

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 16:45:12

Уникальный программный ключ: «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ

по дисциплине «История отрасли и введение в специальность»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

№	СОДЕРЖАНИЕ	Стр
	1. Введение	4
	2. Тематический план практических занятий	4
	3. Описание практических занятий	5
1	Тема № 1. Первые наблюдения и начало экспериментальных исследований магнитных и электрических явлений. Жизнь и научные исследования М. В. Ломоносова.	5
2	Тема № 2. Провозвестник эпохи электричества Алессандро Вольты. Выдающиеся открытия А. Вольты. Создание «вольтова столба». Жизнь и научные исследования академика Василия Петрова. Жизнь и научные исследования Ш. Кулона.	12
3	Тема №3. Жизнь и научные исследования Луиджи Гальвани. Научный подвиг Майкла Фарадея. М. Фарадей – основоположник теории электромагнитного поля.	19
4	Тема №4. Жизнь и научные исследования Г. С. Эрстеда. Основатель электродинамики Андре Мари Ампер. А. Ампер: путь в науку. Георг Ом: через тернии к славе. Ом. Закон Ома.	21
5	Тема №5. Первые электрические машины. Первый генератор электрического тока. Открытие химических, тепловых, световых и магнитных действий тока.	25
6	Тема №6. Электродинамика. Основные законы электрической цепи. Начало практических применений электрической энергии. Важнейшие открытия и исследования в области электромагнетизма. Создатель первого магнитоэлектрического генератора Б. Якоби.	30
7	Тема №7. Первые источники электрического освещения. Павел Яблочков – создатель «русского света».	33
8	Тема №8. Изобретение трансформатора. Исследования в области передачи электрической энергии на большие расстояния.	35
9	Тема №9. Создание первых асинхронных двигателей. У истоков электрификации. Основоположник трехфазных систем Михаил Доливо-Добровольский.	38
10	Тема №10. Зарождение электроэнергетики. Энергетическая техника. Исторические условия возникновения и развития энергетической техники. Роль электрического освещения в становлении электроэнергетики.	42
11	Тема №11. Первые трехфазные электростанции. Основные этапы развития электроэнергетики в России. Основные этапы развития электроэнергетики в мире. Возникновение районных электростанций.	46

12	Тема №12. Основные этапы развития электрических сетей. Развитие тепловых электростанций. Развитие гидроэлектростанций. Развитие атомных электростанций.	52
13	Тема №13. Зарождение электропривода, электротранспорта и электротехнологии. Развитие электропривода. Развитие электротехнологии.	54
14	Тема №14. Развитие электротермии. Развитие способов и методов электрической сварки. Развитие электрохимической технологии. Развитие электротехнических систем транспорта.	58
15	Тема №15. Развитие электротехнических систем железнодорожного транспорта. Развитие электротехнологических систем городского транспорта (трамваи).	60
16	Тема №16. Развитие электротехнологических систем городского транспорта (троллейбусы). Развитие подъемно-транспортного оборудования. Развитие судовых электротехнических систем. Авиакосмическая электротехника.	62
17	Тема №17. Перспективы развития электроэнергетики в России. Перспективы развития мировой электроэнергетики.	65
18	Тема №18. Современная научно-техническая революция и развитие энергетической техники.	68
	4. Учебно - методическое и информационное обеспечение дисциплины.	

Введение

Целью изучения дисциплины «История отрасли и введение в специальность» является знакомство с историей развития электротехники, с историей развития электроэнергетики, с перспективами развития энергетики; изучение закономерностей развития энергетики, исторического процесса развития тепло-, гидро-, ветро-, электро- и атомной энергетики. Рассматриваются основные этапы использования человечеством различных видов энергии от его истоков до наших дней, исторические процессы формирования всемирной энергетики, с особой концентрацией внимания на развитие отечественной энергетики, методологические и естественнонаучные основы энергетики различных эпох, важнейшие тенденции и направления ее развития, научные подходы к решению тех или иных общеэнергетических проблем.

Основными задачами изучения дисциплины являются: ознакомление с историей великих открытий в области электротехники и энергетики, с именами первых русских ученых и изобретателей, с историей развития мировой и отечественной энергетики; ознакомление с основными путями развития энергетики.

В совокупности с другими дисциплинами базовой части ФГОС ВО дисциплина «История отрасли и введение в специальность» направлена на формирование следующих компетенций бакалавра:

Индекс	Формулировка:
УК-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах. ИД-1 _{УК-5} Анализирует современное состояние общества на основе знания истории.

В результате освоения содержания дисциплины студент должен:

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций	Формируемые компетенции
Знать: историю развития электротехники и электроэнергетики, законы электротехники и формирование ее научных основ	УК-5 ИД-1_{УК-5}
Уметь: анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории	УК-5 ИД-1_{УК-5}
Владеть: навыками осмысления исторического и современного развития электротехники и электроэнергетики	УК-5 ИД-1_{УК-5}

Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «История отрасли и введение в специальность» составлены в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, рабочим учебным планом и рабочей программой дисциплины «История отрасли и введение в специальность».

Описание практических занятий

Практическое занятие №1.

Тема 1. Первые наблюдения и начало экспериментальных исследований магнитных и электрических явлений. Жизнь и научные исследования М. В. Ломоносова.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Важным и вполне закономерным шагом на пути изучения электрических явлений был переход от качественных наблюдений к установлению количественных связей и закономерностей, к разработке основ теории электричества. Наиболее значительный вклад в решение этих проблем был сделан петербургскими академиками М.В. Ломоносовым, Г.В. Рихманом и американским ученым Б. Франклином.

Выдающийся ученый-энциклопедист XVIII в. Михаил Васильевич Ломоносов (1711–1765 гг.) явился основоположником изучения электрических явлений в России, автором первой теории электричества. При поддержке М.В. Ломоносова его коллега академик Георг Вильгельм Рихман (1711–1753 гг.) разработал в 1745 г. оригинальную конструкцию первого электроизмерительного прибора непосредственной оценки – «электрического указателя» (рисунок 1), который принципиально отличался от уже известного электроскопа тем, что был снабжен деревянным квадрантом со шкалой, разделенной на градусы. Именно это усовершенствование, по словам Г.В. Рихмана, позволило измерять «большую или меньшую степень электричества». Для экспериментов Г.В. Рихману была предоставлена «при дворе особливая камера», которая, по-видимому, была первой отечественной электрической лабораторией. Электрический указатель М.В. Ломоносов и Г.В. Рихман использовали при создании «громовой машины» – первой стационарной установки для наблюдения за интенсивностью электрических разрядов в атмосфере (в середине XVIII в. это явление было еще совершенно неизученным).

«Громовая машина» в принципе отличалась от «электрического змея» Б. Франклина и приспособлений других исследователей, так как позволяла непрерывно наблюдать за изменением электричества, содержащегося в атмосфере при любой погоде.

С помощью «громовой машины» М.В. Ломоносов и Г.В. Рихман установили, что электричество содержится в атмосфере и при отсутствии грозы, они убедительно доказали электрическую природу молнии (рисунок 2).

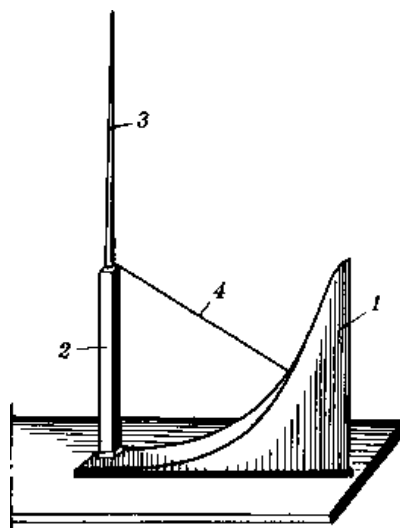


Рисунок 1. Электрический указатель Рихмана (1 – деревянный квадрант с делениями; 2 – металлическая линейка; 3 – металлический шест; 4 – льняная нить)

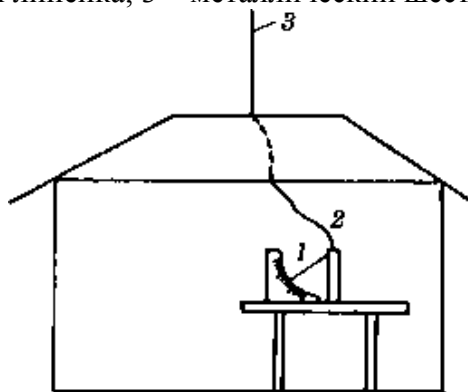


Рисунок 2. Схема «громовой машины» (1 – электрический указатель; 2 – соединительная проволока; 3 – металлический шест на крыше дома)

Летом 1753 г. М.В. Ломоносов и Г.В. Рихман провели уникальный эксперимент и с помощью «громовой машины» доказали, что, как писала та же газета (1753, № 45), «... сие наблюдение почитается за чрезвычайное. Из сего наблюдения явствует, что ... электрическая сила без действительного грома быть может. Ежели второе правда, то не гром и молния причина электрической силы в воздухе, но сама электрическая сила грома и молнии причина». Ученые при огромном стечении народа устроили пальбу из целой батареи пушек, гром «сотрясал небо», но «электрический указатель» ничего не показывал («искусством произведенный гром электрической силы не показывает»).

Выводы М.В. Ломоносова послужили одной из основ впервые разработанной им теории атмосферного электричества. На публичном собрании Академии наук в сентябре 1753 г. Г.В. Рихман, – писал М.В. Ломоносов, – «будет предлагать опыты а я – теорию и пользу от оной происходящую...».

Как известно, 25 июня 1753 г. во время грозы Г.В. Рихман, приблизившись к «электрическому указателю», был убит ударом в лоб «бледно-синеватым огненным шаром».

Трагическая смерть ученого послужила поводом для нападок на ученых, стремившихся проникнуть в тайны природы, со стороны духовенства и реакционных дворянских кругов. Опыты М.В. Ломоносова и Г.В. Рихмана называли кощунственными и требовали их прекратить, подчеркивая, что смерть Г.В. Рихмана – это «наказание господне за вторжение в область божью».

Но огромный научный авторитет М.В. Ломоносова и поддержка прогрессивных отечественных ученых позволили ему доказать недопустимость нанесения ущерба «славе и престижу» России, и в ноябре 1753 г. он выступил со своим знаменитым докладом «Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих», в котором (отметим, произнесенным на русском языке) впервые была изложена разработанная им строго научная материалистическая теория атмосферного электричества. По утверждению современных специалистов эта теория в своей принципиальной основе вполне соответствует современному представлению об этих явлениях. Кстати, М.В. Ломоносов подчеркивал, что он в своей теории «Франклину ничем не обязан», все у него «собственное и новое» [10].

По утверждению М.В. Ломоносова атмосферное электричество возникает в результате трения пылинок и других взвешенных частичек воздуха с капельками воды, происходящего при вертикальных перемещениях воздушных потоков. Он указывал, что существуют вертикальные восходящие и нисходящие потоки воздуха, которые «не токмо гремющей на воздухе электрической силы, но и многих других явлений в атмосфере и вне оной суть источник и начало».

Процесс электризации М.В. Ломоносов объяснял так: поток теплого воздуха, устремляющийся вверх (восходящий поток), увлекает за собой различные «жирные и горючие пары» и другие примеси, находящиеся в воздухе. Частицы этих паров М.В. Ломоносов называл «шаричками». Эти «шарички», по его мнению, имеют свойства, близкие к свойствам твердого тела, и не могут поэтому смешиваться с частичками воды (каплями дождя), встречающимися на их пути. В результате трения между «шаричками» и капельками воды возникают электрические заряды как на тех, так и на других. М.В. Ломоносов писал: «... жирные шарички горючих паров, которые ради разной природы с водяными слиться не могут и ради безмерной малости к свойствам твердого тела подходят, скорым встречным движением сражаются, трутся, электрическую силу рождают, которая, распространяясь по облаку, весь оный занимает».

В разработке этой теории М.В. Ломоносов ближе, чем кто-либо из его предшественников, подошел к современным теориям грозы.

М.В. Ломоносова не удовлетворяли многочисленные теории статического электричества, разработанные зарубежными исследователями, так как в большинстве из них, как он подчеркивал, «некоторые к составлению электрической теории самые нужнейшие вещи не довольно наблюдаемы были», и он явился инициатором объявления Академией наук конкурса на тему: «Сыскать подлинную электрической силы причину и составить точную ее теорию».

Свои воззрения на явления электричества М.В. Ломоносов сформулировал в 1756 г. в неопубликованном и сохранившемся лишь в виде тезисов труде «Теория электричества, разработанная математически путем». В отличие от большинства своих современников М.В. Ломоносов полностью отрицает существование особой электрической материи и рассматривает электричество как форму движения эфира. В его труде нет ни слова о различных субстанциях, с помощью которых многие ученые того времени пытались объяснить электрические явления. «Электрическая сила есть действие, вызванное легким трением... оно состоит в силах отталкивательных и притягательных, а также в произведении света и огня», пишет М.В. Ломоносов в своем труде.

«Эфирная» теория электричества, разработанная М.В. Ломоносовым, была передовой для своего времени; она являлась новым шагом к материалистическому взгляду на явления природы. Следует отметить, что эта теория получила дальнейшее развитие в трудах Леонарда Эйлера, а, позднее, в XIX в., ее придерживались Майкл Фарадей и другие крупнейшие ученые. М. Фарадей, например, считал электричество движением некоей заполняющей все пространство, пронизывающей все тела упругой среды.

Северные сияния, по мнению М.В. Ломоносова, также имеют электрическую природу; он рассматривал их как свечение, вызываемое электрическими зарядами в верхних слоях атмосферы.

М.В. Ломоносовым были проделаны интересные опыты со свечением разреженного воздуха в стеклянном наэлектризованном шаре (рисунок 3).

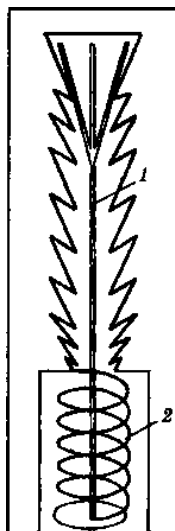


Рисунок 3. Прибор Ломоносова (1 – металлический стержень с трезубцем; 2 – проволоочная пружина, припаянная к металлическому кружку)

Опыты М.В. Ломоносова по воспроизведению северных сияний на моделях были повторены только спустя 175 лет. Наблюдавшееся М.В. Ломоносовым свечение было по существу явлением электрического разряда в разреженном воздухе.

В поисках более безопасных методов измерения «электрической громовой силы» М.В. Ломоносов разработал своеобразный автоматический регистратор максимального значения грозового разряда; после удара молнии по прибору «сему увидеть можно коль велика была самая большая громовая сила». Основываясь на многочисленных опытах, М.В. Ломоносов пришел к выводу о целесообразности широкого применения громоотводов. Он писал: «Такие стрелы на местах, от обращения человеческого по мере удаленных, ставить за небесполезное дело почитаю, дабы ударяющая молния больше на них, нежели на головах человеческих и на храминах, силы свои изнуряла».

В отличие от Б. Франклина М.В. Ломоносов правильно указал на решающую роль заземления в устройстве громоотвода.

Весьма оригинальные представления о сущности электрических явлений были высказаны в уже упоминавшемся фундаментальном труде А.Т. Болотова [9]. Он, в частности, писал: «... но в том сомневаться не можно, что она по примеру других состоит из частичек и что частичкам сим надобно быть чрезвычайной и непостижимой для нас мализны, причем эти частички способны к движению, которое происходит с непостижимой скоростью». Затем А.Т. Болотов задает вопрос: «А какой они – эти частички – фигуры, то есть формы», и отвечает, что по их действию и способности к быстрому передвижению «... догадываться только можем, что надлежит им быть только круглыми». Примечательно, что в этом произведении мы не находим стандартных упоминаний об электрической жидкости – ведь с этого начинали изложение сути электрических явлений почти все физики того времени. Отметим, кстати, что А.Т. Болотов подчеркивает, что одна и та же электрическая материя есть повсюду – и в атмосфере, и в недрах земли, и во всех телах, но не везде она находится в равных количествах и поэтому по-разному себя проявляет.

Большой вклад в изучение электрических явлений, в особенности атмосферного электричества, был сделан известным американским ученым и общественным деятелем Бенджамином Франклином (1706 – 1790 гг.). Им были произведены (1747 – 1752 гг.) многочисленные опыты по улавливанию и изучению атмосферного электричества, усовершенствован молниеотвод, разработана так называемая «унитарная» теория электричества (1747 г.). Б. Франклин высказал правильные предположения о материальном характере электричества, считая, что оно представляет собой элемент, состоящий из чрезвычайно тонких частиц. Ему удалось подойти к представлению об «электризации через влияние», т.е. к явлению электростатической индукции. Он впервые (1749 г.) экспериментально доказал электрическую природу молнии и ее тождество с уже известными свойствами «электрической жидкости». Знаменитый опыт Б. Франклина с воздушным (электрическим) змеем убедительно показал возможность «извлечения» электричества из облаков, которым он заряжал лейденскую банку подобно тому, как это осуществлялось посредством электростатической машины. Предполагается, что им впервые были введены такие термины, как «батарея», «заряд», «разряд»; он первым соорудил батарею из лейденских банок.

Среди ученых рассматриваемого периода, занимавшихся изучением электрических явлений, следует отметить чешского естествоиспытателя Прокопа Дивиша (1698 – 1765 гг.). Он соорудил большую электростатическую машину, предложил несколько типов молниеотводов, изучал влияние электрических разрядов на рост посевов различных культур.

Начало экспериментальных исследований электричества и магнетизма

В XVI–XVII вв. в Европе все большее распространение получает экспериментальный метод научных исследований, одним из основоположников которого по праву называют Леонардо да Винчи (1452 – 1519 гг.). Изобретения и открытия этого «титана эпохи Возрождения» поражают своей глубиной и разносторонностью. Он был не только искуснейшим всадником, фехтовальщиком, поэтом, музыкантом, но и конструктором разнообразных машин и приборов, гениальным художником, математиком, астрономом, геологом, ботаником, анатомом, военным инженером, мыслителем-материалистом.

Его записные книжки, эскизы различных машин и механизмов насчитывают более 7 тыс. листов. Очень важно отметить, что он сумел сделать поразительный рывок в будущее века и оставил чертежи и эскизы не только летательных аппаратов и цилиндра паровой машины с поршнем, но и предсказал волновую природу света и магнетизма, что было подтверждено учеными спустя лишь около 400 лет. В одной из его записных книжек можно найти знаменательные слова: «Не слушай учения тех мыслителей, доводы которых не подтверждены опытом».

Экспериментальный метод исследований нанес заметный удар по мистицизму и разного рода вымыслам и предрассудкам.

Значительный перелом в представлениях об электрических и магнитных явлениях наступил в самом начале XVII в., когда вышел в свет фундаментальный научный труд видного английского ученого (врача английской королевы Елизаветы) Вильяма Гильберта (1554 – 1603 гг.) «О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле» (1600г.). Будучи последователем экспериментального метода в естествознании, В. Гильберт провел более 600 искусных опытов, открывших, как он писал, тайны «скрытых причин различных явлений».

В отличие от многих своих предшественников В. Гильберт считал, что магнитная стрелка движется под влиянием магнетизма Земли, которая является большим магнитом. Свои выводы он основывал на оригинальном эксперименте, впервые им осуществленном. Он изготовил из магнитного железняка небольшой шар – «маленькую Землю – тереллу» и

доказал, что магнитная стрелка принимает по отношению к поверхности этой «тереллы» такие же положения, какие она принимает в поле земного магнетизма. Он установил возможность намагничивания железа посредством земного магнетизма.

Исследуя магнетизм, В. Гильберт занялся также и изучением электрических явлений. Он доказал, что электрическими свойствами обладает не только янтарь, но и многие другие тела: алмаз, сера, смола, горный хрусталь - электризующиеся при их натирании. Эти тела он назвал «электрическими» в соответствии с греческим названием янтаря (электрон). Но В. Гильберт безуспешно пытался наэлектризовать металлы, не изолируя их, и поэтому пришел к ошибочному выводу о невозможности электризации металлов трением. Это заключение В. Гильберта было убедительно опровергнуто спустя два столетия выдающимся русским электротехником академиком Василием Владимировичем Петровым.

