

Лабораторная работа №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ В ЛИНИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ОДНОЙ ИЛИ НЕСКОЛЬКИМИ НАГРУЗКАМИ.

Цель работы: Получить практические навыки по определению потерь напряжения в линиях переменного тока экспериментальным и расчетным способами.

Программа работы:

1. Ознакомиться с приборами и оборудованием, необходимыми для выполнения работы.
2. Собрать схему Рис. 1 и экспериментально определить потери напряжения в однофазной линии переменного тока с одной нагрузкой.
3. Определить потери напряжения по опытным данным и расчетным формулам. Построить зависимости $\Delta U\% = f(\cos \varphi)$.
4. Построить векторные диаграммы для одной нагрузки по данным начала линии и по данным конца линии.
5. Собрать схему Рис. 2 и экспериментально определить потери напряжения в однофазной линии переменного тока с двумя нагрузками.
6. Определить потери напряжения по опытным данным и расчетным формулам. Построить зависимость $f(\cos \varphi)$.
7. Сделать выводы по содержанию работы.

Выполнение работы

1. Для выполнения лабораторной работы предлагается установка, представляющая собой однофазную модель ЛЭП переменного тока с двумя нагрузками. Модель состоит из стенда, на котором показаны активные и индуктивные сопротивления участков линии, точки 1 и 2 подключения нагрузок, первичные и вторичные обмотки дросселей с подмагничиванием L_1 и L_2 и выводы этих обмоток. Кроме того, на стенде закреплены ключи SA_1 и SA_2 , с помощью которых можно изменять число витков первичных обмоток дросселей L_1 и L_2 , а также два амперметра типа

Э 365-1. При выполнении работы используются реостаты сопротивлением $R = 100 \text{ Ом}$ для регулировки тока нагрузки, реостаты сопротивлением $R = 1000 \text{ Ом}$ и $R = 2200 \text{ Ом}$ для регулировки $\cos \varphi$ нагрузки, фазометры типа ЭЛФ, астатический вольтметр типа АСТВ, регулятор напряжения типа ЛАТр со встроенным вольтметром. Регулятор напряжения, вольтметр, фазометры и ползунковые реостаты располагаются на лабораторном столе установленном вплотную к стенду с моделью ЛЭП.

2. При сборке схемы для определения потерь напряжения в линии переменного тока с одной нагрузкой следует замкнуть накоротко сопротивление участка линии $R = 3,6 \text{ Ом}$. В качестве активного сопротивления нагрузки использовать ползунковый реостат с $R = 100 \text{ Ом}$, включенный как переменное сопротивление. В качестве реактивного сопротивления нагрузки использовать дроссель L_1 расположенный на стенде слева. Во вторичную обмотку этого дросселя включаются последовательно соединенные ползунковые реостаты с сопротивлениями 1000 и 2200 Ом . В качестве фазометра в цепи нагрузки использовать фазометр проградуированный в углах, а в качестве фазометра в линейной цепи фазометр проградуированный в $\cos \varphi$. Астатический вольтметр АСТВ включить в конце линии. ЛАТр подключить к розетке, установленной на стенде (напряжение на розетку подается рубильником установленном на стенде). Перед началом опыта перевести заданные $\cos \varphi$ и в углы, используя номограмму на торцевой части фазометра нагрузки. Реостаты нагрузки и реостаты, включенные во вторичную обмотку дросселя нагрузки поставить в положение соответствующее их максимальному сопротивлению. Ключи SA_1 поставить в нижнее положение. Положение ручки регулировки ЛАТр должно соответствовать выходному напряжению равному нулю (крайнее левое положение). Включить рубильник и регулятором напряжения подать на вход модели (начало ЛЭП) напряжение равное 170 В . С помощью реостата нагрузки установить ток нагрузки

