**Ответы на вопросы по ТОЭ**

1. Электрическая цепь и её элементы. Схемы электрических цепей.

Электрическая цепь – это совокупность генерирующих, приемных и вспомогательных устройств, соединенных между собой электрическими проводами.

Электрическая схема замещения – это графическое изображение электрической цепи идеализированными элементами, которые учитывают явления, происходящие в реальной цепи.

У идеального источника ЭДС сопротивление бесконечно мало. У идеального источник тока сопротивление бесконечно велико. Идеальных устройств в реальной жизни нет. Реальный источник ЭДС обладает небольшим сопротивлением. Реальный источник тока обладает большим, но конечным сопротивлением.

Различают три идеализированных приемных элемента.

**Резистивный элемент**, или **идеальный резистор,** учитывает преобразование электрической энергии в другие виды энергии. Обладает сопротивлением *R*, которое измеряют в Омах (Ом).

**Индуктивный элемент**, или **идеальная индуктивная катушка,** учитывает энергию магнитного поля катушки, а также ЭДС самоиндукции. Обладает индуктивностью *L*, которую измеряют в Генри (Гн).

**Емкостный элемент**, или **идеальный конденсатор,** учитывает энергию электрического поля конденсатора, а также токи смещения. Обладает емкостью *С*, измеряемой в Фарадах (Ф).

**Ветвь** – часть электрической схемы, состоящая из одного или нескольких последовательно соединенных источников и приемников энергии, ток в которых один и тот же. Можно сформулировать короче. Ветвь – участок схемы с одним током.

Ветви могут быть активными, содержащими источники энергии, и пассивными, состоящими из одних приемников. **Узел** – это точка в схеме, где сходятся не менее трех ветвей. Тогда ветвь – участок схемы от одного узла до другого узла. **Контур** – любой замкнутый по ветвям схемы путь. Схема может быть одноконтурной и многоконтурной.

2. Закон Ома для участка цепи с пассивными элементами.Соотношение между током I, напряжением UR и сопротивлением R участка аb электрической цепи (рис. 1.3) выражается законом Ома


Рис. 1.3

 или UR = RI.

В этом случае UR = RI – называют напряжением или падением напряжения на резисторе R, а  – током в резисторе R.

При расчете электрических цепей иногда удобнее пользоваться не сопротивлением R, а величиной обратной сопротивлению, т.е. электрической проводимостью:

.

В этом случае закон Ома для участка цепи запишется в виде:

I = Ug.

3.Закон Ома для участка цепи с пассивными элементами, содержащего ЭДС

Этот закон определяет зависимость между ЭДС Е источника питания с внутренним сопротивлением r0, током I электрической цепи и общим эквивалентным сопротивлением RЭ = r0 + R всей цепи:

.

4. Топологические понятия в электротехнике

**Ветвью** называется участок цепи, обтекаемый одним и тем же током.

**Узел** – место соединения трех и более ветвей.

Представленные схемы различны и по форме, и по назначению, но каждая из указанных цепей содержит по 6 ветвей и 4 узла, одинаково соединенных. Таким образом, в смысле геометрии (топологии) соединений ветвей данные схемы идентичны.

**Ветви связи** (дополнения дерева) – это ветви графа, дополняющие дерево до исходного графа.

**Сечение графа** – множество ветвей, удаление которых делит граф на два изолированных подграфа, один из которых, в частности, может быть отдельным узлом.

Сечение можно наглядно изобразить в виде следа некоторой замкнутой поверхности, рассекающей соответствующие ветви. С понятием дерева связаны понятия главных контуров и сечений:

**главный контур** – контур, состоящий из ветвей дерева и только одной ветви связи; **главное сечение** – сечение, состоящее из ветвей связи и только одной ветви дерева.

5. Законы Кирхгофа

**Первый закон Кирхгофа:**

Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:



Правило знаков: токи, одинаково направленные относительно узла, записывают с одинаковыми знаками.

**Второй закон Кирхгофа:**

Алгебраическая сумма напряжений в замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС действующей в том же контуре.

 С учетом закона Ома: 

Правило знаков: со знаком плюс записывают напряжения и ЭДС, направления которых совпадают с выбранным направлением обхода контура.

