Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

«Минский государственный колледж электроники»

Специальность

**2-41 01 02 Микро- и наноэлектронные технологии и системы**

**Учебный предмет**

**«Теоретические основы электротехники»**

**Курсовой проект**

**Проектирование интегральной микросхемы логического элемента на многоэмиттерном транзисторе**

**Пояснительная записка**

КП057МНЭ.016404.081 ПЗ

**Разработал Р.П. Масленко**

**Руководитель Л.Н. Семенова**

**Оценка:**

**2022**

Содержание

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | | | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | Проектирование интегральной микросхемы логического элемента на многоэмиттерном транзисторе  Пояснительная записка | Лит. | | | Масса | | Масштаб |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |  |  |  |  | |  |
| Разраб. | | Масленко Р.П. |  |  |
| Провер. | | Семенова Л.Н. |  |  |
| Т. Контр. | |  |  |  | Лист 2 | | | | Листов 25 | |
| Реценз. | |  |  |  | МГКЭ | | | | | |
| Н. Контр. | | Семенова Л.Н. |  |  |
| Утверд. | |  |  |  |

Введение……………………………………………………………………………….3

1 Анализ задания на проектирование. Принцип работы устройства ...................4

1.1 Обоснование и выбор реализации устройства………………………….............5

2.1 Выбор способа реализации ИМС………………………………………………..7

2.2 Выбор изоляции ИМС...........................................................................................11

2.3 Выбор структуры подложки…………………………….………………………12

3 Расчет параметров элементов.......................................………………................13

3.1 Расчет биполярного транзистора......……………………………………………14

3.2 Расчет полупроводникового резистора.........................................……………..16

3.3 Расчет полупроводникового диода.................………………………………….17

4 Составление схемы коммутации устройства.........................................……...19

5 Проектирование топологии микросхемы с учетом конструктивно-технологических ограничений.................................................................................хх

6 Выполнение эскиза топологии микросхемы.....................................................хх

7 Проведение проверочных расчетов устройства...............................................хх

8 Выбор окончательного варианта топологии микросхемы..............................хх

9 Выполнение топологического чертежа микросхемы.......................................хх

10 Выполнение чертежей видов на соответствующие слои.................................хх

11 Выбор корпуса микросхемы...............................................................................хх

12 Выполнение сборочного чертежа микросхемы................................................хх

13 Разработка технологической карты изготовления микросхемы.....................хх

Заключение…………………………………………………………………………..24

Список использованных источников………………………………………………25

Введение

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 3 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Интегральная микросхема (ИМС) — это конструктивно законченное микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования и обработки сигналов (информации), содержащее большое число электрически связанных между собой электрорадиоэлементов (транзисторов, диодов, конденсаторов, резисторов и т.д.), изготовленных в едином технологическом процессе. Микросхемы изготавливают групповым методом, одновременно в одной партии может быть от нескольких десятков до нескольких тысяч микросхем.

По конструктивно-технологическому принципу микросхемы делят на три группы: полупроводниковые, пленочные и гибридные.

В полупроводниковых микросхемах основой являются кристаллы полупроводника. Все элементы микросхемы — диоды, транзисторы, резисторы и соединения между ними — выполняют в объеме и на поверхности кристалла в процессе одного технологического цикла. Микросхема может содержать от десятков до тысячи элементов. По типу применяемых транзисторов полупроводниковые ИМС подразделяют на биполярные и МОП.

В пленочной интегральной микросхеме все элементы и соединения между ними выполняются в виде различных пленок, нанесенных на поверхность диэлектрической подложки. В настоящее время методом пленочной технологии изготавливают только пассивные компоненты — резисторы, конденсаторы и индуктивности, а также проводники. Так, если нужно создать резистор, то напыляется полоска металла. Для создания конденсатора на участок основания наносится слой проводника, потом диэлектрика, затем снова проводника и т.д.

В зависимости от толщины пленки и способа создания элементов пленочные микросхемы делят на тонко- и толстопленочные. К первому типу относятся микросхемы с толщиной пленки более 1 мкм, а толщина пленки в толстопленочной микросхеме составляет 10...70 мкм.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 4 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

В гибридных интегральных схемах в качестве активных элементов используют навесные дискретные полупроводниковые приборы или полупроводниковые ИМС, а в качестве пассивных элементов — пленочные резисторы, конденсаторы, индуктивности и соединяющие их пленочные проводники.

