

Лабораторная работа №2

ПОСТРОЕНИЕ ВЕКТОРНОЙ ДИАГРАММЫ НАПРЯЖЕНИЙ
ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОВОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

1. Теоретические сведения

На режимы работы трехфазной дуговой электропечи и ее характеристики значительное влияние оказывает так называемый перенос мощности между фазами печи. Электромагнитный перенос мощности в трех токоподводах наблюдается во многих установках: в токоподводах трехфазных электропечей, в трехфазных электрических аппаратах. В электрических сетях он возникает при сдвиге фаз токов в проводах отдельных фаз. В каждом проводе трехфазного токоподвода возникает ЭДС взаимной индукции, наводимая токами других фаз токоподвода.

Складываясь, ЭДС взаимной индукции, с ЭДС самоиндукции и активными падениями напряжения от токов, протекающих в фазах, вызывают своеобразные явления в токоподводах, уменьшая или увеличивая сопротивления фаз и тем самым изменяя токи и мощности отдельных фаз, уменьшая их в одних фазах и увеличивая в других.

Рассмотрение влияния ЭДС взаимной индукции на сопротивления цепи проще всего можно выполнить по векторным диаграммам [1]. На рис. 1 изображена векторная диаграмма напряжений трехфазной цепи дуговой печи, где I_A, I_B, I_C — векторы токов фаз; U_{da}, U_{db}, U_{dc} — векторы напряжений дуг; $I_A \cdot r_a, I_B \cdot r_b, I_C \cdot r_c$ — векторы активных падений напряжения; $I_A \cdot x_a, I_B \cdot x_b, I_C \cdot x_c$ — векторы падений напряжений от собственных индуктивных сопротивлений; $I_A \cdot x_{ab}, I_A \cdot x_{ac}$ — векторы падений напряжений от взаимных индуктивных сопротивлений, U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} — векторы линейных напряжений сети.

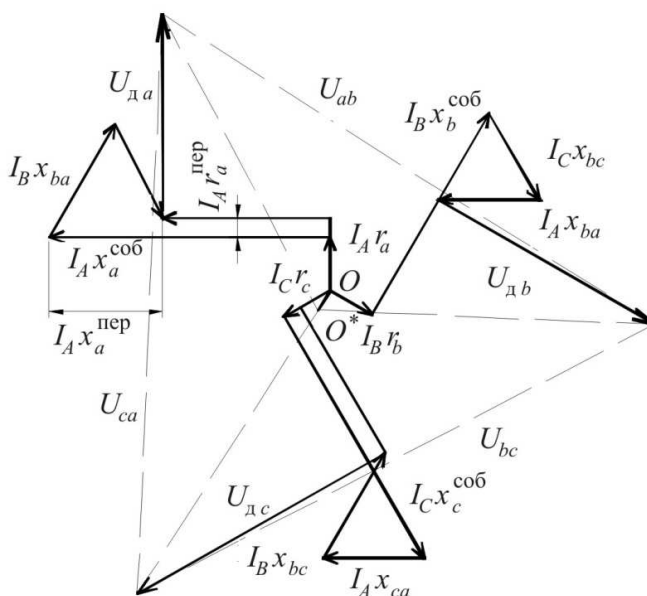


Рис.1. Векторная диаграмма напряжений трехфазной цепи дуговой печи.

Вектор ЭДС взаимной индукции не совпадает по фазе с вектором общего тока в данной фазе и может быть разложен на две составляющие—совпадающую с током и перпендикулярную к нему. Первая составляющая изменяет активное падение напряжения в фазе, что равносильно появлению в ней добавочных активных сопротивлений $R_{\text{пер}}$. Вторая составляющая изменяет индуктивное падение напряжения в фазе, что равносильно появлению в ней добавочного индуктивного сопротивления $X_{\text{пер}}$. Эти добавочные сопротивления названы активным и индуктивным сопротивлениями переноса.

Изменение сопротивления цепи от сопротивлений переноса вызывают изменения токов и мощности фаз цепи. Кроме того, они вызывают и изменение максимального тока установки, который определяет наибольшую производительность и экономичность печи, а также ее коэффициент мощности.

Изменение порядка чередования фаз подводимого напряжения, как правило, приводит к изменению направления переноса мощности в цепи. Перенос мощности из одной фазы в другую приводит к неравномерному распределению мощности по фазам токоподвода, увеличению потерь электроэнергии в проводах и к несимметрии напряжения дуг печи. Это вызывает появление так называемых «мертвой» (с пониженной мощностью) и «резкой» (с повышенной мощностью) фаз в самой печи. Не смотря на то, что эти явления теоретически не уменьшают общего количества энергии, выделяющейся в дугах всех трех фаз, они крайне нежелательны. Во-первых, количество расплавленного в зоне «мертвой» фазы металла уменьшается гораздо сильнее, чем увеличивается в «резкой» фазе, так что производительность печи снижается. Во-вторых, увеличенная мощность «резкой» фазы ускоряет износ прилегающей футеровки, что приводит к увеличению простоев и расходов на ремонт. В ДСП около дуги «резкой» фазы ускоряется разрушение стен и свода печи.

