

Еще ниже располагается панель инструментов (рис. В.1), используемая для запуска программы.

Предварительно на цифровых задатчиках с помощью мыши выставляются параметры системы, заранее подсчитанные в соответствии заданным вариантам, и параметры режима. При этом курсор мыши в виде «руки» подводится к кнопкам «прибавить» или «убавить» цифрового задатчика, расположенным в левой части его. Нажатие левой кнопки мыши приводит к соответствующим изменениям уставки на единицу.

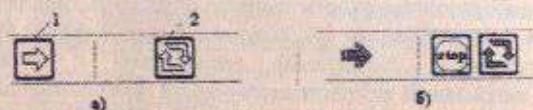


Рис. В.1. Панель инструментов

В качестве задатчика могут использоваться ползунковые устройства, управляемые аналогично перемещением движка.

Изменить уставку можно подводом «руки» к полю индикатора задатчика с последующим нажатием левой кнопки мыши и вводом величины параметра с клавиатуры.

С помощью кнопок 1 и 2 осуществляется запуск программы (рис. В.1, а).

Нажатие кнопки 1 приводит к выполнению программы только один раз. Полученные результаты выводятся на индикаторы, которые предусмотрены разработчиком программы и размещены на фронтальной панели.

Нажатие кнопки 2 приводит к циклически повторяющемуся запуску программы. При этом каждый раз опрашиваются все кнопки управления и цифровые задатчики фронтальной панели, осуществляется решение и отображение результатов. В этом случае любое изменение исходных параметров пользователем тут же приводит к адекватному изменению параметров режима системы. Панель инструментов меняет свой вид (рис. В.1, б), появляется кнопка «Stop», нажатие на которую приводит к останову решения.

Выход из программы осуществляется путём нажатия кнопки  в первой строке или через меню File» Close.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

Цель работы: изучение методов расчета и исследование различных режимов работы ЛЭП.

Теоретическая часть

Электрическая сеть – это электрическая цепь, по которой происходит передача и распределение электрической энергии. Одним из основных ее элементов являются линии электропередачи, которые при проведении электрических расчетов представляются схемами замещения. Параметры линии передачи (активные и индуктивные сопротивления, активная и емкостная проводимости) равномерно распределены по ее длине. Однако для линий напряжением 110 кВ и выше, длиной до 300...400 км распределенность параметров можно не учитывать и в расчетах использовать П-образную схему замещения с сосредоточенными параметрами (рис. 1.1), рассчитывая их по следующим формулам:

$$\underline{z}_\lambda = r_\lambda + jx_\lambda, \quad \underline{y}_\lambda = g_\lambda + jb_\lambda,$$

$$r_\lambda = \frac{r_0 l}{n}, \quad x_\lambda = \frac{x_0 l}{n}, \quad b_\lambda = nb_0 l, \quad g_\lambda = n \frac{\Delta P_k}{U_{ном}^2}, \quad (1.1)$$

где r_0 , x_0 – соответственно активное и индуктивное сопротивления линии длиной 1 км, Ом/км[2]; b_0 – емкостная проводимость линии длиной 1 км, См/км[2], n – количество параллельно проложенных цепей или линий; ΔP_k – потери на корону[2]. Если сечение линии выбрано с учетом короны и погодные условия вдоль трассы ЛЭП благоприятны, то $g_\lambda = 0$.

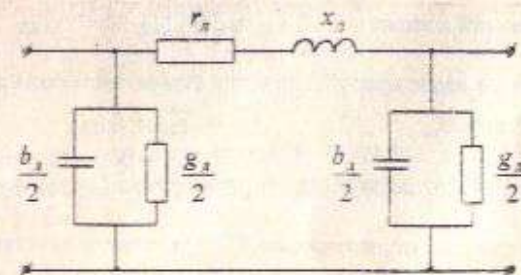


Рис. 1.1. Схема замещения линии

Емкость генерирует зарядную (емкостную) мощность линии, половина которой равна $-jQ_c = -j\frac{1}{2}U^2 b_A$.

Процесс передачи электроэнергии по ЛЭП на некотором интервале времени называется режимом ЛЭП и характеризуется параметрами режима: значениями напряжений и потоков мощности по концам передачи $\underline{U}_1, P_1, Q_1$ и $\underline{U}_2, P_2, Q_2$, величиной тока, частотой и др.

Наиболее простой расчет режима возможен, если заданы напряжение и мощность в конце или начале линии (рис. 1.2). Так при заданных $\underline{U}_2, \underline{S}_2$ расчет («по данным конца») состоит в последовательном определении от конца к началу неизвестных мощностей и напряжений при использовании первого закона Кирхгофа и закона Ома.

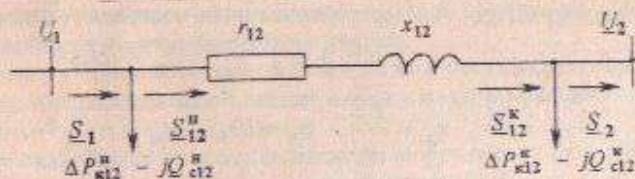


Рис. 1.2. Упрощенная схема замещения линии

Мощность в конце продольной части схемы запишется по первому закону

Кирхгофа
$$\underline{S}_{12}^k = \underline{S}_2 + \Delta P_{\kappa 12}^k - j\frac{1}{2}U_2^2 b_{12}.$$

Потери мощности в линии
$$\Delta S_{12} = 3I_{12}^2 z_{12} = \frac{S_{12}^{k2}}{U_2^2} z_{12}.$$

Ток в начале и в конце продольной ветви схемы замещения одинаков.

Мощность в начале
$$\underline{S}_{12}^n = \underline{S}_{12}^k + \Delta S_{12}$$

и напряжение $\underline{U}_1$ по закону Ома
$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 + \sqrt{3} I_{12} z_{12} = \underline{U}_2 + \frac{\underline{S}_{12}^k}{\underline{U}_2} z_{12}.$$

Если принять, что напряжение $\underline{U}_2$ совпадает с действительной осью координат $\underline{U}_2 = \underline{\dot{U}}_2 = U_2$, то

$$\underline{U}_1 = U_2 + \frac{(P_{12}^k - jQ_{12}^k)}{U_2} (r_{12} + jx_{12}) = U_2 + \Delta U_{12}^k + j\delta U_{12}^k,$$

где $\Delta U_{12}^k = \frac{(P_{12}^k r_{12} + Q_{12}^k x_{12})}{U_2}$ — продольная составляющая падения напряжения, $\delta U_{12}^k = \frac{(P_{12}^k x_{12} - Q_{12}^k r_{12})}{U_2}$ — поперечная составляющая падения напряжения

Далее определяется мощность в начале линии

$$\underline{S}_1 = \underline{S}_{12}^n + \Delta P_{\kappa 12}^n - j\frac{1}{2}U_1^2 b_{12}.$$

Векторная диаграмма напряжений при расчете «по данным конца» линии представлена на рис. 1.3.

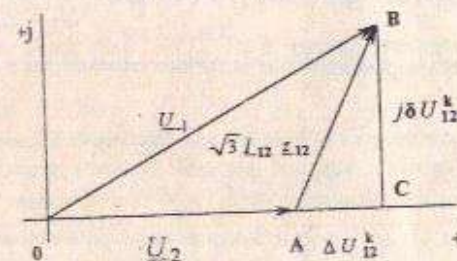


Рис. 1.3. Векторная диаграмма напряжений при заданном $\underline{U}_2$

Соответственно модуль и фаза напряжения в начале линии (рис. 1.3)

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_{12}^k)^2 + (\delta U_{12}^k)^2}.$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\delta U_{12}^k}{U_2 + \Delta U_{12}^k}.$$

Аналогично проводится расчет при заданных $\underline{U}_1$ и $\underline{S}_1$. Последовательно от начала к концу линии определяются неизвестные напряжения и мощности по следующим формулам (рис. 1.2):

$$\underline{S}_{12}^n = \underline{S}_1 - \Delta P_{\kappa 12}^n + jQ_{c12}, \text{ где } -jQ_{c12} = -j\frac{1}{2}U_1^2 b_A.$$

$$\Delta S_{12} = \frac{S_{12}^2}{U_1^2} z_{12}, \quad S_{12}^K = S_{12}^N - \Delta S_{12},$$

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 - \frac{S_{12}^N}{U_1} z_{12} \quad \text{или при} \quad \underline{U}_1 = \underline{U}_1^* = U_1$$

$$\underline{U}_2 = U_1 - \Delta U_{12}^N - j\delta U_{12}^N.$$

где
$$\Delta U_{12}^N = \frac{P_{12}^N r_{12} + Q_{12}^N x_{12}}{U_1}, \quad \delta U_{12}^N = \frac{P_{12}^N x_{12} - Q_{12}^N r_{12}}{U_1},$$

$$S_2 = S_{12}^K - \Delta P_{K12} + jQ_{C12}, \quad -jQ_{C12} = -j\frac{1}{2}U_2^2 b_L.$$

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_{12}^N)^2 + (\delta U_{12}^N)^2}, \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{\delta U_{12}^N}{U_1 - \Delta U_{12}^N}.$$

Векторная диаграмма напряжений при заданных параметрах в начале линии показана на рис. 1.4.

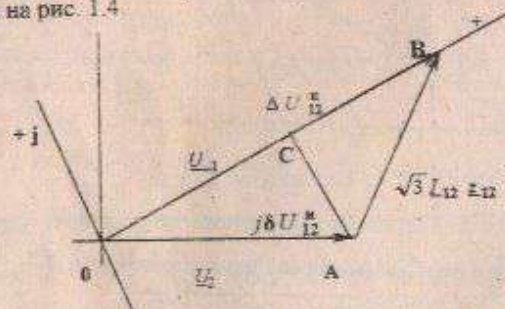


Рис. 1.4 Векторная диаграмма напряжений при заданном $\underline{U}_1$

Наибольший интерес при расчете режима представляет реальная ситуация, когда известны мощности в конце передачи S_2 и напряжение на шинах питающей подстанции $\underline{U}_1$ (рис. 1.2). В этом случае расчет («по данным начала») проводится итеративным методом в два этапа, при этом заранее устанавливают желаемую точность расчета ϵ .

На первом этапе, приняв $\underline{U}_2^{(0)} = U_{\text{ном}}$, последовательным расчетом от конца к началу передачи находят поток мощности в начале ветви схемы замещения:

$$-jQ_{C12}^K = -j\frac{1}{2}U_{\text{ном}}^2 b_L.$$

$$S_{12}^K = S_2 + \Delta P_{K12} - jQ_{C12}^K.$$

$$\Delta S_{12} = \frac{S_{12}^2}{U_{\text{ном}}^2} z_{12},$$

$$S_{12}^N = S_{12}^K + \Delta S_{12}.$$

На втором этапе рассчитывают напряжение $\underline{U}_2^{(1)}$

$$\underline{U}_2^{(1)} = \underline{U}_1 - \frac{S_{12}^N}{U_1} z_{12}.$$

Модуль напряжения $U_2^{(1)}$ сравнивают с $U_2^{(0)}$. Если $|U_2^{(1)} - U_2^{(0)}| \leq \epsilon$, расчет заканчивают. Если $|U_2^{(1)} - U_2^{(0)}| > \epsilon$ расчет повторяют для напряжения $\underline{U}_2^{(1)}$ и т.д.

Представленные формулы для расчета и векторные диаграммы справедливы для активно-индуктивной нагрузки или при согласном направлении потоков мощности в линии $\underline{S} = P + jQ$. При активно-емкостной нагрузке или при встречном направлении потоков мощности $\underline{S} = P - jQ$ в формулах необходимо изменить знак.

Исследование и анализ работы линий необходимы для оценки условий, в которых будут работать потребители и оборудование электрической сети. Такие оценки дают возможность предусмотреть меры для обеспечения требуемого качества электроэнергии, а также выбрать оптимальные режимы, при которых обеспечивается минимум потерь электроэнергии.

В настоящее время наряду с аналитическими методами исследований режимов электрических сетей и систем широко используются персональные ПЭВМ.

Объект исследования

В работе исследуются режимы воздушной одноцепной линии 220 кВ с односторонним питанием, выполненной на П-образных опорах с горизонтальным расположением проводов. Марка провода, сечение, длина линии задаются в табл. 1.1.

Таблица 1.1

№ бригады	Марка провода	Длина линии, 1 км	Расстояние между фазами Д, м
1	АС - 240/32	80	4,5
2	АС - 300/48	100	4,5
3	АС - 400/64	120	5,0
4	АС - 300/39	90	4,0
5	АС - 400/22	110	5,0
6	АС - 240/39	100	4,0
7	АС - 300/66	105	4,5
8	АС - 400/51	115	5,0

Расчетная часть работы

1. Составить схему замещения исследуемой ЛЭП и определить ее параметры.
2. Рассчитать режимы линии для следующих исходных данных:

2.1. $U_2 = 220 \text{ кВ}$, $P_2 = P_{\text{нат}}$, $\text{tg} \varphi_2 = 0,5$;

2.2. $U_2 = 220 \text{ кВ}$, $P_2 = P_{\text{нат}}$, $\text{tg} \varphi_2 = -0,5$;

2.3. $U_1 = 230 \text{ кВ}$, $P_1 = P_{\text{нат}}$, $\text{tg} \varphi_1 = 0,5$;

2.4. $U_1 = U_2 = 220 \text{ кВ}$, $P_2 = P_{\text{нат}}$.

Здесь $P_{\text{нат}} = U_{\text{ном}}^2 / z_c$, $z_c = \sqrt{\frac{z_0}{y_0}}$ — волновое сопротивление линии,

$$z_0 = r_0 + jx_0, y_0 = g_0 + jb_0$$

3. Результаты теоретических расчетов свести в табл. 1.2.
4. По результатам расчетов по п.2 построить векторные диаграммы напряжений.

Программное обеспечение

Лабораторная работа выполняется на ПЭВМ в операционной системе Windows по программе, записанной в файл под именем ELS1.exe.

После активизации файла в центре экрана появляется мнемоническое изображение П-образной схемы замещения линии с цифровыми индикаторами параметров режима (рис. 1.5).

В верхнем ряду расположены индикаторы активной мощности в начале и в конце линии, ниже располагаются индикаторы реактивной мощности и напряжения.

Таблица 1.2

У	Наименование исчисления	U_1 кВ	P_1 МВт	$\text{tg} \varphi_1$	Q_1 Мвар	U_2 кВ	P_2 МВт	$\text{tg} \varphi_2$	Q_2 Мвар	ΔU_{12} кВ	Q_c Мвар	ΔU_{12} кВ
1	Расчетная											
	Опытная											
2	Расчетная											
	Опытная											
3	Расчетная											
	Опытная											
4	Расчетная											
	Опытная											

В нижней половине экрана слева размещаются цифровые задатчики параметров r , x и b схемы замещения.

Справа расположено табло выбора типа задания исходных данных для расчета режима U_2, P_2, Q_2 или U_1, P_2, Q_2 , а также цифровые задатчики P_2, Q_2 и U .

В центре этой части экрана помещен стрелочный прибор, показывающий значение угла между векторами $\underline{U}_1$ и $\underline{U}_2$ в градусах.

Перед исследованием необходимо установить исходные параметры системы.

Выбор корректируемого параметра осуществляется с помощью мыши, а изменение с помощью соответствующих задатчиков.

Исследование можно проводить в режиме одиночного или повторяющегося запуска. Во втором случае процесс исследования начинается с нажатия кнопки с изображением цикла из двух стрелок. В этом режиме с помощью мыши можно менять любые исходные параметры режима, тип их задания и наблюдать отображение всех параметров режима на мнемонической схеме.

Для завершения исследований нажать кнопку «Stop».

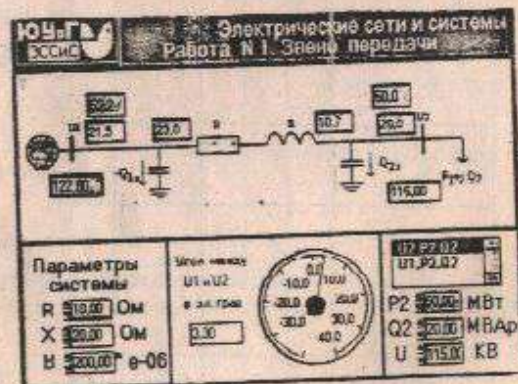


Рис. 1.5. Фронтальная панель

Порядок выполнения работы

В соответствии с параметрами схемы замещения установить с помощью задатчиков на фронтальной панели ВУ значения r_{12}, x_{12}, b_{12} .

1. Исследовать влияние переменной реактивной нагрузки в конце передачи на параметры режима при $U_2 = 220$ кВ, $P_2 = P_{\text{нат}}$, Q_2 изменять в соответствии с $\text{tg } \varphi_2 = -1; -0,5; 0; 0,5; 1$.

2. Исследовать влияние переменной реактивной нагрузки в конце передачи на

параметры режима при $U_1 = 230$ кВ, $P_2 = P_{\text{нат}}$, Q_2 изменять в соответствии с $\text{tg } \varphi_2 = -1; -0,5; 0; 0,5; 1$.

По результатам опытов п.1 и п.2 построить графики

$$P_1 = f(Q_2), Q_1 = f(Q_2), U_1 = f(Q_2) \text{ или } U_2 = f(Q_2), \Delta P_{12} = f(Q_2),$$

$$\Delta Q_{12} = f(Q_2).$$

Сравнить полученные в опытах зависимости и объяснить характер изменения, используя ранее приведенные теоретические сведения.

3. При условии $U_1 = U_2 = 220$ кВ обеспечить передачу активной мощности $P_2 = 0,5 P_{\text{нат}}$; $P_{\text{нат}}$ и $1,2 P_{\text{нат}}$.

Для каждого опыта составить карту режима и объяснить полученные результаты.

4. Рассмотреть холостой ход линии.

Содержание отчета

1. Включить в отчет аккуратно оформленную расчетную часть работы.
2. Представить результаты опытов в табл. 2.
3. Оформить графики и карты режимов и сделать выводы о влиянии реактивной мощности и напряжения на параметры режима.

Контрольные вопросы

1. Объяснить физический смысл параметров схемы замещения r_d, x_d, b_d, g_d .
2. Как определить зарядную мощность линии?
3. Объяснить процесс явления короны на линии и перечислить мероприятия по снижению потерь на корону в ЛЭП.
4. Почему при увеличении мощности P_2 от 0 до $1,5 P_{\text{нат}}$ при $Q_2 = 0$ и $U_2 = \text{const}$ реактивная мощность в начале линии Q_c меняет знак?
5. В каком случае реактивная мощность в начале линии равна нулю?
6. При передаче активной мощности от начала линии к концу может ли напряжение в начале линии быть меньше напряжения в конце линии?
7. Построить векторную диаграмму напряжений линии для активно-индуктивной мощности при заданных U_2, P_2, jQ_2 .
8. Построить векторную диаграмму напряжений линии для активно-индуктивной мощности при заданных U_1, P_1, jQ_1 .
9. Построить векторную диаграмму напряжений линии для активно-емкостной мощности при заданных $U_2, P_2, -jQ_2$.
10. Построить векторную диаграмму напряжений линии для активно-емкостной мощности при заданных $U_1, P_1, -jQ_1$.
11. Построить векторную диаграмму токов и напряжений линии, если известно напряжение в конце передачи $\underline{U}_2$ и активно-индуктивный ток $\underline{I}_2 = I_2^{-j\varphi_2}$.

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-

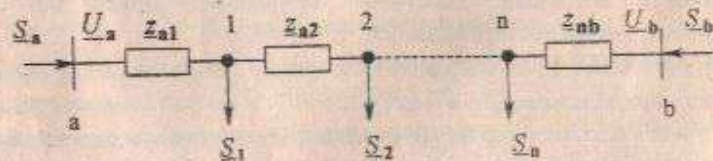


Рис.2.1. Схема сети с двумя источниками

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:

$$\underline{S}_a = \underline{S}_{a1} = \frac{1}{z_{ab}} \sum_{k=1}^n \underline{S}_k \underline{z}_{kb} + \frac{\underline{U}_a - \underline{U}_b}{z_{ab}} U_{ном}, \quad (2.1)$$

$$\underline{S}_b = \underline{S}_{bn} = \frac{1}{z_{ab}} \sum_{k=1}^n \underline{S}_k \underline{z}_{ka} - \frac{\underline{U}_a - \underline{U}_b}{z_{ab}} U_{ном}, \quad (2.2)$$

где $\underline{S}_k$ – мощности нагрузки, $k=1 \dots n$; $\underline{z}_{ka}$, $\underline{z}_{kb}$ – 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 $\underline{S}_{k(k+1)}$ на всех участках линии и находят точку потококораздела.

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

- нагрузка, получающая электроэнергию от источника a : $\underline{S}_k^{(a)} = \underline{S}_{(k-1)k}$;
- нагрузка, получающая электроэнергию от источника b : $\underline{S}_k^{(b)} = \underline{S}_{k(k+1)}$

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 потококораздела к источникам. На третьем этапе вычисляются напряжения в узловых точках, при этом расчет проводится от источников к точке потококораздела.

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