

ОҢТҮСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		1стр. из 93

ЛЕКЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Электротехника и основы промышленной электроники

Код дисциплины: ЕОРЕ 2203

Название ОП: 6В07201 - Технология фармацевтического производства

Объем учебных часов /(кредитов): 150 часов /(5 кредита)

Курс и семестр изучения: 2 курс, 3 семестр

Объем лекции: 10

Шымкент, 2024 г.

ONTÚSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		2стр. из 93

Лекционный комплекс разработан в соответствии с рабочей учебной программой дисциплины (силлабусом) «Электротехника и основы промышленной электроники» и обсуждена на заседании кафедры.

Протокол № _____ « _____ » _____ 2024 г.

Зав.кафедрой, к.т.н. доцент

Орымбетова Г.Э.

ОҢТҰСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		Зстр. из 93

1. Тема 1: Электрические цепи.

2. Цель: Ознакомиться с историей открытия и использования электричества и электроники и перспективами развития этих направлений

3. Тезисы лекции:

1. Электротехника - область науки и техники на современном этапе
2. Современное состояние энергетики и электроники.
- 3 Перспективы развития электротехники

1. Электротехника - область науки и техники на современном этапе

Электротехника - область науки и техники, использующей электрическое и магнитное явления для практических целей. Жизнь современного общества невозможно представить себе без применения электрической энергии: жилище, одежда, пища, промышленные товары, средства транспорта, получение и передача информации – все это эксплуатируется или производится с помощью электроэнергии. История электротехники насчитывает более двух столетий. В конце XVIII века был изобретен первый электрохимический источник электрической энергии. После этого началось изучение свойств электрического тока, были установлены основные законы электрических цепей, созданы разнообразные конструкции электрических машин и приборов. Однако до 70-х годов XIX в. широкое применение электрической энергии было невозможно из-за отсутствия надежных и экономичных генераторов.

Электрическое освещение явилось первым массовым энергетическим применением электрической энергии. В 70–80 гг. XIX века электротехника превращается в самостоятельную отрасль науки и техники, начинается становление электроэнергетики.

Все возрастающая потребность в использовании электрической энергии привела к проблеме ее централизованного производства, передачи на дальние расстояния, распределения и экономичного использования. Решение проблемы привело к разработке и созданию трехфазных электрических цепей. Огромная заслуга в создании элементов таких цепей принадлежит выдающемуся русскому ученому М.О. Доливо-Добровольскому. Он создал трехфазный асинхронный двигатель, трансформатор, разработал четырехпроводную и трехпроводную цепи (1891г.).

В 90-х годах XIX в. разработаны трехфазные системы; с этого момента начинается новый этап развития электротехники – становление электрификации. Электрическая энергия все шире используется в промышленности, сельском хозяйстве, в быту, транспортных средствах.

Одним из важнейших направлений современного научно-технического прогресса является возможность развития и создание на основе электрификации комплексной механизации и автоматизации производства автоматизированных предприятий и технологических комплексов.

Все это стало возможно благодаря внедрению новейших систем, машин, оборудования и приборов с применением микропроцессорных средств и микроЭВМ, позволившим наиболее эффективно применять разнообразные электротехнические устройства и приборы в различных отраслях народного хозяйства.

2. Современное состояние энергетики и электроники.

Быстрыми темпами развиваются и совершенствуются различные типы источников электрической энергии постоянного тока: солнечные батареи служат основными источниками энергии космических аппаратов в автономном полете. Разрабатываются новые источники постоянного тока – МГД-генераторы, освоение которых позволит значительно повысить КПД электрических станций.

Электротехнические устройства синусоидального (переменного) тока находят широкое применение во многих областях народного хозяйства при генерировании, передаче и трансформировании электрической энергии, в электроприводе, бытовой технике, промышленной электронике, радиотехнике и т. д.

Развитие радиотехники привело к созданию специфических высокочастотных (мегагерцы) устройств: антенн, генераторов, преобразователей и т. д. Многие из этих устройств основаны на свойстве переменного тока генерировать переменное электромагнитное поле, при помощи которого можно осуществить направленную передачу энергии без проводов. Создание различных типов электровакуумных приборов обусловило развитие телевидения, импульсной многоканальной радиосвязи, радиолокации, измерительной техники и других областей промышленной электроники.

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		4стр. из 93

В настоящее время для передачи и распределения электрической энергии в подавляющем большинстве случаев применяются трехфазные системы, существенным преимущество которых является исключительная простота и дешевизна трехфазных асинхронных двигателей, применяющихся во многих отраслях промышленного производства.

Современная энергетика основана на передаче энергии на дальние расстояния, которая возможна только с применением простых преобразователей с малыми потерями энергии – однофазных и трехфазных трансформаторов. Она связана с необходимостью разработки источников электрической энергии (генераторов) большой мощности. У современных турбогенераторов тепловых электростанций мощность равна 100–1500 мВт на один агрегат. Большие мощности имеют и генераторы гидростанций. Все эти вопросы изучает, разрабатывает, совершенствует и внедряет наука, называемая **электротехникой и электроникой**.

На предприятиях при подготовке фармацевтических форм в технологические потоки входят традиционные для многих отраслей производства механические и гидромеханические процессы (измельчение, дозирование, смешивание, разделение неоднородных и однородных жидкостей и т.п.), тепловые процессы (варка, охлаждение, пастеризация, стерилизация и т.п.). Механизация и автоматизация технологических процессов во многом зависит от уровня электрификации этих процессов.

В процессе работы на технологическом оборудовании проводят не только основные (измельчение, перемешивание, варка и т.п.), но и вспомогательные (загрузка, перемещение, контроль, выгрузка и т.п.) операции. В зависимости от соотношения этих операций, а также участия человека в их выполнении различают оборудование неавтоматического, полуавтоматического и автоматического действия. В неавтоматическом (простом) оборудовании вспомогательные и часть основных операций выполняют вручную. В автоматах все основные и вспомогательные операции выполняются оборудованием без участия человека.

3 Перспективы развития электротехники

Сегодня электрическая энергия используется в технике связи, автоматике, измерительной технике, навигации. Она применяется для выполнения механической работы, нагрева, освещения, используется в технологических процессах (электролиз), в медицине, биологии, астрономии, геологии и др. Столь обширное проникновение электротехники в жизнь человека привело к необходимости включить ее в состав общетехнических дисциплин при подготовке специалистов всех технических специальностей. При этом перед студентами стоят две главные задачи. **Первая задача** - ознакомиться и усвоить физическую сущность электрических и магнитных явлений. Это позволит понять принципы работы электромагнитных устройств, правильно их эксплуатировать.

Однако, современному специалисту недостаточно знаний одних физических явлений. Поэтому студенты неэлектрических специальностей должны получить **навыки в методах расчетов** элементарных цепей и устройств, необходимых для успешного изучения последующих прикладных курсов.

Дисциплина построена так, что каждая из тем закрепляется практическими и лабораторными занятиями. Эти виды занятий сопровождаются текущим контролем, который положен в основу формирования рейтинга студента. Поэтому залогом успешного освоения дисциплины является систематическая работа над материалом.

Электротехнические технологии, позволяющие производить электротехническую продукцию, развиваются семимильными шагами. Из электротехники выделилась электроника, предназначенная для получения, преобразования и передачи информации. Уже сменилось пять поколений технологий электроники: от навесного монтажа, царствовавшего с середины XIX по середину XX века, через технологию печатных плат до интегральной микросхемной в наше время.

Производятся всё новые и новые поколения компьютеров. За две трети века сменилось пять их основных поколений: **электрорамповые** (1945 - 1960), **транзисторные** (1960 - 1970), **на микросхемах** (1970 - 1985), **БИС** - микропроцессорные (1985 - 2000), **многопроцессорные** (2000 - 2010)

Ежегодно выпускаются новые модели компьютеров, устройств связи (телефонов, модемов, коммутационного оборудования) которые существенно производительнее прежних.

При всем революционном характере развития электротехники, реальный инновационный процесс идет очень маленькими шажками, путем внедрения отдельных усовершенствований и преимущественно изобретений частного характера.

Уже более 150 лет наблюдается почти экспоненциальный рост количества инноваций. Все это происходит при практически неизменном базисе электротехники - ее теоретических основ.

ОҢТҮСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		5стр. из 93

4.Иллюстративный материал: Для проведения занятия используется следующее материально- техническое обеспечение: ноутбук, мультимедийный проектор, экран.

6.Литература:

основная:

1. Электротехника и электроника учебник / А. Н. Горбунов ; под ред. А. В. Кравцова. - Алматы :Эверо, 2012
2. Шестеркин, Алексей Николаевич Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Шестеркин; УМО вузов по унив. политехн. образованию. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 251, [1] с
3. Гельман, М. В. Основы электроники [Электронный ресурс] : исполнение настольное ручное минимодульное : метод. указания / М. В. Гельман, В. В. Шудяков. - Челябинск : Учтех-Профи, 2013. - 80 с.
4. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
5. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
6. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 2016, ч.1,2,3
7. Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и уравнениях. Практикум на Electronics Workbench. Том 1: Электротехника, том 2: Электроника, -М.: ДОДЕКА, 2012 г. 1 том -303с. и 2 том -287с.

дополнительная:

1. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией Л.А. Бессонова. - М.:Высшая школа, 2008
2. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
3. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
4. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2013. – 798 с.: ил
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2007. – 701с.: ил
6. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.: 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=553180>
7. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 448 с.: ил.; 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494180>
8. Электрические измерения и приборы : Учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров / Г.И. Кольниченко, П.А. Михалин, А.С. Степанов; МОиН РФ, ФГБОУ ВПО МГУЛ. - М. : МГУЛ, 2014. - 89 с. : ил.
9. Арыстанбаев К.Е., Жумабекова А.Б., Умаров А.А. Системы управления химико-фармацевтическими процессами. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с.

Контрольные вопросы

1. Основные вехи открытия электричества
2. Основные вехи открытия электроники
3. Перспективы развития и использования электричества и электроники
4. Объяснить: выполнение операций в полуавтоматическом , автоматическом режиме.

1. Тема 2: Закон Ома и законы Кирхгофа. Методы анализа сложных электрических цепей.

2. Цель: Освоить понятия «Электрические цепи и уравнения соединений. Закон Ома и законы Кирхгофа. Источники электрической энергии»

ОНТҰСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		76-11 бстр. из 93

3.Тезисы лекции:

1. Электрические цепи и уравнения соединений.
2. Приемники электрической энергии
3. Закон Ома и законы Кирхгофа

1. Электрические цепи и уравнения соединений.

Для работы любого электротехнического устройства необходимо, чтобы через него проходил электрический ток, обязательным условием существования которого является наличие замкнутого контура – электрической цепи. Основными элементами электрической цепи являются источники и приемники электрической энергии. Кроме этих элементов, электрическая цепь содержит измерительные приборы, коммутационную аппаратуру, соединительные линии, провода.

В источниках электрической энергии различные виды энергии преобразуются в электрическую.

Так, в генераторах электростанций в электрическую энергию преобразуется энергия механическая, в гальванических элементах и аккумуляторах – химическая, в солнечных батареях – световая и т.д.

В приемниках электрическая энергия источников преобразуется в тепловую (нагревательные элементы), световую (электрические лампы), химическую (электролизные ванны) и т.д.

Основные электротехнические устройства по назначению подразделяются на генерирующие и потребляющие.

Генерирующие устройства производят электрическую энергию. В них происходит преобразование различных видов энергии (химической, механической, тепловой, лучистой и др.) в электрическую энергию. Они называются источниками (рис. 2.1, а).

Потребляющие – это устройства, в которых происходит преобразование электрической энергии в другие виды. Эти устройства называются приемниками (рис. 2.1, б).



Рисунок 2.1 – Основные электротехнические устройства

Чтобы привести в действие приемник электрической энергии, на его входных зажимах необходимо создать и поддерживать определенную разность потенциалов, т. е. электрическое напряжение. Для этого приемное устройство подключают к генерирующему.

Электрическая цепь – совокупность электротехнических устройств, состоящая из источников и приемников электрической энергии, характеризуемых ЭДС – E , током – I , напряжением – U , и электрическим сопротивлением – R .

Отдельные устройства, входящие в электрическую цепь, называются элементами электрической цепи (рис. 2.2): S – выключатель – (коммутационная аппаратура); E – аккумуляторная батарея (источник электрической энергии); HL – приемник электрической энергии (лампа накаливания); pA – амперметр; pV – вольтметр; R_1, R_2 – приемники электрической энергии; 1, 2, 3, 4 – узлы схемы; I, II – независимые контуры.

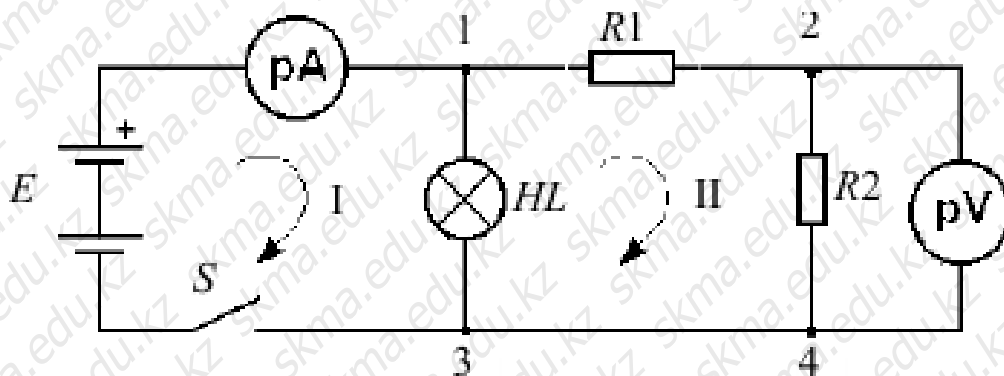


Рисунок 2.2 - Электрическая цепь и элементы электрической цепи

Часть электрической цепи, содержащая выделенные в ней элементы, называется участком цепи. Передающие элементы цепи являются звеном, связывающим источники и приемники. Кроме электрических проводов в это звено могут входить приборы контроля и управления, а также преобразующие устройства, благодаря которым электрическую энергию становится удобно передавать на расстояние и распределять между приемниками.

Графическое изображение электрической цепи называется схемой. В сложных электрических цепях выделяют такие понятия, как ветвь, узел, контур.

Ветвь – участок электрической цепи с одним и тем же током, состоящий из последовательно соединенных элементов (рис. 2, ветвь 1–3 или 1–2, или 2–4).

Узел – место соединения трех и более ветвей (рис.2.2, узел 1, 2, 3, 4).

Различают геометрический и потенциальный узлы. Узлы 1 и 2 – потенциальные, так как их потенциалы не равны (1, 2) из-за наличия падения напряжения на резисторе R_1 . Узлы 3 и 4 – геометрические, так как $3 = 4$, таким образом, это будет один потенциальный узел.

Контур – замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям и узлам так, что ни одна ветвь и ни один узел не встречаются больше одного раза (например, на рис. 2.2: контур 1 – 2 – 4 – 3 = 1).

Независимый контур – это такой контур, в который входит хотя бы одна новая ветвь (например, на рис. 2.2 – контуры I и II).

Основной характеристикой электрических цепей является вольт-амперная характеристика (ВАХ) – зависимость напряжения от тока.

По виду ВАХ различают линейные и нелинейные цепи. Элементы электрической цепи характеризуются электрическим сопротивлением, которое у одних приемников зависит от приложенного напряжения, причем ток пропорционален напряжению и $R = \text{const}$, а у других не зависит. В первом случае эти элементы называются линейными, они имеют линейную ВАХ (рис. 2.3, а).

Зависимость тока от напряжения в таком элементе определяется законом Ома: $I = \frac{U}{R}$, где R – сопротивление линейного элемента.

Во втором случае эти элементы называются нелинейными, они имеют нелинейную ВАХ (рис. 2.3, б). Это – выпрямительные диоды, стабилитроны, терморезисторы и др.



Рисунок .23 - Зависимость тока от напряжения в элементе

Электрические цепи также различают по способу соединения элементов: неразветвленные (рис. 2.4, а) и разветвленные (рис. 2.4, б).

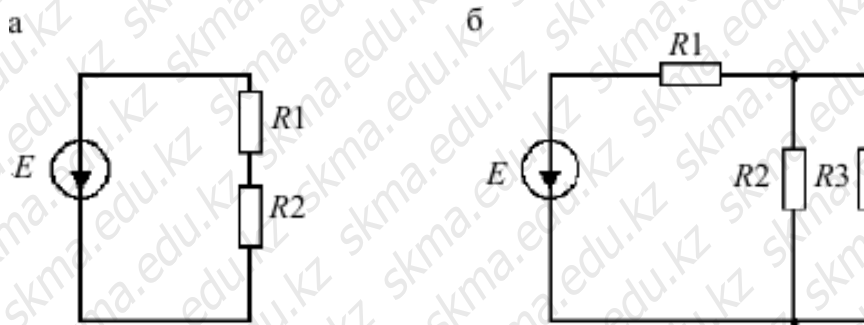


Рисунок 2.4 – Способы соединения электрической цепи

Обозначение источника электрической энергии может отсутствовать на схеме. В этом случае указывается напряжение, подводимое к электрической цепи от источника (рис. 2.5), а последний лишь подразумевается, положительное направление напряжения выбирается произвольно и указывается стрелкой (рис. 2.6).

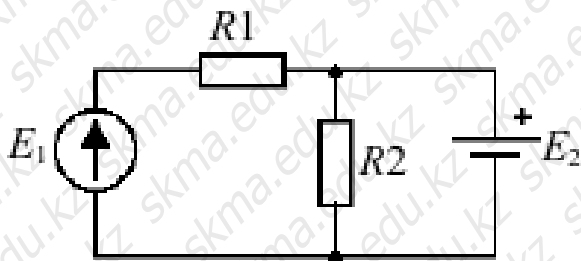


Рисунок 2.5 – Указание напряжения, подводимого к электрической цепи от источника

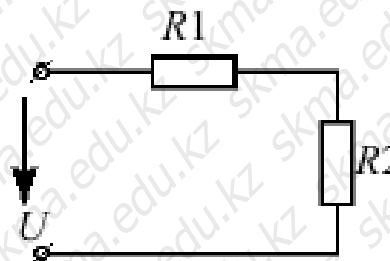


Рисунок 2.6 - Направление напряжения указывается стрелкой

2. Приемники электрической энергии

Постоянный ток принято обозначать символом I , переменный $i(t)$; постоянную ЭДС - E , переменную $e(t)$, U , $u(t)$ сопротивление - R , проводимость - G . В международной системе единиц (СИ) ток измеряют в амперах (А), ЭДС - в вольтах (В), сопротивление в омах (Ом), проводимость - в сименсах (См).

При анализе электрических цепей, как правило, оценивают значение токов, напряжений и мощностей. В этом случае нет необходимости учитывать конкретное устройство различных нагрузок. Важно знать лишь их сопротивление - R , индуктивность - L , или емкость - C . Такие элементы цепи называют приемниками электрической энергии

Приемники электрической энергии делятся на **пассивные и активные**.

Пассивными называют приемники, в которых под действием приложенного напряжения не возникает ЭДС. Вольтамперные характеристики пассивных приемников проходят через начало координат. При отсутствии напряжения ток этих элементов равен нулю. Основной характеристикой пассивных элементов является сопротивление. Пассивные элементы, сопротивление которых не зависит от приложенного напряжения, называются линейными. Реально таких элементов не существует. Но весьма близки к ним резисторы, реостаты, лампы накаливания и др. Зависимость напряжения от тока в таких элементах определяется законом Ома, т.е. $U = IR$, где R - сопротивление элемента. Эта зависимость не меняется, если напряжение и ток - переменные.

Кафедра инженерных дисциплин	044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»	9стр. из 93

К приемникам электрической энергии относятся емкостные и индуктивные элементы. Основным параметр емкостного элемента - емкость C . Единица измерения - Фарада [Ф]. При постоянном напряжении, приложенном к емкости, на ее обкладках накапливается заряд

$$Q = C \cdot U. \quad (2.1)$$

Ток через емкость не протекает. Это означает, что сопротивление емкости в цепи постоянного тока равно бесконечности.

Если к емкости приложено переменное напряжение $u(t)$, то и заряд на ее обкладках становится переменным

$$Q(t) = C \cdot u(t). \quad (2.2)$$

В этом случае в цепи возникает ток

$$i_c(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = C \frac{du(t)}{dt}. \quad (2.3)$$

Выражение (1.7) позволяет определить падение напряжения на емкости, если в цепи протекает переменный ток

$$u_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i_c(t) dt. \quad (2.4)$$

Очевидно, что сопротивление емкостного элемента переменному току определяется законом Ома, но зависит не только от величины, но и от формы тока и напряжения.

Основным параметром индуктивного элемента является индуктивность - L . Единица измерения - Генри [Г]. Если через индуктивность L протекает постоянный ток I , то в ней возникает постоянное во времени потокоцепление самоиндукции

$$\psi = L \cdot I. \quad (2.5)$$

Будем полагать, что элемент L идеальный, т.е. сопротивление витков r отсутствует. Очевидно, что при этом падение напряжения на элементе равно нулю.

Предположим, что индуктивный элемент подключен к источнику переменного тока $i(t)$. Потокосцепление также будет переменным $\psi(t) = L \cdot i(t)$. Изменяющееся потокоцепление наводит в катушке ЭДС самоиндукции

$$e_L(t) = - \frac{d\psi(t)}{dt} = -L \frac{di(t)}{dt}. \quad (2.6)$$

Так как $r=0$, то ЭДС $e_L(t)$ уравнивает напряжение, приложенное к индуктивности

$$u(t) = -e_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}. \quad (2.7)$$

Выражение (1.11) позволяет определить ток индуктивности, если известно приложенное к ней напряжение $u(t)$.

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_0^t u(t) dt. \quad (2.8)$$

Кроме пассивных, в электротехнике применяются **активные приемники**. К ним относятся электродвигатели, аккумуляторы в процессе их заряда и др. В цепи переменного тока при определенных условиях роль активных элементов выполняют индуктивность и емкость. В активных элементах возникает противо-ЭДС E . Приложенное к приемнику напряжение уравнивается противо-ЭДС и падением напряжения на сопротивлении элемента, т.е.

$$U = E + I \cdot R_{en}. \quad (2.9)$$

1.3. Параметры элементов электрических цепей постоянного тока.

Схемы замещения

Каждый элемент электрической цепи обладает определенными свойствами. Чтобы охарактеризовать эти свойства, вводят понятие параметров цепи. В цепях постоянного тока при стационарном режиме элементы характеризуют только одним параметром сопротивления. Параметр сопротивления R характеризует свойство элемента поглощать энергию из электрической цепи и преобразовывать ее в другой

Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		10стр. из 93

вид энергии (тепловую). Известно, что мощность (P) преобразования электрической энергии постоянного тока пропорциональна квадрату тока I^2 , поэтому этот параметр можно определить отношением $R = \frac{P}{I^2}$, где $P = U \cdot I$.

Кроме специально изготовленных устройств с одним параметром встречаются устройства, работу которых приближенно описывают также одним параметром. Например, лампы накаливания, печи нагрева характеризуют только одним параметром сопротивления R .

Элементы электрической цепи делятся на **активные и пассивные**. Все источники электрической энергии являются активными элементами, они характеризуются определенным значением ЭДС и внутренним сопротивлением. Приемники электрической энергии могут быть как пассивными (чаще всего), так и активными.

Вольт-амперная характеристика (рис. 2.7, а) активного приемника (рис. 7, б) может быть математически описана уравнением

$$U = E + R_{вт} I$$

где $R_{вт}$ – внутреннее сопротивление источника ЭДС.

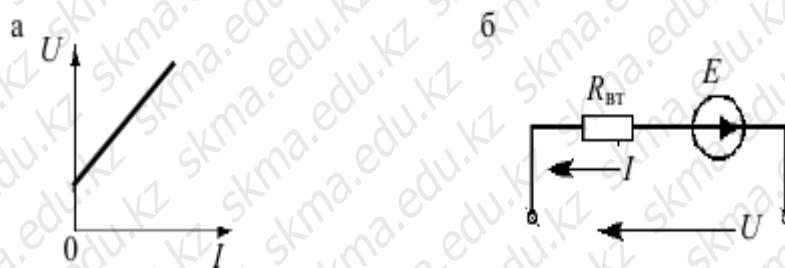


Рисунок 2.7 - Вольт-амперная характеристика (а) активного приемника

Схемы замещения отображают свойства электрической цепи при определенных условиях; элементы схемы замещения соответствуют элементам реальной электрической цепи. Одной и той же электрической цепи может соответствовать несколько различных схем замещения в зависимости от того, для каких целей предназначены эти схемы.

Для однозначности описания процессов, происходящих в каком-либо элементе цепи, необходимо знать не только значения его тока и напряжения, но также их направления в каждом элементе. Стрелки, поставленные на схемах замещения, указывают положительные направления ЭДС, напряжений и токов.

3. Закон Ома и законы Кирхгофа

Закон Ома для участка цепи, не содержащего источника ЭДС (рис.2.8), устанавливает связь между током, напряжением и сопротивлением этого участка.

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b,$$

где φ_a и φ_b – потенциалы точек а и b.

$I = U_{ab} / R$, откуда $U_{ab} = IR$ – падение напряжения на

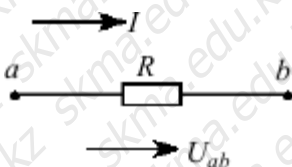


Рисунок 2.8 - Участок цепи, не содержащий источник ЭДС

Законы Кирхгофа

Основными законами, используемыми для анализа и расчета электрических цепей, являются I и II законы Кирхгофа.

I закон Кирхгофа является следствием закона сохранения электрического заряда, согласно которому в любом узле электрической цепи заряд одного знака не может ни накапливаться, ни убывать.

Согласно I закону Кирхгофа алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в узле электрической цепи, равна нулю (рис. 2.9).

Распространена и другая формулировка I закона Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, втекающих в узел, равна сумме токов, вытекающих из него. При этом токи, направленные к узлу, берут с одним, произвольно выбранным знаком, а токи, направленные от узла, с противоположным.

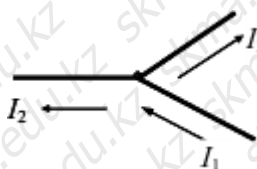


Рисунок 2.9 - Узел электрической цепи

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

где n – число всех токов, направленных от узла и к узлу; k – порядковый номер тока.

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

II закон Кирхгофа является следствием закона сохранения энергии, в силу которого изменение потенциала в замкнутом контуре равно нулю. Согласно II закону Кирхгофа, алгебраическая сумма напряжений всех участков замкнутого контура равна нулю.

Применительно к схемам замещения с источниками ЭДС II закон Кирхгофа формулируется следующим образом: алгебраическая сумма падений напряжений на резистивных элементах замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС источников, входящих в этот контур.

При составлении уравнений слагаемые берут со знаком «+» в случае, когда направление обхода контура совпадает с направлением тока или ЭДС, в противном случае слагаемые берут со знаком «-» (рис. 2.10).

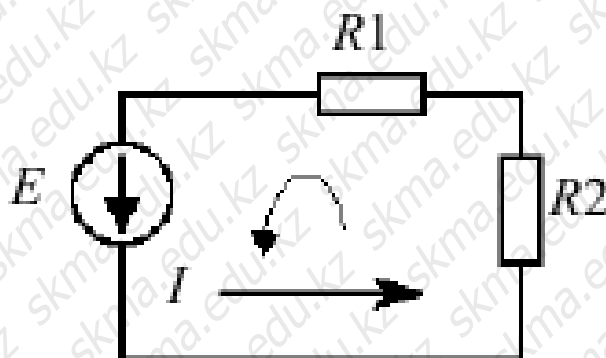


Рисунок 2.10

$$\sum_{k=1}^m U_k = 0$$

где m – число резисторов в контуре.

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^m R_k I_k$$

где m – число резистивных элементов; n – число источников ЭДС в контуре.

ОҢТҮСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 12стр. из 93

$$I(R_1 + R_2) = E.$$

Первый закон Кирхгофа имеет две формулировки.

1. Сумма токов протекающих через любой узел равна нулю.
2. Сумма токов втекающих в узел равна сумме токов вытекающих из него.

Второй закон Кирхгофа:

Алгебраическая сумма падений напряжения в любом замкнутом контуре равна алгебраической сумме

ЭДС вдоль этого контура, т.е.

$$\sum IR = \sum E.$$

В каждую из сумм слагаемые входят со знаком «плюс», если они совпадают с направлением обхода.

4. Иллюстративный материал: Для проведения занятия используется следующее материально-техническое обеспечение: ноутбук, мультимедийный проектор, экран.

5. Литература:

основная:

8. Электротехника и электроника учебник / А. Н. Горбунов ; под ред. А. В. Кравцова. - Алматы : Эверо, 2012
9. Шестеркин, Алексей Николаевич Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Шестеркин; УМО вузов по унив. политехн. образованию. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 251, [1] с
10. Гельман, М. В. Основы электроники [Электронный ресурс] : исполнение настольное ручное минимодульное : метод. указания / М. В. Гельман, В. В. Шулдяков. - Челябинск : Учтех-Профи, 2013. - 80 с.
11. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
12. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
13. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 2016, ч.1,2,3
14. Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и уравнениях. Практикум на Electronics Workbench. Том 1: Электротехника, том 2: Электроника, -М.: ДОДЕКА, 2002 г. 1 том -303с. и 2 том -287с.

дополнительная:

10. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией Л.А. Бессонова. - М.:Высшая школа, 2008
11. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
12. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
13. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2013. – 798 с.: ил
14. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2007. – 701с.: ил
15. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.: 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=553180>
16. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 448 с.: ил.; 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494180>
17. Электрические измерения и приборы : Учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров / Г.И. Кольниченко, П.А. Михалин, А.С. Степанов; МОиН РФ, ФГБОУ ВПО МГУЛ. - М. : МГУЛ, 2014. - 89 с. : ил.
18. Арыстанбаев К.Е., Жумабекова А.Б., Умаров А.А. Системы управления химико-фармацевтическими процессами. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 13стр. из 93

6. Контроль (вопросы, задачи, решение)

1. Назовите основные понятия электрической цепи
2. Что называется ветвью электрической цепи?
3. Объяснить: что называется контуром, узлом, двухполюсником, четырехполюсником?
4. Закон Ома для участка цепи.
5. Дайте определение первого закона Кирхгофа.
6. Дайте определение второго закона Кирхгофа.

1. Тема 3: Электрические цепи однофазного переменного тока

2. Цель: Освоить основные понятия, способы представления синусоидальных величин, элементы электрических цепей переменного тока, Законы Кирхгофа для цепей однофазного переменного тока для мгновенных значений.

3. Тезисы лекции:

1. Основные понятия об электрических цепях однофазного переменного тока.

1. Основные понятия об электрических цепях однофазного переменного тока.

По мере развития промышленного производства постоянный ток все менее удовлетворял возрастающие требования экономического энергоснабжения. Внедрению переменного тока способствовало развитие электрического освещения, особенно изобретение в 1876 г. П.Н. Яблочковым "электрической свечи" – дуговой лампы без регулятора, которая устойчиво горела при включении в цепь переменного тока. Дальнейшее развитие электрического освещения послужило толчком к разработке более совершенных конструкций трансформаторов. В связи с громадными преимуществами трансформирования в современной электроэнергетике применяется, прежде всего, синусоидальный переменный ток. Передача электрической энергии переменного тока происходит с меньшими потерями и со значительно удешевленной электрической сетью, так как применяются провода в десятки раз меньшего сечения, чем сечение проводов, используемых в сетях постоянного тока. Кроме того, применение синусоидального тока дает возможность получения источников электрической энергии большой мощности.

Синусоидальный переменный ток занял лидирующее положение при генерировании, передаче и трансформировании электрической энергии в электроприводе, бытовой технике, промышленной электронике, радиотехнике.

В Казахстане (как и в Европе) принята частота переменного тока 50 Гц называемая промышленной частотой.

Переменными называются ЭДС, токи и напряжения, изменяющиеся с течением времени. Они могут меняться или по величине, или по знаку, или по величине и по знаку. В электротехнике наибольшее применение получил переменный ток, изменяющийся во времени по синусоидальному закону.

Рассмотрим основные определения синусоидального тока.

1. Переменные электрические величины являются функциями времени, их значения в любой момент времени, называются мгновенными и обозначаются строчными буквами i , u , e .

2. Максимальные значения тока, напряжения, ЭДС за период называются амплитудными значениями и обозначаются I_m , U_m , E_m .

3. Средние значения тока, напряжения или ЭДС – значения, эквивалентные постоянному току по переносу электрического заряда за положительный полупериод ($T/2$). Они обозначаются I_{cp} , U_{cp} , E_{cp} и определяются формулами:

$$I_{cp} = \frac{2I_m}{\pi}, \quad U_{cp} = \frac{2U_m}{\pi}, \quad E_{cp} = \frac{2E_m}{\pi}.$$

4. Действующие значения тока, напряжения или ЭДС – значения, эквивалентные постоянному току по тепловому выделению за период T . Они обозначаются I , U , E и определяются формулами:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}.$$

Если имеем синусоиду тока (рис. 3.1), то выражение мгновенного значения синусоидального тока определяется тригонометрической функцией

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

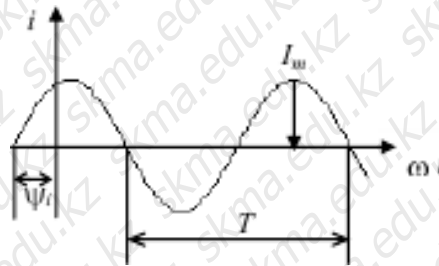


Рисунок 3.1 – График синусоидального тока

Здесь I_m – амплитудное значение тока; T – период синусоиды; ψ_i – начальная фаза – величина, равная фазному углу в момент начала отсчета времени ($t = 0$); $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, где $f = 1/T$ – частота синусоидального тока.

При расчетах с переменными токами пользуются также угловой частотой ω , она равна $2\pi f$ или $6,28f$. Ее следует выражать не в герцах, а в радианах в секунду (радиан — угол в 2π раз меньший, чем 360°). Переменные токи принято разделять по частоте. Токи с частотой меньше 10 000 Гц называют токами низкой частоты (токами НЧ). У этих токов частота соответствует частоте различных звуков человеческого голоса или музыкальных инструментов, и поэтому они иначе называются токами звуковой частоты (за исключением токов с частотой ниже 20 Гц, которые не соответствуют звуковым частотам). В радиотехнике токи НЧ имеют большое применение, особенно в радиотелефонной передаче.

Один период фаза синусоидальной ЭДС или синусоидального тока изменяется на 2π радиан или на 360° , поэтому угловая частота переменного синусоидального тока равна:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Угол сдвига фаз между током и напряжением участка цепи принято обозначать буквой ϕ и определять вычитанием начальные фазы тока из начальной фазы напряжения:

$$\phi = \psi_u - \psi_i.$$

Угол ϕ – величина алгебраическая. Если $\psi_u > \psi_i$, то $\phi > 0$, при этом говорят, что напряжение опережает ток по фазе или ток отстает по фазе от напряжения. В случае $\psi_u < \psi_i$ $\phi < 0$, т.е. напряжение отстает по фазе от тока или ток опережает напряжение, как это можно наблюдать на рис 3.2:

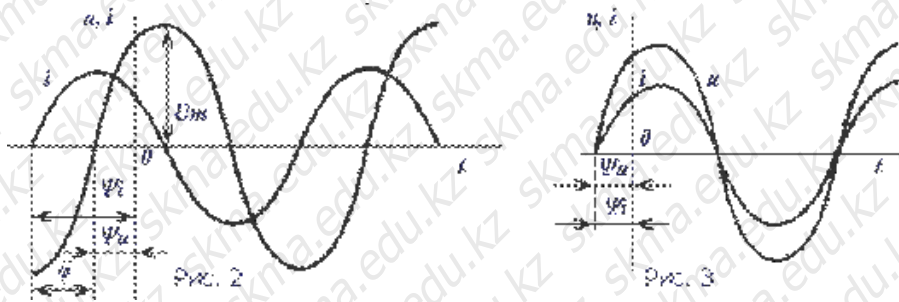


Рисунок 3.2 - Диаграмма напряжения и тока: а) со сдвигом по фазе ($\varphi = \psi_u - \psi_i$); б) с одинаковыми начальными фазами ($\psi_u = \psi_i$)

При совместном рассмотрении нескольких синусоидальных величин (e , u , i) обычно интересуются разностью их фазных углов.

Угол сдвига фаз – это разность начальных фаз двух синусоидальных величин. Угол сдвига фаз между током и напряжением участка цепи определяется вычитанием начальной фазы тока из начальной фазы напряжения $\varphi = \psi_u - \psi_i$. Угол – величина алгебраическая, может быть как положительная, так и отрицательная, в зависимости от того, опережает одна синусоидальная величина другую по фазе или отстает от нее.