6.Анализ цепей с одним источником при последовательном, параллельном и смешанном соединении приемников

**Последовательное соединение резисторов.** При последовательном соединении нескольких резисторов конец первого резистора соединяют с началом второго, конец второго — с началом третьего и т. д. При таком соединении по всем элементам последовательной цепи проходит один и тот же ток I. Если принять, что в источнике

R0 = 0, то для трех последовательно соединенных резисторов согласно второму закону Кирхгофа можно написать: E = IR1 + IR2 + IR3 = I(R1 + R2 + R3) = IRэк

Следовательно, эквивалентное сопротивление последовательной цепи равно сумме сопротивлений всех последовательно соединенных резисторов. Так как напряжения на отдельных участках цепи согласно закону Ома: U1=IR1; U2 = IR2, U3 = IR3, то для рассматриваемой цепи: U = U1 + U2 +U3

Следовательно, напряжение U на зажимах источника равно сумме напряжений на каждом из последовательно включенных резисторов.

Из указанных формул следует также, что напряжения распределяются между последовательно соединенными резисторами пропорционально их сопротивлениям:

U1:U2:U3 = R1:R2:R3 т. е. чем больше сопротивление какого-либо приемника в последовательной цепи, тем больше приложенное к нему напряжение.

В случае если последовательно соединяются несколько, например n резисторов с одинаковым сопротивлением R1, эквивалентное сопротивление цепи Rэк будет в n раз больше сопротивления R1, т. е. Rэк = nR1. Напряжение U1 на каждом резисторе в этом случае в n раз меньше общего напряжения U: U1 = U/n

**При параллельном соединении** нескольких приемников они включаются между двумя точками электрической цепи, образуя параллельные ветви

При параллельном соединении ко всем резисторам приложено одинаковое напряжение U. Поэтому согласно закону Ома:

I1=U/R1; I2=U/R2; I3=U/R3.

Ток в неразветвленной части цепи согласно первому закону Кирхгофа I = I1+I2+I3, или

I = U / R1 + U / R2 + U / R3 = U (1/R1 + 1/R2 + 1/R3) = U/Rэк

Следовательно, эквивалентное сопротивление рассматриваемой цепи при параллельном соединении трех резисторов определяется формулой: 1/Rэк = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3

Вводя в формулу вместо значений 1/Rэк, 1/R1, 1/R2 и 1/R3 соответствующие проводимости Gэк, G1, G2 и G3, получим: эквивалентная проводимость параллельной цепи равна сумме проводимостей параллельно соединенных резисторов: Gэк = G1+ G2 +G3

Таким образом, при увеличении числа параллельно включаемых резисторов результирующая проводимость электрической цепи увеличивается, а результирующее сопротивление уменьшается.

Из приведенных формул следует, что токи распределяются между параллельными ветвями обратно пропорционально их электрическим сопротивлениям или прямо пропорционально их проводимостям. I1 : I2 : I3 = 1/R1:1/R2:1/R3 = G1 + G2 + G3

В этом отношении имеет место полная аналогия между распределением токов по отдельным ветвям и распределением потоков воды по трубам.

Приведенные формулы дают возможность определить эквивалентное сопротивление цепи для различных конкретных случаев. Например, при двух параллельно включенных резисторах результирующее сопротивление цепи: Rэк=R1R2/(R1+R2)

при трех параллельно включенных резисторах: Rэк=R1R2R3/(R1R2+R2R3+R1R3)

При параллельном соединении нескольких, например n, резисторов с одинаковым сопротивлением R1 результирующее сопротивление цепи Rэк будет в n раз меньше сопротивления R1, т.е. Rэк = R1/n

Проходящий по каждой ветви ток I1, в этом случае будет в n раз меньше общего тока:

I1 = I / n

**Смешанным соединением** называется такое соединение, при котором часть резисторов включается последовательно, а часть — параллельно. Эквивалентное сопротивление цепи при смешанном соединении обычно определяют методом преобразования, при котором сложную цепь последовательными этапами преобразовывают в простейшую.

В начале определяют эквивалентное сопротивление R12 последовательно включенных резисторов с сопротивлениями R1 и R2: R12 = R1 + R2. При этом схема 1 заменяется эквивалентной схемой 2. Затем определяют эквивалентное сопротивление R123 параллельно включенных сопротивлений и R3 по формуле: R123=R12R3/(R12+R3)=(R1+R2)R3/(R1+R2+R3).