равный 1,8 А с помощью реостатов включенных во вторичную обмотку дросселя L_1 установить заданное значение $\cos\varphi$ (или угла). Так как регулировка тока нагрузки и угла нагрузки взаимно влияют друг на друга, то их лучше производить двум студентам: один устанавливает ток нагрузки с помощью реостата нагрузки 1,8 А, а другой добивается требуемой величины $\cos\varphi$ с помощью реостатов, включенных во вторичную обмотку дросселя. Опыт проводится при неизменном напряжении 170 В в начале линии и неизменном токе нагрузки 1,8А, на протяжении опыта меняется только $\cos\varphi$ нагрузки. Если при изменении $\cos\varphi$ очередное его значение установить невозможно, то ключи SA_1 следует переключить в верхнее положение (нижнее положение ключей соответствует высоким значениям $\cos\varphi$ нагрузки, а их верхнее положение низким значениям $\cos\varphi$ нагрузки). Полученные значения напряжения в конце линии $U_{2\phi}$ и $\cos\psi_L$ между током и напряжением в начале линии заносятся в таблицу 1.

Таблица 1.

Экспериментальные данные для определения потерь
напряжения при $U_{1\phi} = 170$ В $I_H = 1,8$ А

$\cos\varphi_n$	0,95	0,9	0,85	0,7	0,6	0,4	
φ_n							
$\cos\psi_L$							
$U_{2\phi}$							

3. Потери напряжения по опытным данным определяют по выражению

$$\Delta U = U_{1\phi} - U_{2\phi}, \text{ где}$$

$U_{1\phi} = 170$ В – напряжение в начале линии;

$U_{2\phi}$ – напряжение в конце линии при заданном $\cos\varphi$ нагрузки, В

Определение потерь напряжения по расчетным формулам сводится к определению продольной составляющей падения напряжения. При этом возможны два варианта

$$1) \Delta U_1 = I_H \cdot R \cdot \cos\varphi + I_H \cdot X \cdot \sin\varphi, \text{ где}$$

ΔU_1 – продольная составляющая падения напряжения принимаемая равной потери напряжения, В

$I_H = 1,8$ А – ток нагрузки;

R – активное сопротивление линии, Ом (полученное суммированием всех активных составляющих сопротивления участков линии на модели);

X – реактивное сопротивление линии, Ом;

φ – аргумент нагрузки (угол между током нагрузки и напряжением в конце линии $U_{2\phi}$);

$$2) \Delta U_2 = I_L \cdot R \cdot \cos\psi + I_L \cdot X \cdot \sin\psi, \text{ где}$$

I_L – ток протекающий по линии в нашем случае $I_L = I_H = 1,8$ А;

R, X – активное и реактивное сопротивления всех участков линии, Ом;

ψ – угол сдвига между током линии I_L и напряжением в ее начале $U_{1\phi}$.

Обычно величину потерь напряжения выражают в процентах от номинального значения напряжения, в нашем случае

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U \cdot 100}{170},$$

где ΔU – величина потерь напряжения, полученная по опытным данным и расчетным путем.

В отчете приводятся расчеты для одного, заданного преподавателем значения $\cos\varphi$ нагрузки. Результаты расчета сводятся в таблицу 2.

Определение потерь напряжения по опытным данным
и расчетным формулам

$\cos\varphi_n$	0,95	0,9	0,85	0,7	0,6	0,4
ΔU						
$\Delta U\%$						
ΔU_1						
$\Delta U_1\%$						
ΔU_2						
$\Delta U_2\%$						

На основании таблицы 2 на одном графике строятся зависимости

$$\Delta U\% = f(\cos\varphi) \quad \Delta U_1\% = f(\cos\varphi) \quad \Delta U_2\% = f(\cos\varphi)$$

4. Для одной нагрузки строятся векторные диаграммы для двух случаев

1) По данным конца линии, когда известны напряжение на нагрузке $U_{2\phi}$, ток нагрузки I_H и $\cos\varphi_n$, тогда по второму закону Кирхгофа $\dot{U}_{1\phi} = \dot{U}_{2\phi} + \Delta\dot{U}$

2) По данным начала линии, когда известны напряжение в начале линии, ток, протекающий по линии и линейный аргумент ψ (или $\cos\psi$)

$$\dot{U}_{2\phi} = \dot{U}_{1\phi} - \Delta\dot{U}$$

Графически решая эти векторные уравнения получим векторные диаграммы, на которых следует указать отрезки равные потере напряжения, продольной составляющей падения напряжения, поперечной составляющей падения напряжения. Все построения производятся в выбранном масштабе.

