт2}^2 \cdot S_{номт3}^2 \cdot (\Delta P'_{к3} - \Delta P'_{к2})}{S_{номт3}^2 \cdot \Delta P'_{к2} - S_{номт2}^2 \cdot \Delta P'_{к3}}}$$

$$S_{гр.3 \rightarrow [2+3]} = \left(1 + \frac{S_{номт2}}{S_{номт3}}\right) \cdot \sqrt{\frac{S_{номт3}^4 \cdot \Delta P'_{к2}}{(S_{номт2} + S_{номт3})^2 \cdot \Delta P'_{к3} - S_{номт3}^2 \cdot (\Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})}}$$

$$S_{гр.[2+3] \rightarrow [1+2+3]} = \sqrt{\frac{(\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3}) - (\Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})}{(\Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})} \cdot \frac{(\Delta P'_{к1} + \Delta P'_{к2} + \Delta P'_{к3})}{(S_{номт1} + S_{номт2} + S_{номт3})^2}}$$

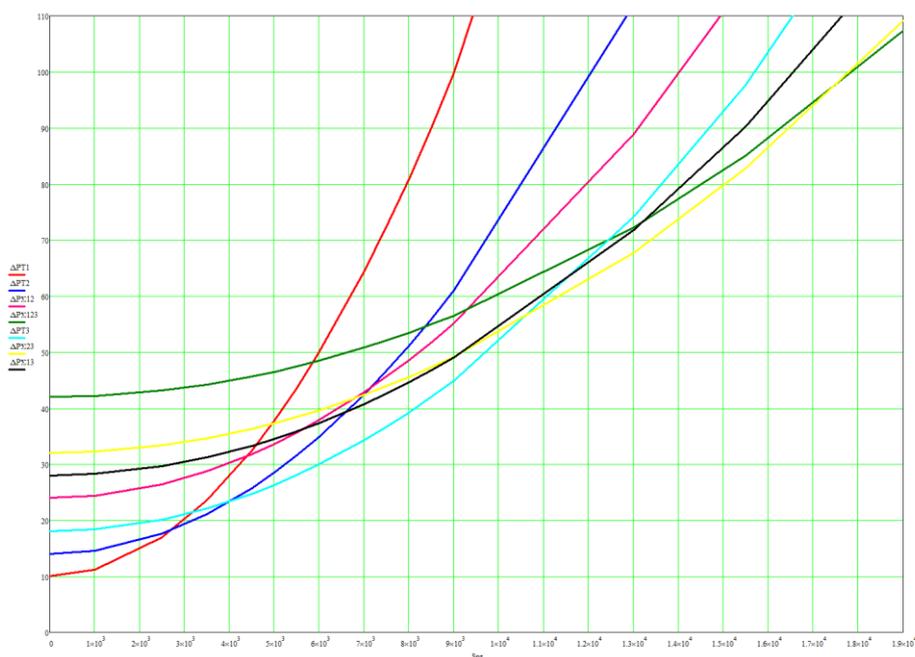


Рисунок. 3 График потерь активной мощности в трансформаторах различной номинальной мощности.

Экономичный режим работы трехтрансформаторной подстанции с трансформаторами разной номинальной мощности определяется минимальными потерями в трансформаторах на всем диапазоне нагрузок. Потери мощности описывается кривой минимальных потерь $\Delta P_{x1} \rightarrow S_{нг.1} \rightarrow S_{нг.2} \rightarrow S_{нг.3} \rightarrow S_{нг.23} \rightarrow \Delta P_{\Sigma 123}$ на графике (рис.3).

Литература:

1.Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: /Под общ. ред. А.А. Федорова. Т.2. Электрооборудование– Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 592 с., [37-38] ил.

УСТАНОВКИ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ, РАБОТАЮЩИХ НА БИОГАЗЕ

Журавлёв Е.Д.

Научный руководитель –к. т. н, доцент Олешкевич М.М..

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 ≤+30 °С - при температуре окружающей среды +43,3 °С	- не потребляет - 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.

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% O₂
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 621.32

АРХИТЕКТУРНО – ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Ахундова Ю.Д.

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

К архитектурно-художественному освещению относят освещение фасадов зданий и исторических памятников. Оно разделяется на заливающее освещение и акцентирующее освещение. Заливающее освещение – это общее освещение фасада здания или памятника, при котором отсутствует значительное выделение светом отдельных элементов на освещаемой поверхности. Акцентирующим освещением преднамеренно выделяют светом отдельные архитектурные элементы (статуи, колонны, декоративную лепнину) на неосвещенном или менее освещенном фоне.

Архитектурно-художественное освещение фасадов зданий и памятников относится к наружному освещению, в котором ключевым понятием является подсветка. Она бывает светодиодной – самый современный тип подсветки, который появился совсем недавно и прижился на рынке благодаря своим преимуществам, главное из которых – уменьшение стоимости изделия при повышении его качества; неоновой - известная также как подсветка газосветными лампами; люминесцентными лампами – наиболее популярный и простой вид подсветки; прожекторами – тип подсветки, применяемый для несветовых объемных букв, установленных в крышечной конструкции. Прожектор - это световой прибор, перераспределяющий свет лампы внутри малых телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока. Прожектор состоит из источника света и рефлектора или линзы, концентрирующих свет в нужном направлении. В качестве рефлектора обычно используется параболическое, либо гиперболическое зеркало. В качестве линзы обычно используется линза Френеля, что позволяет достичь меньших габаритов и массы, чем при использовании обычных линз. Прожекторы, предназначенные для освещения открытых пространств, требуют обязательной защиты от пыли и влаги. Прожекторы бывают: дальнего действия (используются в военном деле), подающие круглые, чуть вытянутые, в форме конуса, световые пучки света, вырабатываемые стеклянными параболическими отражателями диаметром до 3 м;

заливающего света (для освещения зданий, стадионов, сцен и пр.);

сигнальные (для передачи информации); акцентные (для акцентного освещения различных объектов).