В. Гильберт правильно установил, что «степень электрической силы» бывает различна, и влага снижает электризацию тел при натирании.

Сравнивая магнитные и электрические явления, В. Гильберт утверждал, что они имеют разную природу: например, «электрическая сила» происходит только от трения, тогда как магнитная постоянно воздействует на железо; магнит поднимает тела значительной тяжести, электричество – только легкие тела. Этот ошибочный вывод В. Гильберта продержался в науке более 200 лет.

Представления о том, что электрические явления обусловлены присутствием особой «электрической жидкости», аналогичной «теплотвору» и «светотвору», были характерны для науки того периода, когда механические взгляды на многие явления природы были господствующими.

Контрольные вопросы и задания:

1. Изобретения Ломоносова М.В., связанные с электрическими явлениями.
2. Какой вклад в изучение электрических явлений, в особенности атмосферного электричества, был сделан известным американским ученым и общественным деятелем Бенджаминем Франклином?
3. Кто положил начало экспериментальных исследований электричества и магнетизма?
4. Первые наблюдения магнитных и электрических явлений?
5. Что такое явление пирозлектричества?
6. Подготовить презентационные проекты на тему: первые наблюдения и начало экспериментальных исследований магнитных и электрических явлений, жизнь и научные исследования М. В. Ломоносова.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие №2.

Тема 2. Провозвестник эпохи электричества Алессандро Вольты. Выдающиеся открытия А. Вольты. Создание «вольтова столба». Жизнь и научные исследования академика Василия Петрова. Жизнь и научные исследования Ш. Кулона.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Одним из первых, кто, познакомившись с книгой В. Гильберта, решил получить более сильные проявления электрических сил, был известный изобретатель воздушного насоса и опыта с полушариями магдебургский бургомистр Отто фон Герике (1602 – 1686 гг.). В 1650 г. он изготовил шар из серы размером с детскую голову, насадил его на железную ось, укрепленную на деревянном штативе. При помощи ручки шар мог вращаться и натирался ладонями рук или куском сукна, прижимаемого к шару рукой. Это была первая простейшая электростатическая машина. О. Герике удалось заметить слабое свечение электризуемого шара в темноте и, что особенно важно, впервые обнаружить, что пушинки, притягиваемые шаром, через некоторое время отталкиваются от него – это явление ни О. Герике, ни многие его современники долго не могли объяснить. Немецкий ученый Г.В. Лейбниц (1646-1716 гг.), пользуясь машиной О. Герике, наблюдал электрическую искру - это первое упоминание об этом загадочном явлении.

В течение первой половины XVII в. электростатическая машина претерпела ряд усовершенствований: серный шар был заменен стеклянным (так как стекло более интенсивно электризовалось), а позднее вместо шаров или цилиндров (которые труднее было изготовить, и при нагревании они нередко взрывались) стали применять стеклянные диски. Для натирания использовались кожаные подушечки, прижимаемые к стеклу пружинками; позднее для усиления электризации подушечки стали покрывать амальгамой (рисунок 4) .

Важным новым элементом конструкции машины стал кондуктор (1744 г.) – металлическая трубка, подвешенная на шелковых нитях, а позднее устанавливаемая на изолированных опорах. Кондуктор служил резервуаром для Сбора электрических зарядов, образованных при трении. После изобретения лейденской банки ее также устанавливали рядом с машиной. В 60-х годах XVIII в. электростатическая машина приобрела основные современные черты.

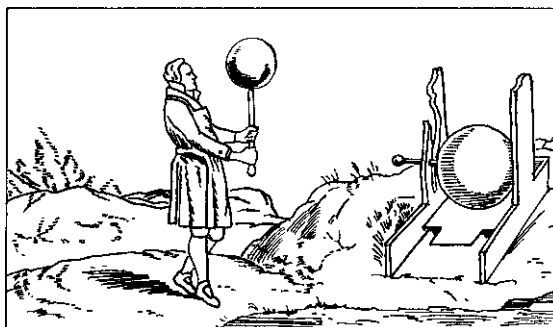


Рисунок 4. Электростатическая машина Герике

Заметные успехи в изучении электрических и магнитных явлений привели к открытию ранее неизвестных фактов: обнаружению двух родов электричества и установлению законов их взаимодействия; установлению «быстроты передачи электричества»; созданию новых электрических приборов, позволявших получать и накапливать электричество в больших количествах; изучению явлений атмосферного электричества; разработке первых теорий электрических явлений.

Значительным шагом в изучении свойств электрических зарядов были исследования члена английского Королевского общества Стефана Грея (1670–1736 гг.) и члена Парижской академии наук Шарля Франсуа Дюфе (1698–1736 гг.).

В результате многочисленных экспериментов С. Грей удалось установить, что электрическая способность стеклянной трубки притягивать легкие тела может быть передана другим телам, и он показал (1729 г.), что тела в зависимости от их отношения к электричеству можно разделить на две группы: проводники (например, металлическая нить, проволока) и непроводники (например, шелковая нить).

Продолжая опыты С. Грея, Ш.Ф. Дюфе (в 1733 г.) обнаружил два рода электрических зарядов – «стеклянные» и «смоляные» и их особенность отталкивать одноименные и притягивать противоположные заряды. Дюфе также создал прототип электроскопа в виде двух подвешенных и расходящихся при их электризации нитей.

После того как было установлено разделение тел на проводники и непроводники, а опыты с электростатическими машинами получили широчайшее распространение, совершенно естественной была попытка «накопить» электрические заряды в каком-то стеклянном сосуде, который мог их сохранить.



Рисунок 5. Опыт Мюсхеибрука (со старинной гравюры)

Среди многих физиков, занявшихся подобными экспериментами, наибольшую известность получил голландский профессор из г. Лейдена Питер Мюсхенбрук (Мушенбрук) (1692–1761 гг.).

Зная, что стекло не проводит электричества, он (в 1745 г.) взял в правую руку стеклянную банку (колбу), наполненную водой (которая являлась проводником), опустил в нее медную проволоку, висевшую на кондукторе электростатической машины, и попросил своего помощника вращать шар машины (рисунок 5). При этом он правильно предположил, что заряды, поступающие с кондуктора, будут накапливаться в стеклянной банке. После того как, по его мнению, в банке накопилось достаточное количество зарядов, он решил левой рукой отсоединить медную проволоку. При этом он ощутил сильный удар, ему показалось, что «пришел конец». Он писал, что этот «новый страшный опыт советую самим никак не повторять» и что ради короны Франции он не согласится подвергнуться «столь ужасному сотрясению».

Так была изобретена лейденская банка (по названию г. Лейдена), а вскоре и первый простейший конденсатор – одно из распространеннейших электротехнических устройств.

Опыт П. Мюсхенбрука произвел подлинную сенсацию не только среди физиков, но и среди многих любителей, интересовавшихся электрическими опытами. Уже в 1746–1747 гг. были разработаны первые теории лейденской банки.

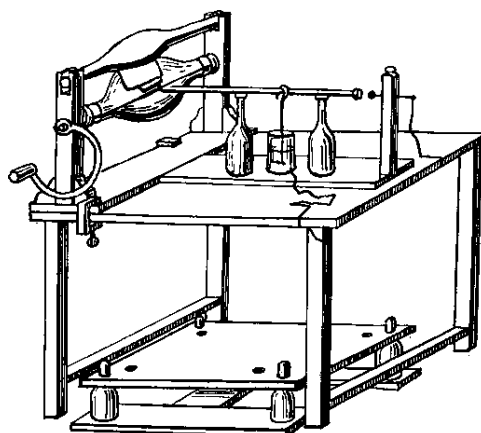


Рисунок 6. Электростатическая машина Болотова

Одним из важнейших последствий изобретения лейденской банки явилось установление влияния электрических разрядов на организм человека, что привело к зарождению электромедицины – это было первое сравнительно широкое практическое применение электричества, сыгравшее большую роль в углублении изучения электрических явлений. Одним из пионеров в области электромедицины был известный русский ученый-энциклопедист Андрей Тимофеевич Болотов (1738–1833 гг.). В его сочинении [10] подробно описаны многочисленные опыты по лечению «разных болезней» с помощью созданной им оригинальной и простой электрической машины с лейденской банкой (рисунок 6) и разнообразных инструментов. Им также были изобретены компактные складные и дорожные машины с диаметром стеклянного шара 20 см. В созданной им первой в России стационарной электролечебнице была оказана помощь тысячам больных. А.Т. Болотовым был написан «Краткий электрический лечебник» (1793 г.) и «История моего электризования и врачевания разных болезней оным» в трех томах (1792 г.).

Опыт П. Мюсхенбрука был повторен в присутствии короля французским аббатом Нолле (1700–1770 гг.); он образовал цепь из 180 гвардейцев, взявшихся за руки, причем первый держал банку в руке, а последний прикасался к проволоке, извлекая искру. Удар почувствовался всеми в один момент. От этой цепи солдат и произошел термин «электрическая цепь».

Постепенно конструкция лейденской банки совершенствовалась: воду заменили дробью, а затем наружная поверхность покрывалась тонкими свинцовыми пластинами, а позднее внутреннюю и наружную поверхности стали покрывать оловянной фольгой, и банка приобрела современный вид.

При проведении исследований с банкой было установлено (в 1746 г. англичанином Б. Вильсоном), что количество электричества, собираемое в банке, пропорционально толщине обкладок и обратно пропорционально толщине изоляционного слоя. В 70-х годах XVIII в. металлические пластины стали разделять не стеклом, а воздушным промежутком. Так появился простейший конденсатор.

Электростатические машины и лейденские банки использовались медиками в разных странах Европы. Как уже отмечалось, значительный вклад в электромедицину был сделан В.В. Петровым, который использовал для этих целей не только электростатические машины, но как это будет показано в следующей главе, и электрохимические источники, в частности созданную им «огромную наипаче» гальваническую батарею [5, 11].

Успехи в области исследования электростатических явлений и их практического применения, достигнутые к концу XVIII столетия, подготовили почву для открытия новых, ранее не известных явлений, создания источников постоянного электрического тока и изучения его свойств. Все это привело к становлению и последующему бурному развитию электротехники.

Говоря о возникновении понятий «потенциал» («напряжение») и «емкость», необходимо отметить большой вклад выдающегося итальянского физика Алессандро Вольты (1745–1827 гг.) [11]. Его по праву можно назвать основателем электрической метрологии. В ряде своих работ (1778–1782 гг.) он четко формулирует количественные зависимости между электрическим зарядом, емкостью и напряжением. «Когда емкость больше, то данное количество электричества вызывает меньшее напряжение... емкость и электрическое действие, или напряжение, находятся в обратном отношении». При этом под термином «напряжение» он понимает интенсивность «или усилие, производимое каждой точкой наэлектризованного тела». А. Вольт создал более совершенные электрофоры и электроскопы, в частности конденсаторный электроскоп.

Среди ряда теорий электричества, разработанных в XVIII в., заслуживает внимания теория петербургского академика Леонарда Эйлера (1707–1783 гг.) – одного из выдающихся ученых своего времени. Подобно М.В. Ломоносову Л. Эйлер отрицал существование особой электрической материи и считал, что электрические явления обусловлены разрежением и сгущением эфира. Эта теория является дальнейшим развитием идей М.В. Ломоносова и приближается к эфирным теориям электричества XIX в. Л. Эйлером описана также и одна из конструкций электростатической машины (1761 г.), от которой заряжалась лейденская банка.

Углубление исследований в области статического электричества не могло не привести к опровержению ряда ошибочных выводов, сделанных физиками в начальный период изучения явления электричества. Одним из таких ошибочных выводов было, как уже отмечалось, утверждение о невозможности электризации металлов трением.

В конце XVIII в. ряд европейских ученых, а также В.В. Петров приходят к заключению о том, что металлы могут быть наэлектризованы посредством трения при условии их тщательной изоляции. Наиболее убедительно это было доказано В.В. Петровым в его труде, изданном в 1804 г. [4, 10]. Он показал, что особенно эффективным способом электризации металлов является «стегание» их выделанным мехом некоторых животных; он разработал ряд новых методов электризации различных тел, а также установил влияние влажности окружающего воздуха на интенсивность электризации. Эти выводы В.В. Петрова, а также его указание на неустойчивость явления электризации тел подтверждены современными исследованиями.

Заслуживает внимания утверждение В.В. Петрова о возможности электризации человеческого тела посредством «стегания». Это позволяло врачам (он подчеркивает это в своем труде) применять электролечение без установки электростатической машины, которую не всякий медик мог иметь в своем распоряжении.

Результаты опытов по электризации тканей, осуществленных В.В. Петровым, привели его к созданию электрофора оригинальной конструкции, в котором основание из смолы было заменено тщательно просушенной «мягкой байкой», сложенной в четыре слоя. Ученый провел целую серию новых экспериментов по электризации ртути и других веществ посредством трясения их в стеклянных сосудах.

В.В. Петров специально изучал явления статического электричества в разреженном воздухе и атмосфере различных газов. С этой целью он построил совершенно оригинальную электростатическую машину (рисунок 8), помещавшуюся под колоколом воздушного насоса. Установленный там же термометр позволял исследовать электрические разряды при разных температурах.

В частности, В.В. Петров убедительно подтвердил возрастание электрической проводимости воздуха при его нагревании; обнаружил образование оксидов азота при электрических разрядах в воздухе.

В последней четверти XVIII в. начинает все более проявляться новый образ мышления ученых, исследующих электрические и магнитные явления. Сделанные еще в 40–50-х годах М.В. Ломоносовым и Г.В. Рихманом первые шаги от качественных наблюдений к установлению количественных закономерностей вызывают все больший интерес. Возможность перехода к количественным исследованиям обуславливалась как успехами математики, так и совершенствованием измерительных устройств.

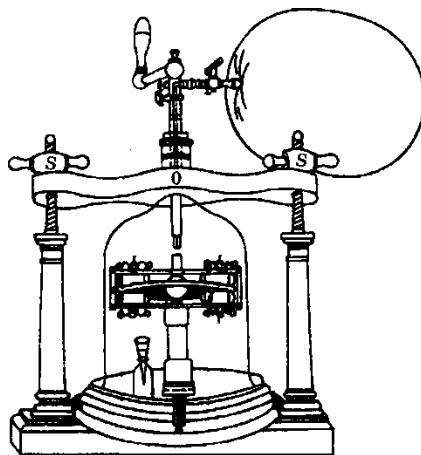


Рисунок 7. Электростатическая машина Петрова

Как уже отмечалось, Ф. Эпинус пытался аналитически определить силу взаимодействия электрических зарядов. Вслед за ним английский ученый Генри Кавендиш (1731–1810 гг.) в своей статье (1771 г.) указывал на то, что притяжение двух электрических зарядов обратно пропорционально расстоянию в степени меньше третьей. В 1766 г. англичанин Т. Лейн изобрел новый тип электрометра, представлявшего собой разрядник с градуированием расстояния между электродами. С помощью такого электрометра можно было по расстоянию, при котором происходил пробой, определять напряжение электростатической машины. Известны также попытки физиков найти закон магнитного действия.

Важнейшим шагом в развитии количественных исследований электрических и магнитных явлений было установление закона о силе взаимодействия между наэлектризованными телами и магнитными полюсами. Этими вопросами занимались многие ученые (Ф. Эпинус, Г. Кавендиш и др.), высказавшие предположение о «законе обратных квадратов».

Но наибольших успехов сумел достичь французский военный инженер Шарль Огюстен Кулон (1736–1806 гг.). В течение нескольких лет он проводил эксперименты с помощью прибора, который вначале был предназначен для изучения законов закручивания шелковых и волосяных нитей, а также металлических проволок. В 1785 г. Ш. Кулон установил, что «сила кручения пропорциональна углу закручивания». Он решил использовать этот прибор для измерения «малых электрических и магнитных сил». Прибор позволял измерять «мельчайшие степени силы», и Ш. Кулон назвал его «крутильными весами».

В результате многочисленных экспериментов он установил, что сила взаимодействия наэлектризованных тел пропорциональна «количеству электричества» (этот термин был им впервые введен в науку) заряженных тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. При этом в любой точке поверхности сила направлена перпендикулярно к этой поверхности. Так был открыт Ш. Кулоном знаменитый закон,

носящий его имя. Этот закон Ш. Кулон распространил и на взаимодействие магнитных полюсов.

Ш. Кулон аналитически и экспериментально доказал, что электричество распространяется по поверхности проводника, а также равномерно распределяется по поверхности изолированной проводящей сферы. Исследования Ш. Кулона способствовали применению математического анализа в теории электричества и магнетизма, распространению математического понятия потенциала (ранее введенного в механику) на электрическое и магнитное поля.

Контрольные вопросы и задания.

1. Какую роль для человека сыграло изобретение лейденской банки?
2. Кто открыл явление электростатической индукции?
3. Изобретения Петрова В.В.
4. Как был открыт закон Кулона?
5. Подготовить презентационные проекты на тему: Провозвестник эпохи электричества Алессандро Вольта. Выдающиеся открытия А. Вольты. Создание «вольтова столба». Жизнь и научные исследования академика Василия Петрова. Жизнь и научные исследования Ш. Кулона.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

5. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
6. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
7. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
8. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
5. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
6. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
7. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. - 621с.

Практическое занятие №3.

Тема 3. Жизнь и научные исследования Луиджи Гальвани. Научный подвиг Майкла Фарадея. М. Фарадей – основоположник теории электромагнитного поля.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого технократического мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

В течение многих столетий вплоть до последней четверти XVIII в. ученым были известны только явления статического электричества. Промышленный переворот в XVIII в. дал мощный толчок развитию различных отраслей науки, в том числе науки об электричестве. В изучении электрических явлений были достигнуты определенные успехи, ими начинают все более интересоваться не только физики, но и естествоиспытатели, в особенности врачи, пытавшиеся применять электричество для лечебных целей.

Отдельные ученые высказывали предположения, что если «вся природа электрическая», то и в организмах человека и животных по жилам и мускулам должна протекать эта таинственная материя. Одним из подтверждений указанных воззрений были электрические рыбы, известные еще с древних времен. Так возникло представление о новом виде электричества, названном «животным».

Исследованием мышечных движений лягушек занялся профессор анатомии Болонского университета Луиджи Гальвани (1737–1798). Первые электрофизиологические опыты Л. Гальвани над лягушками относятся к 1770 г. Спустя 11 лет он опубликовал результаты своих исследований в знаменитом «Трактате о силах электричества при мышечном движении», получившем широкую известность.

Во время одного из экспериментов, когда препарированная лягушка лежала на столе, на котором находилась электростатическая машина, Л. Гальвани заметил, что если прикоснуться скальпелем (или любым проводником) к бедренному нерву лягушки в момент, когда из кондуктора машины извлекается искра, то мышцы лягушки судорожно сокращаются. Логично было предположить, что и атмосферное электричество должно действовать аналогично. И действительно, при возникновении молнии мышцы лягушки сокращались. Желая выяснить, какие явления будут наблюдаться при ясной погоде, Л. Гальвани прикрепил медный крючок к железным перилам балкона. Прижимая другой конец крючка к перилам, он снова наблюдал сокращение мышц лягушки. Подозревая, что состояние атмосферы не действует на лягушку, он повторил эксперимент в своей домашней лаборатории: положив препарированную лягушку на металлическую обшивку стола и прижав медный крючок, продетый через спинной мозг лягушки, к столу, он снова увидел сильные сокращения мышц лягушки. Однако после замены одного из металлов непроводником мышечных сокращений у лягушки не происходило. Но сокращения были «энергичнее и продолжительнее», если лягушка лежала не на железном листе, а на серебряной пластине. Л. Гальвани сделал правильное предположение о том, что сокращение мышц вызывается действием электрических сил, что мышцы и нервы образуют как бы две обкладки лейденской банки. Но нужно было решить очень важный вопрос: как и где во всех этих опытах возникает электричество? Ни железная пластинка,

ни медный крючок, соприкасавшиеся с телом лягушки, не могли, по представлениям физиков того времени, служить источником электричества, так как на металлы смотрели только как на проводники, считая, что они могут становиться «электрическими» лишь через прикосновение к наэлектризованным телам; тогда оставалось предположить, что таким источником является сама лягушка. Все это создавало почву для представлений о существовании особого – «животного» – электричества; такую мысль и высказал Л. Гальвани для объяснения наблюдавшихся им фактов. Этому предположению Л. Гальвани придал форму теории, изложенной в упомянутом «Трактате о силах электричества при мышечном движении». Тело животного являлось, согласно взглядам Л. Гальвани, своеобразной лейденской банкой, способной на непрерывное повторное действие. Опыты Л. Гальвани вызвали большой интерес. Среди физиологов стала еще больше, чем ранее, укрепляться мысль об электричестве как удивительном новом средстве для исцеления. Что касается физиков, то их взгляды на явления, наблюдавшиеся Л. Гальвани, разошлись. Одни соглашались с Л. Гальвани и считали, что «гальваническое», или «животное», электричество имеет совершенно иную природу, чем электричество трения; другие отождествляли оба вида электричества; наконец, третья группа физиков вообще оспаривала существование «животного» электричества.

