

Владимир Неуймин

**Комплекс
Rastr**

Версия 3.4

Copyright ©1999 Учебно—научно—производственное предприятие «УПИ—Энерго»
All rights reserved.

Запрещается любое копирование и распространение этого документа и его частей в печатном и электронном виде без согласования с автором.

Комплекс программ **Rastr** предназначен для расчета и анализа установившихся режимов электрических систем на ПЭВМ IBM PC. **Rastr** позволяет производить расчет и утяжеление режима, эквивалентирование сети. Обеспечивает возможности экранного ввода и коррекции исходных данных, быстрого отключения узлов и ветвей схемы, имеет возможности районирования сети. Предусмотрено графическое представление схемы или отдельных ее фрагментов вместе с практически любыми расчетными и исходными параметрами. Также в комплекс включена оптимизация режима по реактивной мощности.

Комплекс программ **Rastr** разработан на кафедре «Автоматизированные электрические системы» Уральского государственного технического университета (УГТУ—УПИ) в период с 1989-1998 годы.

С автором можно связаться по тел. (3432)-59-91-21, (ОДУ Урала)-3-21.

E-mail: vlad@oduurl.ru

WWW: <http://pm.oduurl.ru/~vlad>

В создании комплекса также принимали участие Блаженко А. В., Грудинин Н.И., Мещенко А.В. и Бартоломей А.П.

Автор благодарит:

Аюева Б.И., Бартоломея П.И., Божевольнова М.В., Давыдова В.В., Ерохина П.М., Кулешова А.И., Куца М.В, Никитина Ю.И., Показаньева Г.В., Ухалова В.А., а также весь коллектив кафедры АЭС и предприятия УПИ—Энерго за дружеское участие и помощь в работе.

Эта работа посвящается учителям

Липесу Аркадию Вениаминовичу и **Арзамасцеву Дмитрию Александровичу**.

Оглавление

1	Основы расчета режима с помощью Rastr	7
1.1	Подготовка исходных данных для расчета	7
1.2	Запуск программы Rastr	8
1.3	Работа в главном меню, справочная система	9
1.4	Работа с файлами (схемами)	11
1.5	Ввод данных по схеме сети	12
1.5.1	Исходные данные	12
1.5.2	Основные возможности экранного редактора	14
1.5.3	Групповые операции	16
1.6	Контроль исходной информации	18
1.7	Расчет установившегося режима	19
1.8	Анализ полученных результатов	20
1.9	Проведение вариантных расчетов	22
1.10	Анализ аварийного завершения расчета	23
1.11	Печать исходных данных и результатов расчета	24
2	Расширенные возможности программы	25
2.1	Особенности расчета режима	25
2.1.1	Учет ограничений по реактивной мощности	25
2.1.2	Статические характеристики нагрузки	28
2.1.3	Расчет режима с учетом частоты	30
2.1.4	Параметры расчета режима	33
2.2	Районирование схемы	35
2.3	Эквивалентирование	36
2.4	Расчет предельных режимов	39
2.5	Оптимизация режима по реактивной мощности	43
2.5.1	Алгоритм оптимизации	43
2.5.2	Исходные данные, параметры и результаты	46
2.5.3	Расчет анцапф	49
2.6	Расчет влияния изменения параметров режима	53
2.7	Различные формы представления результатов	56
2.8	Сервисные возможности программы	59
3	Графика	63
3.1	Основные графические примитивы	63
3.2	Согласование расчетной и графической схемы	64
3.3	Структура экрана и способы навигации	65
3.4	Постоянное меню	66
3.5	Подготовка графической схемы	68
3.5.1	Расстановка узлов	68

3.5.2	Улучшение внешнего вида схемы	70
3.5.3	Расстановка окон отображения текстовой информации	73
3.5.4	Ввод дополнительных надписей	76
3.5.5	Групповой сдвиг	77
3.6	Работа с файлами	77
3.7	Расчеты	78
3.8	Настройка графической схемы	81
3.9	Печать	86
3.9.1	Печать на листовой принтер	86
3.9.2	Печать на рулонный принтер	87
3.10	Настройка экрана и принтера	88
3.10.1	Экран	88
3.10.2	Принтер	89
3.10.3	Плоттер	90

Глава 1

Основы расчета режима с помощью Rastr

1.1 Подготовка исходных данных для расчета

Перед проведением расчетов по программе надо подготовить исходные данные по схеме, нагрузкам и генераторам электрической сети в форме, понятной **Rastr**. Для этого необходимо:

- нарисовать схему с указанием всех узлов и ветвей;
- пронумеровать все узлы электрической сети, включая все промежуточные узлы. Например, электрическая станция может быть представлена двумя узлами — шины генераторного напряжения и шины за трансформатором. Узел в исходных данных программы соответствует электрическим шинам. Номер узла должен быть уникальным числом в диапазоне от 1 до 32000, сквозная нумерация необязательна. Для простоты ориентации в схеме узлам, относящимся к одному объекту, целесообразно давать похожие номера (7,17,107,1007 и т.д.). Выбранные номера узлов следует нанести на схему сети;
- для каждого узла определить его номинальное напряжение и нанести на схему;
- для каждого узла нагрузки определить активную и реактивную мощности потребления. Если исходные данные заданы активной мощностью и $\cos \varphi$, — рассчитать реактивную мощность;
- для узлов с синхронными машинами (генераторы, компенсаторы) определить активную мощность генерации, пределы регулирования реактивной мощности ($Q_{min} - Q_{max}$) и заданный (фиксированный) модуль напряжения. Особенности задания исходных данных для таких узлов объясняются действием регуляторов возбуждения синхронных машин (СМ). Обычно СМ поддерживает неизменным модуль напряжения на шинах высокого напряжения (за трансформатором) или на шинах генераторного напряжения за счет регулирования реактивной мощности, выдаваемой СМ. Минимальная реактивная мощность Q_{min} соответствует $\cos \varphi = 0,96$, а максимальная, как правило, $\cos \varphi = 0,85$ (для некоторых турбогенераторов минимальное значение $\cos \varphi = 0,80$). В ходе расчета режима **Rastr** контролирует реактивную мощность и при нарушении одного из заданных пределов фиксирует реактивную мощность на его значении и освобождает модуль напряжения;
- при наличии в узле шунтов на землю — батареи статических конденсаторов (БСК) или шунтирующих реакторов (ШР) - определить их проводимость (в мкСм) и нанести на схему;

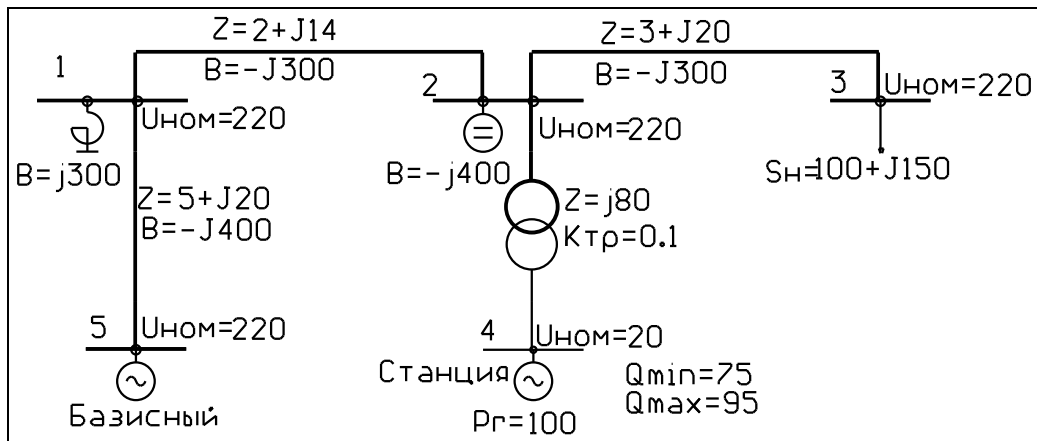


Рис. 1.1. Подготовка схемы замещения

- для линий электропередач (ЛЭП) определить продольное сопротивление и проводимость на землю (проводимость задается в *микросименсах и емкостный характер со знаком минус*);
- для трансформаторов определить сопротивление $R + jX$, приведенное к стороне высокого напряжения, проводимость шунта на землю $G + jB$ и коэффициент трансформации, равный отношению низшего номинального напряжения к высшему (т.о. коэффициент трансформации будет меньше единицы);
- автотрансформаторы и трехобмоточные трансформаторы представить по схеме *звезда* с промежуточным узлом и тремя ветвями, из которых две имеют коэффициенты трансформации;
- при наличии в сети группы параллельных линий желательно присваивать каждой из них свой номер в группе;
- определить номер балансирующего узла и его модуль напряжения.

Пример подготовленной схемы приведен на рис. 1.1. В ней узел 5 — балансирующий, узлы 2 и 4 представляют электростанцию, остальные связи — ЛЭП.

1.2 Запуск программы Rastr

После установки **Rastr** необходимо включить имя каталога RASTR в параметр `path` файла `autoexec.bat` и запустить программу `con_ras` (в каталоге RASTR), устанавливающую конфигурацию: место рабочих файлов, цвета меню и т.п.

Для запуска программы **Rastr** необходимо перейти в выделенный Вам для работы каталог (в дальнейшем — текущий каталог) и набрать:

```
rastr
```

При первом запуске из пустого каталога программа выдаст текстовое сообщение о последних изменениях программы и после нажатия любой клавиши перейдет в основное меню. При последующих запусках будет автоматически загружаться последняя схема, с которой работали в текущем каталоге перед предыдущим выходом из программы.

В процессе работы в текущем каталоге программой создаются файлы, содержащие исходные данные и результаты расчета по схемам (один файл — одна схема). Эти файлы имеют

расширение `rge`, и их имена совпадают с именами схем, присвоенными им в процессе работы.

Для запуска **Rastr** с одновременной загрузкой конкретной схемы необходимо указать имя ее `rge`-файла:

```
rastr file,
```

где `file` — имя файла нужной схемы¹

Процесс загрузки схемы при запуске **Rastr** можно автоматизировать, используя меню расширения файлов в `Norton-comander` при работе в DOS, либо настроить тип файла `.rge` в проводнике Windows. После этого загрузку конкретной схемы можно, например, осуществлять следующим образом: установить курсор `Norton-comander` на нужный файл и нажать клавишу **Enter**. В процессе работы нужные схемы можно загружать и сохранять, используя функциональные клавиши главного меню, см п. 1.4.

Помимо файлов с данными о схемах **Rastr** создает в текущем каталоге файл конфигурации `rastr.cnf`, в котором сохраняет различные настройки, произведенные в процессе работы. Этот файл обновляется при каждом выходе из **Rastr**. А при первом запуске **Rastr**, когда в текущем каталоге пока еще отсутствует файл `rastr.cnf`, в качестве прототипа для его создания используется исходный `rastr.cnf` из каталога, содержащего саму программу². Поэтому не рекомендуется запускать **Rastr** из этого каталога, так как иначе `rastr.cnf` в нем будет обновлен при завершении работы.

При запуске **Rastr** могут использоваться следующие ключи:

- с загрузкой последней схемы: `rastr`
- с загрузкой файла `<file>`: `rastr <file>`
- с восстановлением рабочего файла: `rastr -r`
- запустить **Rastr** и загрузить файл `file` в формате макета ЦДУ: `rastr -I<file>`
- запустить **Rastr** и при окончании работы сохранить текущий `rge`-файл под именем `file` в формате макета ЦДУ: `rastr -O<file>`

В процессе работы в текущем каталоге могут появиться следующие типы файлов:

- *.**rge** — содержат информацию об исходных данных и режиме схемы;
- *.**uk** — содержат информацию о траектории утяжеления;
- *.**cxe** — содержат информацию о графическом образе схемы.

1.3 Работа в главном меню, справочная система

После запуска **Rastr** виден главный экран программы. Его структура показана на рис. 1.2. Экран разбит на несколько частей:

1. Информация о текущей схеме. Указывается имя схемы, ее название, число узлов, ветвей, районов, дата и время последней модификации, а также объем файла в Кбайт. Каждой схеме соответствует один файл на диске (имя схемы совпадает с именем файла). В этой строке также могут отображаться сообщения об ошибках и предупреждения, некоторые сообщения требуют ответа **Y** (Да) или **N** (Нет).

¹допускается не указывать явно расширение `.rge`.

²обычно это каталог `RASTR`.

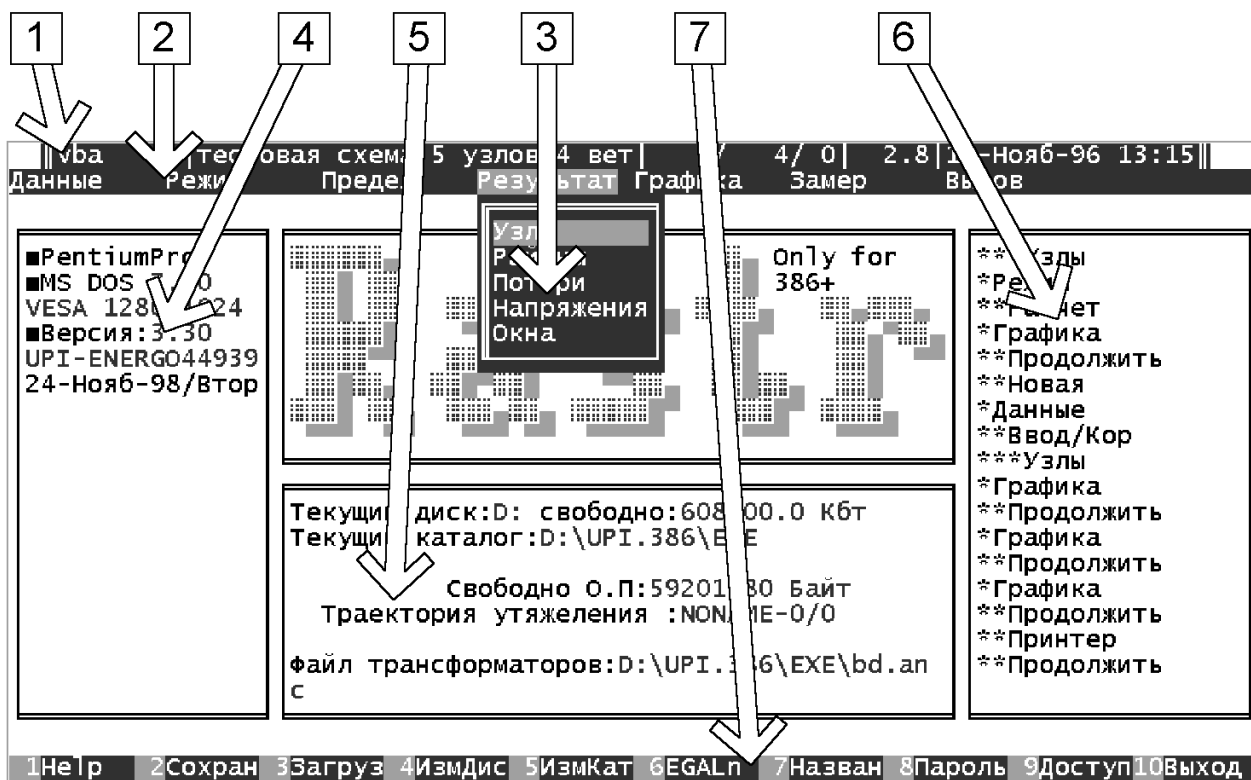


Рис. 1.2. Главный экран программы

2. Строка с главным меню. Содержит заголовки основных меню. Для перемещения по этой строке используются клавиши ← и →. Для входа в выбранное меню используется клавиша **Enter**, для выхода — **Esc**.
3. Выбранное меню. Для перемещения по меню используются клавиши ↑ и ↓, для выбора команды — **Enter**.
4. Окно отображения информации о характеристиках данной ПЭВМ и текущей версии программы **Rastr**. Отображается информация о версии DOS, наличии сопроцессора, типе графического адаптера, версии программы **Rastr** и т.д.
5. Окно отображения информации о ресурсах дисковой и оперативной памяти, текущем диске и текущем каталоге.
6. Окно протокола работы. В это окно заносятся команды, выполненные в процессе работы.
7. Строка оперативной подсказки. В строке отображаются команды, выполняемые при нажатии функциональных клавиш **F1** — **F10**. При нажатии на клавишу **Alt** содержимое строки изменяется и отображает команды, выполняемые при одновременном нажатии клавиши **Alt** и одной из функциональных клавиш **F1** — **F10**.

Список некоторых команд, выполняемых при нажатии функциональных клавиш, приведен ниже:

F1 — выдача справочной информации о текущей выполняемой команде, при повторном нажатии на клавишу **F1** выдается оглавление справочника, в нем можно выбрать интересующий раздел. Для выхода из справочника — **Esc**.

- F2** — записать текущую схему на диск. Она сохраняется вместе с результатами расчета (подробное описание команды приведено в п. 1.4);
- F3** — загрузить схему с диска и сделать ее текущей (подробное описание команды приведено в п. 1.4);
- F4** — сменить текущий диск. На запрос о текущем диске набрать букву, соответствующую нужному диску;
- F5** — сменить текущий каталог. После выбора команды появляется окно с именем текущего каталога. Его нужно изменить на требуемый (каталог должен существовать!);
- F6** — переключатель видеорежимов. Переключает экран из обычного режима в сжатый и обратно (в стандартном режиме на экране отображается 25 строк, в сжатом 43 или 50 в зависимости от типа видеоадаптера).
- F7** — задать или изменить название схемы. Название схемы — строка текста длиной до 40 символов, служит для идентификации схемы (например — Вариант1/Отключена ЛЭП 1-3).
- F10** — выход из программы **Rastr** в DOS.
- Alt+F10** — выдача расширенного протокола работы с указанием всех предупреждающих и аварийных сообщений.

В процессе работы может потребоваться введение некоторой текстовой или числовой информации, при этом можно пользоваться следующими клавишами управления:

←, → — перемещение курсора на одну позицию влево или вправо.

Home, End — перемещение курсора соответственно в начало или конец строки ввода.

Delete — удалить символ над курсором.

Bs — удалить символ слева от курсора.

Insert — вставить пробел в текст над курсором (часть текста справа от курсора сдвигается на одну позицию вправо).

Ctrl+Bs — удалить всю строку ввода.

1.4 Работа с файлами (схемами)

При работе с программой вся введенная информация сохраняется в оперативной (временной) памяти. Чтобы сохранить введенную информацию на диске, нужно использовать команду **Сохранить** (клавиша **F2**), а для обратной операции — **Загрузить** (клавиша **F3**). При выполнении команды **Сохранить** выдается строка с именем файла, в котором будет сохранена схема, при необходимости его можно изменить. Обычно это нужно в тех случаях, когда в существующей схеме проведены изменения, и эту обновленную схему требуется сохранить, оставив старую без изменения.

При выполнении команды **Загрузить** на экран выдается подобная строка, в которой можно указать имя загружаемой схемы. Если файла с таким именем на диске нет, будет произведена очистка памяти и в программу будет загружена пустая новая схема под этим именем. Если точно не известно имя схемы, нужно вместо имени файла набрать символ *. В этом случае на экран будет выдана информация о всех схемах, т.е. файлах с расширением *.rge, находящихся в текущем каталоге. Используя клавиши перемещения курсора, можно выбрать из них нужную.

Требования к имени файла: имя должно содержать не более 8 английских букв и/или цифр, не должно содержать пробелов, знаков препинания, кириллицы.

При работе с несколькими схемами желательно им всем кроме имени давать свои названия (клавиша **F7**).

Перед загрузкой новой схемы убедитесь, что Вы сохранили старую!

1.5 Ввод данных по схеме сети

При вводе данных необходимо иметь схему, подготовленную в соответствии с п. 1.1.

Перед вводом новой схемы целесообразно выполнить команду **F3**— **Загрузить**, задав ее имя¹. Это приведет к очистке памяти и обнулению числа узлов и ветвей. Затем надо выбрать меню **Данные**— **Ввод/Кор**. На экране при этом появится дополнительное вертикальное меню **Узлы**— **Ветви**— **Районы**— **Полиномы**. В нем — выбрать нужный пункт и нажать **Enter**. После этого запустится экранный редактор для операций ввода, коррекции и просмотра информации. В редакторе все функциональные клавиши имеют свое назначение, отличающееся от главного экрана.

Экранный редактор может находиться в двух режимах: просмотр и коррекция. В режиме просмотра заблокированы все функции ввода и редактирования. По умолчанию при первом входе редактор находится в режиме просмотра. Переключателем между режимами является клавиша **F2**. В режиме просмотра курсор представляет собой белый мерцающий прямоугольник размером с одно символесто. В режиме коррекции появляется подсвеченное голубым поле, указывающее текущую позицию ввода.

1.5.1 Исходные данные

Пример подготовки исходных данных для схемы с рис. 1.1 приведен в табл. 1.1 и табл. 1.2.

Ввод схемы рекомендуется начать с данных по узлам (пункт **Узлы** меню). Минимально необходимой информацией для каждого узла является его номер (**Номер**) и номинальное напряжение ($U_{\text{ном}}$). Для узлов нагрузки требуется дополнительно ввести активную и реактивную мощность потребления ($P_{\text{наг}}$, $Q_{\text{наг}}$). Для узлов с генераторами или компенсаторами необходимо дополнительно задать пределы изменения реактивной мощности (Q_{min} , Q_{max}), в графе номинальное напряжение ($U_{\text{ном}}$) для этих узлов указать заданный (фиксированный) модуль напряжения, который будет выдержан, если позволят пределы регулирования реактивной мощности. Один из узлов должен быть назначен базисным (балансирующим). Для этого надо установить курсор в строку, соответствующую базисному узлу, и нажать клавишу **F5**, базисный узел будет выделен цветом. Клавиша **F5** действует как переключатель типа узла — установить/отменить базисный узел. Список всех параметров, относящихся к узлу, приведен ниже:

Район — номер района, к которому относится узел [1-255];

Номер — номер узла [1-32000];

СХН — номер статической характеристики нагрузки (СХН) [0-255]:

0 — не задана;

1,2 — стандартны (защиты в программу);

3-255 — задаются пользователем в таблице **Полиномы**.

Описание использования статических характеристик приведено в п. 2.1.2.

¹набрать имя вместо символа *

Таблица 1.1. Заполнение таблицы **Узлы** для схемы на рис. 1.1

Номер	Название	Uном	Pнаг	Qнаг	Pген	Qген	Qmin	Qmax	Вшунт
1		220							300
2		220							-400
3		220	100	150					
4	Станция	20			100		75	95	
5	Базисный	220							

Название — название узла [0-12 символов];

$U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение или заданный модуль напряжения;

$P_{\text{наг}}, Q_{\text{наг}}$ — мощность нагрузки;

$P_{\text{ген}}, Q_{\text{ген}}$ — мощность генерации;

$Q_{\text{min}}, Q_{\text{max}}$ — пределы генерации реактивной мощности, в узле фиксируется модуль, если задано $Q_{\text{min}} < Q_{\text{max}}$;

$G_{\text{шунт}}, B_{\text{шунт}}$ — проводимость шунта на землю (мкСм) (ШР или БСК);

V, Δ — расчетный модуль и угол напряжения. Для базисных узлов — исходные данные, для остальных — расчетные величины;

$X_{\text{Г}}$ — сопротивление генератора ¹;

$K_{\text{ст}}$ — крутизна статической х-ки $P_{\text{ген}}$ по частоте (см. п. 2.1.3);

$U_{\text{min}}, U_{\text{max}}$ — диапазоны изменения напряжения (см. п. 2.5);

$P_{\text{ном}}, P_{\text{min}}, P_{\text{max}}$ — номинальная, минимальная и максимальная мощности генерации, используются при расчете режима с учетом частоты (см. п. 2.1.3);

Часть перечисленных параметров в таблице замаскирована (скрыта), изменить их видимость можно с помощью меню, вызываемого нажатием клавиши **F3**.

Выход из таблицы осуществляется нажатием клавиши **F10** или **Esc**.

При вводе данных по ветвям (пункт меню **Ветви**) задаются номера узлов, ограничивающих ветвь. Разделение ветвей на ЛЭП и трансформаторы осуществляется программой по значению в поле $K_{\text{т/в}}$ (коэффициент трансформации). Для ЛЭП это поле пустое или ноль, для трансформаторов — заполнено значением². При вводе данных о трансформаторных ветвях важен порядок задания номеров узлов, их ограничивающих. Первым (поле $N_{\text{нач}}$) должен стоять номер узла, к напряжению которого приведено сопротивление, чаще это узел высшего напряжения, тогда вторым (поле $N_{\text{кон}}$) будет номер узла низшего напряжения. Коэффициент трансформации — отношение напряжения узла $N_{\text{кон}}$ к напряжению узла $N_{\text{нач}}$, таким образом, это чаще всего отношение низшего напряжения к высшему.

Список всех параметров, относящихся к ветвям, приведен ниже:

$N_{\text{нач}}, N_{\text{кон}}$ — номера узлов, ограничивающих ветвь;

$N_{\text{п}}$ — номер ветви в группе параллельных (необязателен);

R, X — соответствующие сопротивления;

G, B — проводимости (мкСм). Для ЛЭП — общая проводимость шунтов П-образной схемы ($B < 0$), для трансформатора — проводимость шунта холостого хода для Г-образной схемы ($B > 0$);

¹ в этой версии программы не используется

² даже если это единица!

Таблица 1.2. Заполнение таблицы **Ветви** для схемы на рис. 1.1

Ннач	Нкон	Рлин	Хлин	Влин	Кт/в
1	2	2	14	-300	
2	3	3	20	-300	
1	5	5	20	-400	
2	4		80		0.1

$K_{т/в}$, $K_{т/м}$ — вещественная и мнимая составляющая коэффициента трансформации;

$I_{доп}$ — допустимый ток, используется для определения токовой загрузки (см. п. 2.7);

$K_{r,min}$, $K_{r,max}$ — диапазоны изменения вещественной части коэффициента трансформации (см. п. 2.5);

$K_{i,min}$, $K_{i,max}$ — то же для мнимой части (см. п. 2.5);

ВД — номер трансформатора в таблице **Анцапфы** (см. п. 2.5);

Нанс — текущий номер анцапфы трансформатора (см. п. 2.5).