В прожекторах используются различные виды источников света, такие как светодиод или светоизлучающий диод - это полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении.

Металлогалогенные лампы. Свечение происходит под воздействием электрического тока на пары смесей, состоящих из ртути и иодидов различных металлов, заключённых в герметичной стеклянной колбе.

Дуговые ртутные лампы, представляющие собой электрический источник света, в котором для генерации оптического излучения используется газовый разряд в парах ртути. Ртутные лампы являются разновидностью газоразрядных ламп.

Натриевая газоразрядная лампа (НЛ) — электрический источник света, светящимся телом которого служит газовый разряд в парах натрия.

Люминесцентная лампа-это газоразрядный источник света, в котором электрический разряд в парах ртути создаёт ультрафиолетовое излучение, которое преобразуется в видимый свет с помощью люминофора.

Неоновая лампа-это газоразрядная лампа, наполненная в основном неоном под низким давлением. В зависимости от газа, которым наполнена лампа цвет свечения получается

различным. Так при заполнении неоном цвет свечения - красно-оранжевый, при аргоне - сиреневый, при гелии - синим и т.д.

С точки зрения энергетики, крайне актуально рассмотрение характеристик различных видов источников света. Ими являются: напряжение U , В;

Потребляемая ими в процессе работы мощность P , кВт.

Световая отдача H , $\frac{лм}{Вт}$ - отношение излучаемого источником светового потока к потребляемой им мощности. Является показателем эффективности и экономичности источников света.

Срок службы τ , ч.

Также существуют цветовые характеристики:

коэффициент цветопередачи R_a -параметр, характеризующий уровень соответствия естественного цвета тела видимому (кажущемуся) цвету этого тела при освещении его данным источником света;

цветовая температура T_c , К- характеризует видимый цвет источника.

В таблице 1 собраны все вышеописанные характеристики для рассмотренных ранее видов источников.

Таблица 1

№ п.	Вид источника света	U, В	P, Вт	$\frac{лм}{Вт}$ H, $\frac{лм}{Вт}$	τ , ч	R_a	T_c , К
1	Металлогалогенные лампы	110-230	175-3500	57-110	10000-20000	>90	4200
2	Дуговые ртутные лампы	125-145	125-10000	47,2-58,5	12000-18000	40-59	2000
3	Дуговые натриевые лампы	90-100	50-400	120	10000-20000	<30	2100
4	Светодиоды	12-220	3-20	70-90	<50000	>90	1800-6600

Важную роль играют пускорегулирующие аппараты и драйверы.

Для дуговых ртутных и натриевых ламп используются так называемые дроссели или пускорегулирующие аппараты. Немецкое слово «drossel» переводится как «ограничитель». В этом и заключается одна из двух основных функций данного устройства – дроссель ограничивает напряжение, подаваемое на электроды газоразрядной лампы во время ее горения. Другая функция – создание на короткое время высокого пускового напряжения, способного образовать между электродами лампы электрический разряд, необходимый для её зажигания.

Технические характеристики:

Таблица 2

Наименование	ПРА для ламп ДРЛ		
	125	250	400
Номинал	1,15	2,15	3,25
Ток настройки аппарата, А	220±10%	220±10%	220±10%
Номинальное напряжение, В	50	50	50
Частота, Гц	14	21	25
Потери мощности, Вт (не более)	0,53	0,53	0,53
Коэффициент мощности, (не более)			

Наименование	ПРА для ламп ДНаТ		
	100	150	250
Номинал			
Ток настройки аппарата (А)	1,2	1,8	3,1
Номинальное напряжение, В	220±10%	220±10%	220±10%
Частота, Гц	50	50	50
Потери мощности, Вт (не более)	17	25	29
Коэффициент мощности, (не более)	0,43	0,43	0,43

Устройство питания светодиода должно иметь элементы, ограничивающие ток через светодиод в соответствии с его характеристиками. Светодиод, как и любой полупроводниковый диод, имеет нелинейную вольтамперную характеристику, которая меняется под воздействием температуры и, хоть и незначительно, но отличается у разных излучателей, даже выпущенных в одной партии. Поэтому ограничивающие ток элементы должны учитывать, как разброс параметров светодиодов, температурный и временной уход, так и изменения питающего напряжения. Известно множество схем питания светодиодов. Наиболее простым решением для ограничения тока светодиода является резистор, включенный последовательно с светодиодом, однако, такой вариант не слишком экономичен. Немалая часть подводимой мощности будет выделяться на этом резисторе в виде тепла. Наиболее популярные на данный момент эффективные схемы управления — на основе импульсных преобразователей (импульсные источники) и на основе емкостных элементов (емкостные источники). Другой способ питания — стабилизация тока через светодиод с помощью электронной схемы. Для таких целей выпускаются специальные микросхемы, содержащие один или несколько стабилизирующих ток выходов.

Среди исследованных источников света наиболее предпочтительным оказался светодиод. Преимущество его, с экономической точки зрения заключается в количестве потребляемой мощности (3-20 Вт), что отличается от потребляемой мощности других источников. Световая отдача H ($70 \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$ - $90 \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$) уступает лишь Дуговым натриевым лампам

($120 \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$). Среди всех видов источников света данный вид оказался и обладающим наиболее продолжительным сроком службы (до 50000 часов). Одна из наиболее ярко выделяющихся характеристик является цветовая температура, которая находится в диапазоне от 1800 К до 6600 К, что позволяет получать цвета разного спектра. Конечно же, необходимо отметить, что светодиодный источник света обладает самым высоким коэффициентом цветопередачи (более 90), по данному показателю ему не уступает лишь металлогалогенный.

Литература:

1. Лесная О.И. Декоративно-художественное освещение архитектурной среды: Учебное пособие. – Харьков: ХНАГХ, 2008. – 284 с.
2. Электрическое освещение: учебник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. - Минск: Техноперспектива, 2011. - 543 с.