5. Схема опыта по экспериментальному определению потерь напряжения в линии с двумя нагрузками приведена на рис. 2. Нагрузки подключаются к точкам 1 и 2 аналогично схеме на рис. 1. Для первой нагрузки в качестве элемента регулирующего $\cos\varphi$ нагрузки используется дроссель L_1 , а для второй дроссель L_2 . Опыт проводится при напряжении в начале линии равным 170 В и одинаковых токах нагрузки равных 1,8 А изменяется $\cos\varphi$

нагрузки, но во всех опытах $\cos\varphi$ первой нагрузки равен $\cos\varphi$ второй нагрузки.

Результаты опытов заносятся в таблицу, аналогичную таблице 1, в которой $\cos\varphi$ нагрузок должны принимать следующие значения 0,92; 0,9; 0,85; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4.

Выполнение опыта аналогично выполнению опыта с одной нагрузкой, с той разницей, что необходимо устанавливать одинаковый режим для двух нагрузок. Это можно делать или одновременно, когда работают сразу четыре студента или последовательно, когда два студента устанавливают режим сначала первой нагрузки, а затем второй. В любом случае отсчет по приборам ($U_{2\phi}$ и $\cos\psi$) производится только тогда, когда напряжение в начале линии $U_{1\phi} = 170\text{В}$, токи нагрузок $I_{1н} = I_{2н} = 1,8\text{ А}$, $\cos\varphi_{н1} = \cos\varphi_{н2}$.

6. Потери напряжения по опытным данным определяются аналогично пункту 3 программы.

Расчетное значение потерь напряжения определяется для двух случаев:

1) По токам нагрузки и аргументу нагрузки

$$\Delta U_1 = \sum (I_n \cdot R \cdot \cos\varphi + I_n X \sin\varphi), \text{ где}$$

ΔU_1 – продольная составляющая падения напряжения в линии, В;

I_n – ток нагрузки, А;

R и X – активное и индуктивное сопротивление участка линии от источника питания до точки приложения нагрузки (до рассматриваемой нагрузки);

φ -аргумент нагрузки (определяется по фазометру, подключенному к нагрузке).

2) По току участка линии и аргументу линейной нагрузки

$$\Delta U_2 = \sum (I_y \cdot R_y \cdot \cos\psi + I_y X_y \sin\psi), \text{ где}$$

R_y и X_y – активное и индуктивное сопротивление участка линии, Ом;

I_y – ток протекающий по соответствующему участку, А;

Ψ – аргумент линейной нагрузки (определяется по показателям фазометра установленного в начале линии).

В отчете приводятся расчеты для одного заданного преподавателем значения $\cos \varphi$ нагрузки. Результаты расчета сводятся в таблицу, аналогичную таблице 2, при $\cos \varphi$ нагрузки равным 0,92; 0,9; 0,85; 0,8; 0,5; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4.

На основании этой таблицы на одном графике строятся зависимости

$$\Delta U\% = f(\cos\varphi); \quad \Delta U_1\% = f(\cos\varphi); \quad \Delta U_2\% = f(\cos\varphi).$$

7. По результатам работы, исходя из рассмотрения и сопоставления опытных и расчетных данных, а также построенных векторных диаграмм, следует самостоятельно сделать выводы, включающие ответы на следующие вопросы:

- 1) Почему расчетные соотношения приведенные в методических указаниях можно использовать для определения потери напряжения?
- 2) Какое из соотношений предпочтительнее применять, и в каких случаях?
- 3) Каким образом зависят потери напряжения от $\cos \varphi$ нагрузки и в каком случае они достигают максимума?
- 4) Каким образом погрешность при определении потери напряжения зависит от параметров линии и нагрузки, в каком случае она достигает максимума?