2. Способы представления синусоидальных величин

Существует несколько способов представления величин, изменяющихся по синусоидальному закону:

- в виде тригонометрических функций, например:
 $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$; $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$; $e = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$.
- в виде графиков зависимости величин от времени – временных диаграмм (рис. 3.3);

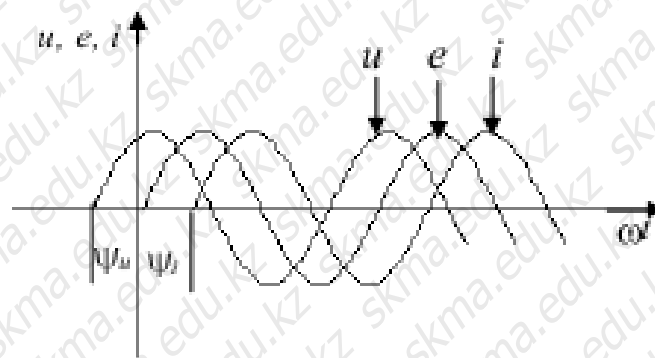


Рисунок 3.3 - Графики зависимости величин от времени – временных диаграмм

– в виде вращающихся векторов – векторный метод представления;

– в виде комплексных чисел – комплексное изображение.

Рассмотрим более подробно последние два способа.

Векторный метод представления (рис. 3.3)

Вектор A_m вращается в декартовой плоскости против часовой стрелки. В соответствии с определением синуса проекция вращающегося радиуса-вектора на ось y равна

в момент времени $t = 0$: $a = a_0 = A_m \sin \psi_a$;

в момент времени t_1 : $a_1 = A_m \sin(t_1 + \psi_a)$.

Здесь ψ_a – начальная фаза, $\psi_1 = \psi_a + \omega t_1$; $\psi_2 = \psi_a + \omega t_2$.

На рис. 3.3 справа построена синусоида, мгновенные значения которой для любого момента времени t найдены как соответствующие проекции вращающегося радиус-вектора на ось y . На основании этих построений можно утверждать, что любая синусоидальная функция может быть изображена (условно) однозначно соответствующим ей вращающимся радиус-вектором, длина которого

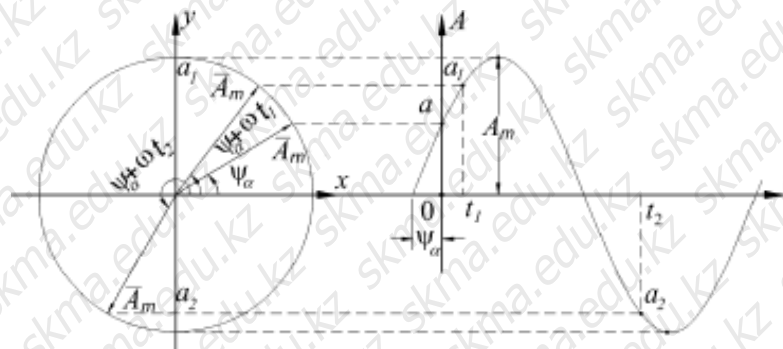


Рисунок 3.3 - Синусоида, мгновенные значения которой для любого момента времени t найдены как соответствующие проекции вращающегося радиус-вектора на ось x .

Совокупность радиус-векторов, изображающих синусоидальные функции времени, называется векторной диаграммой. Применение вращающихся векторов позволяет компактно представить на одном рисунке совокупность различных синусоидально изменяющихся величин одинаковой частоты. Суммирование и вычитание векторов гораздо проще, чем тригонометрических функций, поэтому метод очень распространён – он прост и нагляден.

Комплексное изображение синусоидальных функций времени

Данный метод совмещает простоту и наглядность векторных диаграмм с возможностью проведения точных аналитических расчетов.

Перенесем радиус-вектор, изображающий синусоидальную функцию времени (см. рис. 3.3) в декартовой плоскости, на комплексную плоскость. При этом совместим ось x с осью действительных чисел ($+1, Re$), а ось y – с осью мнимых чисел ($+j, Im$) – рис. 3.4.

Тогда любому вектору $\vec{A}$, расположенному на комплексной плоскости, однозначно соответствует комплексное число, которое может быть записано в трёх формах:

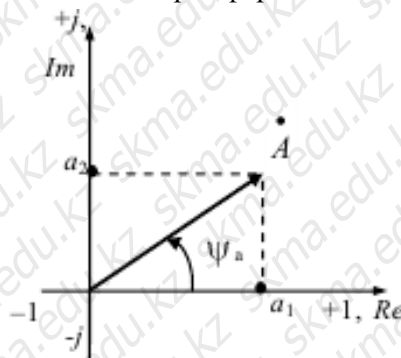


Рисунок 3.4 - Радиус-вектор на комплексной плоскости

1) алгебраическая форма записи: $\vec{A} = a_1 + ja_2$;

2) тригонометрическая форма записи: $\vec{A} = A(\cos \psi_a + j \sin \psi_a)$, где $A = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$ – модуль комплексного числа (действующее значение); ψ_a – аргумент комплексного числа (начальная фаза синусоиды), $\psi_a = \arctg a_2/a_1$;

3) показательная форма записи $\vec{A} = Ae^{j\psi_a}$, где e – основание натурального логарифма.

Напомним, что число, равное $\vec{A}^* = Ae^{-j\psi_a}$, или $\vec{A}^* = a_1 - ja_2$, или $\vec{A}^* = A \cos \psi_a - j \sin \psi_a$ называется сопряженным комплексным числом числа $\vec{A}$.

При анализе сложных цепей переменного тока большой интерес представляет сопоставление величин токов и напряжений по амплитуде и фазе. Удобнее всего это делать с помощью комплексных чисел. В случае представления синусоидальных величин комплексными числами можно применить весьма эффективный комплексный метод анализа цепей синусоидального тока, который в настоящее время нашел широкое применение.

3. Элементы электрических цепей переменного тока

Зависимости между токами и напряжениями резистивных, индуктивных и емкостных элементов определяются происходящими в них физическими процессами. Математическое описание физических явлений для каждого из этих элементов зависит от выбранного способа представления синусоидальных величин.

А. Резистивный элемент. Резистор – электротехническое устройство, обладающее сопротивлением R и применяемое для ограничения электрического тока. Активное сопротивление R – идеализированный элемент, в котором происходит преобразование электрической энергии в другие виды энергии, мощность этого элемента называется активной мощностью, которая равна: $P = I^2 R$, измеряется она в ваттах.

Пусть R -элемент подключен к источнику с синусоидальным напряжением:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u).$$

Схема замещения такого элемента изображена на рис. 3.5, а. На этом же рисунке представлены его временная (рис. 3.5, б) и векторная диаграммы (рис. 3.5, в)

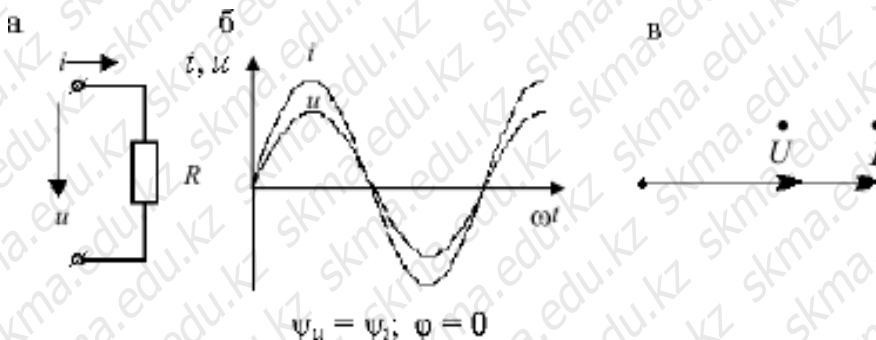


Рисунок 3.5 - Схема замещения R -элемента, временная и векторная диаграммы

Из закона Ома: $u = Ri$, следовательно, при заданном синусоидальном напряжении ток тоже будет синусоидальным, т. е.

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin(\omega t + \psi_u) = I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

Из этого выражения видно, что ток и напряжение совпадают по фазе и имеют одинаковую частоту.

В комплексном виде:

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{U_m}{I_m} e^{j(\psi_u - \psi_i)} = R e^0 = R$$

Здесь $\underline{Z} = R$ – комплексное сопротивление цепи, т. е. комплексное сопротивление резистивного элемента, является положительным действительным числом, равным активному сопротивлению R .

Б. Индуктивный элемент. Индуктивность L – идеализированный элемент электрической цепи, в котором накапливается энергия магнитного поля.

$$W_m = \frac{\Psi_L i}{2} = \frac{L i^2}{2},$$

где L – потокосцепление.

Пусть L -элемент подключен к источнику синусоидального тока, т. е.

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

тогда потокосцепление

$$\Psi_L = Li = LI_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

Изменяющийся поток наводит в индуктивном элементе ЭДС самоиндукции e_L

$$e_L = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{L di}{dt} = -L\omega I_m \cos(\omega t + \psi_i) = -E_{Lm} \sin(\omega t + \psi_i - \frac{\pi}{2}).$$

По закону электромагнитной индукции напряжение на индуктивном элементе равно

$$u = -e_L = U_m \sin(\omega t + \psi_i + \frac{\pi}{2}) = U_m \sin(\omega t + \psi_u).$$

Величина $L\omega = 2\pi fL = x_L$ называется индуктивным сопротивлением (Ом); начальные фазы

$$\psi_u = \psi_i + \frac{\pi}{2}.$$

напряжения и тока связаны соотношением

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = \frac{\pi}{2}$$

Тогда $\varphi = \psi_u - \psi_i = \frac{\pi}{2}$, где угол φ – угол сдвига фаз между током и напряжением.

Таким образом, при синусоидальном токе напряжение на L-элементе также синусоидальное; ток и напряжение изменяются с одинаковой частотой, причём напряжение опережает ток на угол $\frac{\pi}{2}$.

Схема замещения L-элемента представлена на рис. 3.6, а; временная и векторная диаграммы – на рис. 3.6, б и 3.6, в.

Следует иметь в виду, что положительным направлением вращения векторов принято считать направление их вращения против часовой стрелки.

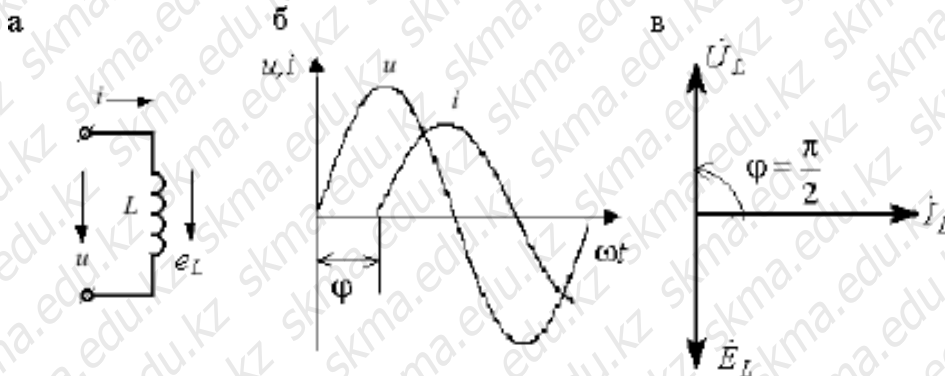


Рисунок 3.6 - Схема замещения L-элемента а; временная и векторная диаграммы – б и в.
В комплексном виде сопротивление равно

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{U_m}{I_m} e^{j(\psi_u - \psi_i)} = x_L e^{j\frac{\pi}{2}} = jx_L$$

где $x_L = \omega L = 2\pi fL$ – индуктивное сопротивление,

$$\underline{Z} = jx_L,$$

т. е. комплексное сопротивление L-элемента, является положительным мнимым числом, модуль которого равен x_L .

В цепи с L-элементом не совершается работа, а происходит периодический обмен энергией между источником и магнитным полем.

QNTYSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Qntýstik Kazaqstan meditsina akademiasy» AQ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY AO «Южно-Казакштанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 19стр. из 93

Интенсивность этого обмена называется индуктивной реактивной мощностью, которая обозначается Q_L и равна:

$$Q_L = U_L I_L = x_L I_L^2 = U_L^2 / x_L.$$

Для измерения реактивной индуктивной мощности используется своя единица: вольт-ампер реактивный (вар).

В. Емкостной элемент. Конденсатор с электрической емкостью C – идеализированный элемент электрической цепи, в котором накапливается энергия электрического поля

$$W_c = \frac{qu}{2} = \frac{Cu^2}{2},$$

где q – накопленный заряд, который равен Cu .

Пусть C -элемент подключен к источнику синусоидального напряжения

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u).$$

В цепи возникает ток i , который равен

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} = C\omega U_m \cos(\omega t + \psi_u) = C\omega U_m \sin(\omega t + \psi_u + \frac{\pi}{2}) = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

$$I_m = C\omega U_m; \quad \psi_i = \psi_u + \frac{\pi}{2}; \quad \varphi = \psi_u - \psi_i = -\frac{\pi}{2}; \quad \omega C = \frac{1}{x_C}$$

так как

откуда

$$x_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (x_C)$$

называется емкостным сопротивлением, измеряемым в Ом).

Таким образом, при синусоидальном напряжении ток также синусоидальный. Ток и напряжение изменяются с одинаковой частотой, причем ток опережает напряжение на угол $\frac{\pi}{2}$.

Схема замещения C -элемента приведена на рис. 3.7, а; его временная и векторная диаграммы – на рис. 3.7, б и 3.7, в.

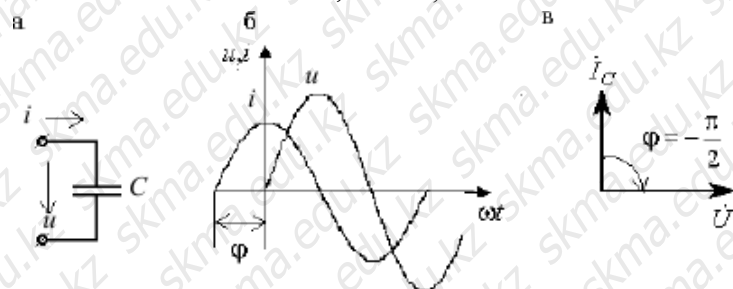


Рисунок 3.7 - Схема замещения C -элемента а; его временная и векторная диаграммы – б и в.
В комплексном виде

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{U_m}{I_m} e^{j(\psi_u - \psi_i)} = x_C e^{-j\frac{\pi}{2}} = -jx_C,$$

$$\underline{Z} = -jx_C,$$

т. е. комплексное сопротивление C -элемента является отрицательным мнимым числом, модуль которого равен x_C .

В цепи с C -элементом не совершается работа, а происходит периодический обмен энергии между источником и электрическим полем.

ОҢТҮСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		20стр. из 93

Интенсивность этого обмена характеризуется реактивной емкостной мощностью Q_C , которая измеряется в тех же единицах, что и Q (вар).

$$Q_C = -U_C I_C = -x_C I_C^2 = -U_C^2 / x_C$$

Если индуктивный и емкостной элементы соединены последовательно, то в моменты времени, когда энергия магнитного поля индуктивного элемента увеличивается, энергия электрического поля емкостного элемента уменьшается, и наоборот.

Следовательно, эти элементы могут обмениваться энергией не только с источником, но и друг с другом.

4. Законы Кирхгофа для цепей однофазного переменного тока для мгновенных значений.

Законы Кирхгофа для цепей однофазного переменного тока записываются в комплексной форме или для мгновенных значений.

Математическая формулировка зависит от выбранного способа представления синусоидальных величин, однако векторный и тригонометрический способы достаточно громоздкие.

I закон Кирхгофа – для мгновенных значений: алгебраическая сумма токов в любом узле электрической цепи в каждый момент времени равна нулю.

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0,$$

В комплексной форме: алгебраическая сумма комплексных значений токов всех ветвей, сходящихся в каком-либо узле цепи синусоидального тока, равна нулю.

$$\sum_{k=1}^n \dot{I}_k = 0.$$

II закон Кирхгофа – для мгновенных значений: алгебраическая сумма напряжений всех участков любого контура в каждый момент времени равна нулю.

$$\sum_{k=1}^m u_k = 0,$$

где m – число участков контура.

Для контура, содержащего пассивные элементы (резистивные, индуктивные, емкостные) и источники ЭДС, формулировка II закона Кирхгофа следующая: **в каждый момент времени алгебраическая сумма падений напряжений на пассивных элементах контура равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре.**

В комплексной форме II закон Кирхгофа:

$$\sum_{k=1}^n \dot{U}_k = \sum_{k=1}^m \dot{E}_k.$$

4. Иллюстративный материал: Для проведения занятия используется следующее материально-техническое обеспечение: ноутбук, мультимедийный проектор, экран.

5. Литература:

основная:

1. Электротехника и электроника учебник / А. Н. Горбунов ; под ред. А. В. Кравцова. - Алматы : Эверо, 2012
2. Шестеркин, Алексей Николаевич Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Шестеркин; УМО вузов по унив. политехн. образованию. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 251, [1] с
3. Гельман, М. В. Основы электроники [Электронный ресурс] : исполнение настольное ручное минимодульное : метод. указания / М. В. Гельман, В. В. Шуляков. - Челябинск : Учтех-Профи, 2013. - 80 с.
4. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.

ÖNTÜSTİK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 21стр. из 93

5. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.

6. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 2016, ч.1,2,3

7. Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и уравнениях. Практикум на Electronics Workbench. Том 1: Электротехника, том 2: Электроника, -М.: ДОДЕКА, 2002 г. 1 том -303с. и 2 том -287с.

дополнительная:

1. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией Л.А. Бессонова. - М.:Высшая школа, 2008

2. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.

3. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.

4. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2013. – 798 с.: ил

5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2007. – 701с.: ил

6. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.: 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=553180>

7. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 448 с.: ил.; 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494180>

8. Электрические измерения и приборы : Учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров / Г.И. Кольниченко, П.А. Михалин, А.С. Степанов; МОиН РФ, ФГБОУ ВПО МГУЛ. - М. : МГУЛ, 2014. - 89 с. : ил.

9. Арыстанбаев К.Е., Жумабекова А.Б., Умаров А.А. Системы управления химико-фармацевтическими процессами. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с.

6.Контроль (вопросы, задачи, решение т т.д.)

1. Какой ток занимает лидирующее положение при генерировании, передаче и трансформировании электрической энергии в экономике?

2. Дать определение синусоидального тока. Мгновенные, амплитудные , средние, действующие значения тока, напряжения, ЭДС.

3. Объяснить способы представления синусоидальных величин и начертить их диаграммы.

4. Начертить и пояснить векторную диаграмму синусоидальных функций.

5. Перечислить и дать определения основным элементам электрических цепей переменного тока.

6. Объяснить законы Кирхгофа для цепей однофазного переменного тока для мгновенных значений

1.Тема 4: Неразветвленные электрические цепи. Разветвлённые электрические цепи.

2.Цель: Освоить основные понятия о неразветвленных электрических цепях, о разветвлённых электрических цепях, электрических цепях трехфазного переменного тока, о переходных процессах в линейных электрических цепях, о электрических приборах и измерениях.

3.Тезисы лекции:

1. Неразветвленные электрические цепи.

2. Разветвлённые электрические цепи

1. Неразветвленные электрические цепи.

Рассмотрим цепь с последовательным соединением R-, L- и C-элементов.

Пусть данная цепь (рис. 4.1) подключена к источнику тока

$$i = I_m \sin (\omega t + \psi_i).$$

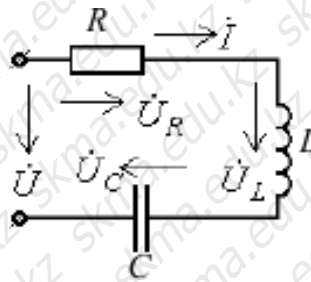


Рисунок 4.1- Неразветвленная электрическая цепь

Необходимо определить напряжение на ее входе.

По II закону Кирхгофа запишем:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C,$$

где (из закона Ома):

$$\dot{U}_R = R \dot{I}; \quad \dot{U}_L = jx_L \dot{I};$$

$$\dot{U}_C = -jx_C \dot{I}.$$

Отсюда:

$$\dot{U} = \dot{I}(R + jx_L - jx_C),$$

Где $R + j(x_L - x_C) = \underline{Z}$ – комплексное сопротивление всей цепи. Тогда для данной цепи:

$$\dot{U} = \dot{I} \underline{Z}.$$

При последовательном соединении элементов R, L и C эквивалентное комплексное сопротивление цепи равно сумме комплексных сопротивлений всех последовательно включенных элементов:

$$\underline{Z} = R + jx_L - jx_C.$$

Закон Ома для действующих значений и выражение полного сопротивления цепи будут иметь вид:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}}; \quad Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}.$$

Рассмотрим векторные диаграммы.

При построении векторных диаграмм необходимо взять за основу какой-то базисный вектор, от которого и строить все другие векторы, при этом необходимо помнить, что за положительное направление вращения векторов принято вращение **против часовой стрелки**. При последовательном соединении элементов за исходный (основной) принимается вектор тока, так как во всех элементах цепи протекает один и тот же ток. Рассмотрим случай, когда индуктивное сопротивление катушки больше емкостного сопротивления конденсатора ($x_L > x_C$).

Векторная диаграмма будет иметь вид (рис. 4.2, а). Из векторной диаграммы можно выделить треугольник напряжений (рис.5.2, б). Если стороны треугольника напряжений (мысленно) разделить на один

и тот же ток получим подобный треугольник сопротивлений (рис. 4.2, в).

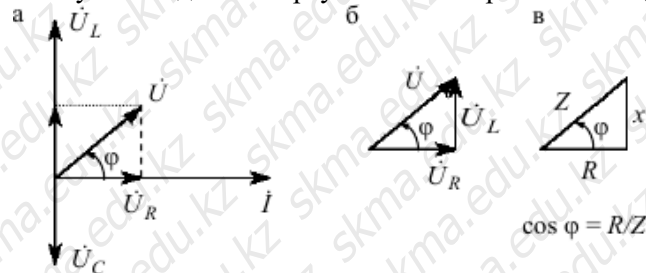


Рисунок 4.2 – Векторные диаграммы

Резонанс напряжений

Электрический резонанс – совпадение частоты собственных электрических колебаний в замкнутом контуре с частотой колебаний электрического тока, передаваемого внешним источником энергии.

Резонансом напряжений называется режим, при котором в цепи с последовательным соединением индуктивного и емкостного сопротивлений напряжение на входе совпадает по фазе с током. Условие резонанса напряжений следующее:

$$L\omega = \frac{1}{C\omega} \quad \text{или} \quad X_L = X_C$$

При резонансе напряжений векторная диаграмма представлена на рис. 5.3, а, а график изменения тока от изменения емкости конденсатора (или индуктивности катушки) может иметь вид (рис. 5.3, б):

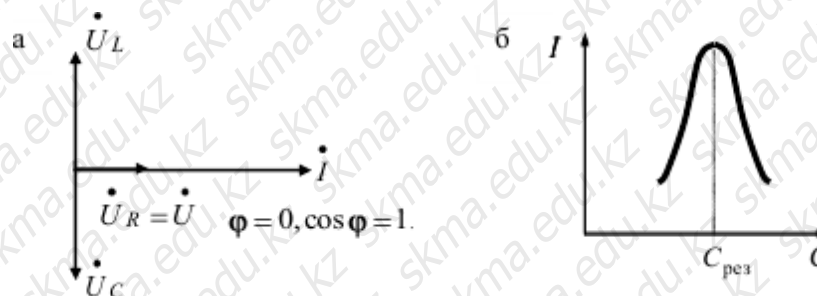


Рисунок 4.3 - Векторная диаграмма при резонансе напряжений

Как следствие из условия резонанса напряжений, можно отметить следующее:

- ток в цепи в точке резонанса – максимальный;
- угол сдвига фаз $\varphi = 0$, т. е. цепь ведет себя как цепь, имеющая только активное сопротивление;
- $\cos \varphi = 1$;
- напряжения на отдельных участках цепи переменного тока с последовательным соединением L- и C-элементов могут значительно превышать напряжение на входе (что невозможно в цепях постоянного тока), так как напряжения на L- и C-элементах находятся в противофазе ($\psi_{UC} = \psi_{UL} + \pi$) и их сумма меньше каждого в отдельности.

В электроэнергетических устройствах в большинстве случаев резонанс напряжений – явление нежелательное именно потому, что входные напряжения установок могут в несколько раз превышать их рабочие напряжения; однако в радиотехнике и автоматике резонанс напряжений часто применяется для настройки цепей на заданную частоту.

2. Разветвленные электрические цепи

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из двух параллельных ветвей, схема замещения которой представлена на рис. 4.4.

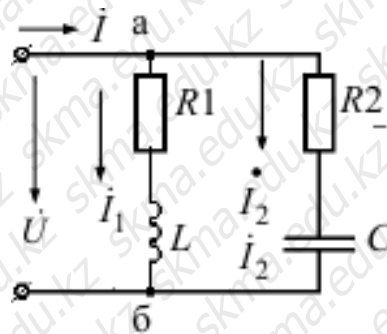


Рисунок 4.4 - Электрическая цепь, состоящая из двух параллельных ветвей

Пусть цепь присоединена к источнику напряжения $u = U_m \sin \omega t$.

Необходимо определить токи в ветвях и в неразветвлённой части цепи. Для узла «а» по I закону Кирхгофа можно записать:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2, \text{ но по закону Ома: } \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_1}; \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_2}.$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_1} + \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_2},$$

Тогда: где $\underline{Z}_1 = R_1 + jx_L$ – комплексное сопротивление первой ветви; $\underline{Z}_2 = R_2 - jx_C$ – комплексное сопротивление второй параллельной ветви. Иначе можно записать:

$$\dot{I} = \dot{U} \left(\frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} \right),$$

$$\text{где } \frac{1}{\underline{Z}_1} = \underline{Y}_1; \quad \frac{1}{\underline{Z}_2} = \underline{Y}_2 - \text{ комплексные проводимости ветвей.}$$

Комплексная проводимость всей цепи:

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = g + jb,$$

где g – активная проводимость, являющаяся действительной частью комплексного числа; b – реактивная проводимость, являющаяся мнимой частью комплексного числа (может быть b_L и b_C).

Закон Ома для цепи с параллельным соединением R- L- и C-элементов в комплексном виде

$$\dot{I} = \dot{U} \underline{Y}$$

или для действующих значений

$$I = U \sqrt{g^2 + b^2},$$

$$\text{Где } |\underline{Y}| = y = \sqrt{g^2 + b^2}.$$

– полная (действующая) проводимость цепи.

Выразим проводимости ветвей через их сопротивления. Для схемы, представленной на рис.5.4, можно записать закон Ома в следующем виде

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{U} \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) = \dot{U} \left(\frac{1}{R_1 + jx_L} + \frac{1}{R_2 - jx_C} \right) = \dot{U} \left(\frac{R_1 - jx_L}{R_1^2 + x_L^2} + \frac{R_2 + jx_C}{R_2^2 + x_C^2} \right) = \\ &= \dot{U} \left(\frac{R_1}{Z_1^2} - j \frac{x_L}{Z_1^2} + \frac{R_2}{Z_2^2} + j \frac{x_C}{Z_2^2} \right) = \dot{U} (g_1 + g_2 - jb_L + jb_C) = \dot{U} (g - jb_L - b_C) \end{aligned}$$

Из последнего выражения видно, что индуктивная проводимость – мнимая отрицательная часть комплексной проводимости с модулем, равным b_L ; емкостная проводимость – мнимая положительная часть комплексной проводимости с модулем, равным b_C . Действительная часть комплексного числа g – активная проводимость.

$$g = \frac{R}{Z^2} = \frac{1}{R}; \quad b_L = \frac{x_L}{Z^2}; \quad b_C = \frac{x_C}{Z^2}.$$

Рассмотрим векторные диаграммы.

При параллельном соединении за основной (базисный вектор) принимается вектор напряжения, так как напряжение одинаково на всех элементах цепи. Рассмотрим случай, когда емкостная проводимость конденсатора больше индуктивной проводимости катушки ($b_C > b_L$) рис. 5.5.

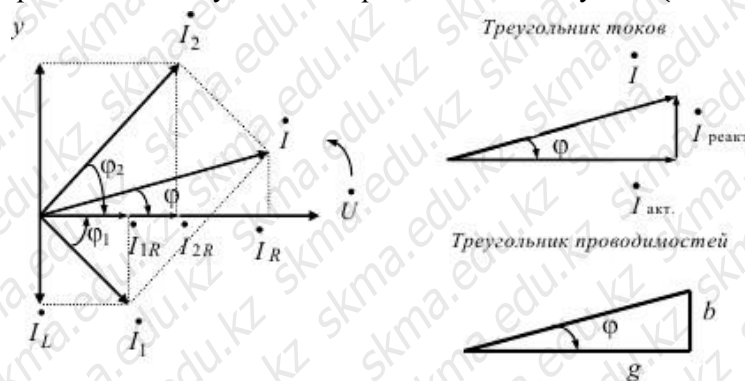


Рисунок 4.5 – Векторные диаграммы при параллельном соединении

Данная цепь имеет емкостной характер. Если в другой цепи индуктивная проводимость будет больше емкостной ($b_L > b_C$), то такая цепь будет иметь индуктивный характер.

Резонанс токов

Явление резонанса токов наступает в цепи с параллельным соединением R-, L- и C-элементов при условии равенства индуктивной и емкостной проводимостей

$$b_L = b_C.$$

Векторная диаграмма при резонансе токов представлена на рис. 5.6, а, а график изменения тока в цепи от изменения емкости конденсатора (или индуктивности катушки) может иметь вид, представленный на рис. 5.6, б.

При этом цепь ведет себя как цепь, имеющая только активное сопротивление. При резонансе токов обмен реактивной энергией происходит только между катушкой индуктивности и конденсатором, а от

генератора в цепь поступает лишь одна активная энергия, поглощаемая активным сопротивлением.

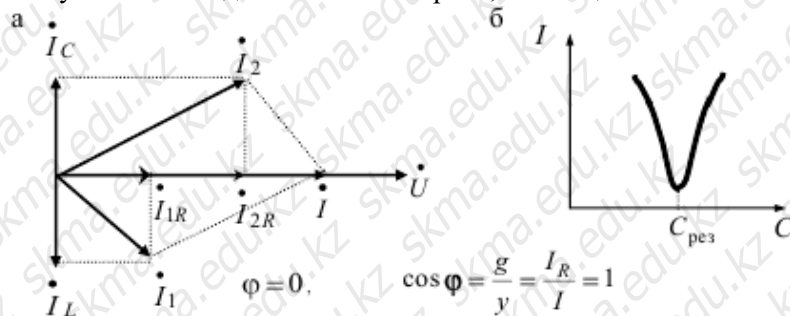


Рисунок 4.6 - Векторная диаграмма при резонансе токов

Как следствие из условия резонанса токов можно отметить следующее:

– ток в цепи при резонансе минимальный $I = U \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$ $I = U \sqrt{g^2 + b_L^2 - b_C^2}$,

$$\underline{Y} = \sqrt{g^2 + (b_C - b_L)^2} e^{-j\varphi}$$

а так как $b_L = b_C$, то $I = U g$; $I = U^*(G^2 + (B_L - B_C)^2)$

– угол сдвига фаз между полным током и напряжением в цепи равен нулю ($\varphi = 0$), следовательно, $\cos \varphi = 1$;

– ток неразветвленного участка цепи может быть значительно меньше токов ветвей, так как реактивные составляющие токов находятся в противофазе и их сумма может быть меньше каждого тока в отдельности.

Резонанс токов в отличие от резонанса напряжений – явление безопасное для электроэнергетических установок. Резонанс токов широко применяется для повышения коэффициента мощности предприятий, а также находит применение в радиотехнических устройствах.

Мощность в цепи однофазного переменного тока

Активная мощность P определяет энергетический режим пассивного двухполюсника, т. е. среднюю скорость необратимого преобразования электрической энергии в другие виды энергии во всех резистивных элементах приемника. Измеряется в ваттах (Вт).

$$P = UI \cos \varphi; \quad P = I^2 R = U^2 g.$$

Реактивная мощность Q характеризует интенсивность обмена энергией между источником и совокупностью индуктивных и емкостных элементов приемника. Измеряется в единицах – вар (вольт-ампер реактивный).

$$Q = UI \sin \varphi; \quad Q = I^2 x = U^2 b.$$

Полная или кажущаяся мощность S определяет эксплуатационные возможности электротехнических устройств, для которых она указывается в качестве номинальной (S_H). Измеряется в вольт-амперах (ВА).

$$S = UI; \quad S = I^2 Z = U^2 Y.$$

В комплексном виде $\underline{S} = \underline{U} \dot{I}$, где $\dot{I}$ – сопряженное значение комплексного тока.

Если

$$\underline{U} = U e^{j\psi_u}; \quad \dot{I} = I e^{-j\psi_i}, \quad \text{то}$$

$$S = U I e^{j(\psi_u - \psi_i)} = U I e^{j\varphi} = S e^{j\varphi},$$

так как

$$\varphi = \psi_u - \psi_i;$$

Тогда

$$\underline{S} = S e^{j\varphi} = P \pm jQ.$$

ОҢТҮСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		27стр. из 93

Таким образом, вещественная составляющая комплексной мощности является активной мощностью, которая всегда положительна, а мнимая составляющая – реактивной мощностью. При этом, если $\varphi > 0$, то в цепи преобладает индуктивная нагрузка, реактивная мощность – положительна и комплексная

мощность равна

$$\underline{S} = P + jQ_L,$$

а если $\varphi < 0$, то в цепи преобладает емкостная нагрузка, реактивная мощность – отрицательна и комплексная мощность равна

$$\underline{S} = P - jQ_C.$$

Треугольник мощностей можно получить из треугольника напряжений (см. рис. 5.2, б), мысленно умножив его стороны на ток, или из треугольника токов (см. рис. 5.5), умножив его стороны на напряжение. На рис. 5.7 представлен треугольник мощностей на комплексной плоскости.

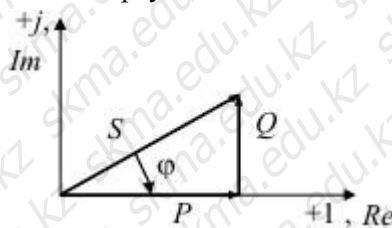


Рисунок 4.7 - Треугольник мощностей на комплексной плоскости.

Здесь полная мощность

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2};$$

активная мощность

$$P = S \cos \varphi;$$

реактивная мощность

$$Q = S \sin \varphi;$$

коэффициент мощности

$$\cos \varphi = P / S.$$

Коэффициент мощности ($\cos \varphi = P/S$) является важным эксплуатационным параметром, который показывает, какая доля электрической энергии может быть преобразована в другие виды энергии (тепловую, световую, механическую, химическую, лучистую и т. д.).

Чем выше $\cos \varphi$, тем при меньших токах может быть произведено преобразование электрической энергии в другие виды.

Это приводит к уменьшению потерь электроэнергии, её экономии и удешевлению устройств электропередачи.

Все законы и методы, используемые при расчете электрических цепей постоянного тока, можно применять для расчета цепей переменного тока только в том случае, если их параметры выражены в комплексной форме.

4. Иллюстративный материал: Для проведения занятия используется следующее материально-техническое обеспечение: ноутбук, мультимедийный проектор, экран.

5. Литература:

основная:

8. Электротехника и электроника учебник / А. Н. Горбунов ; под ред. А. В. Кравцова. - Алматы : Эверо, 2012

9. Шестеркин, Алексей Николаевич Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Шестеркин; УМО вузов по унив. политехн. образованию. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 251, [1] с

10. Гельман, М. В. Основы электроники [Электронный ресурс] : исполнение настольное ручное минимодульное : метод. указания / М. В. Гельман, В. В. Шуляков. - Челябинск : Учтех-Профи, 2013. - 80 с.

QONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		28стр. из 93

11. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
12. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
13. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 2016, ч.1,2,3
14. Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и уравнениях. Практикум на Electronics Workbench. Том 1: Электротехника, том 2: Электроника, –М.: ДОДЕКА, 2002 г. 1 том -303с. и 2 том -287с.
- дополнительная:**
10. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией Л.А. Бессонова. – М.: Высшая школа, 2008
11. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
12. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
13. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2013. – 798 с.: ил
14. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2007. – 701с.: ил
15. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. – М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 480 с.: 60х90 1/16. – (Профессиональное образование). – Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=553180>
16. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. – М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. – 448 с.: ил.; 60х90 1/16. – (Профессиональное образование). – Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494180>
17. Электрические измерения и приборы : Учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров / Г.И. Кольниченко, П.А. Михалин, А.С. Степанов; МОиН РФ, ФГБОУ ВПО МГУЛ. – М. : МГУЛ, 2014. – 89 с. : ил.
18. Арыстанбаев К.Е., Жумабекова А.Б., Умаров А.А. Системы управления химико-фармацевтическими процессами. – Алматы : Эверо, 2020. – 128 с.

6. Контроль (вопросы, задачи, решение)

Контрольные вопросы

1. Объяснить, какие цепи являются неразветвленными?
2. Написать и объяснить формулы законов Ома и Кирхгофа для цепей переменного тока.
3. Какой ток занимает лидирующее положение при генерировании, передаче и трансформировании электрической энергии в экономике?
4. Дать определение синусоидального тока. Мгновенные, амплитудные, средние, действующие значения тока, напряжения, ЭДС.
5. Объяснить способы представления синусоидальных величин и начертить их диаграммы.
6. Начертить и пояснить векторную диаграмму синусоидальных функций.
7. Перечислить и дать определения основным элементам электрических цепей переменного тока.
8. Объяснить законы Кирхгофа для цепей однофазного переменного тока для мгновенных значений

1.Тема 5: Электрические цепи трехфазного переменного тока. Электрические приборы и измерения.

2.Цель: Освоить основные понятия об электрических цепях трехфазного переменного тока. Понятия: электрические приборы и измерения.

