Курсовая работа

Расчет переходных процессов в четырех проводной

трехфазной цепи

Зарисовать заданную схему трёхфазной цепи (рис. 1) c параметрами, приведенными в таблице 1. Параметры цепи из таблицы 1 записать в таблицу 2.

Определить переходные токи (*i*A, *i*В, *i*С), переходные фазные напряжения нагрузки (*u*a, *u*b, *u*c), переходное напряжение на конденсаторе *u*C и катушке индуктивности *u*L при обрыве нейтрального провода в несимметричной трехфазной цепи.

Построить график свободной составляющей переходного тока через индуктивность *i*L.св и свободной составляющей переходного фазного напряжения в ветви с конденсатором *u*C.св.

*Таблица 1*

**Параметры цепи**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| NВар. | Cхема | Em, B | ψА, гр. | R, Ом | L, мГн | C, мкФ | NВар. | Схема | Em, B | ψА, гр. | R, Ом | L, мГн | C, мкФ |
| 1 | 1 | 100 | 30 | 5 | 30 | 150 | 16 | 13 | 610 | 95 | 21 | 50 | 100 |
| 2 | 2 | 120 | 40 | 10 | 32 | 170 | 17 | 14 | 620 | 100 | 24 | 60 | 310 |
| 3 | 3 | 130 | 50 | 15 | 34 | 180 | 18 | 15 | 50 | 95 | 8 | 62 | 315 |
| 4 | 4 | 140 | 60 | 20 | 36 | 450 | 19 | 16 | 55 | 85 | 12 | 64 | 314 |
| 5 | 5 | 150 | 70 | 25 | 38 | 500 | 20 | 1 | 60 | 75 | 14 | 66 | 318 |
| 6 | 6 | 160 | 80 | 30 | 50 | 100 | 21 | 2 | 65 | 65 | 16 | 68 | 320 |
| 7 | 7 | 170 | 90 | 35 | 55 | 120 | 22 | 3 | 70 | 55 | 18 | 70 | 340 |
| 8 | 8 | 180 | 100 | 40 | 65 | 140 | 23 | 4 | 75 | 45 | 19 | 75 | 360 |
| 9 | 9 | 190 | 110 | 45 | 75 | 160 | 24 | 5 | 80 | 35 | 20 | 72 | 370 |
| 10 | 10 | 200 | 120 | 50 | 85 | 300 | 25 | 6 | 85 | 25 | 7 | 77 | 380 |
| 11 | 11 | 210 | 130 | 55 | 95 | 350 | 26 | 7 | 90 | 15 | 9 | 79 | 390 |
| 12 | 12 | 220 | 140 | 60 | 100 | 400 | 27 | 8 | 95 | –20 | 11 | 81 | 400 |
| 13 | 13 | 230 | 150 | 55 | 110 | 450 | 28 | 9 | 100 | –25 | 13 | 31 | 150 |
| 14 | 14 | 240 | 160 | 40 | 100 | 500 | 29 | 10 | 105 | –35 | 15 | 35 | 155 |
| 15 | 15 | 250 | 170 | 35 | 95 | 550 | 30 | 11 | 110 | –45 | 17 | 37 | 160 |

 *Таблица 2*

**Результаты расчета**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *N* варианта | Схема | Em, B | ψА, гр. | R, Ом | L, мГн | C, мкФ |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  *i*A(*t*) =*i*B(*t*) =*i*C(*t*) =*u*C(*t*) =*u*L(*t*) = | *i*Lсв(*t*) = *u*Cсв(*t*) = |

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

7.

#### R

#### R

*L*

*C*

*i*nN

*N*

# a

# b

# n

# c

*R*

*R*

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

7.

#### R

*L*

*C*

*i*nN

*N*

# a

# b

# n

# c

*R*

*R*

#### R

*L*

*i*nN

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

8.

*R*

*C*

*N*

# a

# b

# n

# c

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

5.

#### R

*C*

*i*nN

# N

# a

# b

# n

# c

*L*

*R*

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

6.