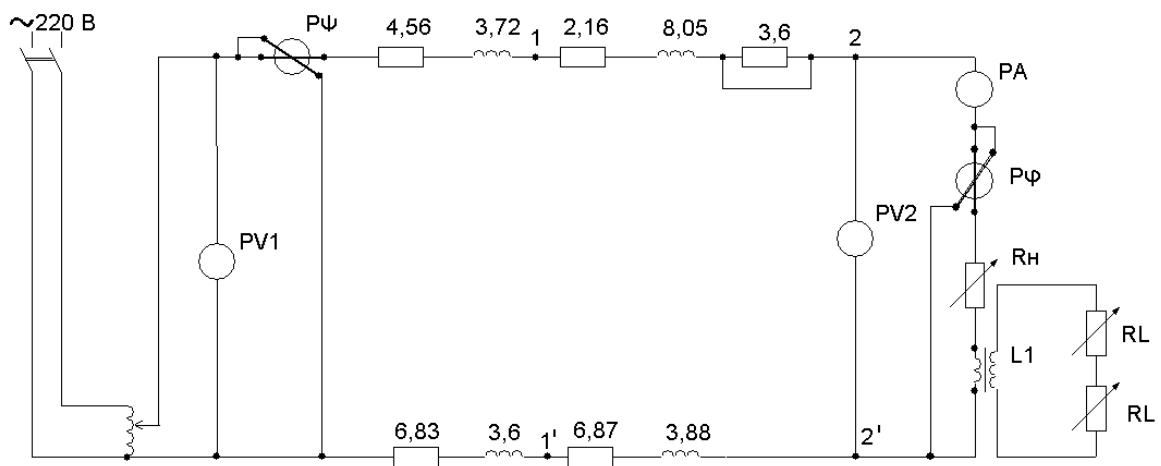


Рис.1. Определение потери напряжения в однофазной линии переменного тока с одной нагрузкой.

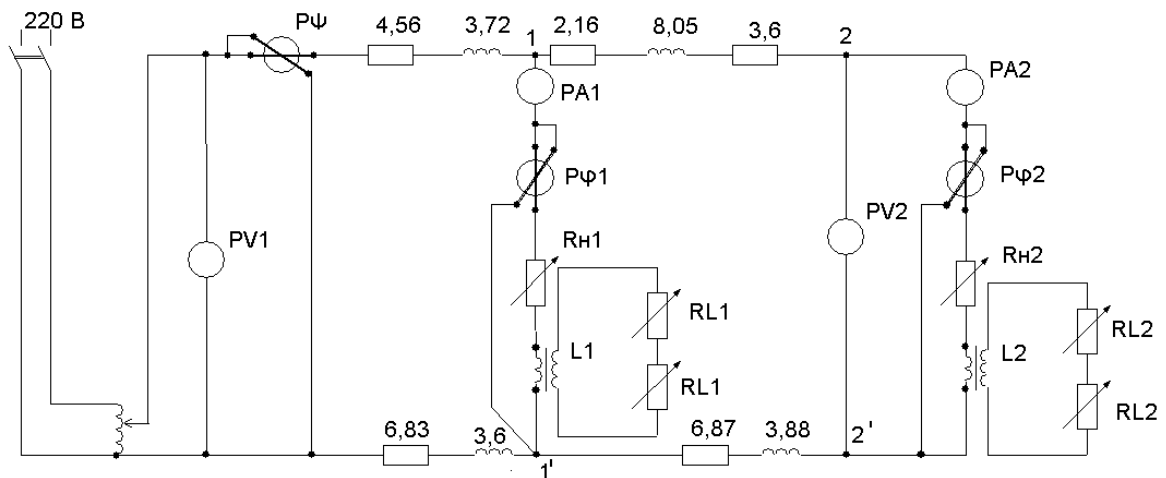


Рис.2. Определение потери напряжения в однофазной линии переменного тока с двумя нагрузками.

Краткие теоретические сведения

Потеря и падение напряжения в сетях переменного тока

Рассмотрим линию трехфазного переменного тока с одной нагрузкой. Будем считать, что нагрузка всех трех фаз линии одинакова. В этом случае трехфазную сеть можно представить в виде одной линии и вести расчеты для фазных напряжений и токов, а затем перейти к их линейным значениям. Проведем расчет отдельно по данным у приемного и передающего конца линии.