М. Фарадей также выступал против контактной теории электричества, указывая, что нет такого случая, даже при ударах электрического угря и ската, когда электричество получалось бы без затраты какого-либо другого вида энергии.

Многочисленные опыты по электролизу различных жидкостей вскоре привели к необходимости объяснения механизма электролиза, вызвали потребность в теоретических обоснованиях происходящих явлений. Теории электролиза были предложены рядом ученых, но наиболее приближенной к современным воззрениям на процессы электролиза явилась теория электролиза литовского профессора Теодора Гротгуса (1785–1822), которая была, по существу, первой ионной теорией электролитических явлений. Т. Гротгус в 1805 г. опубликовал «Мемуар о разложении при помощи гальванического электричества воды, а также растворенных в ней тел». Теория Т. Гротгуса была передовой для своего времени, она продержалась в науке более 70 лет, уступив место теории электролитической диссоциации. Известные законы электролиза были сформулированы М. Фарадеем в 1833–1834 гг. Им же были предложены термины «электрод», «анод», «катод».

Большой вклад в современную электротехнику внес английский ученый Майкл Фарадей, труды которого, в свою очередь, были подготовлены предшествовавшими работами по изучению электрических и магнитных явлений.

Есть нечто символическое в том, что в год рождения М. Фарадея (1791) был опубликован трактат Луиджи Гальвани с первым описанием нового физического явления – электрического тока, а в год его смерти (1867) была изобретена динамо-машина – самовозбуждающийся генератор постоянного тока, т. е. появился надежный, экономичный и удобный в эксплуатации источник электрической энергии. Жизнь великого ученого и его уникальная по методам, содержанию и значению деятельность не только открыли новый раздел физики, но и сыграли решающую роль в рождении новых отраслей техники – электро- и радиотехники.

Вот уже более века многие поколения учащихся на уроках физики и из многочисленных книг узнают историю замечательной жизни одного из самых знаменитых ученых, члена 68 научных обществ и академий. Обычно имя М. Фарадея связывают с самым значительным и потому наиболее известным открытием – явлением электромагнитной индукции, сделанным им в 1831 г. Но еще за год до этого, в 1830 г., за исследования в области химии и электромагнетизма М. Фарадей был избран почетным членом Петербургской академии наук, членом же Лондонского королевского общества (Британской академии наук) он был избран еще в 1824 г. С 1816 г. (когда увидела свет первая научная работа М. Фарадея, посвященная химическому анализу тосканской

известии) по 1831 г. (когда стал публиковаться его знаменитый научный дневник «Экспериментальные исследования по электричеству») М. Фарадеем было опубликовано свыше 60 научных трудов.

Контрольные вопросы и задания.

1. Кто изобрел первый простейший трансформатор? Его конструкция и назначение.
2. Каким образом передавалась электроэнергия на большие расстояния?
3. Основные опыты М. Фарадея приведших к открытию электромагнитной индукции.
4. Подготовить презентационные проекты на тему: Жизнь и научные исследования Луиджи Гальвани. Научный подвиг Майкла Фарадея. М. Фарадей – основоположник теории электромагнитного поля.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
8. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
9. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
10. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие №4.

Тема 4. Жизнь и научные исследования Г. С. Эрстеда. Основатель электродинамики Андре Мари Ампер. А. Ампер: путь в науку. Георг Ом: через тернии к славе. Ом. Закон Ома.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Первым ученым, убедительно показавшим связь между электричеством и магнетизмом, был Г. Х. Эрстед. Хотя, как уже отмечалось, значительно ранее эту связь обнаружил Д. Романьози [10, 11]. Г. Х. Эрстед, будучи доктором философии, размышляя о взаимодействии различных физических явлений, пришел к выводу о том, что должна быть связь между теплотой, светом, магнетизмом и электричеством. Еще в 1812 г. в одном из своих трудов Г. Х. Эрстед высказывал предположение о связи между электрическими и магнитными явлениями: «Следует испытать, не произведет ли электричество в своей самой скрытой стадии каких-либо действий на магнит как таковой». Позднее, когда во время его лекции студентам Копенгагенского университета он демонстрировал нагревание проволоки электрическим током и стрелка компаса, случайно находившегося рядом, отклонилась, Г. Х. Эрстед убедился в справедливости своей давней догадки.

В 1820 г. после дополнительных экспериментов Г. Х. Эрстед опубликовал результаты своих наблюдений за действиями тока на магнитную стрелку, вызвавшие большой интерес среди ученых разных стран и получившие в их трудах дальнейшее развитие.

В 1820 г. немецкий физик Иоганн Х. С. Швейггер (1779–1857) предложил использовать отклонение магнитной стрелки электрическим током для создания первого измерительного прибора – индикатора тока. Его прибор, получивший название «мультипликатора» (т. е. умножающего) представлял собой магнитную стрелку, помещенную внутри рамки, состоящей из нескольких витков проволоки [10].

Однако вследствие влияния земного магнетизма на магнитную стрелку мультипликатора его показания были неточными. А. Ампер в 1821 г. показал возможность устранения влияния земного магнетизма с помощью аstaticеской пары, представляющей собой две магнитные стрелки, укрепленные на общей медной оси и расположенные параллельно, с полюсами, обращенными в противоположные стороны. В 1825 г. флорентийский профессор Леонардо Нобили (1784–1835) скомбинировал аstaticескую пару с мультипликатором и построил таким образом более чувствительный прибор – прообраз гальванометра.

В 1820 г. Д. Ф. Араго обнаружил новое явление – намагничивание проводника протекающим по нему током. Если медная проволока, соединенная с полюсами вольтова столба, погружалась в железные опилки, то последние равномерно к ней прилипали; при выключении тока опилки падали. Когда Д. Ф. Араго брал вместо медной проволоки железную (из мягкого железа), то она временно намагничивалась; кусочек стали при таком намагничивании становился постоянным магнитом. По рекомендации А. Ампера Д. Ф. Араго заменил прямолинейную проволоку проволоочной спиралью, при этом

намагничивание иголки, помещенной внутри спирали, усиливалось. Так был создан соленоид. Опыты Д. Ф. Араго первыми указали на электрическую природу магнетизма и показали возможность намагничивания стали электрическим током [11].

В процессе своих исследований Д. Ф. Араго в 1824 г. обнаружил еще одно новое явление, названное им «магнетизмом вращения», правильное объяснение чего, как будет показано далее, было дано М. Фарадеем только после открытия явления электромагнитной индукции.

Новым шагом от качественных наблюдений действия тока на магнит к определению количественных зависимостей явилось установление французскими учеными Жаном Батистом Био (1774–1862) и Феликсом Саваром (1791–1841) закона действия тока на магнит. Проведя ряд экспериментов, они в 1820 г. установили следующее: если неограниченной длины провод с проходящим по нему током действует на частицу северного или южного магнетизма, находящуюся на известном расстоянии от середины провода, то равнодействующая всех сил, исходящих из провода, направлена перпендикулярно к кратчайшему расстоянию частицы от провода и общее действие провода на любой, южный или северный, магнитный элемент обратно пропорционально расстоянию от последнего до провода. Обнаружение тангенциальной составляющей силы позволило объяснить вращательный характер движения проводника относительно магнита.

Французский ученый Пьер Симон Лаплас (1749–1827) показал впоследствии, что сила действия, создаваемая небольшим участком проводника, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния.

Важнейшее научное и методологическое значение в расширении исследования новых явлений имели труды одного из крупнейших французских ученых Андре Мари Ампера (1775–1836), заложившие основы электродинамики.

А. Ампер (рисунок 14) был необыкновенно одаренным от природы человеком. Несмотря на слабое здоровье, он неустанно занимался фундаментальными научными исследованиями и внес немеркнущий вклад в сокровищницу мировой цивилизации. Его исследования в области электромагнетизма открыли новую страницу в истории электротехники. При изучении этих явлений ярко проявились феноменальные способности А. Ампера.

Он впервые узнал об опытах Г. Х. Эрстеда на заседании Парижской академии наук, где их повторил во время своего сообщения Д. Ф. Араго. Вместе с восхищением А. Ампер интуитивно почувствовал важность открытия Эрстеда, хотя ранее он не занимался изучением электромагнитных явлений. И ровно через неделю, 18 сентября 1820 г., А. Ампер выступает на заседании академии с докладом о взаимодействии токов и магнитов, а затем практически еженедельно (с такой периодичностью проводились заседания Парижской академии наук) он излагает перед крупнейшими французскими учеными результаты своих экспериментальных и теоретических исследований, которые позднее были отражены в его знаменитом труде по электродинамике.

В одном из писем А. Ампер подчеркивает, что он «создал новую теорию магнита, сводящую все явления к явлениям гальванизма». Поразительна логика его обобщений: если ток – это магнит, то два тока должны взаимодействовать подобно магнитам. Теперь это кажется очевидным, но до А. Ампера никто так четко на это не указал. Блестящие познания в области математики позволили А. Амперу теоретически обобщить результаты своих исследований и сформулировать известный закон, носящий его имя.

В. В. Петров еще в начале XIX в. указал на связь между поперечным сечением проводника и величиной тока в нем. В 1821 г. Х. Дэви установил, что проводимость проводника зависит от материала и температуры; он также пришел к выводу о зависимости проводимости от площади поперечного сечения проводника. Более глубоко эти явления были исследованы немецким физиком Георгом Симоном Омом (1789–1854).

Первый этап исследований, начатых Г. С. Омом в 1821 г., когда он работал учителем математики и физики в одной из школ г. Кельна, относился к изучению проводимости различных

проводников. Значение тока измерялось по магнитному действию: для этих целей он соорудил прибор, подобный крутильным весам Ш. Кулона, но вместо бузиновых шариков над проводником была подвешена магнитная стрелка. По углу кручения нити можно было судить о токе, действующем на стрелку. Располагая проводник в направлении магнитного меридиана, Г. С. Ом установил постоянство угла кручения нити, что подтверждало постоянство тока на различных участках цепи.

Затем Ом провел серию экспериментов по исследованию проводимости различных металлов, из которых изготавливались проводники, исследовал также зависимость угла отклонения магнитной стрелки от площади поперечного сечения проводника. Он установил, что проволоки из одного и того же материала, различающиеся площадью поперечного сечения, имеют «...одинаковую проводимость, если их длины пропорциональны поперечным сечениям».

Во время проведения опытов Г. С. Ом столкнулся с большими трудностями: электродвижущая сила гальванических элементов заметно снижалась в процессе их эксплуатации, механизм работы источников питания был неизвестен, общепринятых методов определения электропроводности проводников не существовало, в научную практику не были введены величины, характеризующие ток в цепи, не было приборов для измерения этих величин. Нужно было разработать не только методику проведения экспериментов, но и создать соответствующие приборы, обеспечить большую точность измерений. Все это потребовало от ученого незаурядного мастерства, упорства и находчивости. Ему пришлось отказаться от гальванических батарей и заменить их термоэлементом, изготовить несколько конструкций мультипликаторов.

На основе многочисленных экспериментов Г. С. Ому удалось вывести формулу, связывающую «силу магнитного действия проводника» (т. е. ток) с электровозбуждающей силой (ЭДС) источника и сопротивлением цепи, – это уже была основа закона электрической цепи.

Продолжая совершенствовать измерительную установку, Г. С. Ом разрабатывает оригинальные теоретические положения, характеризующие процессы в электрических цепях: изучив теоретические исследования в области теплопроводности и гидравлики, он впервые проводит аналогию между движением электричества и тепловым или водяным потоками и приходит к выводу, что разность потенциалов играет роль падения температур или разности уровней воды в трубах.

В 1827 г. выходит в свет его фундаментальный труд «Гальваническая цепь, разработанная математически доктором Г. С. Омом» (он также известен под названием «Теоретические исследования электрических цепей»). Закон, носящий его имя, Г. С. Ом сформулировал следующим образом: «Величина тока гальванической цепи пропорциональна сумме всех напряжений и обратно пропорциональна сумме приведенных длин» (под «приведенными длинами» подразумевается сопротивление внешней части цепи). Если цепь питается от батареи, то ток пропорционален ЭДС элемента (в числителе), а в знаменателе кроме сопротивления цепи указывается и внутреннее сопротивление элемента.

Г. С. Ом доказал справедливость формулы при оценке силы тока как по магнитному, так и по химическому действию тока. Несколько лет закон Г. С. Ома не получал признания, отчасти потому, что в первых его публикациях были допущены неточности, а также по причине недостаточной известности имени скромного школьного учителя.

Однако после подтверждения правильности закона Г. С. Ома такими известными электротехниками, как петербургские академики Эмилий Христианович Ленц и Борис Семенович Якоби (1801–1874), а также присуждения Г. С. Ому золотой медали Лондонским королевским обществом (1842) его труд по праву занял почетное место в

науке. Он явился фундаментом теоретической электротехники и сохранил свое значение до наших дней. На Первом Международном конгрессе электриков единица сопротивления тока была названа «омом».

Кроме исследований в области электрических цепей Ом занимался проблемами акустики, поляризации света, создавал оригинальные демонстрационные приборы. В ответ на просьбы коллег Ом написал очень содержательный и хорошо иллюстрированный учебник по физике, однако второй том своего капитального труда завершить не успел. Ом писал, что работа над учебником принесла ему «много радости». Сохранилось также немало электромагнитных устройств, созданных руками Ома.

Контрольные вопросы и задания.

1. Обнаружение и изучение действия электрического тока.
2. Открытие электрической дуги и ее практическое использование.
3. Взаимодействие электрического тока и магнита.
4. Установление законов электрической цепи.
5. Подготовить презентационные проекты на тему: Жизнь и научные исследования Г. С. Эрстеда. Основатель электродинамики Андре Мари Ампер. А. Ампер: путь в науку. Георг Ом: через тернии к славе. Ом. Закон Ома.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики R – L и R – C цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 5.

Тема 5. Первые электрические машины. Первый генератор электрического тока. Открытие химических, тепловых, световых и магнитных действий тока.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Важнейшими научными предпосылками возникновения электромеханики послужили достижения в области электродинамики и открытие электромагнитной индукции. Важную роль при разработке первых конструкций электрических машин и электромагнитных устройств сыграл и опыт конструирования машин и механизмов доэлектрического периода.

В связи с тем что принцип обратимости электрической машины был открыт только в 1830-х гг., а его широкое использование началось лишь с 1870-х гг., представляется вполне правомочным рассматривать отдельно историю создания электродвигателя и генератора в период до 1870 г. А поскольку единственным надежным и изученным источником электроэнергии до середины XIX в. был только гальванический элемент, то, естественно, первыми стали развиваться электрические машины постоянного тока.

В развитии электродвигателя постоянного тока можно отметить три основных этапа, впрочем, достаточно условных, так как конструкции и принципы действия электродвигателей, характерные для одного этапа, в отдельных случаях появлялись вновь спустя много лет. Вместе с тем более поздние и более прогрессивные конструкции в зачаточной форме нередко можно найти в первоначальном периоде развития электродвигателя. Для характеристики каждого этапа совершенствования электродвигателя в дальнейшем изложении рассматриваются только наиболее типичные конструкции.

Начальный период развития электродвигателя (1821–1834) тесно связан с созданием физических приборов для демонстрации непрерывного преобразования электрической энергии в механическую и начинается с описанных выше опытов М. Фарадея. На возможность превращения электрической энергии в механическую указывали и многие другие эксперименты. В этот период было создано несколько физических моделей электродвигателей: английскими учеными Петером Барлоу (1824), Уильямом Риччи (1833) и Джозефом Генри (1831).

Прибор Дж. Генри интересен тем, что в этом устройстве впервые сделана попытка использовать притяжение разноименных и отталкивание одноименных магнитных полюсов для получения непрерывного движения (в данном случае – качательного). Мощность двигателей подобного типа была очень небольшой (0,044 Вт), и, конечно, они не могли использоваться на практике.

Как на первом этапе, так и позднее было предложено много конструкций двигателей с качательным движением якоря. Однако более прогрессивными оказались попытки построить электродвигатель с вращательным движением якоря.

Второй этап раннего развития электрических двигателей (1834–1860) характеризуется преобладанием конструкций с вращательным движением явнополюсного якоря. Вращающий момент на валу у таких двигателей обычно был пульсирующим.

Наиболее характерные и существенно важные работы по конструированию такого рода электродвигателей принадлежат Борису Семеновичу Якоби (1801–1874).

В 1834 г. Б. С. Якоби (рисунок 23) послал в Парижскую академию наук сообщение об изобретенной им «магнитной машине». Более полное описание электродвигателя Б. С. Якоби было опубликовано в 1835 г. Представляют интерес некоторые высказывания Б. С. Якоби, в которых он определяет свой подход к изобретению электродвигателя: «В мае 1834 г. я построил свой первый магнитный аппарат, дающий постоянное круговое движение, но я не мог сначала отрешиться от идеи получить возвратно-поступательное движение, производимое последовательным притягивающим и отталкивающим действием магнитных стержней, а затем уже превратить это возвратно-поступательное движение в постоянное круговое известным в технике способом. Мне казалось, что такой прибор будет не больше чем забавной игрушкой для обогащения физических кабинетов.

Все эти соображения заставили меня окончательно отказаться от попытки построить аппарат, получающий возвратно-поступательное движение».

Сомнения Б. С. Якоби легко объяснимы: привычный паровой двигатель давал возвратно-поступательное движение, и, конечно, хотелось построить новый, электрический двигатель, дающий такое же «нормальное» движение.

Современные работы в области линейных электродвигателей свидетельствуют о том, что сама идея поступательного движения в электрических машинах не является порочной, но техническую революцию совершили машины вращательного движения.

Этот электродвигатель работал по принципу взаимодействия двух комплектов электромагнитов, один из которых располагался на подвижной раме, другой – на неподвижной. В качестве источника питания электромагнитов применялась батарея гальванических элементов. Для изменения полярности подвижных электромагнитов использовался коммутатор, который представлял собой оригинальную часть устройства электродвигателя Якоби. Конструктивно он состоял из четырех металлических колец, установленных на валу и изолированных от него; каждое кольцо имело четыре выреза по одной восьмой части окружности. Вырезы заполнялись изолирующими вкладками; каждое кольцо было смещено на 45° по отношению к предыдущему. По окружности кольца скользил рычаг, представлявший собой своеобразную щетку; второй конец рычага был погружен в соответствующий сосуд с ртутью, к которому подводились проводники от батареи. Таким образом, при каждом обороте кольца 4 раза разрывалась электрическая цепь. От колец к электромагнитам вращающегося диска подходили проводники, укрепленные на валу машины. Обмотки всех электромагнитов неподвижной рамы были соединены последовательно, и ток в них имел одно и то же направление. Обмотки электромагнитов вращающегося диска были также соединены последовательно, но направление тока в них с помощью коммутатора изменялось 8 раз за один оборот вала. Следовательно, полярность этих электромагнитов также изменялась 8 раз за один оборот вала и они поочередно притягивались и отталкивались электромагнитами неподвижной рамы. Мощность двигателя составляла примерно 15 Вт.