При этом схема 2 заменяется эквивалентной схемой 3.После этого находят эквивалентное сопротивление всей цепи суммированием сопротивления R123 и последовательно включенного с ним сопротивления R4:

Rэк = R123 + R4 = (R1 + R2) R3 / (R1 + R2 + R3) + R4

7. Метод эквивалентных преобразований

Элементы, принадлежащие одной ветви, соединены между собой последовательно. В них один ток. Эквивалентное сопротивление последовательно соединенных резисторов равно сумме их сопротивлений:



При параллельном соединении элементы схемы замещения находятся под одним напряжением и соединены между собой двумя выходными зажимами. Эквивалентная проводимость параллельно соединенных резисторов равна сумме их проводимостей:



В свернутой схеме ток определяют по закону Ома: 

Ток в одной из двух параллельно соединенных пассивных ветвей пропорционален току в неразветвленной части схемы. В числителе коэффициента пропорциональности записывают сопротивление другой пассивной ветви, в знаменателе – cумму сопротивлений двух пассивных ветвей.

8. Метод эквивалентного преобразования соединения пассивных элементов «звездой» и «треугольником»



 

9. Метод непосредственного применения законов Кирхгофа

Предварительно нужно выявить в схеме узлы и ветви. Ветвь – участок

с одним током между двумя узлами. В схеме столько токов, сколько ветвей.

Направления их указывают произвольно.

Число уравнений должно быть минимальным, но достаточным и рав-

ным числу неизвестных токов, т. е. *m* − *mJ* , где *m* – общее число ветвей в

схеме; *mJ* – число ветвей с источниками тока.

По первому закону Кирхгофа составляют *n* −1 уравнение, где *n* – чис-

ло узлов схемы. В этих уравнениях учитывают и токи источников тока. При

подготовке данных для ввода в ЭВМ известные величины записывают справа

от знака равенства. Поэтому первый закон Кирхгофа формулируют следую-

щим образом:

Σ*I* = Σ*J* ,

где Σ *I* – алгебраическая сумма неизвестных токов ветвей в узле; Σ *J* – ал-

гебраическая сумма токов источников тока, присоединенных к этому же уз-

лу.Недостающие уравнения дописывают по второму закону Кирхгофа.

Уравнения по второму закону Кирхгофа составляют для контуров, не содержащих источников тока.

10. Расчет сложных цепей методом контурных токов

При расчете методом контурных токов полагают, что в каждом независимом контуре схемы течет свой контурный ток. Уравнения составляют относительно контурных токов, после чего через них определяют токи ветвей. Таким образом, метод контурных токов можно определить как метод расчета, в котором за искомые принимают контурные токи. Число неизвестных в этом методе равно числу уравнений, которые необходимо было бы составить для схемы по второму закону Кирхгофа. Следовательно, метод контурных токов более экономен при вычислительной работе, чем метод на основе законов Кирхгофа (в нем меньше число уравнений).

Вывод основных расчетных уравнений приведем применительно к схеме рис. в которой два независимых контура. Положим, что в левом контуре по часовой стрелке течет контурный ток I11, а в правой (также по часовой стрелке) — контурный ток I22. Для каждого контура составим уравнения по второму закону Кирхгофа. При этом учтем, что по смежной ветви (с сопротивлением R5) течет сверху вниз ток I11 — I22. Направления обхода контуров примем также по часовой стрелке.

Для первого контура



или



Для второго контура



или



Перепишем эти уравнения следующим образом:



Здесь

 — полное сопротивление первого контура;

 — полное сопротивление второго контура;

 — сопротивления смежной ветви между первым и вторым контурами, взятые со знаком минус;

 — контурная ЭДС первого контура;

 — контурная ЭДС второго контура.

Если в схеме больше двух контуров, например три, то система уравнений выглядит следующим образом:



11. Метод межузлового напряжения

В качестве промежуточных неизвестных принимают потенциалы узлов. Потенциал – функция многозначная, поэтому потенциал одного из узлов принимают равным нулю. Рационально заземлять узел, в котором сходится максимальное число ветвей.



С положительным знаком берут ЭДС и токи, направленные к узлу. Составим систему уравнений:





Решением системы уравнений определим потенциалы узлов. Затем рассчитаем токи ветвей по закону Ома:

  

  

12. Метод эквивалентного генератора

Этот метод дает возможность вычислить ток только одной ветви схемы. Любой активный двухполюсник можно заменить эквивалентным ему генератором.