Пусть нам известны активное $R_{л}$ и индуктивное $X_{л}$ сопротивления линии, а также напряжение в конце линии $U_{2\phi}$, ток нагрузки $I_{н}$ и аргумент нагрузки φ . Тогда по второму закону Кирхгофа напряжение в начале линии $U_{1\phi}$ определяется по выражению $\dot{U}_{1\phi} = \dot{U}_{2\phi} + \Delta\dot{U}$, где $\Delta\dot{U} = \dot{I} \dot{Z} = I_{н} R_{л} + j I_{н} X_{л}$ - падение напряжения в полном сопротивлении линии.

Решим векторное уравнение для $\dot{U}_{1\phi}$ графически, для чего:

- 1) Отложим вектор фазного напряжения $\dot{U}_{2\phi}$ по вещественной оси (отрезок OA);
- 2) Под углом φ к напряжению $\dot{U}_{2\phi}$ отложим вектор тока нагрузки \dot{I} в сторону отставания (по часовой стрелке);
- 3) Вектор падения напряжения в активном сопротивлении линии $\dot{I} \cdot R_{л}$ (отрезок AB) откладываем в конце вектора напряжения $\dot{U}_{2\phi}$ параллельно вектору тока;
- 4) Добавляем к нему вектор падения напряжения в индуктивном сопротивлении линии $j I_{н} X_{л}$ под прямым углом к вектору $\dot{I} R_{л}$ в сторону опережения (отрезок BC);
- 5) Соединим полученную точку C с началом координат O и точкой A.

Тогда вектор \overline{OC} будет являться вектором фазного напряжения в начале линии $\dot{U}_{1\phi}$, ориентированный по отношению к току под углом ψ , а к напряжению $\dot{U}_{2\phi}$ под углом δ .

Вектор \overline{AC} будет представлять падение напряжения в полном сопротивлении линии $\dot{I}Z$.

Геометрическая разность между напряжением в начале и в конце линии называют *падением напряжения*.

$$\overline{AC} = \overline{OC} - \overline{OA} = \dot{U}_{1\phi} - \dot{U}_{2\phi} = \dot{I}Z$$

Для определения потери напряжения на диаграмме засекаем вектором \overline{OC} отрезок OC^1 на вещественной оси.

$$\text{Очевидно, что отрезок } AC^1 = OC^1 - OA = U_{1\phi} - U_{2\phi} = \Delta U$$

Алгебраическую разность напряжений в начале и в конце линии называют *потерей напряжения* (ΔU).

Потеря напряжения практически может быть определена как разность показаний вольтметра, включенных в начале и в конце линии.

Численная величина полного падения напряжения в линии равна длине отрезка AC.

$$IZ_{\lambda} = \sqrt{(IR_{\lambda})^2 + (IX_{\lambda})^2}$$

Падение напряжения в линии может быть разложена на две составляющих вдоль известного напряжения $U_{2\phi}$ (по вещественной оси) отрезок AD и по направлению, перпендикулярному известному напряжению $\dot{U}_{2\phi}$ (по оси мнимых величин) отрезок DC.

Эти составляющие называются продольной ΔU_{ϕ} и поперечной δU_{ϕ} составляющей падения напряжения.

$$\Delta U_{\phi} = AD \quad \delta U_{\phi} = DC$$

Численное значение падения напряжения в этом случае определяется по формуле

$$IZ = \sqrt{(AD)^2 + (DC)^2} = \sqrt{\Delta U_{\phi}^2 + \delta U_{\phi}^2}$$

Из векторной диаграммы видно, что комплексное значение напряжения в начале линии равно

$$\dot{U}_{1\phi} = (\dot{U}_{2\phi} + \Delta U_{\phi}) + j\delta U_{\phi}$$

Соответственно модуль и фаза напряжения в начале линии

$$U_{1\phi} = \sqrt{(U_{2\phi} + \Delta U_{\phi})^2 + (\delta U_{\phi})^2}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\delta U_{\phi}}{U_{2\phi} + \Delta U_{\phi}}$$