Б. С. Якоби пришлось затратить еще несколько лет труда и проявить редкую изобретательность, чтобы осуществить хотя бы в скромных масштабах свое желание «посвятить все свое время и всю свою энергию этому делу именно теперь, когда не остается больше никаких сомнений в успехе задуманного, и не только для того, чтобы не отказываться от своих прежних трудов, но и для того, чтобы мое новое отечество, с которым я уже связан многими узами, не лишилось возможности сказать, что Нева раньше Темзы или Тибра покрылась судами с магнитными двигателями». Эти слова он написал в записке министру просвещения и президенту Российской академии наук, прося у него материальной помощи для экспериментов. Широкой поддержки у министра Б. С. Якоби не нашел, тем не менее четыре года спустя, в 1838 г., по р. Неве курсировал бот, вмещавший 12 пассажиров и приводимый в движение электродвигателями Б. С. Якоби.

Это был уже совсем другой двигатель, и конструкция его точно отражала типичные пути изобретательской мысли: поскольку не был еще создан принципиально новый экономичный и малогабаритный электрический двигатель, то Б. С. Якоби пошел по пути объединения многих машин с электромагнитами, имеющими сосредоточенные катушечные обмотки, в один агрегат. Сначала это был так называемый сдвоенный двигатель первого типа. Он имел 24 неподвижных электромагнита (по 12 с каждой стороны), а между ними вращающийся диск с 12 электромагнитами. К 1838 г. Б. С. Якоби создал двигатель нового типа (второго типа), но в создании этой конструкции он уже был не первым.

В 1837 г. американский техник Томас Девенпорт (1802–1851) также построил электродвигатель с непосредственным вращением якоря, в котором взаимодействовали подвижные электромагниты с неподвижными постоянными магнитами.

Сравнивая конструкции электродвигателей Б. С. Якоби и Т. Девенпорта, можно отметить, что принцип их действия одинаков (у двигателя Т. Девенпорта появились неподвижные постоянные магниты вместо электромагнитов двигателя Б. С. Якоби), но двигатель Т. Девенпорта был более компактным благодаря расположению подвижных и неподвижных частей в одной плоскости. Это обстоятельство не могло не привлечь внимания Б. С. Якоби, стремившегося увеличить мощность своего электродвигателя при сравнительно небольшом увеличении его габаритов. В 1837 г. в распоряжение Б. С. Якоби был предоставлен бот, рассчитанный на 10 гребцов. На нем предполагалось установить электродвигатель и произвести затем соответствующие испытания и технико-экономические подсчеты. В процессе совершенствования двигателя Б. С. Якоби пошел по пути конструктивного объединения на общем вертикальном валу нескольких электродвигателей в один агрегат, расположив неподвижные и вращающиеся магниты в одной плоскости. При этом увеличивались размеры электродвигателя в вертикальном направлении, что было вполне удобно для опытной судовой установки.

Как уже отмечалось, гальванические батареи существенно тормозили практическое применение электродвигателей. Развитие электрических машин наглядно иллюстрирует характерную закономерность в развитии техники вообще. Эта закономерность проявляется в следующем: если развитие какой-либо отрасли техники тормозится недостаточным уровнем развития другой отрасли техники или области науки, то развитие последней ускоряется требованиями первой. Так, если отсутствие экономичного генератора тока сдерживало расширение практических применений электричества, то последние стимулировали, ускоряли работы по созданию более совершенной конструкции генератора.

В развитии электрического генератора постоянного тока можно выделить четыре этапа. Первый этап (1831–1851) характеризуется созданием электрических генераторов с возбуждением от постоянных магнитов. Такие генераторы в то время назывались «магнитоэлектрическими машинами». Открытие в 1831 г. явления электромагнитной индукции указало новый способ получения электрического тока, который нашел свое практическое воплощение в первом униполярном генераторе – диске Фарадея. Один из первых шагов в истории генератора несет в себе тайну, оставшуюся неразгаданной. Дело в том, что имя изобретателя, сделавшего этот шаг, осталось неизвестным. Вот что писал М. Фарадей в редакцию известного лондонского научного журнала 27 июля 1832 г. : «Вчера, по возвращении в город, я нашел закрытое письмо, оно анонимное, и я не имею возможности назвать его автора. Но ввиду того, что описывает опыт, при котором впервые удалось получить химическое разложение магнитоэлектрическим током, я посылаю Вам это письмо для опубликования». Письмо было подписано двумя латинскими буквами Р.М. Так и вошел в историю техники «генератор Р.М.». Эта машина представляла собой синхронный многополюсный генератор, т. е. была генератором переменного тока. Письмо Р.М. привлекло к проблеме генератора внимание многих ученых. Прочел публикацию и сам Р.М.; в марте 1833 г. он обратился в редакцию журнала с

благодарностью М. Фарадею за публикацию письма и описанием усовершенствований в машине. Главное из них – добавочное стальное кольцо (ярмо), замыкавшее магнитную цепь сердечников электромагнитов. И снова та же подпись Р.М.

На рисунке представлен усовершенствованный вариант генератора Р.М. Однако переменный ток в то время не мог еще найти себе потребителя, так как для всех практических применений электричества (минная электротехника, электрохимия, только что зародившаяся

электромагнитная телеграфия, первые электродвигатели) требовался постоянный ток. Поэтому в последующем изобретатели направили свои усилия на построение генераторов, дающих постоянный электрический ток, разрабатывая для этих целей разнообразные коммутационные устройства.

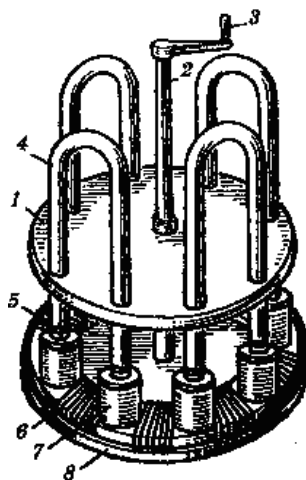


Рисунок 8 Генератор Р.М. (1 – деревянный диск, укрепленный на оси 2, приводимый в движение рукояткой 3; 4 – подвижные постоянные магниты; 5 – железные сердечники катушек 7; 6 – стальное кольцо с добавочными обмотками, замыкающее магнитную цепь сердечников; 8 – подставка).

Впервые приспособление для выпрямления тока в попеременно-полюсной машине (в отличие от униполярной машины М. Фарадея, которая не нуждалась в устройстве для выпрямления тока, так как давала непосредственно постоянный ток) было применено в 1832 г. в генераторе французских изобретателей братьев Пиксии. Изобретение представлялось тогда настолько важным, что сообщения о нем были дважды сделаны в Парижской академии наук. В первых конструкциях генераторов для получения тока неизменного направления (но резко пульсирующего) применялось так называемое коромысло Ампера. А. М. Ампер отмечал пластинчатый барабанный коммутатор в машине Пиксии с прижимающимися к амальгамированным поверхностям пластин подпружиненными медными или бронзовыми пластинами – щетками. Позднее он стал основой коммутирующих устройств для всех последующих конструкций генераторов постоянного тока. С машиной Пиксии работал Э. Х. Ленц, и именно на этой машине в 1838 г. он демонстрировал принцип обратимости.

Контрольные вопросы и задания.

1. Этапы развития электродвигателя.
2. Этапы развития Электрических генераторов.
3. Зарождение электроавтоматики, электроприборостроения и информационной электротехники

4. Подготовить презентационные проекты на тему: первые электрические машины, первый генератор электрического тока, открытие химических, тепловых, световых и магнитных действий тока.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 6.

Тема 6. Электродинамика. Основные законы электрической цепи. Начало практических применений электрической энергии. Важнейшие открытия и исследования в области электромагнетизма. Создатель первого магнитоэлектрического генератора Б. Якоби.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Наиболее характерные и существенно важные работы по конструированию такого рода электродвигателей принадлежат Борису Семеновичу Якоби (1801–1874).

В 1834 г. Б. С. Якоби (рисунок 23) послал в Парижскую академию наук сообщение об изобретенной им «магнитной машине». Более полное описание электродвигателя Б. С. Якоби было опубликовано в 1835 г. Представляют интерес некоторые высказывания Б. С. Якоби, в которых он определяет свой подход к изобретению электродвигателя: «В мае 1834 г. я построил свой первый магнитный аппарат, дающий постоянное круговое движение, но я не мог сначала отрешиться от идеи получить возвратно-поступательное движение, производимое последовательным притягивающим и отталкивающим действием магнитных стержней, а затем уже превратить это возвратно-поступательное движение в постоянное круговое известным в технике способом. Мне казалось, что такой прибор будет не больше чем забавной игрушкой для обогащения физических кабинетов.

Все эти соображения заставили меня окончательно отказаться от попытки построить аппарат, получающий возвратно-поступательное движение».

Сомнения Б. С. Якоби легко объяснимы: привычный паровой двигатель давал возвратно-поступательное движение, и, конечно, хотелось построить новый, электрический двигатель, дающий такое же «нормальное» движение.

Современные работы в области линейных электродвигателей свидетельствуют о том, что сама идея поступательного движения в электрических машинах не является порочной, но техническую революцию совершили машины вращательного движения.

Этот электродвигатель работал по принципу взаимодействия двух комплектов электромагнитов, один из которых располагался на подвижной раме, другой – на неподвижной. В качестве источника питания электромагнитов применялась батарея гальванических элементов. Для изменения полярности подвижных электромагнитов использовался коммутатор, который представлял собой оригинальную часть устройства электродвигателя Якоби. Конструктивно он состоял из четырех металлических колец, установленных на валу и изолированных от него; каждое кольцо имело четыре выреза по одной восьмой части окружности. Вырезы заполнялись изолирующими вкладками; каждое кольцо было смещено на 45° по отношению к предыдущему. По окружности кольца скользил рычаг, представлявший собой своеобразную щетку; второй конец рычага был погружен в соответствующий сосуд с ртутью, к которому подводились проводники от батареи. Таким образом, при каждом обороте кольца 4 раза разрывалась электрическая цепь. От колец к электромагнитам вращающегося диска подходили проводники, укрепленные на валу машины. Обмотки всех электромагнитов неподвижной рамы были соединены последовательно, и ток в них имел одно и то же направление. Обмотки электромагнитов вращающегося диска были также соединены последовательно, но

направление тока в них с помощью коммутатора изменялось 8 раз за один оборот вала. Следовательно, полярность этих электромагнитов также изменялась 8 раз за один оборот вала и они поочередно притягивались и отталкивались электромагнитами неподвижной рамы. Мощность двигателя составляла примерно 15 Вт.

Б. С. Якоби пришлось затратить еще несколько лет труда и проявить редкую изобретательность, чтобы осуществить хотя бы в скромных масштабах свое желание «посвятить все свое время и всю свою энергию этому делу именно теперь, когда не остается больше никаких сомнений в успехе задуманного, и не только для того, чтобы не отказываться от своих прежних трудов, но и для того, чтобы мое новое отечество, с которым я уже связан многими узами, не лишилось возможности сказать, что Нева раньше Темзы или Тибра покрывалась судами с магнитными двигателями». Эти слова он написал в записке министру просвещения и президенту Российской академии наук, прося у него материальной помощи для экспериментов. Широкой поддержки у министра Б. С. Якоби не нашел, тем не менее четыре года спустя, в 1838 г., по р. Неве курсировал бот, вмещавший 12 пассажиров и приводимый в движение электродвигателями Б. С. Якоби.

Это был уже совсем другой двигатель, и конструкция его точно отражала типичные пути изобретательской мысли: поскольку не был еще создан принципиально новый экономичный и малогабаритный электрический двигатель, то Б. С. Якоби пошел по пути объединения многих машин с электромагнитами, имеющими сосредоточенные катушечные обмотки, в один агрегат. Сначала это был так называемый сдвоенный двигатель первого типа. Он имел 24 неподвижных электромагнита (по 12 с каждой стороны), а между ними вращающийся диск с 12 электромагнитами. К 1838 г. Б. С. Якоби создал двигатель нового типа (второго типа), но в создании этой конструкции он уже был не первым.

В 1837 г. американский техник Томас Девенпорт (1802–1851) также построил электродвигатель с непосредственным вращением якоря, в котором взаимодействовали подвижные электромагниты с неподвижными постоянными магнитами.

Сравнивая конструкции электродвигателей Б. С. Якоби и Т. Девенпорта, можно отметить, что принцип их действия одинаков (у двигателя Т. Девенпорта появились неподвижные постоянные магниты вместо электромагнитов двигателя Б. С. Якоби), но двигатель Т. Девенпорта был более компактным благодаря расположению подвижных и неподвижных частей в одной плоскости. Это обстоятельство не могло не привлечь внимания Б. С. Якоби, стремившегося увеличить мощность своего электродвигателя при сравнительно небольшом увеличении его габаритов. В 1837 г. в распоряжение Б. С. Якоби был предоставлен бот, рассчитанный на 10 гребцов. На нем предполагалось установить электродвигатель и произвести затем соответствующие испытания и технико-экономические подсчеты. В процессе совершенствования двигателя Б. С. Якоби пошел по пути конструктивного объединения на общем вертикальном валу нескольких электродвигателей в один агрегат, расположив неподвижные и вращающиеся магниты в одной плоскости. При этом увеличивались размеры электродвигателя в вертикальном направлении, что было вполне удобно для опытной судовой установки.

Двигатель Б. С. Якоби конструкции 1838 г. представлял собой комбинацию 40 небольших электродвигателей, объединенных по 20 штук на двух вертикальных валах, установленных в деревянной станине. Для питания током обмоток электромагнитов на боте были установлены гальванические элементы. Изменение направления тока в обмотках подвижных электромагнитов осуществлялось коммутаторами. Вращение от вертикальных валов с помощью конических шестерен передавалось на горизонтальный вал, на котором укреплялись гребные колеса, расположенные по обоим бортам бота.

Испытания показали возможность практического применения электродвигателей, но в то же время обнаружили, что при питании их током от гальванических батарей механическая энергия получается чрезмерно дорогой: 1 л. с. в двигателе Б. С. Якоби обходилась в 12 раз дороже, чем в случае паровой машины.

Необходимо отметить, что для преодоления основного недостатка гальванических батарей – малой энергоемкости – требовалось использовать очень много элементов, а это требование для многих транспортных установок было неприемлемым. Так, например, на боте Б. С. Якоби вначале было установлено 320 гальванических элементов. Произведенные опыты, а также теоретическое исследование привели Якоби к очень важному для практики выводу: применение электродвигателей находится в прямой зависимости от стоимости электроэнергии, т. е. от создания генератора, более экономичного, чем гальванические батареи.

Однако Б. С. Якоби не смог обнаружить принципиального недостатка двигателей со стержневыми электромагнитами: в этих двигателях происходит постоянное включение и выключение катушек, и магнитное поле то создается, то исчезает. На создание поля в машине непрерывно требуется электрическая энергия, которая при отключении катушек преобразуется в теплоту. Поэтому по логике развития вскоре должны были появиться непрерывные обмотки, которые обеспечивают электромеханическое преобразование энергии в установившемся режиме без изменения энергии магнитного поля.

Контрольные вопросы и задания.

1. Взаимодействие электрического тока и магнита.
2. Установление законов электрической цепи.
3. Открытие явления электромагнитной индукции.
4. Подготовить презентационные проекты на тему: электродинамика, основные законы электрической цепи, начало практических применений электрической энергии, важнейшие открытия и исследования в области электромагнетизма, создатель первого магнитоэлектрического генератора Б. Якоби.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики R – L и R – C цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 7.

Тема 7. Первые источники электрического освещения. Павел Яблочков – создатель «русского света».

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого технократического мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

В 40-70 гг. XIX в. стали создаваться первые источники электрического освещения. Освещение является естественной и постоянной потребностью человека. Самым долгим был путь от лучины к свече и затем к масляной лампе. В первой половине XIX в. господствующее положение занимало газовое освещение, имевшее существенные преимущества перед лампами с жидким горючим: централизация снабжения установок светильным газом, сравнительная дешевизна горючего, простота газовых горелок и простота обслуживания. Но по мере развития капиталистического производства, роста городов, строительства крупных производственных зданий, гостиниц, магазинов, зрелищных помещений оно все менее удовлетворяло требованиям практики, так как было опасно в пожарном отношении, вредно для здоровья, а сила света отдельной горелки была мала. Для текстильных и швейных фабрик, типографий, деревообделочных цехов, театров и т. д. газовое освещение создавало угрозу пожаров. Особенно недостатки газового освещения стали сказываться на крупных предприятиях с большим числом рабочих, занятых на производстве по 12-14 ч в сутки, вызывая резкое снижение производительности труда. Поэтому вполне своевременными, отвечавшими социальному

заказу были попытки создать электрические источники света, которые вытеснили бы все иные источники. Электрическое освещение развивалось по двум направлениям: дуговые лампы и лампы накаливания. Вполне естественно начать историю электрического освещения с упоминания об опытах В. В. Петрова в 1802 г., которым было установлено, что при помощи электрической дуги «темный покой довольно ясно освещен быть может». Тогда же, в 1802 г., Х. Дэви в Англии демонстрировал накал проводника током.

Первым по-настоящему массовым потребителем электрической энергии явилась электрическая лампочка. Она и по нынешний день осталась самым распространенным электротехническим устройством. Начало широкому практическому применению электрической энергии положила в 1876 г. электрическая свеча выдающегося русского изобретателя электротехника Павла Николаевича Яблочкова (1847-1894), занимающая особое место среди дуговых источников света. Хотя изобретение электрической свечи не привело к массовому и устойчивому применению именно этого источника света, оно заслуживает особой оценки и отдельного рассказа, поскольку послужило мощным импульсом к бурному росту электротехнической промышленности.

Одна электрическая свеча могла гореть около 2 ч; при установке нескольких свечей в специальном фонаре, оборудованном переключателем для включения очередной свечи вместо перегоревшей, можно было обеспечить бесперебойное освещение в течение более длительного времени.

Чрезвычайно важно отметить, что изобретение электрической свечи способствовало внедрению в практику переменного тока. В течение всего предшествующего периода электрическая техника базировалась на постоянном токе (телеграфия, гальванотехника, минное

дело). Дуговые электрические лампы с регуляторами также питались постоянным током. При этом положительный электрод сгорал быстрее отрицательного, поэтому его приходилось брать большего диаметра.

П. Н. Яблочков установил, что для питания свечи лучше применять переменный ток, в этом случае при электродах одинакового диаметра получалась вполне устойчивая дуга. В связи с тем что осветительные установки по системе П. Н. Яблочкова стали подключать к источникам переменного тока, заметно возрос спрос на генераторы переменного тока, которые раньше не находили практического применения. О значении электрической свечи в расширении производства электрических генераторов переменного тока можно судить по следующему примеру: если до появления электрической свечи завод З. Т. Грамм выпускал в течение 1870-1875 гг. по несколько десятков машин в год, то за 1876 г. выпуск генераторов возрос почти до 1000 шт. Заводы изготавливали электрические генераторы, специально предназначенные для установок электрического освещения, и даже мощность машин обозначалась по числу питаемых электрических свечей (например, «шестисвечная машина»).

Контрольные вопросы и задания.

1. Подготовить презентационные проекты на тему: Первые источники электрического освещения. Павел Яблочков – создатель «русского света».

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики R – L и R – C цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 8.

Тема 8. Изобретение трансформатора. Исследования в области передачи электрической энергии на большие расстояния.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Восьмидесятые годы XIX в. вошли в историю электротехники под названием периода «трансформаторных битв». Такое необычное название они получили потому, что изобретение трансформатора явилось одним из сильнейших аргументов в пользу переменного тока. А настоящая битва шла между сторонниками систем постоянного и переменного токов и отражала поиски путей выхода из назревшего энергетического кризиса, связанного с проблемой централизованного производства электроэнергии и передачи ее на большие расстояния.

