Методы расчета электрических цепей при установившемся синусоидальном токе.

**Лекция №5.**

Цель лекции №5:

Ознакомившись с лекцией №5 по теории электрических цепей студент должен знать:

1. Причины и условия возникновения явления самоиндукции.
2. Различать согласное и встречное включение двух катушек.
3. Формулы полного комплексного сопротивления цепи, содержащей две катушки с индуктивной связью при их согласном и встречном включении.
4. Записывать второй закон Кирхгофа для согласного и встречного включения двух катушек с индуктивной связью.
5. Строить векторную диаграмму при последовательном включениидвух катушек с индуктивной связью.
6. Записывать систему уравнений по законам Кирхгофа при параллельном включении двух индуктивно связанных катушек.
7. Понимать что такое и для чего применяется развязка индуктивной связи.
8. Изображать схему замещения линейного трансформатора и записывать трансформаторные уравнения.

**5.1 РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ**

**5.1.1 Индуктивная связь. Э.Д.С. взаимной индукции. Взаимная индуктивность. Коэффициент связи**

Электрические цепи называются *связанными*, если процессы в них влияют друг на друга. Это влияние может осуществляться посредствам общего электрического или магнитного поля. В последнем случае цепи называются *индуктивно связанными*.



Рисунок *5.1* Две катушки индуктивности , намотанные на общий сердечник.

При изменении тока *i1* в катушке 1 (рис.5.1) происходит изменение магнитного поля. Часть магнитных силовых линий этого поля, пересекая витки катушки 2, наводит в ней Э.Д.С. самоиндукцииeM2:

 (5.1)

Где *Ф12*– магнитный поток второй катушки, возникающий при протекании тока в 1-ой катушке;

ω2 – количество витков второй катушки;

Ψ12– потокосцепление взаимной индукции, пропорциональное току первой катушки:

 (5.2)

*М* – коэффициент пропорциональности, называемый взаимной индуктивностью. Единицей измерения взаимной индуктивности является 1 генри (Г).

Взаимная индуктивность *M* – абсолютная величина, и по ней трудно судить о степени взаимного влияния катушек друг на друга.

Для оценки степени связи катушек пользуются относительной величиной – *коэффициентом связиk*, который определяется как среднее геометрическое из отношения потокосцепления взаимной индукции к потокосцеплениям самоиндукции.

.

Коэффициент *k* может принимать значения в пределах от 0 до 1. При  между катушками не существует индуктивной связи, при  – поток одной катушки полностью охватывает витки второй катушки , Коэффициент связи *k* зависит от:

– расстояния между катушками,

– взаимной ориентации катушек в пространстве,

– магнитных свойств среды, в которой расположены катушки.

|  |
| --- |
|  |
|  |

Направление тока и вызванного им магнитного потока связаны по правилу правого винта. Следовательно, ток будет вызвать поток , направленной влево. Ток  будет вызывать магнитный поток , также направленный влево.

Зажимы индуктивно связанных катушек, одинаковое направление токов относительно которых, вызывает одинаковое направление потоков, называются *одноименными*. На электрических схемах цепей одноименные зажимы катушек принято обозначать жирными точками или звездочками (рис. 5.1).

## 5.1.2 Последовательное соединение индуктивно связанных катушек при согласном включении

Рассмотрим две индуктивно связанные катушки, соединенные последовательно (рис. 5.2). Каждая из катушек обладает индуктивностью и и активным сопротивлением проводника из которого катушка изготовлена  и . Индуктивная связь на электрической схеме указана двусторонней стрелкой и взаимной индуктивностью .

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 5.2 Последовательное согласное включение двух катушек |

Одноименные зажимы катушек обозначены жирными точками и расположены так, что протекающий под воздействием напряжения  ток  вызывает в катушках одинаковое направление потоков. Поэтому включение называется *согласным*.

Второй закон Кирхгофа в комплексной форме для последовательного согласного включения катушек имеет вид:

.

Перепишем это уравнение следующим образом:

.

Выражение в квадратных скобках является *полным комплексным сопротивлением* двух последовательно соединенных индуктивно связанных катушек при согласном включении

.

Выражение в круглых скобках называется *полной индуктивностью* двух последовательно соединенных индуктивно связанных катушек при согласном включении

.

Очевидно, что, где Z–полное сопротивление двух последовательно соединенных катушек без индуктивной связи

.

## 5.1.3 Последовательное соединение индуктивно связанных катушек

## при встречном включении

Рассмотрим две последовательно включенные индуктивно связанные катушки (рис. 5.3). Каждая из катушек обладает индуктивностью и и активным сопротивлением проводника из которого катушка изготовлена и . Индуктивная связь на электрической схеме указана двусторонней стрелкой и взаимной индуктивностью *M*.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 5.3 Последовательное встречное включение двух катушек |

Одноименные зажимы катушек обозначены жирными точками. Ток направлен к одноименному зажиму первой катушки и от одноименного зажима второй катушки. Следовательно, магнитные потоки катушек будут направлены навстречу друг другу. Поэтому такое включение называется *встречным*.

Второй закон Кирхгофа в комплексной форме при последовательном встречном включении двух катушек имеет вид

.

Перепишем это уравнение следующим образом:

.

Выражение в квадратных скобках является полным комплексным сопротивлением двух последовательно соединенных индуктивно связанных катушек при встречном включении.