УДК 621.06

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Беляцкий Р. А.

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

Асинхронные машины используют главным образом в качестве электрических двигателей трехфазного тока. Простота устройства и высокая надежность позволяют применять их в различных отраслях техники для привода станков, грузоподъемных и землеройных машин, компрессоров, вентиляторов и пр. В системах автоматического регулирования широко используют одно- и двухфазные управляемые асинхронные двигатели, асинхронные тахогенераторы, а также сельсины.

Электрические машины, в том числе и асинхронные двигатели, принято разделять по мощности на три группы: большой, средней и малой мощности. В общем случае представители разных групп, кроме мощности, отличаются также конструктивными, функциональными, эксплуатационными и прочими особенностями. Деление на три группы является условным и не имеет четких границ. К машинам малой мощности относятся микромашины мощностью от долей ватта до 2кВт и машины до 10 кВт. Асинхронные машины малой мощности работают на переменном токе нормальной или повышенной частоты.

Электрические машины малой мощности представляют собой достаточно широкий класс технических объектов, применяемых в различных областях техники и народного хозяйства, работают при различных условиях эксплуатации и внешних воздействиях. Электрические машины малой мощности относятся к весьма сложным объектам. Каждая из них характеризуется сотнями величин, параметров или характеристик, отражающих энергетические, электрические, магнитные, механические, акустические и прочие свойства. Машины малой мощности отличаются от машин средней и большой мощности не только массовостью производства и применения, но, главным образом, существенно большим многообразием выполняемых функций и конструктивных исполнений, особенностями применения и эксплуатации.

Электрические машины малой мощности имеют, как правило, закрытое конструктивное исполнение, рассчитанное на работу в любом положении в пространстве, длительные сроки сохраняемости. Системы параметров и характеристик большинства видов таких машин обладают существенными особенностями по сравнению с системами параметров машин средней и большой мощности, что обусловлено в основном спецификой назначения и функционирования машин малой мощности.

Вращающиеся электрические машины малой мощности обычно выполняют с самовентиляцией. В этом случае охлаждение нагретых частей осуществляется вентилятором, который насаживают на вал ротора. В некоторых машинах вентиляторами являются вентиляционные лопасти или другие приспособления, пристраиваемые к торцовой части сердечника ротора. В зависимости от вида питающего напряжения и обмотки статора различают трехфазные и однофазные асинхронные двигатели.

Управляемые двухфазные асинхронные двигатели малой мощности широко применяются в точных приборных и следящих системах, в счетно-решающих устройствах. Они используются и в качестве исполнительных двигателей (ИД) автоматических устройств промышленного назначения малой мощности. Назначение ИД — преобразование электрического сигнала (чаще всего напряжения управления) в механическое перемещение вала. Асинхронные исполнительные двигатели выполняются мощностью от сотых долей ватта до нескольких сотен ватт как для стандартной (50 Гц), так и для повышенных (200, 400, 500 и 1000 Гц) частот при синхронной скорости вращения от 1500 до 30 000 об/мин. Ротор асинхронного ИД может иметь следующие конструктивные модификации: полый

немагнитный, обычный с обмоткой типа «белчья клетка»; полый или сплошной ферромагнитный с немагнитным покрытием или без него.

В настоящее время электрические машины общего назначения выпускаются в виде серий, охватывающих определенный диапазон мощностей, частот вращения и напряжений. Машины серий обладают общностью конструктивных решений и технологии их изготовления, а также однотипностью применяемых материалов. В пределах серии стремятся к возможно более широкой унификации узлов и деталей машин. При серийном производстве близкие по мощности машины выполняются на одном диаметре якоря и отличаются лишь активной длиной. В современных сериях размером, определяющим габарит машины, является высота оси вращения, т. е. расстояние от оси вращения вала до опорной плоскости двигателя. С этим размером жестко связаны установочные и присоединительные размеры машины. В настоящее время основной серией асинхронных двигателей, выпускаемой промышленностью, является серия АИ. Двигатели малой мощности этой серии изготавливаются на синхронные частоты вращения 3000, 1500, 1000 и 750 об/мин. По своим показателям она превосходит серию 4А: имеет меньшие массогабаритные показатели (на 10 – 15%) и лучшие характеристики. Коэффициент полезного действия и $\cos\phi$ у машин этой серии 1 – 1,5 % выше, чем у машин серии 4А. При изготовлении машин этой серии применяется механизированная укладка обмоток, что позволяет уменьшить длину лобовых частей на 20% и сократить расход обмоточного провода на 10%. Для обеспечения высокой надежности обмотки все двигатели имеют изоляцию класса нагревостойкости F при расчетном нагреве обмоток, соответствующем классу В.

Асинхронные двигатели малой мощности имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами машин, в частности с коллекторными: 1) простота конструкции и низкая стоимость производства; 2) отсутствие источника радиопомех; 3) малая шумность двигателя; 4) простота и надежность в эксплуатации.

В настоящее время выпускается достаточно большое количество серий асинхронных машин малой мощности для различных механизмов для эксплуатации в различных условиях, с разной степенью защиты и предназначенных для различных номинальных режимов работы. Наиболее востребованными являются асинхронные электродвигатели малой мощности серии:

АИМ-М - трехфазные взрывозащищенные с короткозамкнутым ротором предназначены для эксплуатации во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок. Напряжение питающей сети 220 - 660 В, частота 50 Гц. Номинальный режим работы: продолжительный S1. Степень защиты: IP54;

АИМА-М - трехфазные взрывозащищенные электродвигатели с короткозамкнутым ротором предназначены для привода запорной арматуры во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок. Напряжение питающей сети 220-660В, частота 50 Гц. Номинальный режим работы: S3 с ПВ - 25%. Степень защиты: IP54;

АИУ - трехфазные асинхронные взрывозащищенные электродвигатели с короткозамкнутым ротором предназначены для эксплуатации в подземных выработках угольных и сланцевых шахт, а также помещениях и наружных установках, опасных по метану и угольной пыли. Напряжение питающей сети 220-660В, частота 50 Гц. Номинальный режим работы: продолжительный S1. Двигатели допускают работу в режимах S2, S3, S4 и S6. Исполнение по взрывозащите: ПВ - 3В. Степень защиты: IP54.