Переносимая мощность зависит от токов в фазах и, следовательно, будет изменяться при изменении нагрузки печи.

2. Методика построения векторной диаграммы

Исходными данными для построения векторной диаграммы являются:

- линейное напряжение питающей сети $U_{ab}=U_{bc}=U_{ca}$, В;
- рабочий ток I_p , КА, предполагается, что токи трех фаз одинаковы;
- активные сопротивления крайней фазы $r_a = r_c$, средней фазы r_b , мОм;
- собственные индуктивные сопротивления крайних фаз $x_a = x_c$, средней фазы x_b , мОм;
- взаимные индуктивности $x_{ab} = x_{ba}$, $x_{ac} = x_{ca}$, $x_{bc} = x_{cb}$, мОм.

По исходным данным варианта, данного преподавателем, выполнить предварительные расчеты величин падения напряжения на активных, соб-

ственных и взаимных индуктивных сопротивлений вторичного токоподвода во всех трех фазах (A, B, C).

В масштабе напряжений построить звезду векторов активных падений напряжений на вторичном токоподводе под углом 120° относительно друг друга.

От вершин построенных векторов для каждой фазы перпендикулярно (с опережением на 90°) отложить векторы падения напряжения на собственных индуктивных сопротивлениях фаз.

К концам векторов пристроить по очереди вектора падений напряжений, связанных с взаимной индуктивностью фаз. При этом вектора должны откладываться с опережением на 90° относительно тока взаимной фазы.

Цепочку векторов каждой фазы достроить вектором, сонаправленным с падением активных сопротивлений фаз, длиной, заведомо большей ожидаемого напряжения дуги.

На кальке в том же масштабе построить треугольник линейных и звезду фазных напряжений трансформатора и наложить этот треугольник на построенные вектора активных и индуктивных напряжений дуг таким образом, чтобы вершины треугольника легли на лучи, заготовленные для напряжений дуг.

Отрезки на построенных для напряжений дуг лучах ограниченные вершинами треугольника линейных напряжений дадут величины напряжений дуг фаз. Вектор между центром звезды активных сопротивлений вторичного токоподвода и центром звезды фазных напряжений источника питания характеризует смещения нейтрали трехфазной системы без нулевого провода.

Рассчитать коэффициент асимметрии напряжений дуг по формуле:

$$k_{ac} = \frac{(P_{д\max} - P_{д\min})}{\frac{1}{3}(P_d^A + P_d^B + P_d^C)} \cdot 100\%$$

По исходным данным варианта осуществить расчет напряжений на дугах по математической модели, изложенной в лекционном материале по теме «Электрические цепи с дугами» и опробованной на практическом занятии «Моделирование трехфазных несимметричных цепей с дугами». Сравнить результаты.

3. Используемые команды AutoCad

В качестве руководства по использованию AutoCad рекомендуется использовать учебное пособие [2].

Каждая команда системы автоматизированного проектирования AutoCad имеет несколько способов вызова. Имеющие опыт работы с этой системой без труда воспользуются кнопками панелей инструментов. Данное описание рассчитано на тех, кто владеет минимумом опыта работы в AutoCad, поэтому предлагается использовать вызов команд через выпадающее меню.

При выполнении команд часто необходимо выделять объекты, на которые команда направлена. Для этого существует три способа.

1. Щелкнуть правой кнопкой мыши по объекту или последовательности объектов.
2. Рамкой захвата. Эта рамка возникает, если попытаться захватить объект или группу объектов слева сверху и расширять рамку вниз вправо. Выделенными станут объекты, попавшие в рамку полностью.
3. Секущей рамкой. Эта рамка возникает, если попытаться захватить объект или группу объектов справа сверху и расширять рамку вниз влево. Выделенными станут объекты, хотя бы частично попавшие в рамку.

При выполнении данной работы потребуются следующие команды

Построение отрезка. Вызов команды **Рисование** $\Rightarrow$ **Линия**. После задания команды надо указать начало и конец отрезка. Первую точку можно указать курсором мыши. При этом если надо исходить из конца имеющегося отрезка, необходимо убедиться, что объектная привязка **Конточка** включена. В данной работе наиболее используемым вариантом задания второй точки является введение в командную строку ее полярных координат относительно начала отрезка. Признаком относительности вводимых координат является символ **@**. Затем для полярных координат задается длина отрезка и через символ **<** угол, задающий направление отрезка.

Построение полилинии, состоящей из последовательности отрезков. Этим способом рекомендуется строить треугольник линейных напряжений источника питания. Вызов команды **Рисование** $\Rightarrow$ **Полилиния**.

Для совмещения вершин равностороннего треугольника с лучами напряжений на дугах используются команды перемещения и вращения.

Вызов команды: **Редактирование** $\Rightarrow$ **Перемещение**. При выполнении команды надо сначала выбрать перемещаемые объекты. Выбор заканчивается клавишей **Enter**. Затем щелчком мыши надо указать точку, относительно которой осуществляется перемещение. Затем надо указать вторую точку для перемещения или указать величину и направление перемещения полярными координатами.