Для большинства трансформаторов коэффициент трансформации совпадает с его вещественной частью (при отсутствии поперечного регулирования, см. п. 2.5).

Следует соблюдать определенные правила ввода — *недопустимы пустые строки*, а также узлы с незадаанным или отрицательным номером и ветви, у которых не задан хотя бы один из узлов, ее ограничивающих. Эти строки необходимо удалять (**Alt+F8**).

Программа проверяет корректность числовой информации. При попытке ввести в числовое поле букву или задать неправильный формат числа программа отреагирует либо гудком, либо выдачей соответствующего сообщения.

Таблицы, соответствующие пунктам меню **Районы**, **Полиномы** и **Анцапфы** задаются при необходимости (см. п. 2.1.2, п. 2.2, п. 2.5).

1.5.2 Основные возможности экранного редактора

В ходе работы с экраным редактором можно пользоваться всеми клавишами управления, перечисленными в п. 1.3. Функциональные клавиши переопределены следующим образом:

ТАВ — следующий столбец;

Shift+ТАВ — предыдущий столбец;

PgDn — лист вперед;

PgUp — лист назад;

Ctrl+PgUp — начало таблицы;

Ctrl+PgDn — конец таблицы.

В экранном редакторе левая кнопка мыши используется для перемещения курсора в нужную позицию, продолжительное нажатие левой кнопки на одном из краев экрана приводит к перемещению экрана вверх, вниз, влево, вправо в зависимости от положения курсора мыши. Действие правой кнопки можно задать в соответствии с меню (**Alt+F9**).

F2 — переключатель режима коррекция/просмотр. В режиме просмотра заблокированы все средства коррекции;

- F3** — переход в меню атрибутов столбцов. В этом меню можно с помощью переключателя **Ins** изменить видимость любого поля на экране, а **Del** позволяет зафиксировать любой столбец экрана, **Enter** — для изменения ширины колонки и точности отображения чисел в ней, **Esc** — выход из меню;
- F4** — поиск узла или ветви;
- F5** — назначить/отменить базисный узел;
- F6** — включить/отключить выбранный узел или ветвь;
- F7** — отметить/снять отметку узла или ветви;
- F8** — вставить пустую строку;
- F9** — дублировать строку;
- F10** — выйти из таблицы;
- ALT+F1** — групповая коррекция параметров узлов и ветвей, маркер должен быть установлен в тот столбец, элементы которого предполагается корректировать. Строка ввода должна иметь вид:

<выборка>=<операция> ,

где:

- <выборка>** — задает набор узлов, для которых будет выполняться <операция>. Набор может задаваться прямо номерами узлов или их диапазонами, либо косвенно — по номинальным напряжениям, районам и т.д. (подробное описание — п. 1.5.3);
- <операция>** — задает проводимое действие над числами в текущей колонке. Это может быть присвоение, изменение на заданную величину, либо операция с другой колонкой (подробное описание — п. 1.5.3);

Чтобы ветвь попала в область коррекции, достаточно, чтобы один из узлов, ее ограничивающих, попал в выборку.

- Alt+F2** — групповая коммутация или отметка узлов и ветвей. Предварительно появляется меню (аналогичное **Alt+F5**), в котором следует выбрать тип коммутации, а затем задать выборку (см. п. 1.5.3);
- Alt+F3** — установка желаемых цветов текстового редактора. При установке цветов желательно, чтобы все возможные комбинации цветов (отключенное, отметка, базисный) находились на экране, цвета сохраняются вместе с файлом;
- Alt+F4, Alt+F6** — соответственно сохранить на диск или загрузить с диска список отмеченных узлов, после выбора этой команды необходимо ввести имя файла для списка. Команда **Alt+F4** сохраняет информацию об отмеченных узлах в файле¹. Команда **Alt+F6** отмечает узлы в соответствии с указанным файлом—списком. Эти команды используются для передачи информации об отмеченных узлах из одной схемы в другую.
- Alt+F6** — при выборе этой команды из таблицы (**Ветви**) появляется меню работы с анцапфами и коэффициентами трансформации (см. п. 2.5);
- Alt+F5** — меню коммутации. Позволяет производить сложные коммутации узлов и ветвей. Для узлов предусмотрены:

- отключение шунтов на землю;

¹ текстовый файл с номерами узлов, разделенных пробелами.

- отключение генерации и нагрузки;
- отключение пределов регулирования Q (узел становится балансирующим по реактивной мощности);
- отключение узла со всеми подходящими линиями, а также любая комбинация отключений.

Для ветвей предусмотрены:

- отключение ветви в начале;
- отключение ветви в конце;
- полное отключение ветви;

ALT+F7 - вывести на печать текущую таблицу. Выводятся только видимые столбцы (задаются в меню (**F3**));

Alt+F8 - удалить строку таблицы, на которой стоит курсор;

Alt+F9 - задать выполняемую функцию для правой кнопки мыши. Появляется меню, в котором можно выбрать одну из функций: поиск, вкл./откл., отметить/ снять отметку, вставить строку;

ALT+F10 - отобразить расширенный протокол работы.

1.5.3 Групповые операции

Групповые операции используются как при работе с исходными данными (**Alt+F1**, **Alt+F2**), так и с результатами (например, при задании выборки на печать или просмотр).

При работе с групповыми операциями всегда необходимо указать **выборку**. Она задается в виде:

[буква] <список>

где:

<список> — задает номера и диапазоны номеров, номера разделяются запятыми, а диапазоны — тире.

[буква] — необязательный параметр, задает тип величины в списке. Если отсутствует, то тип — номер узла. Если задана, то может быть следующей ¹:

V — номинальное напряжение;

A — район;

O — отмечен²;

T — тип узла:

0 — балансирующий;

1 — нагрузка, задано P, Q ;

2 — генератор, задано $P, V; V_{расч} = V_{ном}, Q_{min} < Q < Q_{max}$;

3 — генератор, задано $P, V; V_{расч} < V_{ном}, Q = Q_{max}$;

4 — генератор, задано $P, V; V_{расч} > V_{ном}, Q = Q_{min}$;

или ветви:

0 — ЛЭП;

1 — трансформатор;

¹латинская буква, без учета регистра

²в этом случае список не нужен.

2 — выключатель.

Несколько примеров задания выборки для узлов:

1, 4, 100-150 — узлы с номерами 1, 4 и в диапазоне от 100 до 150;

v 220-500 — все узлы с номинальными напряжениями от 220 до 500 включительно;

a 1, 7 — все узлы в районах 1 и 7;

t 2-4 — все узлы с фиксированным модулем;

o — все отмеченные узлы;

Задание выборки для ветвей имеет особенности:

- если выборка задана номерами узлов, то ветвь включается в выборку, если хотя бы один из узлов, ее ограничивающих, попадает в эту выборку;
- если выборка задана районами или номинальными напряжениями, то ветвь попадает в выборку, если в нее попадает $N_{нач}$;

Выборку также можно задать по отмеченным ветвям и по их типу.

Сложные выборки можно задавать в несколько шагов: например, чтобы отметить все трансформаторы 500 кВ в районе 7:

Alt+F2→**Отметить ветвь**→**a 7** — отметить все ветви в районе 7

Alt+F2→**Убрать отметку**→**v 10-330** — убрать отметку с ветвей с высшим напряжением от 10 до 330 кВ;

Alt+F2→**Убрать отметку**→**t 0,2** — убрать отметку с ЛЭП и выключателей;

Помимо выборки в команде групповой коррекции необходимо задать численную операцию в виде:

[знак] <значение>

либо

<число>*<колонка>

где:

[знак] — может быть одним из следующих:

+ — добавить к предыдущему значению параметра,

***** — умножить предыдущее значение параметра,

/ — разделить предыдущее значение параметра,

**** — обратное деление (разделить на предыдущее значение параметра).

При отсутствии знака параметр устанавливается в заданное значение;

<значение> — число, соответствующее операции, определяемой знаком.

<колонка> — название одной из колонок таблицы. При использовании этой формы задания операции значение текущего параметра выборки устанавливается равным значению другой колонки, умноженному на коэффициент, задаваемый числом. Название колонки в таблице **Узлы** может быть:

"na", "nu", "nsx", "uhom", "pn", "qn", "pg", "qg",
 "qmin", "qmax", "gsh", "bsh", "v", "delta", "xg", "kct",
 "umin", "umax", "pg_nom", "pg_min", "pg_max"

в таблице **Ветви**:

"nb", "ne", "np", "r", "x", "g", "b", "kt",
"kti", "idop", "ktmin", "ktmax", "ktimin", "ktimax", "bd"

Примеры:

10,20,100-200,56=100 — параметры в узлах 10,20,56 и в диапазоне от 100 до 200 устанавливаются равными 100.

10,20,100-200=*1.2 — параметры в узлах умножаются на 1.2.

1-1000=0.8*uhom — параметры в узлах устанавливаются в 0.8 от номинального напряжения этого же узла;

1.6 Контроль исходной информации

Контроль исходной информации необходим для проверки допустимости и осмысленности введенных данных. Он выполняется программой автоматически перед расчетом режима (программа проверяет, какого рода коррекция сделана, и, в зависимости от того, что было изменено, запускает или не запускает контроль); но после первого ввода схемы, а также при наличии ошибок рекомендуется выполнить контроль, используя команду **Контроль** в меню **Данные**. Контролю подвергаются следующие характеристики:

- наличие изолированных узлов, т.е. узлов, с которыми не соединено ни одной ветви;
- наличие фрагментов сети, не связанных с балансирующим узлом;
- наличие ветвей, у которых отсутствует информация об узлах (или хотя бы об одном узле), ограничивающих эти ветви;
- соответствие коэффициента трансформации номинальным напряжениям узлов, ограничивающих трансформаторную ветвь.

При выявлении подобных ошибочных ситуаций узел или ветвь, введенные с ошибкой, *отключаются программой*.

Для исправления ошибок следует вернуться в экранный редактор, проверить наличие всех узлов и ветвей, правильность их номеров, соответствие номеров узлов начала и конца трансформаторных ветвей. Введенные с ошибками ветви или узлы, отключенные программой контроля, необходимо *включить* (используя команды редактора **F6**—**ОткВкл**) или **Alt+F2**—**ГрОткл**).

Для просмотра сообщений об ошибках, выявленных программой контроля, следует использовать расширенный протокол (**Alt+F10**).

Хотя отключенные при контроле изолированные узлы и ветви не приводят к ошибкам при расчете режима и в дальнейшем не выявляются программой контроля, следует избегать наличия в схеме таких объектов, так как это может привести к серьезным ошибкам при работе с графикой, делении схемы и в некоторых других ситуациях.

1.7 Расчет установившегося режима

Расчет установившегося режима (УР) можно выполнять после исправления всех ошибок, обнаруженных программой контроля. Для выполнения расчета УР надо перейти в меню **Расчет** и выбрать команду **Режим**. В процессе расчета на экран выдается таблица сходимости, в которой отображаются величины, характеризующие итерационный процесс метода Ньютона:

Ит	Мах.неб.	Узел	↑V	Узел	↓V	Узел	Угол	Линия	F
0	3759.3	1150	1.00	1	1.00	1	0.0	2153-383	6556.4
1	565.2	1149	1.09	383	0.91	150	16.7	902-901	1066.9
2	318.7	1153	1.14	1118	0.89	322	18.7	902-901	108.2
3	497.0	1129	1.10	815	0.86	322	19.5	902-901	599.6
4	37.1	1129	1.10	815	0.86	322	19.5	902-901	27.7
5	0.1	718	1.10	815	0.86	322	19.5	902-901	0.1

Ит — номер итерации;

Мах.неб — значение и номер узла для максимального небаланса мощности (P или Q);

↑ V — максимальная величина и номер узла для превышения напряжения по отношению к номинальному — $\left(\frac{V}{V_{ном}}\right)_{max}$;

↓ V — то же для снижения напряжения по отношению к номинальному;

Угол — значение и номер линии для максимального разворота угла (в градусах);

F — функция невязок (небалансов)

$$F = \sqrt{\sum_{i=1}^N \Delta P_i^2 + \lambda \sum_{i=1}^N \Delta Q_i^2}, \quad (1.1)$$

где $\Delta P_i, \Delta Q_i$ — небалансы активной и реактивной мощности, λ — коэффициент, используемый при выборе лучшей итерации.

При успешном расчете режима таблица сходимости исчезает; управление переходит в главный экран. При аварийном окончании расчета на экран выводится формальная причина завершения, программа переходит в режим паузы, таблица сходимости с экрана не стирается. Для продолжения работы необходимо нажать любую клавишу. Причины расходимости расчета, а также способы балансировки режима приведены в п. 1.10.

Перед расчетом режима возможно появление двух предупреждающих сообщений, первое:

RASTR-W-Режим разошелся. Восстановить номинальные напряжения ? (Y/N)

Это сообщение говорит о том, что в предыдущем расчете режим разошелся и начальное приближение плохое для текущего расчета. Рекомендуется восстановить номинальные напряжения в качестве начального приближения для текущего расчета.

Второе возможное сообщение имеет вид:

RG-W-Сеть содержит УПК, отменить стартовый алгоритм ? (Y/N)

Это сообщение говорит о том, что в электрической сети имеются отрицательные реактивные сопротивления, плохо влияющие на сходимость стартового алгоритма. Если эти сопротивления малы по величине (например, при задании средней обмотки автотрансформатора), стартовый алгоритм рекомендуется не отменять. Если же эти сопротивление велики (например,

в случае наличия в сети устройств продольной компенсации (УПК), стартовый алгоритм необходимо отменить.

Параметрами расчета режима можно управлять с помощью меню **Параметры Р** (см п. 2.1.4), но не следует менять эти параметры без необходимости.

1.8 Анализ полученных результатов

При расчете режима определяются только напряжения узлов, остальные расчетные величины (токи, потоки мощности и т.д.) определяются непосредственно перед их отображением по следующим формулам:

- для ЛЭП используется стандартная П–образная схема замещения, показанная на рис. 1.3 и для нее определяется:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U} &= \dot{U}_e - \dot{U}_b, & \dot{I} &= \frac{\Delta \dot{U}}{\dot{z}}, & |I| &= \sqrt{I'^2 + I''^2}, \\ \dot{I}_b^c &= \dot{U}_b \cdot y_c, & \dot{I}_e^c &= \dot{U}_e \cdot y_c, \\ \dot{I}_b &= \dot{I} - \dot{I}_b^c, & \dot{I}_e &= \dot{I} + \dot{I}_e^c, \\ |I|_b &= \frac{\sqrt{I_b'^2 + I_b''^2}}{\sqrt{3}}, & |I|_e &= \frac{\sqrt{I_e'^2 + I_e''^2}}{\sqrt{3}}, \\ \dot{S}_b &= \dot{U}_b \cdot \dot{I}_b^*, & \dot{S}_e &= \dot{U}_e \cdot \dot{I}_e^*, \\ \dot{S}_b^c &= \dot{U}_b \cdot \dot{I}_b^{c*}, & \dot{S}_e^c &= \dot{U}_e \cdot \dot{I}_e^{c*}, \\ \dot{S}^c &= \dot{S}_b^c + \dot{S}_e^c, & \Delta S &= |I|^2 \cdot \dot{z}. \end{aligned}$$

- для трансформатора используется стандартная Г–образная схема замещения, показанная на рис. 1.4 и для нее определяется:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U} &= \frac{\dot{U}_e}{K_t} - \dot{U}_b, & \dot{I} &= \frac{\Delta \dot{U}}{\dot{z}}, & |I| &= \sqrt{I'^2 + I''^2}, \\ \dot{I}_b^c &= \dot{U}_b \cdot y_c, \\ \dot{I}_b &= \dot{I} - \dot{I}_b^c, & \dot{I}_e &= \frac{\dot{I}}{K_t^*}, \\ |I|_b &= \frac{\sqrt{I_b'^2 + I_b''^2}}{\sqrt{3}}, & |I|_e &= \frac{\sqrt{I_e'^2 + I_e''^2}}{\sqrt{3}}, \\ \dot{S}_b &= \dot{U}_b \cdot \dot{I}_b^*, & \dot{S}_e &= \dot{U}_e \cdot \dot{I}_e^*, \\ \dot{S}^c &= \dot{U}_b \cdot \dot{I}_b^{c*}, & \Delta \dot{S} &= |I|^2 \cdot \dot{z}. \end{aligned}$$

Для анализа рассчитанных режимов в **Rastr** существуют различные формы представления результатов. Все они сосредоточены в меню **Результат**. Основная форма выдачи — команда **Узлы**. После перехода в это меню на экране появится таблица, организованная по форме *узел + подходящие к нему ветви* и для схемы с рис. 1.1 имеющая вид:

Узел	Название	V	Фаза	Pнаг	Qнаг	Pген	Qген	Vзад	Qmin	Qmax
				Pлин	Qлин	dP	dQ	Ток	dPз	dQз
1		212.4	0	0.0	0.0	0.0	0.0	220.0	0.0	0.0

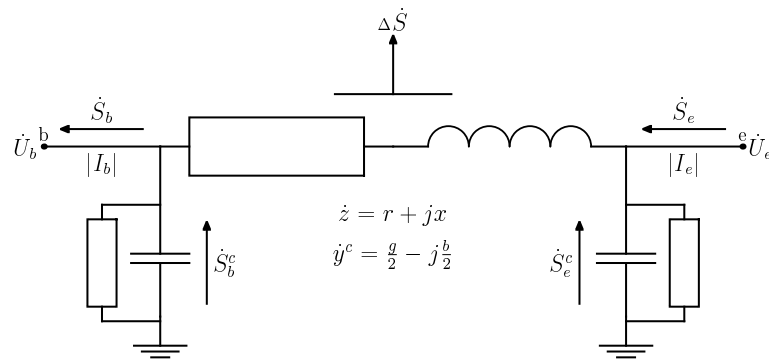


Рис. 1.3. Схема замещения ЛЭП

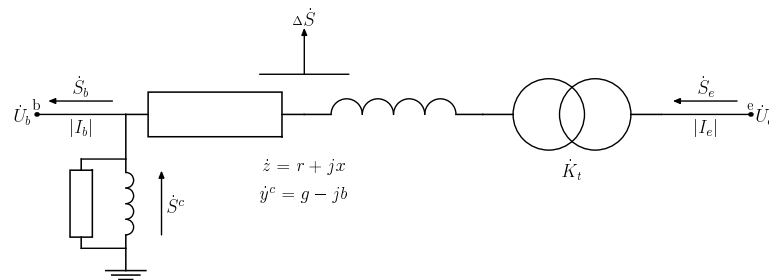


Рис. 1.4. Схема замещения трансформатора

5	Базисный		2.9	88.7	0.71	2.82	0.241	0.00	-18.7
2			-2.9	-75.4	0.30	2.10	0.205	0.00	-13.2
----- Ш у н т -----			0.0	13.5					
2		207.0	1	0.0	0.0	0.0	0.0	220.0	0.0
4	Станция			99.9	51.4	0.00	23.57	0.313	0.00
3				-102.4	-155.2	2.56	17.10	0.519	0.00
1				2.6	86.5	0.30	2.10	0.241	0.00
----- Ш у н т -----				0.0	-17.1				
3		190.0	-2	100.0	150.0	0.0	0.0	220.0	0.0
2				99.9	150.0	2.56	17.10	0.547	0.00
4	Станция	23.0	10	0.0	0.0	100.0	75.0	20.0	75.0
2				-99.9	-75.0	0.00	23.57	3.134	0.00
5	Базисный	220.0	0	0.0	0.0	3.6	72.9	220.0	0.0
1				-3.6	-72.9	0.71	2.82	0.191	0.00

В этой таблице каждая первая строка абзаца содержит параметры узла, последующие — параметры присоединенных к нему линий и трансформаторов, и, если в узле есть шунт на землю, последняя строка абзаца содержит информацию о шунте.

В параметрах узла отображается номер, название, расчетный модуль (V) и фаза напряжения, расчетная нагрузка¹ (P_{наг}, Q_{наг}), активная генерация² (P_{ген}), расчетная реактивная генерация (Q_{ген}), заданные модуль напряжения (V_{зад}) и пределы изменения реактивной генерации (Q_{min}, Q_{max}).

¹с учетом СХН, см. п. 2.1.2

²может быть расчетной величиной при расчете режима с учетом частоты, см. п. 2.1.3

В строке параметров ветви, связанной с узлом, отображаются номер и название противоположного узла ветви, мощность (Рлин, Qлин) входящая в узел — \dot{S}_b , продольные потери (dP,dQ) — ΔS , модуль тока (Ток) — $|I|_b$, зарядную мощность ЛЭП или потери холостого хода трансформатора (dPз,dQз) — \dot{S}^c .

При просмотре таблицы можно пользоваться клавишами **PgUp**, **PgDn** для просмотра таблицы вперед и назад на страницу, стрелками \uparrow , \downarrow для перемещения на один узел. Для перехода на интересующий узел нужно набрать его номер и нажать **Enter** (номер узла показан на первой строке в поле **Узел=**), если узла с таким номером нет, перемещения не произойдет. Для перехода на начало таблицы надо нажать **Ctrl+PgUp**, а для перехода на конец — **Ctrl+PgDn**. При задании номера района в поле **Район=** отображаются только узлы, входящие в данный район; межсистемные линии отображаются другим цветом; поиск узла осуществляется только в заданном районе. Для перехода в режим просмотра всей сети необходимо стереть номер района и нажать **Enter**.

Правая кнопка мыши используется для быстрого перехода от одного узла к другому. Нажатие ее в строке, содержащей номер узла, даже если это ветвь, приведет к появлению на экране узла со всеми его связями.

Для результатов расчета предусмотрены функции печати: **F7** — печать информации об одном узле — узел с номером, указанным в первой строке экрана; **F8** — выборочная печать, после нажатия производится запрос списка, необходимо ввести выборку узлов в соответствии с п. 1.5.3. Введенный список сохраняется при дальнейшей работе, его можно корректировать. Следует иметь в виду, что этот список совпадает со списком узлов, используемым при утяжелении режима (см. п. 2.4).

При наличии готового к работе принтера печать будет производиться немедленно, при его отсутствии — будет выдаваться в файл с именем **rab.pri**, находящийся в рабочем каталоге.

В команде **Узлы** существуют дополнительные функции: **F3** — переход в таблицу **Районы**; **F4** — переход в таблицу **Потери** — анализ потерь по классам напряжения и типу; **F5** — переход в таблицу **Напряжения** (анализ отклонений напряжения от номинального). Последние три команды доступны также из меню **Результаты**.

1.9 Проведение вариантных расчетов

После расчета основного режима его необходимо записать на диск с помощью функциональной клавиши **F2** и запомнить данное ему имя, которое должно быть уникальным в пределах текущего каталога. Затем можно осуществлять вариантные расчеты по следующей схеме:

- загрузить базовый режим;
- перейти в меню редактирования данных **Данные** — **Ввод/Кор**;
- произвести необходимые коррективы исходных данных. Для отключения и включения ветвей используется переключатель **F6**. Следует иметь в виду, что отключение узла приводит к автоматическому отключению подходящих к нему ветвей при контроле данных. Поэтому в некоторых случаях отключение узла может привести к появлению участка сети, не связанного с балансирующим узлом, — весь этот участок отключается;
- произвести расчет режима и анализ полученных результатов;
- при необходимости записать режим на диск под другим именем, желательно дать и новое название схеме.

1.10 Анализ аварийного завершения расчета

При расчете режима возможна ситуация, когда балансировка режима не осуществлена (аварийное окончание расчета). Это может возникнуть в двух разных случаях: — установившийся режим не существует либо режим существует, но итерационный процесс расчета расходится по тем или иным причинам. Расходимость итерационного процесса в последнем случае обычно связана с «плохим» начальным приближением модулей и углов напряжений. Такое начальное приближение может возникнуть в следующей ситуации: расчет режима завершился аварийно, но после коррекции исходных данных он повторяется. Тогда программа предлагает восстановить номинальные напряжения, при отрицательном ответе на этот вопрос программа будет начинать расчет, вероятно, с очень плохого начального приближения, что может привести к потере сходимости на первых итерациях.

Для улучшения начального приближения в **Rastr** используется специальный стартовый алгоритм, основанный на методе Зейделя. В большинстве случаев он позволяет получить надежную сходимость при очень плохом начальном приближении. Но в достаточно редком случае задания отрицательных сопротивлений ветвей (это бывает при наличии в сети устройств продольной компенсации) стартовый алгоритм приводит к ухудшению начального приближения и должен быть отключен в меню **Параметры Р**.

Наиболее надежная сходимость достигается при начале расчета с номинальных напряжений (меню **Параметры Р** — пункт **Плоский старт** следует установить в **Да**), но в этом случае затраты времени на расчет могут быть большими.

И, наконец, существуют достаточно экзотические режимы, в которых баланс может быть достигнут при значениях напряжений и углов, выходящих за допустимые границы.

В **Rastr** расчет режима прекращается по следующим причинам:

- напряжение в одном из узлов оказалось ниже, чем $0.5U_{\text{ном}}$;
- напряжение в одном из узлов оказалось больше, чем $2U_{\text{ном}}$;
- угол по одной из линий больше 90° ;
- число итераций превысило предельно допустимое.

Любое из перечисленных ограничений может быть изменено с помощью меню

Параметры Р.

В ситуации, когда режим не существует, предварительно следует проанализировать причину аварийного окончания. Недопустимое снижение напряжения обычно свидетельствует о дефиците реактивной мощности в районе узла с наибольшим снижением напряжения, недопустимое увеличение напряжения свидетельствует, наоборот, об избытке реактивной мощности, и, наконец, недопустимый угол по линии связан с недостаточной пропускной способностью данной линии по активной мощности.