3.Тезисы лекции:

1. Общие сведения о трехфазных линейных электрических цепях. Схемы соединения трехфазных цепей
2. Соотношение между линейными и фазовыми напряжениями и токами

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		29стр. из 93

3. Мощность трехфазной цепи

Общие сведения о трехфазных линейных электрических цепях

В современных энергетических системах генерирование и передача больших потоков энергии осуществляется трехфазными цепями (системами). Широкое их распространение объясняется, главным образом, тремя основными причинами:

- а) передача энергии на дальние расстояния трехфазным током экономически более выгодна, чем переменным током с иным числом фаз;
- б) элементы трехфазной системы - трехфазный асинхронный двигатель и трехфазный трансформатор - весьма просты в производстве, экономичны и надежны в работе;
- в) трехфазная система обладает свойством неизменности величины мгновенной мощности за период синусоидального тока в том случае, если нагрузка во всех трех фазах трехфазного генератора одинакова.

Трехфазная система была изобретена и разработана во всех деталях, включая трехфазные трансформатор и асинхронный двигатель, выдающимися русским инженером М.О. Доливо-Добровольским в 1891 году.

1. Схемы соединения трехфазных цепей

Под трехфазной симметричной системой ЭДС понимают совокупность трех синусоидальных ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых по фазе на 120° .

График их мгновенных значений представлен на рис. 5.1., векторная диаграмма - на рис. 5.2.

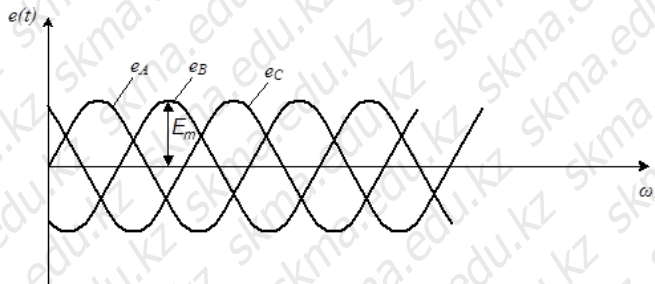


Рисунок 5.1

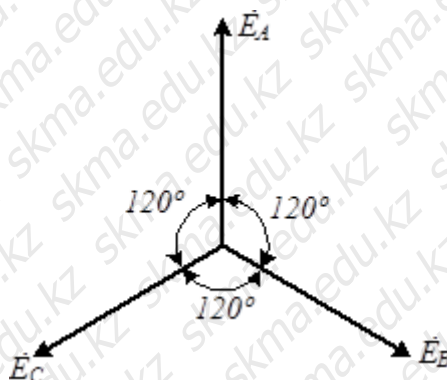


Рисунок 5.2

$$e_A = E_m \cdot \sin \omega t, \quad e_B = E_m \cdot \sin(\omega t - 2\pi / 3), \quad e_C = E_m \cdot \sin(\omega t - 4\pi / 3).$$

Трехфазную систему э.д.с. получают при помощи трехфазного генератора, в пазах статора которого размещены три электрически изолированные друг от друга обмотки - фазные обмотки генератора. Плоскости

обмоток смещены в пространстве на 120° . При вращении ротора генератора в обмотках наводятся синусоидальные э.д.с. одинаковые по амплитуде, но сдвинутые по фазе на 120° .

Чтобы отличить три э.д.с. трехфазного генератора друг от друга, их обозначают соответствующим образом. Если одну э.д.с. обозначить E_A , то отстающие от нее на 120° э.д.с. принято обозначить E_B , а опережающую на 120° - E_C .

На электрической схеме трехфазный генератор изображают в виде трех обмоток, расположенных друг к другу под углом 120° .

При соединении "звездой" одноименные зажимы (например, концы) трех обмоток объединяются в один узел, который называют нулевой точкой генератора и обозначают буквой 0 (рис. 5.3). Начала обмоток генератора обозначают буквами А, В, С.

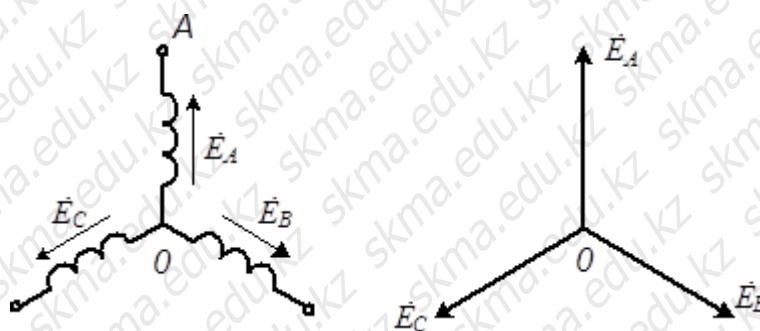


Рисунок 5.3

При соединении обмоток генератора "треугольником" конец первой обмотки генератора соединяется с началом второй, конец второй - с началом третьей, конец третьей - с началом первой (рис.5.4).

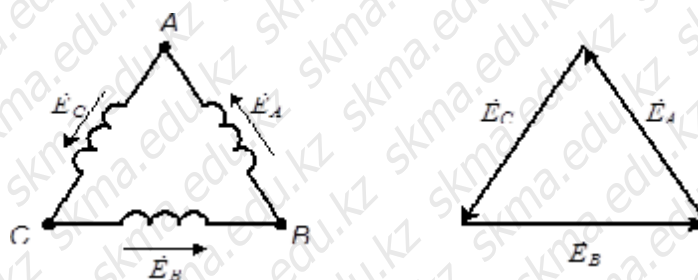


Рисунок 5.4

Геометрическая сумма э.д.с. в треугольнике равна нулю. Поэтому, если к зажимам А, В, С не присоединена нагрузка, то по обмоткам генератора не будет протекать ток.

*Совокупность трехфазной системы ЭДС и трехфазной нагрузки (или нагрузок и соединительных проводов) называют **трехфазной цепью**.*

Токи, протекающие по отдельным участкам трехфазной цепи, сдвинуты относительно друг друга по фазе. Под фазой трехфазной цепи понимают участок цепи, по которому протекает один и тот же ток. Таким образом, в зависимости от рассматриваемого вопроса, фаза - это либо участок трехфазной цепи, либо аргумент синусоидально изменяющейся величины.

Три обмотки генератора должны быть соединены с нагрузкой. Существуют различные способы соединения обмоток. Самым неэкономичным способом было бы соединение каждой обмотки генератора с нагрузкой двумя проводами, на что потребовалось бы шесть соединительных проводов. В целях экономии обмотки трехфазного генератора соединяют в "звезду" или "треугольник", вследствие чего количество соединительных проводов от генератора к нагрузке уменьшается с шести до трех или до четырех.

Рассмотрим способы соединения трехфазного генератора с трехфазной нагрузкой.

Схема соединения "звезда" - "звезда" с нулевым проводом представлена на рис. 5.5.

Узел, который образуют три конца трехфазной нагрузки при соединении ее "звездой", называют нулевой точкой нагрузки и обозначают O' . Провод, соединяющий нулевые точки генератора и нагрузки, называют нулевым (нейтральным). Ток нулевого провода обозначают I_0 , положительное направление тока - от узла O к узлу O' .

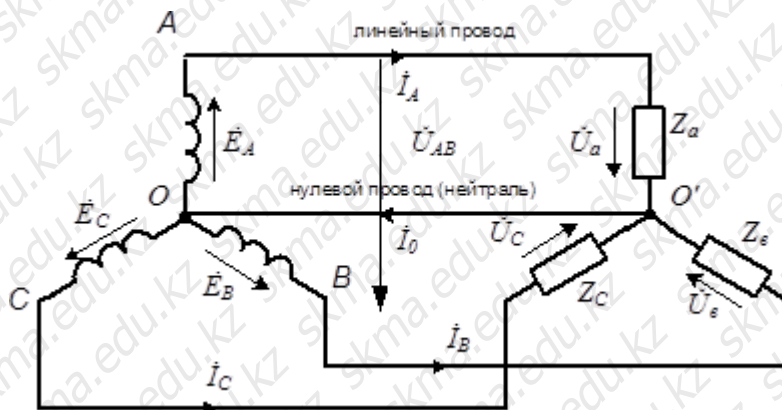


Рисунок 5.5

Провода, соединяющие зажимы А, В, С генератора с нагрузкой, называют линейными проводами. Текущие по линейным проводам токи называют линейными, их обозначают I_A, I_B, I_C . Условимся за положительное направление для них принимать направление от генератора к нагрузке. Модули линейных токов часто обозначают I_L , не указывая никакого дополнительного индекса. Такое обозначение применяется часто тогда, когда линейные токи по модулю одинаковы.

Напряжение между линейными проводами называют линейным напряжением и обозначают при помощи двух индексов, например U_{AB} . Модуль линейного напряжения обозначают U_L .

Каждую из трех обмоток генератора называют фазой генератора. Каждую из трех нагрузок называют фазой нагрузки. Протекающие по ним токи называют фазовыми токами I_ϕ , а напряжения на них - фазовыми или фазными напряжениями U_ϕ .

Схему на рис.5.6 называют "звезда - звезда" без нулевого провода; на рис.5.7. - "звезда - треугольник"; на рис. 5.8. - "треугольник - треугольник", на рис. 5.9. - "треугольник - звезда".

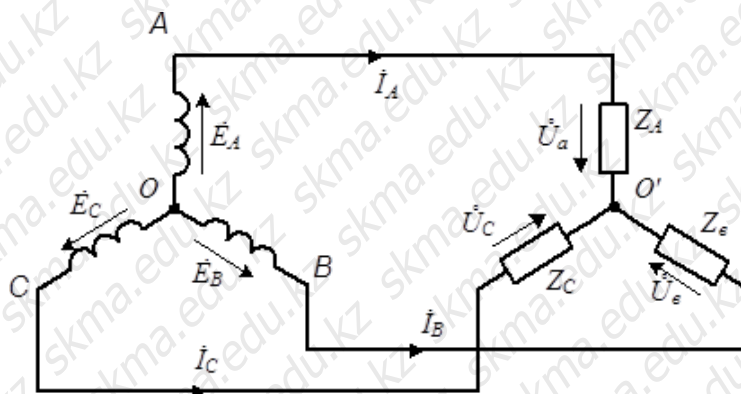


Рисунок 5.6

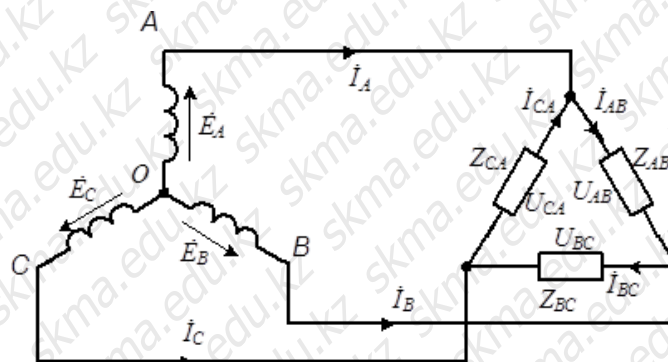


Рисунок 5.7

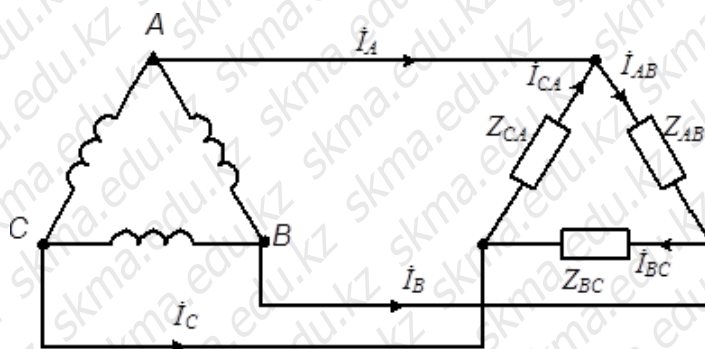


Рисунок 5.8

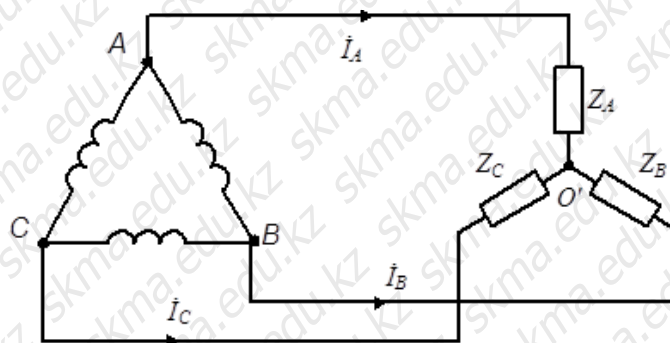


Рисунок 5.9

2. Соотношение между линейными и фазовыми напряжениями и токами

При соединении генератора в "звезду" (рис. 5.5) линейное напряжение по модулю в $\sqrt{3}$ раз больше фазового напряжения генератора. Это следует из того, что U_L есть основание равнобедренного треугольника с острыми углами по 30° (рис. 5.10):

$$U_L = U_{AB} = U_\phi \cdot 2 \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cdot U_\phi. \quad (5.1)$$

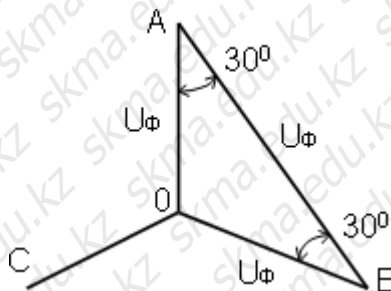


Рисунок 5.10

Линейный ток I_L при соединении генератора в "звезду" равен фазовому току генератора:

$$I_L = I_\phi. \quad (5.2)$$

При соединении генератора в "треугольник" линейное напряжение равно фазовому напряжению генератора (рис. 7.8; 7.9):

$$U_L = U_{\text{генер.}} \quad (5.3)$$

При соединении нагрузки в "звезду" (рис. 5.5; 5.6; 5.9) соответствующий линейный ток равен соответствующему фазовому току нагрузки:

$$I_L = I_\phi.$$

При соединении нагрузки "треугольником" токи в сторонах треугольника также снабжают двумя индексами. Положительные направления токов выбирают по часовой стрелке. Индексы у токов соответствуют выбранным для них положительным направлениям. Первый индекс соответствует узлу, из которого ток вытекает, второй - узлу, в который ток втекает.

При соединении нагрузки в "треугольник" (рис. 5.7; 5.8) линейные токи не равны фазовым токам нагрузки и определяются через них по первому закону Кирхгофа:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}; \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}; \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}. \quad (5.4)$$

В случае симметричной нагрузки $Z_{AB} = Z_{CA} = Z_{BC}$ сумма фазных токов в нагрузке равна нулю. Линейный ток определяется как основание равнобедренного треугольника (рис. 5.11):

$$I_L = I_\phi \cdot 2 \cdot \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cdot I_\phi. \quad (5.5)$$

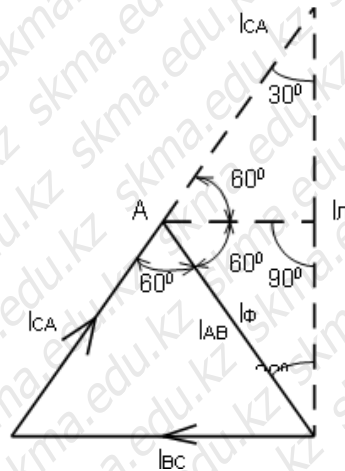


Рисунок 5.11

3. Мощность трехфазной цепи

Под активной мощностью трехфазной системы понимают сумму активных мощностей фаз и активной мощности, выделяемой в сопротивлении, включенном в нулевой провод:

$$P_{cp} = P_A + P_B + P_C + P_0. \quad (5.6)$$

Реактивная мощность - сумма реактивных мощностей фаз и реактивной мощности сопротивления, включенного в нулевой провод:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C + Q_0. \quad (5.7)$$

Полная мощность:

$$S = \sqrt{P_{cp}^2 + Q^2}. \quad (5.8)$$

Если нагрузка симметричная, то $P_0 = 0$. $Q_0 = 0$;

$$P_A = P_B = P_C = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos\varphi; \quad (5.9)$$

$$Q_A = Q_B = Q_C = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin\varphi. \quad (5.10)$$

Здесь под φ понимается угол между напряжением U_ϕ и током I_ϕ фазы нагрузки.
При симметричной нагрузке фаз

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 3U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos\varphi; \\ Q &= 3U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin\varphi; \\ S &= 3U_\phi \cdot I_\phi. \end{aligned} \quad (5.11)$$

При симметричной нагрузке независимо от способа ее соединения в "звезду" или в "треугольник"

$$3U_\phi I_\phi = \sqrt{3}\sqrt{3}U_\phi I_\phi = \sqrt{3}U_{ЛЛ} I_\phi.$$

ÖNTÜSTİK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		35стр. из 93

Поэтому вместо формул (5.11) используют следующие:

$$\begin{aligned} P_{cp} &= \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi; \\ Q &= \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi; \\ S &= \sqrt{3} U_L I_L. \end{aligned} \quad (5.12)$$

4. Иллюстративный материал: Для проведения занятия используется следующее материально-техническое обеспечение: ноутбук, мультимедийный проектор, экран.

5. Литература:

основная:

15. Электротехника и электроника учебник / А. Н. Горбунов ; под ред. А. В. Кравцова. - Алматы : Эверо, 2012
16. Шестеркин, Алексей Николаевич Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Шестеркин; УМО вузов по унив. политехн. образованию. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 251, [1] с
17. Гельман, М. В. Основы электроники [Электронный ресурс] : исполнение настольное ручное минимодульное : метод. указания / М. В. Гельман, В. В. Шуляков. - Челябинск : Учтех-Профи, 2013. - 80 с.
18. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
19. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
20. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 2016, ч.1,2,3
21. Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и уравнениях. Практикум на Electronics Workbench. Том 1: Электротехника, том 2: Электроника, -М.: ДОДЕКА, 2002 г. 1 том -303с. и 2 том -287с.

дополнительная:

19. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией Л.А. Бессонова. - М.: Высшая школа, 2008
20. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
21. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
22. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2013. – 798 с.: ил
23. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2007. – 701с.: ил
24. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.: 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=553180>
25. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 448 с.: ил.; 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494180>
26. Электрические измерения и приборы : Учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров / Г.И. Кольниченко, П.А. Михалин, А.С. Степанов; МОиН РФ, ФГБОУ ВПО МГУЛ. - М. : МГУЛ, 2014. - 89 с. : ил.
27. Арыстанбаев К.Е., Жумабекова А.Б., Умаров А.А. Системы управления химико-фармацевтическими процессами. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с.

6. Контроль (вопросы, задачи, решение)

Контрольные вопросы

1. Как понять –трехфазная симметричная система ЭДС?

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		36стр. из 93

2. Как можно получить при помощи трехфазного генератора трехфазную систему ЭДС?
3. Какая цепь называется трехфазной цепью?
4. Линейный ток, линейное напряжение при соединении «звездой»?
5. Линейный ток, линейное напряжение при соединении «треугольником»?
6. По какой формуле можно рассчитать активную мощность?
7. По какой формуле определяется реактивная мощность?
8. Чему равна полная мощность?

1. Тема 6: Электроника.

Основы промышленной электроники

2. Цель: Освоить основные понятия промышленной электроники.

3. Тезисы лекции:

1. Общие сведения о полупроводниковых приборах
2. Полупроводниковые диоды
3. Полупроводниковые триоды (транзисторы)

1. Общие сведения о полупроводниковых приборах

Зарождение электроники было подготовлено всем ходом развития промышленного производства конца 19 – начала 20 веков.

Электрическая энергия стала проникать во все сферы человеческой деятельности, что требовало создания новых средств измерения, контроля и управления, более чувствительных, точных и быстродействующих по сравнению с механическими и электромеханическими устройствами. Кроме того, возникла потребность в средствах быстрой передачи на большие расстояния различной информации.

Изобретение радио оказало большое влияние на становление и развитие электроники. В 30–40-е годы начали применяться электронные лампы, но они были ненадежны, имели небольшой срок службы, большие габариты, потребляли большую энергию. И вскоре их заменили полупроводниковые приборы.

Действие полупроводников основано на свойствах р-п перехода, поэтому проводимость полупроводников может меняться в широких пределах в зависимости от температуры нагрева, освещенности, воздействия электрических полей, примеси посторонних атомов и т. д. Эти особенности широко используются в технике.

В последние десятилетия одним из главных направлений стало развитие интегральной микроэлектроники.

2. Полупроводниковые диоды

Полупроводниковый диод – прибор с одним р-п переходом и двумя выводами, в котором используется свойство перехода. Ток, проходящий через диод в его открытом состоянии, называется прямым током, в другом направлении ток есть, но очень мал (диод заперт). Этот ток называется обратным. Соответственно напряжение, приложенное к диоду, называется – прямое и обратное (рис.6, а).

На рис. 6, б показана вольт-амперная характеристика диода.

Прямой ток диода направлен от анодного (А) к катодному (К) выводу. Нагрузочную способность выпрямительного диода характеризуют следующие параметры: допустимый прямой ток $I_{пр}$ и соответствующее ему прямое напряжение $U_{пр}$, допустимое обратное напряжение $U_{обр}$ и соответствующий ему обратный ток $I_{обр}$, допустимая мощность рассеяния $P_{рас}$ и допустимая температура окружающей среды $t_{о.с}$ (до 50 °С) для германиевых и до 140 °С для кремниевых диодов).

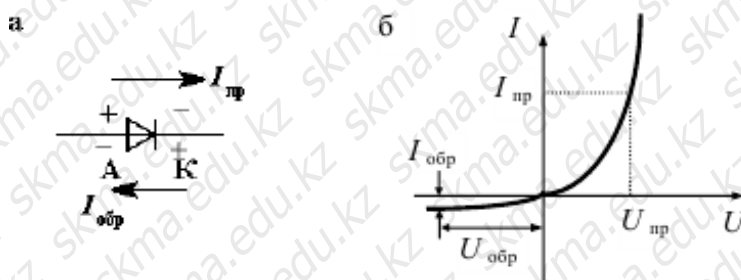


Рисунок 6.1 - Вольт-амперная характеристика диода.

По функциональному назначению полупроводниковые диоды делятся на **выпрямительные, импульсные, стабилитроны, фотодиоды, светоизлучающие диоды** и т. д.

По способу изготовления различают сплавные диоды, диоды с диффузионной базой и точечные диоды. В диодах двух первых типов р-п переход создается на значительной площади (до 1000 мм²), они применяются в основном в автоматике и приборостроении. В точечных диодах площадь перехода меньше 0,1 мм². Они применяются главным образом в аппаратуре сверхвысоких частот при значении прямого тока 10–20 мА.

Выпрямительные диоды предназначены для преобразования переменного тока в постоянный и выполняются по сплавной или диффузионной технологии.

Импульсные диоды предназначены для работы в цепях формирования импульсов напряжения и тока. Это – точечные диоды.

Стабилитроны, называемые также опорными диодами, предназначены для **стабилизации напряжения**. В этих диодах используется явление неразрушающего электрического пробоя (лавинного пробоя) р-п перехода при определенных значениях обратного напряжения $U_{обр} = U_{проб}$ (рис. 6.2, а).

На рис. 6.2, б приведена простейшая схема стабилизатора напряжения на приемнике с сопротивлением нагрузки R_H . При изменении напряжения между входными выводами стабилизатора $U_{вх} > U_{проб}$ ($R_H + r$)/ R_H , напряжение между выходными выводами $U_{вых}$ $U_{проб}$ изменяется незначительно.

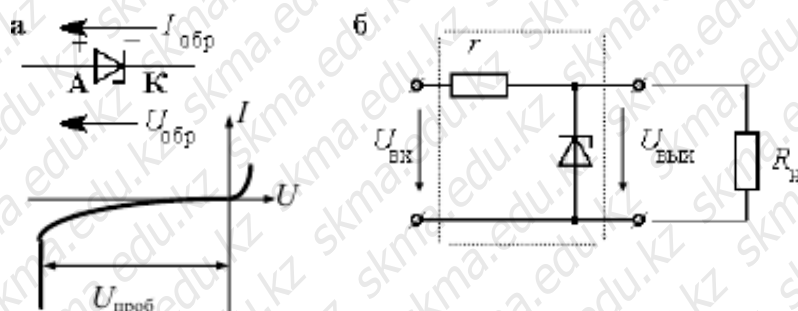


Рисунок 6.2 – График электрического пробоя и простейшая схема стабилизатора напряжения на приемнике с сопротивлением нагрузки R_H .

Светоизлучающие диоды и фотодиоды. Электрические свойства фотодиода изменяются под действием падающего на него светового излучения – повышается его обратный ток. Светодиоды сами излучают квант света в режиме прямого тока, поэтому они находят применение для индикации режима работы узлов и блоков различных систем.



Рисунок 6.3 – Условные графические обозначения

3. Полупроводниковые триоды (транзисторы)

Транзисторы служат для усиления мощности электрических сигналов. Они бывают **биполярными и полевыми**; имеют три вывода.

Биполярные – основаны на явлениях взаимодействия двух близко расположенных р-п переходов, физические процессы в них связаны с движением носителей зарядов обоих знаков.

Плоскостной биполярный транзистор представляет собой трехслойную структуру типа **р-п-р** (рис. 6.4, а) и **п-р-п** (рис. 6.4, б).

Транзистор называется **биполярным** потому, что физические процессы в нем связаны с движением носителей обоих знаков (свободных дырок и электронов).

Средний слой биполярного транзистора называется **базой – Б**, один крайний слой – **коллектором К**, а другой крайний слой – **эмиттером Э** (на электрических схемах эмиттер обозначается со стрелочкой). Каждый слой имеет вывод, при помощи которого транзистор включается в цепь.

Полевые – основаны на использовании носителей заряда только одного знака (электронов или дырок). Управление током в полевых транзисторах осуществляется изменением проводимости канала, через который

протекает ток транзистора под воздействием электрического поля. По способу создания канала различают полевые транзисторы с р-п переходом и на основе конструкции металл-диэлектрик – полупроводник (МДП-транзисторы) с индуцированным каналом и со встроенным каналом.

Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом бывают или с каналом n-типа (рис. 6.4, в), или с каналом p-типа (рис. 6.4, г).

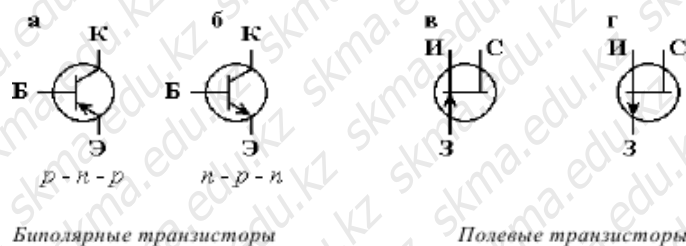


Рисунок 6.4 – Условные обозначения транзисторов

Электрод, от которого начинают движение носители заряда (в данном случае электроны), называется истоком И, а электрод, к которому они движутся, – стоком С. Оба р-слоя электрически связаны между собой и имеют общий внешний электрод, называемый затвором З.

Полевые транзисторы обладают высокой технологичностью, хорошей воспроизводимостью требуемых параметров и сравнительно небольшой стоимостью. Из электрических параметров полевые транзисторы отличает их **высокое входное сопротивление**.

Основное достоинство биполярных транзисторов – высокое быстродействие при достаточно больших токах коллектора. Наличие внешних теплоотводов позволяет работать биполярным транзисторам при мощности рассеяния до 50 Вт и токах до 10 А.

Основной недостаток – относительно небольшое сопротивление входной цепи биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (1–10 кОм).

Рассмотрим подробнее биполярные транзисторы. Различают четыре режима работы этих приборов:

- **активный режим**, в котором переход эмиттер – база включен в прямом направлении, а переход коллектор – база – в обратном;
- **инверсный режим**, в котором переход эмиттер – база включен в обратном направлении, а переход коллектор – база – в прямом;
- **режим отсечки**, в котором оба перехода включены в обратном направлении;
- **режим насыщения**, в котором оба перехода включены в прямом направлении.

В схемах усилителей основным является активный режим работы биполярных транзисторов.

Для усиления сигналов применяются три схемы включения биполярных транзисторов:

- с общей базой (ОБ) – рис. 6.5, а;
- с общим эмиттером (ОЭ) – рис. 6.5, б;
- с общим коллектором (ОК) – рис. 6.5, в.

Название схемы включения транзистора совпадает с названием вывода, общего для входной и выходной цепей. Наиболее часто используются схемы с общим эмиттером.

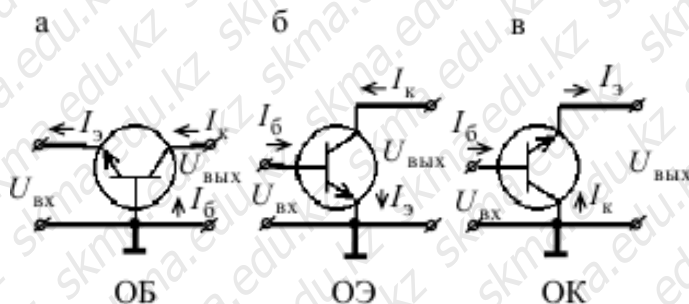


Рисунок 6.5 - Схемы включения биполярных транзисторов:

Вольтамперные характеристики (ВАХ) биполярных транзисторов

Рассмотрим ВАХ для схемы с общим эмиттером.

Входная ВАХ – это зависимость между током и напряжением во входной цепи при постоянном напряжении коллектора $U_{КЭ} = \text{const}$ /

$$I_B = f(U_{БЭ})_{U_{КЭ} = \text{const}}$$

Входная ВАХ практически не зависит от напряжения $U_{КЭ}$ (рис. 6.6).

Выходная ВАХ – это зависимость тока коллектора от напряжения $U_{КЭ}$ при постоянном входном сигнале ($I_B = \text{const}$)

$$I_K = f(U_{КЭ})_{I_B = \text{const}}$$

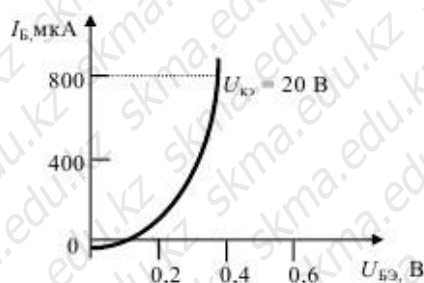


Рисунок 6.6- Входная ВАХ биполярного транзистора

Выходные характеристики приблизительно равноудалены друг от друга и почти прямолинейны в широком диапазоне напряжения $U_{КЭ}$ (рис. 6.7).

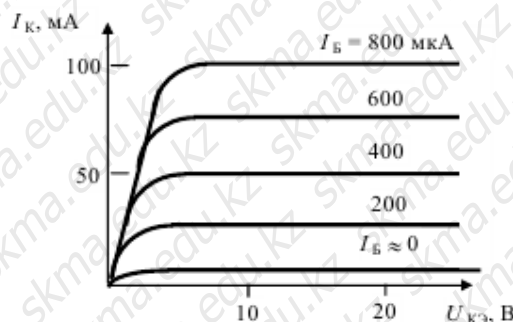


Рисунок 6.7 - Выходные характеристики транзисторов

Полупроводниковые тиристоры

Тиристор – полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями и тремя или более последовательно включенными р-п переходами. Наиболее распространена структура тиристора с четырьмя чередующимися слоями полупроводников р- и п-типов.

Различают управляемые (триодные) и неуправляемые (диодные) тиристоры.

Рассмотрим несколько подробнее триодный тиристор.

Триодный тиристор называется управляемым. Он имеет три вывода – анодный А, катодный К и вывод управляющего электрода УЭ, который подключается либо к ближайшей к катоду р-области, либо к ближайшей к аноду п-области (катодное и анодное управление).

Тиристор может быть переключен из закрытого состояния в открытое и наоборот. Условное изображение управляемого тиристора и его вольт-амперные характеристики приведены на рис. 6.8, а, б.

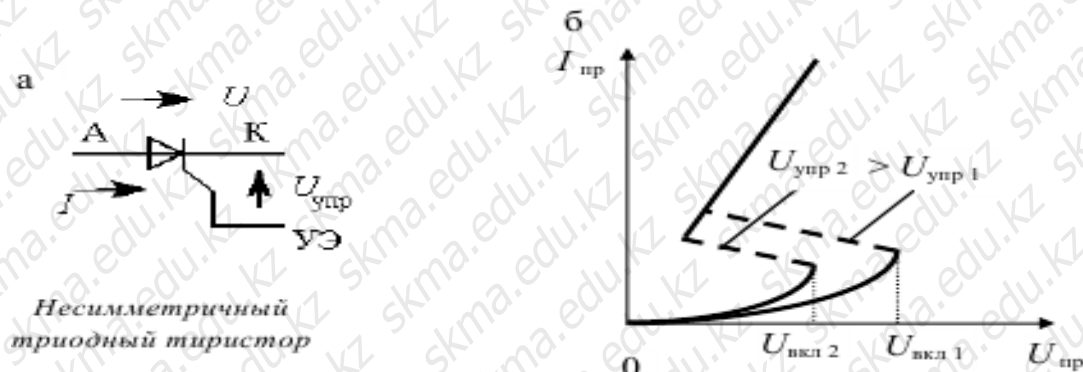


Рисунок 6.8 - Условное изображение управляемого тиристора и его вольт-амперные характеристики. Питательное напряжение подается на тиристор так, чтобы два перехода были открытыми, а один закрытым; сопротивление закрытого перехода достаточно высокое, следовательно, ток тиристора пока мал.

При повышении напряжения $U_{пр}$ ток тиристора $I_{пр}$ увеличивается незначительно, пока это напряжение не приблизится к некоторому критическому значению, равному напряжению включения.

После этого происходит лавинообразное нарастание тока в переходе и напряжение на тиристоре снижается в соответствии ВАХ (рис. 6.8, б).

Такой «пробой» не вызывает разрушения перехода, сопротивление которого восстанавливается с уменьшением тока.

Важным параметром тиристора является отпирающий ток (напряжение) управления – ток управляющего электрода УЭ, который обеспечивает переключение тиристора в открытое состояние.

Для запираания тиристора необходимо уменьшить ток практически до нуля.

Тиристоры как управляемые переключатели, обладающие еще и выпрямительными свойствами, широко применяются в управляемых выпрямителях, преобразователях, инверторах, коммутационной аппаратуре.

Номинальные значения токов у некоторых типов тиристоров в открытом состоянии достигают 5000 А, а номинальные значения напряжений в закрытом состоянии – до 5000 В.

4. Иллюстративный материал: Для проведения занятия используется следующее материально-техническое обеспечение: ноутбук, мультимедийный проектор, экран.

5. Литература:

основная:

1. Электротехника и электроника учебник / А. Н. Горбунов ; под ред. А. В. Кравцова. - Алматы : Эверо, 2012
2. Шестеркин, Алексей Николаевич Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Шестеркин; УМО вузов по унив. политехн. образованию. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 251, [1] с
3. Гельман, М. В. Основы электроники [Электронный ресурс] : исполнение настольное ручное минимодульное : метод. указания / М. В. Гельман, В. В. Шулдяков. - Челябинск : Учтех-Профи, 2013. - 80 с.
4. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
5. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
6. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 2016, ч.1,2,3
7. Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и уравнениях. Практикум на Electronics Workbench. Том 1: Электротехника, том 2: Электроника, -М.: ДОДЕКА, 2002 г. 1 том -303с. и 2 том -287с.

дополнительная:

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		 SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		41стр. из 93

1. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией Л.А. Бессонова. - М.:Высшая школа, 2008
2. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
3. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
4. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2013. – 798 с.: ил
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2007. – 701с.: ил
6. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.: 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=553180>
7. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 448 с.: ил.; 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494180>
8. Электрические измерения и приборы : Учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров / Г.И. Кольниченко, П.А. Михалин, А.С. Степанов; МОиН РФ, ФГБОУ ВПО МГУЛ. - М. : МГУЛ, 2014. - 89 с. : ил.
9. Арыстанбаев К.Е., Жумабекова А.Б., Умаров А.А. Системы управления химико-фармацевтическими процессами. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с.

6.Контроль (вопросы, задачи, решение)

1. Объяснить на чем основано действие полупроводников.
2. Объяснить принцип устройства и работы диода. Объяснить ВАХ диода.
3. Назначение выпрямительных диодов
4. Назначение импульсных диодов.
5. Назначение стабилитронов. Объяснить явление электрического пробоя.
6. Объяснить принцип устройства и работы биполярного и полевого транзисторов.
7. Объяснить режимы работы биполярных транзисторов.
8. Начертить и пояснить схемы включения биполярных транзисторов.
9. Начертить и объяснить ВАХ биполярного транзистора
10. Объяснить устройство и принцип работы тиристора.

1. Тема 7: Выпрямители, электрические фильтры. Усилители электрических сигналов

2.Цель: Освоение основных понятий: Выпрямители, электрические фильтры. Усилители электрических сигналов

3.Тезисы лекции:

1. Выпрямительные устройства

Выпрямительные устройства могут быть управляемые и неуправляемые. Первые построены на тиристорах, вторые – на полупроводниковых диодах.

По числу фаз источника различают однофазные и многофазные (чаще трехфазные) выпрямительные устройства, по схемотехническому решению – с выводом нулевой точки трансформатора и мостовые.

Выпрямителем называется устройство, предназначенное для преобразования энергии источника переменного тока в постоянный ток. Такие выпрямители предназначены для питания постоянным током различных систем и устройств промышленной электроники, решающих задачи управления, регулирования, переработки, отображения информации и т. д.