Для защиты от внешних воздействий ИМС помещают в герметичные металлические или пластмассовые корпуса. Корпус микросхемы имеет внешние выводы для монтажа и маркировку. По размерам и объему корпус значительно превосходит саму микросхему.

По функциональному назначению и характеру выполняемых операций интегральные микросхемы делятся на аналоговые и цифровые.

Аналоговые микросхемы применяют в качестве усилителей, генераторов, стабилизаторов тока и напряжения и других устройств, которые работают с сигналами в виде непрерывных функций.

Цифровые интегральные микросхемы предназначены для преобразования и обработки дискретных сигналов (сигналов в виде последовательности импульсов). Они используются в вычислительной технике, автоматике, бытовой радиоэлектронной аппаратуре.

Показателем сложности микросхемы является степень интеграции К, которая характеризует число содержащихся в ней элементов и компонентов N (К= lg АО, К округляют до ближайшего большего целого числа.

По степени интеграции ИМС делятся на:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 5 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

* малые интегральные схемы (МИС) — имеют степень интеграции 1 и 2, в состав которых входят один или несколько видов функциональных аналоговых или логических элементов (логические элементы И, ИЛИ, НЕ, триггеры, усилители, фильтры и т.д.);
* средние интегральные схемы (СИС) — это схемы со степенью интеграции 1 и 2, в состав которых входят один или несколько одинаковых функциональных узлов электронных устройств (регистр, дешифратор, счетчик, постоянно запоминающее устройство);
* большие интегральные схемы (БИС) — это схемы со степенью интеграции 3, 4, в состав которых входят один или несколько функциональных устройств (арифметико-логическое устройство, оперативное запоминающее устройство и т.д.);
* сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) — это интегральные схемы со степенью интеграции 5—7, представляющие собой законченные микроэлектронные изделия, способные выполнять функции аппаратуры (однокристальные ЭВМ, микропроцессоры).

1 Анализ задания на проектирование. Принцип работы устройства

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 6 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

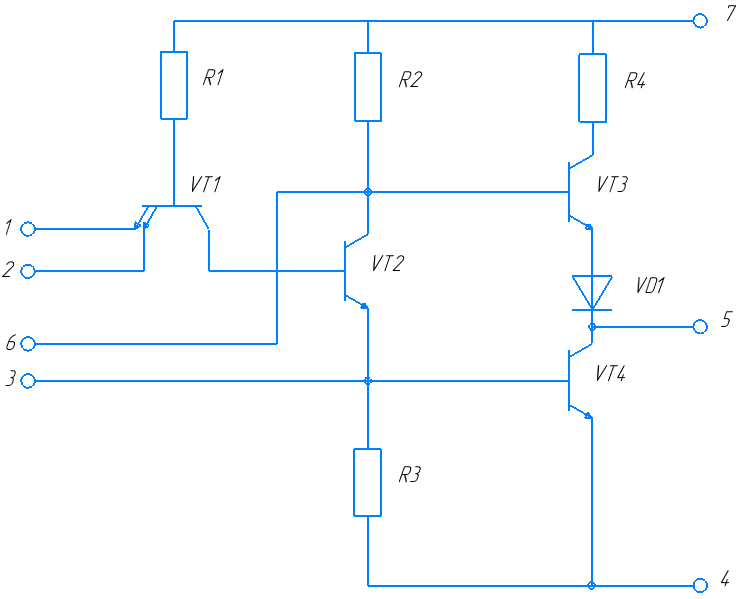


Рисунок 1. Схема электрическая принципиальная. Логический элемент на многоэмиттерном транзисторе

1.1 Метод узловых и контурных уравнений:

Метод узловых и контурных уравнений основан на применении первого и второго законов Кирхгофа. Он не требует никаких преобразований схемы и пригоден для расчета любой цепи.

При расчете данным методом произвольно задаем направление токов в ветвях.

Составляем систему уравнений. В системе должно быть шесть уравнений (в = 6). Сначала составляем уравнения для узлов по первому закону Кирхгофа. Для цепи с *у* узлами можно составить ( *у* -1 ) независимых уравнений. В нашей цепи четыре узла ( A, B, C, D ), значит, число уравнений: 3. Составляем три уравнения для любых 3-х узлов, например, для узлов A, B и C.