Для устранения первых двух причин обычно фиксируют модуль напряжения в узлах с наибольшим отклонением напряжения от номинального. В этих узлах задаются достаточно большие диапазоны регулирования реактивной мощности, например, $Q_{\text{min}} = -10000$, $Q_{\text{max}} = 10000$ и модуль напряжения соответственно на нижней либо верхней допустимой границе. После выполнения расчета генерация реактивной мощности в этих узлах показывает необходимую мощность компенсирующего устройства.

Для устранения последней из причин необходимо либо разгрузить линию с наибольшим углом по активной мощности, либо ее усилить (поставить параллельную, изменить сопротивление и т.п.).

1.11 Печать исходных данных и результатов расчета

В процессе работы можно напечатать таблицы с исходными данными (полностью таблицу) и результаты расчета (выборочно; чтобы напечатать *все*, нужно задать достаточно большую выборку узлов, например, 1-10000). При выполнении печати организуется промежуточный буфер, в котором накапливается вся выводимая информация. По мере готовности принтера содержимое буфера печатается, причем одновременно с этим можно продолжать работу с программой.

При работе в локальной вычислительной сети (ЛВС) и организации печати на сетевом принтере информация для печати накапливается в файле, имя файла **rab.pri** и находится он в рабочем каталоге, например, **Е:\RAB**, после окончания работы с **Rastr** можно напечатать его стандартными сетевыми средствами, например:

```
NPRINT E:\RAB\RAB.PRI
```

Глава 2

Расширенные возможности программы

2.1 Особенности расчета режима

2.1.1 Учет ограничений по реактивной мощности

При расчете режима решаются уравнения баланса мощностей в полярных координатах:

$$\varphi_i = -g_{ii}V_i^2 + \sum_{j \in A_i} V_i V_j y_{ij} \sin(\delta_{ij} - \alpha_{ij}) - P_i^{\text{наг}}(V_i, f) + P_i^{\text{ген}}(f) = 0, \quad i \in \overline{1, N}; \quad (2.1a)$$

$$\psi_i = -b_{ii}V_i^2 - \sum_{j \in A_i} V_i V_j y_{ij} \cos(\delta_{ij} - \alpha_{ij}) - Q_i^{\text{наг}}(V_i) + Q_i^{\text{ген}} = 0, \quad i \in \overline{1, N_{\text{наг}}}. \quad (2.1б)$$

По способу задания исходных данных различают три типа узлов:

Дано	Найти	Тип
P_i, Q_i	V_i, δ_i	Нагрузка, PQ -тип.
V_i, δ_i	P_i, Q_i	Балансирующий, $V\delta$ -тип.
P_i, V_i	Q_i, δ_i	Идеальный генератор, PV -тип.

Во время решения системы (2.1) уравнения баланса активной мощности (2.1a) записываются для узлов PQ и PV -типов. Уравнения баланса реактивной мощности (2.1б) записываются только для узлов PQ -типа. Соответственно, неизвестными являются углы напряжений в узлах PQ , PV -типов и модули напряжений в узлах PQ -типа. Активная мощность в узлах $V\delta$ -типа и реактивная мощность в узлах $V\delta$ и PV -типов определяется после окончания итерационного решения непосредственной подстановкой в (2.1) найденных V и δ ¹.

Для реальных генераторных узлов принято моделировать действие автоматического регулятора возбуждения (АРВ) с помощью кусочно-линейной зависимости $Q_{\Gamma}(V)$, показанной на рис. 2.1. В соответствии с внешней характеристикой системы² $Q_{\text{вн}}(V)$ решение будет найдено в одной из точек 1, 2 или 3. Обычно, эту зависимость задают набором из 3 ограничений:

$$V = V_{\text{ном}} \quad \text{если} \quad Q_{\min} < Q_{\Gamma} < Q_{\max}, \quad (2.2a)$$

$$Q = Q_{\min} \quad \text{если} \quad V \geq V_{\text{ном}}, \quad (2.2б)$$

$$Q = Q_{\max} \quad \text{если} \quad V \leq V_{\text{ном}}. \quad (2.2в)$$

Такой генераторный узел моделируется тремя типами узлов:

¹особенности записи уравнений при учете частоты, описаны в п. 2.1.3.

²внешнюю характеристику можно получить экспериментально, изменяя модуль напряжения генератора и измеряя его реактивную мощность.

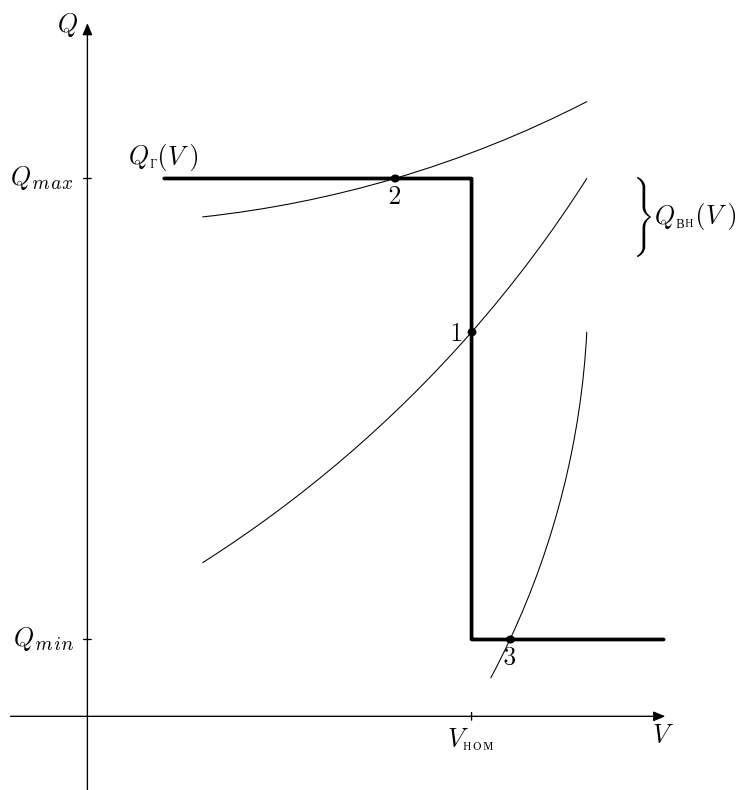


Рис. 2.1. Кусочно–линейная зависимость реактивной мощности генератора от напряжения и возможные решения (1, 2, 3) при различных внешних характеристиках системы

1. Узел PV –типа $V = V_{ном}$ — прямая А на рис. 2.2.
2. Узел PQ_{max} –типа с заданной реактивной мощностью $Q = Q_{max}$ — прямая В на рис. 2.2.
3. Узел PQ_{min} –типа с заданной реактивной мощностью $Q = Q_{min}$ — прямая С на рис. 2.2.

В зависимости от заданного начального приближения выбирается один из этих трех вариантов поведения узла¹. Затем проводится решение системы нелинейных уравнений (2.1). Полученное решение проверяется на соблюдение ограничений (2.2). В зависимости от текущего типа узла возможны четыре ситуации нарушения ограничений, показанные на рис. 2.2:

1. Для узла PV –типа нарушение верхнего предела приводит к ограничению его реактивной мощности до $Q = Q_{max}$ и смене типа на PQ_{max} . В таком узле появляется небаланс реактивной мощности, носящий характер ее дефицита. Смена типа — $PV \rightarrow PQ_{max}$.
2. Для узла PV –типа нарушение нижнего предела приводит к ограничению его реактивной мощности до $Q = Q_{min}$ и смене типа на PQ_{min} . В таком узле появляется небаланс реактивной мощности, носящий характер ее избытка. Смена типа — $PV \rightarrow PQ_{min}$.
3. Для узлов PQ_{max} –типа увеличение модуля напряжения выше заданного приводит к установке его напряжения $V = V_{ном}$ и смене типа на PV . В таком узле и в связанных с ним узлах появляется небаланс реактивной мощности, носящий в целом характер ее избытка. Смена типа — $PQ_{max} \rightarrow PV$.
4. Для узлов PQ_{min} –типа уменьшение модуля напряжения ниже заданного приводит к установке его напряжения $V = V_{ном}$ и смене типа на PV . В таком узле и в связанных

¹по соображениям надежности получения решения предпочтение отдается первому варианту

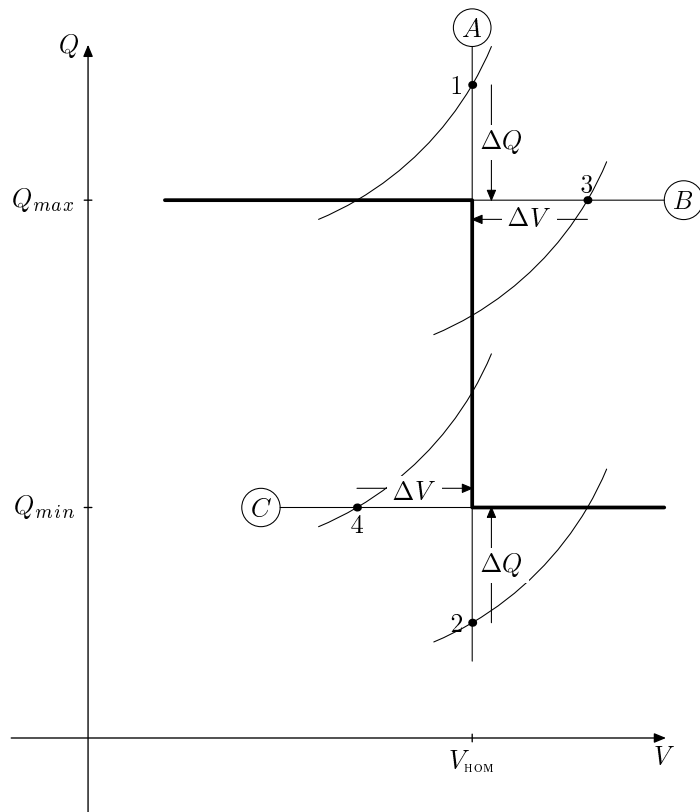


Рис. 2.2. Моделирование зависимости реактивной мощности генератора от напряжения

с ним узлах появляется небаланс реактивной мощности, носящий в целом характер ее дефицита. Смена типа — $PQ_{min} \rightarrow PV$.

Для обнаруженного нарушения ограничений производятся необходимые смены типов узлов и решение (2.1) повторяется до тех, пока все ограничения не будут соблюдены.

Исходя из соображений надежности получения решения в первую очередь учитываются ограничения, ведущие к дефициту мощности (т.е. разрешаются смены типов $PQ_{min} \rightarrow PV$ и $PV \rightarrow PQ_{max}$), а ограничения, ведущие к избытку ($PV \rightarrow PQ_{min}$, $PQ_{max} \rightarrow PV$), учитываются только при отсутствии первых.

Нарушение ограничений в случаях 3 и 4 на рис. 2.2 является опасным для сходимости, поэтому при грубых их нарушениях эти ограничения учитываются сразу после их обнаружения ($PQ_{max} \rightarrow PV$ и $PQ_{min} \rightarrow PV$) в ходе итерационного процесса, не дожидаясь точного решения (2.1). Более того, при очень грубых их нарушениях последняя итерация повторяется заново при измененных типах этих узлов.

В качестве примера на рис. 2.3А показан типичный процесс сходимости без использования стартового алгоритма. Решение начинается с так называемого «плоского старта» — номинальных модулей напряжений и нулевых узлов. Все генераторные узлы выбраны PV -типа. Решение (2.1) выполняется за 3 итерации, затем проверяется соблюдение (2.2), обнаруживаются нарушенные ограничения типа 1 и 2 (рис. 2.2) в 67 узлах, но смена типа производится только $PV \rightarrow PQ_{max}$ и решение (2.1) повторяется. На пятой итерации снова достигается сходимость, и снова появляются нарушенные ограничения типа 1 (в одном узле), на шестой итерации, наконец—то, остаются только нарушенные ограничения типа 2 (в 40 узлах) и производится смена типа $PV \rightarrow PQ_{min}$ для них. После этого избыток реактивной мощности перераспределится на другие узлы и на 8-ой итерации были обнаружены нарушенные ограничения вида 2 и 3¹. На оставшихся итерациях происходит процесс учета небольших во

¹учет этих ограничений привел к заметному увеличению небаланса активной мощности на итерации

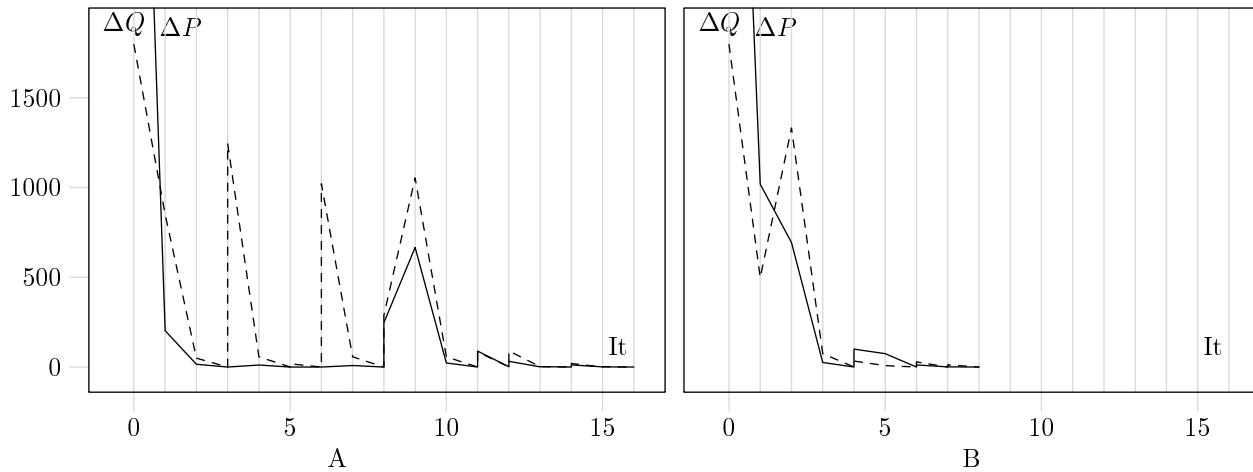


Рис. 2.3. Графики сходимости: (А)— без использования и (В)— с использованием стартового алгоритма

величине нарушений ограничений.

Для сравнения приведен процесс сходимости той же задачи при использовании стартового алгоритма — рис. 2.3В. На первой итерации работает стартовый алгоритм, в ходе которого улучшается начальное приближение и генераторные узлы распределяются по типам ($PV, PQ_{\max}, PV, PQ_{\min}$). Со второй итерации включается основной метод решения, который после выполнения одной итерации обнаруживает грубо нарушенные ограничения и производит смену типов узлов $PQ_{\max} \rightarrow PV$ в 2-х узлах, что приводит к увеличению небалансов на 3-ей итерации. Несмотря на это, итерационный процесс сходится к решению значительно быстрее, чем без использования стартового алгоритма. Это объясняется тем, что алгоритм в основном угадал распределение генераторных узлов по типам.

2.1.2 Статические характеристики нагрузки

Обычно применяемое задание нагрузки *постоянной* активной и реактивной мощностью является лишь одним из возможных вариантов. В зависимости от характера потребителя различают следующие способы:

1. Нагрузка задана постоянным сопротивлением шунта $R = const, X = const$. В этом случае мощность является квадратичной функцией от напряжения, и эта зависимость имеет вид:

$$P(V) = \frac{V^2}{R}, \quad Q(V) = \frac{V^2}{X}.$$

2. Нагрузка задана постоянным током $I = const$, тогда мощность является линейной функцией от напряжения:

$$P(V) = VI', \quad Q(V) = VI''.$$

3. Нагрузка задана постоянной мощностью $P = const, Q = const$, т.е. мощность не зависит от напряжения.

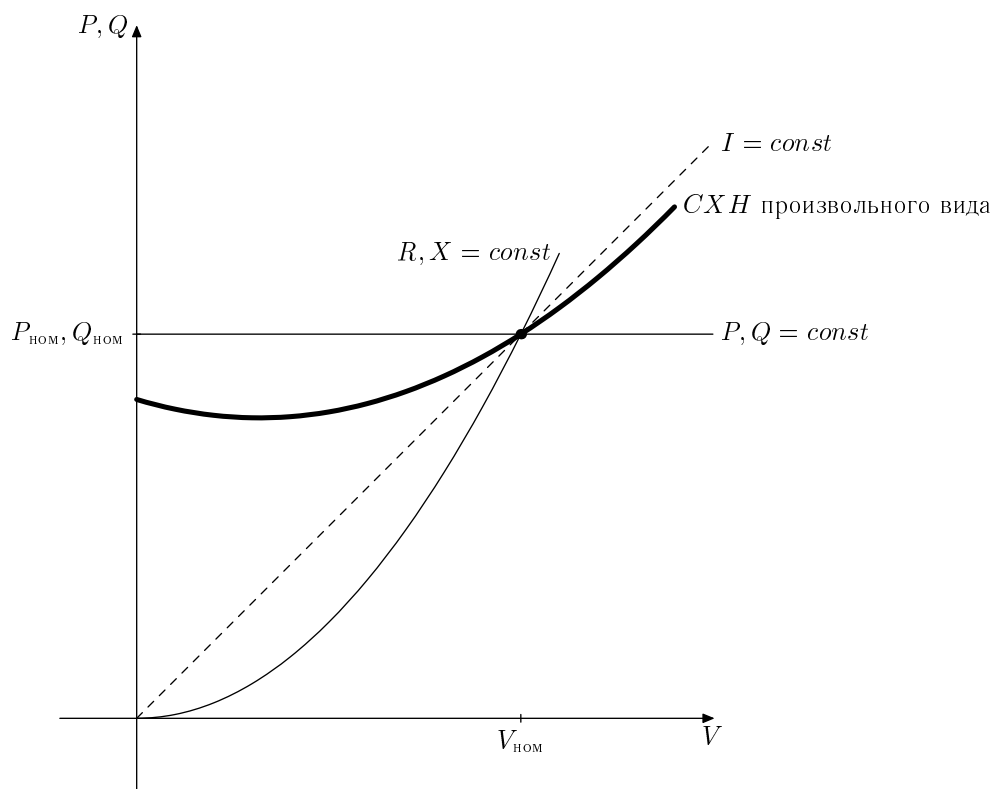


Рис. 2.4. Статические характеристики

Все эти варианты задания нагрузки обобщены в так называемой статической характеристике нагрузки по напряжению (СХН), имеющей вид:

$$P(V) = P_{\text{НОМ}} \left[a_0 + a_1 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) + a_2 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right]; \quad (2.3a)$$

$$Q(V) = Q_{\text{НОМ}} \left[b_0 + b_1 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) + b_2 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right], \quad (2.3б)$$

где $a_0, a_1, a_2; b_0, b_1, b_2$ — коэффициенты полинома СХН по активной и реактивной мощностям; условие $P = P_{\text{НОМ}}; Q = Q_{\text{НОМ}}$ при $V = V_{\text{НОМ}}$ выполняется, когда $a_0 + a_1 + a_2 = 1$ и $b_0 + b_1 + b_2 = 1$. Нагрузка, представленная в виде постоянных сопротивлений, в обобщенной характеристике соответствует ситуации ($a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = 1; b_0 = 0, b_1 = 0, b_2 = 1$); постоянного тока — ($a_0 = 0, a_1 = 1, a_2 = 0; b_0 = 0, b_1 = 1, b_2 = 0$); постоянной мощности — ($a_0 = 1, a_1 = 0, a_2 = 0; b_0 = 1, b_1 = 0, b_2 = 0$).

Любым комбинациям перечисленных способов задания нагрузки соответствуют СХН со своими наборами коэффициентов. Сказанное иллюстрирует рис. 2.4.

При работе с программой **Rastr** статические характеристики нагрузки задаются следующим образом:

- в графе $P_{\text{наг}}, Q_{\text{наг}}$ таблицы **Узлы** задается номинальная мощность, т.е. мощность, соответствующая номинальному напряжению;
- в графе **СХН** задается номер статической характеристики. Каждый набор коэффициентов определяется своим номером;
- в таблице **Полиномы** задаются коэффициенты, соответствующие номерам статических характеристик.

Такой способ принят потому, что, как правило, в ЭС имеется большое количество одинаковых СХН. Не задаются коэффициенты для СХН с номерами 1 и 2, т.к. для них значения «защиты» в программу. Эти характеристики стандартны, используются для задания обобщенной типовой нагрузки, приведенной к напряжению 110 кВ (СХН 1) и 35 кВ (СХН 2), показаны на рис. 2.5 и имеют вид:

СХН1:

$$P(V) = P_{\text{НОМ}} \left[0.83 - 0.3 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) + 0.47 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right];$$

$$Q(V) = Q_{\text{НОМ}} \begin{cases} \left[3.7 - 7 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) + 4.3 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right] & \text{если } 0.815 \leq \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \leq 1.2 \\ \left[0.721 + 0.158 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \right] & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) < 0.815 \\ 1.49 & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) > 1.2 \end{cases};$$

СХН2:

$$P(V) = P_{\text{НОМ}} \left[0.83 - 0.3 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) + 0.47 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right];$$

$$Q(V) = Q_{\text{НОМ}} \begin{cases} \left[4.9 - 10.1 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) + 6.2 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right] & \text{если } 0.815 \leq \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \leq 1.2 \\ \left[0.657 + 0.158 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \right] & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) < 0.815 \\ 1.708 & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) > 1.2 \end{cases}.$$

2.1.3 Расчет режима с учетом частоты

При обычном расчете режима в электрической сети должен существовать хотя бы один узел, принимающий на себя возникающие небалансы мощности — такой узел называется *балансирующим*. В то же время должен существовать хотя бы один узел с заданным углом и модулем напряжения — такой узел называется *базисным*. Обычно считается, что базисный и балансирующий узлы совпадают.

Такое правило, что один узел воспринимает на себя *все* небалансы мощности, далеко не всегда соответствует реальности. При задании нескольких балансирующих—базисных узлов возникает другая проблема: какой угол и модуль напряжения в них задать.

Поэтому в программе **Rastr** заложена дополнительная возможность расчета режима — расчет режима с отклонением частоты. При включении этой возможности (**Учет частоты: Да** в меню **Параметры Р**) расчет режима проводится по отличному от стандартного алгоритму:

1. Балансирующий узел в электрической сети отсутствует. В то же время в сети должен быть задан базисный узел. Для этих целей используются стандартные средства: **Данные**—**Ввод/Кор**—**Узлы**, клавиша **F5**—**База**. Но в обычном расчете значения $P_{\text{ген}}$ и $Q_{\text{ген}}$ для балансирующего узла определяются в ходе расчета режима, при использовании же расчета режима с учетом частоты базисный узел является обычным узлом в котором нужно *задать* $P_{\text{ген}}$ и $Q_{\text{ген}}$.

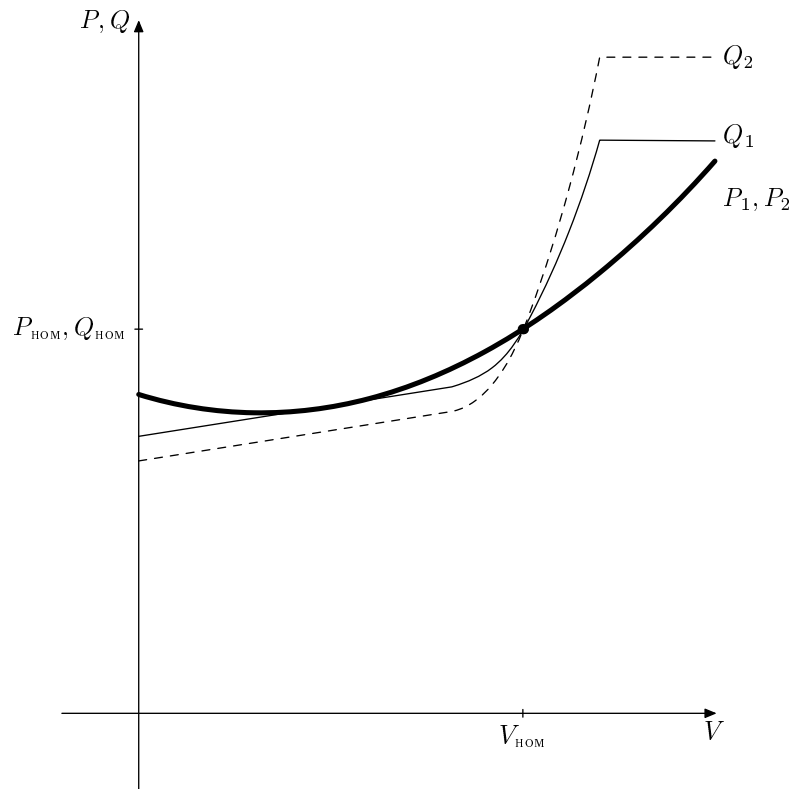


Рис. 2.5. Стандартные статические характеристики

2. Возникающие в сети небалансы мощности распределяются между выделенными генераторами по формуле:

$$P^{\text{ген}}(f) = P_{\text{ген}} - P_{\text{НОМ}} K_{\text{СТ}} \Delta f^{\text{o.e.}}. \quad (2.4)$$

При этом учитываются диапазоны изменения генерирующей мощности:

$$P_{\text{min}} \leq P^{\text{ген}}(f) \leq P_{\text{max}}, \quad (2.5)$$

где:

$P^{\text{ген}}(f)$ — расчетная мощность генерации, используется в уравнении (2.1а);

$P_{\text{ген}}$ — генерация, заданная в соответствующей графе таблицы **Узлы**;

$P_{\text{НОМ}}$ — генерация, использованная при расчете $K_{\text{СТ}}$ и заданная в соответствующей графе таблицы **Узлы**, если не задать эту величину, программа принимает $P_{\text{НОМ}} = P_{\text{ген}}^1$;

$P_{\text{min}}, P_{\text{max}}$ — диапазоны изменения генерации;

$\Delta f^{\text{o.e.}} = \frac{(f - f_{\text{НОМ}})}{f_{\text{НОМ}}}$ — отклонение частоты от номинальной;

$K_{\text{СТ}} = \frac{(P - P_{\text{НОМ}})/P_{\text{НОМ}}}{(f - f_{\text{НОМ}})/f_{\text{НОМ}}}$ — крутизна статической характеристики по частоте генератора (рис. 2.6), если $K_{\text{СТ}} = 0$, генератор в регулировании частоты не участвует и мощность свою не меняет.