При относительно небольшой мощности нагрузки (до нескольких сотен ватт) задачу преобразования электрической энергии переменного тока промышленной частоты (50 Гц) в постоянный решают с помощью однофазных выпрямителей.

1.1. Однофазный однополупериодный выпрямитель

В общем случае структурная схема выпрямителя содержит трансформатор, выпрямительные диоды, сглаживающий фильтр и стабилизатор выпрямленного напряжения. Трансформатор служит для изменения синусоидального напряжения сети до необходимого уровня, которое затем выпрямляется. Сглаживающий фильтр служит для уменьшения пульсации выпрямленного напряжения. Стабилизатор поддерживает неизменным напряжение приемника при изменении напряжения сети.

Отдельные узлы могут отсутствовать, это зависит от назначения выпрямителя.

Схема простейшего однофазного однополупериодного выпрямителя представлена на рис. 7.1, а, временная диаграмма выпрямленного напряжения и тока – на рис. 7.1, б.

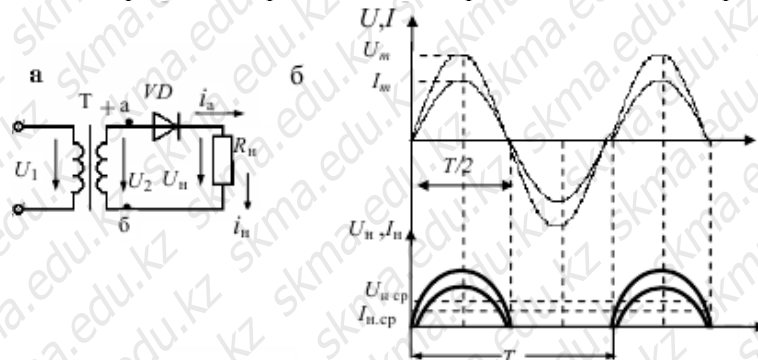


Рисунок 7.1 - Схема простейшего однофазного однополупериодного выпрямителя

Выпрямитель состоит из трансформатора (Т), к вторичной обмотке которого последовательно подключены диод (VD) и нагрузочный резистор (R_n).

В первый полупериод, т. е. в интервале времени $(0 - T/2)$, диод открыт, так как потенциал точки «а» выше потенциала точки «б», и под действием напряжения в цепи вторичной обмотки трансформатора возникает ток i_n .

Во второй полупериод, т. е. в интервале времени $(T/2 - T)$, диод закрыт, ток в нагрузочном резисторе отсутствует и к запертому диоду прикладывается обратное напряжение.

Средние значения выпрямленного тока и напряжения малы, а коэффициент пульсации достаточно высок ($K_n=1,57$), поэтому они применяются в основном для питания высокоомных нагрузочных устройств небольшой мощности (электронно-лучевых трубок).

1.2. Однофазный двухполупериодный выпрямитель

Однофазные двухполупериодные выпрямители бывают двух типов: мостовые и с выводом нулевой точки вторичной обмотки трансформатора. Эти выпрямители более мощные, чем однополупериодные, так как с их помощью нагрузочные устройства используют в работе оба полупериода напряжения сети. Коэффициент полезного действия (КПД) их значительно больше, чем однополупериодных выпрямителей.

Схемы однофазных двухполупериодных выпрямителей представлены на рис. 7.2, а и 7.2, б.

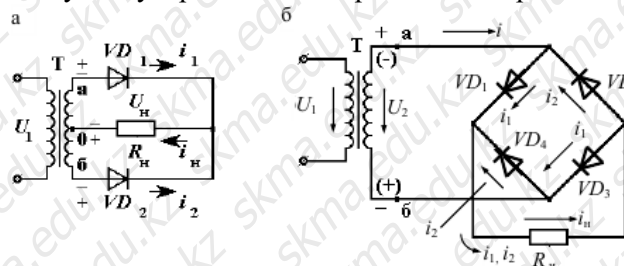


Рисунок 7.2 - Схемы однофазных двухполупериодных выпрямителей

В однофазном выпрямителе с нулевым выводом (рис. 7.2, а) нагрузка подключается к выводу от средней точки вторичной обмотки трансформатора.

Предположим, что в верхней половине вторичной обмотки трансформатора имеется положительная полуволна синусоиды переменного тока, т. е. потенциал точки «а» – положительный, а потенциал точки «0» – отрицательный; тогда диод VD1 будет открыт, через него и нагрузочный резистор R_n проходит ток i_1 .

В этот же момент времени диод VD2 будет закрыт, так как потенциал точки «б» – отрицательный, а потенциал нулевой точки «0» – положительный и ток через диод не проходит. Когда знаки входного

напряжения синусоидального переменного тока поменяются и положительная полуволна будет в нижней половине вторичной обмотки трансформатора, т. е. потенциал точки «б» станет положительным, а потенциал точки «0» – отрицательным, диод VD_2 откроется, через него и нагрузку пройдет ток i_2 ; диод VD_1 закроется и ток через него не пройдет. В результате в нагрузочном резисторе за оба полупериода синусоиды появляется ток: $i_n = i_1 + i_2$.

Мостовой двухполупериодный выпрямитель (рис. 7.2, б) состоит из трансформатора Т и четырех диодов, подключенных ко вторичной обмотке трансформатора по мостовой схеме. Нагрузочный резистор подключен к одной диагонали моста, а вторичная обмотка трансформатора – к другой.

Каждая пара диодов (VD_1 и VD_3 ; VD_2 и VD_4) работает поочередно. Диоды VD_1 – VD_3 открыты в первый полупериод синусоиды (интервал времени $0 - T/2$), так как потенциал точки «а» выше потенциала точки «б» ($a > б$).

При этом в нагрузочном резисторе R_n появляется ток $i_n = i_1$.

В этом же интервале времени диоды $VD_2 - VD_4$ закрыты.

В следующий полупериод приходящей синусоиды ($T/2 - T$) потенциал точки «б» становится больше потенциала точки «а» ($б > a$), диоды $VD_2 - VD_4$ открываются, а диоды $VD_1 - VD_3$ закрываются и через нагрузочный резистор проходит ток $i_n = i_2$. В оба полупериода ток через нагрузку R_n имеет одно и то же направление.

Выпрямленный ток нагрузки: $i_n = i_1 + i_2$.

Временные диаграммы тока и напряжения для обеих изображенных на рис. 7.2 схем – одинаковы (рис. 7.3).

Коэффициент пульсации у однофазных двухполупериодных выпрямителей значительно меньше, чем у однополупериодных ($K_n 0,67$). При идеальном трансформаторе постоянная составляющая тока нагрузки:

$$I_0 = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0,64 I_m.$$

Тем не менее, главным преимуществом мостовой схемы двух полупериодного выпрямителя перед схемой с нулевым выводом средней точки трансформатора является более простой трансформатор, содержащий только одну вторичную обмотку, и меньшее обратное напряжение, на которое следует выбирать диоды, поскольку оно

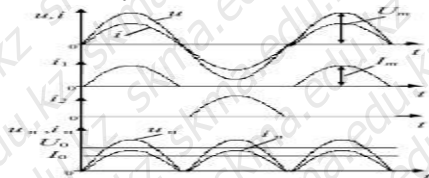


Рисунок 7.3 - Временные диаграммы тока и напряжения

прикладывается одновременно к двум непроводящим диодам, включенным последовательно, на интервале проводимости двух других диодов. Эти преимущества компенсируют недостаток схемы, заключающийся в большем количестве диодов.

Поэтому наибольшее применение нашла схема двухполупериодного мостового выпрямителя однофазного тока небольшой и средней мощности.

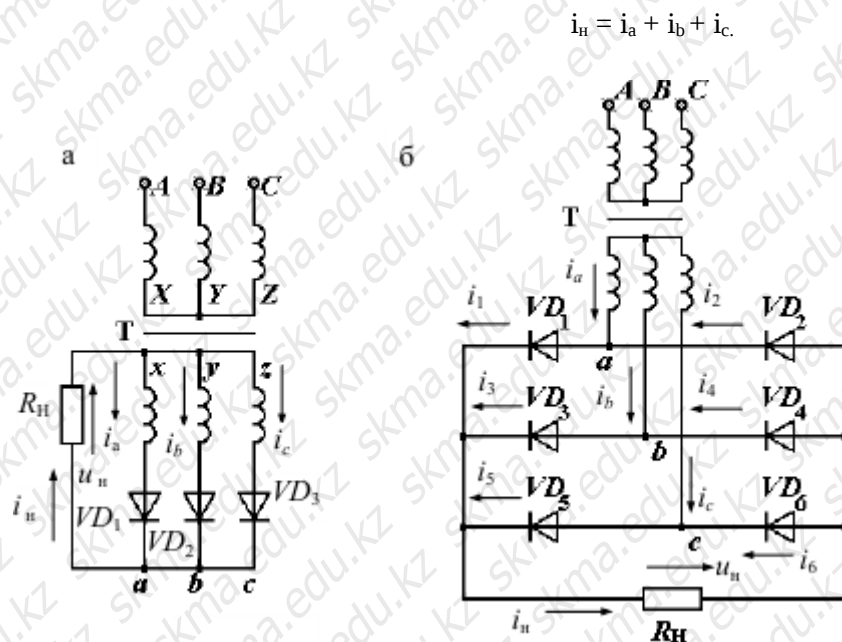
1.3. Трехфазные выпрямители

Многофазное, в частности трехфазное, выпрямление дает возможность значительно уменьшить пульсации выпрямленного напряжения. Трехфазные выпрямители применяются как выпрямители средней и большой мощности. Существует два основных типа трехфазных выпрямителей:

- выпрямители с нулевым выводом вторичной обмотки трансформатора (рис. 7.4, а),
- выпрямители мостовые (рис. 7.4, б).

Выпрямитель первого типа состоит из трехфазного трансформатора Т, обмотки которого соединены звездой, трех диодов VD_1, VD_2, VD_3 , включенных в каждую фазу трансформатора, и нагрузочного резистора R_n . Диоды работают поочередно, каждый в течение трети периода, когда потенциал начала одной из фаз обмоток (например, а) более положителен, чем двух других (б и с).

Выпрямленный ток создается токами каждого диода, имеет одно и то же направление и равен сумме выпрямленных токов каждой из фаз



$$i_n = i_a + i_b + i_c.$$

Рисунок 7.4 - Два основных типа трехфазных выпрямителей: выпрямители с нулевым выводом вторичной обмотки трансформатора (а), выпрямители мостовые (б)

Коэффициент пульсации этих выпрямителей еще ниже (подсчет коэффициента пульсаций дает значение $K_P = 0,25$), а средняя составляющая выпрямленного тока и напряжения значительно выше.

Выпрямитель второго типа (схема Ларионова) содержит мост из шести диодов.

Диоды VD_1, VD_3, VD_5 образуют одну группу, в которой соединены все катодные выводы, а диоды VD_2, VD_4, VD_6 – другую, в которой соединены все анодные выводы. Общая точка первой группы образует положительный полюс на нагрузочном реостате R_n , а общая точка второй группы – отрицательный полюс. В каждый момент времени ток в нагрузочном резисторе R_n и в двух диодах появляется тогда, когда к этим диодам приложено наибольшее напряжение.

Таким образом, в каждый данный момент времени работает тот диод первой группы, у которого анодный вывод имеет наибольший положительный потенциал относительно потенциала нулевой точки, а вместе с ним – диод второй группы, у которого катодный вывод имеет наибольший по абсолютному значению отрицательный потенциал относительно потенциала этой же нулевой точки.

Пульсации выпрямленного напряжения в этом выпрямителе еще меньше, чем в предыдущем (подсчет дает значение $K_P = 0,057$), а КПД значительно выше, так как в нем нет подмагничивания сердечника трансформатора постоянным током.

Временные диаграммы, представленные на рис. 7.5 наглядно иллюстрируют порядок переключения диодов в обеих схемах трехфазных выпрямителей, а также показывают формы кривых выпрямленных значений напряжения и тока.

На рис. 7.5, а представлены синусоиды трехфазного переменного напряжения, сдвинутые по фазе друг относительно друга на одну треть периода ($2/3$), питающие первичную обмотку трансформатора.

Для идеального трансформатора токи вторичных обмоток i_a, i_b, i_c представляют собой три последовательности импульсов, длительностью $T/3$ и амплитудой $I_m = U_m/R_n$ каждая, сдвинутые относительно друг друга на $1/3$ периода, ток нагрузки $i_n = i_a + i_b + i_c$ имеет постоянную составляющую I_0 , а выпрямленное напряжение, имеющее постоянную составляющую U_0 , равно сумме положительных полувольт напряжений вторичных обмоток $u_n = R_n i_n$.

Работу мостового выпрямителя иллюстрируют совмещенные по времени кривые токов диодов первой группы i_1, i_3, i_5 , (рис. 7.5, б), токов диодов второй группы i_2, i_4, i_6 и тока нагрузки $i_n = i_1+i_3+i_5 = i_2+i_4+i_6$, а также выпрямленного напряжения $u_n = R_n i_n$.

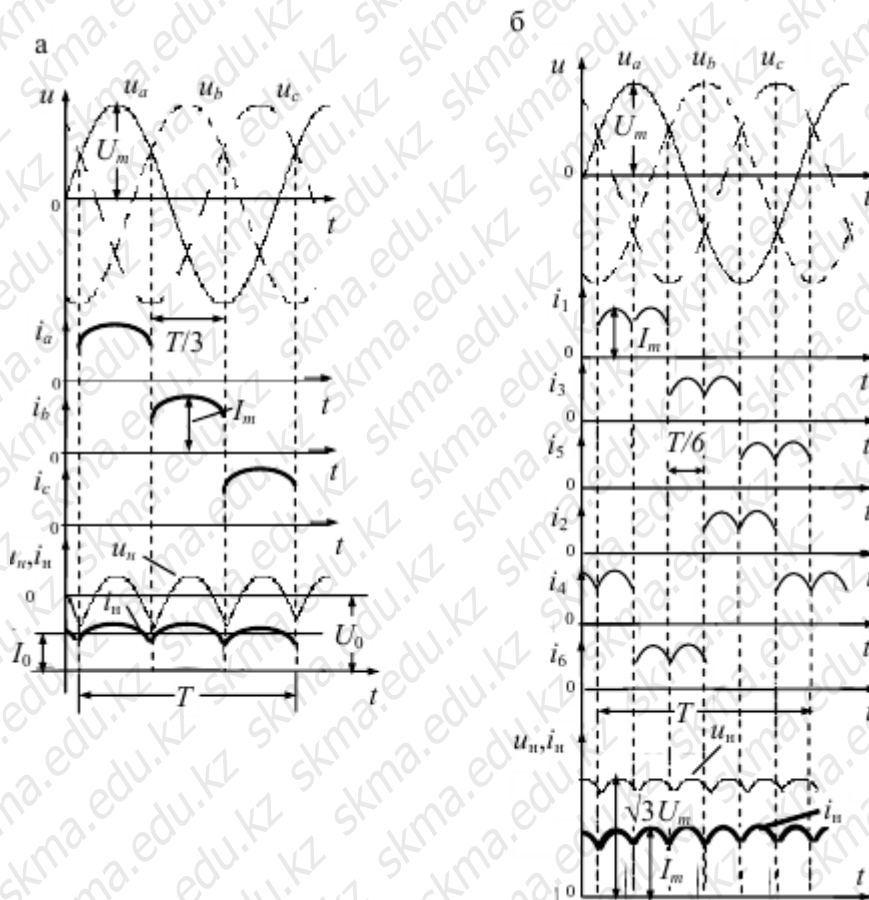


Рисунок 7.5 - Временные диаграммы порядка переключения диодов

Максимальное значение выпрямленного напряжения равно амплитуде синусоидального линейного напряжения трехфазного источника $3U_m$, а максимальное значение выпрямленного тока

$$I_m = \sqrt{3}U_m / R_n.$$

В мостовом выпрямителе на каждой двух фазах, в которых диоды оказываются открытыми, осуществляется двухполупериодное выпрямление, каждый импульс имеет длительность $T/6$, в отличие от выпрямителя (рис. 7.5, а), где между каждой фазой с открытым диодом и нулевым выводом осуществляется однополупериодное выпрямление.

Мощность многофазных выпрямителей обычно – от десятков до сотен киловатт и больше при токах до 100 000 А, коэффициент полезного действия достигает 98 %.

2. Понятие о сглаживающих фильтрах

Для улучшения формы кривой выпрямленного напряжения и для уменьшения пульсаций используются сглаживающие фильтры.

Они выполняются на основе реактивных элементов – дросселей и конденсаторов. Дроссель включают последовательно с нагрузкой, а конденсаторы – параллельно ей.

По способу соединения элементов фильтры бывают Г-образные, Т-образные и П-образные.

Путем надлежащего выбора параметров фильтра получают постоянное напряжение с наименьшими пульсациями.

Между сглаживающим фильтром и нагрузкой иногда подключают стабилизатор напряжения, обеспечивающий поддержание с необходимой точностью требуемой величины постоянного напряжения на нагрузке при изменении напряжения питающей сети и тока нагрузки.

В выпрямителях средней и большой мощности, выполненных по однофазной схеме, самым распространенным является простейший емкостной фильтр, когда конденсатор C_ϕ включается параллельно нагрузке – R_n (рис. 7.6, а).

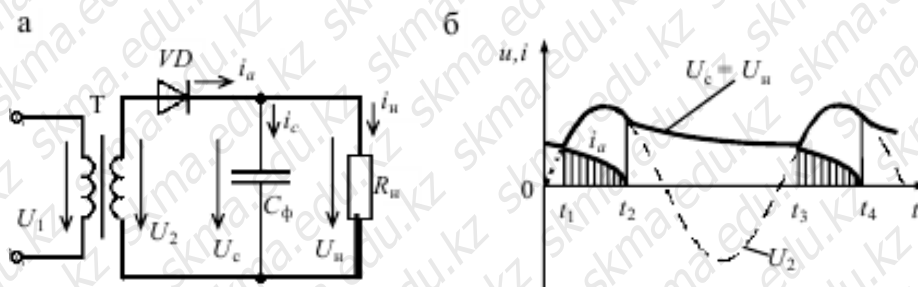


Рисунок 7.6

Включение сглаживающего фильтра увеличивает постоянную составляющую выпрямленного напряжения U_0 и уменьшает пульсации выпрямленного тока i_n , увеличивая тем самым его постоянную составляющую.

В интервале времени t_1 t_2 конденсатор C_ϕ через открытый диод VD заряжается почти до амплитудного значения напряжения U_2 (заряд конденсатора происходит по восходящей экспоненте). Так как $U_2 > U_c$ ток в этом интервале времени $i_a = i_c + i_n$. В интервале времени t_2 t_3 , когда напряжение U_2 уменьшается и становится меньше U_c , конденсатор разряжается (разряд конденсатора происходит по нисходящей экспоненте) на нагрузку R_n , заполняя разрядным током паузу в нагрузочном токе i_n (рис. 7.6, б).

Далее процесс в цепи будет периодически повторяться, т. е. происходит периодическая зарядка конденсатора фильтра током i_c от источника энергии и его последующая разрядка на цепь приемника.

3. Усилители электрических сигналов

Усилителями называются устройства, предназначенные для увеличения значений параметров электрических сигналов за счет энергии включенного источника питания. Различные усилители применяются для усиления значений тех или иных параметров сигналов.

По этому признаку они делятся на усилители напряжения, тока и мощности.

Возможны линейный и нелинейный режимы работы усилителей. В усилителях с практически линейным режимом работы получается минимальное искажение формы усиливаемого сигнала.

В усилителях с нелинейным режимом работы при увеличении значения напряжения на входе больше некоторого граничного уровня, изменение напряжения на выходе усилителя практически отсутствует. Такие усилители применяются в устройствах импульсной техники, в том числе логических.

В настоящее время усилительная техника основана на широком внедрении усилителей в интегральном исполнении. Поэтому актуальным становится не разработка самих усилителей, а их применение для реализации различных функциональных узлов автоматики, управления и измерения.

Структурная схема усилительного каскада представлена на рис. 7.7.

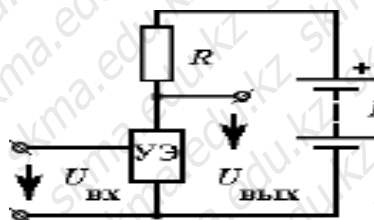


Рисунок 7.7 - Структурная схема усилительного каскада

На этой схеме УЭ – нелинейный управляемый элемент (транзистор); $U_{вх}$ – напряжение входной цепи, к которой подводится усиливаемый сигнал; $U_{вых}$ – напряжение выходной цепи, в которой получается усиленный сигнал; E – батарея питания транзистора.

Процесс усиления осуществляется посредством изменения сопротивления нелинейного элемента УЭ, а следовательно, и тока в выходной цепи под воздействием входного напряжения или тока.

Таким образом, усиление основано на преобразовании электрической энергии источника постоянной ЭДС в энергию выходного сигнала за счет изменения сопротивления УЭ по закону, задаваемому входным сигналом.

Основным параметром усилительного каскада является коэффициент усиления

– по напряжению $K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$;

– по току $K_I = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}$;

– по мощности $K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}$.

Коэффициент усиления одного каскада обычно составляет несколько десятков, а для инженерной практики необходимо несколько тысяч, поэтому используют многокаскадный усилитель, в котором каждый последующий каскад подключен к выходу предыдущего.

Коэффициент усиления многокаскадного усилителя: $K_U = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n$, где $K_1, K_2, \dots, K_n$ – коэффициенты усиления каждого каскада.

Обычно окончательным каскадом многокаскадного усилителя является усилитель мощности.

В усилителях напряжения чаще используется усилительный каскад с общим эмиттером (ОЭ), который представлен на рис. 7.8.

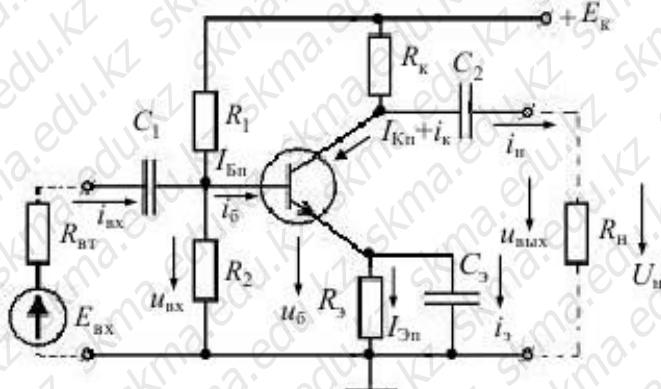


Рисунок 7.8 - Усилительный каскад с общим эмиттером (ОЭ),

Источник усиливаемого сигнала представляет собой источник с внутренним сопротивлением $R_{\text{ВТ}}$ и ЭДС $E_{\text{ВХ}}$. Конденсаторы большой емкости C_1 (часто называемый входным) и C_2 (называемый разделительным) отделяют цепь постоянного тока (цепь питания) от цепи источника входного сигнала и цепи приемника с сопротивлением нагрузки $R_{\text{Н}}$. Конденсатор C_2 , как конденсатор между-каскадной связи, на выходе усилительного каскада обеспечивает выделение из коллекторного напряжения переменной составляющей усиленного сигнала.

Резистор с сопротивлением $R_{\text{К}}$ выбирается исходя из требуемого коэффициента усиления ($R_{\text{К}} (E_{\text{К}} - U_{\text{ВЫХ}}) / I_{\text{К}}$), т. е. напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$.

Базовый делитель (резисторы R_1 и R_2) обеспечивает требуемую работу транзистора в режиме покоя, т. е. отсутствия входного сигнала. Резистор R_1 предназначен для создания цепи протекания тока $I_{\text{БП}}$.

Совместно с R_2 резистор R_1 обеспечивает исходное напряжение на базе $U_{\text{БП}}$ относительно зажима «+» источника питания.

Резистор R_3 является элементом отрицательной обратной связи, предназначенным для стабилизации режима покоя каскада при изменении температуры. Конденсатор C_3 шунтирует резистор R_3 по переменному току, исключая проявление отрицательной обратной связи в каскаде по переменным составляющим. Отсутствие конденсатора C_3 привело бы к уменьшению коэффициентов усиления схемы.

Температурная зависимость параметров режима покоя обуславливается зависимостью коллекторного тока покоя $I_{\text{КП}}$ от температуры. При отсутствии мер по стабилизации тока $I_{\text{КП}}$ его температурные изменения вызывают изменение режима покоя каскада, что может привести к искажению формы кривой выходного сигнала.

Принцип действия каскада с ОЭ заключается в следующем.

При наличии постоянных составляющих токов и напряжений в схеме подача на вход усилительного каскада переменного напряжения $u_{\text{ВХ}}$ приводит к появлению переменной составляющей тока базы

ОНТҰСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 48стр. из 93

транзистора, а, следовательно, переменной составляющей тока в выходной цепи каскада (в коллекторном токе транзистора). За счет падения напряжения на резисторе R_k создается переменная составляющая напряжения на коллекторе, которая через конденсатор C_2 передается на выход каскада – в цепь нагрузки.

Ток базы будет меняться в соответствии с входной характеристикой и будет иметь кроме постоянной составляющей $I_{БП}$ еще и переменную i_b . Одновременно будут меняться токи i_k и i_c .

Зная изменение тока i_k , можно проследить за изменением коллекторного напряжения и падением напряжения на резисторе R_k . Переменная составляющая коллекторного напряжения – это и есть выходное напряжение усилительного каскада, которое численно равно и противоположно по фазе переменной составляющей падения напряжения на резисторе R_k ($U_{\text{вых}} = -R_k i_k$), так как усилительный каскад с ОЭ осуществляет поворот по фазе на 180° выходного напряжения относительно входного.

Ток коллектора i_k значительно больше тока базы i_b , а $R_k > R_{\text{вх}}$, следовательно, выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ значительно больше входного напряжения $U_{\text{вх}}$. Чтобы увеличить коэффициент усиления каскада, величину резистора R_k выбирают в 3–5 раз больше величины резистора R_H . Небольшое значение входного сопротивления является главным недостатком усилительного каскада с ОЭ. Это увеличивает ток источника сигнала и мощность потерь в его внутреннем сопротивлении.

Для оценки диапазона изменений входных напряжений, усиливаемых без искажений, используется амплитудная характеристика, представляющая собой зависимость амплитудного значения выходного напряжения от амплитудного значения входного напряжения при постоянной частоте питающего тока $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ (рис. 7.9, а).

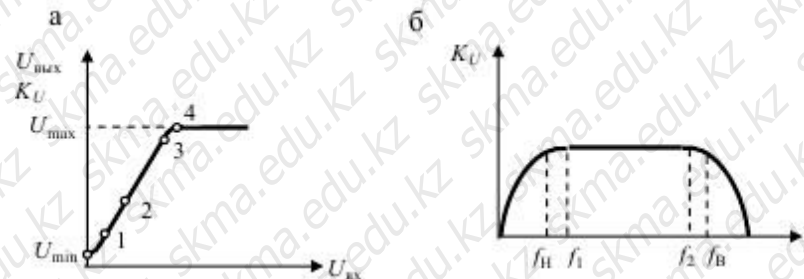


Рисунок 7.9 - Зависимость амплитудного значения выходного напряжения от амплитудного значения входного напряжения при постоянной частоте питающего тока

Участок 1–3 соответствует пропорциональной зависимости амплитуды выходного напряжения от амплитуды входного сигнала.

По этому участку можно определить коэффициент усиления по напряжению. Амплитудная характеристика не проходит через начало координат ввиду наличия на выходе напряжения собственных помех и шумов усилителя. По величине U_{min} оценивают уровень минимальных напряжений входного сигнала (чувствительность) усилителя.

При достижении некоторого значения входного сигнала, соответствующего точке 3, пропорциональность зависимости выходного напряжения от входного сигнала нарушается.

Если изменение входного напряжения тока базы и тока коллектора укладываются в линейный участок характеристики, то форма выходного напряжения будет соответствовать форме входного напряжения (например, на входе – синусоида и на выходе – синусоида).

Граничной точкой является точка 4, в которой выходное напряжение достигает своего максимального значения, и его форма не искажается по сравнению с входным (режим насыщения).

Для оценки свойств многокаскадного усилителя с конденсаторной связью на разных частотах пользуются амплитудно-частотной характеристикой, т. е. зависимостью коэффициента усиления усилителя от частоты питающего тока при постоянном значении входного сигнала

$$K_U = Ff_{U_{\text{вх}}=\text{const}} \quad (\text{рис. 7.9, б}).$$

Наличие в схеме усилителя конденсаторов и зависимость параметров транзистора от частоты приводят к тому, что при изменении частоты входного сигнала напряжение на выходе усилителя изменяется как по амплитуде, так и по фазе. Поэтому на практике приходится исследовать еще фазочастотную характеристику усилителя, которая является зависимостью угла фазового сдвига от частоты.

QONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		49стр. из 93

Обычно влияние параметров элементов схемы на ход указанной характеристики исследуют в области низких (f_H) и высоких (f_B) частот.

По амплитудно-частотной характеристике можно определить тот диапазон частот, на котором можно работать с постоянным коэффициентом усиления без частотных искажений. Этот диапазон частот (f_1 f_2) называется полосой пропускания частот усилителя (рис. 7.9, б).

Для улучшения показателей усилителя или придания ему некоторых специфических свойств (например, осуществление температурной стабилизации), а также для построения усилителей на линейных интегральных микросхемах применяются обратные связи (ОС).

Обратной связью называется воздействие выходной величины усилителя на его вход, т. е. обратная связь осуществляется подачей на вход усилителя сигнала с его выхода.

В усилителях применяются различные виды обратных связей.

Вид ОС зависит от параметра выходного сигнала, используемого для создания обратной связи, и способа подачи обратной связи на вход усилителя. В зависимости от этого ОС бывают по напряжению и по току, последовательные и параллельные, положительные и отрицательные, по переменной или по постоянной составляющей.

Воздействие обратной связи может привести либо к увеличению (часть выходного сигнала складывается с входным), либо к уменьшению (часть выходного сигнала вычитается из входного) результирующего сигнала на входе усилителя. В первом случае ОС называется положительной, во втором – отрицательной.

Положительная обратная связь в усилителях почти не применяется, но лежит в основе работы различного рода автогенераторов.

Отрицательная обратная связь используется в усилителях очень широко. Она позволяет создавать на основе усилителей устройства различного функционального назначения: сумматоры и вычитатели напряжения, интеграторы, фильтры и т. д.

4. Иллюстративный материал: Для проведения занятия используется следующее материально-техническое обеспечение: ноутбук, мультимедийный проектор, экран.

5. Литература:

основная:

1. Электротехника и электроника учебник / А. Н. Горбунов ; под ред. А. В. Кравцова. - Алматы : Эверо, 2012
2. Шестеркин, Алексей Николаевич Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Шестеркин; УМО вузов по унив. политехн. образованию. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 251, [1] с
3. Гельман, М. В. Основы электроники [Электронный ресурс] : исполнение настольное ручное минимодульное : метод. указания / М. В. Гельман, В. В. Шудяков. - Челябинск : Учтех-Профи, 2013. - 80 с.
4. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
5. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
6. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 2006, ч.1,2,3
7. Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и уравнениях. Практикум на Electronics Workbench. Том 1: Электротехника, том 2: Электроника, -М.: ДОДЕКА, 2002 г. 1 том -303с. и 2 том -287с.

дополнительная:

1. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией Л.А. Бессонова. - М.: Высшая школа, 2008
2. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
3. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
4. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2013. – 798 с.: ил

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		50стр. из 93

5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2007. – 701с.: ил

6. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.: 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=553180>

7. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 448 с.: ил.; 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494180>

8. Электрические измерения и приборы : Учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров / Г.И. Кольниченко, П.А. Михалин, А.С. Степанов; МОиН РФ, ФГБОУ ВПО МГУЛ. - М. : МГУЛ, 2014. - 89 с. : ил.

9. Арыстанбаев К.Е., Жумабекова А.Б., Умаров А.А. Системы управления химико-фармацевтическими процессами. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с.

6.Контроль (вопросы, задачи, решение т т.д.)

1. Каково назначение выпрямительного устройства?
2. Описать принцип однофазного однополупериодного выпрямителя.
3. Описать принцип работы однофазного двухполупериодного выпрямителя
4. Описать принцип работы трехфазного выпрямителя.
5. Принцип работы усилительного устройства.
6. Чему равен коэффициент усиления?

1. Тема 8: Основы цифровой электроники. Цифровая обработка сигналов. Микропроцессорные системы управления

2.Цель: Освоить основные понятия основ цифровой электроники и микропроцессорной техники.

3.Тезисы лекции:

1. Логические элементы

Логические элементы (узлы) предназначены для выполнения различных логических (функциональных) операций над дискретными сигналами при двоичном способе их представления (1; 0).

Преимущественное распространение получили логические элементы потенциального типа. В них используются дискретные сигналы, нулевому значению «0» которых соответствует уровень низкого потенциала, а единичному значению «1» – уровень высокого потенциала (отрицательного или положительного).

Потенциальные логические элементы нашли исключительное применение в интегральном исполнении в виде микросхем.

Микросхема – это электронный узел, блок или устройство, изготовленное с высокой степенью миниатюризации, в которой каждый электронный компонент представляет собой не отдельно взятый транзистор, диод, резистор, конденсатор и т. д., а их неразъемное схемное соединение. Количество элементов, входящих в микросхему, может достигать тысяч и более элементов.

Применение микросхем легло в основу современного направления электроники – микроэлектроники, которая решает проблемы повышения надёжности, уменьшения массогабаритных показателей и стоимости электронной аппаратуры.

Логические биполярные микросхемы чаще всего выполняются на транзисторах типа п-р-п с напряжением питания $E_k > 0$, причём «1» – соответствует закрытое состояние транзистора, а «0» – открытое. Процесс перехода транзистора из одного состояния в другое достаточно быстрый.

Все схемы цифровой техники выполняются на логических интегральных микросхемах.

Работу логического элемента можно описать зависимостью логического значения выходного сигнала F от совокупности логических значений входных сигналов x. Такую зависимость принято представлять таблицей истинности.

Для любых логических преобразований достаточно иметь три элементарных логических элемента, выполняющих следующие операции: логическое сложение (логическое ИЛИ), логическое умножение (логическое И) и логическое отрицание (логическое НЕ).

Логический элемент ИЛИ – имеет несколько входов и один общий выход. Элемент ИЛИ осуществляет логическое сложение (дизъюнкцию)

$$F = x_1 \vee x_2, \text{ или } F = x_1 + x_2$$

где F – функция; $x_1, \dots, x_n$ – аргументы (переменные двоичные сигналы на входе).

Его условное обозначение показано на рис. 8.1, а, а электрическая схема на полупроводниковых диодах – на рис. 8.1, б.

Функция $F = 0$, когда все ее аргументы равны нулю, и $F = 1$ при одном, нескольких или всех аргументах, равных единице. Значение $F = 1$ на выходе создается передачей входного сигнала вследствие отпираания соответствующего диода. К диодам, для которых входной сигнал равен нулю, прикладывается обратное напряжение, и они находятся в закрытом состоянии.

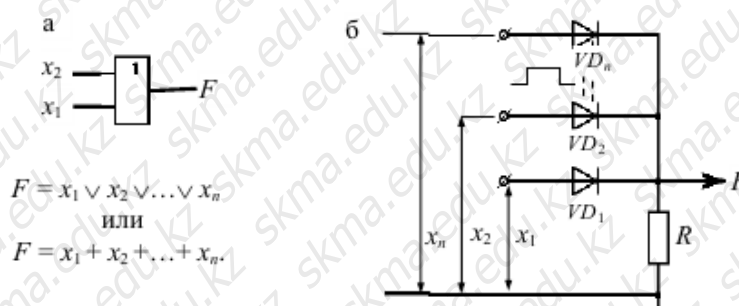


Рисунок 8.1 - Условное обозначение (а) и электрическая схема на полупроводниковых диодах (б)

Логический элемент И – имеет несколько входов и один выход. Элемент И осуществляет логическое умножение (конъюнкцию).

$$F = x_1 \wedge x_2 \text{ или } F = x_1 x_2$$

Его условное обозначение показано на рис. 8.2, а, а электрическая схема на полупроводниковых диодах – на рис. 8.2, б.

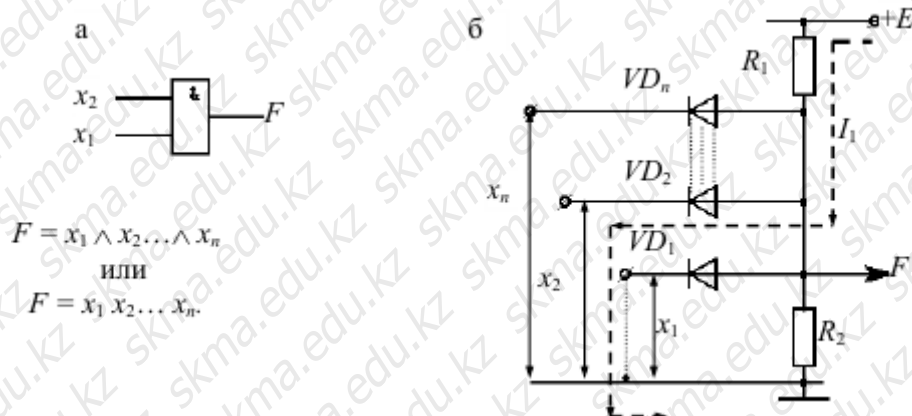


Рисунок 8.2 - Условное обозначение логического элемента И (а), электрическая схема элемента И на полупроводниковых диодах (б).