Выражение в круглых скобках называется полной индуктивностью двух последовательно соединенных индуктивно связанных катушек при встречном включении

.

Очевидно, что, где Z– полное сопротивление двух последовательно соединенных катушек без индуктивной связи.

**5.1.4 Параллельное соединение индуктивно связанных катушек**

Рассмотрим параллельное соединение индуктивно связанных катушек (рис. 5.4).

|  |
| --- |
|  |

Рис. 5.4 Параллельное включение двух магнитосвязанных катушек

Запишем уравнения по второму закону Кирхгофа в комплексной форме для каждой из ветвей цепи:



Знак «+» перед слагаемым  соответствует согласному включению, знак «–» соответствует встречному включению.

Введем обозначения

, , ,

и перепишем последнюю систему уравнений в виде:



Определим из этих уравнений токи в ветвях

;

.

Тогда ток в неразветвленной части схемы определится по первому закону Кирхгофа:

.

Из последнего соотношения определим входное сопротивление параллельного соединения индуктивно связанных катушек:

.

При отсутствии индуктивной связи, т.е. при входное сопротивление преобразуется к известному выражению .

Расчет разветвленных вервей при наличии взаимной индуктивности можно вести по уравнениям, составленным по первому и второму законам Кирхгофа или методом контурных токов. Метод узловых потенциалов непосредственно не применим. Объясняется это тем, что ток в ветви зависит не только от разности потенциалов на зажимах ветви и от Э.Д.С., находящихся в ветви, но и от токов других ветвей с которым рассматриваемая ветвь индуктивно связана.

Ограниченное применение находит метод эквивалентного генератора. Его можно применить в том случае, если ветвь, в которой требуется определить ток, индуктивно не связана с другими ветвями.

В противном случае исключение этой ветви привело бы к потере индуктивной связи.

## 5.1.5 Развязка индуктивных связей

Выше было сказано, что не все методы пригодны для расчета индуктивно связанных цепей. Анализ и расчет цепи упрощается, если часть цепи, содержащую индуктивные связи заменить эквивалентной схемой без индуктивных связей. Эта замена называется развязкой индуктивных связей.

Рассмотрим часть цепи с индуктивной связью(рис. 5.5).

|  |
| --- |
|  |

Рис. 5.5 Две катушки с индуктивной связью.

Запишем для нее уравнения в комплексной форме



Где знак «+» перед  соответствует согласному включению индуктивностей, а знак «–» встречному. Выразив из первого уравнения ток  и подставив в выражение для, получим

,

а выразиви подставив в , получим:

.

Полученные уравнения для и  соответствует электрическая цепь, изображенная на рис. 5.6.

|  |
| --- |
|  |

Рис. 5.6 Две катушки, связанные только электрически

В цепи на рис. 5.6 отсутствует индуктивная связь.При этом в схеме замещения изменились величины индуктивностей катушек, и появился дополнительный элемент. Верхний знак перед соответствует согласному включению, а нижний знак – встречному включению индуктивностей. Для расчета цепи, преобразованной таким образом, можно использовать любые методы расчета цепей без ограничения.

**5.2 ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР**

Трансформатор – слово латинского происхождения и переводится как «преобразователь». Этим определяется его назначение. Трансформатор служит для преобразования переменного напряжения, когда требуется изменить величину напряжения или осуществить передачу электрической энергии между контурами лишенными гальванической связи.

Конструктивно трансформатор представляет собой две или несколько индуктивно связных катушек, называемых обмотками трансформатора. Обмотки трансформатора могут быть помещены на общий ферромагнитный сердечник. Однако сердечник может отсутствовать. Тогда трансформатор называется воздушным трансформатором или трансформатором без сердечника.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 5.7 Схема замещения линейного трансформатора |

Рассмотрим простейший воздушный трансформатор, состоящий из 2–х обмоток. Такие трансформаторы находят широкое применение в устройствах работающих на высоких частотах, например в радиоприемных устройствах. Схема трансформатора представлена на рис. 5.7.

Обмотка трансформатора, подключаемая к источнику переменного напряжения, называется первичной. На рис. 5.7 она представлена индуктивностью  и активным сопротивлением проводника , из которого она изготовлена. Вторичная обмотка, к которой подключается нагрузка , представлена индуктивностью  и активным сопротивлением . Между обмотками трансформатора имеется индуктивная связь, характеризуемая взаимной индуктивностью .

Уравнение по второму закону Кирхгофа для первичной и вторичной цепи трансформатора запишутся в виде:

 (5.3)

Уравнения 5.3, составленные по второму закону Кирхгофа для обоих контуров трансформатора, называются *трансформаторными уравнениями*.

Входное сопротивление трансформатора определяется по следующей формуле:

.

Входное сопротивление трансформатора представлено в виде последовательного соединения двух активных и двух реактивных сопротивлений. Входное сопротивление трансформатора может быть изображено в виде двухполюсника на рис. 5.8.

|  |
| --- |
|  |
|  |

Рисунок 5.8 Одноконтурная схема замещения трансформатора с использованием понятия «вносимое сопротивление»

Где – активное сопротивление, вносимое из вторичной цепи в первичную цепь.

– реактивное сопротивление, вносимое в первичную цепь из вторичной.

Следует заметить, что вносимое реактивное сопротивление имеет знак противоположный знаку собственного реактивного сопротивления вторичного контура .