Первым простейшим трансформатором с разомкнутым магнитопроводом была индукционная катушка. Ее изобретение в 30–40-х годах XIX в. связано с именами ряда ученых и изобретателей, но наибольшую известность получил немецкий механик Генрих Румкорф (1803–1877 гг.), создавший в 1848 г. более совершенную конструкцию, и его именем впоследствии стали называть индукционную катушку. Такие катушки предназначались для получения искрового разряда во вторичной цепи при прерывании постоянного тока в первичной цепи. Впервые катушку Г. Румкорфа применил для дистанционного взрывания мин Б.С. Якоби. В последней трети XIX в. индукционные катушки получили широкое применение в системах зажигания двигателей внутреннего сгорания.

Роль индукционной катушки, превратившейся в аппарат, названный позднее трансформатором, как средства электрического разделения цепей переменного тока, отчетливо осознал П.Н. Яблочков.

Даже самым фактом патентования системы «дробления света» во многих странах он как бы подчеркивал важность нового предложения. Во французском патенте № 115793 от 30 ноября 1876 г. он писал: «Предметом этого изобретения является распределение токов в целях производства электрического света, позволяющее получить, пользуясь цепью, питаемой одним единственным источником электричества, неопределенное число источников света...». И как бы отмежевываясь от привычных схем индукционных катушек, он указывает: «Если я применяю ... электрический источник переменного тока, общее расположение остается неизменным, но прерыватель становится ненужным ...».

Система «дробления света» Яблочкова широко демонстрировалась два раза: на Парижской Международной электротехнической выставке в 1881 г. и на Второй Петербургской электротехнической выставке в 1882 г.¹ (где всю систему смонтировал и экспонировал препарат Московского университета Иван Филиппович Усагин (1855–1919 гг.). Бобины, как их тогда называли, имели одинаковое число витков в первичной и вторичной обмотках, а стальной сердечник был разомкнутым и представлял собой стержень, на который наматывались обмотки. На этой же выставке И.Ф. Усагин впервые демонстрировал схему включения во вторичные обмотки индукционных катушек кроме свечей и других приемников: электродвигателя, проволочной нагревательной спирали,

дуговой лампы с регулятором. Все эти приемники могли работать одновременно, не мешая друг другу. Этим экспериментом И.Ф. Усагин убедительно доказал универсальность применения переменного тока.

В начале 80-х годов становилось все яснее, что система электроснабжения на постоянном токе не имеет перспектив. Из опыта эксплуатации дуговых источников света было установлено оптимальное напряжение 110 В. Радиус электроснабжения не превышал несколько сотен метров. Попытки расширить границы района электроснабжения привели к рождению так называемой трехпроводной системы постоянного тока. Но основным направлением развития электроэнергетики уже в 80-х годах становится система переменного тока.

Новым шагом в использовании трансформаторов с разомкнутым сердечником для распределения электроэнергии явилась система распределения электричества для производства света и так называемой двигательной силы, запатентованная во Франции в 1882 г. английским электротехником Дж.Д. Голяром (1850–1888 гг.) и французским электротехником Люстеном Гиббсом (умер в 1912 г.). Эти трансформаторы предназначались уже не только для «дробления» энергии, но и для преобразования напряжения, т.е. имели коэффициент трансформации, отличный от единицы. На деревянной подставке укреплялось несколько индукционных катушек, первичные обмотки которых соединялись последовательно. Вторичные обмотки катушек были секционированы, и каждая секция имела два вывода для подключения приемников. Заслуживают внимания выдвижные сердечники 2 катушек, с помощью которых регулировалось напряжение на вторичных обмотках. Трансформаторы с разомкнутым сердечником в 1883 г. устанавливаются на подстанциях Лондонского метрополитена, а в 1884 г.— на выставке в Турине (Италия).

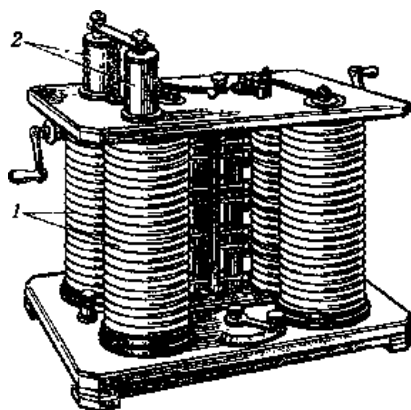


Рисунок 9 Трансформатор Голяра и Гиббса

Современные трансформаторы имеют замкнутый магнитный сердечник, их первичные обмотки включаются параллельно. Но для схемы «дробления» энергии, предложенной П.Н. Яблочковым, трансформаторы с разомкнутым сердечником вполне удовлетворяли техническим требованиям. При последовательном соединении первичных обмоток включение и выключение одних потребителей не оказывало существенного влияния на режим работы других. При параллельном включении приемников применение трансформаторов с разомкнутыми сердечниками становилось технически неоправданным. Поэтому понятно стремление сконструировать трансформаторы с замкнутой магнитной системой, которые обладают значительно лучшими характеристиками (меньший намагничивающий ток, а следовательно, меньшие потери и больший КПД).

Первые трансформаторы с замкнутым сердечником были созданы в Англии в 1884 г. братьями Джоном и Эдвардом Гопкинсонами. Сердечник этого трансформатора был набран из стальных полос или проволок, разделенных изоляционным материалом, что

снижало потери на вихревые токи. На сердечнике помещались, чередуясь, катушки высшего и низшего напряжений.

Впервые предложение о параллельном включении обмоток трансформаторов высказал Р. Кеннеди в 1883 г., но всесторонне этот способ соединения обосновал венгерский электротехник Миклош Дери (1854–1934 гг.), который в 1885 г. получил патент на параллельное включение первичных и вторичных обмоток трансформаторов и показал преимущество такого включения. Независимо от него аналогичный патент в Англии получил С. Ц. Ферранти.

Передача электрической энергии переменным током высокого напряжения оказалась возможной после создания однофазного трансформатора с замкнутой магнитной системой, имевшего достаточно хорошие эксплуатационные показатели. Такой трансформатор в нескольких модификациях (кольцевой, броневой и стержневой) разработали в 1884–1885 гг. венгерские электротехники Миклош Дери, Отто Блати (1860–1938 гг.) и Карой Циперновский (1853–1942 гг.), впервые предложившие и сам термин «трансформатор». Венгерские инженеры нашли оптимальные соотношения между расходом меди и стали в трансформаторах и обеспечили своей продукции широкий сбыт на мировом электротехническом рынке. В частности, эта фирма осуществила в 1887 г. одну из первых в России установок переменного тока для освещения оперного театра в г. Одессе.

Контрольные вопросы и задания.

1. Кто изобрел первый простейший трансформатор? Его конструкция и назначение.
2. Каким образом передавалась электроэнергия на большие расстояния?
3. Подготовить презентационные проекты на тему: изобретение трансформатора, исследования в области передачи электрической энергии на большие расстояния.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 9.

Тема 9. Создание первых асинхронных двигателей. У истоков электрификации. Основоположник трехфазных систем Михаил Доливо-Добровольский.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

В то время как Н. Тесла и его сотрудники пытались усовершенствовать двухфазную систему, в Европе была разработана более совершенная электрическая система – трехфазная. Изучение документальных материалов показывает, что в 1887–1889 гг. многофазные системы разрабатывались с большим или меньшим успехом несколькими учеными и инженерами.

Например, Ч. Бредли, стремясь изготовить электрическую машину с лучшим использованием активных материалов, сконструировал двух- и трехфазные генераторы. Однако Ч. Бредли не знал о явлении вращающегося магнитного поля и предполагал, что потребители в многофазных системах должны включаться как однофазные на каждую пару проводов.

Ф. Хазельвандер подошел к трехфазной системе токов с других исходных позиций. Зная, что коллектор у генератора и двигателя постоянного тока выполняет взаимнообратимые функции, он решил его устранить, считая что достаточно те точки обмоток якорей каждой из машин, от которых идут отпайки к пластинам коллектора, соединить соответственно друг с другом. Это удобно сделать у обращенных машин, якоря которых неподвижны, а полюсы вращаются. Тогда генератор будет связан с двигателем проводами, число которых равно числу коллекторных пластин. Стремясь уменьшить число линейных проводов, Ф. Хазельвандер нашел минимальный вариант – три провода. Однако он не сумел увидеть всех возможностей новой системы и создать пригодные для практики конструкции машин.

Наибольших успехов в развитии многофазных систем добился Михаил Осипович Доливо-Добровольский, который сумел придать своим работам практический характер. Поэтому он по праву считается основоположником техники трехфазных систем.

М.О. Доливо-Добровольский (1862–1919 гг.) родился в Петербурге, учился в Рижском политехническом институте, но был отчислен в связи с массовыми антиправительственными выступлениями студентов в год царевубийства (1881 г.). Лишенный права поступать в высшие учебные заведения России, он выехал в Германию и завершил свое образование в Высшем техническом училище г. Дармштадта, в котором большое внимание уделялось практическим применениям электричества.

Осенью 1888 г. М.О. Доливо-Добровольский прочел доклад Г. Феррариса о вращающемся магнитном поле и был крайне удивлен его выводом о практической непригодности «индукционного» электродвигателя. Еще до этого М.О. Доливо-Добровольский заметил, что если замкнуть накоротко обмотку якоря двигателя постоянного тока при торможении (т.е. в опыте динамического торможения), то возникает большой тормозящий момент. «Я тотчас же сказал себе, – вспоминал позднее М.О. Доливо-Добровольский, – что если сделать вращающееся магнитное поле по методу Г. Феррариса и поместить в него такой короткозамкнутый якорь малого сопротивления, то

этот якорь скорее сам сгорит, чем будет вращаться с небольшим числом оборотов. Мысленно я прямо представил себе электродвигатель многофазного тока с ничтожным скольжением».

Так М.О. Доливо-Добровольский пришел к выводу о нецелесообразности изготовления обмотки ротора с таким большим сопротивлением, при котором ротор имел бы скольжение 50 %. В стержнях малого сопротивления при небольшом скольжении возникнут токи, которые в достаточно сильном магнитном поле статора создадут значительный вращающийся момент.

Усиленная деятельность в этом направлении в необычайно короткий срок привела к разработке трехфазной электрической системы и совершенной, в принципе не изменившейся до настоящего времени, конструкции асинхронного электродвигателя.

Первым важным шагом, который сделал М.О. Доливо-Добровольский, было изобретение ротора с обмоткой в виде беличьего колеса. Для уменьшения сопротивления обмотки ротора лучшим конструктивным решением мог быть ротор в виде медного цилиндра, как в двигателе Г. Феррариса. Но медь является плохим проводником для магнитного поля статора, и КПД такого двигателя был бы очень низким. Если же медный цилиндр заменить стальным, то магнитный поток резко возрастает.

Однако отметим, что электрическая проводимость у стали меньше, чем у меди. М.О. Доливо-Добровольский нашел блестящее решение — выполнить ротор в виде стального цилиндра (что уменьшало магнитное сопротивление ротора) и в просверленные по периферии последнего каналы закладывать медные стержни (что уменьшает электрическое сопротивление ротора). На лобовых частях ротора эти стержни должны быть хорошо электрически соединены. На рис. представлены чертежи из первого патента М.О. Доливо-Добровольского в области трехфазной системы. Этим патентом он закрепил за собой изобретение ротора с «беличьим колесом», конструкция которого принципиально сохранилась в том же виде и до настоящего времени.

Следующим шагом М.О. Доливо-Добровольского явилась замена двухфазной системы трехфазной. Он совершенно справедливо отмечал, что при увеличении числа фаз улучшается распределение намагничивающей силы по окружности статора асинхронного электродвигателя. Уже переход от двухфазной системы к трехфазной дает значительный выигрыш в этом отношении. Дальнейшее увеличение числа фаз нецелесообразно, так как оно привело бы к значительному увеличению расхода меди на провода. Вскоре выяснились и другие преимущества трехфазной системы.

Но каким образом проще всего получить трехфазную систему? Уже был известен способ, при помощи которого обычную машину постоянного тока можно было превратить в генератор переменного тока. Как уже отмечалось, П.Н. Яблочков и З. Грамм еще в конце 70-х годов XIX в. секционировали кольцевой якорь генератора и получали от каждой секции переменный ток. В середине 80-х годов были построены первые вращающиеся одноякорные преобразователи. Эти преобразователи очень просто получались из обычной машины постоянного тока: от двух диаметрально противоположных точек обмотки якоря двухполюсной машины делались отпайки, которые выводились на контактные кольца. В этом случае к коллектору машины подводился постоянный ток, а с колец снимался переменный. Если в том же якоре машины постоянного тока сделать отпайки от четырех равноотстоящих точек, то на четырех кольцах легко получить двухфазную систему тока.

Н. Тесла построил синхронный генератор, в котором имелись три независимые катушки, расположенные под углом 60° одна к другой. Такой генератор давал трехфазную систему токов, но требовал для передачи энергии шесть проводов, так как в этом случае получалась несвязанная трехфазная цепь с токами, сдвинутыми по фазе на 60° . М.О. Доливо-Добровольский в результате исследования различных схем обмоток сделал ответвления от трех равноотстоящих точек якоря машин постоянного тока. Таким образом были получены токи с разностью фаз 120° . Сохранив в этой машине коллектор, можно было использовать ее в качестве одноякорного преобразователя.

Таким путем была найдена связанная трехфазная система, при которой для передачи и распределения электроэнергии требуется только три провода. В двухфазной системе Н. Теслы также имелась возможность обойтись тремя проводами, однако достоинства симметричной связанной трехфазной цепи подкреплялись другими преимуществами как двигателей, так и вообще трехфазной системы. Последняя является симметричной, уравновешенной и экономичной. На три провода в трехфазной системе для передачи одинаковой мощности требовалось затратить металла на 25 % меньше, чем на два провода в однофазной. Эта очевидная экономия металла была одним из главных аргументов в пользу трехфазной системы.

Дальнейшее увеличение числа фаз привело бы к некоторому улучшению использования электрических машин, но вызвало бы соответствующее увеличение числа линейных проводов. Таким образом, трехфазная система электрических токов является оптимальной многофазной системой.

Системе трех «сопряженных» токов М.О. Доливо-Добровольский дал специальное наименование «Drehstrom», что в переводе на русский язык означает «вращающийся ток». Указанный термин, хорошо характеризующий способность образовывать вращающееся магнитное поле, до настоящего времени сохранился в немецкой литературе.

Весной 1889 г. был построен первый трехфазный асинхронный электродвигатель мощностью около 100 Вт. Этот двигатель питался током от трехфазного одноякорного преобразователя и при испытаниях показал вполне удовлетворительные результаты.

Поражает конструктивная законченность первых асинхронных электродвигателей М.О. Доливо-Добровольского. Стержни «беличьего колеса» он предлагает делать неизолированными, сердечник ротора массивным или шихтованным, стержни по торцам он соединил короткозамыкающими кольцами, для статора впервые ввел полузакрытые пазы.

Вслед за первым одноякорным преобразователем был создан второй, более мощный, а затем началось изготовление трехфазных синхронных генераторов. Уже в первых генераторах применялись два основных способа соединения обмоток: в звезду и треугольник. В дальнейшем М.О. Доливо-Добровольскому удалось улучшить использование статора с помощью широко применяемого в настоящее время метода, заключающегося в том, что обмотку делают разрезной и противоположащие катушки соединяют встречно.

Важным достижением М.О. Доливо-Добровольского явилось также то, что он отказался от выполнения двигателя с выступающими полюсами и сделал обмотку статора распределенной по всей его окружности, благодаря чему значительно уменьшилось магнитное рассеяние по сравнению с двигателями Н. Теслы. Так трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором получил современные конструктивные формы. Вскоре М.О. Доливо-Добровольским было внесено еще одно усовершенствование: кольцевая обмотка статора была заменена барабанной. После этого асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором приобрел современный вид.

Новое затруднение в развитии трехфазной техники возникло в связи с ограниченной мощностью первых источников энергии, как отдельных генераторов, так и электростанций в целом. Дело в том, что пусковой ток асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором может в несколько раз превышать номинальный, и по этому включение двигателя мощностью свыше 2 кВт отражалось на работе других потребителей.

М.О. Доливо-Добровольский в 1890 г. изготовил двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью примерно 3,7 кВт и при первом же испытании обнаружил значительное ухудшение пусковых свойств. Причина этого заключалась в том, что короткозамкнутый ротор был «слишком замкнут накоротко». При увеличении сопротивления обмотки ротора пусковые условия заметно улучшались, но рабочие характеристики двигателя ухудшались. Анализ возникших затруднений привел к

созданию так называемого фазного ротора, т.е. такого, обмотка которого делается, подобно обмотке статора, трехфазной и ее концы соединяются с тремя кольцами, насаженными на вал. С помощью щеток эти кольца соединяются с пусковым реостатом. Таким образом, в момент пуска цепь ротора имеет большое сопротивление, которое уменьшается по мере нарастания частоты вращения. На рис., взятом из доклада М.О. Доливо-Добровольского на первом Всероссийском электротехническом съезде (1899), показана принципиальная конструкция двигателя.

Контрольные вопросы и задания.

1. Изобретения М.О. Доливо-Добровольского.
2. Подготовить презентационные проекты на тему: создание первых асинхронных двигателей, у истоков электрификации, основоположник трехфазных систем Михаил Доливо-Добровольский.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 10.

Тема 10. Зарождение электроэнергетики. Энергетическая техника. Исторические условия возникновения и развития энергетической техники. Роль электрического освещения в становлении электроэнергетики.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Начало развития электротехнологии принято связывать с работами академика В. В. Петрова, который впервые исследовал электрическую дугу и указал на ее возможные области применения для нагрева, плавки и восстановления из окислов металлов, а также для электролиза воды. В XIX в. начались разработки электротехнологических установок различного назначения, как чисто исследовательских, так и имеющих промышленное применение. Это работы таких ученых, как М. Депре (Франция, 1849) - печь сопротивления и дуговая печь, Л.-А. Пишон (Франция, 1853) - дуговая печь косвенного действия для металлургии, В. Сименс (Англия, 1879) - дуговые печи прямого и косвенного действия, О. Хэвисайд (Англия, 1884), Н. Г. Славянов (Россия, 1888) - дуговая электросварка, С. Томпсон (Англия, 1891), Ивинг (Англия, 1892), С. Ферранти (Италия, 1887) - теория и практика индукционного нагрева и плавки. Мощный импульс для развития электротехнологии дали многочисленные работы по получению алюминия, в ходе которых разрабатывались различные типы электротехнологических установок (ЭТУ): гарниссажная печь Ч. С. Бадли (США, 1883), резистивные рудовосстановительные печи прямого нагрева братьев А. и Е. Коулесс (США, 1884), электролизные ванны П. Л. Т. Эру

(Франция, 1886) и Ч. М. Холла (США, 1886). Однако эффективное развитие и применение стало возможным лишь с переходом от химических источников питания к источникам питания, основанным на законе электромагнитной индукции, т. е. с созданием мощных генераторов и увеличением производства электроэнергии в конце XIX - начале XX в. С этого времени начали развиваться различные виды для осуществления разнообразных технологических процессов, в частности для получения и обработки качественных сталей, цветных и тугоплавких металлов, полупроводников, пластмасс и других материалов. На создание сильное влияние оказали развитие автомобилестроения (особенно в США), а позднее авиа- и ракетостроения, атомной промышленности и др. Электротермические установки используют различные физические механизмы преобразования электрической энергии в тепловую. Соответственно выделяются следующие виды нагрева:

резистивный;

электродуговой;

индукционный (нагрев проводников в электромагнитном поле);

диэлектрический (нагрев диэлектриков в электромагнитном поле);

плазменный (нагрев потоком плазмы - ионизированного газа);

электронно-лучевой;

фотонный (нагрев с использованием лазера - лазерный).

Отметим, что если первые три вида нагрева известны с XIX в., а диэлектрический нагрев стали применять с 30-х гг. XX в., то начало развития электронно-лучевого, плазменного и лазерного нагрева относится уже к 50-60-м гг. XX в. Историю развития электротехнологии целесообразно рассматривать в соответствии с приведенной классификацией.