АЗО - трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором предназначены для привода машин и механизмов общепромышленного применения. Напряжение питающей сети 220-660В, частота 50 Гц. Номинальный режим работы: продолжительный S1. Двигатели допускают работу в режимах: S2, S3, S4 и S6. Степень защиты: корпуса и коробки выводов - IP54; кожуха вентиляторов - IP20;

АЗОС - трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором предназначены для привода машин и механизмов общепромышленного применения. Напряжение питающей сети 220-660В, частота 50 Гц. Номинальный режим работы:

продолжительный S1. Двигатели допускают работу в режимах S2, S3, S4 и S6. Степень защиты: корпуса и коробки выводов - IP54; кожухов вентиляторов - IP20;

2ДАВ71-4 - Электродвигатели асинхронные однофазные конденсаторные встраиваемые предназначены для привода активатора бытовых стиральных машин. Номинальный режим работы: S3 - 60%;

АЗОК - Электродвигатели асинхронные однофазные конденсаторные предназначены для привода различных устройств и механизмов машин. Номинальный режим работы: продолжительный S1. Двигатели допускают работу в режимах S2, S3, S4 и S6;

ДАК - Двигатели являются комплектующими для изделий бытового и промышленного назначения (электросоковыжималки, стиральные машины, электроинструмент и т. п.). Двигатели изготавливаются по ТУ 16-05755950-083-93, Номинальный режим работы продолжительный (S1) или повторно-кратковременный (S3) по ГОСТ 183. Класс нагревостойкости изоляции двигателей В по ГОСТ 8865. Степень защиты двигателей IP 10 по ГОСТ 17494.

Литература

1. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1987.
2. Ермолин Н.П. Электрические машины малой мощности. - М.: Высшая школа, 1961. - 503 с.
3. Кацман М.М. «Электрические машины. Учебник», М., 2003 г.
4. Дмитриев В.Н. Проектирование и исследование асинхронных двигателей малой мощности: Учебное пособие: / В. Н. Дмитриев. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 92с.
5. Асинхронные машины малой мощности [Электронный ресурс]. – 2012– Режим доступа http://nktechnology-group.ru/asinhronnye_elektrodivig 10.05.2016.

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Угаров М.С.

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

Традиционно в энергетике для прокладки в силовых сетях на низкое, среднее и высокое напряжение использовали кабели с бумажно-пропитанной изоляцией (БПИ). Силовые кабели с БПИ имеют высокие и стабильные электрические характеристики, но имеют ряд существенных недостатков. Это – сложный и малопроизводительный процесс их изготовления, ограничения при вертикальных прокладках из-за стекания пропиточного состава. Металлическая оболочка (обязательный элемент конструкции, так как пропитанная бумага не влагостойка) значительно удорожает и утяжеляет конструкцию.

Эти недостатки устраняются при использовании для кабелей изоляции из современных материалов, подвергаемых вулканизации (поперечной сшивке). Наиболее широко используемым материалом является полиэтилен. Создание трехмерной структуры путем образования поперечных связей между макромолекулами полиэтилена позволяет значительно улучшить свойства этого материала, соответственно, улучшаются и характеристики кабеля, выполненного с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ).

Промышленно развитые страны начали использовать СПЭ в качестве изоляционного материала ещё в 70-х годах прошлого века, и в настоящее время многие страны уже не производят и не используют кабели с бумажно-пропитанной изоляцией.

Основные преимущества кабелей с изоляцией из СПЭ:

- 1) низкая повреждаемость (по зарубежным данным, процент электрических пробоев на два-три порядка ниже, чем у кабелей с бумажной изоляцией);
- 2) низкие диэлектрические потери (коэффициент диэлектрических потерь 0,001 вместо 0,008 у кабелей с БПИ и 0,01 у кабелей с поливинилхлоридной изоляцией);
- 3) большая пропускная способность за счёт увеличения допустимой температуры нагрева жил: длительной - 90°C, при перегрузке - 130°C;
- 4) большой ток термической стойкости при коротком замыкании;
- 5) возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- 6) экологичный монтаж и эксплуатация (отсутствие свинца, масла, битума);
- 7) разработаны специальные муфты для соединений кабелей с БПИ и изоляцией из СПЭ, что позволяет применять кабели с полимерной изоляцией не только при прокладке новых линий, но и при ремонте существующих.

Как показал полувековой опыт эксплуатации кабельных линий, наряду с достоинствами, кабели с изоляцией из СПЭ имеют недостатки, в частности – триинги. Большую проблему составляет отсутствие конкретной методики по выбору типа кабеля с изоляцией из СПЭ. Рассмотрим, это подробнее.

В последнее время при строительстве линий электропередачи все чаще применяется новое техническое решение — линия с одножильными кабелями с изоляцией из СПЭ. К сожалению, в нормативно-техническую документацию (ТКП, ПУЭ и т.д.) до настоящего времени не внесены дополнения и изменения даже на кабели с БПИ, касающиеся токовых нагрузок, хотя изменения к ГОСТ 18410 были внесены в 1993 г. Информация по кабелям с изоляцией из СПЭ в этих документах полностью отсутствует. Также отсутствуют отраслевые стандарты по проектированию, прокладке, приемосдаточным и периодическим испытаниям кабельных линий с применением кабелей с изоляцией из СПЭ. В связи с этим производителям данных кабелей приходится разрабатывать инструкции по их применению.

Кабели с изоляцией из СПЭ имеют большую пропускную способность. Например, при равных условиях кабель с БПИ сечением 240 мм² можно заменить на кабель с изоляцией СПЭ сечением 185 мм². При этом в случае применения трехжильного кабеля не возникает

дополнительных требований к проектированию или прокладке кабеля с изоляцией СПЭ. Если необходимо передать еще большую мощность, то можно применять одножильный кабель с изоляцией из СПЭ. Однако при этом у проектной организации могут возникнуть вопросы, так как в нормативных документах нет четкого определения, как должен быть заземлен экран одножильного силового кабеля и в каких случаях допускается его эксплуатация с односторонним заземлением, когда необходимо выполнить его транспозицию. При этом может сказываться отсутствие достаточного опыта проектирования, монтажа и наладки, что приводит к серьезным проблемам при эксплуатации линий электропередачи с одножильными кабелями.

Основные проблемы связаны с тем, что применяются одножильные кабели больших сечений. Например, на Сочинской газотурбинной установке (ГТУ), где были использованы одножильные кабели на напряжение 10 кВ для выдачи мощности от генераторов, через несколько месяцев после начала эксплуатации кабели вышли из строя. Причиной стала ошибка проектной организации, которая при переходе через дорогу для надежности заложила каждую фазу в металлическую трубу, что при применении однофазной конструкции, работающей на переменном напряжении, делать категорически нельзя. Потребовалась полная замена кабельной линии. Были изменены трасса и условия прокладки. Заказчик принял решение — для возможности осмотра построить кабельную эстакаду.

Еще одна проблема, которая может возникнуть при применении одножильных кабелей, — выбор правильного варианта заземления экрана или металлической оболочки. Так, например, при небольшой длине (до 1 км) линии целесообразно выполнять одностороннее заземление экранов, а на другом конце устанавливать изолирующие кабельные муфты, но при этом необходимо произвести расчет напряжения. Неправильная прокладка или размещение одножильных кабелей приводит к созданию напряженностей, которые могут превышать допустимые уровни для обслуживающего персонала, а также влиять на работу микропроцессорной аппаратуры.

С помощью одностороннего заземления экранов одножильных кабелей, увеличения межфазного расстояния, прокладки без кабельных коробов можно повысить допустимую нагрузку на одножильные кабели, но при этом созданные магнитные поля в местах работы обслуживающего персонала и установки микропроцессорных устройств, а также наводки на контрольных кабелях значительно увеличатся. И наоборот, заземлив экраны с двух сторон, уменьшив межфазные расстояния, проложив кабели в стальных коробах, можно добиться уменьшения внешних влияний от одножильных кабелей, но получить перегретую изоляцию или необходимость ограничения нагрузки. Следовательно, проблема применения одножильных кабелей в сети генераторного напряжения должна рассматриваться в комплексе, а односторонний подход может приводить к их повреждениям.

В заключение отметим, что для успешного применения кабелей с изоляцией из СПЭ необходимо определить технико-экономические и эксплуатационные показатели, а также параметры потока отказов кабелей.

Литература

1. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ // СПб.: Изд-во “ЗЭУ”,— 2008. —104 с.
2. Пешков И. Б., Шувалов М. Ю. Электрохимическое старение полимерной экструдированной изоляции силовых кабелей: исследования, испытания, диагностика, оценка ресурса // Известия академии наук. Энергетика. 2008. №1. - С. 70-88.

УДК 631.32

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ В НАРУЖНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Кондратьев Е. В.

Научный руководитель – ст. преподаватель Калечиц В. Н.

В настоящее время сложно себе представить современный город, да и любой населенный пункт, без уличного освещения, которое в темное время суток при помощи искусственных источников света увеличивает видимость. Это сделано, прежде всего, для безопасности движения транспорта и людей. Статистика свидетельствует, что в грамотно освещенных населенных пунктах снижается количество ДТП в ночное время, а также чрезвычайно низка уличная преступность. По освещенному городу легко проехать, найти нужную улицу и дом, безопасно подойти к освещенному входу в подъезд. На данном этапе развития человечества большое внимание уделяется проблеме экономии электроэнергии. Одно из направлений решения стоящей проблемы заключается в экономии электроэнергии на освещение.

Рассмотрим эффективность применения светильников со светодиодными лампами в наружном освещении. Предположим, что вместо применяемых дуговых ртутных ламп (ДРЛ) мощностью 250 Вт, и более распространенных дуговых натриевых трубчатых ламп (известными как ДНаТ) мощностью 150 Вт, будут использоваться светильник со светодиодной лампой мощностью 120 Вт. Выбор таких мощностей ламп соответствует близкому по значению световому потоку [1].

Таблица 1 Сравнение ламп по ключевым параметрам.

	Ртутные газоразрядные лампы (ДРЛ)	Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ)	Светодиод (LED)
Мощность	250 Вт	150 Вт	120 Вт
Световой поток	13 000 лм	15 000 лм	13986 лм
Световая отдача	52 лм/Вт	100 лм/Вт	112 лм/Вт
Индекс цветопередачи	42	40	75

Ключевые параметры: мощность ламп, световая отдача, индекс цветопередачи, срок службы. Нужно отметить энергоэффективность светодиодов (120 Вт против 150 Вт и 250 Вт). При одинаковом световом потоке выглядит экономичнее светодиод (112 лм/Вт), когда у ДНаТ около 100 лм/Вт. Светодиоды, мощностью 120 Вт, имеют Ra около 75, в то время как ДРЛ и ДНаТ около 40-42. Соответственно спектр источника света шире у светодиодов. Заявленный срок службы ДРЛ и ДНаТ составляет около 10000-12000 часов, то светодиоды, заявляет производитель, способен служить от 30000 часов [2].

Перечислим основные преимущества и недостатки светодиодных ламп перед другими аналогами.

Плюсы:

- отсутствие ультрафиолетового излучения;
- низкий уровень электромагнитных пульсаций <1%;
- равномерный свет, без заметных мерцаний;
- направленное свечение;
- широкий диапазон цвета и оттенков освещения 2700-6700К;
- рабочий ресурс от 30 000 часов;

- большой выбор исполнения цоколя и способов установки;
- адаптация под любое питающее напряжение 12-220 В;
- гарантия от производителя;
- световой поток обладает высокой однородностью и отсутствием мерцания

Световой поток равномерно распределяется по всему освещаемому пространству, обладая высокой насыщенностью и ярким цветом;

- обладают повышенным показателем механической прочности, стойкости к вандализму, стойкости к повышенным вибрациям, присущим промышленным и транспортным объектам;

- защищены от проникновения пыли и влаги, и не подвержены негативному воздействию осадков и других внешних факторов;

- чрезвычайно стойки к пониженным температурам и неограниченному количеству циклов вкл./выкл;

Минусы:

- все еще достаточно дорогие;
- недостаточно изучено влияние на здоровье;
- при замене, необходимы значительные начальные капиталовложения [2], [4].

Огромное количество плюсов позволит значительно сэкономить как на качестве освещения, на потреблении электроэнергии, так и на монтажных работах по замене ламп.

Был проведён примерный расчёт срока окупаемости светильника со светодиодной лампой при замене ДРЛ и ДНаТ, который показал, что замена на светодиоды окупят ДРЛ 250 Вт примерно через 5-6 лет, ДНаТ 150 Вт примерно через 10-11 лет. Затраты на обслуживание для светильников со светодиодами будут значительно меньше, так как они обладают повышенным показателем механической прочности, стойкости к вандализму, стойкости к повышенным вибрациям; также удорожание электроэнергии и снижение цены на светильники со светодиодными лампами – следовательно сроки окупаемости будут уменьшаться [2].

Экономия электроэнергии - крайне важный аспект жизни современного человеческого общества. В качестве новых технологических решений в этой области можно рекомендовать:

- применение современных систем управления освещением;
- применение современной осветительной арматуры;
- применение светильников брендовых производителей, с большим опытом работы в данной сфере;

Современные системы управления позволяют автоматически отключать или уменьшать уровень освещенности с помощью одного или нескольких элементов управления в тех местах, где допустимо такое регулирование освещенности [4].

Были рассмотрены варианты использования светодиодных светильников с солнечными батареями. Плюсы использования автономных светодиодных установок:

- такие светильники оснащены датчиком освещенности, который автоматически включает лампу в темное время суток;
- оборудование таких светильников оснащено датчиком движения и позволяет включать их автоматически в нужный момент;
- нет расходов на электроэнергию;
- такими светильниками можно реализовать любую интересную идею ландшафтной или архитектурной подсветки;
- полная независимость от внешних сетей;

• возможность создания освещения на отдалённых участках без доступа к электросетям;

- бескабельная система;
- недорогое обслуживание;
- надёжность и длительный срок эксплуатации;
- яркость и максимальная естественность света;
- свобода в выборе цвета освещения (светодиоды имеют разные цветов и оттенков).

Минусы:

- небольшая выработка энергии в пасмурные;
- возможны сбои в работе аккумуляторов в сильные морозы [4].

Светодиодные светильники с солнечными батареями чаще всего применяются на пешеходных переходах, улицах в населённых пунктах вдали от электросети, освещение рекламных щитов.

Таким образом можно сделать следующие выводы:

Высокая световая отдача, низкое энергопотребление, наличие светильников разной цветовой температуры позволяет использовать светодиодные источники света в уличном освещении. Замена ДРЛ и ДНаТ на светильники со светодиодами оправдана экономически.

Литература:

1. Козловская В. Б. Электрическое освещение: учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с., [12] л. цв. ил.
2. Энциклопедия освещения в России №1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://indeolight.com/>. – Дата доступа: 10.02.2016.
3. Источники света [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektrik.info/>. – Дата доступа: 10.02.2016.
4. Светодиодные лампы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://luminis.by/>. – Дата доступа: 10.02.2016.

УДК 621.311.6.03

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Швед Г.А.

Научный руководитель Колосова И.В.

Перенапряжения это завышенное или циклично завышенное напряжение. Обычно является следствием так называемого "перекося фаз" — неравномерная нагрузка на разных фазах. В этом случае на нагруженной фазе происходит постоянный провал, а на двух других постоянное перенапряжение. Перенапряжение сокращает срок службы самого разного оборудования. Временное перенапряжение бывает импульсным и высокочастотным.

Высокочастотные (ВЧ) перенапряжения на высоковольтном оборудовании подстанций являются результатом высокоскоростной перезарядки емкостей шин распределительных устройств при электрических пробоях изоляционных промежутков во время аварийных и эксплуатационных коммутаций.

Высокочастотные перенапряжения возникают:

- в начальный момент коротких замыканий на шинах подстанций;
- при не удаленных коротких замыканиях на присоединениях;
- при работе короткозамыкателей; при электрических пробоях межконтактных промежутков высоковольтных выключателей;
- при коммутациях разъединителями холостых участков шин и маломощных электрических аппаратов: шин ячеек выключателей, обходных систем шин, ячеек с трансформаторами напряжения, разрядниками и т.д.

Выполняя ремонтных и профилактических работ приходится отключать сборные шины, а также участки ошиновки, связывающие эти шины с оборудованием подстанции. Например, при ремонте шинного трансформатора тока силовые трансформаторы и линии переводятся на обходную систему шин, а оставшиеся без нагрузки шины отключаются. При ремонте трансформатора напряжения отключается его ячейка с присоединенными разрядниками и отрезками шин.

Если отключение ненагруженных шин производится выключателем, то повторных зажиганий дуги между расходящимися контактами выключателя практически нет и перенапряжений нет. Но иногда схема подстанции не предусматривает шиносоединительных выключателей и отключать ненагруженные шины приходится разъединителями. Многократные повторные зажигания дуги при этих операциях и возникающие при этом перенапряжения на отключаемых и на питающих шинах зависят от ряда факторов, основными из которых являются величина напряжения перед пробоем на контактах разъединителя, протяженность коммутируемых шин, особенности схемы подстанции.