ЭДС генератора равна напряжению между зажимами а и b активного двухполюсника в режиме холостого хода. Внутреннее сопротивление генератора равно эквивалентному сопротивлению пассивного двухполюсника относительно входных зажимов. Пассивный двухполюсник получают из активного, закорачивая идеальные источники ЭДС и разрывая идеальные источники тока.

 



13. Энергия и мощность

**Электрическая энергия** - это способность электромагнитного поля производить работу, преобразовываясь в другие виды энергии.

**Электроэнергия** - наиболее совершенный и универсальный вид, сравнительно легко преобразующийся в другие виды энергии: механическую, тепловую, световую, химическую и др.

Совершение работы связано с перемещением зарядов через элементы, обладающие сопротивлением. Единица измерения электроэнергии (работы) - джоуль (Дж). Она соответствует работе по перемещению заряда в один кулон между точками цепи с напряжением в один вольт: Дж = В\* Кл.

**Электрическая мощность** - это работа по перемещению электрических зарядов в единицу времени. Единица измерения мощности - ватт (Вт), Вт=Дж/с.

 Различают активную и реактивные мощности. **Активная мощность** - это мощность, связанная с преобразованием электроэнергии в тепловую или механическую энергию

в цепях постоянного тока: P = UI = I2R, Вт;

в цепях переменного синусоидального тока: P = UIсоsφ = I2R, Вт

где U - действующее значение напряжения,

 I - действующее значение тока φ - угол. сдвига между векторами напряжения и тока, град.

**Реактивная (индуктивная) мощность** в цепях переменного синусоидального тока в установившихся режимах связана с созданием магнитных полей в элементах цепи и покрытием потерь на так называемые магнитные поля рассеяния этих элементов.

QI. = UIsinφ = I2xL, ВАр.

**Реактивная (емкостная) мощность** в цепях переменного синусоидального тока в установившихся режимах направлена на создание электрических полей в диэлектрических средах элементов цепи.

QC= UIsinφ = I2xC , ВАр.

В цепях постоянного тока в установившихся режимах реактивные мощности равны нулю. **Полная мощность** элемента в цепи переменного синусоидального тока определяется как геометрическая сумма активной и реактивной мощностей:

S = UI, или S =I2Z , ВА,

где Z = - полное сопротивление цепи, Ом.

14. Баланс мощности

Баланс мощностей – это интерпретация закона сохранения энергии в электротехнике.

Мощность источников энергии в электрической цепи равна мощности потребителей:



 

15. Мощность потерь и КПД

В реальной электрической цепи источник имеет внутреннее сопротивление r ЛЭП имеют RЛ.

Уравнение по 2-ому закону Кирхгофа: R

  Е

 R

- мощность источника (развивающая) R

- мощность потерь в линии и источнике

- мощность приемника (полезная мощность)

Чем меньше сопротивление источника линии, тем меньше потеря мощности.

Уменьшение тока можно достигнуть путем повышения напряжения источника, приблизительно такую же роль играет ток в цепи напряжения.



Коэффициент полезного действия – это отношение мощности приемника к мощности источника.



Для линий постоянного тока, которое имеются в эксплуатации в настоящее время:





16. Активный и пассивный двухполюсники

В любой электрической схеме можно мысленно выделить какую-то одну ветвь, а всю остальную часть схемы независимо от ее структуры и сложности условно изобразить некоторым прямоугольником (рис. 2.29, а). Такой прием был использован в без специальных объяснений. По отношению к выделенной ветви вся схема, обозначенная прямоугольником, представляет собой так называемый двухполюсник.

Таким образом, **двухполюсник** - это обобщенное название схемы, которая двумя выходными зажимами (полюсами) присоединена к выделенной ветви.

Если в двухполюснике есть источник ЭДС или (и) тока, то такой двухполюсник называют **активным**. В этом случае в прямоугольнике ставят букву А (рис. 2.29, а — в).

Если в двухполюснике нет источника ЭДС и (или) тока, то его называют **пассивным**. В этом случае в прямоугольнике либо не ставят никакой буквы, либо ставят букву

П (рис.2.29г).

17. Передача энергии от активного двухполюсника нагрузке

Передача энергии от активного двухполюсника нагрузке.