*R*

*L*

*i*nN

# N

# a

# b

# n

# c

*C*

*R*

*C*

# c

# n

# b

# a

# N

*i*Nn

*L*

#### R

*i*C

# С

*е*С

*i*B

# В

# А

*е*В

4.

#### R

*е*А

*i*A

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

3.

#### R

*L*

*C*

*i*Nn

# N

# a

# b

# n

# c

*R*

*R*

#### R

*е*А

2.

*R*

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

*L*

*C*

*i*Nn

# N

*C*

# a

# b

# c

# n

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

1.

#### R

*L*

*C*

*i*Nn

# N

# a

# b

# c

# n

*R*

*е*А

9.

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

#### R

#### R

*L*

*C*

*i*nN

# N

# a

# b

# n

# c

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

10.

#### R

#### R

#### R

*L*

*C*

*i*nN

# N

# a

# b

# n

# c

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

11.

#### R

#### R

*L*

*C*

*i*Nn

# N

# a

# b

# n

# c

*е*А

12.

#### R

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

#### R

*L*

*C*

*i*Nn

# N

# a

# b

# n

# c

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

14.

#### R

#### R

*L*

*C*

*i*nN

# N

# a

# b

# n

# c

*е*А

13.

#### R

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

#### L

*R*

*C*

*i*Nn

# N

# a

# b

# n

# c

#### R

*R*

*i*A

*е*А

#### R

15.

*е*В

# А

# В

*i*B

*е*С

# С

*i*C

#### R

*L*

*i*Nn

# N

# a

# b

# n

# c

*C*

*е*А

*е*В

# А

# В

*i*A

*i*B

*е*С

# С

*i*C

16.

#### R

#### R

*L*

*C*

*i*Nn

# N

# a

# b

# n

# c

*R*

Рис. 1. **Заданные схемы цепи**

Расчет переходных процессов в четырех проводной

трехфазной цепи (пример расчета)

Зарисовать заданную схему трёхфазной цепи (рис. 1) c параметрами, приведенными в таблице 1. Параметры цепи из таблицы 1 записать в таблицу 2.

Определить переходные токи (*i*A, *i*В, *i*С), переходные фазные напряжения нагрузки (*u*a, *u*b, *u*c), переходное напряжение на конденсаторе *u*C и катушке индуктивности *u*L при обрыве нейтрального провода в несимметричной трехфазной цепи.

Построить график свободной составляющей переходного тока через индуктивность *i*L.св и свободной составляющей переходного фазного напряжения в ветви с конденсатором *u*C.св.

**Пример.** Даны параметры элементов цепи: *R*a; *R*в; *R*c; *С*; *L*.

ЭДС фазы *А* 

 *n*

 *е*А

 *е*B

 *A*

 *B*

 *C*

 *C*

 *R*а

 *R*b

 *R*c

 *L*

 *a*

 *b*

 c

 *N*

 *е*C

 *i*А

 *i*B

 *i*C

 *i*nN

 *u*C

 *u*L

 *N*

Рис. 1. **Заданная схема трехфазной цепи**

 *Решение.*

1. Изображаем схему цепи при *t* > 0.

 *U*c

 *n*

 *е*А

 *е*B

 *A*

 *B*

 *C*

 *C*

 *R*а

 *R*b

 *R*c

 *L*

 *a*

 *b*

 c

 *е*C

 *i*А

 *i*B

 *i*C

 *u*a

 *u*L

 *i*11

 *i*22

 *N*

 *u*b

 *u*c

Рис. 2. **Cхема цепи в период переходных процессов**

Расчет переходных параметров можно провести путем решения трех уравнений по законам Кирхгофа (здесь ток конденсатора ):

 + *i*В + *i*С = 0;

 

Решение уравнений найдем как сумму установившихся и свободных составляющих переходных параметров:

*i*A*= i*A.у *+ i*A.св, *i*B*= i*B.у *+ i*B.св, *i*C*= i*C.у *+ i*C.св;

*u*a *= u*a.у*+ u*a.св, *u*b *= u*b.у*+ u*b.св, *u*C *= u*C.у*+ u*C.св, *u*L *= u*L.у*+ u*L.св.

**2.** Определим параметры цепи в установившемся режиме при *t* ≥ 0 (ключ разомкнут) одним из трех методов.

***Метод непосредственного применения законов Кирхгофа***

 Составляем уравнения по законам Кирхгофа для комплексных амплитуд токов и напряжений:

*I*mA.у + *I*mB.у + *I*mC.у = 0;

*I*mA.у*Z*a – *I*mB.у*Z*b = *E*mA – *E*mB;

*I*mB.у *R*b – *I*mC.у*Z*C = *E*mB – *E*mC.

***По методу контурных токов***

*I*m11.у (*Z*a + *R*b) – *I*m22.у*Z*b = *E*mA – *E*mB;

– *I*m11.у*R*b + *I*m22.у(*Z*c + *R*b)= *E*mB – *E*mC.

*I*mA.у = *I*m11.у; *I*mB.у = *I*m22.у – *I*m11.у; *I*mС.у = –*I*m2 .у.

***По методу узловых потенциалов***





Во всех равенствах комплексные параметры равны:



Результат решения ― комплексные амплитуды токов:

*I*m.A.у = *I*m.A.у ejΨA.у; *I*m.В.у = *I*m.B.у ejΨB.у; *I*m.С.у = *I*mC.у ejΨC.у.

Установившиеся мгновенные токи:

 Установившиеся фазные напряжения;







Установившееся напряжение на конденсаторе:

*U*C.m.у= *I*m.A.у ( ̶ *jX*C) = *U*C.m.уejΨu.C.у

Мгновенное напряжение на емкости 

Установившееся напряжение на катушке индуктивности:



**3.** Определяем свободные составляющие токов и напряжений в соответствии со схемой цепи на рис. 3.

**3.1.** Составляем уравнения по законам Кирхгофа — однородные дифференциальные уравнения 2-го порядка:

 *C*

 *n*

 *A*

 *B*

 *C*

 *R*а

 *R*b

 *R*c

 *L*

 *a*

 *b*

 c

 *i*Асв

 *i*Bсв

 *i*Cсв

 *u*C.св

 *u*Lсв

 *N*

 *u*a.св

 *u*b.св

 *u*c.св

 + *i*В.св + *i*С.св = 0;

 

**3.2.** Cоставляем характеристиче-

ское уравнение, записав формулу комп-

лексного входного сопротивления цепи Рис. 3. **Схема для расчета** **свободных**

по отношению, например, к ветви фазы *А*, **составляющих переходных параметров**

а затемсделав в нем замену *j*ω → *p* и приравняв полученное равенство нулю:

 

После преобразования получим квадратное уравнение *p*2 + *bp* + *c* = 0.

Решая полученное квадратное уравнение, найдем его корни:



Если корни характеристического уравнения будут действительными числами *р*1 ≠ *р*2 < 0, свободные составляющие будут представлять собой функции вида *f*св = *А*1ep1t + *А*2ep2t, где коэффициенты *А*1 и *А*2 — постоянные интегрирования.

При равных действительных числах *р*1 = *р*2 = *р* < 0 свободные составляющие имеют вид функции *f*св = (*А*1 + *А*2*t*)ept.

При комплексно сопряженных корнях *p*1,2 = ̶ δ ± *j*ωсв значения свободных токов и напряжений записываются в следующем виде:



Здесь амплитуды *F*m, и начальные фазы ψсв, являются неизвестными постоянными интегрирования.

Во всех случаях постоянные интегрирования определяются по начальным условиям ― значениям токов и напряжений в момент коммутации и значениям производных от токов и напряжений, которые можно найти по законам коммутации и из исходной системы уравнений при *t* = 0.

**3.2.** Определяем начальные условия.

Так как в каждой формуле для переходных параметров неизвестных два, для их определения необходимо иметь два уравнения. Второе уравнение можно получить путем дифференцирования первого.

Рассмотрим определение постоянных интегрирования для случая комплексно сопряженных корней.

Для тока фазы *С* получим систему уравнений:





Для напряжения на конденсаторе:

Для определения соответственно токов *i*А, *i*В и напряжения *u*L составим аналогично уравнения:



****



Запишем эти уравнения при *t* = 0:

1) 

2) 

3) 

4) 

 5) 

Таким образом, постоянные интегрирования ― амплитуды и начальные фазы, определяются путем решения соответствующих пар уравнений при условии определения значений пар параметров в момент коммутации (при *t* = 0).

Прежде всего следует определить независимые начальные условия, т.е. *i*С.св(0) = *i*L.св(0) и *u*С.св(0) по законам коммутации.

В момент коммутации (*t* = 0) справедливы следующие выражения:



где 

Для определения начальных значений *u*С(0) и *i*С(0) следует рассчитать эти параметры до коммутации из расчета четырех проводной трехфазной цепи (см. рис. 1 ― ключ замкнут).

**3.3.** Расчет схемы цепи до коммутации комплексным методом (*U*nN = 0).



Комплексное напряжение на конденсаторе 

Мгновенные значения параметров до коммутации:



При *t* = 0 найдем:

 

Далее находим значения 

**3.4.** Для определения зависимых начальных условий, т.е. значений *i*А.св(0), *i*.B.св(0) и *u*L.св(0), а также значений производных ,,и , запишем исходную систему однородных дифференциальных уравнений при *t* = 0 (см. рис. 3), в которой значения *u*С.св(0) и *i*С.св(0) известны:



Получили три уравнения с тремя неизвестными, в результате решения которых найдем значения *i*А.св(0), *i*B.св(0) и *u*L.св(0).

Производную  найдем из равенства , откуда 

Учитывая, что ток через конденсатор , найдем значение 

Таким образом, постоянные интегрирования *U*m.C и ΨuC , *I*m.C и Ψ iC, найдем из решения следующих систем уравнений:

1) 

2).

Найдем зависимые начальные условия .

Для их определения продифференцируем исходную систему уравнений и запишем ее при *t* = 0 (здесь значения и найдены ранее):





Из решения системы трех уравнений с тремя неизвестными найдем искомые значения производных .

**4.** Определение свободных составляющих переходных параметров.

Решая первую систему уравнений, найдем:

 Далее определяется

Таким образом, нашли: 

Переходное напряжение на конденсаторе:



Таким образом, решая аналогично системы уравнений 2), 3), 4) и 5) найдем постоянные интегрирования для токов *I*m.A и Ψi.A, *I*m.B и Ψi.B, *I*m.С и Ψi.С и напряжения на катушке *U*m.L и ΨuL (см. выше). Определим свободные составляющие остальных переходных параметров ― *i*А.св, *i*B.св, *i*С.св и *u*L.св.

Затем запишем переходные параметры как суммы установившихся и свободных составляющих.

**Примечание:**

1. Если корни характеристического уравнения *р*1 ≠ *р*2 < 0, для определения постоянных интегрирования *А*1 и *А*2 для каждого *k*-го переходного параметра (тока, напряжения) составляетсяпара уравненийпри *t* = 0 вида *f*св(0) = *А*1 + *А*2 и 

Тогда решение, например, для напряжения на конденсаторе, запишется в виде выражения а для тока

2. Если корни характеристического уравнения одинаковые *р*1 = *р*2 = *р* , для определения постоянных интегрирования *А*1 и *А*2 для каждого *k*-го переходного параметра (тока, напряжения) составляетсяпара уравненийпри *t* = 0 вида вида *f*св(0) = *А*1 и 

Решения записывается в следующем виде:





Свободные составляющие переходных фазных напряжений на нагрузке можно определить в соответствии с законом Ома:

*u*a.св = *i*A.св*R*a + *u*C.св; *u*b.св = *i*B.св*R*b ; *u*c.св = *i*C.св*R*c + *u*L.св.

Затем записать формулы этих напряжений как суммы установившихся и свободных составляющих.

**5.** Построение графиков переходных параметров.

Графики переходных параметров могут быть построены с помощью компьютерной стандартной программы либо получены экспериментально с помощью программы EWB.