При сравнительно небольших значениях угла δ между векторами напряжений в начале $\dot{U}_{1\phi}$ и в конце линии $\dot{U}_{2\phi}$ выражение $U_{1\phi} = \sqrt{(U_{2\phi} + \Delta U_{\phi})^2 + (\delta U_{\phi})^2}$ можно упростить, применив разложение бинома в ряд.

$$U_{1\phi} = U_{2\phi} + \Delta U_{\phi} + \frac{(\delta U_{\phi})^2}{2(U_{2\phi} + \Delta U_{\phi})}$$

Из этого выражения приблизительно определяется величина потери напряжения в линии

$$\Delta U = U_{1\phi} - U_{2\phi} = \Delta U_{\phi} + \frac{(\delta U_{\phi})^2}{2(U_{2\phi} + \Delta U_{\phi})} \text{ или}$$

$$\Delta U = \Delta U_{\phi} + \frac{1}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \delta (U_{2\phi} + \Delta U_{\phi})$$

Отсюда видно, что при сравнительно небольших значениях угла δ ($0,5 \div 2^0$ для реальных сетей) потери напряжения в основном определяются продольной оставляющей падения напряжения $\Delta U \approx \Delta U_{\phi}$, что справедливо во всех сетях напряжением до 110 кВ включительно. В обычных условиях ошибка от такого запущения не превышает 5%.

На векторной диаграмме погрешность в определении потери напряжения выражается отрезком $DC = AC - AO = \Delta U - \Delta U_{\phi}$, следовательно

определенное через продольную составляющую падения напряжения значение потери напряжения получается меньше ее истинного значения.

Величина отрезка $AD = \Delta U_\phi = AE + ED$ поэтому из геометрических соотношений очевидно, что продольная составляющая падения напряжения может быть выражена следующим образом:

$$\Delta U_\phi = IR_A \cdot \cos \varphi + IX_A \sin \varphi$$

а поперечная составляющая падения напряжения

$$\delta U_\phi = IX_n \cos \varphi - IR_A \sin \varphi$$

Для трехфазной линии эти соотношения выглядят следующим образом:

$$\Delta U_\phi = \sqrt{3}(IR_n \cdot \cos \varphi + IX_A \sin \varphi)$$

$$\delta U_\phi = \sqrt{3}(IX_n \cos \varphi - IR_A \sin \varphi)$$

От токов можно перейти к мощности, умножив и разделив правые части этих уравнений на U_n , тогда

$$\Delta U_\phi = \frac{\sqrt{3}UI \cdot \cos \varphi R_n + \sqrt{3}UI \sin \varphi X_A}{U_n} = \frac{PR_n + QX_n}{U_n}$$

$$\delta U_\phi = \frac{\sqrt{3}UI \cos \varphi X_n - \sqrt{3}UI \sin \varphi R_n}{U_n} = \frac{PX_n - QR_n}{U_n}$$

Если линия имеет несколько нагрузок, то потеря напряжения в такой линии определяется

$$\Delta U = \Delta U_\phi = \sqrt{3} \sum (IR_n \cos \varphi + IX_n \sin \varphi), \text{ где}$$

I – ток соответствующей нагрузки, А

R_n, X_n – активные и индуктивные сопротивления от начала линии до соответствующей нагрузки, Ом

φ – аргумент нагрузки.

При определении потери напряжения как продольную составляющую падения напряжения мы будем иметь погрешность равную нулю в том случае, если поперечная составляющая падения напряжения равна нулю

$$\delta U_{\phi} = I X_{\lambda} \cos \varphi - I R_{\lambda} \sin \varphi$$

В этом случае $\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_{\lambda}}{R_{\lambda}}$, то есть $\operatorname{tg} \varphi$ нагрузки на участке линии совпадает с отношением реактивной и активной составляющими сопротивления участка линии (с tg линии). Потери при этом будут максимальны. С увеличением $\cos \varphi$ нагрузки потери будут уменьшаться, а погрешность в определении потери напряжения будет расти.

Если проводить расчеты по данным передающего конца линии, то есть по известному напряжению в начале линии $U_{1\phi}$, току в линии I_{λ} и известному линейному аргументу ψ , то при известных сопротивлениях R_{λ} и X_{λ} можно определить напряжение в конце линии $\dot{U}_{2\phi} = \dot{U}_{1\phi} - \Delta \dot{U}$. Для того чтобы определить потерю и падение в этом случае построим векторную диаграмму по данным начала линии.

Для построения векторной диаграммы необходимо:

- 1) Отложить вектор фазного напряжения в начале линии $U_{1\phi}$ по вещественной оси (отрезок OA);
- 2) Под углом ψ к напряжению $\dot{U}_{1\phi}$ отложить вектор ток линии I_{λ} в сторону отставания;
- 3) Вектор падения напряжения в активном сопротивлении линии $I_{\lambda} R$ (отрезок AB) отложить в конце вектора напряжения $\dot{U}_{1\phi}$ параллельно вектору тока \dot{I}_{λ} в противоположном от него направлении.
- 4) Добавить к нему вектор падения напряжения в индуктивном сопротивлении линии $I_{\lambda} X_{\lambda}$ под прямым углом к вектору $I R_{\lambda}$ в сторону опережения (отрезок BC).
- 5) Соединить полученную точку с началом координат O и точкой A.

Тогда вектор \overline{OC} будет являться вектором фазного напряжения в конце линии, ориентированной по отношению к току под углом φ , а к заданному напряжению $U_{1\phi}$ под углом δ . Вектор \overline{AC} будет представлять

падение напряжения в полном сопротивлении линии $\dot{I}\dot{Z}$. Этот вектор $\overline{AC} = \dot{I}\dot{Z}$ представляет собой геометрическую разность напряжений в начале и конце линии.

Засечен вектором \overline{OC} отрезок OC^1 на вещественной оси. Тогда отрезок $AC^1 = OA - OC^1$ представляет собой потерю напряжения в линии $\Delta U = U_{1\phi} - U_{2\phi}$.

Падение напряжения в линии может быть разложено на продольную и поперечную составляющие.

Продольная составляющая падения напряжения в ΔU_{ϕ} есть проекции вектора падения напряжения $\dot{I}_l \dot{Z}$ на направление известного напряжения U_{ϕ} (на вещественную ось) и представлена на диаграмме отрезком AD. Поперечная составляющая падения напряжения δU_{ϕ} есть проекции вектора падения напряжения $\dot{I}_l \dot{Z}$ на направление перпендикулярное известному напряжению $\dot{U}_{1\phi}$ (на ось мнимых величин) и определяется отрезком DC.

При определении продольной ΔU_{ϕ} и поперечной δU_{ϕ} составляющих падения напряжения $\dot{I}\dot{Z}$ по данным начала линии и по данным конца линии, очевидно, получаются значения продольной и поперечной составляющей не равные между собой $\Delta U_{\phi_n} \neq \Delta U_{\phi_k}$ $\delta \Delta U_{\phi_n} \neq \delta \Delta U_{\phi_k}$ (индексы n и k относятся к началу и концу линии). Это получается потому, что один и тот же вектор падения напряжения $\dot{I}\dot{Z}$ проектируются на разной оси $\dot{U}_{1\phi}$ и $\dot{U}_{2\phi}$ (они сдвинуты друг относительно друга на угол δ).

Комплекс напряжения в конце линии можно записать следующим образом:

$$\dot{U}_{2\phi} = (\dot{U}_{1\phi} - \Delta U_{\phi}) - j\delta U_{\phi}$$

Тогда его модуль и фаза будут равны

$$U_{2\phi} = \sqrt{(U_{1\phi} - \Delta U)^2 + (\delta U_{\phi})^2}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\delta U_{\phi}}{U_{1\phi} - \Delta U_{\phi}}$$

Применяем разложение бинома в ряд получены выражение для напряжения в конце линии

$$U_{2\phi} = U_{1\phi} - \Delta U_{\phi} + \frac{(\delta U_{\phi})^2}{2(U_{1\phi} - \Delta U_{\phi})}$$