Как известно, одними из наиболее распространенных в промышленности являются механические процессы. Поэтому уже в 70–80-х годах XIX столетия начинает проявляться стремление электрифицировать эти процессы, т.е. осуществить электрический привод различных исполнительных механизмов. Однако до начала 90-х годов применение электропривода носило эпизодический характер. Лишь в некоторых случаях, когда предприятия располагали блок-станциями для электрического освещения, электродвигатели применялись для привода вентиляторов, насосов, подъемников и других механизмов. Следует отметить, что на Всероссийской политехнической выставке в 1872 г. В.Н. Чиколев впервые демонстрировал швейную машину с электрическим приводом – это был первый в мире «электрифицированный станок».

Положение изменилось коренным образом в связи с изобретением асинхронного двигателя. В достаточно короткий срок этот тип двигателя занял доминирующее положение в системе электропривода промышленных предприятий. Чрезвычайная простота асинхронного двигателя, особенно с короткозамкнутым ротором, его надежность и невысокая стоимость позволяют установить в любом цехе сотни и тысячи двигателей при небольшом обслуживающем персонале. Такие двигатели могут выполняться в герметических корпусах, и, следовательно, их можно использовать в тяжелых условиях: в атмосфере повышенной влажности, бензиновых паров и т.п. Асинхронные двигатели без повреждений выдерживают значительные кратковременные перегрузки, тогда как в двигателях постоянного тока любая перегрузка ускоряет износ коллектора.

Существенным недостатком асинхронного двигателя является трудность регулирования частоты вращения. Поэтому до настоящего времени еще очень велик удельный вес регулируемых машин постоянного тока в системе промышленного электропривода. Недостатком асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором также является ограничение их мощности условиями пуска. Это обстоятельство в начальный период развития трехфазной техники, когда мощности электрических станций были невелики, заставляло во многих случаях отказываться от применения двигателей с короткозамкнутым ротором. Мощные двигатели с коротко-замкнутым ротором применялись только в случаях, когда они питались от отдельного генератора. Такие установки часто использовались, например, в водокачках.

Практически развитие электропривода происходило двумя неравнозначными путями. Первый, наиболее типичный, - замена паровых двигателей, работавших на трансмиссию. Это был путь создания крупногруппового электропривода, который не исключал тяжелых производственно-гигиенических условий, определявшихся наличием трансмиссий. Второй путь — эпизодическое применение одиночного привода. Последнее, как правило, имело место только в случае крупных ответственных исполнительных механизмов, предъявлявших специфические требования к приводному двигателю (привод кранов, центрифуг, прокатных станов и т.п.). Но уже в конце века практика наглядно убеждала в преимуществах одиночного привода.

Последний вид привода освобождает промышленное предприятие от трансмиссий и, главное, позволяет работать каждому отдельному исполнительному механизму при переменных нагрузках и наивыгоднейших скоростях, а также позволяет ускорить пуск и изменение направления вращения. Одиночный привод оказал существенное влияние и на конструкцию самого исполнительного механизма. Сближение приводного двигателя с исполнительным механизмом иногда получалось настолько тесным, что конструктивно они представляли собой единое целое. Например, в случае электропривода рольганга ролик, служащий для перемещения металла, является наружным ротором асинхронного двигателя.

В 70-х и особенно 80-х годах XIX в. проводилось много работ по применению электричества на транспорте. Так называемые конно-железные дороги уже не удовлетворяли возросших потребностей городского населения, а применение парового городского транспорта оказалось неприемлемым из-за дыма и копоти. Реальная

возможность для проведения опытов по электрификации транспорта появилась после изобретения генератора Грамма.

Во всех случаях, когда электрическая энергия для питания тягового двигателя генерировалась гальванической или аккумуляторной батареей, техническое решение шло в направлении создания автономных устройств тяги, т.е. таких, в которых как генерирующая установка, так и электродвигатель были размещены на самом экипаже или судне. Когда же для выработки электроэнергии стали применять генераторы Грамма, приводимые в действие соответствующими паровыми агрегатами, система автономной электрической тяги перестала распространяться. Проблема электрической тяги могла найти решение лишь при условии разработки приемов экономичной передачи электроэнергии от места ее генерирования к движущемуся экипажу, вагону и т.п. Таким образом, электрическая тяга могла развиваться в виде неавтономной тяги с применением методов экономичной передачи электроэнергии на расстояние.

Система автономной электрической тяги, однако, не была полностью отвергнута; усовершенствование аккумуляторов позволило устраивать систему автономной тяги, пользуясь смонтированной в вагоне или на судне аккумуляторной батареей, током от которой питался электродвигатель.

В 1879 г. В. Сименсом была построена первая небольшая электрическая железная дорога на промышленной выставке. Электрическая энергия по отдельному контактному рельсу передавалась к двигателю небольшого вагона, напоминавшего собой современную аккумуляторную тележку (электрокар); обратным проводом служили рельсы, по которым двигался «локомотив». К последнему были прицеплены три тележки, на которых могли разместиться 18 пассажиров.

В России первые опыты неавтономной электрической тяги были проведены Ф.А. Пироцким. Еще в 1875–1876 гг. он использовал для передачи электроэнергии обычный железнодорожный рельсовый путь. Чтобы улучшить проводимость рельсового пути, он применил стыковые электрические соединения, а для усиления изоляции двух ниток рельсов одной колеи (они были изолированы слоем окалина и шпалами) – смазку подошвы рельсов асфальтом.

В августе 1880 г. Ф.А. Пироцкий осуществил пуск электрического трамвая на опытной линии в районе Рождественского парка конной железной дороги в Петербурге. Питалась эта линия от небольшой электростанции, построенной в парке, с генератором мощностью 4, а позднее 6 л.с. Под трамвайный электровагон был приспособлен двухъярусный вагон конной железной дороги (масса с пассажирами 6,5–7,0 т), к раме которого был подвешен электродвигатель, приводивший в движение ведущую ось через двухступенчатую зубчатую передачу. Схема, предложенная Ф.А. Пироцким, некоторое время применялась для питания трамвайной сети и за рубежом. Она была достаточно проста и давала возможность обойтись без третьего рельса, затруднявшего уличное движение и усложнявшего все сооружение. Недостатком такой схемы было наличие больших потерь электроэнергии от токов утечки из-за плохой изоляции рельсов.

После изобретения способа питания от верхнего контактного провода, сделанного в 1883 г. независимо Ван-Депулем (США) и В. Сименсом (Германия), схему питания по двум рельсам перестали применять на электротранспорте, если не считать ее применения в настоящее время для автоблокировки. Заслугой Ф.А. Пироцкого является также введение зубчатой передачи (вместо ременной) от вала двигателя к колесам. В 1889 г. подобный же передаточный механизм, получивший название «трамвайного привода», был применен Спрэггом в США.

С 1883 г. действовала линия трамвая в г. Портуме (Ирландия) длиной 9,6 км; в 1884 г. были открыты для эксплуатации трамвайные линии в городах Брайтоне (Англия) длиной 1,5 км и Франкфурте-на-Майне (Германия) длиной 6,56 км. Первый трамвай в России, киевский, был пущен для общего пользования в 1892 г., причем решение о строительстве трамвайной линии было принято лишь после того, как убедились, что ни

конная, ни паровая тяга не способны преодолеть крутой подъем от ул. Подол к Кре- щатику. Трамвайная линия соединила густонаселенную окраину Киева с центром города.

На электрическом транспорте почти исключительное применение получил постоянный ток, обеспечивающий надежную работу тяговых электродвигателей и удобное регулирование скорости. Поэтому по мере развития техники переменного тока пришлось сооружать преобразовательные подстанции.

Наиболее естественным и поэтому первым по времени преобразователем переменного тока в постоянный была двигатель-генераторная установка. В 1885–1889 гг. создаются первые одноякорные преобразователи переменного тока в постоянный, которые в каждом случае представляли собой комбинацию синхронного электродвигателя и генератора постоянного тока с общим якорем. Одноякорный преобразователь обладает рядом существенных преимуществ перед двигатель-генераторной установкой: меньшая на 30–40 % масса, значительно меньшие габариты (до 50 %), высокий КПД.

Контрольные вопросы и задания.

1. Пути развития электротехнологии
2. Подготовить презентационные проекты на тему: зарождение электроэнергетики, энергетическая техника, исторические условия возникновения и развития энергетической техники, роль электрического освещения в становлении электроэнергетики.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики R – L и R – C цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 11.

Тема 11. Первые трехфазные электростанции. Основные этапы развития электроэнергетики в России. Основные этапы развития электроэнергетики в мире. Возникновение районных электростанций.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Электростанции, под которыми понимают фабрики по производству электрической энергии, подлежащей распределению между различными производителями, появились не сразу. В 70-х и начале 80-х годов XIX в. место производства электроэнергии не было отделено от места потребления.

Электрические станции, обеспечивавшие электроэнергией ограниченное количество потребителей, назывались блок-станциями (не путать с современным понятием блок-станций, под которым некоторые авторы понимают фабрично-заводские теплоэлектроцентрали). Такие станции иногда называли «домовыми».

Развитие первых электростанций было сопряжено с преодолением трудностей не только научно-технического характера. Так, городские власти запрещали сооружение воздушных линий, не желая портить внешний вид города. Конкурирующие газовые компании всячески подчеркивали действительные и мнимые недостатки нового вида освещения.

На блок-станциях в качестве первичных двигателей применялись в основном поршневые паровые машины и в отдельных случаях двигатели внутреннего сгорания (в то время являвшиеся новинкой), широко использовались локомобили. От первичного двигателя к электрическому генератору делалась ременная передача. Обычно один паровой двигатель приводил в действие один-три генератора; поэтому на крупных блок-станциях устанавливались несколько паровых машин или локомобилей. Для регулировки натяжения ремней электрические генераторы монтировались на салазках. На рис. показан вид электростанции для освещения одного дома.

Впервые блок-станции были построены в Париже для освещения улицы Оперы. В России первой установкой такого рода явилась станция для освещения Литейного моста в Петербурге, созданная в 1879 г. при участии П.Н. Яблочкова.

Однако идея централизованного производства электроэнергии была настолько экономически оправданной и настолько соответствовала тенденции концентрации промышленного производства, что первые центральные электростанции возникли уже в середине 80-х годов XIX в. и быстро вытеснили блок-станции. В связи с тем что в начале 80-х годов массовыми потребителями электроэнергии могли стать только источники света, первые центральные электростанции проектировались, как правило, для питания осветительной нагрузки и вырабатывали постоянный ток.

В 1881 г. несколько предприимчивых американских финансистов под впечатлением успеха, которым сопровождалась демонстрация ламп накаливания, заключили соглашение с Т.А. Эдисоном и приступили к сооружению первой в мире центральной электростанции (на Пирльстрит в Нью-Йорке). В сентябре 1882 г. эта электростанция была сдана в эксплуатацию. В машинном зале станции было установлено шесть генераторов Т.А. Эдисона, мощность каждого составляла около 90 кВт, а общая мощность электростанции превышала 500 кВт. Здание станции и ее оборудование были спроектированы весьма целесообразно, так что в дальнейшем при строительстве новых электростанций развивались многие из тех принципов, которые были предложены Т.А. Эдисоном. Так, генераторы станций имели искусственное охлаждение и соединялись непосредственно с двигателем. Напряжение регулировалось автоматически. На станции осуществлялись

механическая подача топлива в котельную и автоматическое удаление золы и шлака. Защита оборудования от токов короткого замыкания осуществлялась плавкими предохранителями, а магистральные линии были кабельными. Станция снабжала электроэнергией обширный по тому времени район площадью 2,5 км. Вскоре в Нью-Йорке было построено еще несколько станций. В 1887 г. работали уже 57 центральных электростанций системы Т.А. Эдисона.

Исходное напряжение первых электростанций, от которого впоследствии были произведены другие, образующие известную шкалу напряжений, сложилось исторически. Дело в том, что в период исключительного распространения дугового электрического освещения эмпирически было установлено, что наиболее подходящим для горения дуги является напряжение 45 В. Чтобы уменьшить токи короткого замыкания, которые возникали в момент зажигания ламп (при соприкосновении углей), и для более устойчивого горения дуги включали последовательно с дуговой лампой балластный резистор.

Также эмпирически было найдено, что сопротивление балластного резистора должно быть таким, чтобы падение напряжения на нем при нормальной работе составляло примерно 20 В. Таким образом, общее напряжение в установках постоянного тока сначала составляло 65 В, и это напряжение применялось долгое время. Однако часто в одну цепь включали две другие лампы, для работы которых требовалось $2 \times 45 = 90$ В, а если к этому напряжению прибавить еще 20 В, приходящиеся на сопротивление балластного резистора, то получится напряжение 110 В. Это напряжение почти повсеместно было принято в качестве стандартного.

Уже при проектировании первых центральных электростанций столкнулись с трудностями, которые в достаточной степени не были преодолены в течение всего периода господства техники постоянного тока. Радиус электроснабжения определяется допустимыми потерями напряжения в электрической сети, которые для данной сети тем меньше, чем выше напряжение. Именно это обстоятельство заставило строить электростанции в центральных районах города, что существенно затрудняло не только обеспечение водой и топливом, но и удорожало стоимость земельных участков для строительства электростанций, так как земля в центре города была чрезвычайно дорога. Этим, в частности, и объясняется необычный вид нью-йоркских электростанций, на которых оборудование располагалось на многих этажах. Положение осложнялось еще тем, что на первых электростанциях приходилось размещать большое количество котлов, паропроизводительность которых не соответствовала новым требованиям, предъявленным электроэнергетикой.

Не менее удивился бы наш современник, увидев первые петербургские электростанции, которые обслуживали район Невского проспекта. В начале 80-х годов XIX в. они размещались на баржах, закрепленных у причалов на реках Мойке и Фонтанке. Строители исходили из соображений дешевого водоснабжения, кроме того, при таком решении не нужно было покупать земельные участки, близкие к потребителю.

В 1886 г. в Петербурге было учреждено акционерное «Общество электрического освещения 1886 г.»: (сокращенно называлось «Общество 1886 г.»), которое приобрело электростанции на реках Мойке и Фонтанке и построило еще две: у Казанского собора и на Инженерной площади. Мощность каждой из этих электростанций едва превышала 200 кВт.

В Москве первая центральная электростанция (Георгиевская) была построена в 1886 г. тоже в центре города, на углу Большой Дмитровки и Георгиевского переулка. Ее энергия использовалась для освещения прилегающего района. Мощность электростанции составляла 400 кВт.

Ограниченные возможности расширения радиуса электроснабжения привели к тому, что удовлетворить спрос на электроэнергию со временем становилось все труднее. Так, в Петербурге и Москве к середине 90-х годов возможности присоединения новой нагрузки

к существующим электростанциям были исчерпаны и встал вопрос об изменении схем сети или даже об изменении рода тока.

Рост потребностей в электроэнергии эффективно стимулировал повышение производительности и экономичности тепловой части электрических станций. Прежде всего следует отметить решительный поворот от поршневых паровых машин к паровым турбинам. Первая турбина на электростанциях России была установлена в 1891 г. в Петербурге (станция на р. Фонтанке). За год до этого испытание турбины было проведено на станции, расположенной на р. Мойке. Выше уже отмечался наиболее существенный недостаток электроснабжения постоянным током – слишком малая площадь района, которая может обслуживаться центральной электростанцией. Удаленность нагрузки не превышала нескольких сотен метров. Электростанции стремились расширить круг потребителей своего товара – электроэнергии. Этим объясняются настойчивые поиски путей увеличения площади электроснабжения при условии сохранения уже построенных станций постоянного тока. Было предложено несколько идей, как увеличить радиус распределения энергии.

Первая идея, не получившая заметного распространения, касалась понижения напряжения электрических ламп, подключаемых в конце линии. Однако расчеты показали, что при протяженности сети более 1,5 км экономически выгоднее было построить новую электростанцию.

Другое решение, которое могло во многих случаях удовлетворить потребность, состояло в изменении схемы сети: переходе от двухпроводных сетей к многопроводным, т.е. фактически к повышению напряжения

Трехпроводная система распределения электроэнергии была предложена в 1882 г. Дж. Гопкинсоном и независимо от него Т. Эдисоном. При этой системе генераторы на электростанции соединялись последовательно и от общей точки шел нейтральный, или компенсационный провод. При этом обычные лампы сохранялись. Они включались, как правило, между рабочими и нейтральным проводами, а двигатели для сохранения симметрии нагрузки можно было включать на повышенное напряжение (220 В).

Практическими результатами введения трехпроводной системы явилось, во-первых, увеличение радиуса электроснабжения примерно до 1200 м, во-вторых, относительная экономия меди (при всех прочих одинаковых условиях расход меди при трехпроводной системе был практически вдвое меньше, чем при двухпроводной).

Для регулирования напряжения в ветвях трехпроводной сети применялись различные устройства: регулировочные дополнительные генераторы, делители напряжения, в частности получившие значительное распространение делители напряжения Михаила Осиповича Доли-во-Добровольского, аккумуляторные батареи. Трехпроводная система широко применялась как в России, так и за рубежом. Она сохранилась вплоть до 20-х годов XX в., а в отдельных случаях применялась и позднее.

Максимальный вариант многопроводных систем пятипроводная сеть постоянного тока, в которой применялись четыре последовательно включенных генератора и напряжение, увеличивалось вчетверо. Радиус электроснабжения возрастал всего до 1500 м. Однако эта система не получила широкого применения.

Третий путь увеличения радиуса электроснабжения предполагал сооружение аккумуляторных подстанций. Аккумуляторные батареи были в то время обязательным дополнением каждой электростанции. Они покрывали пики нагрузок. Заряжаясь в дневные и поздние ночные часы, они служили резервом.

Сети с аккумуляторными подстанциями получили некоторое распространение. В Москве, например, в 1892 г. была построена аккумуляторная подстанция в Верхних торговых рядах (ныне ГУМ), находившаяся на расстоянии 1385 м от Георгиевской центральной станции. На этой подстанции были установлены аккумуляторы, питавшие около 2000 ламп накаливания.

В последние два десятилетия XIX в. было построено много электростанций постоянного тока, и они долгое время давали значительную долю общей выработки электроэнергии. Мощность таких электростанций редко превышала 500 кВт, агрегаты обычно имели мощность до 100 кВт.

Все возможности увеличения радиуса электроснабжения при постоянном токе довольно быстро были исчерпаны, особенно в крупных городах.

В 80-х годах XIX в. начинают сооружаться электростанции переменного тока, выгодность которых для увеличения радиуса электроснабжения была бесспорной. Если не считать блок-станций переменного тока, построенных в Англии в 1882–1883 гг., то, по-видимому, первой постоянно действовавшей электростанцией переменного тока можно считать электростанцию Гровнерской галереи (Лондон). На этой станции, пущенной в эксплуатацию в 1884 г., были установлены два генератора переменного тока В. Сименса, которые через последовательно включенные трансформаторы Дж.Д. Голяра и Л. Гиббса работали на освещение галереи. Недостатки последовательного включения трансформаторов и, в частности, трудности поддержания постоянства тока были выявлены довольно быстро, и в 1886 г. эта станция была реконструирована по проекту С.Ц. Ферранти. Генераторы В. Сименса были заменены машинами конструкции С.Ц. Ферранти мощностью 1000 кВт каждая с напряжением на зажимах 2,5 кВ. Трансформаторы, изготовленные по проекту С.Ц. Ферранти, включались в цепь параллельно и служили для снижения напряжения в непосредственной близости от потребителей.

В 1889–1890 гг. С.Ц. Ферранти вновь вернулся к проблеме электроснабжения Лондона с целью обеспечения электроэнергией района лондонского Сити. В связи с высокой стоимостью земельного участка в центре города было решено построить электростанцию в одном из предместий Лондона, в Дептфорде, находящемся в 12 км от Сити. Очевидно, на таком большом расстоянии от места потребления электроэнергии электростанция должна была вырабатывать переменный ток. При сооружении этой установки были применены мощные по тому времени генераторы высокого напряжения (10 кВ) мощностью по 1000 л.с. Общая мощность Дептфордской электростанции составляла около 3000 кВт. На четырех городских подстанциях, питавшихся по четырем магистральным кабельным линиям, напряжение понижалось до 2400 В, а затем уже у потребителей (в домах) – до 100 В.

