Домашнее задание №2 «Расчет переходных процессов в цепях первого порядка»

*Необходимо:* а) скомпоновать схему согласно своему варианту; б) найти мгновенное значение величин, указанных в табл., классическим методом расчета; в) найти мгновенное значение величин, указанных в табл., операторным методом расчета; д) представить найденные величины графиками на интервале времени [-τ, 4·τ].

Выполнить анализ переходного процесса в цепи первого порядка. Структура электрической цепи изображена на рисунке 2.1 в обобщённом виде.

*Е*

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**8**

**9**

**10**

*i*1

*i*2

*i*3

*u*1

*u*2

*u*3

*u*4

*u*5

*u*6

*u*7

*u*9

*u*10

*u*8

Рис. 2.1

Перед расчётом необходимо составить схему цепи, воспользовавшись информацией таблиц 2.1.1…2.1.4. Ключ в цепи расположен последовательно или параллельно одному из элементов, и до коммутации он находится замкнутом (З) или разомкнутом (Р) состоянии.

Рекомендованным преподавателем методом требуется определить и построить в интервале времени 0…4τ [c] заданные кривые *ik*(*t*), *um*(*t).*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вари-  ант | Элементы  *E*[В], *R*[Ом], *L*[Гн], *C*[Ф] | Искомые величины | Расположе-  ние ключа | Ключ  при *t<0* |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 20 | *E*=115; *R*1=*R*4=*R*5=*R*7=*R*8=1050; *C*9=2⋅10−5 | *i*3 (*t*), *u*5 (*t*) | Параллельно*R*5 | Р |

Домашнее задание №3 «Расчет цепей синусоидального тока»

Исходная схема находится на стр.65, а параметры к ней на стр.69 (табл.3.2.4). *Необходимо:* а) скомпоновать схему согласно своему варианту; б) найти мгновенное значение всех токов, напряжений и источника ЭДС методом комплексных амплитуд; в) построить векторные диаграммы для любого контура и любого узла.

**ЗАДАНИЕ 3.2**

Анализу подлежит электрическая цепь, варианты схем которой формально изображены на трех рисунках.

Рис. 1 Рис. 2 Рис. 3

3

1

2

5

4

*i*1

*i*2

*i*3

*u*1

*u*2

*u*3

*u*4

*u*5

*e*

3

1

2

5

4

*i*1

*i*2

*i*3

*u*1

*u*2

*u*3

*u*4

*u*5

*e*

3

1

2

5

4

*i*1

*i*2

*i*3

*u*1

*u*2

*u*3

*u*4

*u*5

*e*

Перед расчетом необходимо составить схему предложенного преподавателем варианта (параметры элементов указаны в таблицах 3.2.1…3.2.4). В качестве примера показана схема тридцатого варианта из таблицы 3.2.1. Второго элемента в таблице нет и на схеме он заменён перемычкой.

***i***1 = 23,18sin(400*t*+29,7°) A

Рекомендуется не изменять нумерацию элементов, токов и напряжений.

*C*4  1250 мкФ

*R*1  7 Ом

*L*3

10 мГн

*C*5

1250 мкФ

*e*

*i2*

*i3*

1. Рассчитать мгновенные значения ЭДС источника, токов в ветвях и напряжений на элементах.
2. Определить активную, реактивную и полную мощности.
3. Построить векторную диаграмму токов и напряжений для амплитудных значений величин.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Схема | Элементы ветвей  *R* [Ом], *L*[мГн], *C*[мкФ] | Заданная величина  *i* [A]; *e,u* [B] |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 20 | 2 | *L*1=12,5, *R*2=4, *C*3=625, *L*5=12,5 | *e*=38sin(400*t*) |

Домашнее задание №4 «Расчет цепей с несинусоидальными источниками энергии»

Исходная схема находится на стр.83, а параметры к ней на стр. 75-77 и 90-91 (табл.4.4). *Необходимо:* а) скомпоновать схему согласно своему варианту; б) найти действующее и мгновенное значения величины, указанной в табл., используя первые пять слагаемых несинусоидального источника энергии.

**ЗАДАНИЕ 4**

Для заданной схемы электрической цепи, структура которой представлена на рис 1 или 2 и параметрами из таблиц 4.1…4.4, выполнить:

1. представить заданную функцию источника ЭДС или тока рядом Фурье, ограничив число членов ряда постоянной составляющей и тремя первыми гармониками.
2. построить графики спектров амплитуд и начальных фаз заданного источника.
3. определить функцию  - напряжение  или ток  на нагрузке, используя метод расчета по комплексным значениям;
4. построить графики спектральных составляющих для напряжения (тока) на нагрузке.
5. определить действующее значение напряжения (тока) на нагрузке и мощность, рассеиваемую на нагрузке.

**2**

**5**

**1**

**3**

**4**

**6**

**7**

*J*вх

*i*н

*u*н

**2**

**5**

**1**

**3**

**4**

**6**

*e*вх

Рис.1 Рис.2

Перед расчетом в соответствии с вариантом задания необходимо составить электрическую схему цепи, заменив элементы структуры элементами *R, L* и *C*. В качестве примера составим схему варианта 29 таблицы 4.1

*e*вх

*С*1=50⋅10-6 Ф

*L*5=0,025 Гн

*L*2=0,025 Гн

*R*3

100 Ом

*R*6

100 Ом

*u*н

Размещаем в первой ветви элемент *C*, в ветвях 2 и 5 элементы *L*, в ветвях 3 и 6 элементы *R*. Индексы элементов соответствуют номерам ветвей. Отсутствующий четвертый элемент структуры заменяем перемычкой.

Рис. 3

Указываем значения сопротивления, емкости и индуктивности элементов. В результате мы получаем схему, представленную на рис 3.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Рисунок  схемы | Параметры источника  Тип Форма  *F*м [A,B]ω1[1/c] | | | | *f*Н(ωt) |
| 20 | 2 | ЭДС | 1 | *E*м=70В | 2000 | *u*н(ωt) |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Рисунок схемы | Параметры элементов *R*[Ом]*, L*[мГн]*, C*[мкФ]  Н о м е р а в е т в е й  1 2 3 4 5 6 7 | | | | | | |
| 20 | 2 | *L*=4 | - | *C=*5 | *L=*4 | - | *R=*26 |  |

# 4. Расчет электрических цепей несинусоидального периодического тока

*Методические рекомендации по выполнению задания*

В электрических цепях несинусоидальный ток может присутствовать в двух случаях:

* при действии источников несинусоидального напряжения или тока;
* вследствие нелинейности элементов электрической цепи.

***1. Способы представления несинусоидальных функций***

При расчете цепей несинусоидального переменного тока используется разложение периодических функций в одну из форм гармонического ряда Фурье. Если функция с периодом *T* представлена суммой *мгновенных значений гармонических колебаний* различных частот , где *k*=1, 2, … порядковый номер гармоники, то ряд Фурье записывают в следующем виде



где  – постоянная составляющая функции , равная ее среднему за период *Т* значению;

 и  – коэффициенты ряда Фурье, соответствующие амплитудам гармоник квадратурных составляющих;

 – *амплитуда* *k*-ой гармоники;

 *– начальная фаза* *k*-ой гармоники.

Зависимости  и  от порядкового номера *k*-ой гармоники (или от ее частоты ) принято называть амплитудным и фазовыми спектрами колебания соответственно. Для периодических несинусоидальных колебаний амплитудный и фазовые спектры имеют дискретный характер, а расстояние по оси частот между смежными спектральными линиями равно . Теоретически ряд Фурье содержит бесконечное число членов, однако в большинстве практических случаев этот ряд достаточно быстро сходится, и при расчетах можно ограничиться сравнительно небольшим числом гармоник.

***2. Энергетические характеристики несинусоидального тока***

При расчете энергетических характеристик в цепях несинусоидального периодического тока используют следующие величины:

* действующие значения напряжения *U* и тока *I*;
* среднюю мощность *Р*;
* реактивную *Q* и полную *S* мощности, а также
* мощность искажений *D*, коэффициент искажений и мощности ,;

*Действующие значения напряжения и тока* определяют как геометрическую сумму действующих значений отдельных гармоник





где  **–** действующее значение *k*-ой гармоники напряжения;

 **–** действующее значение *k*-ой гармоники тока;

 **–** постоянные составляющие напряжения и тока, соответственно.

*Среднюю мощность* несинусоидального тока определяют как сумму мощностей отдельных гармоник

,

где  – средняя мощность *k*-ой гармоники тока;

 – мощность постоянного тока.

*Полную мощность* несинусоидального тока определяют аналогично полной мощности синусоидального тока по формуле *S=UI.*

По аналогии с синусоидальным током вводится понятие *реактивной мощности* ,

где  – реактивная мощность *k*-ой гармоники тока;

В отличие от синусоидального тока полная мощность *S* оказывается больше геометрической суммы средней и реактивной мощностей

***3. Расчет цепей несинусоидального переменного тока***

При негармонических воздействиях алгоритм расчета цепи может быть следующим:

1. периодическое негармоническое воздействие представляют в виде суммы *гармонических сигналов*, используя ряд Фурье;
2. ограничивают бесконечный ряд Фурье *некоторым числом гармоник*, учитывая при этом, что мощность каждой последующей гармоники убывает пропорционально квадрату ее амплитуды;
3. выполняют расчет цепи для каждой отдельной гармоники напряжения или тока, учитывая при этом, что структура цепи сохраняется, а *сопротивления и проводимости реактивных элементов изменяются* с изменением частоты гармоники;
4. результирующую реакцию цепи находят при помощи метода наложения путем сложения реакций для отдельных гармоник воздействия.

В табл. 1. приведены некоторые типовые функции и их разложения в ряд Фурье. Графики этих функций приведены на рис. 4.1. При этом приняты следующие обозначения: .



**Таблица 4.1. *Ряды Фурье для несинусоидальных функций рис. 4.1. [[1]](#footnote-1)\****

|  |  |
| --- | --- |
| № графика функции. | Разложение функции  в ряд Фурье |
| 1 | 2 |
| 1 |  |
| 2 |  |
| 3 |  |
| 4 |  |
| 5 |  |
| 6 |  |
| 7 |  |
| 8 |  |
| 9 |  |
| 1 | 2 |
| 10 |  |
| 11 |  |
| 12 |  |
| 13 |  |
| 14 |  |
| 15 |  |
| 16 |  |
| 17 |  |
| 18 |  |
| 19 |  |
| **20** |  |
| 21 |  |
| 22 |  |
| 23 |  |
| 1 | 2 |
| 24 |  |
| 25 |  |
| 26 |  |
| 27 |  |
| 28 |  |

Следует помнить, что для расчетов данные функции нужно привести к виду:



Приведение осуществляется следующим образом:



ЗАДАЧА 4

*Дано:* К электрической цепи, схема которой приводится ниже, приложено несинусоидальное периодическое напряжение, форма которого также показана. Параметры цепи имеют следующие значения:  [Ом];  [Гн];  [мкФ]; [В];  [рад/с].

*Требуется выполнить следующие операции:*

1. представить напряжение источника *f*(*x*)=*e*(ω*t*) рядом Фурье, ограничив число членов ряда постоянной составляющей и тремя первыми гармониками.
2. построить графики спектров амплитуд и начальных фаз заданного источника.
3. определить напряжение на нагрузке , используя метод расчета по комплексным значениям;
4. построить графики спектральных составляющих для напряжения (тока) на нагрузке.
5. определить действующее значение напряжения (тока) на нагрузке и мощность, рассеиваемую в ней.

*e*(*t*)

*R*н

**

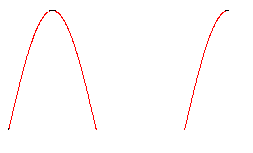




**

*R*2

**



2π

π

ω*t*

*E*M

*e*(*t*)

0

*а*) *б*)

Схема цепи (*а*) и форма входного напряжения (*б*) к примеру

*Решение*

**1.** Воспользуемся данными табл. 1 (функция ) и представим напряжение источника в виде ряда Фурье, ограниченного постоянной составляющей и тремя первыми гармониками



**2.** Построим графики спектров амплитуд и начальных фаз напряжения источника, которые изображены на рис. 4.3 *а*, *б*. При построении графиков используем масштаб, при котором одно деление по оси ординат соответствует 10 В, а по оси абсцисс – 100 Гц.

*E*0

*Emk*

*Em*1

*Em*2

3

*Em*4

0 ω1 2ω1 3ω1 4ω1 ω

60

50

40

30

20

10

ψ*ek*

–30o

–60o

–90o

ψ*e*2

ψ*e*24

0 ω1 2ω1 3ω1 4ω1 ω

ω

*а*) *б*)

Рис. 4.3. Спектры амплитуд (*а*) и фаз (*б*) входного сигнала к примеру

**3.** Теперь выполним расчет напряжения на нагрузке, используя для этого метод комплексных амплитуд.

*Для постоянной составляющей* напряжения на нагрузке, используя схему замещения, приведенную на рис. 4.4 *а*, получим следующее значение

 [В].

При выполнении этого расчета учтено, что на постоянном токе индуктивности ,  нужно заменить перемычками, а емкость  – разрывом цепи, как показано ниже на рисунке. Ток в нагрузке определим по закону Ома

 [А].

При расчете напряжения на нагрузке для гармоник ЭДС *e*(*t*) источника можно пользоваться схемой замещения, приведенной на рис 4.4 *б.* На этой схеме все элементы цепи заменены их комплексными сопротивлениями, которые имеют двойные индексы. Первый индекс соответствует порядковому номеру ветви, а второй – номеру гармоники. Комплексные значения токов в ветвях определим по формулам



где  – эквивалентное комплексное сопротивление цепи для *k*-ой гармоники напряжения источника;



в которых учтено, что ток  делится в ветвях схемы на два тока, которые обратно пропорциональны сопротивлениям ветвей.

*E*0

*R*н





*R*2

°

°

*I*0

0

**

*R*н

**





**

**

**

**

**

*а*) *б*

Рис. 4.4. Схемы для расчета постоянной (*а*) и переменных (*б*) составляющих напряжения на нагрузке

*Для первой гармоники,* пользуясь схемой замещения, получим напряжения на нагрузке

[В]; [Ом]; [Ом]; [Ом] – сопротивления цепи для первой гармоники напряжения источника.

Комплексная амплитуда тока первой гармоники источника имеет значение

[А]

Этот ток делится обратно пропорционально сопротивлениям параллельно включенных ветвей  и , поэтому ток в нагрузке

[А]

Комплексное значение напряжения на нагрузке определим по закону Ома

[В]

Полученное значение позволяет записать мгновенное значение первой гармоники напряжения на нагрузке

 [В]

*Вторую гармонику* напряжения на нагрузке определим, используя в схеме замещения рис. 4.4 *б* сопротивления цепи и напряжение источника для второй гармоники

[В]; [Ом]; [Ом]; [Ом].

Значение комплексной амплитуды тока второй гармоники в цепи источника напряжения найдем по закону Ома

[А]

Комплексную амплитуду тока второй гармоники в нагрузке *R*н найдем аналогично току первой гармоники путем деления тока источника обратно пропорционально сопротивлениям параллельно включенных ветвей

[А]

Комплексное значение напряжения второй гармоники на нагрузке найдем с помощью закона Ома

[В]

Полученное значение позволяет записать мгновенное значение второй гармоники напряжения на нагрузке

 [В]

Определение напряжения *четвертой гармоники* выполним аналогично расчету напряжения второй гармоники. Сопротивления цепи и напряжение источника для четвертой гармоники имеют значения

В; [Ом]; [Ом]; [Ом].

Комплексную амплитуду тока четвертой гармоники определим по закону Ома

[А]

Используя ток четвертой гармоники в ветви с источником напряжения, рассчитаем ток в нагрузке

[А]

Комплексное значение четвертой гармоники напряжения на нагрузке определим по закону Ома

[В]

Мгновенное значение второй гармоники напряжения на нагрузке определим по формуле

 [В]

Результирующее напряжение на нагрузке найдем путем суммирования отдельных составляющих, рассчитанных выше



Представим графики ЭДС источника *e*(*t*) и напряжения нагрузки 

0

0.02

0.04

0.06

0.08

0.1

0.12

0.14

0.16

20

0

20

40

60

80

100

*t,*c

*e*вх(*t*)

*u*н(*t*)

*e,u*н*,* В

Рис. 4.5. Графики входного напряжения и напряжения на нагрузке

**4.** Построим графики спектральных составляющих напряжения на нагрузке, используя полученное выше мгновенное значение напряжения. Эти графики показывают, что электрическая цепь, включенная между источником и нагрузкой, оказывает определенное сглаживающее действие: амплитуды спектральных составляющих уменьшаются по мере увеличения частоты. Кроме этого, заметно существенное запаздывание сигнала по отношению к напряжению источника.

*U*Н0

,В

*Um*н1

*Um*н2

3

*Um*н4

0 100 200 300 400 ω

50

40

30

20

10

*Umk*

ψ*ek*

ψ*e*2

ψ*e*4

100 200 300 400 ω

ω, рад/с

ψ*e*1

–100o

–200o

Рис. 4.6. Амплитудный (*а*) и фазовый (*б*) спектры напряжения на нагрузке

**5.** Определим действующее значение напряжения на нагрузке и среднюю мощность, рассеиваемую в ней. Действующее напряжение на нагрузке можно рассчитать по формуле:



где =31,80 В – постоянная составляющая напряжения на нагрузке;

 В – действующее значение напряжения первой гармоники;

 В – действующее значение напряжения второй гармоники;

 В – действующее значение напряжения четвертой гармоники.

Средняя мощность несинусоидального тока определяется по формуле:



где  Вт – мощность постоянной составляющей тока;

 Вт – средняя мощность первой гармоники тока;

 Вт – средняя мощность второй гармоники тока;

 Вт – средняя мощность четвертой гармоники тока.

Из полученных выражений следует, что средняя мощность почти полностью определяется постоянной составляющей и первой гармоникой тока. Вклад высших гармоник весьма незначителен и составляет всего 1,6% от полной мощности, рассеиваемой в нагрузке.

1. \* В таблице приведены разложение в ряд Фурье типовых функций, графики которых приведены на рисунке. При этом приняты следующие обозначения: . [↑](#footnote-ref-1)