

12. Построить векторную диаграмму токов и напряжений линии, если известно напряжение в конце передачи $\underline{U}_2$ и активно-ёмкостный ток $\underline{I}_2 = I_2^{j\varphi_2}$
13. Построить векторную диаграмму токов и напряжений линии, если известно напряжение в начале передачи $\underline{U}_1$ и активно-индуктивный ток $\underline{I}_2 = I_2^{-j\varphi_1}$
14. Построить векторную диаграмму токов и напряжений линии, если известно напряжение в начале передачи $\underline{U}_1$ и активно-ёмкостный ток $\underline{I}_2 = I_2^{j\varphi_1}$

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТИ С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

Цель работы: изучение потокораспределения активных и реактивных мощностей, уровней напряжения в сети с двусторонним питанием при различных по величине и фазе напряжениях на шинах источников питания.

Теоретическая часть

К простой замкнутой электрической сети или к линии с двусторонним питанием следует отнести сеть, в которой нагрузки могут получать электроэнергию по двум ветвям. Если сеть имеет узлы, соединяющие три ветви и более, и несколько контуров она относится к сложно замкнутой сети.

К достоинствам замкнутых схем следует отнести высокую надежность электроснабжения потребителей, меньшие потери мощности, высокое качество напряжения, к недостаткам – сложность эксплуатации, удорожание за счет сооружения дополнительных линий.

Примером простой замкнутой сети является кольцевая сеть. Источниками питания могут быть электростанции или шины подстанции. Кольцевую сеть можно рассматривать в виде линии с двусторонним питанием (рис.2.1), при этом напряжения на шинах источников одинаковы. В общем случае потребите-

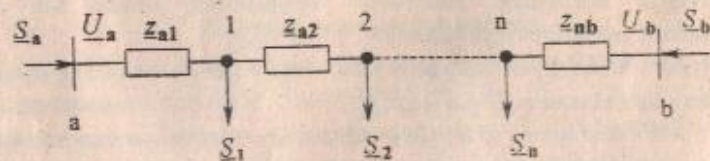


Рис.2.1. Схема сети с двумя источниками

ли, подключенные к линии с двусторонним питанием, могут получать электроэнергию из разных источников и напряжения на шинах этих источников могут различаться как по величине, так и по фазе.

Расчет параметров режима линии с двусторонним питанием проводится в три этапа.

На первом, принимая для всей сети потери мощности $\Delta S = 0$ и напряжения в узлах присоединения нагрузок $U_k = U_{ном}$, где $k = 1 \dots n$, находят потоки мощности на головных участках по следующим формулам:

$$S_a = S_{a1} = \frac{1}{z_{ab}} \sum_{k=1}^n S_k z_{kb} + \frac{\underline{U}_a - \underline{U}_b}{z_{ab}} U_{ном} \quad (2.1)$$

$$S_b = S_{bn} = \frac{1}{z_{ab}} \sum_{k=1}^n S_k z_{ka} - \frac{\underline{U}_a - \underline{U}_b}{z_{ab}} U_{ном} \quad (2.2)$$

где S_k – мощности нагрузки, $k=1 \dots n$; z_{ka} , z_{kb} – сопряженные комплексы сопротивлений соответственно между узлами k и a , k и b ; z_{ab} – сопротивление между источниками электроэнергии, $\underline{U}_a$ и $\underline{U}_b$ – напряжения источников электроэнергии; $U_{ном}$ – номинальное напряжение сети.

По найденным потокам, учитывая условия баланса мощности в узлах $k=1 \dots n$, определяют потоки $S_{k(k+1)}$ на всех участках линии и находят точку потокораздела.

Далее разрезают сеть по точке потокораздела, сохраняя найденное на первом этапе распределение мощностей по сети. Это позволяет разделить нагрузку в узле потокораздела следующим образом:

- нагрузка, получающая электроэнергию от источника a : $S_k^{(a)} = S_{(k-1)k}$;
- нагрузка, получающая электроэнергию от источника b : $S_k^{(b)} = S_{k(k+1)}$.

Таким образом, получают две разомкнутые схемы.

Дальнейший расчет режима осуществляется так же, как для разомкнутых сетей «по данным начала» (см. лабораторную работу №1). На втором этапе находят уточненные значения мощности с учетом потерь мощности для каждой из схем. Расчет ведется в направлении от точки потокораздела к источникам. На третьем этапе вычисляются напряжения в узловых точках, при этом расчет проводится от источников к точке потокораздела.