При каждом пробое межконтактного промежутка разъединителя в высоковольтной схеме подстанции возникают затухающие электромагнитные колебания с частотой от 50 до 1000 кГц и длительностью 10-500 мкс. Число таких процессов за одну коммутацию может составить от нескольких десятков до нескольких тысяч в зависимости от параметров схемы, класса напряжения распределительных устройств, скорости движения контактов разъединителя, метеоусловий. Амплитуда колебаний меняется за коммутацию от сотен вольт при малых размерах межконтактного промежутка до $3,5 U_{фм}$ при максимальных пробиваемых расстояниях между контактами, что представляет реальную опасность для высоковольтного оборудования. Наблюдаются выходы из строя элементов настройки ВЧ заградителей, повреждение изоляции измерительных трансформаторов, разрушения разрядников.

Разрядники как средства защиты от перенапряжений, малоэффективны в связи с резким подъемом их вольт-секундная характеристика при предразрядных временах менее 1 мкс. Разрядники сами нуждаются в защите от высокочастотных перенапряжений. Высокие значения высокочастотных перенапряжений приводят к многократным срабатываниям

разрядников за одну коммутацию разъединителя, к перегрузке нелинейных сопротивлений сопровождающим током и отказу разрядников.

Мероприятия по ограничению высокочастотных перенапряжений и защите от них оборудования действующих подстанций следующие:

1. Регулировка приводов разъединителей на синхронность движения ножей.
2. Не допускать недовключенное положение разъединителя с горящим искровым разрядом.
3. На подстанциях 22 кВ и выше целесообразно исключить подачу напряжения на протяженные холостые шины и снятие напряжения с них с помощью разъединителей. Эти операции целесообразно выполнять выключателями.
4. При выборе типа или конструктивной модификации разрядников следует отдавать предпочтение разрядникам с повышенным коэффициентом импульса при малых предразрядных временах. Если при одной коммутации разъединителем наблюдается большое число срабатываний разрядника (более 5), то такой разрядник подлежит замене на другой тип или на нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН).
5. Выбор мест безопасной установки разрядников производится на основании предварительного анализа ВЧ перенапряжений, при невозможности выполнения этого условия разрядник необходимо поставить под защиту емкостных трансформаторов напряжения, специальных емкостей или аппаратов, входная емкость которых соизмерима с емкостью конденсаторов связи.
6. Нельзя подключать разрядник в средней части длинных (более 50 м) воздушных переходов от блочных трансформаторов, где наиболее вероятны перенапряжения. Разрядник должен быть максимально приближен к трансформатору.
7. Нельзя располагать разрядник вблизи разомкнутых концов рабочих и обходных систем шин или перед высокочастотными заградителями со стороны распределительных устройств, где наблюдаются наибольшие амплитуды высокочастотных перенапряжений.
8. При невозможности выполнения достаточного объема мероприятий по ограничению высокочастотных перенапряжений необходима замена разрядников на ОПН. Их следует рассматривать как средство ограничения высокочастотных перенапряжений, если частота последних не превышает 200 кГц. При более высоких частотах ОПН слабо реагирует на первый пик высокочастотных перенапряжений, но ограничивает последующие.
9. На протяженных системах шин, подлежащих частым коммутациям разъединителями в холостом режиме (обходные системы шин), использование емкостных трансформаторов напряжения нежелательно, следует применять электромагнитные трансформаторы, которые за счет принудительного снятия заряда с шин в 2 – 3 раза снижают как высокочастотные, так и низкочастотные перенапряжения. Их целесообразно устанавливать в трех фазах шин, при применении только в одной фазе в двух других необходимо предусмотреть специальные мероприятия, способствующие ускоренному снятию заряда.
10. Эффективным средством ограничения высокочастотных перенапряжений является использование на питающих шинах, на длинных воздушных переходах к силовым трансформаторам специальных емкостей типа конденсаторов связи.
11. Для распределительных устройств с протяженными сборными шинами эффективной мерой ограничения высокочастотных перенапряжений является деление шин продольными реакторами, в качестве которых могут быть использованы высокочастотные заградители без элементов настройки с упрощенной защитой.

SMART GRID – УМНЫЕ СЕТИ: НОВАЯ ИДЕЯ ИЛИ ЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»

Злотникова Е.

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

Умные сети электроснабжения (англ. Smart grid) — это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надёжность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии.

Smart Grid позволяет «умным» потребителям:

- обоснованно управлять использованием и генерацией энергии (участие в работе системы);
- повышать энергоэффективность системы эл. снабж.;
- снижать стоимость и объем энергопотребления
- сокращать выбросы углекислого газа, рационально включая в систему электроснабжения ВИЭ;
- внедрять различные интеллектуальные технологии, др.

В России идея Smart Grid в настоящее время выступает в качестве концепции интеллектуальной активно-адаптивной сети, которую можно описать следующими признаками:

- насыщенность сети активными элементами, позволяющими изменять топологические параметры сети;
- большое количество датчиков, измеряющих текущие режимные параметры для оценки состояния сети в различных режимах работы энергосистемы;
- система сбора и обработки данных (программно-аппаратные комплексы), а также средства управления активными элементами сети и электроустановками потребителей;
- наличие необходимых исполнительных органов и механизмов, позволяющих в режиме реального времени взаимодействовать со смежными энергетическими объектами;
- средства автоматической оценки текущей ситуации и построения прогнозов работы сети;
- высокое быстродействие управляющей системы и информационного обмена и др.