Примером крупной гидростанции, питавшей осветительную нагрузку в однофазной цепи, может служить станция, построенная в 1889 г. на водопаде вблизи г. Портленда (США). На этой станции гидравлические двигатели приводили в действие восемь однофазных генераторов общей мощностью 720 кВт. Кроме того, на электростанции были установлены 11 генераторов, предназначенных специально для питания дуговых ламп (по 100 ламп на каждый генератор). Энергия этой станции передавалась на расстояние 14 миль в г. Портленд.

Характерная особенность первых электростанций переменного тока — изолированная работа отдельных машин. Синхронизация генераторов еще не производилась, и от каждой машины шла отдельная цепь к потребителям. Легко понять, насколько неэкономичными при таких условиях оказались электрические сети, на сооружение которых расходовались колоссальные количества меди и изоляторов.

В России крупнейшие станции переменного тока были сооружены в конце 80-х и начале 90-х годов XIX в. Первая центральная электростанция построена венгерской фирмой «Ганц и К⁰» в г. Одессе в 1887 г. Основным потребителем энергии была однофазная система электрического освещения нового театра. Эта электростанция представляла собой для своего времени прогрессивное сооружение. Она имела четыре водотрубных котла общей производительностью 5 т пара в час, а также два синхронных генератора общей мощностью 160 кВт при напряжении на зажимах 2 кВ и частоте 50 Гц. От распределительного щита энергия поступала в линию длиной 2,5 км, ведущую к

трансформаторной подстанции театра, где напряжение понижалось до 65 В (на которое были рассчитаны лампы накаливания). Оборудование электростанции было столь совершенным для своего времени, что, несмотря на то что топливом служил привозной английский уголь, стоимость электроэнергии была ниже, чем на более поздних петербургских и московских электростанциях. Расход топлива составлял 3,4 кг/(кВт/ч) [на петербургских электростанциях 3,9–5,4 кг/(кВт/ч)].

В том же году началась эксплуатация электростанции постоянного тока в Царском Селе (ныне г. Пушкин). Протяженность воздушной сети в Царском Селе уже в 1887 г. была около 64 км, тогда как два года спустя суммарная кабельная сеть «Общества 1886 г.» в Москве и Петербурге, составляла только 115 км. В 1890 г. Царскосельская электростанция и сеть, были реконструированы и переведены на однофазную систему переменного тока напряжением 2 кВ. По свидетельству современников, Царское Село было первым городом в Европе, который был освещен исключительно электричеством.

Крупнейшей в России электростанцией для снабжения однофазной системы переменного тока была станция на Васильевском острове в Петербурге, построенная в 1894 г. инженером Н.В. Смирновым. Мощность ее составляла 800 кВт и превосходила мощность любой существовавшей в то время станции постоянного тока. В качестве первичных двигателей использовались четыре вертикальные паровые машины мощностью 250 л.с. каждая. Применение переменного напряжения 2000 В позволило упростить и удешевить электрическую сеть и увеличить радиус электроснабжения (более 2 км при потере до 3% напряжения в магистральных проводах вместо 17–20% в сетях постоянного тока).

Таким образом, опыт эксплуатации центральных станций и однофазных сетей показал преимущества переменного тока, но вместе с тем, как уже отмечалось, выявил ограниченность его применения. Однофазная система тормозила развитие электропривода, усложняла его. Так, например, при подключении силовой нагрузки к сети Дептфордской станции приходилось дополнительно помещать на валу каждого синхронного однофазного двигателя еще разгонный коллекторный двигатель переменного тока. Легко понять, что такое усложнение электропривода делало весьма сомнительной возможность его широкого применения.

Контрольные вопросы и задания.

1. Что такое электростанции и как их называли ранее?
2. Как происходило развитие первых электростанций?
3. Кто дал начало широкому практическому применению электрической энергии?
4. Подготовить презентационные проекты на тему: первые трехфазные электростанции, основные этапы развития электроэнергетики в России, основные этапы развития электроэнергетики в мире, возникновение районных электростанций.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.

3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 12.

Тема 12. Основные этапы развития электрических сетей. Развитие тепловых электростанций. Развитие гидроэлектростанций. Развитие атомных электростанций.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Электрические станции, которые стали интенсивно строиться в 70–80-х гг. XIX в. и продолжают строиться в настоящее время, можно классифицировать по первичной энергии на следующие виды:

- тепловые, включая атомные;
- гидравлические;
- ветровые;
- гелиостанции;
- геотермальные;
- приливные и др.

Тепловые электростанции, в зависимости от типа первичного двигателя (а электрическая энергия пока является только вторичной энергией), подразделяются на электростанции: с паровыми турбинами – КЭС (конденсационные) или ГРЭС (государственная районная электростанция), вырабатывающие только электрическую энергию; с теплофикационными турбинами – ТЭЦ, в которых одна часть тепловой энергии отдается потребителям в виде горячей воды или пара, а другая часть идет на выработку электроэнергии; с поршневыми машинами – локомотивами или дизелями; с газовыми турбинами; атомные и др.

Тепловые электростанции используют для выработки энергии органическое топливо. По виду вырабатываемой энергии ТЭС бывают конденсационными (КЭС), вырабатывающими только электрическую энергию, и теплоэлектроцентралями (ТЭЦ), вырабатывающими не только электрическую, но и тепловую энергию. Тепловые электростанции (ТЭС) состоят из основных крупных узлов.

Котельная установка (реактор) служит для выработки пара из воды за счет использования тепла топлива (угля, торфа, нефти, мазута и т. д.). В котельную установку входит топка, где происходит сжигание топлива, и паровой котел. Кроме этого в нее входит пароперегреватель, экономайзер (для подогрева питательной воды), воздухоподогреватель (для подогрева воздуха для топки). Котельная установка имеет также вспомогательное оборудование: тягодувное устройство – естественное (в виде высокой трубы) или искусственное (дутьевые вентиляторы); золоуловители (фильтры); систему водоподготовки (очистка воды).

Газотурбинные электростанции работают примерно по тому же принципу, что и паротурбинные, но в качестве рабочего вещества используется не водяной пар, а газ – продукт сгорания топлива или природный газ. Применение газовых турбин

в настоящее время - одно из перспективных путей снижения затрат на получение электрической и тепловой энергии. Для них характерно блочно-модульное исполнение, высокие технические характеристики, малые габариты (так как не требуется паровой котел и паропроводы). Для повышения эффективности они укомплектовываются водяным котлом утилизатором, КПД с таким котлом примерно равно 77 %.

В гидростанциях (ГЭС) для производства электроэнергии используется энергия движущейся воды. Первичными двигателями электрогенераторов являются гидротурбины, в которых потенциальная и кинетическая энергия воды преобразуется в механическую энергию для вращения ротора генератора.

Гидротурбина состоит из рабочего колеса и направляющего устройства. Рабочее колесо жестко закреплено на валу турбины, имеет на своем обode по всему периметру ряд особо изогнутых лопаток. Направляющее устройство придает движению воды нужное направление и регулирует количество воды, поступающее в турбину с помощью поворотных лопаток. Механизм разворота направляющих лопаток связан с регулятором турбины, поддерживающим постоянное число оборотов турбины и тем самым частоту тока. Из рабочего колеса вода отводится через всасывающую трубу в нижний бьеф гидростанции.

Первоначальные затраты при строительстве АЭС в 1,5-2 раза выше, чем при строительстве ТЭЦ, но себестоимость электроэнергии ниже в 1,3- 1,7 раза.

АЭС для получения электроэнергии и тепла используют ядерное горючее. Вместо котельного агрегата на атомных станциях используется ядерный реактор и особые парогенераторы.

Контрольные вопросы и задания.

Подготовить презентационные проекты на тему: основные этапы развития электрических сетей, развитие тепловых электростанций, развитие гидроэлектростанций, развитие атомных электростанций.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 13.

Тема 13. Зарождение электропривода, электротранспорта и электротехнологии. Развитие электропривода. Развитие электротехнологии.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Как известно, одними из наиболее распространенных в промышленности являются механические процессы. Поэтому уже в 70–80-х годах XIX столетия начинает проявляться стремление электрифицировать эти процессы, т.е. осуществить электрический привод различных исполнительных механизмов. Однако до начала 90-х годов применение электропривода носило эпизодический характер. Лишь в некоторых случаях, когда предприятия располагали блок-станциями для электрического освещения, электродвигатели применялись для привода вентиляторов, насосов, подъемников и других механизмов. Следует отметить, что на Всероссийской политехнической выставке в 1872 г.

В.Н. Чиколев впервые демонстрировал швейную машину с электрическим приводом – это был первый в мире «электрифицированный станок».

Положение изменилось коренным образом в связи с изобретением асинхронного двигателя. В достаточно короткий срок этот тип двигателя занял доминирующее положение в системе электропривода промышленных предприятий. Чрезвычайная простота асинхронного двигателя, особенно с короткозамкнутым ротором, его надежность и невысокая стоимость позволяют установить в любом цехе сотни и тысячи двигателей при небольшом обслуживающем персонале. Такие двигатели могут выполняться в герметических корпусах, и, следовательно, их можно использовать в тяжелых условиях: в атмосфере повышенной влажности, бензиновых паров и т.п. Асинхронные двигатели без повреждений выдерживают значительные кратковременные перегрузки, тогда как в двигателях постоянного тока любая перегрузка ускоряет износ коллектора.

Существенным недостатком асинхронного двигателя является трудность регулирования частоты вращения. Поэтому до настоящего времени еще очень велик удельный вес регулируемых машин постоянного тока в системе промышленного электропривода. Недостатком асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором также является ограничение их мощности условиями пуска. Это обстоятельство в начальный период развития трехфазной техники, когда мощности электрических станций были невелики, заставляло во многих случаях отказываться от применения двигателей с короткозамкнутым ротором. Мощные двигатели с коротко-замкнутым ротором применялись только в случаях, когда они питались от отдельного генератора. Такие установки часто использовались, например, в водокачках.

Практически развитие электропривода происходило двумя неравнозначными путями. Первый, наиболее типичный, - замена паровых двигателей, работавших на трансмиссию. Это был путь создания крупногруппового электропривода, который не исключал тяжелых производственно-гигиенических условий, определявшихся наличием трансмиссий. Второй путь — эпизодическое применение одиночного привода. Последнее, как правило, имело место только в случае крупных ответственных исполнительных механизмов, предъявлявших специфические требования к приводному двигателю (привод кранов, центрифуг, прокатных станов и т.п.). Но уже в конце века практика наглядно убеждала в преимуществах одиночного привода.

Последний вид привода освобождает промышленное предприятие от трансмиссий и, главное, позволяет работать каждому отдельному исполнительному механизму при переменных нагрузках и наивыгоднейших скоростях, а также позволяет ускорить пуск и изменение направления вращения. Одиночный привод оказал существенное влияние и на конструкцию самого исполнительного механизма. Сближение приводного двигателя с исполнительным механизмом иногда получалось настолько тесным, что конструктивно они представляли собой единое целое. Например, в случае электропривода рольганга ролик, служащий для перемещения металла, является наружным ротором асинхронного двигателя.

В 70-х и особенно 80-х годах XIX в. проводилось много работ по применению электричества на транспорте. Так называемые конно-железные дороги уже не удовлетворяли возросших потребностей городского населения, а применение парового городского транспорта оказалось неприемлемым из-за дыма и копоти. Реальная возможность для проведения опытов по электрификации транспорта появилась после изобретения генератора Грамма.

Во всех случаях, когда электрическая энергия для питания тягового двигателя генерировалась гальванической или аккумуляторной батареей, техническое решение шло в направлении создания автономных устройств тяги, т.е. таких, в которых как генерирующая установка, так и электродвигатель были размещены на самом экипаже или судне. Когда же для выработки электроэнергии стали применять генераторы Грамма, приводимые в действие соответствующими паровыми агрегатами, система автономной

электрической тяги перестала распространяться. Проблема электрической тяги могла найти решение лишь при условии разработки приемов экономичной передачи электроэнергии от места ее генерирования к движущемуся экипажу, вагону и т.п. Таким образом, электрическая тяга могла развиваться в виде неавтономной тяги с применением методов экономичной передачи электроэнергии на расстояние.

Система автономной электрической тяги, однако, не была полностью отвергнута; усовершенствование аккумуляторов позволило устраивать систему автономной тяги, пользуясь смонтированной в вагоне или на судне аккумуляторной батареей, током от которой питался электродвигатель.

В 1879 г. В. Сименсом была построена первая небольшая электрическая железная дорога на промышленной выставке. Электрическая энергия по отдельному контактному рельсу передавалась к двигателю небольшого вагона, напоминавшего собой современную аккумуляторную тележку (электрокар); обратным проводом служили рельсы, по которым двигался «локомотив». К последнему были прицеплены три тележки, на которых могли разместиться 18 пассажиров.

В России первые опыты неавтономной электрической тяги были проведены Ф.А. Пироцким. Еще в 1875–1876 гг. он использовал для передачи электроэнергии обычный железнодорожный рельсовый путь. Чтобы улучшить проводимость рельсового пути, он применил стыковые электрические соединения, а для усиления изоляции двух ниток рельсов одной колеи (они были изолированы слоем окалина и шпалами) – смазку подошвы рельсов асфальтом.

В августе 1880 г. Ф.А. Пироцкий осуществил пуск электрического трамвая на опытной линии в районе Рождественского парка конной железной дороги в Петербурге. Питалась эта линия от небольшой электростанции, построенной в парке, с генератором мощностью 4, а позднее 6 л.с. Под трамвайный электровагон был приспособлен двухъярусный вагон конной железной дороги (масса с пассажирами 6,5–7,0 т), к раме которого был подвешен электродвигатель, приводивший в движение ведущую ось через двухступенчатую зубчатую передачу. Схема, предложенная Ф.А. Пироцким, некоторое время применялась для питания трамвайной сети и за рубежом. Она была достаточно проста и давала возможность обойтись без третьего рельса, затруднявшего уличное движение и усложнявшего все сооружение. Недостатком такой схемы было наличие больших потерь электроэнергии от токов утечки из-за плохой изоляции рельсов.

После изобретения способа питания от верхнего контактного провода, сделанного в 1883 г. независимо Ван-Депулем (США) и В. Сименсом (Германия), схему питания по двум рельсам перестали применять на электротранспорте, если не считать ее применения в настоящее время для автоблокировки. Заслугой Ф.А. Пироцкого является также введение зубчатой передачи (вместо ременной) от вала двигателя к колесам. В 1889 г. подобный же передаточный механизм, получивший название «трамвайного привода», был применен Спрэггом в США.

С 1883 г. действовала линия трамвая в г. Портуме (Ирландия) длиной 9,6 км; в 1884 г. были открыты для эксплуатации трамвайные линии в городах Брайтоне (Англия) длиной 1,5 км и Франкфурте-на-Майне (Германия) длиной 6,56 км. Первый трамвай в России, киевский, был пущен для общего пользования в 1892 г., причем решение о строительстве трамвайной линии было принято лишь после того, как убедились, что ни конная, ни паровая тяга не способны преодолеть крутой подъем от ул. Подол к Крепости. Трамвайная линия соединила густонаселенную окраину Киева с центром города.

На электрическом транспорте почти исключительное применение получил постоянный ток, обеспечивающий надежную работу тяговых электродвигателей и удобное регулирование скорости. Поэтому по мере развития техники переменного тока пришлось сооружать преобразовательные подстанции.

Наиболее естественным и поэтому первым по времени преобразователем переменного тока в постоянный была двигатель-генераторная установка. В 1885–1889 гг.

создаются первые одноякорные преобразователи переменного тока в постоянный, которые в каждом случае представляли собой комбинацию синхронного электродвигателя и генератора постоянного тока с общим якорем. Одноякорный преобразователь обладает рядом существенных преимуществ перед двигатель-генераторной установкой: меньшая на 30–40 % масса, значительно меньшие габариты (до 50 %), высокий КПД.

Громадное значение в развитии производительных сил сыграли новые отрасли промышленного производства, появление которых обуславливалось применением электрической энергии в качестве основного технологического фактора: промышленная электрохимия и электротермия. Промышленная электрохимия зародилась вместе с гальванотехническими мастерскими и предприятиями по производству электролитическим путем кислорода и водорода.

Опыты по применению электрических дуговых печей для плавки руд, металлов и других веществ начались еще в конце 40-х годов, но лишь в 1878 г. В. Сименсу удалось создать такую конструкцию дуговой печи, что она могла использоваться в промышленном производстве.

Чтобы оценить значение электротермии в конце XIX в., достаточно напомнить, что алюминий благодаря электротехнологии перестал быть драгоценным металлом. Электролитический способ получения алюминия был разработан американским инженером Ч.М. Холлом и французским инженером П. Эру в 1886–1888 гг. Вслед за электролизом алюминия начинает развиваться ряд других электротермических производств. В конце XIX в. был найден способ получения карборунда. Тогда же был разработан метод получения карбида кальция, который стал потребляться в больших количествах для выработки ацетилена. Позднее были изобретены и усовершенствованы различные конструкции электрических печей для производства высококачественных сталей.

Контрольные вопросы и задания

1. Пути развития электропривода.
2. Пути развития электротранспорта.
3. Пути развития электротехнологии.

Подготовить презентационные проекты на тему: зарождение электропривода, электротранспорта и электротехнологии, развитие электропривода, развитие электротехнологии.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 14.

Тема 14. Развитие электротермии. Развитие способов и методов электрической сварки. Развитие электрохимической технологии. Развитие электротехнических систем транспорта.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Первые эксперименты по нагреву проводников электрическим током относятся к XVIII в. В 1749 г. Б. Франклин (США) при исследовании разряда лейденской банки обнаружил нагрев и расплавление металлических проволочек, а позднее по его указанию Дж. Пристли (1766), почетный член Петербургской академии наук, изучал нагрев различных металлов и отметил различия в их проводимости [31, 32].

Нагрев проводников исследовали Л. Тенар (Франция, 1801), В. В. Петров (Россия, 1802) и Х. Дэви (Англия, 1807). Используя вольтов столб, Дж. Г. Чилдрен (Англия, 1815) осуществил нагрев и расплавление различных металлов. Несколько ранее Пеппи (Англия) поставил эксперименты по нагреву алмазной пыли в разрезе железной проволоки, которая при протекании электрического тока раскалялась докрасна. Через некоторое время алмазная пыль исчезала, а железо превращалось в сталь.

Первые применения резистивного нагрева в медицине:

К. А. Штейнхель и К. Хейдер (Австрия, 1845) использовали электрический нагрев для умерщвления зубного нерва; Миддельдорфф (Германия, 1854) применил электронагрев в хирургии. Увеличение производства электроэнергии в конце XIX в. Позволило создавать крупные электропечи

сопротивления. В 1886-1888 гг. братья Коулесс создали печь прямого нагрева для получения алюминия из глинозема (одновременно с расплавлением шел электролиз). Ток проходил между электродами через слой шихты (мощность - 300 кВт, напряжение - 60 В, ток - до 6000 А). В те же годы П. Л. Т. Эру изготовил печь для получения алюминиевой бронзы с проводящим тиглем и электродом сверху. Сначала расплавлялась медь, затем загружался глинозем и шел электролиз. Ток протекал от электрода к корпусу (угольная футеровка) через шихту. Одновременно Ч. М. Холл создал подобную печь. Эти печи существенно снизили стоимость получения алюминия. В. Борхерс (Германия, 1891) создал опытную печь для восстановления оксидов с угольным нагревателем. Е. А. Ачесон (США, 1892) получил патент на печь для нагрева смеси песка, кокса и других материалов. При нагреве эта смесь превращается в огнеупор - карборунд (карбид кремния). При мощности печи 746 кВт за 36 ч получено 3150 кг карборунда. Такая же конструкция печи была использована Е. А. Ачесоном для получения графита из угля.

Электрическая дуговая сварка была изобретена в России. Н. Н. Бенардос 6 июля 1885 г. подал заявку и получил привилегию Департамента торговли и мануфактур № 11982 (1886) на способ «соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока».