Напряжение в точке потокораздела рассчитывается дважды: от первого источника $\underline{U}_k^{(a)}$ и от второго источника $\underline{U}_k^{(b)}$

Если $|U_k^{(a)} - U_k^{(b)}| \leq \epsilon$, расчет заканчивают. Здесь ϵ заранее заданная точность расчета. Если $|U_k^{(a)} - U_k^{(b)}| > \epsilon$, расчет повторяют так же, как для разомкнутой сети или определяют уравнивающий поток, обусловленный разностью напряжений в точке поточораздела, уточняют потокораспределение, найденное на втором этапе расчета, и еще раз рассчитывают напряжения в узлах.

Объект исследования

В работе исследуется электропередача с двусторонним питанием $U_{ном} = 110 \text{ кВ}$ (рис. 2.2).

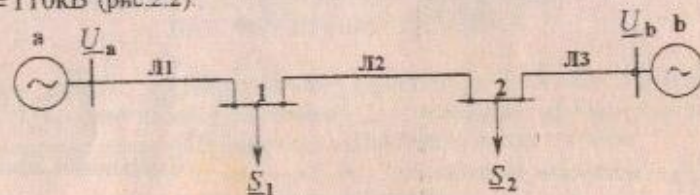


Рис. 2.2. Схема сети для исследования

Электрическая сеть выполнена одноцепными воздушными линиями на железобетонных опорах, провода расположены в вершинах равностороннего треугольника.

Марки провода, длины линий, нагрузки в узлах, а также вариант для расчета режима линии задаются в табл. 2.1 в соответствии с номером бригады.

Расчетная часть работы

1. Составить полную схему замещения сети, приняв для каждого участка сети П-образную схему замещения, и рассчитать её параметры. При этом погонные параметры $r_{oi}, x_{oi}, b_{oi}, g_{oi}$ находятся в соответствии с номинальным напряжением и маркой провода.

2. Рассчитать режим линии с двусторонним питанием для заданного бригаде варианта (см. табл. 2.1).

$$\underline{U}_a = k_a U_{ном} e^{j\delta_a}, \underline{U}_b = k_b U_{ном} e^{j\delta_b}$$

$$\underline{S}_{1p} = \underline{S}_1 - j \frac{Q_{c11}}{2} - j \frac{Q_{c12}}{2},$$

$$\underline{S}_{2p} = \underline{S}_2 - j \frac{Q_{c12}}{2} - j \frac{Q_{c2b}}{2}.$$

Таблица 2.1

№ бригады	Марка провода и длина линии, км	Нагрузка, МВА						Угол, град	
		L_1	L_2	L_3	S_1	S_2	k_a	k_b	δ_a δ_b
1	AC-120/19 40	AC-120/19 20	AC-120/19 25	25+j10	30+j15	1,05	1	4	0
2	AC-150/24 30	AC-150/24 10	AC-150/24 50	35+j10	40+j15	1,05	1	5	0
3	AC-185/29 45	AC-120/19 20	AC-150/24 30	40+j20	25+j10	1,1	1	0	0
4	AC-240/32 30	AC-240/32 20	AC-240/32 40	50+j20	30+j10	1,1	1	5	0
5	AC-150/24 20	AC-120/19 20	AC-185/29 30	35+j15	45+j20	1	1,05	0	0
6	AC-240/32 40	AC-95/15 15	AC-185/29 35	45+j20	35+j10	1,1	1	0	0
7	AC-150/24 35	AC-150/24 25	AC-240/32 45	30+j15	40+j10	1	1,1	0	0
8	AC-185/29 25	AC-120/19 30	AC-150/24 40	35+j20	25+j15	1	1	4	0

Здесь зарядные мощности определяются по $U_{ном}$.

Принять допустимую разницу напряжений при подходе к точке поточораздела слева и справа $\epsilon = 0.5 \text{ кВ}$ и оценить соответствующую погрешность в определении потоков.

3. Составить карту режима (рис. 2.3). Вместо буквенных обозначений нанести числовые значения параметров режима.

4. Подготовить 7 карт режима (рис. 2.3) для заполнения по результатам опыта.

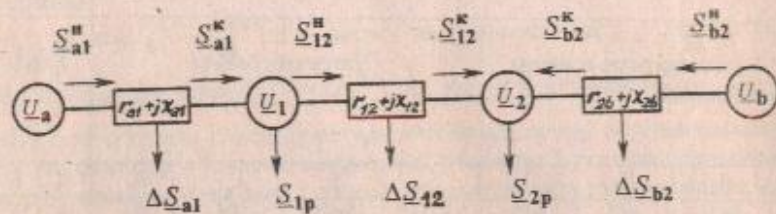


Рис. 2.3. Карта режима сети

Программное обеспечение

Лабораторная работа выполняется на ПЭВМ в операционной системе Windows по программе, записанной в файле под именем ELS2.exe или в библиотеку с именем ELS2.lib.

После активизации файла в центре фронтальной панели виртуального устройства (рис. 2.4) появляется мнемоническая схема с изображением двойной рабочей системы шин подстанции с шиносоединительным выключателем, нормально разомкнутым, и двух отходящих линий Л-1 и Л-3, по которым питаются две подстанции с нагрузками $P_1 + jQ_1$ и $P_2 + jQ_2$. Линия Л-2 соединяет эти подстанции, образуя кольцевую сеть. На схеме сети размещаются цифровые индикаторы напряжения на шинах, потоков активной и реактивной мощности в начале и конце каждой линии.

В правой части панели расположены цифровые задатчики параметров r , x и b схемы замещения каждой линии. При этом для удобства ёмкостная проводимость вводится умноженной на 10^6 .

В нижней части фронтальной панели задаются модули напряжения U_a и U_b на рабочих шинах питающей подстанции и угловой сдвиг между ними в градусах. При включении шиносоединительного выключателя уровень напряжения на шинах $U_a = U_b$ определяется задатчиком U_a , а установленный угловой сдвиг не учитывается.

Здесь же расположены задатчики мощности в нагрузочных узлах. При этом на задатчиках Q можно выставить заданную реактивную нагрузку в узле, либо расчетную нагрузку в узле. При этом для линий, соответственно, вводится расчетная проводимость b или $b=0$.

Справа расположены индикаторы, показывающие общие потери в сети в МВА.

После установки параметров системы и нагрузок начинаются исследования.

Работа в режиме одиночного запуска программы осуществляется следующим образом: выставляется изменяемый параметр, нажимается кнопка запуска, фиксируются результаты.

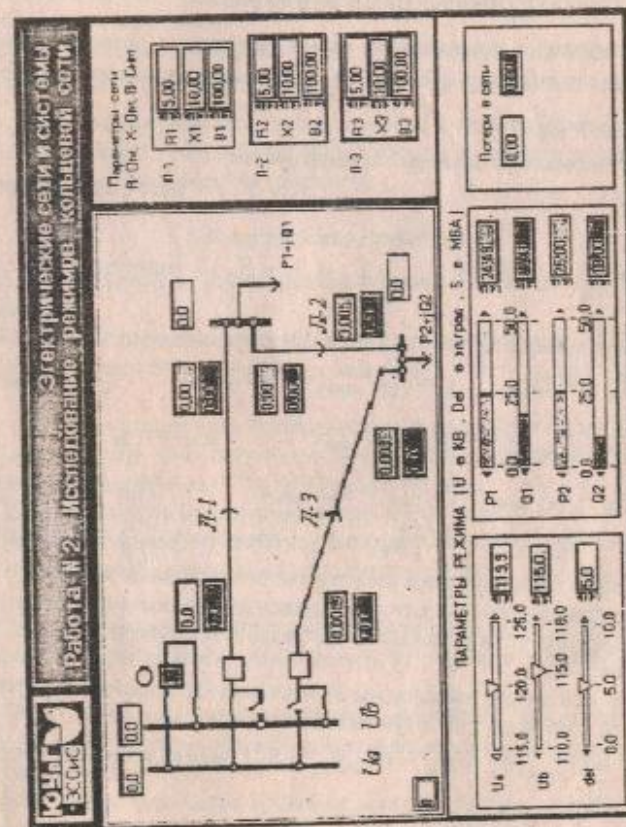


Рис. 2.4. Фронтальная панель

В режиме повторяющегося запуска проводится установка интересующего параметра, приводящая к изменению соответствующих параметров режима, которые фиксируются в протоколе исследования. Остановка программы, нажатием на кнопку «Stop», проводится после выполнения всех пунктов программы исследований.

Порядок выполнения работы

В соответствии с параметрами схемы замещения установить на экране дисплея значения r , x и b для всех линий. Установить значения нагрузок $\underline{S}_{1p}$ и $\underline{S}_{2p}$, $b=0$ или $\underline{S}_1$ и $\underline{S}_2$.

1. Исследовать нормальный режим кольцевой сети:

1.1. $U_a = U_b = 110$ кВ, $\underline{S}_{1p}$ и $\underline{S}_{2p}$ ($\underline{S}_1$ и $\underline{S}_2$) – нагрузки активно-индуктивные.

1.2. $U_a = U_b = 110$ кВ, $\underline{S}_{1p}$ и $\underline{S}_{2p}$ ($\underline{S}_1$ и $\underline{S}_2$) – нагрузка $\underline{S}_2$ активно-емкостная.

2. Исследовать нормальный режим линии с двусторонним питанием:

$$2.1. U_a = k_a U_{ном}, U_b = k_b U_{ном}, \delta_a = \delta_b = 0^\circ, \underline{S}_{1p} \text{ и } \underline{S}_{2p};$$

$$2.2. \underline{U}_a = U_{ном} e^{j\delta_a}, \underline{U}_b = U_{ном} e^{j\delta_b}, \underline{S}_{1p} \text{ и } \underline{S}_{2p};$$

$$2.3. \underline{U}_a = k_a U_{ном} e^{j\delta_a}, \underline{U}_b = k_b U_{ном} e^{j\delta_b}, \underline{S}_{1p} \text{ и } \underline{S}_{2p}.$$

3. Приняв $U_b = U_{ном}$, $\delta_b = 0^\circ$, $\underline{S}_{1p}$ и $\underline{S}_{2p}$, подобрать U_a и δ_a таким образом, чтобы мощность поступала в сеть только от источника a .

Для всех проведенных опытов составить карты режима, оценить величину уравнивающего потока и показать его связь с величиной и фазой напряжений источников.

4. Полагая, что все линии выполнены кабелями с алюминиевыми жилами того же сечения, что и провода ЛЭП, принять $x=0$.

4.1. $U_b = U_{ном}$, $\delta_a = \delta_b = 0^\circ$, $\underline{S}_{1p}$ и $\underline{S}_{2p}$, меняя величину напряжения U_a оценить $\underline{S}_{ур}$.

4.2. При $U_a = U_b = U_{ном}$, $\delta_b = 0^\circ$, $\underline{S}_{1p}$ и $\underline{S}_{2p}$, меняя δ_a оценить $\underline{S}_{ур}$.

5. Аналогичные исследования провести для ВЛ, приняв $r_1 = 0$.

5.1. $U_b = U_{ном}$, $\delta_a = \delta_b = 0^\circ$, $\underline{S}_{1p}$ и $\underline{S}_{2p}$, меняя U_a оценить $\underline{S}_{ур}$.

5.2. $U_a = U_b = U_{ном}$, $\delta_b = 0^\circ$, $\underline{S}_{1p}$ и $\underline{S}_{2p}$, меняя δ_a оценить $\underline{S}_{ур}$.

Содержание отчета

1. Четко и аккуратно оформить расчетную часть, привести все необходимые схемы и рисунки.

2. Результаты опытных данных для всех режимов представить в виде соответствующих карт режимов (см. рис. 2.3).

3. Сопоставить потокораспределение и уровни напряжений в рассмотренных режимах с базовым.

В качестве базового режима взять режим кольцевой сети при активно-индуктивном характере нагрузок $\underline{S}_{1p}$ и $\underline{S}_{2p}$. Дать краткий анализ влияния уровней и фаз напряжений источников a и b на потокораспределение в сети.

4. Сопоставить результаты аналитического расчета с опытными данными и объяснить причину погрешности.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается преимущество замкнутых сетей по сравнению с разомкнутыми?

2. Как определить мощности на «головных» участках кольцевой сети?

3. Порядок расчета потокораспределения в сети с двусторонним питанием

4. Что называется точкой потокораздела в замкнутой сети?

5. Как разделить замкнутую сеть на две разомкнутые, если точки раздела активной и реактивной мощности не совпадают?

6. Порядок расчета напряжений в замкнутой сети.

7. Особенности расчета режима замкнутой сети местного значения.

8. Определение уравнивающего потока в линии с двусторонним питанием.

9. Сеть с двусторонним питанием выполнена кабельными линиями. Объяснить влияние уровней и фаз напряжений источников питания на потокораспределение в сети.

10. Сеть с двусторонним питанием выполнена проводом, у которого $r \ll x$. Объяснить влияние уровней и фаз напряжений источников питания на потокораспределение в сети.

11. Сеть с двусторонним питанием состоит из трех линий и двух нагрузок. Как изменятся напряжения на нагрузке при отключении одного источника, если нагрузки имеют активно-индуктивный характер, если одна из нагрузок имеет активно-емкостный характер?