Если нагрузка R подключена к активному двухполюснику (см. рис. 2.29, а), то через нее потечет ток I=Uabx/ (R+Rвх) и в ней выделится мощность:



Выясним, каково должно быть соотношение между сопротивлением нагрузки R и входным сопротивлением двухполюсника RBX чтобы в сопротивлении нагрузки выделялась максимальная мощность; чему она равна и каков при этом КПД передачи. С этой целью определим первую производную Р по R и приравняем ее нулю:



Отсюда

R = Rвх

Нетрудно найти вторую производную и убедиться в том, что она отрицательна (d2Р/ dR2<0). Следовательно, соотношение R = Rвх соответствует максимуму функции P=f(R). Подставив R = Rвх  в , получим максимальную мощность, которая может быть выделена в нагрузке R:



Полезную мощность, выделяющуюся в нагрузке, определяют по Уравнению полная мощность, выделяемая эквивалентным генератором:



***II часть.***

1. Параметры характеризующие синусоидальные функции времени



Любую синусоидально изменяющуюся функцию времени определяют тремя величинами:

Амплитудой ***A***, начальной фазой ***ψ*** и угловой частотой ***ω = 2π/T***.

2. Действующее и среднее значения переменного тока, напряжения, ЭДС

В общем случае **среднее значение** периодической функции– это среднее ее значение за период. Но для синусоидально изменяющейся величины это значение равно нулю. Поэтому под средним значением синусоидально изменяющейся величины понимают ее среднее значение за полпериода. Т. е. среднее значение для тока



Аналогично для ЭДС и напряжения:

 и 

Действующее (эффективное, среднеквадратичное) значение синусоидально изменяющейся величины:



Аналогично для ЭДС и напряжения:

 и 

Фактически действующее значение синусоидального тока численно равно такому значению такого постоянного тока, который за время периода синусоидального тока выделяет такое же количество теплоты, что и синусоидальный.

Откуда это берется? отсюда:



     (если что:)

3. Изображение синусоидальных функций времени вращающимися векторами. Векторные диаграммы

В некоторой системе координат располагаем вектор, длина которого равна амплитуде синусоиды. Вращая этот вектор вокруг начала координат (против часовой стрелки) со скоростью *ω* и проектируя на вертикальную ось, для каждого момента времени получим мгновенное значение при этом за один полный оборот вектора его проекция на вертикальную ось дает все мгновенные значения синусоидальной величины.

Возможен и обратный процесс: любую синусоиду можно изобразить вектором, вращающимся против часовой стрелки со скоростью *ω* . Вектор изображают в начальный момент времени (*t = 0*) . Тогда фаза колебания (*ωt + ψ*) = *ψ* . Длина вектора в масштабе выражает амплитудное значение величины. Вращающиеся векторы обозначают заглавной печатной буквой с точкой над ней.

Совокупность векторов, отображающих процесс в цепи, называют векторной диаграммой.

4. Представление синусоидальных ЭДС, напряжений и токов комплексными числами

|  |
| --- |
|  |

Мнимую единицу обозначим буквой *j*. Вектору на плоскости можно сопоставить комплексное число:  - показательная форма записи.

Величину характеризуют модулем комплекса *Im*, похожие на комплексной плоскости – аргументом комплекса *ψ*. В показательной форме записи можно только делить и умножать числа. Складывают их в алгебраической форме:

.

Обратное преобразование: , ;

5. Резистивный элемент в цепи переменного тока

Сопротивление измеряется в (Ом). Закон Ома для мгновенных значений синусоидального тока:. => 1. При синусоидальном режиме тока напряжение на резисторе измеряется тоже по синусоидальному закону. 2. Ток и напряжение резистивного элемента совпадают по фазе**. Закон Ома для максимальных** значений: . **Закон Ома для действующих** значений: . **Закон Ома для комплексных** действующих значений: . **Мгновенная мощность** – произведение мгновенных величин тока и напряжения  =>

1. Мгновенная мощность резистивного элемента всегда положительна. 2. Мгновенная мощность меняется с удвоенной частотой. Среднее значение мощности за период называют **активной мощностью** *P*. Для резистивного элемента:



Измеряется в Ваттах (Вт)

6. Идеальная катушка в цепи переменного тока

Ток индуктивного элемента создает магнитный поток, направленный по оси катушки. **Потокосцепление** *ψ* – произведение витков катушки на магнитный поток: *ψ = WФ*.

Индуктивный элемент учитывает ЭДС самоиндукции, которая пропорциональна скорости изменения потокосцепления и мешает этому изменению: . Индуктивная катушка обладает **индуктивностью –** коэффициент, характеризующий способность тока создавать магнитный поток: . Индуктивность измеряется в генри (Гн = Ом \* с). Можно записать *dψ = Ldi*. Тогда . Напряжение на индуктивном элементе *uL = - eL*, т. е. . **Закон Ома для мгновенных значений:** .=> 1. При синусоидальном токе напряжение на индуктивном элементе тоже синусоидально. 2. Напряжение опережает ток по фазе на 90о. **Закон Ома для максимального** значения . **Закон Ома для действующих** значений: . По аналогии с резистором для упрощения расчетов вводят понятие **индуктивного сопротивления** *XL = Lω*. Тогда *UL = XL I.* **Закон Ома для комплексных** значений: . **Мгновенная мощность**  индуктивного элемента . умножим и разделим на 2 . => 1.Мощность меняется с удвоенной частотой. 2. Мощность знакопеременная. **При *p > 0***энергия от источника поступает в индуктивную катушку и запасается в ее магнитном поле. **При *p < 0*** энергия возвращается в сеть. **Активная мощность ** т. к. мгновенная мощность меняется по синусоидальному закону. **Идеальная индуктивная катушка** **энергии не потребляет. Энергия магнитного поля** индуктивного элемента 

7. Идеальный конденсатор в цепи переменного тока

Емкостный элемент обладает емкостью *С*, которую измеряют в фарадах ().

**Закон Ома для мгновенных** значений: , т. е. если  => => 1. При синусоидальном токе напряжение на емкостном элементе тоже синусоидально. 2. Напряжение на емкостном элементе отстает по фазе от тока на угол 90о. **Максимальное значение тока** . **Закон Ома для действующих** значений: . По аналогии с резистором для упрощения расчетов вводят понятие емкостного сопротивления  (Ом). Тогда напряжение . **Закон Ома для комплексных** значений: . **Мгновенная мощность** емкостного элемента:  => 1. Мощность меняется с удвоенной частотой. 2. Мощность знакопеременная. При ***p > 0*** энергия от источника поступает в конденсатор и запасается в его электрическом поле. При ***p < 0*** энергия возвращается в сеть. **Активная мощность** . т. к. мгновенная мощность меняется по синусоидальному закону. **Идеальный конденсатор энергии не потребляет**. **Энергия электрического поля** емкостного элемента 

8. Цепь переменного тока, содержащая последовательно соединенные резистивный элемент, индуктивную катушку и конденсатор

Для анализа процессов воспользуемся уравнением на основании второго закона Кирхгофа: . Подставив в это уравнение значения мгновенных напряжений:

 - уравнение электрического состояния в дифф. форме.

Уравнение электрического состояния в комплексной форме: 

Подставим в это уравнение значение напряжений:  где  - комплексное сопротивление цепи

Очевидно что  где *R*– активное сопротивление, *X* – реактивное сопротивление цепи. **Закон Ома в комплексной форме** для цепи с последовательным соединением приемников: . Если Реактивное сопротивление ***X > 0***, то ***XL > XC***. В этом случае цепь имеет индуктивный характер. Если реактивное сопротивление ***X < 0***, то ***XL < XC***. В этом случае цепь имеет емкостный характер.



9. Активная и реактивная составляющие тока. Проводимость в цепях переменного тока

|  |
| --- |
|  |

Активной составляющей комплексного тока  называется величина , а реактивной составляющей 

 и  по сути являются проекциями вектора  на соответствующие оси координат. Существует понятие комплексной проводимости. Под ней понимают величину, обратную комплексному сопротивлению. Единица измерения – сименс (См). Действительную комплексной проводимости обозначают *g*, мнимую – *b*. тогда:



; 

10. Расчет цепей переменного тока комплексным методом

Сущность символического метода расчета состоит в том, что при синусоидальном токе можно перейти от уравнений, составленных для мгновенных значений и являющихся дифференциальными уравнениями, к алгебраическим уравнениям, составленным относительно комплексов тока и ЭДС. Этот переход основан на том, что в уравнении, составленном по законам Кирхгофа для установившегося процесса, мгновенное значение *i* заменяют комплексной амплитудой, напряжение на резисторе комплексом  совпадающим по фазе с , напряжение на индуктивной катушке  комплексом , напряжение на конденсаторе  комплексом , значение ЭДС *e* комплексом .