У генератора, участвующего в регулировании, должно быть $K_{\text{СТ}} > 0$. Зависимость P от f для генерирующего узла показана на рис. 2.6.

¹различие между $P_{\text{ген}}$ и $P_{\text{НОМ}}$ следующее: $P_{\text{ген}}$ — это заданная мощность станции при 50Гц, а $P_{\text{НОМ}}$ — это мощность, по которой подсчитан $K_{\text{СТ}}$.

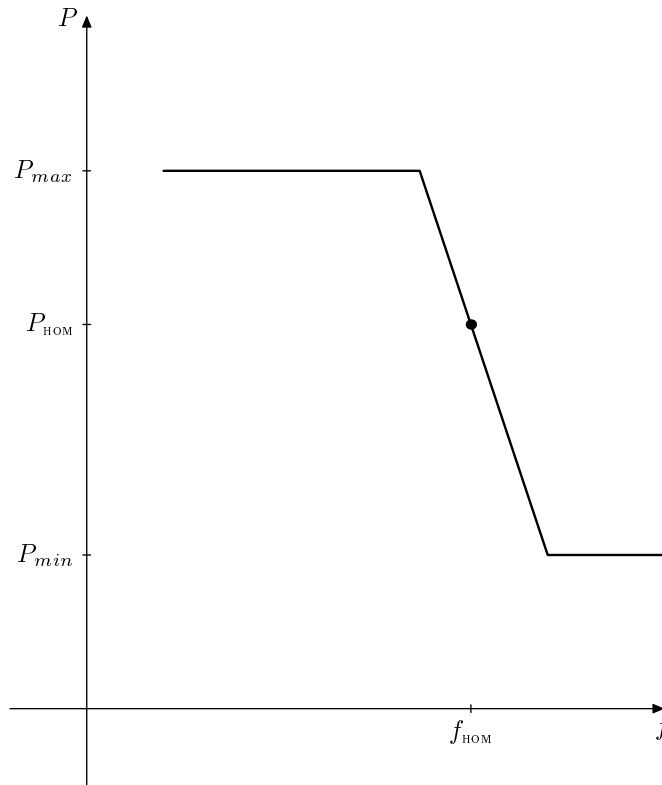


Рис. 2.6. Статические характеристики генератора по частоте

3. Частотный эффект нагрузки учитывается путем введения обобщенной статической характеристики нагрузки по частоте и напряжению:

$$P^{\text{наг}}(V, f) = P_{\text{наг}} \left[a_0 + a_1 \left(\frac{V}{V_{\text{ном}}} \right) + a_2 \left(\frac{V}{V_{\text{ном}}} \right)^2 - K_{\text{ст}} \Delta f^{o.e.} \right], \quad (2.6)$$

где $K_{\text{ст}}$ — крутизна статической характеристики по частоте нагрузки. В частном случае задания $P(V) = \text{const}$

$$P^{\text{наг}}(V, f) = P_{\text{наг}} (1 - K_{\text{ст}} \Delta f^{o.e.}). \quad (2.7)$$

Видно, что характеристики (2.3а) и (2.7) являются частными случаями (2.6).

Для учета частотного эффекта нагрузки задается ее $K_{\text{ст}} < 0$.

При расчете режима с учетом частоты в систему (2.1) включаются все уравнения, в том числе и для *базисного* узла. За счет увеличения числа уравнений добавляется новая неизвестная — отклонение частоты $\Delta f^{o.e.}$. После решения уравнений определяются модули и углы напряжений, а также отклонение частоты.

Узлы, участвующие в регулировании частоты, берут на себя возникающие небалансы мощности в соответствии со своей $P_{\text{ном}}$ и $K_{\text{ст}}$. При равенстве всех $K_{\text{ст}}$ небалансы мощности распределяются *пропорционально* $P_{\text{ном}}$. Чем больше $K_{\text{ст}}$, тем большую долю небалансов берет на себя этот узел.

Суммарная крутизна частотной характеристики может быть получена по формуле:

$$K_{\text{ст}}^{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^N K_{i,\text{ст}} P_{i,\text{ном}}}{P_{\Sigma}}. \quad (2.8)$$

Следует иметь в виду, что крутизна статической характеристики— величина *обратная* статизму системы по частоте. Статизм системы достаточно хорошо известен и по нему можно приближенно задать $K_{ст}$. Например, если изменение нагрузки на 7% приводит к изменению частоты в 1Гц, то $K_{ст} = 7 * 0.01 / (1/50) = 3.5$. При этом, естественно, суммарная мощность энергосистемы должна совпадать с той, для которой подсчитан $K_{ст}$.

При просмотре результатов расчета во всех формах, включая графику, отображается *расчетная* мощность генерации и нагрузки. Для того, чтобы посмотреть распределение небаланса мощности между узлами, существует форма **Частотные характеристики** (**Результаты**—**Окна**) имеющая вид:

Узла min	Тип P-max	Kстат	P-ном	P-тек	P-расч	dP	P-
805	База	20.00	5335.67	5335.67	5500.00	164.33	0.00 5500.00
1	Ген	10.00	2040.00	2040.00	2189.64	149.64	0.00 0.00
11	Г/мин	10.00	3200.00	3200.00	3434.74	234.74	0.00 0.00
29	Г/мин	10.00	2400.00	2400.00	2576.05	176.05	0.00 0.00
803	Ген	10.00	1800.00	1800.00	1932.04	132.04	0.00 0.00

Большинство изображенных в таблице колонок копируют исходные данные¹, а величина P-расч — это расчетная генерация по формуле (2.4) и соответствующая текущей частоте. Величина dP (разность P-расч и P-тек) показывает распределение небаланса мощности между узлами.

В форме **Общие** (**Результаты**—**Окна**) приведена информация о расчетной частоте и суммарном балансе мощности в системе при этой частоте:

Общая информация

* Файл:сх195о - * 19-Ост-98/Пон *

узлов 195=1+36+158, ветвей 264=239+25+0, районов 6

Баланс мощности :	P	Q
- генерация	25133.77	6734.81
- нагрузка	24328.70	9456.60
- потери	805.07	-2721.79

Расчет выполнен с учетом частоты, текущая частота =49.633

2.1.4 Параметры расчета режима

Для управления параметрами расчета режима предназначена таблица, вызываемая **Режим**—

Параметры P:

Точность расчета:	0.50
Число итераций:	20
Стартовый алгоритм:	Да
Плоский старт:	Нет
Небаланс для контроля Q:	10.0
Мах. доп. ↓V :	0.5
Мах. доп. ↑V :	2.0
Мах. доп. угол по связи:	90.0
Учет частоты:	Нет
Сохранение лучшей итерации:	Нет
Коэф. Q при выборе л. и.:	
Единицы измерения мощности:	МВт

¹P-тек это величина, заданная в графе P_{ген} таблицы **Узлы**.

Описание параметров в этой таблице:

Точность расчета: — расчет нормально заканчивается, если небаланс активной и реактивной мощности в каждом узле становится меньше заданной величины. Рекомендуется задавать в пределах $[0.1 - 1]$ МВт;

Число итераций: — расчет аварийно заканчивается с выдачей соответствующего сообщения, если число проделанных итераций достигает заданной величины. Рекомендуется задавать в пределах 20 — 50;

Стартовый алгоритм: **Да**— для улучшения начального приближения перед запуском основного расчетного алгоритма используется стартовый алгоритм, основанный на методе Зейделя; **Нет**— стартовый алгоритм не используется. По умолчанию задано **Да**. Если сеть содержит отрицательные реактивные сопротивления ветвей, программа выдаст дополнительный запрос на отмену стартового алгоритма;

Плоский старт: **Да**— расчет начинается с номинальных модулей и нулевых углов напряжений; **Нет**— расчет начинается с текущего начального приближения. Если это приближение получено после аварийного завершения расчета, программа выдаст дополнительный запрос на расчет с плоского старта. По умолчанию задано **Нет**;

Небаланс для контроля Q: — задает максимальный небаланс активной и реактивной мощности, необходимый для контроля ограничений по реактивной мощности. Рекомендуется задавать в пределах от $[1-10]$ *точность расчета;

Мах. доп. ↓V: — максимально допустимое снижение напряжения по отношению к $U_{\text{ном}}$. Если в ходе расчета напряжение в каком либо узле снизится больше указанной величины, то расчет аварийно завершится. При этом будет выдано соответствующее сообщение с номером узла, имеющего наименьшее напряжение. Рекомендуется задавать в пределах $[0.1 - 0.5] \cdot U_{\text{ном}}$;

Мах. доп. ↑V: — максимально допустимое превышение напряжения по отношению к $U_{\text{ном}}$. Если в ходе расчета напряжение в каком либо узле увеличится больше указанной величины, то расчет аварийно завершится. При этом будет выдано соответствующее сообщение с номером узла, имеющего наибольшее напряжение. Рекомендуется задавать в пределах $[2 - 5] \cdot U_{\text{ном}}$;

Мах. доп. угол по связи: — максимально допустимый угол по по ветви (в градусах). Если в ходе расчета угол по какой-либо линии станет больше указанной величины, то расчет аварийно завершится. При этом будет выдано соответствующее сообщение с номером ветви, имеющей наибольший угол. Рекомендуется задавать в пределах $[90^\circ - 170^\circ]$;

Учет частоты: **Да**— расчет режима производится с учетом частоты (см. п. 2.1.3); **Нет**— расчет производится по стандартному алгоритму. По умолчанию — **Нет**;

Сохранение лучшей итерации: **Да**— при аварийном завершении расчета восстанавливается итерация с наименьшим значением F в формуле (1.1); **Нет**— при аварийном завершении в результаты расчета попадает последняя итерация. По умолчанию — **Нет**;

Коэф. Q при выборе л. и.: — коэффициент λ в формуле (1.1). Задает долю небалансов реактивной мощности, учитываемых при подсчете F . Изменяется в пределах $[0 - 1]$. При $\lambda = 1$ наименьшее значение F часто бывает на первой итерации, поэтому рекомендованное значение $[0.5 - 0.7]$;

Единицы измерения мощности: **МВт**— все мощности вводятся и отображаются в мегаваттах; **КВт**— все мощности вводятся и отображаются в киловаттах, используется при расчетах сетей напряжением 6-10 КВ и ниже. По умолчанию — **МВт**;

2.2 Районирование схемы

При расчете режимов больших схем энергообъединений необходимо иметь возможность анализировать балансы мощности отдельных районов и перетоки между ними. Например, при расчете режимов ОЭС Урала — разделить в сети узлы на принадлежащие Свердловэнерго, Пермэнерго, Удмуртэнерго и т.д., определить в полученных районах суммарную генерацию, потребление, потери мощности и суммарные перетоки между районами.

В программе **Rastr** каждый узел ЭС можно отнести к определенному району с помощью поля **Район** в таблице **Узлы** (если этот параметр в таблице не виден, нужно выполнить команду **F3 — Атрибуты**, найти в таблице поле **Район** и изменить его видимость клавишей **Ins**). Номер района — целое число в диапазоне [1-255]. Для быстрого заполнения поля **Район** целесообразно воспользоваться групповой коррекцией данных: установить курсор в колонку **Район** и выполнить команду **Alt+F1**. Например, для того, чтобы отнести узлы с 1 по 200 и с 400 по 500, а также узлы 1241 и 1257 к первому району, нужно набрать:

1-200, 400-500, 1241, 1257=1

Здесь после знака равенства указывается уникальный номер, идентифицирующий район.

В меню **Ввод/Кор** существует таблица **Районы**, в которую можно занести следующую информацию:

Номер — номер района;

Название — название района [0-12 символов];

dP_н, dQ_н, dP_г — коэффициенты, на которые умножаются при расчете соответствующие мощности узлов района (исходные данные не меняются, но при расчете и выдаче результатов коэффициенты учитываются).

Заполнение этой таблицы не обязательно. Для анализа балансов мощности в районах в меню **Результат** расчета существует таблица **Районы**, имеющая вид:

Район	Название	Р _{наг}	Q _{наг}	Р _{ген} Р _{лин}	Q _{ген} Q _{лин}	dP dP	dQ dQ
1	Сургутские	2139.0	1255.0	-1244.5	294.5	75.61	-
126.09							
2	Мегион			-471.6	-65.6	8.74	-
37.94							
3	Уренгой			-170.5	228.7	12.11	-
6.48							
7	ОЭС Урала			4080.4	715.9	0.00	0.00
--	Сумма : (вн.переток, потребление)			3438.3	878.9	2214.6	1128.9
2	Мегион	2801.0	1088.0	-1449.0	287.3	30.73	-
158.91							
1	Сургутские			462.9	103.6	0.00	0.00
7	ОЭС Урала			3817.7	543.4	0.16	-
5.16							
--	Сумма : (вн.переток, потребление)			4280.6	647.0	2831.7	929.1

В ней каждая первая строка абзаца соответствует определенному району, отображается суммарная нагрузка (Р_{наг}, Q_{наг}), суммарная генерация (Р_{ген}, Q_{ген}) и суммарные потери (dP, dQ)¹ в нем, в последующих строках выдается информация о районах, связанных с данным,

¹включая потери на межсистемных линиях, принадлежащих району.

суммарных перетоках между ними ($P_{\text{лин}}$, $Q_{\text{лин}}$) и межсистемных потерях (dP, dQ)¹. В последней строке абзаца отобразится суммарный внешний переток P и Q , суммарное потребление (нагрузка + потери) в районе.

Для межсистемных линий, т.е. линий, для которых ограничивающие узлы принадлежат разным районам, балансовая принадлежность определяется по тому, к какому району относится узел начала (графа $N_{\text{нач}}$). Тогда и межсистемные потери в этой линии относятся к району, которому принадлежит узел $N_{\text{нач}}$.

Для расшифровки суммарного перетока между двумя районами по отдельным линиям, в первой строке экрана необходимо набрать через тире номера районов, переток между которыми подлежит расшифровке:

Район: 1-2							
Район	Название	$P_{\text{нач}}$	$Q_{\text{нач}}$	$P_{\text{ген}}$	$Q_{\text{ген}}$	dP	dQ
				$P_{\text{лин}}$	$Q_{\text{лин}}$	dP	dQ
1	Сургутские	2139.0	1255.0	-1244.5	294.5	75.61	-
126.09							
2	Мегион			-471.6	-65.6	8.74	-
37.94							
$N_{\text{нач}}-N_{\text{кон}}$	Названия			$P_{\text{лин}}$	$Q_{\text{лин}}$	dP	dQ
1401-1514	СТРЭС-1-КС-3			-110.2	-17.5	2.77	10.09
1405-1514	КОВШИК-КС-3			-94.3	-12.8	1.97	7.06
1431-1550	КИРИЛ-ТАВРИЧ			-84.2	-11.9	1.33	4.82
1431-1551	КИРИЛ-ВАТЬЕГАН			-132.9	-22.7	1.64	5.96
1436-1568	ХОЛМОГ-ГКС ..			-63.1	-11.5	0.99	3.56
1443-1569	ЯНГАЯХ-ВЫНГАП			13.0	10.8	0.04	0.15

2.3 Эквивалентирование

Эквивалентирование — упрощение электрической сети — используется для уменьшения размера (числа узлов и ветвей), удаления фрагментов сети, не имеющих большого значения, и т.п.

Основной принцип эквивалентирования таков: не должен измениться режим сохранившейся части схемы, т.е. в ней до и после эквивалентирования должны быть одни и те же напряжения узлов и мощности ветвей. Обычно эквивалентирование основано на известном преобразовании многолучевой звезды в многоугольник.

Процесс эквивалентирования отображен на рис. 2.7. При эквивалентировании различают три группы узлов:

- эквивалентируемые узлы — т.е. узлы, удаляемые из схемы;
- сохраняемые узлы — т.е. узлы, параметры которых остаются неизменными;
- узлы примыкания — сохраняемые узлы, связанные хотя бы с одним из эквивалентируемых. После выполнения эквивалентирования в узлах примыкания появляются дополнительные мощности нагрузки и генерации, активные и реактивные шунты и ветви между этими узлами.

Для получения эквивалента необходимо отметить либо эквивалентируемые, либо сохраняемые узлы с помощью команд редактора **F7— Отметить** и **Alt+F2— Групповая отметка**, или используя граничные линии с помощью команды **Отм.район**. Установить требуемые

¹только на линиях, принадлежащих району

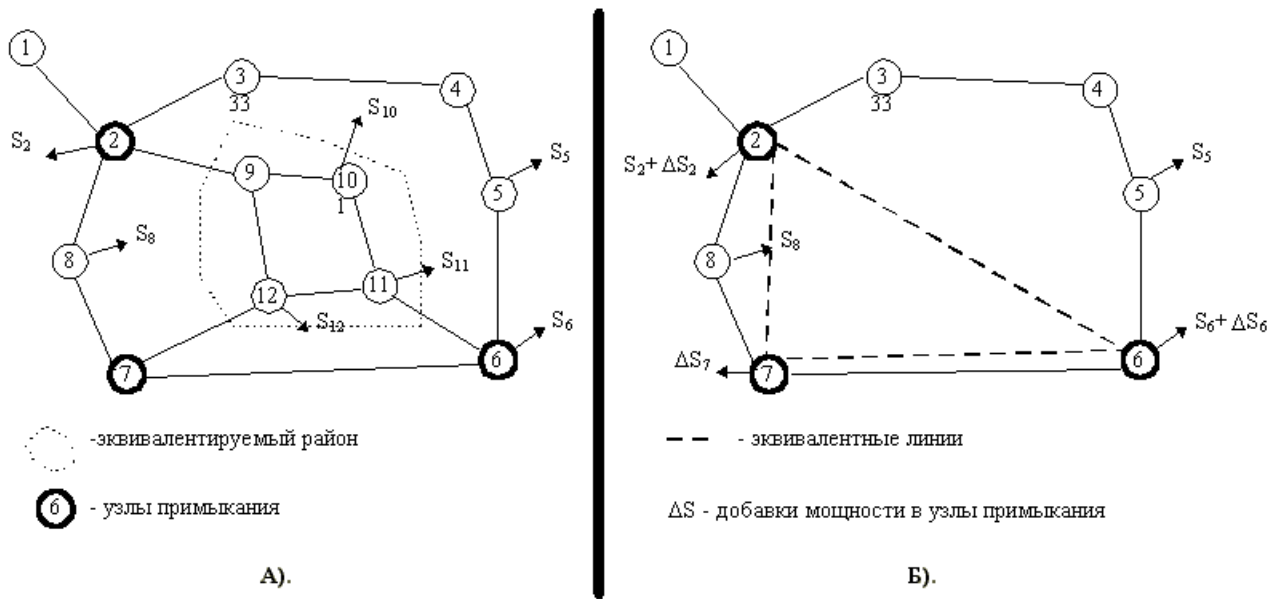


Рис. 2.7. Электрическая сеть:(А) до и (Б) после эквивалентирования

параметры эквивалентирования (меню **Параметры Э**) и выполнить команду **Эквивалент** в меню **Расчет**.

Эквивалентирование требует предварительно сбалансированного режима; если режим не сбалансирован, автоматически выполняется предварительная балансировка. Эквивалентирование не может быть выполнено для разошедшегося расчета режима. Эквивалентная схема становится текущей, замещает исходную и является сбалансированной.

Следует заметить, что все методы эквивалентирования являются приближенными, что приводит к погрешностям при расчетах режимов, отличных от того, для которого выполнен эквивалент.

В программе реализованы следующие способы эквивалентирования:

1. Эквивалентирование в токах — основной способ. При его выполнении мощности эквивалентируемых узлов заменяются узловыми токами:

$$\dot{I}_i = \frac{\dot{S}_i^*}{U_i^*}. \quad (2.9)$$

После эквивалентирования в узлах примыкания восстанавливаются мощности, в них включены мощности исключенных узлов и потери на их передачу. Эквивалентирование выполняется отдельно для мощностей генерации и нагрузки. Шунтовая часть эквивалентируемых узлов и ветвей (генерация ЛЭП и шунты эквивалентируемых узлов) разносятся в шунты узлов примыкания.

2. Эквивалентирование в шунтах — вспомогательный способ. Узловые мощности исключаемых узлов пересчитываются в шунты:

$$y_i = \frac{\dot{S}_i^*}{V_i^2}, \quad (2.10)$$

и выполняется эквивалентирование. После этого шунты узлов примыкания отражают мощности эквивалентируемых узлов, эквивалентные мощности в узлах примыкания

автоматически не восстанавливаются. Связано это с тем, что в этом случае невозможно различить, какая доля шунта в узле примыкания появилась от эквивалентирования реальных шунтов и емкостной проводимости линий на землю и какая от пересчета мощности. При необходимости можно пересчитать весь шунт в мощность, задав соответствующий параметр.

3. Промежуточный способ – комбинация двух предыдущих:

$$\dot{I}_i = \frac{(1 - \alpha) \cdot S_i^*}{U_i^*}, \quad \dot{y}_i = \frac{\alpha \cdot S_i^*}{V_i^2}. \quad (2.11)$$

Задаются доли α мощностей нагрузки и генерации, пересчитывающихся в шунт.

Выбор подходящего способа эквивалентирования зависит от поставленной цели и конкретной электрической сети. Все способы приводят к различным параметрам узлов примыкания и связей между ними и к сбалансированному режиму.

Следует избегать пересчета в шунты мощностей генерации (хотя такое возможно), т.к. это приводит в появлению отрицательных активных сопротивлений в эквивалентных ветвях.

Для настройки параметров эквивалентирования предназначена таблица

Параметры Э, расположенная в меню **Режим**:

Отмеченные узлы :	Эквивал.
Эквивалент узлов с фикс. V :	Разрешен
Учет потерь при разносе генерации :	Да
Доля нагрузки, пересчитываемая в шунт[0-1]:	0.00
Доля генерации, пересчитываемая в шунт[0-1]:	0.00
Удаление ветвей с сопротивлением большим:	1000
Коэф пересчета x для однородной сети:	-1.0
Пересчет шунтов в нагрузку в узлах примык. :	Нет

Отмеченные узлы — можно сохранить или эквивалентировать;

Эквивалент узлов с фикс. V — можно разрешить или запретить эквивалентирование узлов с фиксированным модулем напряжения. Следует учитывать, что исключение таких узлов может привести к значительным погрешностям;

Учет потерь при разносе генерации: Да — потери на передачу мощности учитывают в эквивалентной мощности генерации, баланс генерации не сохраняется; **Нет** — потери на передачу учитываются в эквивалентной нагрузке, баланс генерации сохраняется;

Доля нагрузки, пересчитываемая в шунт [0-1] , и

Доля генерации, пересчитываемая в шунт [0-1] , — задают долю нагрузки и генерации, пересчитываемой в шунт (α в (2.11)), 0 — эквивалент в токах, 1 — эквивалент в шунтах, при других значениях из диапазона [0 – 1] используется промежуточный способ;

Удаление ветвей с сопротивлением большим — позволяет удалять эквивалентные ветви с полным сопротивлением, большим заданного; перед удалением ветви выполняется контроль связности, и на дисплей выдается запрос подтверждения удаления и информация о потоке мощности в этой ветви;

Коэф. пересчета x для однородной сети — параметр для расчета однородной сети;

Пересчет шунтов в нагрузку в узлах примык. : Нет— после эквивалентирования мощность, пересчитанная в шунт, обратно не восстанавливается. **Да**— после эквивалентирования все шунты в узлах примыкания пересчитываются в соответствующую мощность;

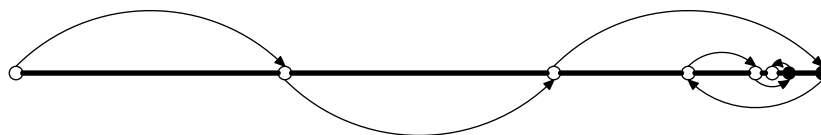


Рис. 2.8. Деление шага

2.4 Расчет предельных режимов

Выполняется для определения предельных перетоков мощности по сечениям (наборам линий, без которых сеть разделяется на два несвязных района). Для расчета используется процедура, называемая утяжелением режима и заключающаяся в следующем:

- задается множество узлов, в которых будет осуществляться изменение параметров режима (изменение нагрузки, генерации, модуля напряжения для регулируемых узлов, угла напряжения для балансирующих узлов), со значениями их приращений. Это множество называется траекторией утяжеления;
- проводится серия расчетов режимов при последовательном изменении утяжеляемых параметров на заданную величину;
- при аварийном окончании одного из расчетов осуществляется возврат к последнему из сбалансированных режимов и следующее приращение выполняется на величину, в два раза меньшую предыдущей (деление шага пополам), см. рис. 2.8;
- последняя процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнут предельный режим с заданной точностью.

При утяжелении возможно задание дополнительного критерия окончания расчета — достижение экстремума (максимума или минимума) передаваемой активной мощности по контролируемому сечению. В этом случае программа запоминает *знак* изменения мощности в контролируемом сечении на первом шаге утяжеления, и при смене этого знака включается процедура деления шага, таким образом, чтобы найти экстремум мощности по заданному сечению.

В программе **Rastr** существует меню **Предел**, предназначенное для проведения утяжеления режима по заданной траектории, ввода, коррекции, сохранения и загрузки траектории в виде отдельного файла, а также для установки параметров утяжеления.

Для работы с траекторией утяжеления предназначена команда **Траектория**.