Вызов команды **Редактирование** $\Rightarrow$ **Повернуть**. При выполнении команды надо сначала выбрать перемещаемые объекты. Выбор заканчивается клавишей **Enter**. Затем щелчком мыши надо указать базовую точку, и ввести значение угла, на который надо повернуть объект относительно базовой точки. Положительным считается направление против часовой стрелки.

Убедиться в точности совмещения можно воспользовавшись командой зумирования рамкой. Вызов команды **Вид** $\Rightarrow$ **Зумирование** $\Rightarrow$ **Рамкой**. Для завершения команды надо рамкой указать область, которую необходимо рассмотреть в увеличенном виде. Возврат к полному изображению осуществляется по команде **Вид** $\Rightarrow$ **Зумирование** $\Rightarrow$ **Все**.

Добившись совмещения вершин треугольника и лучей, надо узнать величины напряжений дуг фаз. Поскольку построения рекомендуется осуществлять в масштабе реальных напряжений (1 мм = 1 В), то длины отрезков

в миллиметрах равны искомым напряжениям в вольтах. Для определения длин отрезков можно проставить на чертеже их размеры. Для проставки линейного размера надо воспользоваться командой **Размеры** $\Rightarrow$ **Линейный размер**. В команде надо задать точки, между которыми проставляется размер, отвести курсор мыши в сторону, где будет размерная линия, и щелкнуть.

Для удобства и скорости построений рекомендуется такая последовательность выполнения работы:

1. Построить вектора напряжений на вторичном токоподводе и луч напряжений на дуге для одной фазы, потом для другой, потом для третьей. Это удобно, так как команда построения отрезка позволяет получить сразу несколько отрезков, соединяющих последовательность точек, запрашиваемых одна за другой, до тех пор пока не нажата клавиша **Enter**.
2. В произвольном месте рисунка построить равносторонний треугольник линейных напряжений с помощью команды **Полилиния**, так как эта команда позволяет получить фигуру из отрезков, воспринимаемую как единый объект. В этом треугольнике построить три высоты для получения его центра.
3. Перемещение и вращение треугольника до совмещения вершин и лучей напряжений на дугах.
4. Проставка размеров векторов напряжений на дугах и смещения нейтрали.
5. Расчет коэффициента асимметрии напряжений дуг.
6. Определение по чертежу активного и индуктивного сопротивления переноса.

4. Варианты задания

№	U_L , В	I_p , кА	r , кр. фазы мОм	r , ср. фазы мОм	$X_{собр}$, кр. фазы, мОм	$X_{собр}$, ср. фазы, мОм	$X_{ac}=X_{ca}$, мОм	$X_{ab}=X_{ba}=$ $=X_{cb}=X_{bc}$, мОм
1	300	35	0,56	0,54	5,8	5,4	1,0	1,4
2	350	41	0,50	0,49	6,0	5,5	1,2	1,6
3	400	45	0,50	0,46	5,5	5,2	1,0	1,6
4	450	50	0,48	0,45	5,4	5,2	1,2	1,8
5	500	54	0,45	0,43	5,8	5,5	1,4	1,8
6	550	58	0,44	0,41	5,7	5,4	1,5	1,9
7	600	60	0,45	0,42	5,6	5,3	1,6	2,0
8	650	62	0,42	0,40	6,0	5,7	1,4	1,9
9	700	65	0,46	0,43	6,4	6,0	1,8	2,2
10	750	68	0,44	0,42	6,2	5,9	1,9	2,5
11	800	70	0,45	0,41	6,0	5,6	1,8	2,4
12	850	72	0,43	0,42	6,4	6,1	1,6	2,4

5. Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Номер варианта задания и исходные данные к нему.
3. Формулы и результаты расчета напряжений на активных и индуктивных собственных и взаимных сопротивлениях.
4. Полученные с помощью построенной векторной диаграммы напряжения на дугах и смещение нейтрали.
5. Расчет коэффициента асимметрии.
6. Ответы на контрольные вопросы, заданные преподавателем.

6. Контрольные вопросы

1. От чего может возникнуть перенос мощности по фазам?
2. Каковы отрицательные последствия переноса мощности по фазам?
3. Как меняется характер отрицательных последствий переноса мощности при замене футеровки стен и свода водоохлаждаемыми панелями и применении газокислородного отопления?
4. Какие уравнения иллюстрирует векторная диаграмма? По каким законам они составляются? Запишите их.
5. Какими методами уменьшают перенос мощности по фазам?
6. Сравните коэффициент асимметрии индуктивного сопротивления и мощности дуг для вашего варианта задания.
7. Какие реальные факторы влияют на несимметрию вторичного токоподвода?
8. Как определить по векторной диаграмме значения активного и индуктивного сопротивления переноса? Какие они получились для вашего варианта задания?
9. Проанализировать влияние изменения рабочего тока на величину переносимой мощности.
10. Как по векторной диаграмме определить для данного режима коэффициент мощности каждой фазы?

Список литературы

1. Марков Н.А. Электрические цепи и режимы дуговых электропечных установок. – М.: Энергия, 1975.
2. Тесля Н.Б. Основы проектирования ЭТУС: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.