Функция $F = 0$, когда хотя бы один из ее аргументов равен нулю и $F = 1$ при всех аргументах, равных единице.

Логический элемент И является схемой совпадения: сигнал «1» на выходе появляется при совпадении сигналов «1» на всех входах.

Отличие схемы И (рис. 8.2, б) от схемы ИЛИ (рис. 8.1, б) заключается в изменении полярности включения диодов и наличии резистора R_1 , подключенного к шине «+» источника питания. При всех входных сигналах, равных единице, на катодах диодов имеется положительный потенциал относительно общей точки и все диоды закрыты. На выходе схемы создается напряжение $ER_2 / (R_1 + R_2)$, определяющее F

= 1. При нулевом значении сигнала хотя бы на одном из входов соответствующий диод будет проводить ток и шунтировать резистор R_2 , выполняющий роль нагрузки. Напряжение на выходе при этом определяется падением напряжения на открытом диоде и близко к нулю ($F = 0$). На рис. 68, б показан вариант, когда $x_1 = 0$ и ток проводит диод VD_1 . Увеличение числа входов с нулевым значением сигнала приводит только к увеличению числа проводящих диодов, а функция F остается равной нулю.

Логический элемент НЕ – имеет один вход и один выход.

Элемент НЕ выполняет операцию отрицания (инверсии), в связи с чем его часто называют логическим инвертором. Им реализуется функция

$$F = \bar{x}.$$

Сигнал $x = 0$ на входе соответствует $F = 1$ и, наоборот, при $x = 1$ $F = 0$. Логический элемент НЕ представляет собой ключевую схему на транзисторе (рис 8.3, б), его условное обозначение показано на рис. 8.3, а.

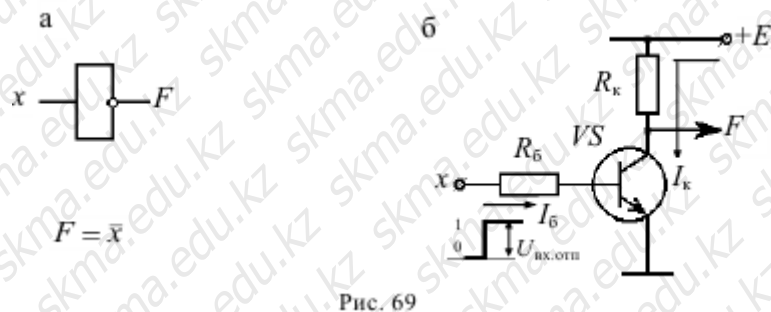


Рис. 69

Рисунок 8.3 - Условное обозначение логического элемента НЕ (а), ключевая схема на транзисторе (б). При $x = 0$ ($U_{ВХ} = 0$) транзистор закрыт, напряжение $U_K \approx E_K$, т. е. $F = 1$. При $x = 1$ ($U_{ВХ} = U_{ВХ.отп}$) транзистор открыт, напряжение $U_K = \Delta U_{КЭ.откр} \approx 0$, т. е. $F = 0$. Открытое состояние транзистора обеспечивается заданием тока базы, вводящего транзистор в режим насыщения.

На практике часто используется расширенный набор логических элементов.

К ним относятся логические элементы:

ИЛИ-НЕ (стрелка Пирса), реализующий функцию

$$F = \overline{x_1 \vee x_2};$$

И-НЕ (штрих Шеффера), реализующий функцию:

$$F = \overline{x_1 \wedge x_2};$$

Рабочие свойства логических элементов определяет ряд параметров:

- быстродействие – время задержки между сменой состояний входного и выходного сигналов;
- нагрузочная способность или коэффициент разветвления – число входов, которые можно подключить к одному выходу;
- помехоустойчивость – максимально допустимый уровень напряжения помехи, не вызывающий ложного переключения;
- степень генерирования помех – интенсивность колебаний тока при переключении элементов;
- мощность рассеяния – мощность потерь энергии в элементах.

2. Микропроцессоры

Микропроцессор (МП) – это информационное устройство, которое по программе, задаваемой управляющими сигналами, обрабатывает информацию, т. е. реализует операции: арифметические, логические, ввода, вывода и т. д.

Микропроцессор реализуется в виде одной или нескольких микросхем высокой степени интеграции и обладает меньшими функциональными возможностями, чем процессор ЭВМ.

Микропроцессор применяется совместно с микросистемными элементами:

- запоминающим устройством программы (ЗУП);
- запоминающим устройством данных (ЗУД);

– устройством ввода – вывода (УВВ).

Система, состоящая из микропроцессора и указанных устройств, называется микропроцессорной системой (микроЭВМ).

Общая функциональная схема системы с микропроцессором показана на рис. 70.

Эта система содержит следующие функциональные элементы:

ЗУП – осуществляет хранение команд, составляющих программу микропроцессора, причём информация, записанная в нём не теряется при перерывах в напряжении питания.

ЗУД – осуществляет хранение данных, предназначенных для обработки микропроцессором.

УВВ – обеспечивает ввод данных в ЗУД и их вывод к внешним приборам и устройствам.

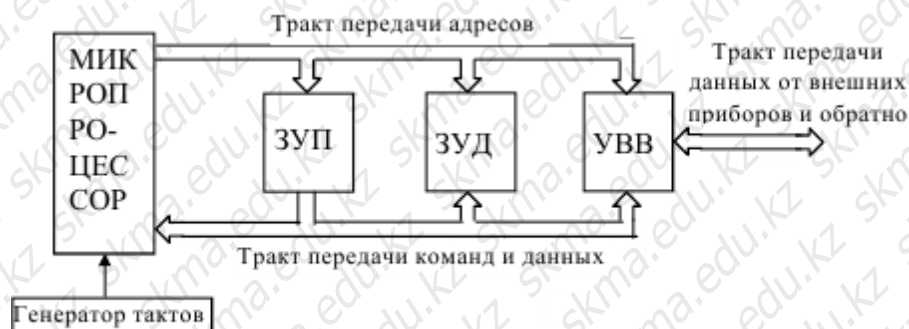


Рис. 70

Генератор тактов осуществляет функционирование всех узлов и блоков микропроцессорной системы. Устройство управления при помощи генератора тактовых сигналов обеспечивает требуемую последовательность работы элементов для выполнения команды.

Блоки микропроцессорной системы связаны трактом передачи адресов для выборки микропроцессором команд из ЗУП и данных из ЗУД или УВВ, а также трактом передачи команд из ЗУП в микропроцессор и данных из ЗУД или УВВ в микропроцессор и от него.

Оба тракта передачи информации состоят из некоторого количества проводников, каждый из которых может подключаться к соответствующим приемникам и источникам микропроцессорной системы, осуществляя многократное использование каждого проводника для создания связи между узлами блоков всей системы.

Это достигается устройством управления микропроцессора, осуществляющим разделение во времени соответствующих связей (мультиплексирование). Тракт передачи информации можно сравнить с двусторонней транспортной магистралью, предназначенной для доставки пассажиров в требуемые пункты назначения.

Система с микропроцессором оперирует информацией в двоичной системе исчисления (1–0). Каждый разряд двоичного числа называется битом. Например, число 1110 – четырёхбитовое двоичное число, а число 110 – трёхбитовое. Крайний слева бит имеет наибольший вес, крайний справа – наименьший (соответственно старший бит и младший).

Информация, которую обрабатывает микропроцессор, представляется группой битов, составляющих слово. Количество битов в слове зависит от типа микропроцессора.

Наиболее распространённые слова составляют длину 4, 8, 12, 16 бит. Количеством битов в слове определяется число разрядов приемных регистров, входящих в сверхоперативную память микропроцессора.

Биты, образующие слово, подразделяются на группы; группа из 8 бит называется байтом.

Деление слова на байты позволяет упростить представление двоичного слова, применив шестнадцатиричную форму записи (шестнадцатиричный код).

Представление двоичного слова в шестнадцатиричном коде позволяет уменьшить вероятность появления ошибок при составлении программы работы микропроцессора, а также упростить технику ее трансляции.

Микропроцессор – сложное цифровое устройство, состоящее из множества функциональных узлов.

Независимо от типа микропроцессора можно выделить отдельные функциональные узлы, составляющие основу его построения:

– счётчик команд – содержит адрес команды из ЗУП в текущий момент времени;

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 54стр. из 93

– регистр команд – осуществляет хранение в микропроцессоре команды, считанной с ЗУП на период её выполнения;

– формирователь адресов операндов – один или несколько регистров, в которых составляется адрес данных (операнда) перед обращением в ЗУД;

– АЛУ(арифметическо-логическое устройство) – осуществляет операции сложения, вычитания, сравнения, операции И, ИЛИ, над двумя числами (операндами) с выдачей результата по одному выходу;

– аккумулятор – основной регистр служит для ввода данных в микропроцессор и вывода их от него. В аккумулятор поступает операнд из ЗУД перед проведением соответствующей операции в АЛУ.

В аккумулятор вводится результат проведённой в АЛУ операции;

– регистры сверхоперативной памяти – служат для временного хранения данных перед проведением операций в АЛУ.

Если, например, требуется провести операцию сложения двух чисел, то одно число предварительно хранится в аккумуляторе, а второе – в одном из регистров сверхоперативной памяти.

У большинства микропроцессоров количество регистров сверхоперативной памяти равно 6.

К началу выполнения программы микропроцессор должен находиться в исходном состоянии – для этого подаётся сигнал «установка нуля», которым все регистры микропроцессора, в том числе счетчик команд, устанавливаются в исходное нулевое состояние.

4.Иллюстративный материал: Для проведения занятия используется следующее материально- техническое обеспечение: ноутбук, мультимедийный проектор, экран.

5.Литература:

основная:

1. Электротехника и электроника учебник / А. Н. Горбунов ; под ред. А. В. Кравцова. - Алматы :Эверо, 2012
2. Шестеркин, Алексей Николаевич Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Шестеркин; УМО вузов по унив. политехн. образованию. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 251, [1] с
3. Гельман, М. В. Основы электроники [Электронный ресурс] : исполнение настольное ручное минимодульное : метод. указания / М. В. Гельман, В. В. Шудяков. - Челябинск : Учтех-Профи, 2013. - 80 с.
4. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
5. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
6. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 2016, ч.1,2,3
7. Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и уравнениях. Практикум на Electronics Workbench. Том 1: Электротехника, том 2: Электроника, -М.: ДОДЕКА, 2002 г. 1 том -303с. и 2 том -287с.

дополнительная:

1. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией Л.А. Бессонова. - М.:Высшая школа, 2008
2. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
3. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
4. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2013. – 798 с.: ил
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2007. – 701с.: ил
6. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.: 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=553180>

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		55стр. из 93

7. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 448 с.: ил.; 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494180>

8. Электрические измерения и приборы : Учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров / Г.И. Кольниченко, П.А. Михалин, А.С. Степанов; МОиН РФ, ФГБОУ ВПО МГУЛ. - М. : МГУЛ, 2014. - 89 с. : ил.

9. Арыстанбаев К.Е., Жумабекова А.Б., Умаров А.А. Системы управления химико-фармацевтическими процессами. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с.

6.Контроль (вопросы, задачи, решение т т.д.)

1. Объяснить, что собой представляют логические элементы?
2. Объяснить функции логического элемента ИЛИ
3. Объяснить функции логического элемента И
4. Объяснить функции логического элемента И-НЕ
5. Объяснить функции логического элемента НЕ
6. Объяснить, что называется микропроцессором?
7. Что собой представляет микроЭВМ
8. Начертить и объяснить общую функциональную схему системы с микропроцессором
9. Перечислить и объяснить функциональные узлы микропроцессора.

1.Тема 9: Электрооборудование. Элементы теории магнитного поля. Трансформаторы Асинхронные двигатели.

2.Цель: изучение явления электромагнетизма и магнитные цепи, классификация магнитных цепей, проведение анализа простейших неразветвленных магнитных цепей с постоянной магнитодвижущей силой, изучение принципа действия трансформатора устройства трансформаторов, **изучение** устройства принципа работы асинхронного двигателя

3.Тезисы лекции:

Электромагнетизм и магнитные цепи. Основные величины, характеризующие магнитное поле.

Многие источники и приемники электрической энергии представляют собой сложные электромагнитные устройства, разнообразные по конструкции, устройству и назначению. Однако, в общем случае их работа основана на использовании магнитного поля, так как при движении электрических зарядов кроме электрических полей возникают и магнитные поля.

Электрические и магнитные поля – поля одной природы, так как магнитные поля создаются упорядоченно движущимися зарядами, т. е. электрическим током.

Явления, связанные с магнитным полем, могут быть описаны с помощью следующих величин:

$\vec{H}$ – напряженность магнитного поля.

$\vec{H}$ Это векторная величина, выраженная через силу, действующую на единичные объекты в магнитном поле. Напряженность магнитного поля в системе СИ измеряется в единицах – ампер на метр (А/м);

μ – магнитная проницаемость среды;

$\vec{B}$ – магнитная индукция – силовая характеристика магнитного поля, учитывающая свойства среды,

связанная с напряженностью магнитного поля формулой

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}$$

В вакууме индукция и

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H},$$

напряженность магнитного поля связаны соотношением $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная, характеризующая магнитные свойства вакуума. Единицей магнитной индукции в системе СИ является тесла (Тл). Для ферромагнитных материалов зависимость индукции от напряженности магнитного поля в общем случае нелинейная;

Φ – магнитный поток. При однородном магнитном поле

($\vec{B} = \text{const}$) и перпендикулярном направлении поля к площадке S , магнитный поток через площадку S равен $\Phi = BS$. В системе СИ единицей магнитного потока является вебер (Вб); $1\text{Вб} = 1\text{Тл} \cdot \text{м}^2$.

Свойства ферромагнитных материалов

Свойства ферромагнитных материалов, находящихся под воздействием магнитного поля, описывают

кривой намагничивания, т. е. зависимостью $B = \mu \mu_0 H$. Эта зависимость устанавливается опытным путем с помощью специальных кольцевых образцов, в которых магнитное поле однородное. Таким образом может быть тороид, изготовленный из исследуемого ферромагнитного материала, длина магнитных линий в котором много больше его поперечных размеров (тонкостенный тороид). На тороиде находится равномерно навитая обмотка с числом витков w .

При расчете напряженности и индукции магнитного поля в тонкостенном тороиде можно считать, что все магнитные силовые линии имеют одинаковую длину, равную длине средней линии.

Если предположить, что ферромагнитный материал такого тороида полностью размагничен, и тока в его обмотке нет ($B = 0$ и $H = 0$), то при плавном нарастании тока получим нелинейную зависимость $B(H)$, которая называется кривой первоначального намагничивания или основной кривой намагничивания (рис. 11.1, штриховая линия).

Начиная с некоторых значений напряженности H магнитного поля, индукция B практически перестает увеличиваться и остается равной B_{max} (рис. 11.1). Эта область называется областью технического насыщения.

Если, достигнув насыщения, начать плавно уменьшать ток в обмотке тороида, т. е. уменьшать напряженность магнитного поля, то индукция также начнет уменьшаться. Однако зависимость $B(H)$ уже не совпадет с кривой первоначального намагничивания. Изменяя направление тока в обмотке и увеличивая его значение, получим новый участок зависимости.

При значительных отрицательных значениях напряженности магнитного поля снова наступит техническое насыщение ферромагнетика. Если далее сначала уменьшать ток обратного направления, а затем увеличивать ток прямого направления до насыщения и т. д., то после нескольких циклов перемагничивания для зависимости $B(H)$ будет получена симметричная кривая (рис. 9.1, сплошная линия). Этот замкнутый цикл $B(H)$ называется предельной статической петлей гистерезиса ферромагнитного материала.

Явление гистерезиса обусловлено наличием остаточного намагничивания материала. Предельный статический цикл гистерезиса характеризуется следующими параметрами (рис. 9.1):

H_c – коэрцитивной силой, B_r – остаточной индукцией, и k – коэффициентом прямоугольности ($k = B_r / B_{\text{max}}$)

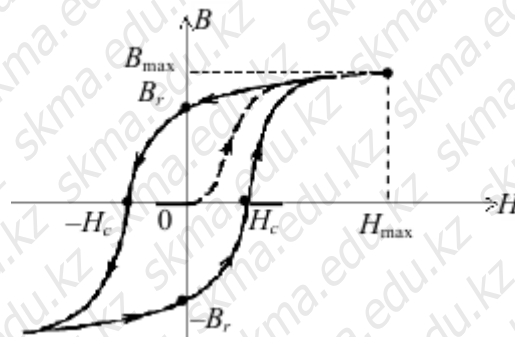


Рисунок 9.1

В технике применяют различные ферромагнитные материалы, отличающиеся формой петли гистерезиса и частотой перемагничивания; площадь петли гистерезиса пропорциональна энергии, выделяющейся в единице объема ферромагнитного вещества за один цикл перемагничивания. По этой площади определяют потери в стали ферромагнетика.

По значению параметра H_c различают две группы ферромагнитных материалов:

- магнитомягкие ($H_c < 0,05 \text{ } 0,01 \text{ А/м}$);
- магнитотвердые ($H_c > 20 \text{ } 30 \text{ кА/м}$).

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		57стр. из 93

Магнитомягкие материалы легко перемагничиваются, поэтому их используют для изготовления магнитопроводов магнитных систем. К ним относится чистое железо, листовая электротехническая сталь, железоникелевые сплавы, ферриты, и т. д.

Магнитомягкие материалы делятся на три типа:

- магнитные материалы с прямоугольной предельной статической петлей гистерезиса с коэффициентом прямоугольности, более 0,95;
- магнитные материалы с округлой предельной статической петлей гистерезиса с коэффициентом прямоугольности $0,4 < k < 0,7$;
- магнитные материалы с линейными свойствами, у которых зависимость $B(H)$ практически линейна.

Магнитотвердые материалы используются для изготовления постоянных магнитов, которые трудно размагнитить после выключения намагничивающего тока. Это – сплавы железа, никеля, алюминия, кобальта, магнитотвердые ферриты.

Магнитопроводы из ферромагнитных материалов с прямоугольным предельным статическим циклом гистерезиса применяются в устройствах автоматики. Ферромагнитные материалы с округлой петлей гистерезиса используются для изготовления магнитопроводов электрических машин и аппаратов (например трансформаторов).

Из ферромагнитных материалов с линейными свойствами изготавливают участки магнитопроводов для катушек индуктивности колебательных контуров, применяющихся в радиотехнике и средствах связи.

Способы воздействия магнитного поля

О наличии магнитного поля судят по его воздействию на помещенное в него тело. Различают индукционное и электромагнитное (силовое) действие магнитного поля.

Индукционное воздействие магнитного поля заключается в следующем: если проводящий контур поместить в переменное магнитное поле, пронизывающее этот контур, то в контуре возникает ЭДС, если же этот контур замкнут, то в нем появляется ток.

Явление возникновения тока в проводящем контуре, пронизываемом переменным магнитным потоком, называется электромагнитной индукцией. Это явление описывается законом Фарадея, который формулируется так: **при пересечении проводящего контура, изменяющимся во времени магнитным потоком, в нем возникает ЭДС индукции, пропорциональная скорости изменения магнитного потока через площадь, ограниченную этим контуром**

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Знак «-» в этой формуле означает, что индукционный ток всегда направлен так, чтобы противодействовать причине, его вызывающей (правило Ленца).

Если контур состоит из w одинаковых витков, т. е. представляет собой соленоид, ЭДС индукции будет

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt}.$$

Если применить закон Фарадея к контуру, пронизанному собственным переменным магнитным потоком, то в нем возникает ЭДС самоиндукции.

Так как напряженность магнитного поля H прямо пропорциональна намагничивающему току, то магнитный поток Φ также пропорционален току, т. е. $\Phi = LI$, где L – величина постоянная для данного контура, которая называется коэффициентом самоиндукции или индуктивностью. Тогда ЭДС самоиндукции

$$e_{L_1} = -L \frac{di}{dt}.$$

Если имеем два контура, то ЭДС, возникающая во втором контуре, пронизанном переменным магнитным потоком, создаваемым током первого контура, называется ЭДС взаимной индукции

ОҢТҮСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		58стр. из 93

$$e_{L_2} = -L_{21} \frac{di_1}{dt},$$

где L_{21} – коэффициент взаимной индукции первого и второго контура.
 Запасенная при изменении тока энергия магнитного поля будет

$$W_M = \frac{\Psi_L I}{2} = \frac{LI^2}{2},$$

$$\Psi_L = \sum_{k=1} \Phi_k$$

– потокосцепление.

На индукционном действии магнитного поля основана работа таких электромагнитных устройств, как трансформаторы, электрические генераторы, электроизмерительные приборы, электроизмерительные преобразователи.

Электромеханическое или силовое воздействие переменного магнитного поля заключается в том, что помещенное в него ферромагнитное тело или проводник с током, испытывает действие силы со стороны этого поля.

Магнитное поле, необходимое для работы электромагнитного устройства, создается в его магнитной системе с помощью возбuditеля (катушки с током или постоянного магнита). Если в это магнитное поле поместить замкнутый проводник с током, то возникает сила (сила Ампера), которая создает вращающий момент, под действием которого контур поворачивается.

На этом явлении основана работа электрических двигателей, электромагнитных реле, тяговых устройств и т. д.

В сплошных массивных проводниках (дисках, пластинах и др.), пересекаемых переменным магнитным полем, возбуждаются индукционные токи (токи Фуко или вихревые токи). Электрическое сопротивление таких проводников мало, поэтому токи Фуко могут достигать большой величины.

Взаимодействие этих токов с магнитным полем создает вращающий момент, пропорциональный величине тока. Это явление используется в счетчиках электрической энергии, а также в измерительных приборах для демпфирования (успокоения) подвижных частей (например, в гальванометрах).

Магнитные цепи

Магнитная цепь – это совокупность ферромагнитных и неферромагнитных частей электротехнических устройств, необходимых для создания магнитных полей нужных конфигураций и интенсивности.

В зависимости от принципа действия электротехнического устройства магнитное поле может возбуждаться либо постоянным магнитом, либо катушкой с током, расположенной в той или иной части магнитной цепи. Электромагнитные процессы в магнитной цепи описываются с помощью следующих понятий: магнитодвижущая сила (МДС – F), магнитный поток (Φ), магнитное напряжение (U_m) и др.

Классификация магнитных цепей

Магнитные цепи могут быть неразветвленные, в которых магнитный поток в любом сечении цепи одинаков, и разветвленные, в которых магнитные потоки в различных сечениях цепи различны.

Разветвленные магнитные цепи могут быть сложной конфигурации, например в электрических двигателях, генераторах и других устройствах.

Неразветвленные магнитные цепи бывают однородные и неоднородные (рис. 9.2).

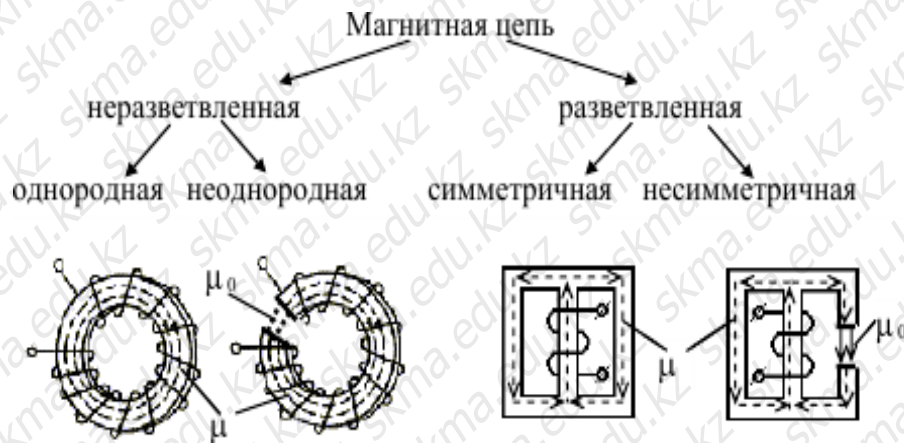


Рисунок 9.2 Неразветвленные магнитные цепи (однородные и неоднородные)

Однородная магнитная цепь образует замкнутый магнитопровод с равномерной намагничивающей обмоткой, причем каждый виток обмотки создает линии магнитной индукции, которые, замыкаясь по магнитопроводу, сливаются в общий магнитный поток.

В такой цепи магнитные линии проходят в одной среде и напряженность магнитного поля вдоль линий не меняется. Как правило, это – кольцевые магнитопроводы (тороиды), которые используют в качестве стандартных образцов, применяемых для определения магнитных характеристик материалов.

Неоднородная магнитная цепь – это такая магнитная цепь, в которой магнитопровод не сплошной, а, например, с воздушным зазором, поэтому магнитный поток и напряженность магнитного поля в ферромагнитном материале и воздушном зазоре – различны.

Разветвленные магнитные цепи могут быть симметричными и несимметричными (рис.9.2).

В симметричных магнитных цепях, как показано на рис. 9.3, магнитный поток, создаваемый током, протекающим по обмотке, расположенной на центральном стержне магнитопровода (с магнитной проницаемостью μ), симметрично распределяется по его боковым стержням и напряженность магнитных полей одинакова.

В несимметричных магнитных цепях в одном из боковых стержней магнитопровода имеется воздушный зазор с магнитной проницаемостью 0, тогда и напряженность магнитного поля ферромагнетика и воздушного зазора будут различны.

Анализ простейших неразветвленных магнитных цепей с постоянной магнитодвижущей силой

Неразветвленные магнитные цепи присущи большому числу различных устройств.

Рассмотрим однородную магнитную цепь (рис. 9.3).

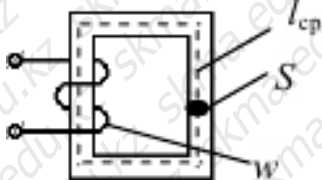


Рисунок 9.3 Однородная магнитная цепь

Здесь

l_{cp} – средняя длина магнитной силовой линии;

S – площадь сечения магнитопровода;

w – число витков обмотки.

Будем считать, что магнитный поток Φ постоянен для любого сечения магнитопровода, а напряженность H является величиной постоянной по всей длине замкнутого контура (1).

Закон полного тока для магнитной цепи получен на основании многочисленных опытов. Этот закон устанавливает, что интеграл от напряженности магнитного поля по любому замкнутому контуру равен алгебраической сумме токов, сцепленных с этим контуром:

$$\oint H dl = \sum wI,$$

где $\sum wI$ называется магнитодвижущей силой (МДС) –F.

Если при этом магнитное поле возбуждается катушкой с током I, у которой w витков, то закон полного тока формулируется следующим образом: магнитодвижущая сила F равна интегралу от напряженности магнитного поля по любому замкнутому контуру, умноженной на длины соответствующих участков магнитной цепи –l

$$\oint H dl = wI,$$

где $wI = F$ – магнитодвижущая сила (ампер-витки).

Магнитную цепь большинства электротехнических устройств можно представить состоящей из совокупности участков, в пределах каждого из которых можно считать магнитное поле однородным, т. е. с постоянной H, равной напряженности магнитного поля вдоль средней линии участка l_{ср}.

Для однородной цепи закон полного тока выражается формулой

$$H l_{ср} = F.$$

Так же, как и в электрической цепи, где задачей расчета является нахождение электрического тока, в магнитной цепи необходимо найти магнитный поток.

Порядок расчета следующий:

- 1) из закона полного тока, зная среднюю длину магнитной силовой линии, а также намагничивающий

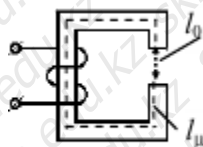
$$H = \frac{F}{l_{ср}};$$

ток обмотки и ее число витков, находим напряженность магнитного поля

- 2) зная H и материал, из которого изготовлен магнитопровод, по кривой намагничивания материала (см. рис. 71), находим магнитную индукцию B;

- 3) зная площадь сечения магнитопровода S, находим магнитный поток $\Phi = B S$.

Рассмотрим неоднородную магнитную цепь (рис.9.4).



На рисунке представлена магнитная цепь с воздушным зазором, в которой l_0 – длина магнитной силовой линии воздушного зазора, а l_μ – длина средней магнитной силовой линии ферромагнетика.

Рисунок 9.4 – неоднородная магнитная цепь

Закон полного тока для такой цепи

$$H_\mu l_\mu + H_0 l_0 = F = wI,$$

где $H_\mu l_\mu$ – называется магнитным напряжением участка цепи (в данном случае ферромагнетика); а $H_0 l_0$ – магнитным напряжением воздушного зазора.

Тогда можно написать

$$F = U_\mu + U_0.$$

Приведенное выражение закона полного тока аналогично вы-

ражению II закона Кирхгофа для электрической цепи

$$E = I(R_{\mu} + R_0) = U_{\mu} + U_0,$$

где R_{μ} и R_0 – магнитные сопротивления ферромагнетика и воздушного зазора соответственно.

Из курса физики известна теорема Гаусса: поток вектора магнитной индукции B через любую замкнутую поверхность равен нулю.

Значит, если обозначить Φ_i – магнитный поток, создаваемый током i , то

$$\sum \Phi_i = 0.$$

Это выражение для магнитной цепи аналогично выражению

I закона Кирхгофа для электрической цепи

$$\sum I_k = 0.$$

Можно получить выражение закона Ома для магнитной цепи.

По определению $\Phi = B S$, подставив в эту формулу значение магнитной индукции, получим следующее выражение закона Ома:

$$\Phi = \mu_0 \mu H S.$$

В последнем выражении величина

$$\frac{\mu_0 \mu S}{l}$$

является магнитной проводимостью, т. е. величиной обратной магнитному сопротивлению. По аналогии с электрической цепью, где электрическое сопротивление равно:

$$R = \frac{l}{S} = \frac{\rho l}{S},$$

можно написать, что магнитное сопротивление ферромагнетика равно:

$$R_{\mu} = \frac{l}{S \mu \mu_0},$$

где μ – магнитная проницаемость ферромагнетика.

Аналогично и выражение для магнитного сопротивления воздушного зазора

$$R_{\mu_0} = \frac{l_0}{S_0 \mu_0},$$

где μ_0 – магнитная постоянная в воздушном зазоре.

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы:

- магнитное сопротивление всей цепи равно сумме магнитных сопротивлений ее последовательно соединенных участков;
- при постоянстве намагничивающего тока в обмотке с увеличением воздушного зазора, магнитный поток уменьшается;
- для обеспечения постоянства магнитного потока с увеличением воздушного зазора ток в обмотке необходимо увеличивать;
- для оптимального выбора материала магнитопровода надо учитывать влияние воздушного зазора.

Учитывая все вышесказанное, можно утверждать, что для анализа неразветвленных магнитных цепей с постоянной магнитодвижущей силой можно пользоваться всеми графическими и аналитическими методами расчета линейных электрических цепей постоянного тока.

Можно составить следующую таблицу соответствия магнитной и электрической цепей.

Магнитная цепь	Электрическая цепь
$F = wI$ – магнитодвижущая сила (МДС)	E – электродвижущая сила (ЭДС)
Φ – магнитный поток	I – электрический ток
$R_m = \frac{1}{\mu\mu_0 S} l$ – магнитное сопротивление	$R = \rho \frac{l}{S}$ – электрическое сопротивление
$U_m = Hl = R_m \Phi$ – магнитное напряжение	$U = RI$ – электрическое напряжение
$\sum \Phi_i = 0$ – I закон Кирхгофа	$\sum I_k = 0$ – I закон Кирхгофа
$\sum U_m = \sum F_k$ – II закон Кирхгофа	$\sum U = \sum E_k$ – II закон Кирхгофа
$\Phi = \frac{F}{R_m}$ – закон Ома	$I = \frac{E}{R}$ – закон Ома
$\lambda = \frac{1}{R_m}$ – магнитная проводимость	$g = \frac{1}{R}$ – электрическая проводимость

Трансформаторы

Назначение и области применения

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две или большее число индуктивно-связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную) систему переменного тока. Трансформаторы широко используются в промышленности и быту для различных целей.

1. Для передачи и распределения электрической энергии.

Обычно на электростанциях генераторы переменного тока вырабатывают электрическую энергию при напряжении 6-24 кВ, а передавать электроэнергию на дальние расстояния выгодно при значительно больших напряжениях (110, 220, 330, 400, 500, и 750 кВ). Поэтому на каждой электростанции устанавливают трансформаторы, осуществляющие повышение напряжения.

Распределение электрической энергии между промышленными предприятиями, населёнными пунктами, в городах и сельских местностях, а также внутри промышленных предприятий производится по воздушным и кабельным линиям, при напряжении 220, 110, 35, 20, 10 и 6 кВ. Следовательно, во всех распределительных узлах должны быть установлены трансформаторы, понижающие напряжение до величины 220, 380 и 660 В (рис. 11.5)



Рисунок

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 63стр. из 93

2. Для обеспечения нужной схемы включения вентилях в преобразовательных устройствах и согласования напряжения на выходе и входе преобразователя. Трансформаторы, применяемые для этих целей, называются **преобразовательными**.

3. Для различных технологических целей: сварки (**сварочные** трансформаторы), питания электротермических установок (электродные трансформаторы) и др.

4. Для питания различных цепей радиоаппаратуры, электронной аппаратуры, устройств связи и автоматики, электробытовых приборов, для разделения электрических цепей различных элементов указанных устройств, для согласования напряжения и пр.

5. Для включения электроизмерительных приборов и некоторых аппаратов (реле и др.) в электрические цепи высокого напряжения или же в цепи, по которым проходят большие токи, с целью расширения пределов измерения и обеспечения электробезопасности. Трансформаторы, применяемые для этих целей, называются **измерительными**.

Классификацию трансформаторов можно произвести по нескольким признакам:

1. По **назначению** трансформаторы разделяют на **силовые общего и специального применения**. Силовые трансформаторы общего применения используются в линиях передачи и распределения электроэнергии. Для режима их работы характерна частота переменного тока 50 Гц и очень малые отклонения первичного и вторичного напряжений от номинальных значений. К трансформаторам специального назначения относятся силовые специальные (печные, выпрямительные, сварочные, радиотрансформаторы), измерительные и испытательные трансформаторы, трансформаторы для преобразования числа фаз, формы кривой ЭДС, частоты и т.д.

2. По виду охлаждения – с воздушным (сухие трансформаторы) и масляным (масляные трансформаторы) охлаждением.

3. По числу фаз на первичной стороне – однофазные и трёхфазные.

4. По форме магнитопровода – стержневые, броневого, тороидальные.

5. По числу обмоток на фазу – двухобмоточные, трёхобмоточные, многообмоточные (более трёх обмоток).

6. По конструкции обмоток – с concentрическими и чередующимися (дисковыми) обмотками.

Принцип действия трансформатора

Электромагнитная схема однофазного двухобмоточного трансформатора состоит из двух обмоток (рис. 9.6), размещённых на замкнутом магнитопроводе, который выполнен из ферромагнитного материала. Применение ферромагнитного магнитопровода позволяет усилить электромагнитную связь между обмотками, т.е. уменьшить магнитное сопротивление контура, по которому проходит магнитный поток трансформатора. Первичную обмотку 1 подключают к источнику переменного тока – электрической сети с напряжением сети U_1 . К вторичной обмотке 2 присоединяют сопротивление нагрузки Z_H .

Обмотку более высокого напряжения называют обмоткой высшего напряжения (ВН), а низкого напряжения – обмоткой низшего напряжения (НН). Начала и концы обмотки ВН обозначают буквами А и Х; обмотки НН – буквами а и х.

При подключении к сети в первичной обмотке возникает переменный ток i_1 , который создаёт переменный магнитный поток Φ , замыкающийся по магнитопроводу. Поток Φ индуцирует в обеих обмотках переменные ЭДС – e_1 и e_2 пропорциональные, согласно закону Максвелла, числам витков w_1 и w_2 соответствующей обмотки и скорости изменения потока $d\Phi/dt$.

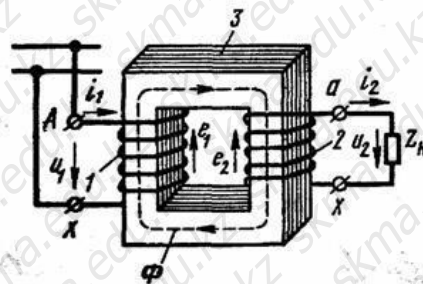


Рисунок 9.6

Таким образом, мгновенные значения ЭДС, индуцированные в каждой обмотке.

ÖNTÜSTİK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 64стр. из 93

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Следовательно, отношение мгновенных и действующих ЭДС в обмотках определяется выражением

$$E_1 / E_2 = e_1 / e_2 = w_1 / w_2. \quad (9.1)$$

Если пренебречь падениями напряжения в обмотках трансформатора, которые обычно не превышают 3-5 % от номинальных значений U_1 и U_2 , и считать $E_1 \approx U_1$ и $E_2 \approx U_2$, то получим

$$U_1 / U_2 \approx w_1 / w_2. \quad (9.2)$$

Следовательно, подбирая соответствующим образом числа витков обмоток, при заданном напряжении U_1 можно получить желаемое напряжение U_2 . Если необходимо повысить вторичное напряжение, то число витков w_2 берут больше числа w_1 ; такой трансформатор называют **повышающим**. Если требуется уменьшить напряжение U_2 , то число витков w_2 берут меньшим w_1 ; такой трансформатор называют **понижающим**.

Отношение ЭДС $E_{вн}$ обмотки высшего напряжения к ЭДС $E_{нн}$ обмотки низшего напряжения (или отношение их чисел витков) называют **коэффициентом трансформации**

$$n = \frac{E_{вн}}{E_{нн}} = \frac{w_{вн}}{w_{нн}}. \quad (9.3)$$

Коэффициент n всегда больше единицы.

В системах передачи и распределения энергии в ряде случаев применяют трёхобмоточные трансформаторы, а в устройствах радиоэлектроники и автоматики – многообмоточные трансформаторы. В таких трансформаторах на магнитопроводе размещают три или большее число изолированных друг от друга обмоток, что даёт возможность при питании одной из обмоток получать два или большее число различных напряжений (U_2 , U_3 , U_4 и т.д.) для электроснабжения двух или большего числа групп потребителей. В трёхобмоточных силовых трансформаторах различают обмотки высшего, низшего и среднего (СН) напряжения.

В трансформаторе преобразуются только напряжения и токи. Мощность же остаётся приблизительно постоянной (она несколько уменьшается из-за внутренних потерь энергии в трансформаторе). Следовательно, полная мощность потребляемая из сети

$$S_1 = U_1 I_1,$$

практически полностью выделяется на нагрузке

$$S_1 = U_1 I_1 \approx S_2 = U_2 I_2.$$

Отсюда следуют соотношения между токами и напряжениями на первичной и вторичной обмотках трансформатора.

$$U_1 / U_2 = I_2 / I_1 = w_1 / w_2 = n. \quad (9.4)$$

При уменьшении вторичного напряжения в n раз по сравнению с первичным, ток i_2 во вторичной обмотке соответственно увеличится в n раз.

Трансформатор может работать только в цепях переменного тока. Если первичную обмотку трансформатора подключить к источнику постоянного тока, то в его магнитопроводе образуется магнитный поток, постоянный во времени по величине и направлению. Поэтому в первичной и вторичной обмотках в установившемся режиме не индуцируются ЭДС, а, следовательно, не передаётся электрическая энергия из первичной цепи во вторичную. Такой режим опасен для трансформатора, так как из-за отсутствия ЭДС E_1 в первичной обмотке ток $I_1 = U_1 / R_1$ весьма большой.

Важным свойством трансформатора, используемым в устройствах автоматики и радиоэлектроники, является способность его преобразовывать сопротивление нагрузки. Если к источнику переменного тока подключить нагрузку с сопротивлением R через трансформатор с коэффициентом трансформации n , то для цепи источника

$$R' = \frac{P_1}{I_1^2} \approx \frac{P_2}{I_1^2} \approx \frac{I_2^2 R}{I_1^2} \approx n^2 R, \quad (9.5)$$

где: P_1 – мощность, потребляемая трансформатором от источника переменного тока, Вт;

$P_2 = I_2^2 R \approx P_1$ – мощность, потребляемая нагрузкой с сопротивлением R от трансформатора.

Таким образом, трансформатор изменяет значение сопротивления нагрузки R в n^2 раз. Это свойство широко используется при разработке электрических схем для согласования сопротивлений нагрузки с внутренним сопротивлением источников электрической энергии.

Устройство трансформаторов

Магнитная система. В зависимости от конфигурации магнитной системы, трансформаторы подразделяют на стержневые (рис. 9.7, а), броневого (рис. 9.7, б) и тороидальные (рис. 9.7, в).

Стержнем называют часть магнитопровода, на которой размещают обмотки (рис. 9.7; 2). Часть магнитопровода, на которой обмотки отсутствуют, называют ярмом (рис. 9.7; 1). Трансформаторы большой и средней мощности обычно выполняют стержневыми. Они имеют лучшие условия охлаждения и меньшую массу, чем броневые.

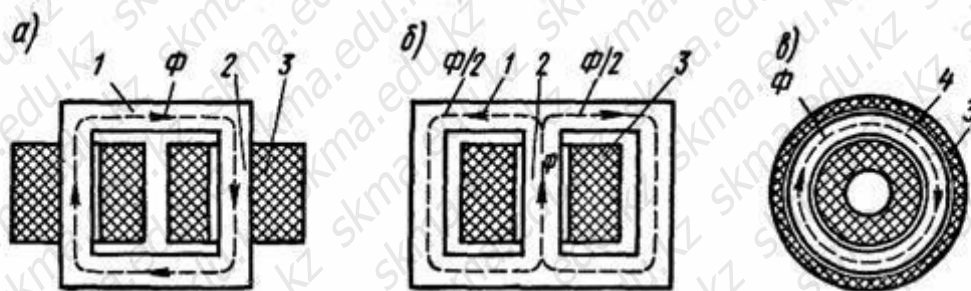


Рисунок 9.7

Для уменьшения потерь от вихревых токов, магнитопроводы трансформаторов (рис. 9.7) собирают из изолированных листов электротехнической стали толщиной 0,28-0,5 мм при частоте 50 Гц.

Трансформаторы малой мощности и микротрансформаторы часто выполняют броневыми, так как они имеют более низкую стоимость по сравнению со стержневыми трансформаторами из-за меньшего числа катушек и упрощения сборки и изготовления. Применяют также и маломощные трансформаторы стержневого типа с одной или двумя катушками (рис. 9.7; 3). Преимущество тороидальных трансформаторов – отсутствие в магнитной системе (рис. 9.7; 4) воздушных зазоров, что значительно уменьшает магнитное сопротивление магнитопровода. В трансформаторах малой мощности магнитопровод собирают из штамповых пластин П-, Ш- и О-образной формы (рис. 9.8, а, б, в).

Широкое применение получили магнитопроводы, навитые из узкой ленты электротехнической стали или из специальных железоникелевых сплавов типа пермаллой. Их можно использовать для стержневых, броневых, тороидальных и трёхфазных трансформаторов (рис. 9.8 г, д, е, ж).

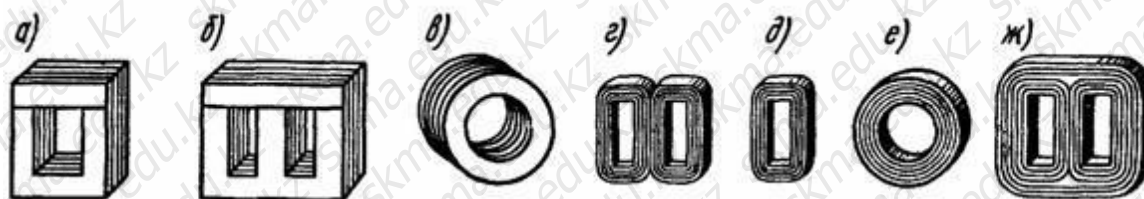


Рисунок 9.8

Монолитность конструкции ленточного магнитопровода обеспечивается путём применения клеящих лаков и эмалей.

Для трансформаторов, работающих при частоте 400 и 500 Гц, магнитопроводы выполняют из специальных сортов электротехнической стали с малыми удельными потерями при повышенной частоте, а также из железоникелевых сплавов типа пермаллой, которые имеют большие начальную и максимальную магнитные проницаемости и позволяют получить магнитные поля с большой индукцией при сравнительно слабой напряжённости. Толщина листов составляет 0,2; 0,15; 0,1 и 0,08 мм. При частотах более 10-20 кГц магнитопроводы прессуют из порошковых материалов (магнитодиэлектриков и ферритов).

Обмотки. В современных трансформаторах первичную (рис. 9.9; 1) и вторичную (рис. 9.9; 3, 4, 5) обмотки стремятся расположить для лучшей магнитной связи как можно ближе одну к другой. При этом на каждом стержне магнитопровода (рис. 9.9; 2) размещают обе обмотки либо концентрически – одну поверх

другой (рис. 9.9 а), либо в виде нескольких дисковых катушек, чередующиеся по высоте стержня (рис. 9.9, б). В первом случае обмотки называют концентрическими, во втором – чередующимися. В силовых трансформаторах обычно применяют концентрические обмотки, причём ближе к стержням располагают обмотку НН, требующей меньшей изоляции относительно остова трансформатора, а снаружи – обмотку ВН.

В трансформаторах малой мощности и микротрансформаторах используют однослойные и многослойные обмотки из круглого провода с эмалевой или хлопчатобумажной изоляцией, которые наматывают на гильзу или на каркас из электрокартона (рис. 9.10; а); между слоями проводов прокладывают изоляцию из кабельной бумаги или ткани.

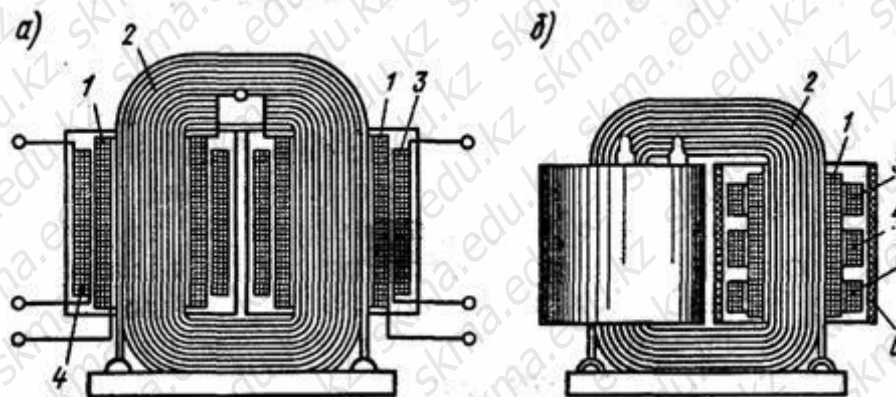


Рисунок 9.10

В микротрансформаторах часто выполняют из алюминиевой фольги толщиной 30-20 мкм. Изоляцией здесь служит окисная плёнка фольги, которая обладает достаточной теплоёмкостью, теплопроводностью и может выдерживать рабочее напряжение до 100 В.

Идеализированный трансформатор

Для выяснения сущности физических процессов, происходящих в трансформаторе, рассмотрим идеализированный трансформатор, у которого магнитный поток Φ полностью замыкается по стальному магнитопроводу и сцеплен с обеими обмотками, а потери в стали отсутствуют. К первичной обмотке

трансформатора (рис. 1.6, а) подводится синусоидальное напряжение $u_1 = U_m \sin \omega t$, благодаря чему по этой обмотке проходит переменный ток, создающий переменный магнитный поток. Переменный поток наводит в обмотках трансформатора ЭДС

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (9.6)$$

В режиме холостого хода цепь вторичной обмотки разомкнута и ток $i_2=0$. При этом для контура первичной обмотки трансформатора

$$u_1 = i_1 R_1 + w_1 \frac{d\Phi}{dt},$$

где: u_1 – мгновенное значение приложенного к первичной обмотке напряжения.

Уравнение (9.6) справедливо, если принять, что не только $i_2=0$, но и отсутствуют потери в стали магнитопровода (от вихревых токов и гистерезиса); иначе эти потери должны были бы учитываться в виде потерь от тока, проходящего по замкнутой накоротко вторичной обмотке с большим активным сопротивлением.

Вводя в формулу (9.6) значение ЭДС $e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt}$, индуцируемой в первичной обмотке переменным магнитным потоком, и пренебрегая падением напряжения в активном сопротивлении первичной обмотки $i_1 R_1$ из-за его малости, получаем

$$u_1 + e_1 = 0, \quad (9.7)$$

т.е. напряжение, приложенной к первичной обмотке, практически полностью уравнивается индуцированной в этой обмотке ЭДС.

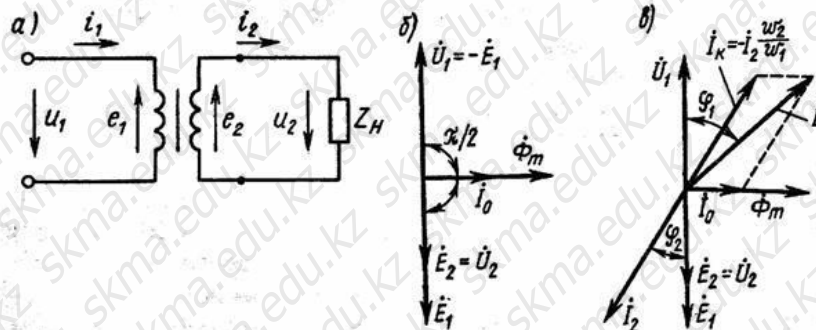


Рисунок 9.11

Если питающее напряжение u_1 – изменяется по синусоидальному закону $u_1 = U_m \sin \omega t$, то магнитный поток также изменяется синусоидально, отставая по фазе от приложенного напряжения на угол 90° ,

$$\Phi = \int \frac{u_1}{w_1} dt = \frac{U_{1m}}{w_1} \int \sin \omega t dt = -\Phi_m \cos \omega t + C = \Phi_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

Можно показать, что постоянная интегрирования в установившемся режиме $C=0$.

Связь между ЭДС и магнитным потоком определяется из уравнения

$$e_1 = -w_1 \frac{d}{dt} \left[\Phi_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \right] = -w_1 \omega \Phi_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = 2\pi f w_1 \Phi_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right),$$

и выражается для амплитудного значения ЭДС формулой $E_{1m} = 2\pi f w_1 \Phi_m$ или для действующего значения формулой

$$E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m. \quad (9.8)$$

Учитывая синусоидальный характер изменения напряжения u_1 и ЭДС e_1 , уравнение (9.7) можно представить в комплексной форме:

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 = 0. \quad (9.9)$$

Уравнение (9.9) справедливо для идеализированного трансформатора, в котором пренебрежимо мало активное сопротивление обмоток и отсутствуют потери в стали магнитопровода. Однако, несмотря на принятые допущения, оно правильно определяет сущность качественных процессов, происходящих в трансформаторе, и поэтому является одним из фундаментальных в теории электрических машин. Количественные ошибки, вызванные идеализацией трансформатора, можно всегда довольно легко подсчитать.

Предположив, что насыщение в стали трансформатора отсутствует и весь магнитный поток замыкается по стальному магнитопроводу, можно считать ток первичной обмотки идеализированного трансформатора прямо пропорциональным магнитному потоку. В связи с этим, на векторной диаграмме идеализированного трансформатора в режиме холостого хода (рис 9.11, б) ток холостого хода $\dot{I}_{10}$ изображён

вектором, совпадающий по направлению с вектором магнитного потока $\dot{\Phi}_m$. На этой же диаграмме векторы ЭДС $\dot{E}_1$ и напряжения $\dot{U}_1$ показаны в противофазе в соответствии с уравнением (9.9), а вектор магнитного потока $\dot{\Phi}_m$ опережает вектор ЭДС на 90° . Поскольку магнитный поток не имеет действующего значения, на диаграмме показано его амплитудное значение. Там же показан вектор ЭДС $\dot{E}_2$ совпадающий по

ОНТҰСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		68стр. из 93

фазе с вектором $\dot{E}_1$, так как ЭДС $\dot{E}_2$ индуцируется тем же самым магнитным потоком, что и $\dot{E}_1$, и может быть определена по формуле

$$\dot{E}_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m. \quad (9.10)$$

При работе под нагрузкой для первичной обмотки идеализированного трансформатора можно написать уравнение

$$u_1 = w_1 \frac{d\Phi_1}{dt} + w_1 \frac{d\Phi_2}{dt} = w_1 \frac{d(\Phi_1 + \Phi_2)}{dt},$$

где: Φ_1 и Φ_2 – потоки, создаваемые токами первичной и вторичной обмоток.

$$e_1 = -w_1 \frac{d(\Phi_1 + \Phi_2)}{dt}$$

Обозначая, как и при холостом ходе, , получаем

$$u_1 + e_1 = 0,$$

т.е. такое же соотношение, что и при холостом ходе. Очевидно, если первичное напряжение при нагрузке идеализированного трансформатора остаётся неизменным, то величина ЭДС e_1 такая же, как и при холостом ходе. Следовательно, результирующий поток при нагрузке равен потоку при холостом ходе:

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_0,$$

или в комплексной форме

$$\dot{\Phi}_{m1} + \dot{\Phi}_{m2} = \dot{\Phi}_{m0}. \quad (9.11)$$

Неизменность магнитного потока при переходе от режима холостого хода к режиму нагрузки является важнейшим свойством трансформатора. Из этого свойства следует закон равновесия магнитодвижущих сил (МДС) в трансформаторе:

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{F}_{10}, \quad (9.11)$$

где: F_1 и F_2 – МДС, создаваемые первичной и вторичной обмотками трансформатора при нагрузке; F_{10} – МДС, создаваемая первичной обмоткой при холостом ходе.

При переменном токе оперируют с амплитудами МДС; при этом из (9.12) следует, что

$$\sqrt{2} \dot{I}_1 w_1 + \sqrt{2} \dot{I}_2 w_2 = \sqrt{2} \dot{I}_{10} w_1 \quad (9.12)$$

или

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{10} + \left[-\dot{I}_2 \left(\frac{w_2}{w_1} \right) \right]. \quad (9.13)$$

Для наглядности уравнение (1.13) можно представить иначе:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{10} + \dot{I}'_2, \quad (9.14)$$

где: $\dot{I}'_2 = -\dot{I}_2 (w_2 / w_1)$ - нагрузочная составляющая тока первичной обмотки (приведенный ток нагрузки).

Таким образом, МДС, создаваемая током $\dot{I}'_2$ равна по величине и противоположна по фазе МДС вторичной обмотки, т.е. компенсирует МДС вторичной обмотки. Это обуславливает неизменность магнитного потока трансформатора. Векторная диаграмма идеализированного трансформатора, работающего с нагрузкой, показана на (рис. 1.6, в). Мощность нагрузочной составляющей первичного тока равна мощности, отдаваемой трансформатором нагрузке, так как

$$\dot{I}'_2 \dot{E}_1 \cos \varphi_2 = \dot{I}_2 \left(\frac{w_2}{w_1} \right) \dot{E}_2 \left(\frac{w_1}{w_2} \right) \cos \varphi_2 = \dot{I}_2 \dot{E}_2 \cos \varphi_2.$$

Следовательно, нагрузочная составляющая тока $\dot{I}_1$ не только уравнивает МДС вторичной обмотки, но и обеспечивает поступление в трансформатор из сети мощности, отдаваемой приёмнику электрической энергии, подключённому к вторичной обмотке.

Основные закономерности работы идеализированного трансформатора справедливы и для реальных трансформаторов.

Намагничивающий ток и ток холостого хода

Намагничивающий ток. Величина I и форма тока холостого хода определяются магнитным потоком трансформатора и свойствами его магнитной системы. Выше показано, что магнитный поток изменяется во

времени синусоидально: $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$, а его амплитуда определяется ЭДС:

$$\Phi_m = \frac{E_1}{4,44 f w_1} \quad (9.15)$$

Так как при холостом ходе ЭДС практически равна напряжению, то значение магнитного потока определяется напряжением первичной обмотки, её числом витков и частотой.

Свойства магнитной системы трансформатора описываются в основном магнитной характеристикой, представляющей собой графическое изображение зависимости магнитного потока Φ от МДС трансформатора F или намагничивающего тока I_η , пропорционального МДС.

Активная составляющая тока холостого хода. Намагничивающий ток I_η является главной составляющей тока холостого хода трансформатора I_{10} . Этот ток является реактивным, т.е. $I_\eta = I_{10p}$. Однако реальный трансформатор в режиме холостого хода потребляет от источника переменного тока некоторую активную мощность, так как при переменном магнитном потоке в стальном магнитопроводе возникают потери энергии от гистерезиса и вихревых токов (магнитные потери ΔP_c). Поэтому ток холостого хода I_{10}

должен иметь еще и активную составляющую $I_{10a} = \Delta P_c / U_1$, которая обеспечивает поступление в первичную обмотку мощности, компенсирующей магнитные потери (электрическими потерями в первичной обмотке в этом режиме можно пренебречь из-за малости тока холостого хода). Следовательно, ток холостого

$$I_{10} = I_{10p} + I_{10a} \quad \text{или} \quad I_{10} = \sqrt{I_{10p}^2 + I_{10a}^2} \quad (9.16)$$

Обычно при выполнении магнитопровода трансформатора из листовой электротехнической стали толщиной 0,28-0,50 мм и частоте 50 Гц активная составляющая тока I_{10a} не превышает 10% от тока I_{10} , поэтому она оказывает весьма малое влияние на значение ток холостого хода (изменяет его не более чем на 1%). Форма кривой тока холостого хода определяется в основном кривой намагничивающего тока.

Комплексные уравнения и векторная диаграмма реального трансформатора

В реальном трансформаторе помимо основного магнитного потока Φ , замыкающегося по магнитопроводу и сцепленного со всеми обмотками трансформатора, имеются также потоки рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ и $\Phi_{\sigma 2}$ (рис 11.7), которые сцеплены только с одной из обмоток. Потоки рассеяния не участвуют в передаче энергии, но создают в каждой из обмоток соответствующие ЭДС самоиндукции

$$E_{\sigma 1} = 4,44 f w_1 \Phi_{\sigma 1m}; \quad E_{\sigma 2} = 4,44 f w_2 \Phi_{\sigma 2m}.$$

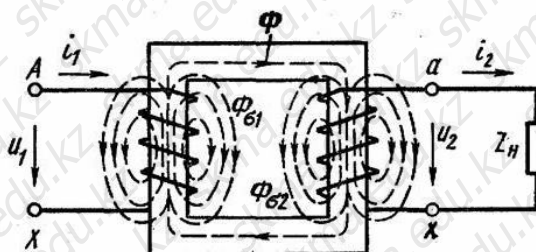


Рисунок 9.12

С учетом ЭДС самоиндукции и падений напряжения в активных сопротивлениях обмоток можно составить комплексные уравнения для первичной и вторичной обмоток трансформатора. С учетом (9.13) получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} &= \dot{I}_1 R_1; \\ \dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2} &= \dot{I}_2 R_2 + \dot{I}_2 Z_N; \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_{10} + (-\dot{I}_2 w_2 / w_1) \end{aligned} \right\} \quad (9.18)$$

где: Z_N - сопротивление нагрузки, подключенной к трансформатору.

Поскольку потоки рассеяния полностью или частично замыкаются по воздуху, они пропорциональны МДС соответствующих обмоток или соответствующим токам:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = \dot{I}_1 X_1; \quad \dot{E}_{\sigma 2} = \dot{I}_2 X_2. \quad (9.18)$$

Величины X_1 и X_2 называют индуктивными сопротивлениями обмоток трансформатора, обусловленными потоками рассеяния. Так как векторы ЭДС $\dot{E}_{\sigma 1}$ и $\dot{E}_{\sigma 2}$ отстают от соответствующих потоков и токов на 90° , то

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 X_1; \quad \dot{E}_{\sigma 2} = -j\dot{I}_2 X_2. \quad (9.19)$$

При этом комплексные уравнения трансформатора примут вид

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 = \dot{I}_1 R_1 + j\dot{I}_1 X_1 = \dot{I}_1 Z_1; \quad (9.20)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 R_2 + j\dot{I}_2 X_2 + \dot{I}_2 Z_N = \dot{I}_2 Z_2 + \dot{I}_2 Z_N; \quad (9.21)$$

$$\dot{I}_1 - (-\dot{I}_2 w_2 / w_1) = \dot{I}_{10}. \quad (9.22)$$

Замена ЭДС $\dot{E}_{\sigma 1}$ и $\dot{E}_{\sigma 2}$ падениями напряжений $j\dot{I}_1 X_1$ и $j\dot{I}_2 X_2$ наглядно показывает роль потоков рассеяния: они создают индуктивные падения напряжения в обмотках, не участвуя в передаче энергии из одной обмотки в другую. Проще становится и построение векторной диаграммы, соответствующей системе уравнений (9.20) – (9.22), в которой целесообразно также заменить падение напряжения в нагрузке

величиной $\dot{U}_2 = \dot{I}_2 Z_N$, т.е. вторичным напряжением трансформатора, определяемым из (9.21):

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 R_2 - j\dot{I}_2 X_2. \quad (9.23)$$

Векторную диаграмму вторичной обмотки трансформатора (рис. 1.8, а) строят согласно уравнению (1.23). Характер диаграммы определяется током нагрузки $\dot{I}_2$, который принимается заданным по величине и фазе. Иными словами, задаваясь векторами вторичного тока $\dot{I}_2$ и напряжения $\dot{U}_2$, можно построить вектор ЭДС

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 R_2 + j\dot{I}_2 X_2, \quad (9.24)$$

если известны параметры трансформатора. Вектор $\dot{I}_2 R_2$ параллелен вектору тока $\dot{I}_2$, а вектор $j\dot{I}_2 X_2$ опережает вектор тока $\dot{I}_2$ на угол 90° . На диаграмме изображен и вектор магнитного потока Φ_m , который опережает вектор ЭДС $\dot{E}_2$ на 90° . Векторную диаграмму первичной обмотки трансформатора (рис. 9.13, б) строят в соответствии с уравнением

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 R_1 + j\dot{I}_1 X_1. \quad (9.24)$$

Построение диаграммы начинают с вектора потока Φ_m , который создается током холостого хода $\dot{I}_{10}$.

Этот ток опережает вектор потока Φ_m на угол $\delta = 5 \div 10^\circ$. Вектор ЭДС $\dot{E}_1$, как и $\dot{E}_2$, отстает от потока Φ_m на угол 90° .

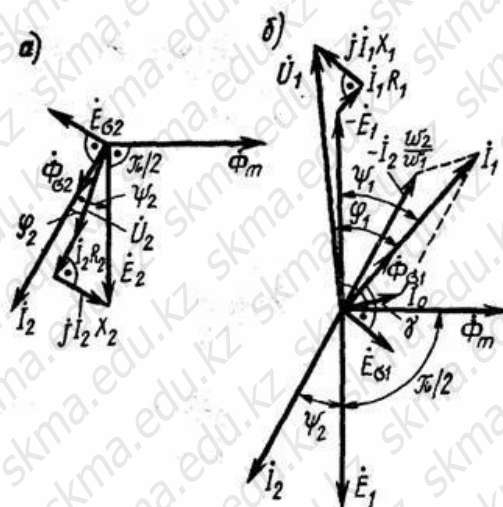


Рисунок 9.13

Ток в первичной обмотке трансформатора $\dot{I}_1 = \dot{I}_{10} + (-\dot{I}_2 w_2 / w_1)$, поэтому на рис. 9.13,б нужно показать и вектор тока $\dot{I}_2$, сдвинутый на угол ψ_2 относительно вектора $\dot{E}_1$ (векторы $\dot{E}_1$ и $\dot{E}_2$ совпадают по направлению). Зная $\dot{I}_2$, можно изобразить вектор $-\dot{I}_2 w_2 / w_1$ и получить вектор $\dot{I}_1$ как сумму векторов $\dot{I}_{10}$ и $-\dot{I}_2 w_2 / w_1$.

Найдя вектор тока $\dot{I}_1$, можно определить значения векторов $\dot{I}_1 R_1$ и $j \dot{I}_1 X_1$ и построить искомый вектор напряжения $\dot{U}_1$ как сумму трех составляющих: векторов $-\dot{E}_1$ и падений напряжений в обмотках $\dot{I}_1 R_1$ и $j \dot{I}_1 X_1$.

Схема замещения трансформатора

Составление схемы замещения. Систему уравнений (9.20) – (9.22), описывающую электромагнитные процессы в трансформаторе, можно свести к одному уравнению, если учесть, что $\dot{E}_1 = n \dot{E}_2$, и положить

$$\dot{E}_1 = \dot{I}_{10} \underline{Z}_0 = \dot{I}_{10} (R_0 + jX_0) \quad (9.26)$$

При этом параметры R_0 и X_0 следует выбирать так, чтобы в режиме холостого хода, когда ЭДС $\dot{E}_1$ практически равна номинальному напряжению U_1 , ток

$$\dot{I}_{10} = \frac{\dot{E}_1}{R_0 + jX_0} = \frac{\dot{E}_1}{\underline{Z}_0} \quad (9.27)$$

по модулю равнялся бы действующему значению тока холостого хода, а мощность $\dot{I}_{10} \dot{E}_1 \cos \varphi_{10} = \dot{I}_{10}^2 R_0$ – мощности, забираемой трансформатором из сети при холостом ходе.

Решим систему уравнений (9.20) – (9.22) относительно первичного тока

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_0 (n^2 \underline{Z}_H + n^2 \underline{Z}_2) / [\underline{Z}_0 + (n^2 \underline{Z}_H + n^2 \underline{Z}_2)]} = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_{\text{экв}}} \quad (9.28)$$

В соответствии с уравнением (9.28) трансформатор можно заменить электрической схемой, по которой можно определить токи $\dot{I}_1$ и $\dot{I}_2$, мощность P_1 , забираемую из сети, мощность ΔP потерь и т.д. Такую электрическую схему называют схемой замещения трансформатора (рис. 9.14).

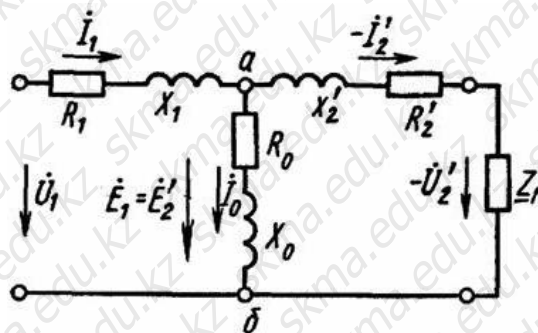


Рисунок 9.14

Эквивалентное сопротивление этой схемы

$$Z_{\text{экв}} = Z_1 + [Z_0 (Z'_H + Z'_2)] / [Z_0 + (Z'_H + Z'_2)], \quad (9.29)$$

где: $Z_1 = R_1 + jX_1$;

$$Z_0 = R_0 + jX_0$$

$$Z'_2 = n^2 Z_2 = n^2 (R_2 + jX_2);$$

$$Z'_H = n^2 Z_H.$$

Схема замещения трансформатора представляет собой сочетание двух схем замещения - первичной и вторичной обмоток, которые соединены между собой в точках а и б. В цепи первичной обмотки включены сопротивления R_1 и X_1 , а в цепи вторичной обмотки - сопротивления R'_2 и X'_2 . Участок схемы замещения между точками а и б, по которому проходит ток I_0 , называют намагничивающим контуром. На вход схемы замещения подают напряжение $\dot{U}_1$, к выходу ее подключают переменное сопротивление нагрузки Z'_H , к которому приложено напряжение $-\dot{U}'_2$.

Сопротивления Z'_2 его составляющие $R'_2 = R_2 n^2$ и $X'_2 = X_2 n^2$, а также Z'_H называют соответственно сопротивлениями вторичной обмотки и нагрузки, приведенными к первичной обмотке.

Аналогично приведенными называют значения ЭДС и тока: $E'_2 = nE_2$; $I'_2 = I_2/n$.

Полная мощность приведенного контура вторичной обмотки в схеме замещения равна мощности вторичной обмотки реального трансформатора: $I'_2 E'_2 = (I_2/n) E_2 n = E_2 I_2$, а мощность электрических потерь в приведенном вторичном контуре этой схемы равна мощности потерь во вторичной обмотке реального

трансформатора: $I_2^2 R'_2 = (I_2/n)^2 R_2 n^2 = I_2^2 R_2$.

Относительные падения напряжений в активном и индуктивном сопротивлениях приведенного вторичного контура также остаются неизменными, как и в реальном трансформаторе:

$$I'_2 R'_2 / E'_2 = (I_2/n) n^2 R_2 / (nE_2) = I_2 R_2 / E_2;$$

$$I'_2 X'_2 / E'_2 = (I_2/n) n^2 X_2 / (nE_2) = I_2 X_2 / E_2.$$

Асинхронные машины

История создания и область применения асинхронных двигателей

В настоящее время асинхронные машины используются в основном в режиме двигателя. Машины мощностью больше 0.5 кВт обычно выполняются трёхфазными, а при меньшей мощности - однофазными.

Впервые конструкция трёхфазного асинхронного двигателя была разработана, создана и опробована русским инженером М. О. Доливо-Добровольским в 1889-91 годах. Демонстрация первых двигателей состоялась на Международной электротехнической выставке во Франкфурте на Майне в сентябре 1891 года. На выставке было представлено три трёхфазных двигателя разной мощности. Самый мощный из них имел мощность 1.5 кВт и использовался для приведения во вращение генератора постоянного тока. Конструкция

асинхронного двигателя, предложенная Доливо-Добровольским, оказалась очень удачной и является основным видом конструкции этих двигателей до настоящего времени.

За прошедшие годы асинхронные двигатели нашли очень широкое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Их используют в электроприводе металлорежущих станков, подъёмно-транспортных машин, транспортёров, насосов, вентиляторов. Маломощные двигатели используются в устройствах автоматики.

Широкое применение асинхронных двигателей объясняется их достоинствами по сравнению с другими двигателями: высокая надёжность, возможность работы непосредственно от сети переменного тока, простота обслуживания.

Устройство трёхфазной асинхронной машины

Неподвижная часть машины называется **статор**, подвижная – **ротор**. Сердечник статора набирается из листовой электротехнической стали и запрессовывается в станину. На рис. 9.15 показан сердечник статора в сборе. Станина (1) выполняется литой, из немагнитного материала. Чаще всего станину выполняют из чугуна или алюминия. На внутренней поверхности листов (2), из которых выполняется сердечник статора, имеются пазы, в которые закладывается **трёхфазная обмотка** (3). Обмотка статора выполняется в основном из изолированного медного провода круглого или прямоугольного сечения, реже – из алюминия.

Обмотка статора состоит из трёх отдельных частей, называемых **фазами**. Начала фаз обозначаются буквами C_1, C_2, C_3 , концы – C_4, C_5, C_6 .



Рисунок 9.15

Начала и концы фаз выведены на клеммник (рис. 9.16.а), закреплённый на станине. Обмотка статора может быть соединена по схеме звезда (рис. 9.16.б) или треугольник (рис. 9.16.в). Выбор схемы соединения обмотки статора зависит от линейного напряжения сети и паспортных данных двигателя. В паспорте трёхфазного двигателя задаются линейные напряжения сети и схема соединения обмотки статора. Например, 660/380, Y/Δ. Данный двигатель можно включать в сеть с $U_{\text{л}} = 660\text{В}$ по схеме звезда или в сеть с $U_{\text{л}} = 380\text{В}$ – по схеме треугольник.

Основное назначение обмотки статора – создание в машине вращающего магнитного поля.

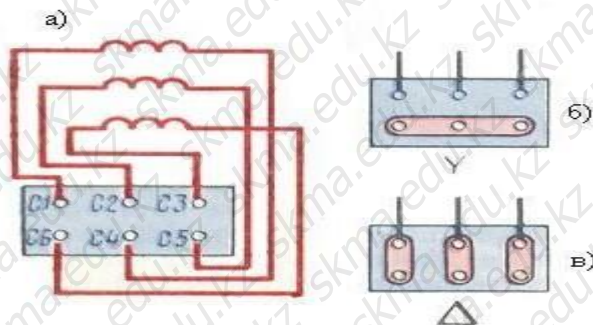


Рисунок 9.16

Сердечник ротора (рис. 9.17.б) набирается из листов электротехнической стали, на внешней стороне которых имеются пазы, в которые закладывается обмотка ротора. Обмотка ротора бывает двух

видов: **короткозамкнутая** и **фазная**. Соответственно этому асинхронные двигатели бывают с короткозамкнутым ротором и фазным ротором (с контактными кольцами).

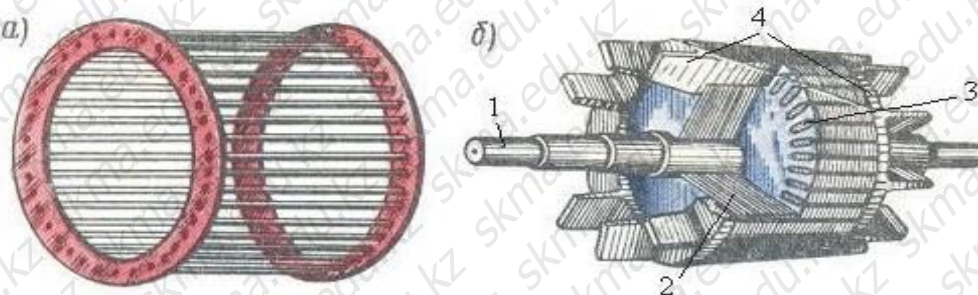


рисунок 9.17

Короткозамкнутая обмотка (рис. 9.17) ротора состоит из стержней 3, которые закладываются в пазы сердечника ротора. С торцов эти стержни замыкаются торцевыми кольцами 4. Такая обмотка напоминает “беличье колесо” и называют её типа “беличьей клетки” (рис. 9.17.а). Двигатель с короткозамкнутым ротором не имеет подвижных контактов. За счёт этого такие двигатели обладают высокой надёжностью. Обмотка ротора выполняется из меди, алюминия, латуни и других материалов.

Доливо-Добровольский первым создал двигатель с короткозамкнутым ротором и исследовал его свойства. Он выяснил, что у таких двигателей есть очень серьёзный недостаток – ограниченный пусковой момент. Доливо-Добровольский назвал причину этого недостатка – сильно закороченный ротор. Им же была предложена конструкция двигателя с фазным ротором.

На рис. 9.18 приведен вид асинхронной машины с фазным ротором в разрезе: 1 – станина, 2 – обмотка статора, 3 – ротор, 4 – контактные кольца, 5 – щетки.

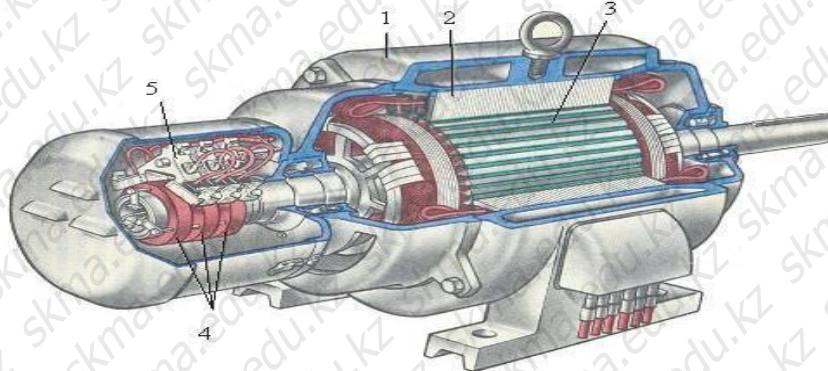
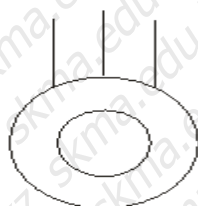
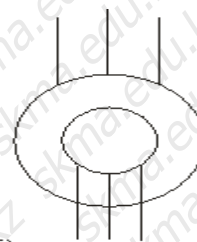


Рисунок 9.18

У фазного ротора обмотка выполняется трёхфазной, аналогично обмотке статора, с тем же числом пар полюсов. Витки обмотки закладываются в пазы сердечника ротора и соединяются по схеме звезда. Концы каждой фазы соединяются с контактными кольцами, закреплёнными на валу ротора, и через щётки выводятся во внешнюю цепь. Контактные кольца изготавливают из латуни или стали, они должны быть изолированы друг от друга и от вала. В качестве щёток используют металлографитовые щётки, которые прижимаются к контактными кольцам с помощью пружин щёткодержателей, закреплённых неподвижно в корпусе машины. На рис. 9.19 приведено условное обозначение асинхронного двигателя с короткозамкнутым (а) и фазным (б) ротором.



а)



б)

Рисунок 9.19

На рис. 9.19 приведен вид асинхронной машины с короткозамкнутым ротором в разрезе: 1 – станина, 2 – сердечник статора, 3 – обмотка статора, 4 – сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой, 5 – вал.

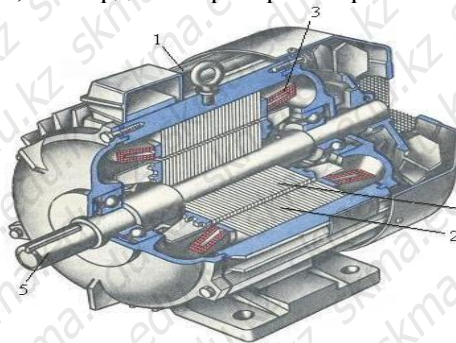


Рисунок 9.20

На щитке машины, закреплённом на станине, приводятся данные: P_n , U_n , I_n , n_n , а также тип машины.

- P_n – это номинальная полезная мощность (на валу)
- U_n и I_n – номинальные значения линейного напряжения и тока для указанной схемы соединения. Например, 380/220, Y/Δ, I_n Y/ I_n Δ.
- n_n – номинальная частота вращения в об/мин.

Тип машины, например, задан в виде 4АН315S8. Это асинхронный двигатель (А) четвёртой серии защищённого исполнения. Если буква Н отсутствует, то двигатель закрытого исполнения.

- 315 – высота оси вращения в мм;
- S – установочные размеры (они задаются в справочнике);
- 8 – число полюсов машины.

Получение вращающегося магнитного поля

Условия получения:

1. наличие не менее двух обмоток;
2. токи в обмотках должны отличаться по фазе
3. оси обмоток должны быть смещены в пространстве.

В трёхфазной машине при одной паре полюсов ($p = 1$) оси обмоток должны быть смещены в пространстве на угол 120° , при двух парах полюсов ($p = 2$) оси обмоток должны быть смещены в пространстве на угол 60° и т.д.

Рассмотрим магнитное поле, которое создаётся с помощью трёхфазной обмотки, имеющей одну пару полюсов ($p = 1$) (рис. 9.21). Оси обмоток фаз смещены в пространстве на угол 120° и создаваемые ими магнитные индукции отдельных фаз (B_A , B_B , B_C) смещены в пространстве тоже на угол 120° .

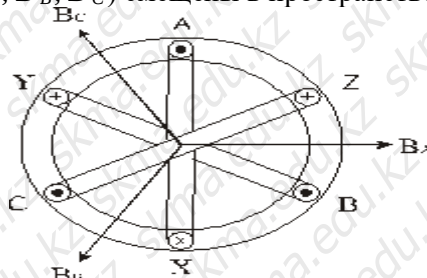


Рисунок 9.21

Магнитные индукции полей, создаваемые каждой фазой, как и напряжения, подведённые к этим фазам, являются синусоидальными и отличаются по фазе на угол 120° .

Приняв начальную фазу индукции в фазе А (φ_A) равной нулю, можно записать:

$$B_A = B_m \sin(\omega t)$$

$$B_B = B_m \sin(\omega t - 120^\circ),$$

$$B_C = B_m \sin(\omega t - 240^\circ).$$

Магнитная индукция результирующего магнитного поля определяется векторной суммой этих трёх магнитных индукций.

$$\vec{B} = \vec{B}_A + \vec{B}_B + \vec{B}_C.$$

Найдём результирующую магнитную индукцию (рис. 9.22) с помощью векторных диаграмм, построив их для нескольких моментов времени.

а) При $t=0$	б) При $t = \frac{T}{4}$	в) При $t = \frac{T}{2}$
$B_A = 0$	$B_A = B_m$	$B_A = 0$
$B_B = -\frac{\sqrt{3}}{2} B_m$	$B_B = -\frac{1}{2} B_m$	$B_B = \frac{\sqrt{3}}{2} B_m$
$B_C = \frac{\sqrt{3}}{2} B_m$	$B_C = \frac{1}{2} B_m$	$B_C = -\frac{\sqrt{3}}{2} B_m$

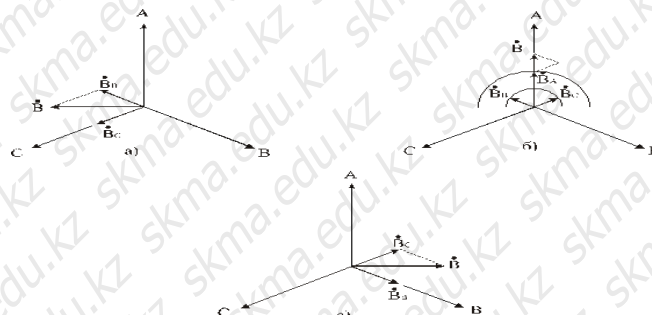


Рисунок 9.22

Как следует из рис. 9.22, магнитная индукция B результирующего магнитного поля машины вращается, оставаясь неизменной по величине. Таким образом, трёхфазная обмотка статора создаёт в машине круговое вращающееся магнитное поле. Направление вращения магнитного поля зависит от порядка чередования фаз. Величина результирующей магнитной индукции

$$B = 3/2 \times B_m.$$

Частота вращения магнитного поля n_0 зависит от частоты сети f и числа пар полюсов магнитного поля p .

$$n_0 = (60f) / p, [\text{об/мин}].$$

Обратите внимание, что частота вращения магнитного поля не зависит от режима работы асинхронной машины и её нагрузки.

При анализе работы асинхронной машины часто используют понятие о скорости вращения магнитного поля ω_0 , которая определяется соотношением:

$$\omega_0 = (2\pi f) / p = \pi n_0 / 30, [\text{рад/сек}].$$

Режимы работы трёхфазной асинхронной машины

Асинхронная машина может работать в режимах двигателя, генератора и электромагнитного тормоза.

Режим двигателя

Этот режим служит для преобразования потребляемой из сети электрической энергии в механическую.

ОҢТҮСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 77стр. из 93

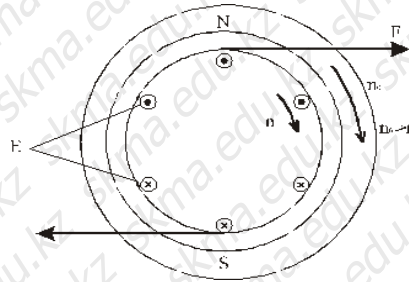


Рисунок 9.23

Пусть обмотка статора создаёт магнитное поле, вращающееся с частотой n_0 в указанном направлении (рис. 9.23). Это поле будет наводить согласно закону электромагнитной индукции в обмотке ротора ЭДС. Направление ЭДС определяется по правилу правой руки и показано на рисунке (силовые линии должны входить в ладонь, а большой палец нужно направить по направлению движения проводника, т.е. ротора, относительно магнитного поля). В обмотке ротора появится ток, направление которого примем совпадающим с направлением ЭДС. В результате взаимодействия обмотки ротора с током и вращающегося магнитного поля возникает электромагнитная сила F . Направление силы определяется по правилу левой руки (силовые линии должны входить в ладонь, четыре пальца – по направлению тока в обмотке ротора). В данном режиме (рис. 9.23) электромагнитная сила создаст вращающий момент, под действием которого ротор начнёт вращаться с частотой n . Направление вращения ротора совпадает с направлением вращения магнитного поля. Чтобы изменить направление вращения ротора (реверсировать двигатель), нужно изменить направление вращения магнитного поля. Для реверса двигателя нужно изменить порядок чередования фаз подведённого напряжения, т.е. переключить две фазы.

Пусть под действием электромагнитного момента ротор начал вращаться с частотой вращения магнитного поля ($n = n_0$). При этом в обмотке ротора ЭДС E_2 будет равна нулю. Ток в обмотке ротора $I_2 = 0$, электромагнитный момент M тоже станет равным нулю. За счёт этого ротор станет вращаться медленнее, в обмотке ротора появится ЭДС, ток. Возникнет электромагнитный момент. Таким образом, в режиме двигателя ротор будет вращаться несинхронно с магнитным полем. **Частота вращения ротора будет изменяться при изменении нагрузки на валу. Отсюда появилось название двигателя – асинхронный (несинхронный).** При увеличении нагрузки на валу двигатель должен развивать больший вращающий момент, а это происходит при снижении частоты вращения ротора. В отличие от частоты вращения ротора частота вращения магнитного поля не зависит от нагрузки. Для сравнения частоты вращения магнитного поля n_0 и ротора n ввели коэффициент, который называли скольжением и обозначили буквой S . Скольжение может измеряться в относительных единицах и в процентах.

$$S = (n_0 - n) / n_0 \text{ или } S = [(n_0 - n) / n_0] 100\%.$$

При пуске в ход асинхронного двигателя $n = 0$, $S = 1$. В режиме идеального холостого хода $n = n_0$, $S = 0$. Таким образом, в режиме двигателя скольжение изменяется в пределах:

$$0 < S \leq 1.$$

При работе асинхронных двигателей в номинальном режиме:

$$S_n = (2 \div 5)\%.$$

В режиме реального холостого хода асинхронных двигателей:

$$S_{xx} = (0,2 \div 0,7)\%.$$

Режим генератора

Этот режим служит для преобразования **механической энергии в электрическую**, т.е. асинхронная машина должна развивать на валу тормозной момент и отдавать в сеть электрическую энергию. Асинхронная машина переходит в режим генератора, если ротор начинает вращаться быстрее магнитного поля ($n > n_0$). Этот режим может наступить, например, при регулировании частоты вращения ротора.

Пусть $n > n_0$. При этом изменится (по сравнению с режимом двигателя) направление ЭДС и тока ротора, а также изменится направление электромагнитной силы и электромагнитного момента (рис. 9.24). Машина начинает развивать на валу тормозной момент (потребляет механическую энергию) и возвращает в сеть электрическую энергию (изменилось направление тока ротора, т.е. направление передачи электрической энергии).

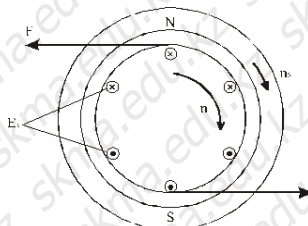


Рисунок 9.24

При $n > n_0$, $S = 0$.

При $n \rightarrow +\infty$, $S \rightarrow -\infty$.

Таким образом, в режиме генератора скольжение изменяется в пределах:

$$0 > S > -\infty.$$

Режим электромагнитного тормоза

Этот режим работы наступает, если ротор и магнитное поле вращаются в разные стороны. Этот режим работы имеет место при реверсе асинхронного двигателя, когда изменяют порядок чередования фаз, т.е. изменяется направление вращения магнитного поля, а ротор по инерции вращается в прежнем направлении.

Согласно рис. 9.25 электромагнитная сила будет создавать тормозной электромагнитный момент, под действием которого будет снижаться частота вращения ротора, а затем произойдет реверс.

В режиме электромагнитного тормоза машина потребляет механическую энергию, развивая на валу тормозной момент, и одновременно потребляет из сети электрическую энергию. Вся эта энергия идет на нагрев машины.

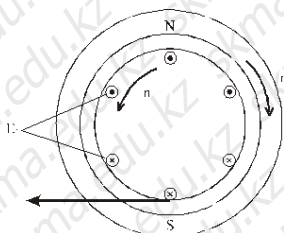


Рисунок 9.25

При $n = n_0$, $S = 1$.

При $n \rightarrow -\infty$, $S \rightarrow +\infty$.

Таким образом, в режиме электромагнитного тормоза скольжение изменяется в пределах:

$$0 < S < \infty.$$

Процессы в асинхронной машине

Цепь статора

а) ЭДС статора.

Магнитное поле, создаваемое обмоткой статора, вращается относительно неподвижного статора с частотой $n_0 = 60f/p$ и будет наводить в обмотке статора ЭДС. Действующее значение ЭДС, наводимой этим полем в одной фазе обмотки статора определяется выражением:

$$E_1 = 4,44 w_1 k_1 f \Phi,$$

где: $k_1 = 0,92 \div 0,98$ – обмоточный коэффициент;

$f_1 = f$ – частота сети;

w_1 – число витков одной фазы обмотки статора;

Φ – результирующее магнитное поле в машине.

б) Уравнение электрического равновесия фазы обмотки статора.

Это уравнение составлено по аналогии с катушкой с сердечником, работающей на переменном токе.

$$\dot{U} = \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(R_1 + jx_1) = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1.$$

Здесь $\dot{U}$ и $\dot{U}_1$ – напряжение сети и напряжение, подведенное к обмотке статора.

R_1 – активное сопротивление обмотки статора, связанное с потерями на нагрев обмотки.

x_1 – индуктивное сопротивление обмотки статора, связанное с потоком рассеяния.

z_1 – полное сопротивление обмотки статора.

$\dot{I}_1$ – ток в обмотке статора.

ОНТҰСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 79стр. из 93

При анализе работы асинхронных машин часто принимают $I_{12} = 0$. Тогда можно записать:

$$U_1 \approx E_1 = 4,44 w_1 k_1 f \Phi.$$

Из этого выражения следует, что магнитный поток Φ в асинхронной машине не зависит от её режима работы, а при заданной частоте сети f зависит только от действующего значения приложенного напряжения U_1 . Аналогичное соотношение имеет место и в другой машине переменного тока – в трансформаторе.

Цепь ротора

а) Частота ЭДС и тока ротора.

При неподвижном роторе частота ЭДС f_2 равна частоте сети f .

$$f_2 = f = (n_0 p) / 60.$$

При вращающемся роторе частота ЭДС ротора зависит от частоты вращения магнитного поля относительно вращающегося ротора, которая определяется соотношением:

$$n' = n_0 - n.$$

Тогда частота ЭДС вращающегося ротора:

$$f_2 = \frac{pn'}{60} = \frac{p(n_0 - n)}{60} = \frac{p(n_0 - n)}{60} \times \frac{n_0}{n_0} = f S.$$

Частота ЭДС ротора изменяется пропорционально скольжению и в режиме двигателя имеет наибольшее значение в момент пуска в ход.

Пусть при $f = 50$ Гц, номинальное скольжение $S_n = 2\%$. Тогда при номинальной частоте вращения ротора $f_2 = f \times S_n = 1$ Гц.

Таким образом, в обмотке ротора асинхронной машины частота наводимой ЭДС зависит от частоты вращения ротора.

б) ЭДС ротора.

При неподвижном роторе $f_2 = f$ и действующее значение ЭДС определяется по аналогии с E_1 .

$$E_2 = 4,44 w_2 k_2 f \Phi,$$

где: w_2 и k_2 – соответственно число витков и обмоточный коэффициент обмотки ротора.

Если ротор вращается, то $f_2 = f \times S_n$ и ЭДС вращающегося ротора определяется соотношением:

$$E_{2S} = 4,44 w_2 k_2 f_2 \Phi = E_2 S.$$

ЭДС, наводимая в обмотке ротора, изменяется пропорционально скольжению и в режиме двигателя имеет наибольшее значение в момент пуска в ход.

Отношение ЭДС статора к ЭДС неподвижного ротора называется коэффициентом трансформации асинхронной машины.

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_1}{w_2 k_2}.$$

в) ток ротора.

Запишем уравнение равновесия для одной фазы короткозамкнутого ротора.

При неподвижном роторе.

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 (R_2 + jx_2),$$

где: $x_2 = 2\pi f L_2$ – индуктивное сопротивление обмотки неподвижного ротора, связанное с потоком рассеяния;

R_2 – активное сопротивление обмотки ротора, связанное с потерями на нагрев обмотки.

При вращающемся роторе.

$$\dot{E}_{2S} = \dot{I}_2 (R_2 + jx_{2S})$$

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 80стр. из 93

где: $x_{2S} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f L_2 S = x_2 S$ – индуктивное сопротивление обмотки вращающегося ротора.

Для тока ротора в общем случае можно получить такое соотношение:

$$I_2 = \frac{E_2 S}{\sqrt{R_2^2 + (S X_2)^2}}$$

Отсюда следует, что ток ротора зависит от скольжения и возрастает при его увеличении, но медленнее, чем ЭДС.

г) поле ротора

Обмотка ротора, как и обмотка статора, является многофазной и при появлении в ней тока создаёт своё вращающееся магнитное поле. Обозначим через n_2 частоту вращения магнитного поля ротора относительно ротора.

$$n_2 = (60 f_2) / p = (60 f S) / p.$$

Здесь p – число пар полюсов обмотки ротора, оно всегда равно числу пар полюсов обмотки статора.

Относительно статора магнитное поле ротора вращается с частотой

$$n + n_2 = n + \frac{60 f S}{p} = n + \frac{60 f}{p} \times \frac{n_0 - n}{n_0} = n_0$$

Из полученного соотношения следует, что магнитное поле ротора относительно статора вращается с той же частотой, что и магнитное поле статора. Таким образом, магнитные поля ротора и статора относительно друг друга неподвижны. Поэтому при анализе работы асинхронной машины можно применить те же соотношения, что и трансформаторе.

Ток статора

Так как результирующее магнитное поле асинхронной машины не зависит от её режима работы, можно составить для одной фазы уравнение магнитодвижущих сил, приравняв магнитодвижущую силу в режиме холостого хода к сумме магнитодвижущих сил в режиме нагрузки.

$$\dot{I}_{0W1K1} = \dot{I}_{1W1K1} + \dot{I}_{2W2K2}$$

Отсюда $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2$.

Здесь I_0 – ток в обмотке статора в режиме идеального холостого хода, $I'_2 = I_2 (w_{2K2}) / (w_{1K1})$ – составляющая тока статора, которая компенсирует действие магнитодвижущей силы обмотки ротора. Полученное выражение для тока статора отражает свойство саморегулирования асинхронной машины. Чем больше ток ротора, тем больше ток статора. В режиме холостого хода ток статора минимальный. В режиме нагрузки ток статора возрастает. Ток реального холостого хода асинхронной машины $I_0 = (20 \div 60)\% I_{1н}$ и значительно больше по сравнению с номинальным током, чем у трансформатора. Это объясняется тем, что величина тока I_0 зависит от магнитного сопротивления среды, в которой создаётся магнитное поле. У асинхронной машины, в отличие от трансформатора, есть воздушный зазор, который создаст большое сопротивление магнитному полю.

Электромагнитный момент асинхронной машины

Электромагнитный момент возникает при наличии магнитного поля, создаваемого обмоткой статора, и тока в обмотке ротора. Можно показать, что электромагнитный момент определяется соотношением:

$$M = C \Phi I_2 \cos \psi_2.$$

$$C = 3 \times 4,44 f \frac{w_2 K_2}{\omega_0} = \frac{3}{\sqrt{2}} w_2 K_2 p$$

Здесь: $\omega_0 = 2\pi f / p$ – скорость вращения; ψ_2 – сдвиг по фазе между ЭДС и током ротора; $I_2 \cos \psi_2$ – активная составляющая тока ротора.

Таким образом, величина электромагнитного момента зависит от результирующего магнитного поля Φ и активной составляющей тока ротора.

На рис. 9.27 приведено пояснение влияния $\cos \psi_2$ на величину электромагнитного момента:
 а) $\psi_2 = 0^\circ$, ($\cos \psi_2 = 1$); б) $\psi_2 = 90^\circ$, ($\cos \psi_2 = 0$).

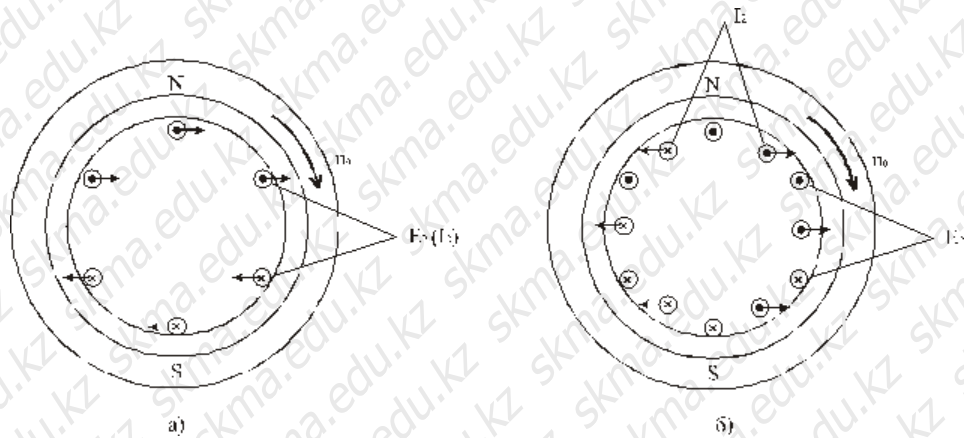


Рисунок 9.27

Как следует из рис. 9.27.а, если $\psi_2 = 0^\circ$, в создании электромагнитного момента участвуют все проводники обмотки ротора, т.е. момент имеет наибольшее значение. Если $\psi_2 = 90^\circ$ (рис. 2.12.б), результирующая электромагнитная сила и момент равны нулю.

В режиме двигателя при изменении нагрузки на валу изменяется частота вращения ротора, что приводит к изменению скольжения, частоты тока ротора, индуктивного сопротивления ротора и $\cos\psi_2$. В результате изменяется вращающий момент. На рис. 9.28 приведено пояснение влияния индуктивного сопротивления ротора на угол ψ_2 : а) при $S = 1$ (пуск в ход); б) при $S \leq 1$ (после разгона). Наибольшие значения ЭДС и частота тока ротора имеют в момент пуска в ход, когда скольжение $S = 1$. При этом $f_2 = f_1$, $X_2 \gg R_2$, угол ψ_2 близок к 90° (рис. 9.28.а).

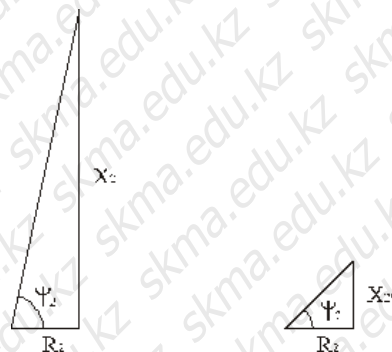


Рисунок 9.28

За счет малого $\cos\psi_2$ в момент пуска в ход асинхронные двигатели имеют ограниченный пусковой момент. Кратность пускового момента (по сравнению с номинальным) у них составляет

$$M_{\text{пуск}} / M_n = 0,8 \div 1,8.$$

Причем большие цифры относятся к двигателям специальной конструкции с улучшенными пусковыми свойствами.

По мере разгона ротора двигателя частота тока ротора падает, уменьшается индуктивное сопротивление ротора X_{2s} и угол ψ_2 уменьшается (рис. 9.28.б). Это приводит к увеличению вращающего момента и дальнейшему разгону двигателя.

Подставим в выражение для электромагнитного момента соотношения для I_2 , $\cos\psi_2$ и Φ , полученные ранее:

$$I_2 = \frac{E_2 S}{\sqrt{R_2^2 + (S X_2)^2}}, \quad \cos\psi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (S X_2)^2}}, \quad \Phi = \frac{E_1}{4,44 w_1 k_1 f}.$$

Тогда

$$= C \frac{E_1 E_2 R_2 S}{4,44 w_1 k_1 f [R_2^2 + (S X_2)^2]},$$

Используя соотношение

ОҢТҮСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		82стр. из 93

$$\frac{1}{2} = \frac{1k_1}{2k_2} k_{\text{тр}},$$

где: $k_{\text{тр}}$ – коэффициент трансформации асинхронной машины.

Выразим $E_2 = E_1 / k_{\text{тр}}$, а E_1 приравняем к напряжению U_1 , подведенному к обмотке статора ($E_1 \approx U_1$). В результате получим другое выражение для электромагнитного момента, которое удобно использовать при анализе работы машины, при построении ее характеристик

$$= C_m \frac{U_1^2}{R_2 S^2 + \dots}$$

Из полученного выражения для электромагнитного момента следует, что он сильно зависит от подведенного напряжения ($M \sim U_1^2$). При снижении, например, напряжения на 10%, электромагнитный момент снизится на 19% ($M \sim (0,9U_1)^2 = 0,81U_1^2$). Это является одним из недостатков асинхронных двигателей, так как приводит на производстве к снижению производительности труда и увеличению брака.

Зависимость электромагнитного момента от скольжения

Выражение для электромагнитного момента (*) справедливо для любого режима работы и может быть использовано для построения зависимости момента от скольжения при изменении последнего от $+\infty$ до $-\infty$ (рис. 9.29).

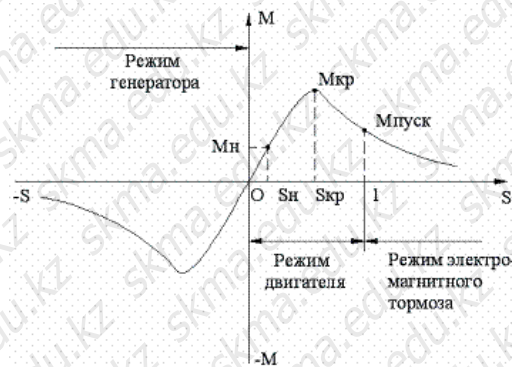


Рисунок 9.29

Рассмотрим часть этой характеристики, соответствующая режиму двигателя, т.е. при скольжении, изменяющемся от 1 до 0. Обозначим момент, развиваемый двигателем при пуске в ход ($S = 1$) как $M_{\text{пуск}}$. Скольжение, при котором момент достигает наибольшего значения, называют критическим скольжением $S_{\text{кр}}$, а наибольшее значение момента – критическим моментом $M_{\text{кр}}$. Отношение критического момента к номинальному называют перегрузочной способностью двигателя

$$M_{\text{кр}} / M_n = \lambda = 2 \div 3.$$

Критический момент не зависит от активного сопротивления ротора, но зависит от подведенного напряжения. При уменьшении U_1 снижается перегрузочная способность асинхронного двигателя.

Из выражения (*), разделив M на $M_{\text{кр}}$, можно получить формулу, известную под названием «формула Клосса», удобную для построения $M = f(S)$.

Если в эту формулу подставить вместо M и S номинальные значения момента и скольжения (M_n и S_n), то можно получить соотношение для расчета критического скольжения.

$$S_{\text{кр}} = S_n \left(\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1} \right)$$

Участок характеристики (рис. 2.14), на котором скольжение изменяется от 0 до $S_{\text{кр}}$, соответствует устойчивой работе двигателя. На этом участке располагается точка номинального режима (M_n, S_n). В пределах изменения скольжения от 0 до $S_{\text{кр}}$ изменение нагрузки на валу двигателя будет приводить к изменению частоты вращения ротора, изменению скольжения и вращающего момента. С увеличением момента нагрузки на валу частота вращения ротора станет меньше, что приведет к увеличению скольжения и

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		83стр. из 93

электромагнитного (вращающего) момента. Если момент нагрузки превысит критический момент, то двигатель остановится.

Участок характеристики, на котором скольжение изменяется от $S_{кр}$ до 1, соответствует неустойчивой работе двигателя. Этот участок характеристики двигатель проходит при пуске в ход и при торможении.

4. Иллюстративный материал: Для проведения занятия используется следующее материально-техническое обеспечение: ноутбук, мультимедийный проектор, экран.

5. Литература:

основная:

1. Электротехника и электроника учебник / А. Н. Горбунов ; под ред. А. В. Кравцова. - Алматы : Эверо, 2012
2. Шестеркин, Алексей Николаевич Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Шестеркин; УМО вузов по унив. политехн. образованию. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 251, [1] с
3. Гельман, М. В. Основы электроники [Электронный ресурс] : исполнение настольное ручное минимодульное : метод. указания / М. В. Гельман, В. В. Шуляков. - Челябинск : Учтех-Профи, 2013. - 80 с.
4. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
5. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
6. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 2016, ч.1,2,3
7. Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и уравнениях. Практикум на Electronics Workbench. Том 1: Электротехника, том 2: Электроника, -М.: ДОДЕКА, 2002 г. 1 том -303с. и 2 том -287с.

дополнительная:

1. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией Л.А. Бессонова. - М.: Высшая школа, 2008
2. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.
3. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.
4. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2013. – 798 с.: ил
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2007. – 701с.: ил
6. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.: 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=553180>
7. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 448 с.: ил.; 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494180>
8. Электрические измерения и приборы : Учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров / Г.И. Кольниченко, П.А. Михалин, А.С. Степанов; МОиН РФ, ФГБОУ ВПО МГУЛ. - М. : МГУЛ, 2014. - 89 с. : ил.
9. Арыстанбаев К.Е., Жумабекова А.Б., Умаров А.А. Системы управления химико-фармацевтическими процессами. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с.

6. Контроль (вопросы, задачи, решение т т.д.)

1. Электромагнетизм и основные понятия. Магнитное поле и его параметры.
2. Электромагнетизм и магнитные цепи. Свойства ферромагнитных материалов.
3. Дать определение магнитной цепи, объяснить закон полного тока, применение закона полного тока для расчета магнитных цепей.

ОНТҰСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		84стр. из 93

4. Способы воздействия магнитного поля. Магнитные цепи. Классификация магнитных цепей.
5. Анализ простейших неразветвленных магнитных цепей с постоянной магнитодвижущей силой.
6. Закон Ома для магнитной цепи. Линейные и нелинейные магнитные сопротивления
7. Объяснить особенности работы магнитных цепей при переменной магнитодвижущей силе.
8. Получение вращающего магнитного поля. Получение вращающего момента в асинхронном двигателе.
9. Объяснить устройство трехфазной асинхронной машины.
10. Объяснить режим работы генератора.
11. Частота ЭДС и тока ротора асинхронной машины.
12. Объяснить назначение, устройство и принцип действия синхронных генераторов.

1. Тема 10: Электрооборудование и автоматизация фармацевтического производства. Экономия электрической энергии на фармацевтических производствах.

2. Цель: изучение электрооборудования и автоматизации фармацевтического производства. Экономия электрической энергии на фармацевтических производствах .

3. Тезисы лекции:

1 Автоматизация производства предприятия. Автоматизация технологических процессов

Системы автоматического управления классифицируются в основном по цели управления, типу контура управления и способу передачи сигналов. Первоначально перед системами автоматического управления (САУ) ставились задачи поддержания определённых законов изменения во времени управляемых величин. В этом классе систем различают *системы автоматического регулирования* (САР), в задачу которых входит сохранение постоянными значения управляемой величины; системы программного управления, где управляемая величина изменяется по заданной программе; *следящие системы*, для которых программа управления заранее неизвестна. В дальнейшем цель управления стала связываться непосредственно с определёнными комплексными показателями качества, характеризующими систему (её производительность, точность воспроизведения и т. п.); к показателю качества могут предъявляться требования достижения им предельных (наибольших или наименьших) значений, для чего были разработаны *адаптивные*, или *самоприспосабливающиеся системы*.

Последние различаются по способу управления: в самонастраивающихся системах меняются параметры устройства управления, пока не будут достигнуты оптимальные или близкие к оптимальным значения управляемых величин; в самоорганизующихся системах с той же целью может меняться и её структура. Наиболее широки, в принципе, возможности самообучающихся систем, улучшающих алгоритмы своего функционирования на основе анализа опыта управления. Отыскание оптимального режима в **адаптивных САУ** может осуществляться как с помощью автоматического поиска, так и беспоисковым образом.

Способ компенсации возмущений связан с типом контура управления системы. В разомкнутых системах автоматического управления на устройство управления не поступают сигналы, несущие информацию о текущем состоянии управляемого объекта, либо в них измеряются и компенсируются главные из возмущений, либо управление ведётся по жёсткой программе, без анализа каких-либо факторов в процессе работы. Основной тип систем автоматического управления - замкнутые, в которых осуществляется регулирование по отклонению, а цепь прохождения сигналов образует замкнутый контур, включающий объект управления и устройство управления; отклонения управляемой величины от желаемых значений компенсируются воздействием через обратную связь, вне зависимости от причин, вызвавших эти отклонения.

Объединение **принципов управления по отклонению и по возмущению** приводит к комбинированным системам. Часто, помимо основного контура управления, замыкаемого главной обратной связью, в системах автоматического управления имеются вспомогательные контуры (многоконтурные системы) для стабилизации и коррекции динамических свойств. Одновременное управление несколькими величинами, влияющими друг на друга, осуществляется в системах многосвязного управления или регулирования.

По форме представления сигналов различают *дискретные и непрерывные системы автоматического управления*. В первых сигналы, по крайней мере в одной точке цепи прохождения, квантуются по времени, либо по уровню, либо как по уровню, так и по времени.

ÖNTÜSTİK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 85стр. из 93

Простейший пример системы автоматического управления - *система прямого регулирования частоты вращения двигателя*. Цель управления - поддержание постоянной частоты вращения маховика, управляемый объект - двигатель; управляющее воздействие - положение регулирующей заслонки дросселя; устройство управления - центробежный регулятор, муфта которого смещается под действием центробежных сил при отклонении от заданного значения частоты вращения вала, жестко связанного с маховиком. При смещении муфты изменяется положение заслонки дросселя. Структурная схема рассмотренного примера типична для многих систем автоматического управления вне зависимости от их физической природы. Описанная система представляет собой *замкнутую одноконтурную непрерывную систему автоматического регулирования* механического действия, допускающую линеаризацию при исследовании.

Промышленность выпускает **универсальные регуляторы**, в том числе с воздействием по производной, по интегралу, экстремальные регуляторы, для управления различными объектами.

Специализированные системы автоматического управления широко применяются в различных областях техники, например: следящая система управления копировально-фрезерным станком по жёсткому копиру; системы управления металлорежущих станков с программным управлением от магнитной ленты, перфоленты или перфокарты (преимущества такого управления заключаются в относительной универсальности, лёгкости перестройки программы и высокой точности обработки деталей); система программного управления реверсивным прокатным станом, включающая в свой контур управляющую вычислительную машину

В относительно медленных технологических процессах в химической и нефтяной промышленности распространены **многосвязные системы автоматического управления**, осуществляющие регулирование большого количества связанных величин; так, при перегонке нефти информация о температуре, давлении, расходе и составе нефтепродуктов, получаемая от нескольких сотен датчиков, используется для формирования сигналов управления десятками различных регуляторов. САУ играют важную роль в авиации и космонавтике, например автопилот представляет собой систему автоматического управления связанного регулирования, а иногда и самонастраивающуюся систему. В военной технике применяются **высокоточные следящие системы**, часто включающие вычислительные устройства. При анализе многих физиологических процессов в живом организме, таких как кровообращение, регуляция температуры тела у теплокровных животных, двигательные операции, обнаруживаются характерные черты систем автоматического управления.

Подавление помех электроприводов

Приводы с регулируемой скоростью вращения вала экономят энергию и обладают другими преимуществами, но у них есть и недостаток — тенденция создавать интенсивные электромагнитные помехи, которые должны быть сведены к минимуму при конструировании и монтаже привода.

Приводы с регулируемой скоростью (ПРС) хорошо подходят для экономии энергии и оптимизации автоматических систем, но они неизбежно создают высокочастотные электрические помехи. Основным источником электрических помех, также называемых электромагнитными помехами (ЭМП), являются быстро переключающиеся транзисторы, создающие большие скачки напряжения в блоке питания привода. ЭМП означают любую помеху нормальной работе оборудования (и приводов), вызванную как избыточной энергией, передающейся по кабелю (наведенная помеха), так и влиянием электромагнитных волн (помеха от паразитного электромагнитного излучения). Частоты наведенных помех лежат в диапазоне от 150 кГц до 30 МГц, а паразитное электромагнитное излучение имеет частоту от 30 МГц до 1 ГГц. Несмотря на то, что здесь, в основном, рассматриваются приводы переменного тока, это также касается и приводов постоянного тока. Радиочастотные помехи (РЧП) представляют собой аналогичное возмущение, которое влияет на средства связи; как правило, оно считается частью ЭМП. Хотя частоты ЭМП и РЧП лежат выше звукового диапазона, их влияние в средствах связи может вызывать слышимые искажения.

При разработке и установке ПРС следует сводить к минимуму ЭМП, чтобы предотвратить ухудшение работы или повреждение самого устройства, ограничить распространение помех на расположенное вблизи оборудование и другие устройства. Электромагнитная совместимость (ЭМС) представляет собой общую концепцию, нацеленную на уменьшение ЭМП, защиту электрического и электронного оборудования. Стандартное решение для систем силового привода (ССП), включая электрические приводы, моторы, оболочки и кабели, рекомендовано основным международным стандартом ЭМС по приводам IEC 61300-3.

Учет условий окружающей среды

В стандарте IEC 61300-3 предусмотрены два типа окружающих сред для размещения приводов. Для жилых районов (первый тип) установлены более строгие требования по ЭМС, чем для промышленных

ÖNTÜSTİK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		86стр. из 93

регионов (второй тип). Как отметил г-н Марк Кеньон (Mark Kenyon), менеджер по маркетингу низковольтных приводов компании ABB Automation Inc., для приводов, подключаемых к бытовой низковольтной сети (первый тип), необходимо использовать фильтры ЭМП. Он сказал: «Также рекомендуется использовать фильтры и в промышленности (второй тип), если поблизости расположено чувствительное к наводкам оборудование».

Фильтры ЭМП уменьшают наведенные помехи в точке подключения к линии, отводя их на землю. Фильтр ЭМП, использующий ферритовые сердечники (или кольца) и резистивно-емкостные цепи, является стандартным дополнительным оборудованием большинства новых приводов для первого типа среды, заявил г-н Кеньон. «Встроенные или внешние фильтры являются дополнительной принадлежностью некоторых приводов и для второго типа среды», — сказал он.

В компании Siemens Energy & Automation влияние ЭМП/РЧП внимательно рассматривается уже на этапе разработки приводов с регулируемой скоростью. Для того чтобы убедиться в том, что излучение электромагнитных помех в окружающую среду минимизировано, а окружающая среда не оказывает влияния на работу приводов, проводятся их испытания в специальной камере, — пояснил г-н Вольфганг Гилмер (Wolfgang Hilmer), менеджер по технологии приводов. В основном производятся испытания компонентов блока питания, где расположены быстро переключающиеся биполярные транзисторы с изолированным затвором, создающие ЭМП.

Хорошим способом защиты от ЭМП/РЧП является фильтрация. Для приводов компании Siemens фильтр ЭМП является стандартным компонентом, обеспечивающим выполнение стандарта по ЭМС для их промышленного использования. Небольшие приводы, как правило, имеют встроенный фильтр ЭМП. «На мощных приводах фильтр часто является обособленным модулем. Он улавливает электрические помехи, выходящие на линию», — сказал г-н Гилмер.

Причины помех кроются в мелочах

Уменьшение мощности излучаемых электромагнитных помех является кропотливым трудом, связанным с мелочами, поскольку от радиоизлучений должны быть защищены самые разные части системы электрического привода. В первую очередь следует уделять внимание оболочкам, кабелям, проводам и монтажу системы. Меры, рекомендуемые компанией ABB, включают в себя следующие технические решения.

Влияние фильтрации на наведенную ЭМП для привода с регулируемой скоростью

Как доказано испытаниями, проведенными в компании Yaskawa Electric America, для привода мощностью 0, 7 кВт, работающего на частоте 60 Гц (несущая частота равна 2 кГц), значительно уменьшить наведенную помеху может входной фильтр ЭМП. Граничные линии на графиках соответствуют стандарту EN 55011, класс В, для бытовых и больничных условий окружающей среды.

- Используются кожухи с неокрашенными и не подвергающимися коррозии поверхностями в местах, где пластины, дверцы и другие металлические части контактируют между собой, а также проводящие прокладки в дверцах и крышках.
- Используются неокрашенные опоры для установки, надежно подсоединенные к общей точке заземления, что гарантирует одно и то же заземление для всех отдельных металлических частей.
- Используются специальные входы для высокочастотного заземления экранов кабеля питания.
- Используются проводящие прокладки для высокочастотного заземления экрана кабеля, передающего сигналы управления.
- Экранированные кабели питания и управления прокладываются на удалении друг от друга.
- Производится заземление всей установки ССП.

Компания Siemens установила, что заземление кожуха привода играет важную роль для регулирования уровня ЭМП, особенно для больших установок в защищенном кожухе. «Основной способ избавиться от электрических помех состоит в том, чтобы сделать заземление с низким сопротивлением, — сказал г-н Гилмер. - Кроме того, металлические крышки работают как экран, уменьшая уровень помех, а сварной каркас гарантирует низкое сопротивление». В приводе также должна быть линия заземления, подключенная к кожуху, которая служит путем отвода электрических помех на землю с низкой индуктивностью.

Другим способом улучшения ЭМС, рекомендованным Гилмером, является установка между дверцами и корпусом заземляющих скоб. Использование только лишь одного заземления недостаточно, потому что у него слишком большое сопротивление для электрических помех. «Мы используем скобы с оплеткой, чтобы

ÖNTÜSTİK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		87стр. из 93

заземлить дверцы на корпус. Именно поверхность большой площади может эффективно проводить высокочастотные помехи», — сказал он.

Все элементы системы ССП — привод, мотор и кабели — должны быть заземлены. «Остальные части системы столь же важны, как и сам привод», — добавил г-н Гилмер. «Это также относится и к монтажу привода, чтобы снизить ЭМП/РЧП», — пояснил он.

Соответствие стандартам

Приводы с регулируемой скоростью должны соответствовать стандартам по ЭМС, если они используются в Европе или в других регионах. В то же время не существует американских стандартов, которые бы непосредственно и полностью соответствовали требованиям по ЭМС приводов. Соответствующий международный стандарт IEC 61800-3 определяет четыре категории предельных уровней ЭМП, соответствующих мощности привода, применительно к жилой или промышленной среде. Он также определяет методы испытаний приводов с регулируемой скоростью сращения вала. Европейский стандарт EN 55011 задает аналогичные требования для промышленного, научного и медицинского радиочастотного оборудования.

Наиболее подходящим стандартом США является документ «Federal Communications Commission (FCC) rules and regulations» (Правила Федеральной комиссии по связи), часть 15. «Однако в нем отсутствует промышленное оборудование, например, приводы, кроме случая, когда они имеют недопустимый уровень помех, и только тогда производитель привода должен устранить проблему», — сказал г-н Кеньон из компании ABB. То, что приводы не включены в часть 15 Правил, объясняется отсутствием определенной процедуры их испытаний. «Трудно разработать тест, соответствующий характеристикам привода, поскольку в них отсутствует стандартный кабель питания двигателя определенной длины», — добавил г-н Кеньон.

Большинство производителей приводов включают фильтрацию ЭМП в качестве стандартной функции, чтобы удовлетворить возрастающие требования потребителей по созданию в глобальном масштабе однотипных продуктов и, чтобы обеспечить экспорт базовых модулей производителя. Компания ABB отмечает, что включение фильтра в комплект поставки создает финансовые трудности при продвижении различных продуктов в Северной Америке и других регионах.

Компания Siemens выступает с инициативой создания единой системы ЭМС для приводов с переменной скоростью, независимо от того, где они были построены. Это происходит не потому, что не соблюдаются Директивы США по ЭМС, — пояснил Гилмер. Такие особенности, как требования Национального электрического кодекса США — NEC, Элементы защиты оболочки привода от ЭМП либо различия типов предохранителей или выключателей (согласно требованиям Международной электротехнической комиссии (МЭК) — IEC по сравнению с требованиями Национальной ассоциации производителей электрооборудования от ЭМП США — NEMA, корректируются на местном уровне.

Компанией Danfoss Drives отмечено усиливающееся международное одобрение новых стандартов МЭК, например, IEC 61800-3 по ЭМС приводов. Кроме того, Йорн Лэндкилдехас (Jorn Landkildehus), менеджер по ЭМС, надежности и функциональной безопасности компании Danfoss, упоминает новую европейскую директиву 2004/108/EC как еще один стандарт, проясняющий требования по ЭМС. Она требует следования документированной проверенной инженерной практике в областях ЭМС, таких как уменьшение эмиссии, взаимных наводок и излучения, повышение защищенности оборудования.

«Это соответствует нашим усилиям по повышению компетентности потребителей в вопросах влияния способа установки ЭМС приводов на их характеристики», — сказал г-н Лэндкилдехас. В компании Danfoss организованы семинары по обучению работников и клиентов правильной методике монтажа приводов переменного тока с выдачей соответствующих удостоверений.

Оптимизация размера фильтра

Компания Yaskawa Electric America отмечает, что электрические помехи, создаваемые при определенной конфигурации привода, постоянны. «Вместе с тем, внутри привода можно установить фильтры, уменьшающие распространение радиопомех и влияние привода на внешнюю среду», — сказал д-р Махеш Свами (Mahesh Swamy), директор по НИОКР компании Yaskawa. В зависимости от желаемого уровня снижения ЭМП, для уменьшения наведенной помехи используется фильтр ЭМП (внутренний или внешний по отношению к приводу), а экранирование кабелей является очевидным способом уменьшения излучения радиоволн. Однако д-р Свами тут же отметил, что экранированные кабели могут и усилить наведенные ЭМП из-за наличия пути с низким сопротивлением (импедансом) для токов, проходящих от проводников к

ОҢТҰСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		88стр. из 93

заземленному экрану. Для уменьшения влияния токов заземления он предложил проводить тщательную оптимизацию прокладки кабелей.

Тщательная конструкторская проработка привода также приносит свои плоды. Трехуровневая конфигурация привода переменного тока, предложенная компанией в 2003 году, хотя напрямую и не снижает уровень ЭМП, однако упрощает фильтрацию синфазных и аддитивных помех. Говорят, что это приводит к значительному уменьшению уровня наведенных и излучаемых ЭМП. «Размер фильтра значительно уменьшается, благодаря меньшему размеру ступеней в наведенном синфазном напряжении при работе с выходным напряжением, превосходящим 230-240 В», — продолжил д-р Свами. Кроме того, трехуровневая конструкция обеспечивает спектр выходного сигнала на несущей частоте, расположенный значительно выше по отношению к рабочей частоте (обычно 2:1). «Это помогает уменьшить размер фильтра аддитивных помех», — утверждает он. Сообщается, что малогабаритный фильтр, разработанный компанией YEA, весьма эффективен для уменьшения наведенной ЭМП.

Еще один пример монтажа, уменьшающего влияние ЭМП, — использование защитных зажимов для гарантии контакта всей поверхности оболочки кабеля питания электродвигателя с защитной шиной в приводах компании Siemens Sinamics.

Еще одним удачным схемным решением привода переменного тока, предложенным компанией YEA в 2005 году, является матричный конвертер, т.е. прямой преобразователь переменного тока в переменный (четыре квадранта) без громоздкой схемы постоянного тока. Матричный конвертер компании YEA также позволяет уменьшить размер ступеней в фильтре синфазных помех. Кроме того, такая структура помогает в разработке комбинированных фильтров синфазных и аддитивных помех, причем по результатам тестирования они значительно уменьшают размер входного фильтра ЭМП, объяснил д-р Свами.

Во всех входных фильтрах ЭМП используется конденсатор, соединяющий сигнальную линию с землей. «Хорошо известно, что это создает большие токи на землю. Интеграция фильтров синфазных и аддитивных помех в матричном конвертере позволяет уменьшить емкость конденсатора входного фильтра в 10 раз, — добавил д-р Свами. - Это существенно упрощает проблемы, связанные с использованием рискованных методов фильтрации ЭМП».

Способы экономии электроэнергии на производстве

Энергосбережение или экономия электроэнергии является практической реализацией научных, правовых, технических, организационных, экономических и производственных мероприятий, направленных на рациональное использование и расходование энергетических ресурсов, а так же на внедрение в хозяйственный оборот рациональных возобновляемых источников энергии. Энергосбережение и экономия электроэнергии - важная задача сохранения наших природных ресурсов.

Повышение энергоемкости некоторых производств, увеличение количества техники, задействованной в производственных процессах на предприятиях и постоянный рост цен на энергоносители явилось серьезным фактором в решении вопроса об экономии электроэнергии.

К сожалению универсального способа экономить электроэнергию сейчас не существует, однако разработаны многочисленные методики, устройства и технологии, которые помогают перевести энергосбережения на качественно новый и лучший уровень.

Вопрос экономии электроэнергии достаточно многоплановый и необходим стратегический подход, для максимально эффективного использования всех производственных мощностей при минимально возможных энергетических затратах.

Выработаны подходы к экономии электроэнергии, основанные на использовании и практическом внедрении энергосберегающих технологий, призванных уменьшить потери электроэнергии там, где это возможно.

На данный момент уже существует много устройств, применение которых позволяет добиться сокращения потерь при работе электрического оборудования. Основными устройствами из них является частотно-регулируемые приводы и конденсаторные установки.

Применение конденсаторных установок для энергосбережения за счет компенсации реактивной мощности позволяет обеспечить существенную экономию электроэнергии.

Оптимизация режимов потребления электроэнергии при использовании конденсаторных установок дает возможность снижения токовых нагрузок на аппаратуру и сетевые кабели.

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		89стр. из 93

Возможные пути и методы в экономии электроэнергии:

- 1) Внедрение электрогенерирующего оборудования на основе газо - и паротурбинных, газопоршневых, турбодетандерных и парогазовых установок.
- 2) Переход на частотно-регулируемые приводы на оборудовании с изменяемой нагрузкой.
- 3) Использование менее энергоёмких насосных установок.
- 4) Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами АСУ ("энергоэффективность").
- 5) Внедрение систем управления освещением, энергоэффективных осветительных устройств и секционное разделение освещения.
- 6) Замена электродвигательных и электроводонагревательных приборов источниками тепла, работающими на местных видах топлива (торф, пеллеты).
- 7) Ввод электрогенерирующего и технологического оборудования, работающего с использованием горючих вторичных энергоресурсов (ВЭР) и отходов производства.
- 8) Внедрение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (гелиоколлекторы, ГЭС, ВЭУ, биогазовые установки)

Каждое из этих мероприятий позволяет снизить потребление энергии в среднем на 15%.

На производстве **рекомендуется проведение следующих мероприятий** для уменьшения объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования:

1. Установить преобразователи частоты, благодаря которым за счет частотного регулирования появляется возможность управлять производительностью технологического оборудования, что положительно сказывается на его функциональности и показателях энергоэффективности.

2. Установить приборы учета электрической энергии.

3. На каждом предприятии приказом или распоряжением назначить лицо, ответственное за энергохозяйство, в обязанности которого должно входить:

- обеспечение выполнения своевременного и качественного технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний электрооборудования, измерение сопротивления изоляции и заземления;

- организация проведения расчетов потребления электроэнергии и осуществление контроля за ее расходованием;

- непосредственная разработка и внедрение мероприятий по рациональному потреблению электроэнергии.

4. Не допускать увеличение максимальной мощности без разрешения на технологическое присоединение.

5. Осуществлять контроль за режимом горения светильников на предприятии.

6. Заменить светильники с лампами накаливания на светильники с лампами дневного света или светодиодами, предназначенными для офисных помещений и рабочих мест.

8. Окрасить стены помещений в светлые тона для увеличения освещенности. Окраска стен в светлые тона позволяет экономить 5-15% электроэнергии, вследствие увеличения уровня освещенности от естественного и искусственного освещения.

9. Повысить эффективность использования электроэнергии при автоматизации управления освещением (датчики движения, присутствия, реле времени).

10. Заменить электрооборудование, силовую, аудио- и видеоаппаратуру на современную, более экономичную. Например, к концу срока службы лампы падает КПД лампы, светильника. Светильники, выпущенные 20 лет назад, имели КПД максимум 65%, а современные светильники имеют КПД до 95%.

11. Правильно пользоваться компьютерной техникой. При активной работе за компьютером в течение дня, выключать и включать его не стоит, но стоит выключать монитор или запрограммировать переход в «спящий режим» через 4-5 минут. Компьютер потребляет до 400-500 Вт мощности, выключение монитора позволяет экономить до 100-200 Вт. Не стоит оставлять его включенным на длительное время, если вы за ним не работаете. Неиспользуемый 2 часа компьютер даже в «спящем режиме» потребляет 200-300 Вт, за месяц это порядка 12 кВт·ч. Принтеры и сканеры рекомендуется всегда выключать, если они не используются. Это позволит сэкономить еще порядка 2-3 кВт·ч за месяц.

ОҢТҰСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		90стр. из 93

12. Исключить в помещениях не предусмотренные проектом электронагревательные приборы для отопления.

13. Вести ежемесячный учет расхода электроэнергии с оформлением «Ведомости снятия показаний приборов учета электроэнергии», согласно договору электроснабжения.

14. Содержать в чистоте окна, стены, потолки, пол помещений, а также осветительную арматуру.

15. Установить УПП (Устройства плавного пуска). Применение устройств плавного пуска позволяет уменьшить пусковые токи, снизить вероятность перегрева двигателя, повысить срок службы двигателя, устранить рывки в механической части привода или гидравлические удары в трубопроводах и задвижках в момент пуска и остановки электродвигателей.

Источники:

1. Журнал Энергосовет № 2 (27) за 2013 г

Управление режимами электропотребления фармацевтического предприятия с помощью АСКУЭ

Тем не менее, начиная вторую пятилетку индустриализации, в рамках ГПИИР президентом страны были четко определены приоритетные направления, и в их числе - фармпромышленность. Если взглянуть на мировые рынки, ясно, что именно фармацевтический рынок является одним из самых высокодоходных и быстрорастущих секторов мировой экономики. Этому способствует специфичность рынка, направленного на восстановление и поддержание здоровья людей. Темпы его роста составляют порядка 6–11% в год, а чистая

прибыль в среднем достигает 18% от общего дохода. Увеличению продаж лекарственных средств способствуют: общий рост заболеваемости в мире под воздействием ухудшения экологии, старение населения в развитых странах, рост уровня доходов населения в развивающихся странах. Но насколько эти тенденции окажутся подходящими для Казахстана? Считанные годы подтвердили - приоритеты были расставлены верно.

На сегодняшний день фармацевтическая промышленность Республики Казахстан — это динамически развивающаяся отрасль, которая за годы становления сумела привлечь на отечественный рынок иностранные инвестиции. Работать в Казахстан пришли такие крупных производителей, как Pfizer, Sanofi, Polpharma, Nobel, Pharmstandard, Kelun и ряд других. Хотя становление собственной сильной фармацевтической промышленности является весьма длительным, трудоемким и дорогостоящим процессом. Необходимо создать

условия для импортозамещения фармацевтической и медицинской продукции на базе современных технологий в соответствии с международными стандартами GMP.

Развитие фармацевтической промышленности в Казахстане предусматривает проведение комплекса организационных, экономических, технологических, управленческих мероприятий, направленных на проектирование, строительство и введение в эксплуатацию фармацевтических производств, внедрение технологий производства, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы на разработку и освоение производства новых конкурентоспособных лекарственных препаратов, создание сырьевых баз в регионах из отечественного лекарственного растительного сырья, подготовку кадров для фармацевтического производства в соответствии с GMP, что в итоге должно способствовать увеличению объемов продукции отечественного производства....

Подробнее: <https://kursiv.kz/news/otraslevye-temy/2017-12/farmaceuticheskaya-otrasl-rk-demonstriruet-rost>

Оптимизация режимов электропотребления является одним из самых эффективных путей повышения конкурентоспособности любого производителя. Учитывая неуклонный рост стоимости энергоносителей, в т. ч. электроэнергии, негативно отражающийся на себестоимости продукции, управление режимами электропотребления представляется одним из наиболее эффективных путей уменьшения энергозатрат на предприятии, повышения рентабельности производства и получения дополнительного конкурентного преимущества/

Следует также напомнить, что управление режимами электропотребления на промышленных предприятиях позволяет снизить неравномерность графиков нагрузок энергосистемы, что положительно отражается на себестоимости выработки и передаче электроэнергии. Принимая во внимание постепенный переход электроэнергетики к рынку двусторонних договоров и балансирующему рынку [1], внедрение и функционирование системы мониторинга и управления текущими режимами электропотребления становится неотъемлемым условием обеспечения устойчивой жизнедеятельности современного промышленного предприятия. Одним из основных инструментов формирования информационного обеспечения задач внедрения и мониторинга энергосберегающих мероприятий и управления режимами электропотребления являются автоматизированные системы контроля, учета и управления энергоиспользованием (АСКУЭ).

ОНТҰСТІК-ҚАЗАҚСТАН MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		044/76-11 91стр. из 93

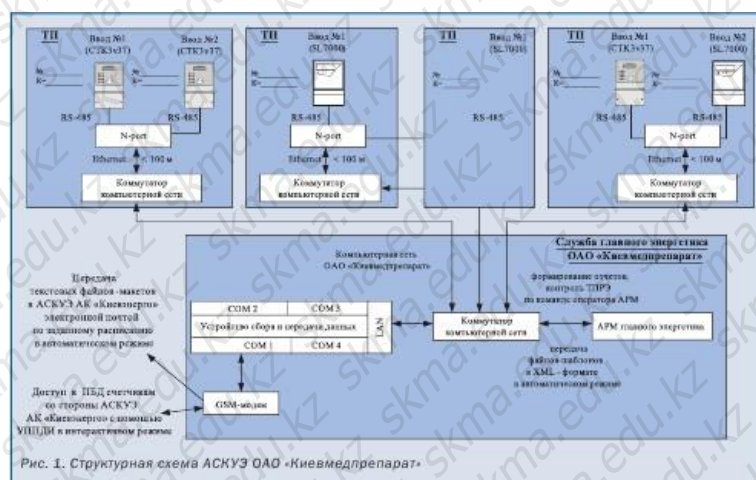
Внедрение АСКУЭ открывает предприятию широкие возможности по управлению собственным энергоиспользованием, в т. ч. позволяет:

- в реальном времени контролировать характеристики режимов электроснабжения предприятия;
- осуществлять анализ режимов электропотребления с целью выявления и последующего уменьшения (устранения) потерь и непроизводительных затрат электроэнергии;
- снизить затраты предприятия на электроэнергетические ресурсы без снижения уровня электропотребления за счет выбора оптимальных тарифов при расчетах за электроэнергию;
- управлять режимами электропотребления с целью оптимизации затрат на электрическую энергию за счет использования электроэнергии в часы суток, которым соответствуют низкие тарифные коэффициенты, еще больше экономя при оплате потребленной электроэнергии. Эффективность контроля характеристик режимов электроснабжения и управления режимами электропотребления с помощью АСКУЭ рассмотрим на примере киевского ОАО «Киевмедпрепарат» корпорации «Артериум». ОАО «Киевмедпрепарат» специализируется на производстве лекарственных средств в виде различных лекарственных форм:

порошков для инъекций, таблеток, капсул, мазей, гелей и т. д. Номенклатура продукции составляет более чем 80 наименований препаратов практически всех фармакотерапевтических групп. Территориально предприятие размещается на трех производственных площадках:

основная № 1; № 2 («Мази») и № 3 («Склады»).

Производственные площадки предприятия электрически не связаны между собой и с точки зрения Правил пользования электрической энергией (ППЭЭ) рассматриваются как отдельные площадки измерений. Электроснабжение предприятия осуществляется через 4 трансформаторные подстанции (ТП) 10/0,4 кВ от электрических сетей АК «Киевэнерго». Электроснабжение основной производственной площадки № 1 осуществляется от двух независимых систем шин ТЭЦЗ двумя кабельными линиями (КЛ) напряжением 10 кВ через две тупиковые ТП 10/0,4 кВ мощностью 2000 кВА каждая. ТП оборудованы системой автоматического ввода резерва (АВР) на стороне 10 кВ. Категории надежности электроснабжения токоприемников основной производственной площадки – I. Электроснабжение производственной площадки № 2 осуществляется от транзитной ТП 10/0,4 кВ мощностью 720 кВА, которая питается двумя КЛ от городских ТП АК «Киевэнерго». Электроснабжение производственной площадки № 3 осуществляется от ТП 10/0,4 кВ мощностью 800 кВА и выполнено по двулучевой схеме от подстанции 35/10 кВ, подстанции 110/10 кВ и городских РП и ТП АК «Киевэнерго». Категория надежности электроснабжения токоприемников площадок измерения «Мази» и «Склады» – II. Согласно договору на пользование электрической энергией, ОАО «Киевмедпрепарат» имеет в сумме шесть точек коммерческого учета (по две точки коммерческого учета на каждой площадке измерений). До внедрения АСКУЭ учет электроэнергии осуществлялся с помощью multifunctional электронных счетчиков типа



СТКЗ различных версий. В 2009 году согласно требованиям Правил пользования электрической энергией (ППЭЭ) ОАО «Киевмедпрепарат» начал создание АСКУЭ, которая была введена в постоянную эксплуатацию в феврале 2010 года. АСКУЭ ОАО «Киевмедпрепарат» представляет собой территориально распределенную информационную систему измерения, сбора, обработки, хранения и отображения данных коммерческого учета электропотребления предприятия по трем площадкам измерения. При внедрении

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		92стр. из 93

АСКУЭ было принято решение о замене счетчиков СТКЗ наиболее устаревших версий современными многофункциональными электронными счетчиками электроэнергии типа SL7000. Структурная схема АСКУЭ ОАО «Киевмедпрепарат» приведена на рис. 1. Счетчики коммерческого учета электроэнергии на площадках измерения «Склады» и «Мази» подключены к коммуникационным узлам, построенным на базе серверов последовательных портов MOXA Nport. Коммуникационные узлы соединены с локальным оборудованием сбора и обработки данных (ЛОСОД), установленным на основной площадке измерения, и компьютерной сетью ОАО «Киевмедпрепарат». ЛОСОД, которое построено на базе устройства сбора и передачи данных (УСПД) производства ООО «УНБК ЕТУ», в автоматическом режиме обеспечивает считывание данных коммерческого учета с многофункциональных электронных счетчиков электроэнергии типа SL7000 и СТКЗv37, их обработку, хранение и передачу по заданному расписанию в согласованных форматах и согласованным способом GPRS сетью в АСКУЭ потребителей АК «Киевэнерго» и компьютерной сетью на автоматизированное рабочее место (АРМ) главного энергетика ОАО «Киевмедпрепарат». ЛОСОД также обеспечивает доступ клиентов АСКУЭ непосредственно к первичным базам данных (ПБД) многофункциональных электронных счетчиков электроэнергии с помощью унифицированного протокола передачи данных измерений (УППДИ), принятого на энергорынке Украины [2]. АСКУЭ обеспечивает регулярное поступление данных коммерческого учета об электропотреблении ОАО «Киевмедпрепарат» в службу главного энергетика (СГЭ) предприятия и ежедневную передачу данных в АСКУЭ потребителей АК «Киевэнерго» в автоматическом режиме. При необходимости оператор АСКУЭ может в интерактивном режиме запросить актуальные данные на любой момент времени или осуществлять непрерывный контроль текущих параметров режимов электропотребления (ТПРЭ) предприятия [3], в т. ч. в периоды максимальных нагрузок энергосистемы. Внедрение АСКУЭ позволило СГЭ ОАО «Киевмедпрепарат» сконцентрировать свое внимание на контроле и анализе режимов электропотребления. АСКУЭ позволяет контролировать электропотребление на всех точках коммерческого учета в заданных временных интервалах. На рис. 2–3 приведены годовой и месячный графики потребления электроэнергии предприятием. Внедрение АСКУЭ позволило упростить процесс расчетов за электроэнергию с энергоснабжающей компанией, а также обеспечить необходимую точность и достоверность учета электроэнергии, что в свою очередь дало возможность существенно снизить вероятность нарушения договорных условий электроснабжения, в т. ч. превышение мощности, заявленной предприятием в часы максимальных нагрузок энергосистемы, а значит, снизить риск начисления штрафов. На рис. 4 приведен график нагрузки ОАО «Киевмедпрепарат» для характерных суток марта 2010 года. Значения параметров характерного для марта месяца 2010 года суточного графика нагрузки свидетельствуют о том, что режим электропотребления предприятия близок к оптимальному. Исследование графиков нагрузки за характерные дни различных месяцев 2009–2010 годов дают результаты, близкие к вышеприведенным. Ежегодно предприятие рассчитывает необходимые годовые объемы потребления электроэнергии по каждой площадке измерения с разбивкой по месяцам года и направляет их на утверждение в АК «Киевэнерго». На основании утвержденных объемов потребления разрабатываются месячные и суточные планы потребления электроэнергии. Для марта 2010 года план потребления электроэнергии ОАО «Киевмедпрепарат» составил 1155 МВтч. На основании планов потребления электроэнергии [4] определяются договорные уровни мощности в часы утреннего и вечернего максимумов нагрузки энергосистемы [4], в т. ч. в часы утреннего и вечернего максимумов. Проведенные расчеты показали, что предприятие уверенно выполняет условия договора на пользование электрической энергией по использованию мощности в период максимальных нагрузок энергосистемы. Изза особенностей технологии нагрузка предприятия в течение года меняется. В летний период возникает необходимость применения вентиляционных и охлаждающих установок, режим работы которых не позволяет регулировать их нагрузку, поскольку зависит от многих условий, в т. ч. от объемов текущего производства, условий окружающей среды и т. п. Кроме контроля эффективности электропотребления, данные, предоставляемые АСКУЭ, позволяют СГЭ выполнять анализ параметров режимов электроснабжения предприятия, в т. ч. на основании суточных графиков нагрузки, месячных и годовых графиков электропотребления, а также определять потери в трансформаторах и контролировать их коэффициенты загрузки. В рамках проекта был проведен расчет потерь и коэффициентов загрузки для трансформаторов наиболее загруженной ТП1 основной площадки измерения для характерных суток марта 2010 года (рис. 5). На ТП1 установлены два трансформатора, один из которых в нормальном режиме электроснабжения предприятия является резервным и включается в работу в часы увеличения нагрузки предприятия. Анализируя графики нагрузки, полученные за время функционирования АСКУЭ, мы видим, что перегрузка исследуемого трансформатора в течение года

ONTUSTIK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		93стр. из 93

возникает только в часы утреннего пика суток, зимой продолжительностью не более 6 часов в сутки, и не более 5 суток подряд. При этом коэффициент перегрузки трансформатора не превышает значения 1,4. Можно сделать вывод, что исследуемый трансформатор на ТП1 эксплуатируется в паспортном режиме. Также следует учитывать, что нагрузка трансформаторов меняется в течение суток и года в зависимости от заказов производства. Производство предприятия адаптировано к рыночным условиям, и поэтому режимы работы предприятия непрогнозируемы. Внедрение АСКУЭ позволило СГЭ проанализировать целесообразность применения различных тарифов при расчетах за электроэнергию. Предприятие рассчитывается с АК «Киевэнерго» за потребленную электроэнергию по одноставочному тарифу. Плата за электроэнергию по одноставочному тарифу формируется путем оплаты каждого потребленного в течение расчетного периода 1 кВтч по единой тарифной ставке, которая утверждается Национальной комиссией регулирования электроэнергетики (НКРЭ) ежемесячно и преподносится предприятию электропередающей компанией-поставщиком по регулируемому тарифу (ПРТ). По данным учета, полученным с помощью АСКУЭ, была проанализирована целесообразность применения при расчетах за электроэнергию одноставочного тарифа, дифференцированного по зонам суток. Анализ показал, что применение одноставочного тарифа, дифференцированного по зонам суток, нецелесообразно, поскольку плата за потребленную электроэнергию становится больше примерно на 3 %, чем по одноставочному тарифу. Это объясняется тем, что на данный момент основное потребление электроэнергии приходится на период пика и полупика, в течение которых потребляется примерно вдвое больше электроэнергии, чем в ночное время. Последнее обусловлено технологическим процессом, особенностью которого является то, что утром технологические процессы запускаются после ночной смены, а под конец рабочего дня предприятие переходит на меньшее потребление в ночную смену. Поэтому простой переход на расчет по новому тарифу без организационных решений невыгоден для предприятия. Экономический эффект от перехода на одноставочный тариф, дифференцированный по зонам суток, может быть достигнут только с одновременным принятием мер по выводу мощностей из пиковых зон. Это возможно решить путем оптимизации управления производством на основании детальных данных о потреблении электроэнергии технологическим оборудованием и управления режимами электропотребления предприятия, в т. ч. на основании данных автоматизированной системы технического учета электроэнергии (АСТУЭ). В настоящее время АСТУЭ на предприятии отсутствует, а технический контроль потребления электроэнергии в ОАО «Киевмедпрепарат» реализован на базе однофазных индукционных счетчиков электроэнергии типа СО2М и электронных счетчиков типа СТК13. При проектировании системы учета прогнозировалось, что нагрузка по трем фазам будет симметричной, поскольку на предприятии отсутствуют мощные однофазные приемники. При этом предприятие экономило на средствах технического учета электроэнергии. Показания по трем фазам определяются дежурным персоналом электроцеха расчетным путем. Однако сегодня нагрузка предприятия и его структурных подразделений не является симметричной, поскольку в процессе развития предприятия к его распределительной сети подключались новые мощные однофазные токоприемники. Поэтому было бы целесообразным заменить однофазные счетчики, установленные на секционных фидерах, на трехфазные. Счетчики размещены по территории предприятия, поэтому процесс снятия данных затруднителен. Объединение их в единую АСТУЭ позволило бы значительно упростить сбор данных относительно технологического учета электроэнергии на предприятии. Кроме того, внедрение АСТУЭ позволило бы решить ряд внутрипроизводственных задач, таких как определение фактического использования электроэнергии и составление электроэнергетического баланса предприятия или отдельных производств, определение величины небаланса и потерь электроэнергии в сетях предприятия, и т. д. Исходя из графика выпуска продукции, перечня установленного электрооборудования предприятия, расчетного распределения потерь электроэнергии по группам оборудования, посредством АСТУЭ можно осуществить оптимизацию режима работы для уменьшения непродуктивных потерь, а также изменение суточного профиля потребления электроэнергии, оптимизировать его под используемый тариф, т. е. добиться снижения заявленной мощности предприятия (выравнивание суточного графика нагрузки).

4. Иллюстративный материал: Для проведения занятия используется следующее материально-техническое обеспечение: ноутбук, мультимедийный проектор, экран.

5. Литература: основная:

1. Электротехника и электроника учебник / А. Н. Горбунов ; под ред. А. В. Кравцова. - Алматы : Эверо, 2012

ÖNTÜSTİK-QAZAQSTAN MEDISINA AKADEMIASY «Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы» АҚ		SOUTH KAZAKHSTAN MEDICAL ACADEMY АО «Южно-Казахстанская медицинская академия»
Кафедра инженерных дисциплин		044/76-11
Лекционный комплекс «Электротехника и основы промышленной электроники»		94стр. из 93

2. Шестеркин, Алексей Николаевич Введение в электротехнику. Элементы и устройства вычислительной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Н. Шестеркин; УМО вузов по унив. политехн. образованию. - М. : Горячая линия - Телеком, 2015. - 251, [1] с

3. Гельман, М. В. Основы электроники [Электронный ресурс] : исполнение настольное ручное минимодульное : метод. указания / М. В. Гельман, В. В. Шуляков. - Челябинск : Учтех-Профи, 2013. - 80 с.

4. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.

5. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.

6. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 2016, ч.1,2,3

7. Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и уравнениях. Практикум на Electronics Workbench. Том 1: Электротехника, том 2: Электроника, -М.: ДОДЕКА, 2002 г. 1 том -303с. и 2 том -287с.

дополнительная:

1. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под редакцией Л.А. Бессонова. - М.:Высшая школа, 2008

2. Афанасьева Н.А., Булат Л.П. Электротехника и электроника: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 181 с.

3. Лавров В.М. Л 13 Электротехника и электроника: Конспект лекций. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 98 с.

4. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 6-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2013. – 798 с.: ил

5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2007. – 701с.: ил

6. Гальперин М. В. Электротехника и электроника: Учебник / Гальперин М.В. - М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.: 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=553180>

7. Славинский А. К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 448 с.: ил.; 60х90 1/16. - (Профессиональное образование). - Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494180>

8. Электрические измерения и приборы : Учеб. пособ. для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров / Г.И. Кольниченко, П.А. Михалин, А.С. Степанов; МОиН РФ, ФГБОУ ВПО МГУЛ. - М. : МГУЛ, 2014. - 89 с. : ил.

9. Арыстанбаев К.Е., Жумабекова А.Б., Умаров А.А. Системы управления химико-фармацевтическими процессами. - Алматы : Эверо, 2020. - 128 с.

6.Контроль (вопросы, задачи, решение т.д.)

1. Виды и принцип выбора SCADA-систем

2. STOM фирмы "Landis & Gir"

3. Коммерческие и технические АСКУЭ.

4. Организация АСКУЭ с проведением опроса счетчиков через оптический порт.

5. Организация АСКУЭ с проведением опроса счетчиков переносным ком-пьютером через преобразователь интерфейсов, мультиплексор или модем.

6. Организация АСКУЭ с проведением автоматического опроса счетчиков локальным центром сбора и обработки данных.

7. АСКУЭ "АльфаЦЕНТР" от "АББ ВЭИ Метроника", г.Москва.