Она позволяет осуществить ввод, коррекцию, загрузку и сохранение в каталоге пользователя траектории утяжеления в виде файла с расширением **.ut**. При выборе этой команды появляется меню, в котором:

Ввод/Кор — для ввода и коррекции траектории утяжеления с помощью средств, аналогичных п. 1.5;

Загрузить — для загрузки траектории утяжеления из каталога пользователя;

Сохранить — для запоминания текущей траектории в каталоге пользователя;

Очистить — для очистки траектории.

Для задания траектории утяжеления необходимо выбрать команду **Ввод/Кор**, тогда появится дополнительное меню **Узлы**—**Районы**—**Сечения**—**Объекты**, в котором необходимо выбрать нужную таблицу.

Формат таблицы **Узлы**:

Номер — номер узла [1-32000];

$U_{\text{ном}}$ — приращение модуля напряжения узла с фиксированным модулем;

$P_{\text{наг}}, Q_{\text{наг}}$ — приращение мощности нагрузки;

$P_{\text{ген}}, Q_{\text{ген}}$ — приращение мощности генерации;

$Q_{\text{min}}, Q_{\text{max}}$ — приращение пределов генерации реактивной мощности, в узле фиксируется модуль, если $Q_{\text{min}} < Q_{\text{max}}$;

V, Δ — приращение модуля и угла напряжения, при задании строка должна быть отмечена как базисная, в этом случае узел автоматически будет назначен базисным.

Формат таблицы **Районы**:

Номер — номер района;

$dP_{\text{н}}, dQ_{\text{н}}$ — приращение суммарной мощности нагрузки района;

$dP_{\text{г}}$ — приращение суммарной мощности генерации района.

Приращения суммарных мощностей разносятся между узлами района пропорционально их заданной мощности;

Таблицы **Сечения** и **Объекты** служат для задания дополнительной информации о контролируемых объектах в ходе утяжеления.

Таблица **Сечения** используется для определения суммарных мощностей по нескольким ветвям в ходе утяжеления. Эти величины могут использоваться для определения экстремума мощности по сечению и расчета режима с требуемым запасом устойчивости.

Формат таблицы **Сечения**:

Номер — уникальный номер сечения;

Название — название сечения;

$P_{\text{max}}, Q_{\text{max}}$ — максимальный переток по сечению;

Рн.к. — мощность нерегулярных колебаний;

Запас (%) — требуемый запас устойчивости;

Линия1, ... Линия26 — линии, входящие в сечение.

Обязательными параметрами являются **Номер** и **Линия1**.

Каждая линия, входящая в сечение, задается следующим образом:

[знак1] [знак2] | <номер начала-номер конца> [/номер параллельной]

где:

[знак1] — определяет положительное направление потока мощности: если отсутствует — положительным направлением принимается — вытекает в узел начала;

- — положительное направление — вытекает из узла начала;

+ — поток мощности всегда больше нуля;

[знак2] — определяет место на линии, где рассчитывается поток мощности: если отсутствует — мощность рассчитывается в узле начала;

> — мощность рассчитывается на передающем конце (большее значение);

< — мощность рассчитывается на приемном конце (меньшее значение);

[/номер параллельной] — необходим для поиска одной из параллельных линий, для перечисления нескольких параллельных необходимо указать их явно.

Например: 153–154 1–19/2 +>5–6 +43–48 >75–676 — сечение состоит из 5–и линий, мощность по линиям 5–6 и 43–48 входит в сечение без учета направления (по модулю), по линиям 5–6 и 75–676 в сечение попадает большая мощность (на передающем конце), в остальных линиях мощность вычисляется около узла, указанного первым.

Допускается до 26 линий в сечении.

Для определения экстремума по сечению его необходимо *отметить*. В этом случае при утяжелении программа пытается определить экстремум мощности по отмеченному сечению и в случае его нахождения заносит найденную предельную мощность в поля **Pmax, Qmax**.

Если в дополнение к предельному режиму необходимо определить режим с *заданным* запасом устойчивости, то нужно заполнить поля **Запас (%)** — требуемый запас устойчивости и **Рн.к.** — мощность нерегулярных колебаний. Тогда после определения предельного режима программа выдаст запрос на расчет режима с требуемым запасом, например:

Достигнут максимум по сечению N_1 , Pmax=730
Определить режим с 20% запасом (Y/N) ?

При положительном ответе на заданный вопрос программа начнет разгрузку сечения до тех пор, пока не будет получен режим с требуемым запасом. Запас для текущего режима рассчитывается по формуле:

$$K_3(\%) = \frac{(P_{max} - P_{н.к.}) - P}{P} \cdot 100, \quad (2.12)$$

где: P — мощность по сечению в текущем режиме.

Таблица **Объекты** задает расчетные объекты в ходе утяжеления. Изменение значений этих объектов в ходе утяжеления можно просмотреть в табличной и графической форме (команда **Предел** — **Графики**).

Номер — номер объекта;

Название — название объекта (нужно задавать *обязательно* — используется при построении графиков);

Значение1, Значение2 — расчетная формула для определения значения объекта, второе поле используется при нехватке длины первого.

Расчетная формула представляет собой сумму и разность величин в виде:

$$\langle \text{идентификатор} \rangle . \langle \text{объект} \rangle \langle + / - \rangle \langle \text{идентификатор} \rangle . \langle \text{объект} \rangle \dots$$

где:

$\langle + / - \rangle$ — знак плюс или минус;

$\langle \text{идентификатор} \rangle$ — название физической величины;

$\langle \text{объект} \rangle$ — номер объекта;

например: $pg.153 + pg.256 - pn.123$ сумма мощностей генерации (идентификатор pg) узлов 153 и 256, минус мощность нагрузки (pn) узла 123.

Все идентификаторы набираются латинскими буквами, безразлично строчными или прописными. Список идентификаторов:

- Узлы: **pn, qn** — нагрузка, **pg, qg** — генерация, **qmin, qmax** — диапазоны Q , **v, d** — расчетный модуль и угол напряжения.

Объект: *номер узла*, например: $pn.153$ — мощность нагрузки в узле 153.

- Ветви: **pl, ql** — поток мощности около узла начала; **dp, dq** — потери мощности в линии (продольные); **dl** — угол по линии.

Объект: *номер начала- номер конца/номер паралл.*, например: `p1.153-124` или `p1.126-127/1`.

- Сечения: **ps, qs** — мощность сечения.

Объект: *номер сечения*, например: `ps.1`

- Районы: **ran, qan** — нагрузка, **rag, qag** — генерация.

Объект: *номер района*, например: `ran.2`

Допускаются различные типы в одном выражении, например:

`ran.2-pg.153+p1.123-127` и т.д.

Все сообщения об ошибках в выражениях помещаются в протокол в ходе утяжеления.

После формирования траектории для проведения утяжеления по ней в меню **Предел** выбрать команду **Начать**. После ее ввода происходит балансировка режима (при необходимости) и отображение таблицы по утяжеляемым узлам и/или районам. Таблицу можно листать (**PgUp/PgDn**), печатать (**F8**). В первой строке экрана указываются параметры, которыми можно управлять в ходе утяжеления:

Вид — указывает вид отображаемых таблиц **Узлы, Районы, Сечения**;

Текущий шаг — указывает величину коэффициента, на который будут умножаются добавляемые на текущем шаге параметры;

Деление шага — указывает состояние алгоритма деления шага: **Включено, Отключено**, алгоритм деления шага автоматически включается по достижении расходящегося режима или экстремума по сечению.

Для управления этими параметрами необходимо установить светящийся маркер в нужное поле, символьные поля изменяются по нажатии клавиши **Enter**, а числовые — непосредственно. Для продолжения или выхода из утяжеления используются следующие клавиши:

F2 — продолжить утяжеление в режиме остановки при достижении следующего сбалансированного режима;

F3 — продолжить утяжеление в режиме задержки. При достижении следующего сбалансированного режима таблица утяжеляемых параметров показывается на экране на время, задаваемое в меню **Параметры**. Если за это время не будет нажата какая-либо клавиша, утяжеление будет продолжено;

Esc — выход в главное меню. Траектория и параметры утяжеления сохраняются. Можно выполнить другие команды, а затем продолжить утяжеление, выбрав команду **Продолжить**.

Разница между командами **Начать** и **Продолжить** заключается в следующем: при выполнении команды **Начать** происходит инициализация параметров утяжеления: величина текущего шага устанавливается равной единице, деление шага — отключено, очищается массив в котором сохраняются данные о расчетных объектах. При выполнении команды **Продолжить** инициализации не происходит.

В таблице, вызываемой через меню **Параметры**, можно изменить следующие величины:

Точность P:	5.00
Точность V:	2.00
Точность D:	2.00
Точность P района:	10.0
Печать выборки:	Нет
Печать протокола:	Нет
Задержка по F3(сек*100):	3000

Точность ... — задает минимальную величину приращения мощности (P), напряжения (V) и угла (D), если на шаге утяжеления величина приращения (произведение текущего шага на величину, заданную в траектории) станет меньше минимальной, утяжеление прекращается.

Печать выборки: Да — после каждого успешного шага утяжеления проводится печать выборки узлов (выборка задается в меню **Предел** — **Траектория** — **Выборка**), по правилам, описанным в п. 1.5.3) по форме соответствующей таблице **Результат** — **Узлы**.

Печать протокола: Да — будет печататься таблица с утяжеляемыми узлами, отображаемая в ходе утяжеления.

Задержка по F3(сек*100) — определяет время паузы в ходе утяжеления после нажатия F3.

2.5 Оптимизация режима по реактивной мощности

2.5.1 Алгоритм оптимизации

Оптимизация режима по реактивной мощности выполняется для выбора модулей напряжения (V_i^r) в узлах—источниках реактивной мощности (ИРМ) и коэффициентов трансформации (K_{ij}^r в трансформаторах, имеющих регулирование под нагрузкой (РПН) или вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ). Обычно эти устройства используют для поддержания напряжений в заданных пределах:

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (2.13)$$

и уменьшения потерь активной мощности. Решение этой задачи сводится к минимизации целевой функции:

$$\min F = \sum_{ij}^{N_v} \Delta P_{ij} + K_{ш} \sum_i^N \delta V_i^2, \quad (2.14)$$

где:

ΔP_{ij} — потери активной мощности в ветви $i-j$. Потери могут быть рассчитаны через модули и углы напряжений по концам ветви:

$$\Delta P_{ij} = (V_i^2 + V_j^2 - 2 \cdot V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j)) g_{ij}; \quad (2.15)$$

N_v — число ветвей, по которым минимизируются потери. Это могут быть все или только выбранные ветви. Возможна ситуация, когда это число равно нулю, и в этом случае потери не минимизируются;

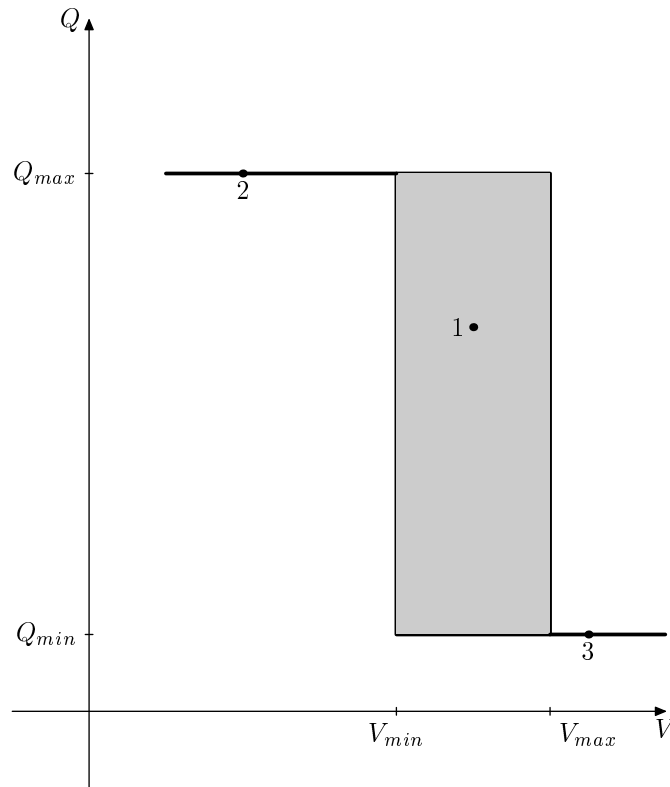


Рис. 2.9. Зависимость реактивной мощности ИРМ от напряжения

δV_i — нарушение ограничений (2.13), равно:

$$\delta V_i = \begin{cases} \frac{V_i - V_i^{max}}{V_i^{max}} & \text{если } V_i > V_i^{max} \\ 0 & \text{если } V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} ; \\ \frac{V_i - V_i^{min}}{V_i^{min}} & \text{если } V_i < V_i^{min} \end{cases} \quad (2.16)$$

K_{III} — штрафной коэффициент, подбирается эмпирически.

Минимизация этой функции осуществляется изменением:

- модулей напряжений и реактивной мощности в узлах—ИРМ в заданных пределах:

$$Q_i^{\Gamma, min} \leq Q_i^{\Gamma} \leq Q_i^{\Gamma, max} ; \quad (2.17)$$

$$V_i^{\Gamma, min} \leq V_i^{\Gamma} \leq V_i^{\Gamma, max} . \quad (2.18)$$

Зависимость модуля напряжения от реактивной мощности имеет вид, показанный на рис. 2.9. Обычно решение находится внутри выделенного прямоугольника (точка 1). В некоторых ситуациях возможно решение в точках 2 или 3, при этом нарушенные ограничения по напряжению учитываются в (2.16);

- коэффициентов трансформации в трансформаторах с ВДТ или РПН в заданных пределах:

$$K_{ij}^{\Gamma, min} \leq K_{ij}^{\Gamma} \leq K_{ij}^{\Gamma, max} . \quad (2.19)$$

Для определения наилучших V_i^{Γ} и K_{ij}^{Γ} (независимые переменные) организуется итерационный процесс, на каждой его итерации определяется:

1. Допустимое направление максимального уменьшения целевой функции (2.14):

$$\Delta \vec{S} = \begin{bmatrix} \Delta \vec{V}^T \\ \mu \cdot \Delta \vec{K}^T \end{bmatrix}, \quad (2.20)$$

где: μ — весовой коэффициент, учитывающий различные физические единицы $\Delta \vec{V}^T$ и $\Delta \vec{K}^T$.

2. Направление изменения зависимых переменных ($\Delta Q, \Delta V, \Delta \delta$), необходимое для соблюдения (2.1) при изменении независимых переменных в направлении ΔS^1 ;
3. Из условий ненарушения (2.13), (2.17), (2.18), (2.19) находится максимальный допустимый шаг $\lambda_{\text{доп}}$ в направлении $\Delta \vec{S}$.
4. Вычисляются значения функции F в трех точках $F(\vec{S}), F(\vec{S} + \lambda_{\text{доп}}/2 \cdot \Delta \vec{S}), F(\vec{S} + \lambda_{\text{доп}} \Delta \vec{S})$. Определяется $\lambda_{\text{опт}}$, соответствующий минимальному значению функции F на интервале $[0, \lambda_{\text{доп}}]^2$. Если $\lambda_{\text{опт}} = 0$, то производится деление шага пополам $\lambda_{\text{доп}} = \lambda_{\text{доп}}/2$ и на новом интервале вновь определяется $\lambda_{\text{опт}}$. Процедура деления шага повторяется не более оговоренного в параметрах оптимизации числа раз и, если останется $\lambda_{\text{опт}} = 0$, то оптимизация прекращается.
5. Если ограничением шага послужило одно из ограничений (то есть $\lambda_{\text{опт}} = \lambda_{\text{доп}}$) — производится смена набора независимых переменных;
6. Новые значения переменных;

$$\vec{S} = \vec{S} + \lambda \Delta \vec{S} \quad (2.21)$$

7. Рассчитываются небалансы мощности по (2.1) и, в зависимости от их величины, до- считывается новый установившийся режим;

Помимо этого, через определенное число итераций проводится полная проверка набора независимых переменных для генераторных узлов типа $PQ_{\text{max}}, PQ_{\text{min}}$. Им присваивается тип PV и находится знак ΔV^T . Если приращение V^T направлено вне допустимой области, определяемой (2.17)–(2.18), то PQ_{max} либо PQ_{min} –тип восстанавливается и PV –тип сохраняется в противном случае.

Окончание оптимизации определяется по величине межитерационного снижения потерь:

$$e_1 = \left| \frac{\Delta P_{\Sigma}^{k+1} - \Delta P_{\Sigma}^k}{\Delta P_{\Sigma}^k} \right| < \epsilon_1, \quad (2.22)$$

где K — номер итерации, и штрафной составляющей:

$$e_2 = \left| \frac{\text{Ш}_{\Sigma}^{k+1} - \text{Ш}_{\Sigma}^k}{\text{Ш}_{\Sigma}^k} \right| < \epsilon_2, \quad (2.23)$$

где: ϵ_1 и ϵ_2 — заданные точности. В связи с тем, что длина шага на отдельной итерации может быть очень малой из-за ограничений, что приведет к неоправданно малому снижению потерь и штрафной составляющей на итерации, соблюдение условий (2.22)–(2.23) требуется на некотором числе смежных итераций, задаваемых дополнительным параметром $K_{\text{доп}}$.

¹ по линеаризованной модели

² по трем точкам считается параболическая зависимость $F(\lambda)$ и находится ее минимум, соответствующий $\lambda_{\text{опт}}$

2.5.2 Исходные данные, параметры и результаты

Для проведения оптимизации в исходных данных должны быть заданы узлы—ИРМ и регулируемые трансформаторы. Узел считается источником реактивной мощности, если в нем задано $Q_{min} < Q_{max}$ и $U_{min} \leq U_{ном} \leq U_{max}$. В таком узле программа *может* изменять заданный модуль напряжения ($U_{ном}$).

Ветвь считается регулируемым трансформатором, если в ней задано $K_{r,min} \leq K_{т/в} \leq K_{r,max}$. В такой ветви программа *будет* изменять коэффициент трансформации¹.

Узлы считаются контролируруемыми по напряжению, если в них задано $U_{min} < U_{max}$. В таких узлах расчетное напряжение в исходном режиме может не попадать в диапазон $U_{min} \div U_{max}$. Тогда в ходе оптимизации будет осуществлен ввод режима в допустимую область.

Для изменения параметров оптимизации предназначена таблица **Параметры О** в меню

Режим:

Миним. потерь по ветвям:	Все
Участие ИРМ в регулир.:	Все
Регулирование ИРМ/ТРАНСФ.:	ИРМ+ТРАНСФ.
Расчет анцапф:	Да
Мин межитерационное снижение потерь:	0.1
Мин межитерационное снижение штрафа:	0.1
Число итераций с мин снижением:	5
Максимальное число итераций:	150
Число итераций для смены базиса:	7
Штрафной коэффициент:	90
Сдвиг предела по V:	0.05
Множитель градиента по Kт:	20
Число делений шага на итерации:	3

Миним. потерь по ветвям: **Все** — минимизируются потери во всех ветвях сети; **Отмеч.** — минимизируются потери только в отмеченных ветвях; **Нет** — потери не минимизируются, происходит только ввод в допустимую область;

Участие ИРМ в регулир.: **Все** — все ИРМ участвуют в минимизации целевой функции; **Отмеч.** — только отмеченные;

Регулирование ИРМ/ТРАНСФ.: — задает параметры регулирования:

ИРМ+ТРАНСФ. — в регулировании принимают участие и ИРМ, и регулируемые трансформаторы;

ИРМ — только ИРМ;

ТРАНСФ. — только трансформаторы;

Расчет анцапф: **Да** — после оптимизации выполняется округление полученного коэффициента трансформации до значения ближайшего положения РПН или ВДТ (анцапфы); **Нет** — расчет анцапф не производится (подробнее см. п. 2.5.3);

Мин межитерационное снижение потерь: — точность оптимизации по потерям, параметр ϵ_1 в формуле (2.22), определяет окончание оптимизации;

Мин межитерационное снижение штрафа: — точность оптимизации по напряжению, параметр ϵ_2 в формуле (2.23), определяет окончание оптимизации;

¹ для трансформатора, в отличие от ИРМ, нет возможности отключить регулирование, не удаляя диапазонов изменения коэффициента трансформации.

Число итераций с мин снижением: — число смежных итераций $K_{\text{доп}}$, на которых должно соблюдаться (2.22) и (2.23) для успешного окончания оптимизации;

Максимальное число итераций: — максимальное число итераций, выполняемых в ходе оптимизации, [100 – 200];

Число итераций для смены базиса: — число итераций, через которое выполняется полная проверка базиса для генераторных узлов;

Штрафной коэффициент: — $K_{\text{ш}}$ в формуле (2.14), значение штрафного коэффициента определяет соотношение между потерями и нарушенными ограничениями по напряжению. Чем больше коэффициент, тем «жестче» после оптимизации будут выдержаны ограничения (2.13), но большие коэффициенты могут привести к очень медленной сходимости, [20 – 500];

Сдвиг предела по V: — задает сдвиг пределов напряжений (2.13) в относительных единицах [0 – 0.1];

Множитель градиента по Kт: — коэффициент μ в (2.20), подбирается экспериментально в пределах [1 – 10], влияет на скорость сходимости;

Число делений шага на итерации: — максимальное число делений шага $\lambda_{\text{доп}}$ пополам при определении $\lambda_{\text{опт}}$, при превышении которого фиксируется окончание оптимизации с нулевым шагом [3-10];

В ходе оптимизации на экране отображается таблица:

Ит	Потери	Штраф	Огр.шага	dV%	Узел	dVs%	Узел	dKt%	Тр-р
0	985.90	0.00	Qmax 1670	0.37	1440	0.00	0	0.71	19-1516
1	978.91	0.00	Qmax 1605	0.53	1440	0.00	0	0.74	19-1516
2	970.43	0.00	Qmax 1112	0.10	1440	0.00	0	0.13	17-1513
3	968.84	0.00	Vmax 11	0.50	1440	0.00	0	0.59	17-1513
4	961.67	0.00	Qmax 804	0.42	1440	0.00	0	-0.46	20-1520
5	956.65	0.00	Vmax 803	0.02	1440	0.00	0	0.03	803-854

В ней:

Ит — номер итерации;

Потери — текущие потери мощности;

Штраф — текущий штраф;

Огр.шага — причина ограничения шага λ . Может быть одно из ограничений: (2.13), (2.17), (2.18), (2.19), (тогда указывается конкретное ограничение с номером узла или ветви) либо оптимум в данном направлении. Последняя причина обычно проявляется вблизи оптимального режима.

dV%, Узел — наибольшее приращение модуля напряжения в узле—ИРМ на итерации (в о.е.);

dVs%, Узел — наибольшее приращение модуля напряжения в узле с нарушенными ограничениями по напряжению (штрафная составляющая) на итерации (в о.е.);

dKt%, Тр-р — наибольшее приращение коэффициента трансформации в регулируемом трансформаторе на итерации (в о.е.).

Нормальное окончание оптимизации— соблюдение условий (2.22), (2.23), при его достижении таблица сходимости автоматически убирается с экрана. Возможны следующие ненормальные окончания процесса оптимизации:

Нулевой шаг - оптимизация прекращена — для устранения этой причины необходимо либо уменьшить штрафной коэффициент $K_{ш}$, либо увеличить число делений шага. Во многих случаях данное сообщение свидетельствует о найденном оптимуме с машинной точностью и практически является нормальным окончанием оптимизации.

Превышено предельное число итераций — необходимо либо увеличить максимальное число итераций, либо уменьшить точность расчета, задаваемую ϵ_1 , ϵ_2 и $K_{доп}$.

Аварийный расчет УР - оптимизация прекращена — в ходе оптимизации потеряна сходимость расчета установившегося режима. Такое сообщение может появиться в случае если исходный режим далек от допустимого.

Результаты оптимизации представлены двумя таблицами, доступными через меню **Результат** —

Окна:

1. **Результаты оптимизации по узлам.** Таблица имеет вид:

Узел	Тип	Vmin	V	Vmax	dV	Qmin	Q	Qmax
805	ИРМ	450.0	500.0	525.0	0.0	0.0	-19.1	0.0
1	ИРМ	450.0	520.0	525.0	0.0	0.0	194.1	1000.0
4	ИРМ	450.0	520.0	525.0	0.0	0.0	11.6	380.0
809	ИРМ	450.0	520.0	525.0	0.0	-800.0	401.2	800.0
811	ИРМ	450.0	520.0	525.0	0.0	-1000.0	-105.8	1000.0
28	Кон	450.0	521.2	525.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	Кон	450.0	523.9	525.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	Кон	450.0	509.0	525.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40	Кон	450.0	528.0	525.0	-3.0	0.0	0.0	0.0

В этой таблице поле **Тип** задает тип узла: ИРМ — источник реактивной мощности, Кон — узел, контролируемый по напряжению; V и Q — расчетное напряжение и реактивная генерация; dV — нарушение ограничений по напряжению;

2. **Результаты оптимизации по Ктр** — таблица имеет вид:

Линия	Название	Ктр,min	Ктр	Ктр,max	Нанц
2-1429	МАГ-МАГИСТ	0.3907	0.4400	0.4893	9
3-1306	ДЕМ-ДЕМЬЯН	0.3907	0.4400	0.4893	9
5-1131	ТЮМ-ТЮМЕНЬ	0.3907	0.4400	0.4893	9
6-1436	ХОЛ-ХОЛМОГ	0.3907	0.4400	0.4893	9
7-1632	ТАРК-ТАРКО-С	0.3907	0.4400	0.4893	9
9-1519	БЕЛ-БЕЛОЗ	0.3907	0.4400	0.4893	9
9-1525	БЕЛ-БЕЛОЗЕРН	0.3907	0.4400	0.4893	9
10-1506	СИБ-СИБИР	0.4037	0.4400	0.4835	7
10-1580	СИБ-СИБИР	0.4037	0.4400	0.4835	7
12-1435	ПЫТЬ-ЯХ-ПЫТЬЯХ	0.4037	0.4400	0.4835	7

В ней отображается расчетный коэффициент трансформации (Ктр) и, если задана информация по анцапам, соответствующий ему номер анцапы.

2.5.3 Расчет анцапф

Коэффициент трансформации, используемый при оптимизации, является промежуточной расчетной величиной. В технологических задачах используют номер положения отпайки РПН или ВДТ, называемый анцапфой.

В программе **Rastr** в исходных данных вместо коэффициента трансформации можно задавать тип регулируемого трансформатора и номер анцапфы.

Задание и расчет анцапф выполняется следующим образом:

1. В таблице **Анцапфы** задать информацию для каждого *типа* регулируемого трансформатора.
2. В таблице **Ветви** в поле **ВД** указать номер *типа* регулируемого трансформатора.
3. Для расчета коэффициента трансформации по номеру анцапфы (задается в поле **Нанс**) используется команда **Alt+F6** в таблице **Ветви**, *автоматической коррекции* коэффициента трансформации при изменении номера анцапфы не происходит. В отличие от этого при работе в графической оболочке изменение номера анцапфы приводит к *автоматическому изменению* коэффициента трансформации.
4. В ходе оптимизации режима определяется наилучший коэффициент трансформации. Для автоматического определения соответствующего ему номера анцапфы необходимо задать в таблице **Параметры О** — **Расчет анцапф: Да**. В этом случае найденные коэффициенты трансформации *округляются* до значения, соответствующего ближайшей анцапфе, и полученный номер анцапфы заносится в поле **Нанс** таблицы **Ветви**.

Таблица **Анцапфы** хранится *отдельно* от **rge**-файла. Для хранения этой таблицы имя файла задается командой **Alt+F5** — **УстБДтр** главного меню. Обычно достаточно одной базы данных для хранения всей информации о типах регулирования трансформаторов.

В таблице **Анцапфы** размещена следующая информация:

Нбд — номер типа регулирования трансформатора в базе данных;

Название — его название (необязательно);

ЕИ — единицы измерения шага отпаяк (**%** или **Кв**), если это поле не заполнено, предполагаются **%**, если в это поле занести любой символ, отличный от **%** и пробела, будут предполагаться **Кв**;

+— — порядок нумерации анцапф: **+** — анцапфы нумеруются, начиная от максимальной положительной добавки, **—** — от максимальной отрицательной (по умолчанию задается **+**);

Тип — тип регулирования. По умолчанию добавка напряжения осуществляется к напряжению **V(рег)**; если задать **1**, то добавка будет осуществляться к обоим напряжениям (например при регулировании в нейтрале);

Кнейтр — число анцапф в нейтральном положении (с нулевой добавкой), по умолчанию **1**.

V(нр) — напряжение нерегулируемой ступени;

V(рег) — напряжение регулируемой ступени;

Нанс — число анцапф с шагом, заданным в следующей колонке;

Шаг — величина шага (**%** или **Кв** в зависимости от поля **ЕИ**).

Порядок следования пар **Нанс** — **Шаг** — от наибольшего минуса к наибольшему плюсу.

Типы регулирования могут быть следующими:

1. Добавка производится только к напряжению $V(\text{рег})$, коэффициент трансформации рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{рег}} \pm n \cdot \Delta U}{U_{\text{нр}}}.$$

Обычно это РПН с регулированием на средней стороне.

2. Добавка производится к обоим напряжениям, коэффициент трансформации рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{рег}} \pm n \cdot \Delta U}{U_{\text{нр}} \pm n \cdot \Delta U}.$$

Обычно это ВДТ с регулированием в нейтрали.

3. Добавка напряжения *следующей* фазы производится к обоим напряжениям, коэффициент трансформации рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{рег}} \pm n \cdot \Delta U \angle 120^\circ}{U_{\text{нр}} \pm n \cdot \Delta U \angle 120^\circ},$$

Коэффициент трансформации $K_{\text{тр}}$ комплексный. Обычно это ВДТ с регулированием в нейтрали, вольтодобавка берется от соседней фазы

4. Добавка напряжения *предыдущей* фазы производится к обоим напряжениям, коэффициент трансформации рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{рег}} \pm n \cdot \Delta U \angle -120^\circ}{U_{\text{нр}} \pm n \cdot \Delta U \angle -120^\circ},$$

Результаты расчетов по анцапфам можно посмотреть в таблице **Анцапфы** в меню **Результат**

Окна.

Примеры:

1. Трансформатор с РПН 500/230 $\pm 8 * 1.4\%$, анцапфе с номером 1 соответствует положение $+8 * 1.4\%$, в нейтральном положении одна анцапфа.
2. Трансформатор с РПН 230/121 $\begin{matrix} +8*1.56\% \\ -8*1.5\% \end{matrix}$, анцапфе с номером 1 соответствует положение $-8 * 1.5\%$, в нейтральном положении 3 анцапфы.
3. Трансформатор с ВДТ 220/110, общая вольтодобавка ± 24.2 КВ, ближайшая к нейтральной добавка ± 1.86 КВ и $\pm 9 * 2.48$, в нейтральном положении 2 анцапфы, регулирование в нейтрали, нумерация начинается от добавки $+24.2$.
4. Трансформатор с ВДТ 500/230, общая добавка ± 20 КВ от предыдущей фазы (угол -120°).

№д	ЕИ	+ -	Кнейт	Тип	V (нр)	V (рег)	Нанц	Шаг	Нанц	Шаг	Нанц	Шаг	Нанц	Шаг
1	%	+	1		500	230	8	-1.4	8	1.4				
2	%	-	3		230	121	8	-1.5	8	1.56				
3	КВ	+	2	1	220	110	9	-2.48	1	-1.86	1	1.86	9	2.48
4	КВ	+	1	3	500	230	10	-2	10	2				

Соответствующая расчетная таблица **Анцапфы** в меню **Окна** будет иметь вид:

Тип	ЕИ	+	T	N	Na	Шаг	Na	Шаг	Na	Шаг	Na	Шаг	Na	Шаг	Na	Шаг
Наис	Увн						Унн		dU				Kt			
1	%	+	0	1	8	-1.4000	8	1.4000								
1			500.00			255.76		25.76			0.5115					
2			500.00			252.54		22.54			0.5051					
3			500.00			249.32		19.32			0.4986					
4			500.00			246.10		16.10			0.4922					
5			500.00			242.88		12.88			0.4858					
6			500.00			239.66		9.66			0.4793					
7			500.00			236.44		6.44			0.4729					
8			500.00			233.22		3.22			0.4664					
9			500.00			230.00		0.00			0.4600					
10			500.00			226.78		-3.22			0.4536					
11			500.00			223.56		-6.44			0.4471					
12			500.00			220.34		-9.66			0.4407					
13			500.00			217.12		-12.88			0.4342					
14			500.00			213.90		-16.10			0.4278					
15			500.00			210.68		-19.32			0.4214					
16			500.00			207.46		-22.54			0.4149					
17			500.00			204.24		-25.76			0.4085					
2	%	-	0	3	8	-1.5000	8	1.5600								
1			230.00			106.48		-14.52			0.4630					
2			230.00			108.29		-12.71			0.4708					
3			230.00			110.11		-10.89			0.4787					
4			230.00			111.93		-9.08			0.4866					
5			230.00			113.74		-7.26			0.4945					
6			230.00			115.56		-5.45			0.5024					
7			230.00			117.37		-3.63			0.5103					
8			230.00			119.18		-1.82			0.5182					
9			230.00			121.00		0.00			0.5261					
10			230.00			121.00		0.00			0.5261					
11			230.00			121.00		0.00			0.5261					
12			230.00			122.89		1.89			0.5343					
13			230.00			124.78		3.78			0.5425					
14			230.00			126.66		5.66			0.5507					
15			230.00			128.55		7.55			0.5589					
16			230.00			130.44		9.44			0.5671					
17			230.00			132.33		11.33			0.5753					
18			230.00			134.21		13.21			0.5835					
19			230.00			136.10		15.10			0.5917					
3	КВ	+	1	2	9	-2.4800	1	-1.8600	1	1.8600	9	2.4800				
1			244.18			134.18		24.18			0.5495					
2			241.70			131.70		21.70			0.5449					
3			239.22			129.22		19.22			0.5402					
4			236.74			126.74		16.74			0.5354					
5			234.26			124.26		14.26			0.5304					
6			231.78			121.78		11.78			0.5254					
7			229.30			119.30		9.30			0.5203					
8			226.82			116.82		6.82			0.5150					
9			224.34			114.34		4.34			0.5097					
10			221.86			111.86		1.86			0.5042					
11			220.00			110.00		0.00			0.5000					

12	220.00	110.00	0.00	0.5000				
13	218.14	108.14	-1.86	0.4957				
14	215.66	105.66	-4.34	0.4899				
15	213.18	103.18	-6.82	0.4840				
16	210.70	100.70	-9.30	0.4779				
17	208.22	98.22	-11.78	0.4717				
18	205.74	95.74	-14.26	0.4653				
19	203.26	93.26	-16.74	0.4588				
20	200.78	90.78	-19.22	0.4521				
21	198.30	88.30	-21.70	0.4453				
22	195.82	85.82	-24.18	0.4383				
4 КВ	+ 3 1 10	-2.0000	10	2.0000				
1	490.00+j	-17.32	220.00+j	-17.32	-10.00+j	-17.32	0.4497+j	0.0195
2	491.00+j	-15.59	221.00+j	-15.59	-9.00+j	-15.59	0.4507+j	0.0174
3	492.00+j	-13.86	222.00+j	-13.86	-8.00+j	-13.86	0.4517+j	0.0154
4	493.00+j	-12.12	223.00+j	-12.12	-7.00+j	-12.12	0.4527+j	0.0135
5	494.00+j	-10.39	224.00+j	-10.39	-6.00+j	-10.39	0.4537+j	0.0115
6	495.00+j	-8.66	225.00+j	-8.66	-5.00+j	-8.66	0.4547+j	0.0095
7	496.00+j	-6.93	226.00+j	-6.93	-4.00+j	-6.93	0.4558+j	0.0076
8	497.00+j	-5.20	227.00+j	-5.20	-3.00+j	-5.20	0.4568+j	0.0057
9	498.00+j	-3.46	228.00+j	-3.46	-2.00+j	-3.46	0.4579+j	0.0038
10	499.00+j	-1.73	229.00+j	-1.73	-1.00+j	-1.73	0.4589+j	0.0019
11	500.00+j	0.00	230.00+j	0.00	0.00+j	0.00	0.4600+j	0.0000
12	501.00+j	1.73	231.00+j	1.73	1.00+j	1.73	0.4611+j	-0.0019
13	502.00+j	3.46	232.00+j	3.46	2.00+j	3.46	0.4622+j	-0.0037
14	503.00+j	5.20	233.00+j	5.20	3.00+j	5.20	0.4633+j	-0.0055
15	504.00+j	6.93	234.00+j	6.93	4.00+j	6.93	0.4644+j	-0.0074
16	505.00+j	8.66	235.00+j	8.66	5.00+j	8.66	0.4655+j	-0.0092
17	506.00+j	10.39	236.00+j	10.39	6.00+j	10.39	0.4666+j	-0.0110
18	507.00+j	12.12	237.00+j	12.12	7.00+j	12.12	0.4678+j	-0.0127
19	508.00+j	13.86	238.00+j	13.86	8.00+j	13.86	0.4689+j	-0.0145
20	509.00+j	15.59	239.00+j	15.59	9.00+j	15.59	0.4700+j	-0.0162
21	510.00+j	17.32	240.00+j	17.32	10.00+j	17.32	0.4712+j	-0.0180

В этой таблице для каждого номера анцапфы (колонка **Нанс**) показаны расчетные напряжения (**Uвн**, **Uнн**), величина вольтодобавки (**dU**) и расчетный коэффициент трансформации.

Для пересчета коэффициента трансформации и анцапфы в таблице (**Ветви**) предназначена команда **Alt+F6**, после ее вызова на экране появится меню:

Кт по анцапфе
Анцапфу по Кт
Пределы
Ктср

Кт по анцапфе — по заданному в колонке (**Нанс**) номеру анцапфы пересчитывается коэффициент трансформации;

Анцапфу по Кт — коэффициент трансформации округляется до ближайшей анцапфы. Номер этой анцапфы заносится в колонку **Нанс**;

Пределы — рассчитываются пределы изменения коэффициента трансформации и заносятся в соответствующие колонки;

Ктср — коэффициент трансформации устанавливается соответствующим нейтральному положению анцапфы.

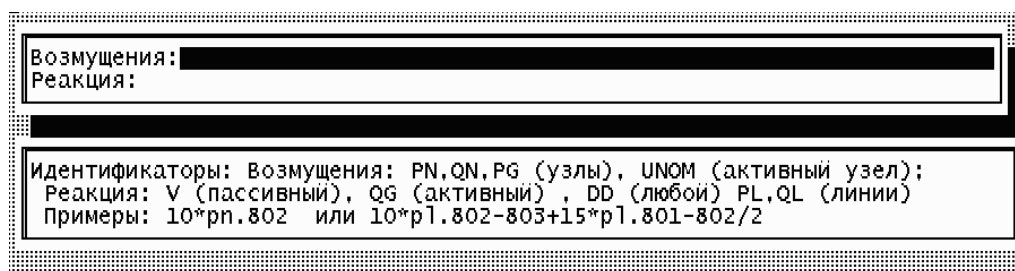


Рис. 2.10. Меню команды влияние

После выбора необходимого пункта последует запрос на выборку, в котором необходимо указать нужные ветви (см. п. 1.5.3).

2.6 Расчет влияния изменения параметров режима

При анализе установившихся режимов часто необходимо оценивать изменения режима при изменении исходных данных, а также решать обратную задачу — определить, каким образом изменить исходные данные, чтобы получить требуемый режим.

Эта задача решается с помощью команды **Влияние**, расположенной в меню **Режим**.

Данная команда предназначена для оценки влияния изменения исходных данных (узловые мощности, модули напряжения в узлах PV-типа) на изменение расчетных параметров (перетоки мощности, напряжения), либо для определения, каким способом можно изменить расчетный параметр (переток, напряжение). Таким образом решается 2 задачи:

Возмущения — определение, к чему приведет изменение исходных данных.

Реакция — определение, каким способом можно изменить расчетный параметр.

Особенностями таких расчетов являются:

1. Необходим предварительно рассчитанный режим, называемый *базовым*.
2. Данные задаются и результаты отображаются в форме *отклонений* параметров от базовых значений.
3. Для расчетов используется упрощенная (линеаризованная) модель режима, не учитывающая изменение потерь мощности и наличие пределов регулирования реактивной мощности.
4. Все узлы схемы делятся на 2 типа - активные и пассивные, к активным относятся узлы с заданными пределами регулирования реактивной мощности, в которых в базовом режиме удержан заданный модуль напряжения (узлы PV-типа), к пассивным относятся узлы без пределов регулирования Q и узлы, в которых модуль напряжения в базовом режиме не удержан (узлы PQ, PQ_{max} , PQ_{min} -типа).

После выбора команды **Влияние** на экране появляется меню, показанное на рис. 2.10.

Для расчета возмущений необходимо задать требуемое воздействие в строке **Возмущения** и нажать **F2** для расчета, а реакции — заполнить строку **Реакция** и нажать **F3**.

Формат задания реакции или возмущения в общем виде:

<число>*<идентиф>.<объект> <+/-> <число>*<идентиф>.<объект> <+/->...

где:

<число> — значение, на которое необходимо изменить параметр;

<идентиф> — идентификатор параметра;

<объект> — номер узла или номера узлов, соединяющих линию, при наличии нескольких параллельных линий указывается номер параллельной, например: 1–2/1.

Допустимые идентификаторы (латынь, регистр не важен):

Возмущения: идентификаторы могут быть следующими:

pn — изменение активной нагрузки;

pg — изменение активной генерации;

upom — изменение заданного модуля напряжения в *активном* узле;

qn — изменение реактивной нагрузки в *пассивном* узле.

Например: $10 * pn . 1 + 25 * qn . 15$ — рассчитать изменение режима при увеличении активной нагрузки в узле 1 на 10 МВт и увеличении реактивной нагрузки в узле 15 на 25 МВт.

Реакция: идентификаторы могут быть следующими:

dd — изменить угол напряжения в узле;

v — изменить модуль напряжения в пассивном узле;

qg — изменить генерацию реактивной мощности в активном узле;

pl — изменить переток активной мощности в линии;

ql — изменить переток реактивной мощности в линии.

Например: $15 * pl . 1-2/1-2 * v . 7$ — определить, каким образом можно увеличить поток мощности по ветви 1–2 (номер параллельной 1) на 15 МВт и одновременно уменьшить напряжение в узле 7 на 2 кВ.

Расчет возмущений. Для пассивных узлов возмущениями являются изменения активной и реактивной мощности узла, для активных — изменения активной мощности и модуля напряжения. Например, если необходимо определить, к чему приведет изменение на 100 МВт активной мощности нагрузки в узле 1, в строку **Возмущения** нужно ввести: $100 * pn . 15$. В результате будут выданы две таблицы. Первая показывает изменения перетоков мощности по линиям:

Возмущения: $100 * pn . 1$

Линия	Рнач	+ dРнач	= Рнач	Qнач	+ dQнач	= Qнач	Ркон	+ dРкон	= Ркон	Qкон	+ dQ-		
кон	Qкон												
804	805	4241.29	113.99	4355.29	-1255.70	-47.32	-1303.01	4379.39	121.66	4501.04	-		
28.19	20.81	-7.39											
802	804	1779.83	61.60	1841.44	-402.82	-20.59	-423.42	1847.66	66.69	1914.34	149.26	30.56	179.82
802	803	-1473.83	-61.60	-1535.44	561.82	20.59	582.42	-1424.82	-57.30	-1482.12	745.92	44.00	789.93
5	803	539.41	56.32	595.72	209.76	-5.75	204.01	544.08	57.30	601.38	-		
255.74	3.35	-252.39											
1	42	-394.65	55.71	-338.93	68.33	-3.59	64.74	-393.77	55.47	-338.31	28.08	-	
5.89	22.19												

В этой таблице по каждой линии показаны потоки в начале и конце линии, соответствующие базовому режиму, набросы мощности на линии, а также приближенные значения потоков после возмущения. Данные можно сортировать в порядке уменьшения величины наброса активной (dP) или реактивной (dQ) мощности.

Вторая таблица показывает изменения модулей и углов напряжений в пассивных узлах и углов напряжений и реактивной мощности в активных узлах:

Возмущения: 100*PN.1

Нузла	Тип	dDelta	V	+	dV	=	V	Qr	+	dQ	=	Qr
802	Нагр	-1.28	499.50	-	-1.16	=	498.34	-	-	-	-	-
1203	Нагр	-1.61	209.35	-	-0.62	=	208.73	-	-	-	-	-
1260	Нагр	-1.61	209.88	-	-0.62	=	209.26	-	-	-	-	-
1730	Ген	-2.80	-	-	-	=	-	122.24	+	5.12	=	127.36
1327	Ген	-2.61	-	-	-	=	-	65.99	+	3.27	=	69.26
1401	Ген	-3.44	-	-	-	=	-	433.68	+	0.48	=	434.16

В таблице представлен тип узла — пассивный (Нагр, Г/мин, Г/маж), активный (Ген) приращение угла напряжения (dDelta), значение модуля напряжения и его приращение (dV) в пассивных узлах и значение реактивной генерации и ее приращение (dQ) для активных узлов. Данные можно сортировать в порядке уменьшения одной из величин: приращение угла, модуля напряжения, или реактивной генерации.

Если величина изменения меньше пороговой, то вместо числа отображается прочерк, если все изменений в узле или ветви меньше пороговых — узел или ветвь не отображается в таблицах.

Расчет реакции. Для линий можно задавать требуемые изменения активной и реактивной мощности, для пассивных узлов — изменения модуля и угла напряжения, для активных — изменения угла напряжения и реактивной генерации. В результате выдается таблица с необходимыми управляющими воздействиями, которые необходимо приложить, чтобы добиться требуемой реакции.

Например, необходимо увеличить переток мощности по линии 2-12 на 100 МВт. В строку Реакция нужно внести 100*р1.2-12¹.

После расчета на экран выдается таблица с управляющими воздействиями:

Реакция: 100*PL.2-12

Нузла	Тип	dP	dQ	dV
2	Нагр	251.9	-	-
12	Нагр	-342.2	-	-
1445	Нагр	414.7	-	-
1488	Нагр	414.7	-	-
1463	Нагр	421.8	-	-
1429	Нагр	423.0	-	-
42	Нагр	-468.0	-	-
1	Ген	-569.1	-	829.2
1435	Нагр	-824.6	-	-

В этой таблице графа dP — изменение активной инъекции² в узле, графа dQ — изменение реактивной инъекции в пассивном узле, и dV — изменение модуля напряжения в активном узле.

Для рассмотренного примера, увеличить мощность по линии 2-12 на 100 МВт можно, увеличив нагрузку в узле 2 на 251.9 МВт, или уменьшив нагрузку в узле 12 на 342.2 МВт, или увеличив генерацию в узле 1 на 569.1 МВт и так далее. Для того, чтобы подсчитать изменение мощности по линии при изменении данных *одновременно* в нескольких узлах, необходимо воспользоваться формулой:

$$\Delta P_{2-12} = \frac{100}{251.9} \cdot \Delta P_2 - \frac{100}{342.2} \cdot \Delta P_{12} + \frac{100}{414.7} \cdot \Delta P_{1445} + \frac{100}{829.2} \cdot \Delta V_1 + \dots$$

¹ как обычно, мощность замеряется около узла, указанного первым, и положительное направление — из линии в узел.

² нагрузка минус генерация.

Данные можно сортировать в порядке увеличения dP , dQ либо dV . Если величина изменения больше пороговой, то вместо числа отображается прочерк, если все изменения в узле больше пороговых — узел не отображается в таблице.

Для отображения полученных таблиц используется оконная система, описанная в п. 2.7. При выборе команды **Окна—F2** на экране появляется запрос на ввод очередного возмущения или реакции (рис. 2.10). В первой строке каждого окна показано, для какого возмущения или реакции оно рассчитано.

При вводе возмущений или реакции используются следующие команды:

- F2** — рассчитать возмущение;
- F3** — рассчитать реакцию;
- F4** — отобразить список ранее введенных возмущений;
- F5** — отобразить список ранее введенных реакций;
- F6** — записать список возмущений или реакций на диск¹;
- F7** — загрузить список с диска;
- F8** — вход в меню параметров. В этом меню можно изменить пороговые значения для отображения рассчитанных величин: для возмущений — минимальные, для реакции — максимальные.

2.7 Различные формы представления результатов

Несколько различных форм представления результатов расчета вызывается через команду **Окна** меню **Результат**.

При выборе этой команды вызывается система одновременного отображения на экране различных таблиц, показываемых через окна.

Каждое окно, отображаемое на экране, имеет элементы управления, позволяющие изменить его размер и местоположение на экране с помощью мыши (рис. 2.11). Для изменения размеров окна необходимо нажать левую кнопку мыши в правом или левом нижнем углу окна, переместить мышь и отпустить левую кнопку. Для перемещения окна необходимо нажать левую кнопку мыши в верхней строке окна.

Каждое окно на экране имеет свой номер. Одновременно может быть открыто не более девяти окон.

При работе в оконной системе используются следующие функциональные клавиши:

- F2** — вызов меню выбора таблиц, позволяет открыть еще одно окно;
- F3** — вызов меню сортировки элементов в текущей таблице, способ сортировки зависит от вида таблицы;
- F4** — поиск элемента в текущей таблице;
- F5** — переключатель «полноэкранное окно — текущий размер»;
- F6** — печать текущей таблицы в соответствии с заданной сортировкой, выборкой и числом колонок;
- F7** — задать выборку элементов в таблице (выборка задается по правилам, описанным в п. 1.5.3);
- F8** — изменить размер и положение окна ($\leftarrow\rightarrow\uparrow\downarrow$ — изменяют размер, $\text{Shift}+\leftarrow\rightarrow\uparrow\downarrow$ — изменяют положение), но это же удобнее сделать мышью;

¹сохраняется в виде текстового файла, первые 10 строк — возмущения, следующие 10 — реакции.

806 БАЗ	>>	500.00	15.82 (3%)	-767.94	-283.42	1.29	82.01	0.95
820 БАЗ	T	213.04	5.54	-766.65	-201.40	0.00	0.00	2.15

В ней¹ каждый абзац соответствует одной ветви, в первой строке абзаца приведены, в основном, параметры начала, во второй — конца ветви. В колонке **Тип** символами << и >> показано действительное направление потока активной мощности и буквами Л, Т и В — тип ветви (ЛЭП, трансформатор, выключатель), далее модуль напряжения в начале и конце ветви ($V_n=227.07$, $V_k=201.56$), падение напряжения по ветви dV в киловольтах (25.5) и процентах от напряжения начала— $11\%^2$, угол по ветви в градусах ($\Delta=23.91$), потоки мощности в начале и конце ветви ($P_{лин}$, $Q_{лин}$), продольные потери (dP , dQ), зарядную мощность ЛЭП или потери холостого хода трансформатора ($dP_э$, $dQ_э$), модули тока в начале и конце ветви (Ток), в соответствии с рис. 1.3, 1.4—это \dot{S}_b , \dot{S}_e , $\Delta\dot{S}$, \dot{S}^c , $|I|_b$, $|I|_e$.

Таблицы **Токовая загрузка Тр-ров**, **Токовая загрузка ЛЭП** предназначены для анализа токовой загрузки трансформаторов или ЛЭП. Чтобы ветвь попала в эти таблицы, необходимо в ней задать допустимый ток — $I_{доп}$ (см. п. 1.5). Таблицы имеют вид:

Линия	Название	Ток	Доп.ток	Загрузка
19-1516	ТРАЧУКОВ-ТРАЧУКОВ	948	800	118.5
806-820	БАЗ-БАЗ	945	800	118.2
17-1513	ВАРЬЕГ-ВАРЬЕГ-2	925	800	115.6
7-1632	ТАРК-ТАРКО-С	921	800	115.1
22-1421	СОМКИНО-СОМКИНО	842	800	105.3
12-1435	ПЫТЬ-ЯХ-ПЫТЬЯХ	814	800	101.7
18-1431	КИРИЛ-КИРИЛ	798	800	99.8
6-1436	ХОЛ-ХОЛМОГ	753	800	94.2
2-1429	МАГ-МАГИСТ	737	800	92.1

Загрузка рассчитывается по формуле: $Z = \frac{I}{I_{доп}} \cdot 100\%$.

Таблица **Небалансы** используется при анализе разошедшегося режима и имеет вид:

Узла	Тип	$P_{неб}$	$Q_{неб}$	$Q_{мин}$	Q_{max}	dQ	$U_{ном}$	$V_{расч}$	dV
1	Нагр	2.41	0.47	0.0	0.0	0.0	117.10	115.99	0.00
2	Нагр	1.22	1.64	0.0	0.0	0.0	117.70	116.97	0.00
3	Нагр	0.96	4.44	0.0	0.0	0.0	223.20	224.21	0.00
4	Ген	10.60	137.97	0.0	82.0	56.0	116.00	116.00	0.00
5	Г/мах	5.30	1.22	35.0	42.0	0.0	115.00	114.58	0.00
54	Ген	75.22	-60.35	-50.0	1233.0	-10.4	522.00	522.00	0.00
215	Г/мин	2.13	2.74	0.0	100.0	0.0	116.00	119.04	0.00
216	Нагр	1.99	0.23	0.0	0.0	0.0	111.70	109.21	0.00
989	База	0.00	1413.03	-9999.0	10000.0	0.0	515.00	515.00	0.00

В зависимости от типа узла (колонка Тип) параметры в остальных колонках имеют различные значения:

База — $V\delta$ -тип, поля $P_{неб}$, $Q_{неб}$ — генерация активной и реактивной мощности;

Нагр — PQ -тип, поля $P_{неб}$, $Q_{неб}$ — небалансы активной и реактивной мощности (φ , ψ в (2.1)), должны быть меньше параметра **Точность расчета**;

¹для примера взята линия 816-1260

²для трансформатора это внутреннее падение напряжения без учета коэффициента трансформации

Ген — PV -тип, поле $P_{неб}$ — небаланс активной мощности (φ в (2.1a)), поле $Q_{неб}$ — генерация реактивной мощности, должна быть в пределах $Q_{min} \div Q_{max}$ для сбалансированного режима, при нарушении какого-либо предела поле dQ содержит величину небаланса реактивной мощности (см. рис. 2.2);

Г/мах — PQ_{max} -тип, поля $P_{неб}$, $Q_{неб}$ — небалансы активной и реактивной мощности (φ , ψ в (2.1)), должны быть меньше параметра **Точность расчета**. Расчетное напряжение ($V_{расч}$) должно быть *меньше* заданного ($U_{ном}$), в противном случае возникает небаланс напряжения (dV) (см. рис. 2.2);

Г/мин — PQ_{min} -тип, поля $P_{неб}$, $Q_{неб}$ — небалансы активной и реактивной мощности (φ , ψ в (2.1)), должны быть меньше параметра **Точность расчета**. Расчетное напряжение ($V_{расч}$) должно быть *больше* заданного ($U_{ном}$), в противном случае возникает небаланс напряжения (dV) (см. рис. 2.2);

2.8 Сервисные возможности программы

В этом разделе кратко перечислены некоторые дополнительные возможности программы, не отраженные ранее.

Меню **Данные**:

Сортировка — осуществляет сортировку узлов и ветвей по выбранным критериям. Для узлов критериями являются:

Районы — по возрастанию номеров районов;

Номера — по возрастанию номеров узлов;

Тип — по типу узлов (базисный, с фиксированным модулем, обычный);

Напряжение — по возрастанию номинального напряжения узла.

Для ветвей критериями являются:

Номера — по возрастанию номеров узлов;

Тип — по типу связи (ЛЭП, трансформатор).

Перед выполнением сортировки предлагается выбрать нужную последовательность критериев, это осуществляется клавишами перемещения курсора и **Enter**. Сортировка запускается нажатием **F2**. Например, выбор последовательности критериев: 1-ый критерий — **Район**; 2-ой — **Напряжение**, 3-ий — **Тип**, 4-ый — **Номера** приведет к следующему: сначала узлы будут отсортированы по районам, внутри каждого района по напряжению, в группе равного номинального напряжения — по типу, и, наконец, для каждого типа — по возрастанию номеров;

Импорт/Экспорт — позволяет прочитать/записать файл в макете ЦДУ. Имя этого файла должно задаваться полностью с расширением и с именем пути, если файл не находится в рабочем каталоге. Команды могут быть также использованы для проведения сложных операций с исходными данными (слияние, деление и т.п.). Информация о результатах импорта заносится в расширенный протокол, доступный в любое время по нажатию **Alt+F10**.

Отметить район — для отметки узлов по заданным граничным линиям. Необходимо предварительно отметить граничные ветви и отметить один узел-представитель, с которого начинается выделение района. Для правильного выполнения команды нужно отметить не более одного узла, при отметке нескольких узлов выполнение начинается с первого

из отмеченных по порядку в таблице **Узлы**. Команда используется при эквивалентировании для выделения района, заданного граничными линиями;

Схемы — меню предназначено для работы с исходными данными нескольких схем: сравнение, деление, объединение, а также перенумерации узлов по списку.

При выборе этого пункта появляется дополнительное меню:

Сравнение — сравнивает текущую и указанную пользователем схемы. Сравниваются только исходные данные, расчетные величины игнорируются (например, $Q_{ген}$ для узлов с пределами регулирования Q). Сортировка данных не влияет на результат сравнения. Информация о различиях выводится в расширенный протокол, доступный по нажатию **ALT+F10**.

Деление — производится выделение фрагмента схемы в отдельную схему. Для проведения операции необходимо предварительно отметить узлы, подлежащие отделению. После выполнения команды отмеченные узлы вместе с подходящими к ним ветвями перемещаются в отдельную схему, а рабочий файл содержит оставшуюся часть схемы. При выполнении деления информация о линиях, связывающих различные схемы (линии связи), теряется. Поэтому при необходимости обратной сборки можно сохранить информацию о линиях связи в специальном файле, позволяющем при операции объединения провести полное восстановление информации об исходной схеме. Кроме этого, для сохранения сбалансированного режима в каждой из схем можно потребовать пересчет потоков мощности по линиям связи в эквивалентную нагрузку или генерацию, а также назначить балансирующий узел в отделяемом фрагменте. Вся эта информация также может быть сохранена в файле связи для последующего объединения. Перед выполнением команды появляется меню со следующими строками:

Имя второго файла — имя схемы для выделения отмеченного фрагмента;

Имя файла связи — имя файла с информацией для последующего объединения, может быть не задано;

Пересчет потоков — поток мощности по линиям связи может пересчитаться в эквивалентную нагрузку, генерацию, по направлению потока или не пересчитываться;

База во 2-ой схеме — при задании номера узла он назначается балансирующим в отделяемой схеме.

Слияние — выполняется объединение двух схем (текущей и указанной в меню). Проводится по следующим правилам:

- узлы, имеющие одинаковый номер и совпадающие по параметрам, сливаются в один без выдачи какого-либо сообщения;
- узлы, имеющие одинаковый номер и отклонение по параметрам, выдаются на экран с информацией об отклонениях и с меню о предлагаемых действиях:
 - выбрать один из двух узлов для объединения;
 - перенумеровать один или оба (подходящие линии перенумеровываются автоматически);
- одинаковые номера районов и полиномов СХН преобразуются по аналогичным правилам;
- для ветвей, имеющих различные параметры и одинаковые номера узлов и номер ветви в группе параллельных, можно выбрать нужную линию из двух.

После объединения схема дополняется информацией из файла связи (если задан в меню) — дополняется линиями связи и информацией об узлах, в которых произ-

водился пересчет мощностей; назначенный при делении балансирующий узел отменяется и его параметры приводятся в исходный вид. Таким образом, операция деления с последующим объединением приводит схему в первоначальное состояние.

Перенумер — перенумерация узлов и ветвей по заданному списку. Список узлов должен быть предварительно подготовлен в обычном текстовом файле и содержать строки вида:

```
1=100 4=7440 7=21
100-200=+1000
150=700 200=800
```

Здесь узел 1 будет перенумерован в 100, 4 в 7440, 7 в 21, узлы с номерами от 100 до 200 увеличат номер на 1000, 150 узел перенумерован в 700 и т.д.

Задание на групповую перенумерацию организуется аналогично команде групповой коррекции (**Alt+F1**) экранного редактора (см. п. 1.5.3) и должно занимать отдельную строку. Необходимо указать имя файла со списком, после имени файла можно указать ключ **/r** - в этом случае будет выполнена обратная перенумерация, т.е. для узлов восстановятся исходные номера.

Глава 3

Графика

3.1 Основные графические примитивы

В программе **Rastr** принято изображать узел в виде горизонтальной либо вертикальной линии с отходящими ветвями и символическими изображениями в виде фигуры нагрузки, генерации и реактора(или батареи конденсаторов). Из рис. 3.1 видно, что шина узла разбита на секции, к каждой из которых можно подключить несколько присоединений ветвей или фигур. Обычно стараются к каждой секции подключать не более 2-х присоединений, например, при горизонтальной ориентации шины — верхнее и нижнее.

Символические изображения нагрузки генератора и реактора могут иметь две возможных ориентации относительно шины узла (например, выше и ниже при ее горизонтальном расположении) и быть присоединенными к любой ее секции.

Для ветвей принято три различных способа отображения, показанных на рис. 3.2: в виде простой ломаной линии для ЛЭП, в виде ломаной с двумя пересекающимися окружностями для трансформаторов и в виде ломаной с прямоугольником для выключателя. Каждая ветвь может иметь не более 4 изломов, причем начальный и конечный излом создаются автоматически в ходе выполнения команды **Ввод**.

Для повышения наглядности схемы предусмотрены различные способы выделения ее элементов:

цвет — может использоваться для разделения номинальных напряжений, районов, отмеченных узлов или линий, а также в процессе подготовки схемы для выделения узлов;

толщина — может использоваться для разделения номинальных напряжений;

сплошные или пунктирные линии используются для разделения включенных и отключенных элементов.

Текстовое поле может заполняться расчетной информацией, связанной с узлом, ветвью или представлять собой просто надпись. Все текстовые поля прорисованы векторными шрифтами, свободно масштабируемыми по ширине и длине, поворачиваемыми в произвольном направлении. Предусмотрено несколько начертаний шрифтов.

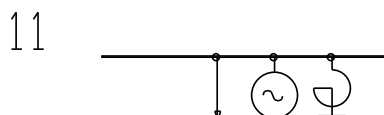


Рис. 3.1. Изображение узла в виде шины

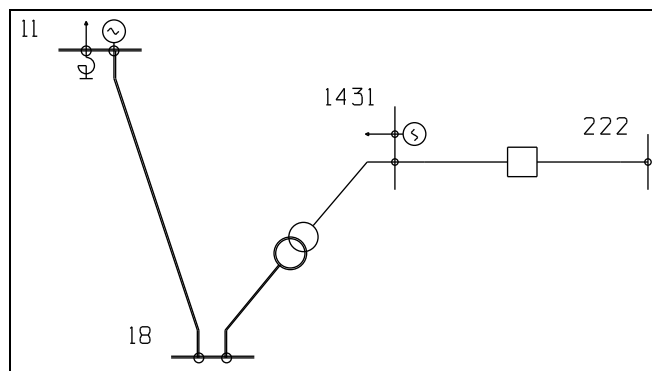


Рис. 3.2. Различные изображения ветвей

3.2 Согласование расчетной и графической схемы

Перед запуском графики необходимо загрузить расчетную схему. **Rastr** для упрощения подготовки графической схемы извлекает из расчетной следующую информацию:

- топологию электрической сети — то есть, для каждого узла информацию о том, с какими другими узлами он связан;
- тип ветви (трансформатор, ЛЭП, выключатель);
- наличие в узле нагрузки, генерации, шунта на землю¹.

Графическая схема дополняет расчетную, и в ней хранится следующая информация:

- для каждого узла ЭС:
 - номер узла;
 - мировые координаты изображения узла²;
 - характеристики изображения узла — длина и ориентация шины, места присоединения и ориентация изображений нагрузки, генератора, реактора;
 - характеристики текстовых окон, связанных с узлом;
- для каждой ветви:
 - номера узлов, связывающих ветвь;
 - относительные координаты точек излома (не более четырех)³;
 - характеристики текстовых окон, связанных с ветвью.

Характеристики текстовых окон включают в себя:

- тип отображаемой информации из расчетной схемы (см. п. 3.8);
- относительные координаты окна (задаются относительно некоторых точек узла или ветви, к которой относится данный текст);

¹ в зависимости от знака проводимости меняется изображение — либо в виде реактора, либо в виде батареи конденсаторов.

² точнее левой нижней точки изображения узла.

³ координаты всех точек излома, кроме последней, заданы относительно узла начала ветви, последняя точка — относительно узла конца ветви.

- угол поворота, размер, цвет, шрифт;
- точность — число десятичных цифр после точки при отображении в окне.

При подготовке новой графической схемы необходимо задать координаты узлов (с помощью команды **Ввод**), то есть задать пространственное размещение узлов электрической сети, задать точки изломов ветвей и расположить окна отображения текстовой информации.

При прорисовке графической схемы на экране информация о самих значениях параметров, отображаемых в текстовых окнах, запрашивается из расчетной схемы. Состояние линий и узлов (включено или отключено) также берется из расчетной схемы.

Как видно из изложенного, единственной информацией, связывающей расчетную и графическую схемы, является *номер узла*. Поэтому графическая схема лишь в некоторой степени зависит от расчетной, и многие изменения в расчетной не приводят к изменениям в графической. Например, изменения режима и состояния линий или узлов никак не влияют на информацию, хранимую в графической схеме, хотя и приводят к изменениям на экране.

В то же время любое изменение нумерации узлов в расчетной схеме приводит к потере информации в графической схеме¹.

При загрузке уже готовой графической схемы происходит процесс сверки расчетной и графической схем. Графическая схема при этом играет подчиненную роль и процесс сверки может приводить к существенным изменениям в ней:

- узлы, присутствующие в графической, но отсутствующие в расчетной, выбрасываются из графической схемы;
- ветви, присутствующие в графической, но отсутствующие в расчетной, выбрасываются из графической схемы;
- ветви, присутствующие в расчетной, но отсутствующие в графической, создаются автоматически;
- проверяется наличие в узле генерации, нагрузки, реактора — при отсутствии вводится запрет на их изображение.

Помимо основной информации, связанной с узлами и ветвями, в графической схеме хранится информация о способах графического выделения районов и номинальных напряжений узлов. Она также приводится в соответствие с текущей расчетной схемой.

Следует иметь в виду, что даже простая загрузка и сохранение графической схемы может привести к существенным изменениям в ней из-за процедуры согласования.

Таким образом, одна расчетная схема может иметь несколько графических представлений и, наоборот — для нескольких расчетных можно использовать одну и ту же графическую.

3.3 Структура экрана и способы навигации

Вид экрана в графике изображен на рис. 3.3. Экран разбит на 4 области (зоны):

1. Окно отображения схемы (рабочая зона экрана).
2. Функционально сгруппированные сменные меню (правое меню).
3. Меню для вызова часто используемых функций (левое меню).
4. Строка для отображения и ввода дополнительной информации.

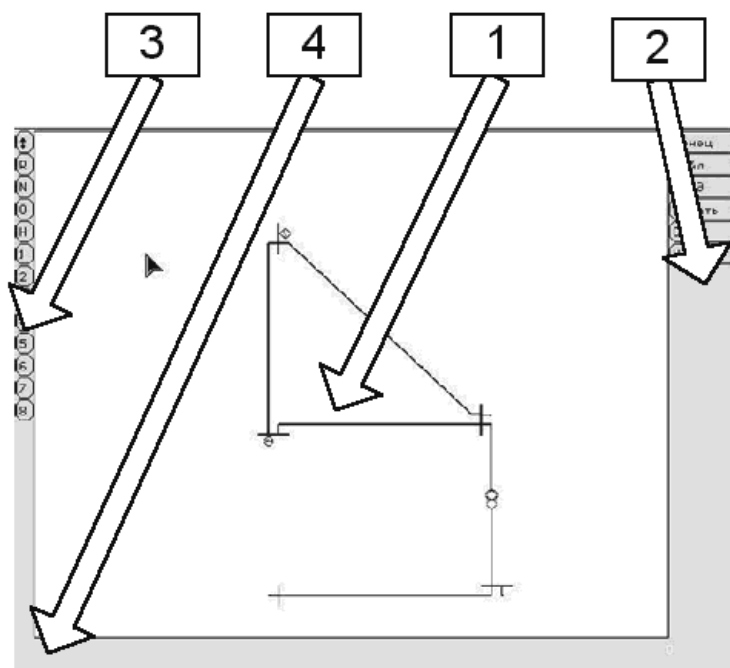


Рис. 3.3. Структура экрана

Для выбора команд из меню используется щелчок¹ левой кнопки мыши. Также можно пользоваться клавиатурой — для выбора команды из правого меню необходимо нажать подсвеченную букву нужного пункта², а для выбора команды из левого меню используются функциональные клавиши **F1—F10**.

При перемещении курсора мыши на любую команду меню всплывает краткая подсказка по ее назначению, для левого меню она содержит код клавиши, активизирующий эту команду.

Расположенные справа меню состоят из главного **Конеч** — **Файл** — **Ввод** — **Печать** — **Счет** — **Устан** и 5 сменных, вызываемых из него. В каждом сменном имеется пункт, называемый **Меню**, используемый для возврата в главное.


Для завершения работы с графикой надо выбрать пункт **Конеч**.

Для перемещения по окну отображения графической схемы с помощью клавиатуры используются клавиши управления курсором — **↑**, **↓**, **←**, **→**, а также **Home**, **End**, **PgUp**, **PgDn** для перемещения по диагонали. Для изменения масштаба текущей схемы используются клавиши **Ins** для увеличения и **Del** для уменьшения.

Назначение клавиш управления при вводе текстовой информации приведено ранее (см. п. 1.3 на стр. 9).

3.4 Постоянное меню

В это меню собраны наиболее часто используемые команды.

 — изменить масштаб и переместиться по схеме.

После выбора команды появляется рамка, перемещаемая вместе с мышью. Все, что

¹в графике существует команда групповой перенумерации узлов, позволяющая сохранить графическую схему при таких изменениях.

¹щелчок — это значит *нажать* и *отпустить* кнопку мыши.

²например, для загрузки файла графики нужно нажать клавишу **Ф** для выбора меню **Файл**, а затем клавишу **З** для выбора команды **Загрузить** (состояние регистров и раскладка клавиатуры значения не имеют).

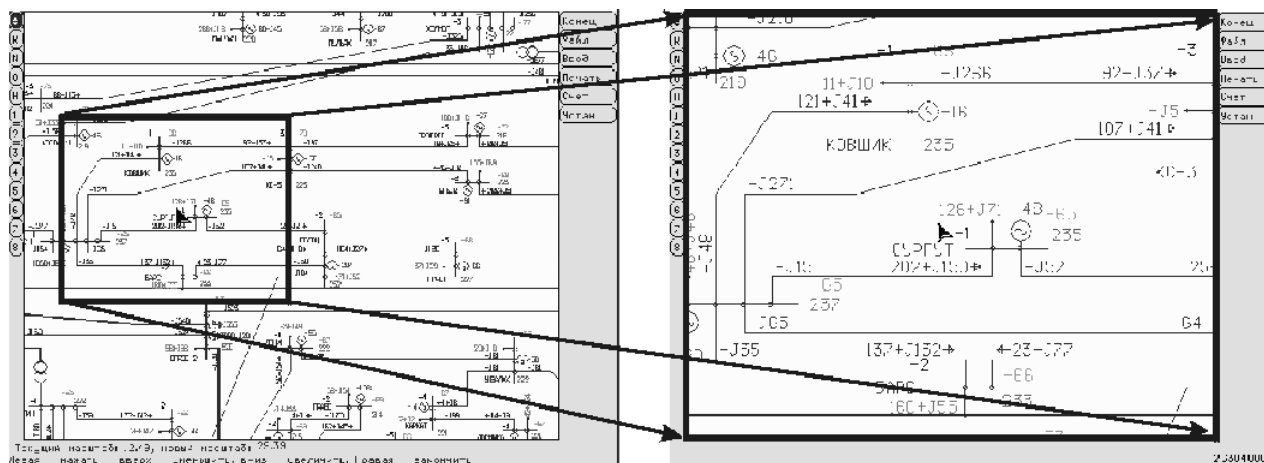


Рис. 3.4. Увеличение масштаба изображения схемы

попадет в эту рамку, будет развернуто на рабочую зону экрана. Для изменения размера рамки необходимо нажать **левую** кнопку мыши, и *не отпуская ее* переместить мышь вверх или вниз — размер рамки соответственно уменьшится или увеличится. Если рамка не уместится на экране, о соотношении размеров текущего и будущего экранов можно судить по соотношению масштабов, отображенному в строке дополнительной информации (см. пункт 4 на рис. 3.3). Например, если в этой строке написано:

Текущий масштаб:14, новый масштаб 7

Это означает, что после выполнения команды масштаб схемы уменьшится в два раза. После отпущения левой кнопки мыши, рамка вновь будет перемещаться вместе с мышью. Центр отмасштабированной схемы будет совпадать с курсором мыши.

Для окончания работы с командой необходимо щелкнуть **правую** кнопку мыши. Пример увеличения масштаба схемы приведен на рис. 3.4.

Для перемещения окна отображения и изменения масштаба также используются клавиатурные команды (см. п. 3.3)

Следует иметь в виду, что при уменьшении масштаба изображения схемы мелкие нечитаемые детали изображения (текст, фигуры) перестают отображаться на экране. Этот процесс можно регулировать с помощью параметра **Мин размер отображаемого текста** в команде **Всякие** меню **Установки**.

Данную команду также можно активизировать с помощью функциональной клавиши **F5**.

R или **T** — переключатель режим (отображены все заказанные параметры)— трассировка (отображен только номер узла). Режим трассировки используется при вводе графической схемы для ускорения ее прорисовки. Разница между этими режимами показана на рис. 3.5. Функциональная клавиша — **F6**;

O или **Φ** — переключение планов изображения, по умолчанию на экране отображается основной план (**O**). На фоновом плане отображаются удаленные поля (см команду **Техт** на стр. 75). При необходимости восстановить удаленное поле необходимо переключиться на фоновый план (**Φ**) и удалить поле с него — в этом случае оно будет восстановлено на основном плане. Функциональная клавиша — **F7**;

N — поиск узла по номеру (найденный узел помещается в центр экрана). Функциональная клавиша — **F4**;

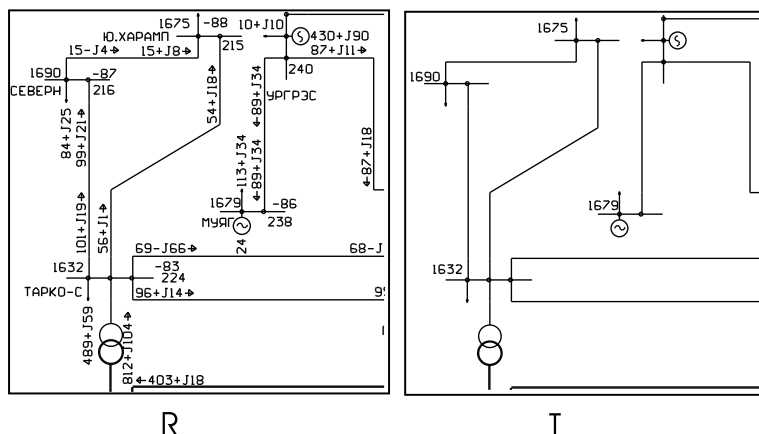


Рис. 3.5. Переключение: (А) **R** — режим; (В) **T** — трассировка

H — отображение справочной информации¹.

1, 2 ... **9** — запомнить (щелкнуть левой) или восстановить (щелкнуть правой кнопкой мыши) текущее окно отображения схемы. Запоминается текущий масштаб и место отображения схемы. Эти команды используются для быстрого перемещения между избранными участками схемы.² Вместо мыши можно использовать клавиши **1, 2** ... **9** для запоминания и **Alt+ 1, 2** ... **9** для восстановления.

3.5 Подготовка графической схемы

Как уже отмечалось в п. 3.2, подготовка графической схемы осуществляется на основе предварительно загруженной расчетной³ и заключается в последовательном выполнении следующих операций:

- расстановка узлов в пространстве на условно бесконечной доске;
- улучшение внешнего вида схемы путем изменения точек присоединения ветвей и фигур к узлу и создания изломов ветвей;
- расстановка окон отображения текстовой информации;
- ввод поясняющих надписей;

Исходя из особенностей хранения графической схемы, рекомендуется эти действия выполнять именно *в указанной последовательности*.

Все команды подготовки графической схемы сосредоточены в меню **Ввод**. Основная команда для ввода узлов — **Ввод**. Она используется как для ввода, так и для перемещения узла.

3.5.1 Расстановка узлов

После выбора команды **Ввод** в строке отображения дополнительной информации (4 на рис. 3.3) появляется список узлов, рекомендуемых для ввода. Первый из них отмечен цветом, и именно он предлагается к вводу:

¹ временно не работает

² например, целесообразно запомнить на кнопку **1** всю схему, отмасштабированную на экран.

³ целесообразно готовить графику по наиболее подробной расчетной схеме.