В: I5 + I4 – I3 = 0

С: I1 + I2 – I5 = 0

А: I3 – I6 – I2 = 0

Всего в системе должно быть шесть уравнений. Три уже есть. Три недостающих составляем для линейно независимых контуров. Чтобы они были независимыми, в каждый следующий контур над включить хотя бы одну ветвь, не входящую в предыдущие.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 5 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Задаемся обходом каждого контура и составляем уравнения по второму закону Кирхгофа.

Контур ADBA, обход против часовой стрелки:

E3 = I3R3 + I6R6 + I4R4

Контур BDCB, обход против часовой стрелки:

0 = I1R1 + I5R5 – I4R4

Контур ADCA, обход против часовой стрелки:

E2 = I2R2 – I1R1 – I6R6

ЭДС в контуре берется со знаком «плюс», если направление ЭДС совпадает с обходом контура, если не совпадает – со знаком «минус».

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 6 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Падение напряжения на сопротивлении контура берется со знаком «плюс», если направление тока в нем совпадает с обходом контура, со знаком «минус», если не совпадает.

Мы получили систему из шести уравнений с 6 неизвестными:

I5 + I4 – I3 = 0

I1 + I2 – I5 = 0

I3 – I6 – I2 = 0

E3 = I3R3 + I6R6 + I4R4

0 = I1R1 + I5R5 – I4R4

E2 = I2R2 – I1R1 – I6R6

Решив систему, определим величину и направление тока во всех ветвях системы.

Если при решении системы ток получается со знаком «минус», значит его действительное направление обратно тому направлению, которым мы задались.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 7 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

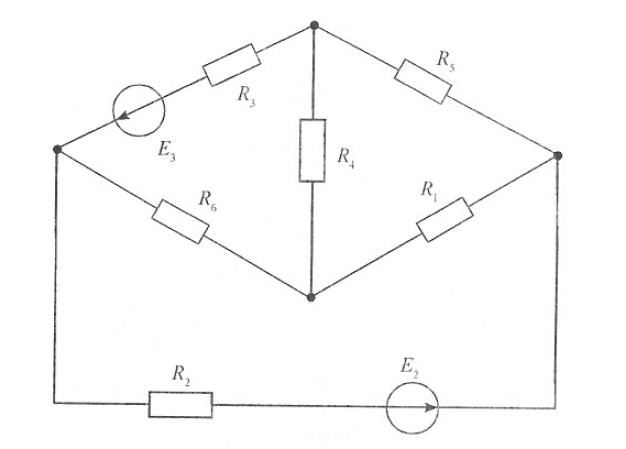
1.2 Метод контурных токов

Метод контурных токов основан на использовании только второго закона Кирхгофа. Это позволяет уменьшить число уравнений в системе на y – 1.

Достигается разделением схемы на ячейки и введением для каждого контура-ячейки своего тока — контурного тока, являющегося расчетной величиной.

Итак, в заданной цепи можно рассмотреть три контурные ячейки (BCAB, ACDA, BDAB) и ввести для них контурные токи I11,I22,I33.

Контуры-ячейки имеют ветвь, не входящую в другие контуры — это внешние цепи. В этих ветвях контурные токи являются действительными токами ветвей.



A

B

C

D

I3

I5

I4

I6

I1

I2

I11

I22

I33

Рисунок 2 – Схема для расчета электрической цепи методом контурных токов

Ветви, принадлежащие двум смежным контурам, называются смежными ветвями. В них действительный ток равен алгебраической сумме контурных токов смежных контуров, с учетом их направления.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа в левой части равенств алгебраически суммируются ЭДС источников, входящих в контур-ячейку, в правой части равенства алгебраически суммируются напряжения на сопротивлениях, входящих в этот контур, а также учитывается падение напряжения на сопротивлениях смежной ветви, определяемое по контурному току соседнего контура.

На основании вышеизложенного порядок расчета цепи методом контурных токов будет следующим:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 8 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

- стрелками указываем выбранные направления контурных токов I11, I22, I33 в контурах-ячейках. Направление обхода контуров принимаем таким же;

- составляем уравнение и решаем систему уравнений или методом подстановки, или с помощью определителей.