Н. Г. Славянов в 1888 г. предложил дуговую сварку с использованием расплавляемого электрода. Этот метод впервые был использован в том же году на Пермских казенных заводах при сварке вала паровой машины. В 1889 г. дуговая сварка по методу Славянова была использована на Пермских казенных заводах при строительстве парохода «Редедя князь Коссогский». В 1891 г. Н. Г. Славянов получил в Департаменте торговли и мануфактур привилегии № 8747 и 8748 на изобретения «электрической отливки

металлов» и «электрического упрочнения металлов», а затем и патенты США и других стран. Им разрабатывались методы автоматического регулирования длины дуги, применения сварки под шлаком (использовалось дробленое стекло), использования предварительного подогрева свариваемых деталей, применения присадок ферросплавов для регулирования химического состава ванны и сварного шва.

В 1905 г. В. Ф. Миткевич предложил использовать трехфазную дугу для сварки металлов.

Одна из проблем электрической сварки – защита расплавленного металла от окисления и повышение устойчивости горения дуги, особенно при использовании плавящегося электрода. О. Кьельберг (Швеция, 1907) предложил специальные покрытия для сварочных электродов, И. Ленгмюр (США, 1911) разработал процесс дуговой сварки в атмосфере водорода, а позднее и с использованием других газов.

Контрольные вопросы и задания

Подготовить презентационные проекты на тему: развитие электротермии, развитие способов и методов электрической сварки, развитие электрохимической технологии, развитие электротехнических систем транспорта.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей:

- учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
 3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
 4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 15.

Тема 15. Развитие электротехнических систем железнодорожного транспорта. Развитие электротехнологических систем городского транспорта (трамвай).

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

В наиболее развитых странах мира еще в XIX в. предпринимались попытки использовать электрическую энергию для перемещения экипажей, в том числе по рельсовому пути.

Различают два вида железнодорожного тягового подвижного состава: автономный и неавтономный. При автономном подвижном составе на локомотиве (тепловозе или моторном вагоне дизель-поезда) устанавливают первичный дизельный двигатель, приводящий во вращение генератор (постоянного тока или синхронный), от которого получают электроэнергию тяговые электрические двигатели (ТЭД), связанные с колесными парами и обеспечивающие перемещение подвижного состава по рельсовому пути.

При неавтономном подвижном составе на локомотиве (электровозе или моторном вагоне электропоезда) устанавливают

только ТЭД с аппаратурой управления и регулирования (а иногда и преобразователи электрической энергии), первичным источником электроэнергии является электростанция. При этом электроэнергия от электростанции к локомотиву передается через линии электропередачи (ЛЭП) и системы тягового электроснабжения, включающие в себя подстанции и контактную сеть, от которой при помощи токоприемника получают питание ТЭД локомотива.

В зависимости от рода тока в контактной сети различают три системы электрической тяги: постоянного тока, однофазного переменного тока промышленной частоты и однофазного переменного тока пониженной частоты.

На железных дорогах России применяются только две первые системы. В современной системе электрической тяги постоянного тока номинальное напряжение на токоприемнике локомотива составляет 3 кВ. Такой уровень напряжения выбран для возможности согласования с номинальным напряжением ТЭД, которые изготавливают на напряжение 1500 В (или 750 В) и соединяют на последней позиции регулирования соответственно по два или четыре последовательно. Помимо ТЭД на локомотиве размещают еще и пускорегулирующую аппаратуру. На тяговых подстанциях в такой системе тяги устанавливают понижающие трансформаторы и полупроводниковые выпрямительно-инверторные агрегаты. При этом расстояние между смежными подстанциями не превышает 15-20 км, а площадь поперечного сечения медных контактных проводов достигает 600 мм² и более, что приводит к значительным расходам цветных металлов.

Слово «трамвай» происходит от английского tramway (трам - вагон и way - путь) - городская наземная электрическая дорога. Трамвай стал развиваться с начала 80-х гг. XIX в. Впервые трамвай был пущен в пригороде Берлина в 1881 г.

Трамвайные вагоны того времени имели малую вместимость - всего 24 пассажира, открытые площадки, маломощные двигатели в 4,5 л. с., ручной тормоз. Электрический ток подводился к двигателям по рельсам. Скорость таких вагонов не превышала 19 км/ч.

С применением в 1883 г. верхнего контактного провода и роликовых токоприемников начался период интенсивного усовершенствования вагонов и строительства трамвайных предприятий.

В России первый трамвай был построен в Киеве в 1892 г., затем был пущен трамвай в Нижнем Новгороде, Казани, Ташкенте. В Москве трамвайное движение было открыто в 1903 г., в Санкт-Петербурге - в 1907 г.

Прогресс в области трамваестроения сопровождался прогрессом в области тягового электрического оборудования, которое включало в себя современные тяговые двигатели типа ДК-259 мощностью 40-45 кВт, управление которыми осуществлялось автоматической контактно-резисторной системой управления (РКСУ), а электрическая аппаратура характеризовалась большой степенью унификации. Электрооборудование обеспечивало маневровый режим работы, автоматический пуск, электродинамическое торможение, спуск с уклонов с различными уставками, работу вагонов по системе многих единиц. Применение нового электрооборудования повысило динамические показатели вагонов (скорость - до 65-70 км/ч, ускорение - до 1,3 м/с², замедление - до 1,2 м/с²) и улучшило комфорт пассажиров.

Контрольные вопросы и задания

Подготовить презентационные проекты на тему: развитие электротехнических систем железнодорожного транспорта, развитие электротехнологических систем городского транспорта (трамвай).

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как

- проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
 3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
 4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 16.

Тема 16. Развитие электротехнологических систем городского транспорта (троллейбусы). Развитие подъемно-транспортного оборудования. Развитие судовых электротехнических систем. Авиакосмическая электротехника.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого технократического мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Слово «троллейбус» происходит от английского trolleybus (trolley – контактный привод, роликовый токоприемник и bus – автобус) – вид городского безрельсового транспорта. Этот вид транспорта родился как гибрид трамвая и омнибуса и впоследствии превратился в автобус с электродвигателем.

Первая троллейбусная линия была построена в 1882 г. в Германии, в г. Шпандау. Вслед за Германией опытные маршруты безрельсового электрического транспорта появляются также в ряде других стран. Первые российские троллейбусы типа ЛК, построенные заводом «Динамо», Ярославским и Московским автомобильными заводами и Научным автотракторным институтом (НАТИ), появились в Москве в 1933 г. В 1936 г. Ярославский автомобильный завод совместно с заводом «Динамо» начал серийный выпуск троллейбусов типа ЯТБ-1. Это был наиболее комфортный для того времени

троллейбус: он имел специальное шасси и полуобтекаемый кузов, надежную тормозную пневматическую систему, а также центральный тормоз, действующий на тяговую передачу. Высоковольтная аппаратура располагалась в шкафах в салоне троллейбуса. Электрическая схема с двигателем мощностью 60 кВт обеспечивала резисторное и рекуперативное торможение и приемлемые динамические показатели машины. В течение 1937–1941 гг. были выпущены модели ЯТБ-2, ЯТБ-4, ЯТБ-4А, ЯТБ-5, а также двухэтажный троллейбус ЯТБ-3. Усовершенствование шло по линии доработки кузова, применения колесного тормоза, лучшей защиты электрооборудования, модернизации червячного редуктора. На троллейбусе ЯТБ-4 был применен двигатель мощностью 74 кВт, что позволяло ему развивать большие скорости, ускорения и замедления.

Троллейбусы ЗиУ-9 оборудованы рабочим пневматическим тормозом, действующим на все колеса машины, ручным стояночным и электродинамическим тормозами. На троллейбусах ведущий задний мост с колесными планетарными передачами и главной центральной гипоидной передачей. Длина и ширина троллейбуса соответственно 11 709 и 2500 мм, масса тары – 10 050 кг, масса троллейбуса с номинальной нагрузкой – 16 490 кг, число мест для сидения – 31, конструктивная скорость – 70 км/ч. С 1988 г. заводы им. М. С. Урицкого и «Динамо» начали выпускать усовершенствованные модели троллейбусов – ЗиУ-682Г и ЗиУ-682Г1, двухосные, трехдверные, предназначенные для городских перевозок. Количество мест для сидения – 27, полная вместимость – 118 пассажиров, передаточное отношение трансмиссии – 1 : 10,699. На троллейбусах использована классическая релейно-контакторная система управления РКСУ, как и на троллейбусе ЗиУ-9. Управление приводом косвенное, полуавтоматическое с групповым реостатным контроллером. Режим работы задается контроллером водителя. Троллейбус ЗиУ-682Г оборудован усовершенствованным двигателем типа ДК-113 смешанного возбуждения мощностью 115 кВт. Максимально преодолеваемый подъем для этой машины – 8 %. С целью реализации лучших динамических показателей, больших подъемов на троллейбусе ЗиУ-682Г1 установлены тяговый двигатель типа ДК-211БМ последовательного возбуждения мощностью 170 кВт и аппаратура управления и защиты повышенной энергоемкости.

В отличие от большинства других производственных механизмов грузоподъемные машины характеризуются весьма разнообразными режимами работы как по значению статической нагрузки, так и по продолжительности работы и частоте включений.

В соответствии с действующими в нашей стране стандартами все многообразие режимов работы грузоподъемных машин сводится к пяти режимам: легкий – Л; средний – С; тяжелый – Т; весьма тяжелый – ВТ; весьма тяжелый, непрерывный – ВТН. В понятие «режим работы» входят: относительная продолжительность включений (ПВ), частота пусков, годовое и суточное использование, коэффициент использования грузоподъемных машин по грузоподъемности и другие показатели напряженности работы.

Категорией напряженности режима учитывается температура окружающей среды, а также такой показатель, как степень ответственности машины, которая может потребовать повышенных запасов прочности. Так, например, разливочный кран мартеновского цеха по частоте включений и ПВ может быть отнесен к легкому режиму. Однако предъявляемые к нему исключительные требования безопасности обуславливают выбирать кран применительно к режиму ВТ или ВТН. В шинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения. В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своем составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых кулачковых и магнитных контроллеров, командоконтроллеров, кнопочных постов, пультов управления, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, пускотормозных резисторов, полупроводниковых устройств регулирования, устройств управления по радиоканалу или одному проводу и ряд других аппаратов, комплектующих различные крановые электроприводы.

Контрольные вопросы и задания

Подготовить презентационные проекты на тему: развитие электротехнологических систем городского транспорта (троллейбусы), развитие подъемно-транспортного оборудования, развитие судовых электротехнических систем, авиакосмическая электротехника.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики R – L и R – C цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
2. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
3. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
4. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 17.

Тема 17. Перспективы развития электроэнергетики в России. Перспективы развития мировой электроэнергетики.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого технократического мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Электротехническая промышленность всегда рассматривалась как основная техническая база электрификации. При этом речь шла об изготовлении изделий, которые лежат в основе электрического хозяйства потребителей – *электрики*. Электрическое хозяйство можно рассматривать поэлементно, например устройство и работу отдельного электродвигателя, затем выделять электрические цепи и системы, опираясь на классические законы ТОО.

Сегодня важнейшие задачи электрики следующие: из сконструированных и уже изготовленных электротехникой изделий представить некоторый образ – будущий объект, чтобы обосновать инвестиции и разработать рабочую документацию на электрическую часть объекта; выполнять строительные, монтажные, наладочные, приемо-сдаточные работы; осуществлять эксплуатацию электротехнических изделий и их электроремонт; обеспечивать электробезопасность и экологические нормы, предусматривать утилизацию продуктов жизнедеятельности электрического хозяйства и его ликвидацию (в целом или части). С основными принципами плана ГОЭЛРО (разработанного в 1920 г. Государственной комиссией по электрификации России): строительство электростанций по единому государственному плану, опережающее развитие тяжелой промышленности, электрификация при концентрации мощностей и централизации электроснабжения, создание на предприятии единого энергохозяйства.

Собственно план ГОЭЛРО, рассчитанный до 1935 г., был выполнен к середине 1931 г. В этот период было произведено 10 687 ГВт·ч: это меньше годового потребления крупного алюминиевого завода. Очевидна положительная роль плана ГОЭЛРО как основополагающего плана развития народного хозяйства, предусматривающего «электрификацию всей страны» (В. И. Ленин). Но если обратиться к реалиям большей части территории России, то следует признать, что к началу XXI в. «электрификация всей страны» так и не была осуществлена.

План ГОЭЛРО был необходим (исключая последующее разрушение в 1930-х гг. действовавшей сети мелких и в 1950-х гг. средних энергоисточников), пока стояла задача индустриализации, решить которую было невозможно без гигантов металлургии, химии, машиностроения. Они, в свою очередь, требовали сооружения гигантов энергетики, строительство которых стало приоритетным. Положение изменилось в последние десятилетия, когда приоритетными стали требования потребителя. Мировые производители электротехники давно это поняли, буквально завалив потребителя не только тем, о чем он знает, но и тем, чего он и представить не мог. Сегодня специалисты-электрики должны уметь формулировать требования потребителя к изготовителям электротехнических изделий и к энергоснабжающей организации, а затем и отстаивать их. Практически это означает реализацию утверждаемого Гражданским кодексом РФ

равенства таких юридических лиц, как энергоснабжающая организация и потребитель, переход от абсолютизма большой энергетики к тезису «Потребитель всегда прав».

Исторический опыт свидетельствует, что новая теория, какие бы практические результаты она ни давала, а тем более новое мышление, не сразу овладевает массами. Формирование (построение) электрического хозяйства и закономерности его функционирования сравнительно новый объект исследования. Лишь в 1944 г. при Государственном комитете обороны была создана Госинспекция по промышленной энергетике и энергонадзору, основан журнал «Промышленная энергетика», введена должность главного энергетика на предприятиях с потребляемой мощностью от 1000 кВт (по электрической нагрузке сегодня это мелкое предприятие, где штатного электрика может не быть совсем), в высшей школе заговорили о внутриводоснабжении, подготовке инженеров-электромехаников, электрификации по отраслям.

Построение электрического хозяйства в период первых пятилеток основывалось на классических представлениях, когда можно было подсчитать все режимы для каждого двигателя (электроприемника), а суммировав, получить электрическую мощность, расход энергии, объемы энергосбережения. И это было правильно и реализуемо, если в кузнечном цехе в 1930-х гг. устанавливали 11 двигателей, в механическом – 34, электроремонтном – 20, в системе водоснабжения – 25, на Центральной электрической станции (ТЭЦ) – 40 (на крупнейших заводах сейчас в 100 раз больше), а сортамент был единичен.

Российская электроэнергетика, созданная отечественными учеными, инженерами и рабочими, является нашей национальной гордостью благодаря не только ее надежности и эффективности, но и ее существенному вкладу в социальную стабильность общества и конкурентоспособность энергоемких отраслей. Это немало для любой страны, а для российских климатических условий и расстояний является достоянием, утратой которого рисковать непозволительно.

До 1 июля 2008 г. в России действовало свыше 100 акционерных энергокомпаний, в том числе 78 вертикально интегрированных региональных энергосистем (АО-энерго) и 25 крупных электростанций в виде акционерных обществ. Холдинговой энергокомпанией являлось РАО «ЕЭС России», где 52 % акций принадлежало Российской Федерации.

Контрольные вопросы и задания

1. Век электроэнергетики
2. Век электротехники

Подготовить презентационные проекты на тему: перспективы развития электроэнергетики в России, перспективы развития мировой электроэнергетики.

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
2. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
3. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
4. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

5. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.
6. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.
7. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.
8. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Практическое занятие 18.

Тема 18. Современная научно-техническая революция и развитие энергетической техники.

Цель занятия: формирование у студента компетенции УК-5.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции: знание истории развития электротехники и электроэнергетики; умение анализировать современное состояние электротехники и электроэнергетики на основе знания истории.

Актуальность темы. Знание истории электротехники и электроэнергетики, избавит современного специалиста от узкого технократического мышления, поможет ему повысить общую культуру и овладеть самыми современными способами производства электротехнических изделий, методами организации и управления производственными процессами.

Теоретическая часть.

Для достижения столь глобальных целей в развитии энергетики необходимо привлечение науки и образования по следующим направлениям:

1. Разработка Целевого видения развития электроэнергетики на период до 2030 г.
2. Исследования по созданию нового конкурентоспособного оборудования для энергокомпаний.
3. Разработка и освоение новых технологий.
4. Сотрудничество с отраслевыми вузами. Прием на работу выпускников вузов. Программы подготовки и переподготовки кадров, повышения квалификации. Корпоративные стипендии и конкурсы. С учетом дефицита органического топлива необходимо искать новые перспективные технологии получения электроэнергии и вкладывать инвестиции в их разработку. К перспективным направлениям относится энергия, получаемая в процессе термоядерного синтеза.

Электротехническая промышленность всегда рассматривалась как основная техническая база электрификации. При этом речь шла об изготовлении изделий, которые лежат в основе электрического хозяйства потребителей – *электрики*. Электрическое хозяйство можно рассматривать поэлементно, например устройство и работу отдельного электродвигателя, затем выделять электрические цепи и системы, опираясь на классические законы ТОЭ.

Сегодня важнейшие задачи электрики следующие: из сконструированных и уже изготовленных электротехникой изделий представить некоторый образ – будущий объект, чтобы обосновать инвестиции и разработать рабочую документацию на электрическую часть объекта; выполнять строительные, монтажные, наладочные, приемо-сдаточные работы; осуществлять эксплуатацию электротехнических изделий и их электроремонт;

ее существенному вкладу в социальную стабильность общества и конкурентоспособность энергоемких отраслей. Это немало для любой страны, а для российских климатических условий и расстояний является достоянием, утратой которого рисковать непозволительно.

До 1 июля 2008 г. в России действовало свыше 100 акционерных энергокомпаний, в том числе 78 вертикально интегрированных региональных нергосистем (АО-энерго) и 25 крупных электростанций в виде акционерных обществ. Холдинговой энергокомпанией являлось РАО «ЕЭС России», где 52 % акций принадлежало Российской Федерации.

Контрольные вопросы и задания

Подготовить презентационные проекты на тему: современная научно-техническая революция и развитие энергетической техники.

Учебно - методическое и информационное обеспечение дисциплины:

Рекомендуемая литература:

Основная литература:

1. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника [Электронный ресурс]: учебное пособие / М. Мастепаненко, И.К. Шарипов, И. Воротников и др.; ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет. - Ставрополь : СГАУ, 2015. - 114 с. : табл., схем., ил. - Библиогр. в кн. ;. - URL: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438870](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438870)
2. Симонов Н. С. Начало электроэнергетики Российской Империи и СССР, как проблема техноценоза: учебник / Инфра-Инженерия, 2017.- 641с.
3. Воротников И.Н. Введение в специальность: электроэнергетика и электротехника: учебное пособие Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015.- 114с.
4. Бирюков В. В. Основы преобразования энергии в электротехнических системах: учебник/ Новосибирск: НГТУ, 2015.- 351с.
5. Ермуратский П.В. Электротехника и электроника: учебник [Электронный ресурс] / П.В. Ермуратский, Г.П. Лычкина, Ю.Б. Минкин. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Профобразование, 2017. - 416 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Бутырин П.А. Основы электротехники [Электронный ресурс]: учебник для студентов средних и высших учебных заведений профессионального образования по направлениям электротехники и электроэнергетики/ Бутырин П.А., Толчеев О.В., Шакирзянов Ф.Н.- Электрон. текстовые данные.- М.: Издательский дом МЭИ, 2014.- 360

с.- Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33220>.- ЭБС «IPRbooks»

2. Копылов А. Ф. , Саломатов Ю. П. , Былкова Г. К. Основы теории электрических цепей: Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики $R - L$ и $R - C$ цепей: учебное пособие, Ч. 1/Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. - 666 с.

3. Чуенкова И.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие Ставрополь: СКФУ, 2015. - 148с.

4. Ушаков В. Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014 - 447 с.

5. Филиппова Т.А. Гидроэнергетика: учебное пособие Новосибирск: НГТУ, 2013. – 621с.

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.IPRbooks.ru>

3. <http://elibrary.ru/> - eLIBRARY.RU - НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА