Типовой расчет

« Разветвленная цепь синусоидального тока »

**Содержание работы**

**Часть первая**

При условии, что индуктивная связь между катушками индуктивности отсутствует:

1. определить токи во всех ветвях заданной схемы;
2. составить баланс активных и реактивных мощностей;
3. построить векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений;
4. построить на одном графике кривые мгновенных значений ЭДС е2 (t ) и тока i3 ( t ) ;
5. определить показание ваттметра.

**Часть вторая**

Учитывая взаимную индуктивность катушек и заданные значения коэффициентов связи:

1. определить все токи;
2. построить векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений.

**Методические указания**

1. Для всех схем е1 (t ) = Еm1 sin (ωt + ψe1) , e2 ( t ) = Еm2 sin (ωt + ψe2).
2. Вариант схемы совпадает с номером, под которым фамилия студента записана в журнале. Значения параметров схемы приведены в таблице 1 и выбираются в соответствии с номером группы.
3. Расчет требуемых величин (токов, напряжений, мощности и т. д.) следует выполнить символическим методом, для чего все исходные данные (ЭДС, емкостные и индуктивные сопротивления) записываются в виде комплексных величин.
4. При определении токов в первой части типового расчета можно использовать метод контурных токов или метод узловых потенциалов. Параллельное соединение емкостного и активного сопротивлений следует преобразовать в последовательное, а затем определить токи в каждой из параллельных ветвей.
5. Баланс активных и реактивных мощностей рассчитывается по формуле , где k – комплексное значение k-ой ЭДС, – комплексно сопряженный ток, протекающий через k-тый источник ЭДС,  – комплексное сопротивление ветви,– квадрат действующего значения тока, протекающего по ветви с сопротивлением . Произведение  записывается со знаком плюс, если направления  и  совпадают, в противном случае – со знаком минус.
6. При построении топографической диаграммы напряжений точки соединений всех элементов схемы обозначают цифрами или буквами и определяют их комплексные потенциалы, предварительно выбрав потенциал произвольной точки за нуль. Значения потенциалов откладывают на комплексной плоскости в выбранном масштабе. Напряжение между двумя точками схемы определяют, соединив на топографической диаграмме эти две точки и направив стрелку в точку первого индекса. Например, для нахождения напряжения f d стрелку направляют в точку **f.** Длина вектора fd соответствует действующему значению напряжения, а угол между вектором fd и осью абсцисс – начальной фазе напряжения. Для проверки правильности топографической диаграммы необходимо сравнить ориентацию напряжений на отдельных элементах с векторами токов, текущих через них. Так положительное напряжение на индуктивности опережает ток на , положительное напряжение на сопротивлении совпадает с током, положительное напряжение на емкости отстает от тока на . Под положительным напряжением понимают напряжение на элементе, определенное по направлению тока.
7. При определении показания ваттметра учитывают ориентацию тока и напряжения, на которые он включен, относительно зажимов, помеченных звездочками. Показание ваттметра определяется как реальная часть произведения комплексного напряжения , приложенного к зажимам ваттметра, на комплексно сопряженный ток  , протекающий через токовую обмотку ваттметра :  , где “+”, если  и  одинаково ориентированы относительно зажимов, помеченных звездочками; “*–*“, если и  не одинаково ориентированы относительно зажимов, помеченных звездочками. Показание ваттметра можно определить с помощью топографической диаграммы, для чего находят угол α между вектором тока , текущим через ваттметр, и приложенным к ваттметру напряжением . Тогда показание ваттметра равно .
8. При составлении уравнений в цепях с взаимной индуктивностью следует применять законы Кирхгофа или метод контурных токов. Знак комплексного напряжения взаимоиндукции k = jωMks s  на индуктивном элементе “k” определяется на основании сопоставления направления обхода индуктивного элемента “k” и направления тока в индуктивном элементе “s”. Если эти направления относительно одноименных зажимов в обоих элементах одинаковы, то напряжение берется со знаком “+”, в противном случае – со знаком “*–*“. Метод узловых потенциалов для расчета токов возможен только после развязки индуктивно связанных элементов.
9. На топографической диаграмме должны быть показаны векторы положительных напряжений на всех элементах схемы. На индуктивно связанных элементах напряжение должно быть разделено на составляющие: напряжение от тока, протекающего по индуктивному элементу, и напряжений, вносимых при протекании тока в индуктивно связанных элементах.

Таблица 1.

**Значения параметров схем**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ группы** | Em1, В | Em2, В | ψe1, град. | ψe2, град. | f , Гц | r1, Ом | r2, Ом | r3, Ом | L1, мГн | L2, мГн | L3, мГн | С1, мкФ | С2, мкФ | С3, мкФ | k1 2 | k1 3 | k2 3 |
| **1** | 141,4 | 565,7 | 45 | 0 | 50 | 3 | 4 | 5 | 9,55 | 12,7 | 19 | 39,8 | 31,8 | 26,5 | 0,6 | 0,7 | 0 |
| **2** | 282,8 | 141,4 | 0 | 30 | 500 | 4 | 3 | 3 | 0,95 | 1,27 | 1,9 | 39,8 | 31,8 | 26,5 | 0,7 | 0 | 0,6 |
| **3** | 565,7 | 70,7 | 60 | 0 | 900 | 2 | 5 | 3 | 0,48 | 0,63 | 0,95 | 20 | 16 | 13,3 | 0 | 0,6 | 0,7 |
| **4** | 70,7 | 141,4 | 0 | 45 | 50 | 5 | 4 | 3 | 12,7 | 9,55 | 19 | 31,8 | 26,5 | 39,8 | 0,6 | 0,7 | 0 |
| **5** | 282,8 | 70,7 | 30 | 0 | 500 | 3 | 3 | 4 | 1,9 | 0,95 | 1,27 | 31,8 | 39,8 | 26,5 | 0 | 0,6 | 0,7 |
| **6** | 141,4 | 282,8 | 45 | 0 | 900 | 5 | 2 | 3 | 0,63 | 0,95 | 0,48 | 16 | 13,3 | 20 | 0,6 | 0 | 0,7 |
| **7** | 70,7 | 565,7 | 0 | 60 | 50 | 4 | 3 | 4 | 19 | 9,55 | 19 | 26,5 | 39,8 | 31,8 | 0,7 | 0,6 | 0 |
| **8** | 565,7 | 70,7 | 0 | 30 | 500 | 2 | 5 | 5 | 0,95 | 1,9 | 1,27 | 39,8 | 26,5 | 31,8 | 0,6 | 0 | 0,7 |
| **9** | 141,4 | 282,8 | 60 | 0 | 900 | 3 | 2 | 3 | 0,48 | 0,63 | 0,95 | 13,3 | 20 | 16 | 0 | 0,7 | 0,6 |
| **10** | 70,7 | 565,7 | 30 | 0 | 50 | 4 | 3 | 2 | 19,1 | 12,7 | 9,55 | 265 | 39,8 | 31,8 | 0,6 | 0 | 0,7 |
| **11** | 282,8 | 141,4 | 0 | 45 | 500 | 5 | 4 | 3 | 1,27 | 1,91 | 0,95 | 39,8 | 26,5 | 31,8 | 0,7 | 0,6 | 0 |
| **12** | 565,7 | 141,4 | 45 | 0 | 900 | 6 | 3 | 4 | 0,63 | 0,95 | 0,95 | 20 | 16 | 13,3 | 0 | 0,7 | 0,6 |
| **13** | 141,4 | 282,8 | 0 | 30 | 50 | 2 | 8 | 3 | 9,55 | 12,7 | 19 | 39,8 | 26,5 | 31,8 | 0,7 | 0 | 0,6 |
| **14** | 70,7 | 141,4 | 30 | 0 | 500 | 3 | 5 | 2 | 1,9 | 0,95 | 1,27 | 31,8 | 26,5 | 39,8 | 0,6 | 0,7 | 0 |
| **15** | 282,8 | 565,7 | 0 | 60 | 900 | 3 | 4 | 3 | 0,63 | 0,95 | 0,48 | 16 | 13,3 | 20 | 0 | 0,6 | 0,7 |
| **16** | 141,4 | 565,7 | 0 | 30 | 50 | 2 | 5 | 4 | 12,7 | 9,55 | 19 | 26,5 | 31,8 | 39,8 | 0,6 | 0 | 0,7 |
| **17** | 70,7 | 565,7 | 60 | 45 | 500 | 3 | 4 | 5 | 1,9 | 0,95 | 0,48 | 26,5 | 39,8 | 31,8 | 0,7 | 0,6 | 0 |

**Варианты схем**

|  |  |
| --- | --- |
| 1  r2  e1  e2  L1  L2  L3  r1  C1  r3  C3 | 2  r2  r1  e1  e2  L1  L2  L3  r3  C3  C1  C2 |
| 3  r1  e1  e2  L1  L2  L3  r2  C2  C1  r3 | 4  r2  r1  e1  e2  L1  L2  L3  r3  C3  C1  r3 |
| 5  r2  r1  e1  e2  L1  L2  L3  r3  C3  C2 | 6  r2  e1  e2  L1  L2  L3  r1  C1  C2  C3 |

|  |  |
| --- | --- |
| 7  r1  e1  e2  L1  L2  L3  r2  C2  r3  C3 | 8  r2  r1  e1  e2  L1  L2  L3  r3  C3  C1 |
| 9  r2  e1  e2  L1  L2  L3  r1  C1  C2  r3 | 10  r2  r1  e1  e2  L1  L2  L3  r3  C3  C2  C1 |
| 11  r2  e1  e2  L1  L2  L3  r1  C1  r3  C3 | 12  L1  L2  L3  r3  C3  L1  L2  L3  r2  C2  r1  e1  e2  r3  C3  C1 |

|  |  |
| --- | --- |
| 13  r2  e1  e2  L1  L2  L3  r3  C3  C1  C2 | 14  e1  e2  L1  L2  L3  r1  C1  r3  C3  r2  C2 |
| 15  e1  e2  L1  L2  L3  r1  C1  r2  C2  C3 | 16  e1  e2  L1  L2  L3  r1  r3  C3  C1  r2 |
| 17  e1  e2  L1  L2  L3  r2  C2  r1  r3 | 18  e1  e2  L1  L2  L3  r1  r3  C3  r2  C2 |

|  |  |
| --- | --- |
| 19  e1  e2  L1  L2  L3  r1  C1  r3  C3  r2  C2 | 20  e1  e2  L1  L2  L3  r1  r3  C3  r2  C2  C1 |
| 21  e1  e2  L1  L2  L3  r1  r3  C3  C2  r2 | 22  e1  e2  L1  L2  L3  r2  C2  C1  C3 |
| 23  e1  e2  L1  L2  L3  r2  C2  r3  C3  C1 | 24  e1  e2  L1  L2  L3  r3  C3  C1  r2 |

|  |  |
| --- | --- |
| 25  e1  e2  L1  L2  L3  r1  C2  r2  C1  r3 | 26  e1  e2  L1  L2  L3  r1  r3  C3  r2  C2  C1 |
| 27  e1  e2  L1  L2  L3  r1  r3  C3  C1  C2 | 28  e1  e2  L1  L2  L3  r1  C1  r3  C3  r2  C2 |
| 29  e1  e2  L1  L2  L3  r2  C2  r1  r3  C1 | 30  e1  e2  L1  L2  L3  r1  C1  r3  C3  r2  C2 |

Пример выполнения расчета

Схема рассчитываемой цепи изображена на рис. 1. Ее параметры имеют

L3

Рис. 1

L1

e1

e2

r1

r3

C3

r2

C2

L2

M12

M23

L3

следующие значения:

*f =* 500 Гц ;

e1 (t ) = 339,4 *sin* (ωt + 60o ) , В ;

e2 (t ) = 396 *sin* ωt , В ;

r1 = 20 Ом ; r2 = 24 Ом ; r3 = 16 Ом ;

L1 = 10 мГн ; L2 = 8 мГн ; L3 = 4 мГн ;

C2 = 30 мкФ ; C3 = 10 мкФ ;

k12 = 0,4 ; k23 = 0 ; k23 = 0,6 .

# Определим значение угловой частоты

# ω = 2 π *f* = 2 ∙ 3,14 ∙ 500 =3140 с-1.

# Вычислим значения сопротивлений элементов схемы: индуктивных XL, емкостных XC, взаимно-индуктивных XM:

# X= ω L= 3140 ∙ 10 ∙ 10-3 = 31,4 Ом;

# X= ω L= 3140 ∙ 8 ∙ 10-3 = 24,8 Ом;

# X= ω L= 3140 ∙ 4 ∙ 10-3 = 12,4 Ом;

## 



Запишем сопротивления ветвей :

****

****

, где



****

Запишем е1( t ) и е2 ( t ) в комплексной форме:





**1. Расчет электрической цепи при отсутствии индуктивных связей**

***1) Определение токов***

**2**

Рис. 2

**0**











**1**













В схеме (рис. 2) три ветви и два узла, обозначенные **0** и **1**. Выберем произвольно направления токов в ветвях. Вычислим токи, применив методы контурных токов и узловых потенциалов. Для данной схемы оба метода почти равноценны.

*а) Метод контурных токов*

Выберем два независимых контура: левый и правый. В каждом контуре произвольно выберем направление контурного тока. Составим систему уравнений:



Подставим в нее известные численные значения:



Отсюда значения контурных токов и токов в ветвях:



### Проверим правильность полученных токов. По второму закону Кирхгофа для левого контура должно выполняться равенство . Подставив известные числовые значения, получим



. Таким образом .

*б) Метод узловых потенциалов*

Потенциал узла **0** примем равным нулю. Уравнение для определения комплексного потенциала узла **1** имеет вид:

, где 

 

 Определим токи в ветвях по закону Ома:







Проверим правильность расчетов, используя первый закон Кирхгофа:

 

Определим токи в ветвях с элементами r3 иC3, для чего найдем напряжение на параллельных ветвях с r3 и C3.







***2) Баланс активных и реактивных мощностей***

Запишем уравнение баланса мощностей для заданной схемы

 , где правая часть уравнения – комплексные мощности источников ЭДС, левая часть уравнения – комплексные мощности приемников.



 

 Рпр=2236 Вт; 

  Допустима ошибка до 3% .

***3) Векторная диаграмма токов и топографическая диаграмма напряжений***

Обозначим на схеме (рис. 3) точки соединения элементов и найдем потенциалы этих точек , приняв  Из предыдущих расчетов известны следующие значения:

r2

r1





L1

L2

L3

r3

C3

C2











**0**



**1**

**4**

**3**

**5**

**6**

**7**

**2**

Рис. 3



Определим потенциалы остальных точек.

, откуда 







Направление осей (вещественной – Re , мнимой – Im) комплексной плоскости показано на рис. 4. Векторы токов и точки потенциалов можно строить либо по их вещественным и мнимым частям, либо по модулям и начальным фазам (с помощью транспортира). Масштаб для тока выбран mi = 1, для напряжения – mu= 20. Например, чтобы получить точку **6**, соответствующую потенциалу , откладываем по вещественной оси отрезок 16,12 см (322,4 В), а по мнимой – отрезок 2,33 см (46,64 В). Соединив две любые точки на топографической диаграмме, получим искомые напряжения:  ;

**0**

**1**

**3**

**6**

**7**

**2**

Re

Im

5

5

-5

10

10

15

0









**5**

**4**

Рис. 4



 – направление этого вектора совпадает с вектором тока ;  – вектор опережает вектор тока  на 90°;  – вектор совпадает с вектором тока  и отстает от вектора тока  на 90°;

 – вектор опережает вектор тока  на 90°;

 – вектор опережает вектор тока  на 90°;

– вектор совпадает с вектором тока ;

 – вектор отстает от вектора тока  на 90°;

.

Стрелка искомого напряжения всегда направлена в точку первого индекса.

***4) Показание ваттметра***

Ваттметр (рис. 3) измеряет активную мощность:

, где





***5) График мгновенных значений  и ***



Рис. 5

0.5

1.0

1.5

t, мс

-0.5

e1 (t)

i3 (t)

На рис. 5 по оси абсцисс выбран масштаб m0 = 20 град / см. Тогда целому периоду будет соответствовать отрезок lТ = 360\20 = 18см. Этот же отрезок будет соответствовать времени T = 1/*f =* 1/500 = 0,002 с = 2 мс. Амплитуда ЭДС , выбираем масштаб . Амплитуда тока , выбираем масштаб  .

**2. Расчет электрической цепи при наличии взаимной индуктивности.**

**2**

Рис. 6

**0**



r2

r1





L1

L2

L3

r3

C3

C2











**1**

**4**

**3**

**5**

**6**

**7**

M23

M12





**2**

**1) *Определение токов***

Для расчета используем метод контурных токов. Произвольно выбираем контуры и направления контурных токов в них (рис. 6). Параллельное соединение элементов  и  заменим комплексным сопротивлением .

Правила определения комплексного напряжения взаимоиндукции изложены в пункте 8 методических указаний к данному типовому расчету.

Система уравнений по методу контурных токов имеет вид:



 - напряжение взаимоиндукции на элементе от тока ,в элементе L2 **,** - напряжение взаимоиндукции на элементе от тока в элементе L2,  - напряжение взаимоиндукции на элементе от тока в элементе L1,  - напряжения взаимоиндукции на элементе L2 от токов и в элементе L3, - напряжение взаимоиндукции на элементе  от тока в элементе L2.После преобразования уравнения имеют вид:



Подставим известные численные значения :



Получим значения контурных токов: 

Определим токи в ветвях:

 



Для проверки точности полученных значений токов используем уравнение по второму закону Кирхгофа для левого контура. Направление обхода контура выберем по часовой стрелке: . После подстановки известных численных величин получим равенство: 121+j207,45 120+j 207,8.

Определим токи в параллельных элементах  и :



***2) Векторная диаграмма токов и топографическая диаграмма напряжений***

Точки соединения элементов обозначим на схеме так же, как в первой части расчета. Потенциал точки **0** примем нулевым: . Потенциалы точек **4** и **7** известны:  

Потенциалы остальных точек определим по формулам:











Выберем масштабы для токов и напряжений : mi=1 А/см , mU=20 В/см. Построение векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений производится так же, как в первой части расчета (рис. 7).

**0**

5

-5

10











0

5

10

15

**1**

**7**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

****

****

****

****

Re

Im

Рис. 7

Соединив две любые точки на топографической диаграмме, получим искомые напряжения :

 ;  

 , где

 и опережает по фазе вектор тока I2 на 900,

 и опережает по фазе вектор тока I1 на 900,

 и опережает по фазе вектор тока I3 на 900;

 ;

 , где

 и опережает по фазе вектор тока  на 90°,

 и опережает по фазе вектор тока  на 90°;

; ;

 , где

 и опережает по фазе вектор тока  на 90°,

 и опережает вектор тока  на 90°.

**Контрольные вопросы**

1. Какими величинами характеризуется синусоидальный ток?
2. Каковы основы комплексного метода расчета электрической цепи синусоидального тока?
3. Как определить  параллельно соединенных элементов r и C или r и L?
4. Какие методы расчета применимы в цепях синусоидального тока?
5. Что такое векторная и топографическая диаграммы?
6. Как рассчитать активную и реактивную мощности источника ЭДС?
7. Как составить уравнение баланса мощностей?
8. Как определить показание ваттметра с помощью топографической диаграммы?
9. Как в расчетах учитывается наличие магнитных связей между индуктивными катушками?
10. Как определить величину взаимной индуктивности М по заданному коэффициенту индуктивной связи двух катушек?