E3 = I11 (R6 + R4 + R3) – I22R4 – I33R6

0 = I22 (R1 + R5 + R4) – I11R4 – I33R1

E2 = I33 (R2 + R1 + R6) – I22R1 – I11R6

Подставляем в уравнение численные значения ЭДС и сопротивлений.

30 = I11 (10 + 10 + 6) – 10 I22 – 10 I33

0 = I22 (4 + 13 + 10) – 10 I11 – 4 I33

9 = I33 (8 + 4 + 10) – 4 I22 – 10 I11

Или

30 = 26 I11 – 10 I22 – 10 I33

0 = - 10 I11 + 27 I22 – 4 I33

9 = - 10 I11 – 4 I22 + 22 I33

Решим систему с помощью определителей. Вычислим определитель системы ∆ и частные определители ∆1, ∆2, ∆3.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 9 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

26 -10 -10

∆ = -10 27 -4 = 26 · 27 · 22 + (-4) · (-10) · (-10) + (-10) · (-4) · (-10) –

-10 -4 22

- (-10) · 27 · (-10) – (-10) · (-10) · 22 – (-4) · (-4) · 26 = 9328

9 -10 -10

∆1 = 0 27 -4 = 9 · 27 · 22 + 0 · (-4) · (-10) + (-10) · (-4) · 30 – (-10) · 27 · 30 -

30 -4 22

- (-10) · 0 · 22 – (-4) · (-4) · 9 = 14502

26 9 -10

∆2 = -10 0 -4 = 26 · 0 ·22 + (-10) · (-10) · 30 + (-4) · 9 · (-10) – (-10) · 0 ×

-10 30 22

× (-10) – 26 · 30 · (-4) – (-10) · 9 · 22 = 8460

26 -10 9

∆3 = -10 27 0 = 26 · 27 · 30 + (-10) · (-4) · 9 + (-10) · (-10) · 0 – 9 · 27 ×

-10 -4 30

× (-10) – (-10) · (-10) · 30 – 0 · (-4) · 26 = 20850

I11 = = = 1,555 А

I22 = = = 0,907 А

I33 = = = 2,235 А

Мы нашли токи I11, I22, I33 .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 10 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Далее найдём токи I1,I2,I3,I4,I5,I6

I1 = I22 – I33

I2 = I33

I3 = I11

I4 = I11 – I22

I5 = I22

I6 = I11 – I33

Вычислим токи:

I1 = 0,907 – 2,235 = –1,328 A

I2 = 2,235 A

I3 = 1,555 A

I4 = 1,555 – 0,907 = 0,648 A

I5 = 0,097 A

I6 = 1,555 – 2,235 = –0,68 A

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 11 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

1.3 Баланс мощностей

Источники E2 и E3 вырабатывают электрическую энергию, т.к. направление ЭДС и тока в ветвях с источниками совпадают. Баланс мощностей для заданной цепи запишется так:

Pист = Рпотр

Рассчитываем мощность источников:

Pист = E2 · I2 + E3 · I3

Pист = 30 · 2,235 + 9 · 1,555 = 81,045 Вт

Рассчитываем мощность потребителей:

Pпотр = I12· R1 + I22 · R2 + I32 · R3+ I42 · R4+ I52 · R5+ I62 · R6

Рпотр = (-1,328)2 · 4 + 2,2352 · 8 + 1,5552 · 6 + 0,6482 · 10 + 0,9072 · 13 +

+ (-0,68)2 · 10 = 81,042 Вт

С учетом погрешности расчетов баланс мощностей получился.

Результаты расчетов токов по пунктам 1.1 и 1.2 с учетом ошибок вычислений практически одинаков.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 12 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

1.4 Потенциальная диаграмма

Построим потенциальную диаграмму для любого замкнутого контура, включающего обе ЭДС,

Возьмем контур BACB. Зададимся обходом контура против часовой стрелки. Заземлим одну из точек контура, пусть это будет точка А. Потенциал этой точки равен φA = 0.

φА’=φA - I2 · R2

φC = φA’ + E2

φB = φC – I5 · R5

φB’ = φB – I3 · R3

φA = φB’ + E1

φA’ = 0 – 2,235 · 8 = –17,88 B

φC = –17,88 + 30 = 12,12 B

φB = 12,12 – 0,907 · 13 = 0,329 B

φB’ = 0,329 – 1,555 · 6 = -9,001 B

φA = –9,001 + 9 = -0,001 B – проверочная точка.

Строим потенциальную диаграмму. По оси абсцисс откладываем сопротивления контура в той последовательности, в которой производим обход контура, прикладывая сопротивления друг к другу, по оси ординат – потенциалы точек с учетом их знака.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | | | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | Потенциальная диаграмма | Лит. | | | Масса | | Масштаб |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |  | У |  |  | | 1:1 |
| Разраб. | | Масленко Р.П. |  |  |
| Провер. | | Тарасова Е.И. |  |  |
| Т. Контр. | |  |  |  | Лист 1 | | | | Листов 3 | |
| Реценз. | |  |  |  | МГКЭ | | | | | |
| Н. Контр. | | Тарасова Е.И. |  |  |
| Утверд. | |  |  |  |

1 2 3 4 5 6 7 8 9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

φ, В

14  
13  
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
0  
-1  
-2  
-3  
-4  
-5  
-6  
-7  
-8  
-9  
-10  
-11  
-12  
-13  
-14  
-15  
-16  
-17  
-18

А’

B

А

R, Ом

C

B’

А

2 Расчет линейной электрической цепи переменного тока

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 13 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Для электрической цепи, изображенной на рисунке 2.1 необходимо:

1. Рассчитать токи во всех ветвях цепи символическим методом;
2. Определить активную, реактивную и полную мощности цепи;
3. Построить топографическую диаграмму токов и напряжений.

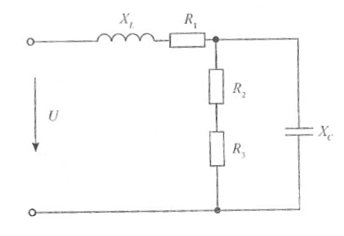
Исходные данные для выполнения расчета:

U = 160 В R1 = 15 Ом

L = 79,7 мГн R2 = 6 Ом

C = 318 мкФ R3 = 4 Ом

Частота синусоидального изменяющегося напряжения f = 50 Гц.



1

2

3

5

6

b

4

a

İ1

İ1

İ2

İ3

Рисунок 2.1 – Схема линейной однофазной цепи переменного тока

2.1 Расчет линейной однофазной электрической цепи переменного тока символическим методом.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 14 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

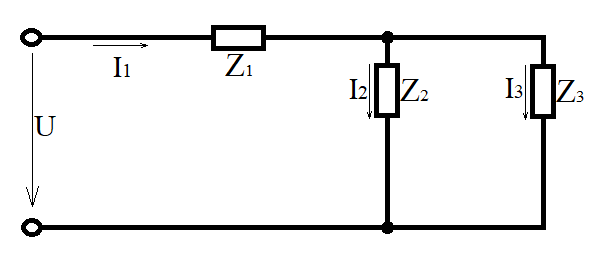


Рисунок 2.2 – Схема замещения

На рисунке 2.2 изображена схема замещения линейной цепи переменного тока

Рассчитаем реактивные сопротивления конденсатора и катушки индуктивности:

XL = 2 · 3,14 · 50 · 79,7 · 10-3 = 25 (Ом)

XС = 1 / (2 · 3,14 · 50 · 318 · 10-6) = 10 (Ом)

Рассчитаем сопротивления в ветвях цепи переменного тока (Z1, Z2, Z3):

Ẕ1 = R1 + XL

Ẕ2 = R2 + R3

Ẕ3 = XC

Ẕ1 = 15 + j 25 = (Ом)

Ẕ2 = 6 + 4 = 10 = 10 (Ом)

Ẕ3 = -j 10 = 10 (Ом)

Рассчитаем полное сопротивление цепи методом эквивалентных преобразований.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 15 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Комплексы сопротивлений для ветви (2,3).

Ẕ2,3 =

Ẕ2,3 =

Полное сопротивление цепи:

Ẕ1,2,3 = Ẕ1 + Ẕ2,3

Ẕ1,2,3 =

Рассчитаем напряжение в цепи и токи в ветвях:

Ů = U

Ů

İ = İ1 =

İ =

Ů2,3 = İ1  Z2,3

Ů2,3 = (В)

İ2 =

İ2 = (А)

İ3 = (А)

2.2 Определение активной, реактивной и полной мощностей цепи.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 16 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Рассчитаем мощности источника:

Определяем полную комплексную мощность цепи:

Ŝ = Ů · I\* = S

S =

Ŝ =

Sист = 905,12 ВА

Pист = 640, 017 Вт

Qист = -640,017 вар

Рассчитаем мощности потребителя:

Pпотр = P1 + P2 + P3 =

Pпотр =

Qпотр = QC - QL =

Qпотр =

Sпотр =

Sпотр =

2.3 Построение диаграммы токов и напряжений

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 17 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Рассчитаем напряжения на каждом элементе в цепи:

UR1 = I1 · R1 = 5,657 · 15 = 84,855 (В)

UR2 = I2 · R2 = 4 · 6 = 24 (В)

UR3 = I2 · R3 = 4 · 4 = 16 (В)

UXL = I1 · XL = 5,657 · 25 = 141,425 (B)

UXC = I3 · XC = 4 · 10 = 40 (B)

Для построения диаграммы возьмем масштаб 1:1.

Строим топографическую векторную диаграмму на комплексной плоскости. Выбираем масштаб: MI = 1 A/см; MU = 20 В/см. Определяем длины векторов токов и напряжений:

UR1 = 4,24 (см)

UR2 = 1,2 (см)

UR3 = 0,8 (см)

UXL = 7,07 (см)

UXC = 2 (см)

I1 = 5,657 (см)

I2 = I3 = 4 (см)

На комплексной плоскости в масштабе откладываем векторы токов в соответствии с расчетными значениями, при этом положительные фазовые углы отсчитываем от оси (+1) против часовой стрелки, а отрицательные – по часовой стрелке. Построение векторов напряжений ведем, соблюдая порядок расположения элементов цепи и ориентируя векторы напряжений относительно векторов тока: на активном сопротивлении ток и напряжение совпадают по фазе, на индуктивном элементе ток отстает от напряжения на 90°, а на емкостном сопротивлении ток опережает напряжение на 90°.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 18 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Обход начинаем от точки "2", потенциал которой принимаем за исходный (φ2 = 0). Точку "2" помещаем в начало координат комплексной плоскости. При переходе от точки "2" к точке "а" потенциал повышается на величину падения напряжения на сопротивлении R3. Вектор этого напряжения UR3 откладываем параллельно вектору тока I2 Конец вектора UR3 определяет потенциал точки "a". При переходе от точки "a" к точке "4" потенциал повышается на величину падения напряжения на сопротивлении R2. Конец вектора UR2 определяет потенциал точки "4". При переходе от точки "4" к точке "b" потенциал повышается на величину падения напряжения на сопротивлении R1. Вектор этого напряжения UR1 откладываем параллельно вектору тока I1. Конец вектора UR1 определяет потенциал точки "b". При переходе от точки "b" к точке "1" потенциал повышается на величину падения напряжения на индуктивном сопротивлении XL. Вектор этого напряжения UXL отстает по фазе вектор тока I1 на 90°. Конец вектора UXL определяет потенциал точки "1".

Аналогично строим векторы напряжений других участков цепи, сохраняя обход навстречу току. От точки "2" проводим вектор UXC под углом 90° к вектору I3, учитывая, что ток I3 параллелен по фазе с напряжение UXC, т.к. участок "5,6" содержит реактивное сопротивление ХC. Далее аналогично строим векторы напряжений, как делали ранее, сохраняя при этом обход навстречу току.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | | | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | Топографическая векторная диаграмма токов и напряжений однофазной цепи переменного тока | Лит. | | | Масса | | Масштаб |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |  | У |  |  | | 1:1 |
| Разраб. | | Масленко Р.П. |  |  |
| Провер. | | Тарасова Е.И. |  |  |
| Т. Контр. | |  |  |  | Лист 2 | | | | Листов 3 | |
| Реценз. | |  |  |  | МГКЭ | | | | | |
| Н. Контр. | | Тарасова Е.И. |  |  |
| Утверд. | |  |  |  |

I3

1

a

4

I2

I1

b

+1

+j

3

3 Расчет трехфазных линейных электрических цепей переменного тока

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 19 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

В соответствии с данными, приведенными ниже, необходимо провести:

1. Расчет трехфазной цепи при соединении методом треугольника.
2. Построение векторной диаграммы.

На рисунке 3.1 представлена схема соединения методом треугольника.

Данные:

Uл = 380 В

RAB = 12 Ом

RCA = 16 Ом

XLAB = 20 Ом

XLCA = 25 Ом

XCBC = 18 Ом

А

B

C

RCA

XLCA

XCBC

İBC

RAB

XLAB

İAB

İCA

Рисунок 3.1 – Трехфазная цепь

Необходимо определить: İAB, İBC, İCA, İA, İB, İC, S, P, Q.

При соединении трехфазной цепи методом треугольника, расчет будем вести символическим методом.

3.1 Расчет трехфазной цепи при соединении методом треугольника.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 20 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Рассчитаем фазные напряжения в комплексной форме:

Uл = Uф = 380 В, то есть ŮAB = ŮBC = ŮCA = 380 В

ŮAB = (В)

ŮBC = (В)

ŮCA = (В)

Рассчитаем сопротивления в комплексной форме для каждой ветки цепи:

ẔAB = RAB + jXLAB = 12 + j20 = (Ом)

ẔBC = ­jXCBC = ­j18 – 18e-j 90° (Ом)

ẔCA = RCA + jXLCA = 16 + j25 = (Ом)

Рассчитаем фазные токи в комплексной форме:

İAB =

İAB

İBC =

İBC =

İCA =

İCA =

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 21 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Рассчитаем линейные токи в комплексной форме:

İA = İAB – İCA

İA =

İB = İBC ­ İAB

İB = (А)

İC = İCA – İBC

İC = (А)

Рассчитаем мощности фаз и всей цепи:

ŜAB = ŮAB · I\*AB

ŜAB =

ŜBC = ŮBC · İ\*BC

ŜBC =

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 22 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

ŜCA = ŮCA · İCA

ŜCA =

Ŝэкв = ŜAB + ŜBC + ŜCA

Ŝэкв =

3.2 Построение векторной диаграммы

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 23 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Строим в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов İAB, İBC, İCA, которые строятся под углами φAB, φBC, φCA к действительной оси. К концам векторов İAB, İBC, İCA пристраиваются отрицательные фазные токи согласно уравнениям:

İA = İAB- İCA

İB = İBC – İAB

İC = İCA - İBC

Выбираем масштаб MI = 3 A/см; MU = 50 В/см. Вычислим длины токов и напряжений:

İAB = 5,33 см

İBC = 7,04 см

İCA = 4,27 см

İA = 8,49 см

İB = 3,49 см

İC = 8,39 см

Ů = 7,6 см

На векторной диаграмме под углом 120° друг относительно друга строятся векторы фазных напряжений одинаковой длины.

Векторы фазных токов строятся в масштабе под вычисленными углами φ по отношению к фазным напряжениям. В фазе А нагрузка носит индуктивный характер, значит ток İA отстает от напряжения ŮA на угол φA.

Аналогично строим векторы токов других участков цепи.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | | | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  | Векторная диаграмма токов и напряжений для трехфазной цепи при соединении фаз приемника треугольником | Лит. | | | Масса | | Масштаб |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |  | У |  |  | | 1:1 |
| Разраб. | | Масленко Р.П. |  |  |
| Провер. | | Тарасова Е.И. |  |  |
| Т. Контр. | |  |  |  | Лист 3 | | | | Листов 3 | |
| Реценз. | |  |  |  | МГКЭ | | | | | |
| Н. Контр. | | Тарасова Е.И. |  |  |
| Утверд. | |  |  |  |

İAB

+1

+j

Ů­CA

Ů­BC

Ů­AB

İCA

İB

İC

İA

İBC

-İBC

-İAB

-İCA

Заключение

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 24 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

В ходе курсового проекта провел расчеты линейных однофазных электрических цепей постоянного и переменного тока, а также расчет трехфазной цепи переменного тока при соединении треугольником. Расчеты провел в соответствии с методом узловых и контурных уравнений, а также методом контурных токов и символическим методом. В ходе выполнения были построены следующие диаграммы: потенциальная, топографическая и векторная токов и напряжений. Научился рассчитывать баланс мощностей. Закрепил знания касательно первого и второго законов Кирхгофа, а также закона Ома.

Список использованных источников

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | КП057МНЭ.016404.081 ПЗ | Лист |
|  |  |  |  |  | 25 |
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |

Гутько Е.С. Теоретические основы электротехники. Курсовое проектирование: учеб. пособие / Е.С. Гутько, Т.С. Шмакова. – Минск: РИПО, 2020.