11. Мощность в цепях переменного тока

В цепях переменного тока существуют мгновенная *p,* активная *P*, реактивная *Q* и полная *S* мощности. При расчетах удобно пользоваться понятием комплексной мощности , где  - комплекс напряжения,  - комплекс, сопряженный комплексу тока. Подставив значения  и  в формулу комплексной мощности, получим , т. е. Активная (потребляемая) мощность является действительной составляющей комплексной мощности, а реактивная мощность является мнимой. Для измерения активной мощности служат ваттметры, представляющие собой сочетание амперметра и вольтметра.

12. Технико-экономическое значение повышения коэффициента мощности и способы компенсации реактивной мощности

Полезную работу совершает только активная составляющая тока *Ia*, ко в цепи циркулирует ток *I > Ia*, поэтому нужно делать большее сечение проводов линии передачи, обмоток генераторов, трансформаторов и других электрических машин. Кроме того, увеличиваются потери на нагрев проводников (*RI2*). Таким образом коэффициент мощности напрямую влияет на затраты электроэнергии. В целях стимулирования повышения коэффициента мощности промышленные предприятия оплачивают электрическую энергию по дифференцированному трафику т. е. чем ниже cos*φ*, тем дороже электрическая энергия обходится предприятию. **Способы улучшения.**

Коэффициент мощности: . Очевидно, что для повышения cos*φ* нужно увеличивать активную мощность и активное сопротивление либо уменьшать реактивную мощность и реактивное сопротивление.

**Естественный путь** – увеличение активной мощности, повышение загрузки оборудования. Коэффициент мощности асинхронных двигателей и трансформаторов при номинальной нагрузке порядка 0,8-0,9. асинхронные двигатели и трансформаторы, работающие недогруженными, снижают cos*φ* в сетях и на станциях.

**Искусственный путь** – уменьшение реактивной мощности, которая связана с реактивным сопротивлением. Уменьшить реактивное сопротивление, не изменив схемы потребителя, позволяет режим резонанса токов. Он наблюдается при параллельном соединении, которое обеспечивает независимую работу приемников.

13. Расчет электрических цепей при наличии в них магнитно-связанных катушек.

В состав электрических цепей могут входить катушки, магнитно-связанные с другими катушками. Поток одной из них пронизывает другие и наводит в них ЭДС взаимоиндукции, которые должны быть учтены при расчете. При составлении уравнений для магнитно-связанных цепей необходимо знать, согласно или встречно направлены потоки самоиндукции и взаимоиндукции.

14. Последовательное соединение двух магнитно-связанных катушек.

Возможны два случая включения: согласное и встречное. **При согласном включении** магнитный поток самоиндукции совпадает по направлению с магнитным потоком взаимной индукции другой катушки. Это будет при одинаковых направлениях токов относительно одноименных зажимов. Направление магнитного потока определяют по правилу буравчика или правой руки. **При встречном включении** магнитные потоки самоиндукции и взаимной индукции направлены противоположно. Это будет, если токи ориентированы относительно зажимов по-разному. **Уравнение электромагнитного состояния** в дифф. форме **при согласном включении**: 

Уравнение электромагнитного состояния в дифф. форме при встречном включении:



15. Определение взаимной индуктивности опытным путем

**Первый способ**. Проделаем два опыта. В первом включим катушки последовательно и согласовано. Измерим ток и напряжение на выходе и активную мощность цепи. Во втором те же катушки включим *I, U, P*. По результатам измерений найдем:  и . Разность , следовательно .

**Второй способ**. Подключим первую катушку к источнику синусоидальной ЭДС через амперметр, а к зажимам второй катушки присоединим вольтметр с большим внутренним сопротивлением. Измерим ток *I1* и напряжение *U2*. Мгновенное значение напряжение . Его действующее значение . Следовательно, 

16. «Развязывание» магнитно-связанных цепей.

Метод состоит в том, что исходную схему с магнито-связанными индуктивностями путем введения дополнительных и изменения величины имевшихся преобразовывают так, что магнитная связь между всеми индуктивностями в преобразованной схеме будет отсутствовать. Такие преобразования осуществляются на основе составленных по законам Кирхгофа уравнений для исходной схемы, то вновь полученная и исходная схема будут эквивалентны, а расчет схемы после развязывания упрощается за счет возможности применения метода узловых потенциалов.