Из этого выражения приблизительно определяется величина потери напряжения в линии

$$\Delta U = U_{1\phi} - U_{2\phi} \approx \Delta U_{\phi} - \frac{(\delta U_{\phi})^2}{2(U_{1\phi} - \Delta U_{\phi})}$$

При сравнительно небольших углах δ между векторами напряжений начала и конца линии обычно пренебрегают вторым членом в этой формуле и считают потерю напряжения равной продольной составляющей падения напряжения. Очевидно, что полученные таким образом значение потери напряжения будет несколько больше истинного его значения

$$\Delta U = U_{1\phi} - U_{2\phi}$$

На векторной диаграмме эта погрешность представлена отрезком

$$DC^I = AD - AC = \Delta U_{\phi} - \Delta U$$

Выражение для определения продольной и поперечной составляющих падения напряжения через данные начала линии выглядят аналогично выражениям, составленным по данным ее конца.

Для продольной составляющей падения напряжения

$$\Delta U_{\phi} = I_{\text{л}} R_{\text{л}} \cos \psi + I_{\text{л}} X_{\text{л}} \sin \Psi$$

Для поперечной составляющей падение напряжения

$$\delta U_{\phi} = I_{\text{л}} X_{\text{л}} \cos \Psi - I_{\text{л}} R_{\text{л}} \sin \psi$$

Для трехфазной линии эти соотношения выглядят следующим образом:

$$\Delta U_{\phi} = \sqrt{3}(I_{л}R_{л} \cos \psi + I_{л}X_{л} \sin \Psi)$$

$$\delta U_{\phi} = \sqrt{3}(I_{л}X_{л} \cos \Psi - I_{л}R_{л} \sin \psi)$$

Перейдя от токов к мощности, получим:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{P_{л}R_{л} + Q_{л}X_{л}}{U_{н}}$$

$$\delta U_{\phi} = \frac{P_{л}X_{л} + Q_{л}R_{л}}{U_{н}}$$

Если линия имеет несколько нагрузок, то потеря напряжения в такой линии определяется:

$$\Delta U = \Delta U_{\phi} = \sqrt{3} \sum (I_{л}R_{л} \cos \psi + I_{л}X_{л} \sin \Psi), \text{ где}$$

$I_{л}$ – ток, протекающий по участку линии, А

$R_{л}$, $X_{л}$ – активное и реактивное сопротивление соответствующего участка, Ом;

Ψ – угол сдвига между током, протекающим по участку линии и напряжением в его начале.

Если нагрузки заданы мощностями $P_{л}$ и $Q_{л}$ протекающими по участку линии с активным $R_{л}$ и реактивным $X_{л}$ сопротивлениями этих участков, то потеря напряжение определяется по формуле:

$$\Delta U \approx \frac{\sum (P_{л}R_{л} + Q_{л}X_{л})}{U_{н}}$$

При проектировании обычно известно напряжение в начале линии, длина ее участков (а значит и сопротивление $R_{л}$ и $X_{л}$), нагрузки линии и точки их присоединения, отклонение напряжения на зажимах нагрузок. Поэтому потерю напряжения предпочтительнее определять по формулам, полученным для параметров начала линии. Так как результаты расчетов дают завышенное значение по сравнению с истинным, это позволяет правильно определять сечение проводов линии электропередач.

Контрольные вопросы

- 1) Как понимать термины «падение» и «потеря» напряжения?
- 2) Как определяется потеря напряжения расчетным путем?
- 3) Каким образом потеря напряжения зависит от $\cos\varphi$ нагрузки?
- 4) При каких соотношениях аргументов линии и нагрузки потеря напряжения будет максимальной? Какова при этом будет погрешность при ее определении?
- 5) Чем обусловлена погрешность определения потери напряжения с помощью расчетных формул?
- 6) В чем разница расчетных формул, полученных по параметрам начала и конца линии?
- 7) Как пользоваться расчетными формулами, полученными по параметрам начала и конца линии в случае нескольких нагрузок?