Необходимость создания сети Smart Grid

- Умные сети необходимы для обеспечения автоматического контроля и управления энергосистемой;
- Smart Grid позволяют в автоматическом режиме ликвидировать, а иногда и предупреждать аварийные ситуации, т. о. повышается эффективность и надежность сети, производство и распределение электроэнергии становится выгоднее;
- Умные сети необходимы при введении в энергосистему ВИЭ (генерируемая мощность переменна), возможно оперативное подключения доп. нагрузки, перетоки мощности; благодаря ВИЭ снижается воздействие на ОС;
- S.G. позволяет сократить потери в электрических сетях всех классов напряжения более чем на 25%, уменьшая потребность в новых мощностях;
- S.G. позволяет снизить объем капиталовложений в развитие распределительных и магистральных сетей за счет увеличения их пропускной способности, снизить капиталовложения в строительство новых объектов;
- S.G. играет важную роль в дальнейшем технологическом, экономическом и экологическом развитии общества (S.G. - катализатор экономического роста) - реализация положений концепции: развития инновационных технологий, расширение масштабов

производства высокоинтеллектуальной продукции, более интенсивное применение электрической энергии в транспортной инфраструктуре (автомобилей с электродвигателями), развитие новых рыночных отношений с привлечением в энергетику потребителей в качестве активных игроков рынка и др.

Программы разработки и внедрения умных сетей введены на государственном уровне в Европе, США, Китае и других развитых и развивающихся странах. Институтом энергетики НАН Беларуси ведется обоснование внедрения технологий S.G. в Республике Беларусь. Видимо, и в нашей стране в скором будущем появится возможность выбора поставщика электроэнергии (как мы уже привыкли поступать с тарифами мобильной связи), а про аварийные отключения электроэнергии в целых районах и вовсе забудем. Использование зарубежного опыта, не слепое копирование, а осознанное применение лучших практик в проекции на отечественную действительность, является образцом рационального использования общемирового опыта.

Литература

1. Автоматизация и ИТ в энергетике. Ледин С. № 11 (16), 2010.
2. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России. Дорофеев В.В., Макаров А.А. /Энергоэксперт, 2009, № 4 (15).
3. Актуальные направления применения информационных технологий в энергоснабжении. Кузнецов А.С. XI Международная научно-практ. конф. «Управление информационными ресурсами», «Интеллектуальные системы электроснабжения» Минск, 12 декабря 2014 г.– Мн., 2014.
4. Энергетика 2030: глобальные тренды и национальная энергетическая политика: моногр. / А. М. Забровский, М.М. Ковалев, А.С. Кузнецов.– Мн., 2013.
5. Энергетическая революция. XXI век. Перегрузка // Мировая политика и ресурсы World Policy and Resources Research (www.wprg.ru) – аналитические материалы.
6. Smart Grid по-русски Гуревич В. И.
7. Smart Grids European Technology Platform| www.smartgrids.eu (интернет-ресурс).
8. <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm> (интернет-ресурс).

УДК 621.32

СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНОГО УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Павлович Е.В.

Научный руководитель – ст. преподаватель Калечиц В. Н.

Системы автономного освещения на основе солнечных фотомодулей становятся всё популярней с каждым днём. Их используют для частных домов, дач, садовых участков, парков, городских улиц и автотрасс.

В зависимости от объекта освещения меняется состав системы освещения, но основной принцип - использования солнца, как источника энергии.

Преимущества автономного освещения

Автономное светодиодное освещение на основе фотомодулей имеет много преимуществ. К ним относится полная независимость от внешних сетей, что в сочетании с бескабельной системой даёт возможность создания освещения на отдалённых участках без доступа к электросетям.

К преимуществам можно отнести: отсутствие необходимости разрешительных документов, 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.

Минусами можно назвать, небольшая выработка энергии в пасмурные и возможны сбои в работе аккумуляторов в сильные морозы [2].

Области применения

1. Пешеходный переход

Комплект освещения пешеходного перехода предназначен для идентификации и освещения пешеходного перехода. 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 [4].

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.

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

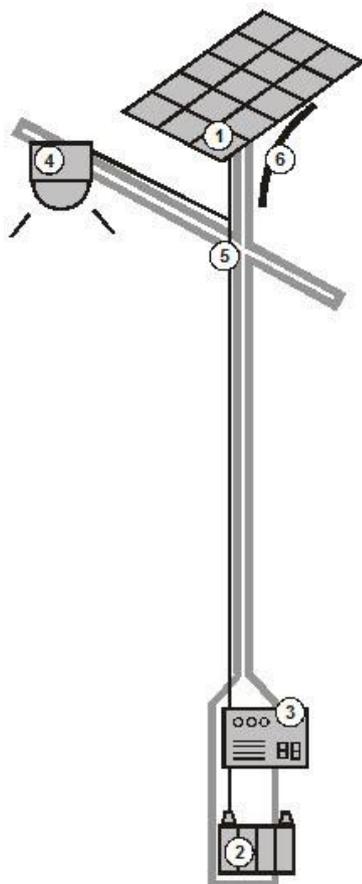


Рисунок 1

1.Первичный преобразователь солнечной энергии в электрическую, панели фотоэлектрическими элементами.

2.Аккумуляторы.

3.Контроллер заряда, обеспечивающий нормирование выходного напряжения первичного преобразователя, зарядку аккумуляторов

4.Светильник

5.Опора, провод, коммутационные

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 СБ) [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].

Таким образом можно сделать следующие выводы:

Наружное освещение необходимо не только в городе, где энергетическая инфраструктура хорошо развита, но и там, где до ближайшего подключения к центральной энергосети необходимо затратить большое количество ресурсов

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, так как требуется прокладка кабеля, ни оформления разрешений. Вы сами выбираете нужно место и просто монтируете солнечный светильник на любую подходящую опору, которой может являться столб, стена здание, забор или даже дерево!

Литература

1. Автономное освещение улиц и дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.multiwood.ru/>. – Дата доступа: 10.02.2016.
2. Автономное уличное освещение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atmosfera.ua/>. – Дата доступа: 10.02.2016.
3. Экономия с уличным освещением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://strmnt.com/>. – Дата доступа: 10.02.2016.
4. АГРОМАСТЕР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pk-agromaster.ru/>. – Дата доступа: 10.02.2016.