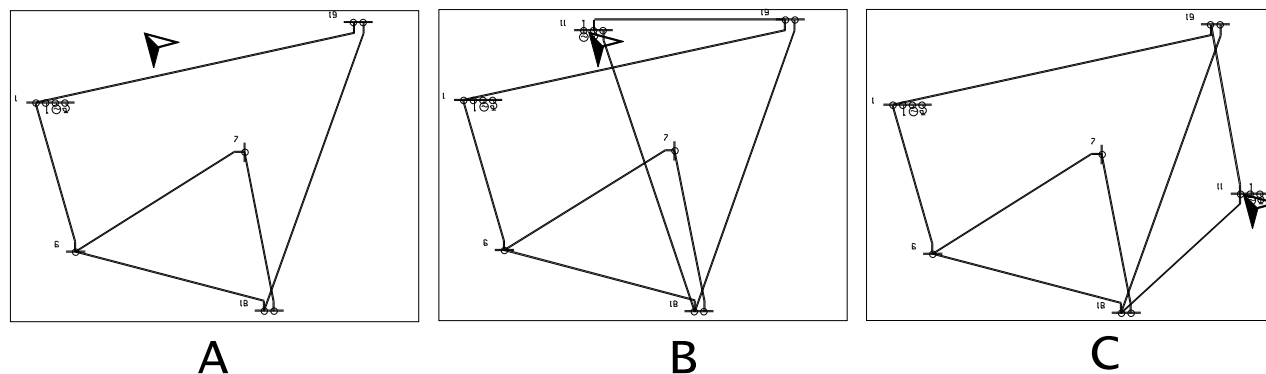


Рис. 3.6. Ввод узла №11 в схему: (А) установить курсор; (В) Нажать левую клавишу мыши; (С) Переместить и отпустить левую клавишу

Узлы: 805 1 4 11 21 29 801 803 804 804
 <Выбор>807 807 811 812 913 814 816 831 832 837

Для ввода другого узла из списка необходимо щелкнуть мышью на нем (этот узел выделится цветом). Для выбора узла, не попавшего в список, щелкнуть мышью на слове **< Выбор >** и ввести номер нужного узла.

Список узлов будет изменяться после ввода каждого нового узла или изменения отображаемого участка схемы. В списке в первую очередь появляются узлы, связанные с отображенными на экране, это сделано с целью ускорения ввода *связанного* куска схемы.

При вводе узла используется широко известная технология drag'n'drop, что в приблизительном переводе означает: нажми — перемести — отпусти. Для ввода выбранного узла необходимо переместить мышшь на «чистое» (т.е. не содержащее ранее введенного узла) место экрана и *нажать* левую кнопку мыши — на экране появится узел вместе с подходящими к нему ветвями от ранее введенных узлов. Затем, *не отпуская левую кнопку*, переместить мышшь вместе с узлом (а также подходящими к нему линиями) в желаемое место экрана и только затем *отпустить левую кнопку*.

Для перемещения по экрану ранее введенного узла необходимо переместить указатель мыши на этот узел и нажать левую кнопку. Данный узел будет перемещаться с мышью до тех пор, пока не будет отпущена кнопка мыши. Пример ввода нового узла показан на рис. 3.6.

Более точно под узлом здесь понимается описывающий его шину прямоугольник шириной в одну секцию, при попадании мыши в который осуществляется не ввод нового узла, а перемещение старого.

В процессе ввода схемы те узлы, у которых еще остались не введенные «соседи», выделяются цветом. Для быстрого одновременного ввода *всех* узлов, связанных с выбранным, необходимо переместить курсор мыши на этот узел и нажать клавишу **Пробел** — все связанные с ним узлы будут введены и прорисованы по кругу вокруг него (см. рис. 3.7). Затем вновь введенные узлы можно передвинуть на более удобные места.

Узел можно удалить, щелкнув на нем **правой** кнопкой мыши¹.

Для определения расстояния между узлами следует руководствоваться прорисовываемыми во время перемещения прямоугольниками, которые показывают места отображения текстовой информации. На каждой ветви отображается два прямоугольника, и узлы не стоит располагать слишком близко, когда прямоугольники накладываются друг на друга, и слишком далеко — в этом случае схема оказывается неинформативной и неудобной для работы.

При начальном вводе узлов не следует сразу стремиться улучшить внешний вид узла, лучше сначала ввести все узлы, а затем приступить к «наведению блеска». Для начала целе-

¹ слова «удалить» и «ввести» относятся только к графической схеме, расчетная остается без изменений.

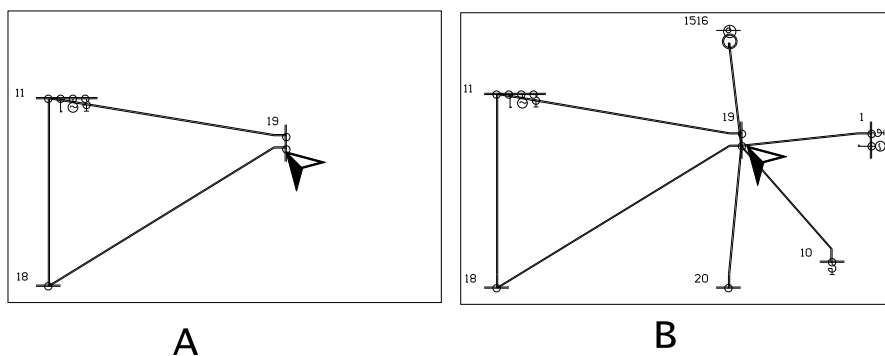


Рис. 3.7. Ввод в схему смежных с узлом №19: (А) установить курсор; (В) нажать пробел

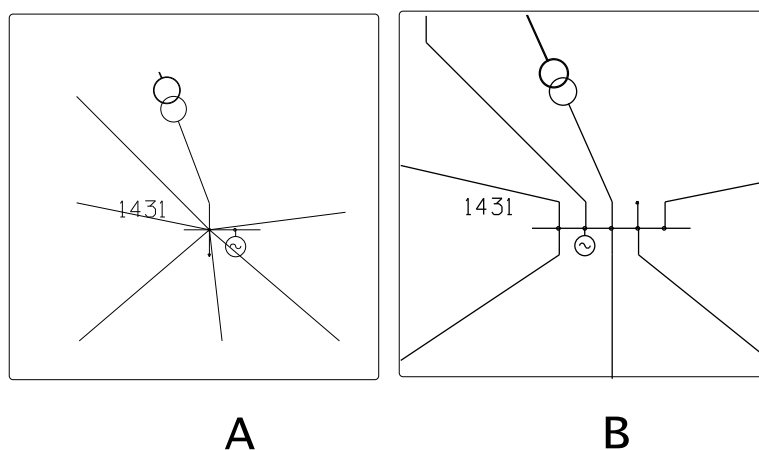


Рис. 3.8. Узел №1431: (А) до и (В) после оптимизации

сообразно выполнить команду **ОптВсе**, которая наведет минимальный порядок — создаст на каждой ветви по два излома и расставит присоединения ветвей.

3.5.2 Улучшение внешнего вида схемы

Во время перемещения узла по экрану программа стремится динамически оптимизировать внешний вид узла путем размещения присоединений ветвей и фигур на различные секции, создания начальных изломов на подходящих ветвях и изменения ориентации шины узла (см. рис. 3.8). Процесс оптимизации узла и линии происходит по следующему алгоритму:

- если подходящие к узлу ветви расположены преимущественно в горизонтальном положении, выбирается вертикальная ориентация шины, в противоположном случае — горизонтальная;
- для каждой ветви, подходящей к узлу, рассчитывается ее угол относительно центрального узла¹ и, в зависимости от текущей ориентации шины, выбирается номер секции. Например, при горизонтальной ориентации шины ветви с углами от 0 до 180° присоединяются к верхним секциям. Ветви сортируются по возрастанию угла, ветвь с наименьшим углом присоединяется к самой правой секции, следующая — к расположенной левее секции и так далее, причем длина шины изменяется автоматически. Ветви с углами от 180 до 360° присоединяются к нижним секциям аналогичным образом;
- на свободные секции размещаются изображения нагрузки, генерации, реактора; при отсутствии места длина шины увеличивается;

¹за нулевую ось принимается горизонтальная линия, выходящая из узла вправо.

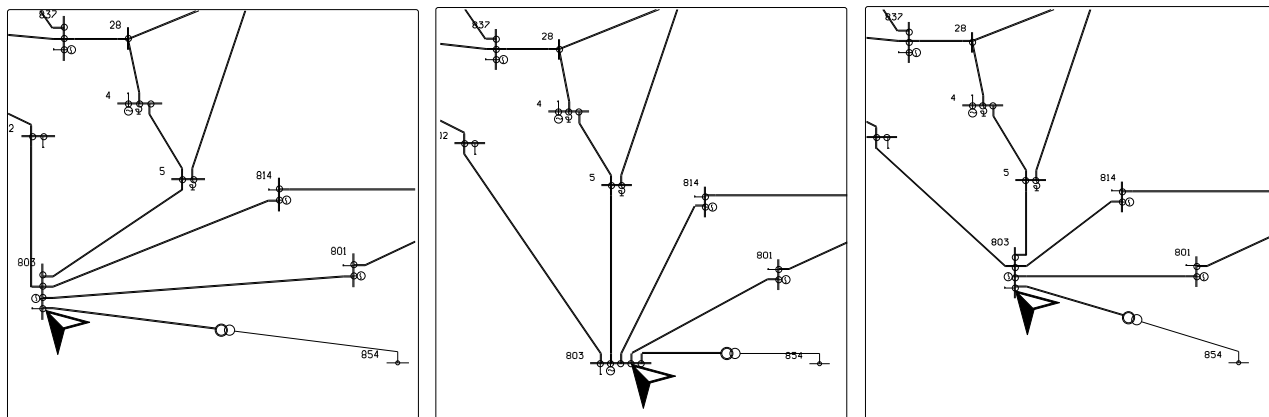


Рис. 3.9. Оптимизация узла №803 во время его перемещения

- создаются изломы на участках ветвей, подходящих к узлу(создание или изменение изломов на противоположной стороне ветви не производится);
- создаются окна для отображения текста, принадлежащего узлу и подходящим к нему линиям (описано ниже).

Процесс оптимизации повторяется при каждом изменении положения узла и проиллюстрирован рис. 3.9.

Оптимизацию во время перемещения можно запретить полностью — клавиша **Ctrl**— или частично — клавиша **Alt** для принудительной горизонтальной ориентации шины и клавиша **Shift** для вертикальной.

Обычно эти клавиши используются в том случае, когда оптимальное расположение узла на экране не совсем совпадает с предложенным программой, поэтому обычно, перемещая узел по экрану, добиваются наилучшей ориентации шины и расположения присоединений, затем нажимают **Ctrl** (возможно в комбинации с **Alt** или **Shift**), а затем перемещают узел в нужное место¹.

Команду **Ввод** дополняют три команды из этого меню:

Сдвиг — перемещение узла по экрану без оптимизации;

Оптим — перемещение узла по экрану с оптимизацией размещения этого узла и всех, связанных с ним;

ОптВсе — черновая оптимизация *всех* введенных узлов².

При оптимизации программа создает на каждой ветви два излома, показанных на рис. 3.10. Для добавления новых изломов, изменения места уже имеющихся и удаления ненужных служит команда **Излом**. Начальный и конечный излом ветви имеют дополнительные особенности:

- координаты этих изломов задаются относительно координат узлов начала и конца ветви;
- координаты окон текста, размещенных на ветви, задаются относительно координат этих изломов;

¹клавиши нужно отпускать в следующем порядке — сначала **левую** кнопку мыши, а затем клавиши клавиатуры.

²не надо выполнять эту команду, после того, как приступили к ручной оптимизации.

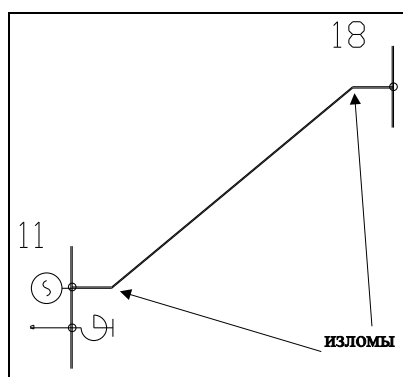


Рис. 3.10. Стандартные изломы ветвей

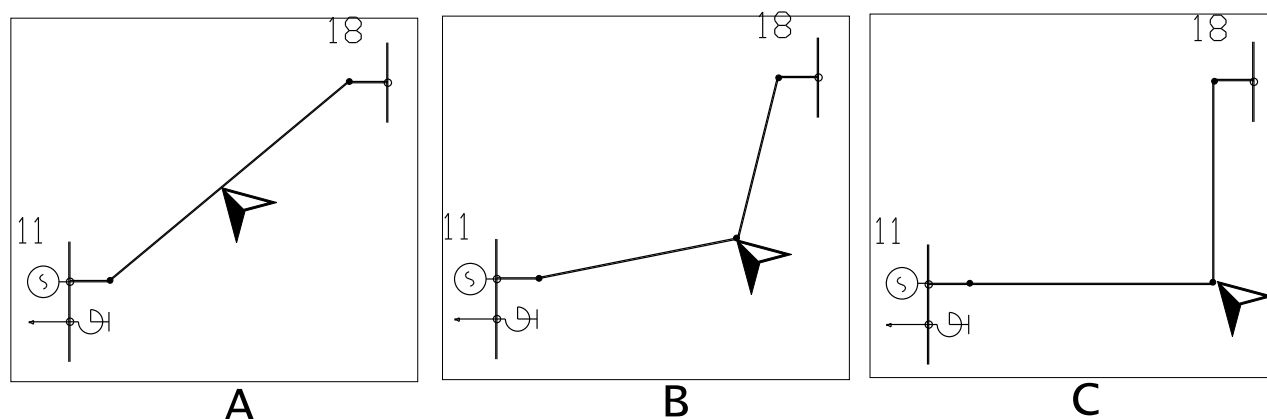


Рис. 3.11. Создание излома: (А) указать ветвь и нажать левую кнопку; (В) переместить мышь; (С) добиться желаемого положения излома и отпустить левую кнопку

- угол текста при ветви выбирается программой по прямой между начальным/конечным и следующим/предыдущим изломами.

Таким образом, начальный и конечный изломы не мешают при перемещении узлов, связывающих эту ветвь. Иная ситуация с двумя дополнительными изломами, которые можно создать с помощью команды **Излом**: координаты этих изломов привязаны к координатам узла начала и при перемещении одного из узлов, соединяющих ветвь, изменяются пропорционально изменению расстояния между узлами. Такой алгоритм не всегда дает хороший результат, поэтому рекомендуется *не перемещать узлы после создания дополнительных изломов*.

Для создания нового излома с помощью команды **Излом** необходимо переместить мышь на участок линии, где предполагается его создать, нажать *левую* кнопку мыши, переместить мышь (место излома будет перемещаться вместе с мышью), добиться нужного положения и отпустить левую кнопку мыши (см. рис. 3.11). Редактирование уже существующего излома выполняется аналогично, только необходимо указать мышью точку излома. Для удаления точки излома надо выбрать ее мышью и совместить с другой точкой излома. Следует иметь в виду, что точка излома может быть создана и на прямой линии, поэтому при выборе линии все точки излома подсвечиваются маленькими окружностями (например, на рис. 3.11–С видно 2 излома, но фактически их 3).

Вместе с изломами для улучшения внешнего вида узла используются команды — **Фигура** и **Линия**. Эти команды работают по похожему алгоритму: нужно переместить мышь на место присоединения к шине узла изображения нагрузки, генератора, реактора (команда **Фигура**, рис. 3.13) или ветви (команда **Линия**, рис. 3.12), нажать левую кнопку мыши,

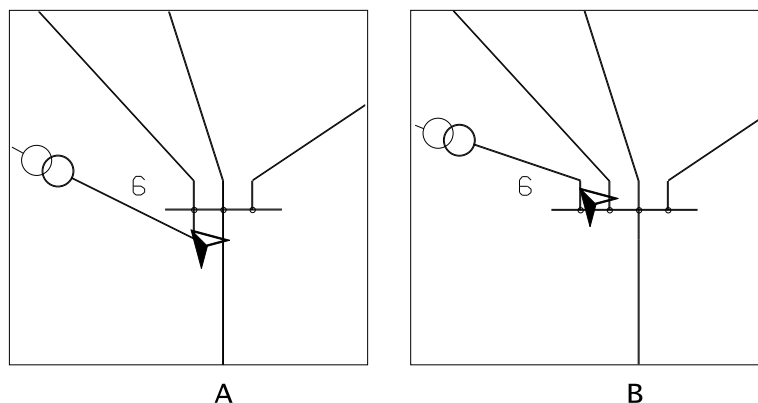


Рис. 3.12. Изменение места присоединения ветви: (А) указать место присоединения и нажать левую кнопку; (В) переместить мышь, добиться желаемого положения и отпустить левую кнопку

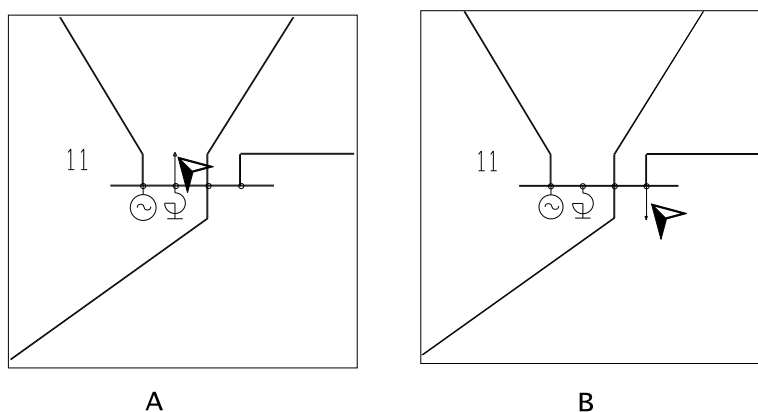


Рис. 3.13. Изменение места присоединения нагрузки: (А) указать место присоединения и нажать левую кнопку; (В) переместить мышь, добиться желаемого положения и отпустить левую кнопку

переместить мышь в нужное место вдоль шины узла и отпустить кнопку мыши.

3.5.3 Расстановка окон отображения текстовой информации

После того как схеме сети придан достаточно элегантный внешний вид, можно приступить к улучшению расположения текстовых окон, если конечно на схеме осталось место для изображения их. Конкретные значения (мощности, токи, сопротивления), отображаемые в текстовых окнах в момент ввода, представляют интерес только местом, ими занимаемым. Точнее, текстовому окну соответствует описывающий прямоугольник, показанный на рис. 3.14.

У каждого текстового окна существует, так называемая, «нулевая» точка, координаты которой не изменяются и при изменении размеров текстового окна¹, и при различных поворотах окна. На рис. 3.15 показаны возможные преобразования окна для трех различных «нулевых» точек.

В общем случае в текстовом окне в качестве «нулевой» может быть одна из 8 точек, показанных на рис. 3.16.

Назначение «нулевой» точки осуществляется **Rastr** автоматически в зависимости от типа и местоположения окна. С узлом связано 7 текстовых полей, пронумерованных в соот-

¹ например, при изменении режима или типа поля.

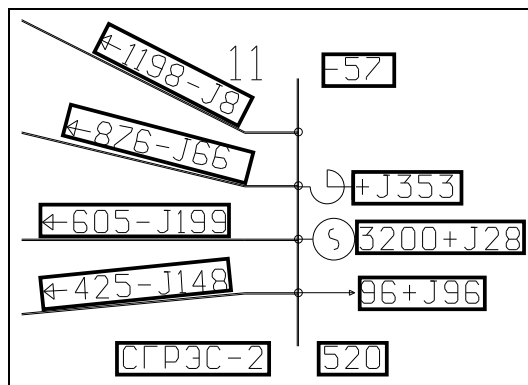


Рис. 3.14. Размещение текста

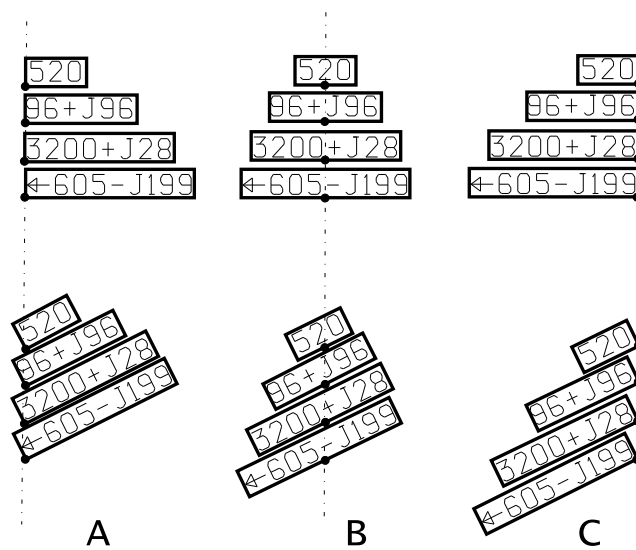


Рис. 3.15. «Нулевая» точка текста: (А) внизу слева; (В) внизу в середине; (С) внизу справа

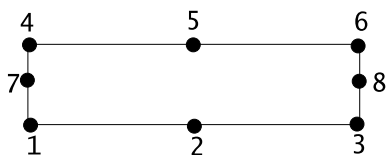


Рис. 3.16. Возможные положения «нулевой» точки

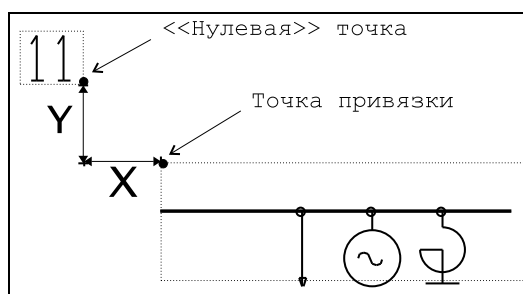


Рис. 3.17. Точка привязки, «нулевая» точка и координаты текста для окна при узле №11

Таблица 3.1. Свойства окон текста при узле по умолчанию

№	Тип по умолчанию	Привязка	№ «нулевой» точки	Распол.	Наличие
1	Номер	Левый верхний угол шины узла	3	Гориз.	Всегда
2	Название	Левый нижний угол шины узла	6	Гориз.	Всегда
3	Мод. V	Правый верхний угол шины узла	1	Гориз.	Всегда
4	Нагрузка	Изображение нагрузки	2,5,7,8	Гориз./Верт.	$P_{\text{наг}}, Q_{\text{наг}} \neq 0$
5	Генерация	Изображение генерации	2,5,7,8	Гориз./Верт.	$P_{\text{ген}}, Q_{\text{ген}} \neq 0$
6	S шунта	Изображение шунта	2,5,7,8	Гориз./Верт.	$P_{\text{шунт}}, Q_{\text{шунт}} \neq 0$
7	Угол	Правый нижний угол шины узла	4	Гориз.	Всегда

ветствие с рис. 3.22. Из них 4 поля с номерами 1, 2, 3, 7 отображаются всегда, поле 4 — при наличии в узле нагрузки, поле 5 — генерации и 6 — шунта на землю (реактора или конденсатора)¹. Относительные координаты каждого из окон отсчитываются от различных точек привязки внутри узла. Соотношение между точкой привязки, «нулевой» точкой и координатами текста показано на рис. 3.17.

Для окон 4–6 выбор ориентации текста и «нулевой» точки зависит от ориентации шины узла и расположения соответствующей фигуры относительно этой шины. Возможные варианты показаны на рис. 3.18. Следует отметить, что координаты текста во всех показанных вариантах не изменяются.

Для ветви предусмотрено 4 окна текста. Точкой привязки для первых двух является начальный излом ветви, остальных — конечный. Нулевые точки для окон показаны на рис. 3.19.

Все сказанное относится к автоматическому размещению окон текста. Часть характеристик можно менять при использовании команды **Текст**. В основном она используется для изменения координат окна текста. Для этой цели необходимо выбрать команду **Текст**, переместить указатель мыши на выбранное окно текста и нажать **левую** кнопку мыши, переместить указатель мыши вместе с текстом в нужное место экрана и отпустить левую кнопку.

Во время перемещения можно использовать клавишу **Пробел** для изменения ориентации текста в окне. Текст, связанный с узлом, можно ориентировать горизонтально и вертикально. Текст, связанный с ветвью, можно дополнительно ориентировать вдоль любого из

¹ такая схема взята из-за принятых по умолчанию типов полей, отображаемых в этих окнах.

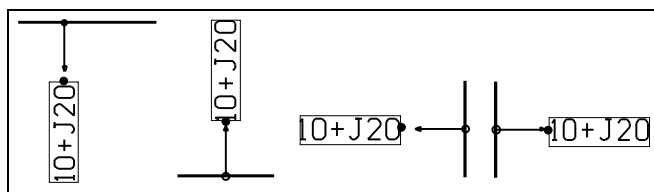


Рис. 3.18. Изменение «нулевой» точки окна №4 при различных положениях изображения нагрузки. Точка привязки здесь — в районе стрелки нагрузки

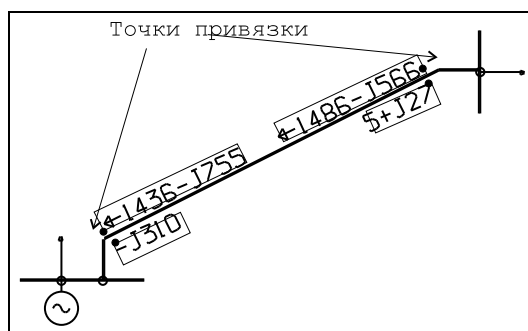


Рис. 3.19. Размещение окон текста при ветви. Точки привязки — начальный и конечный излом

изломов, последовательно нажимая клавишу **Пробел**.

Во время перемещения¹ также возможно менять размер текста. Для этого необходимо нажать **Ctrl** и перемещать мышь вправо для увеличения размера и влево — для уменьшения, после отпущения **Ctrl** программа перейдет в режим перемещения текста. Для изменения только ширины текста вместо клавиши **Ctrl** следует использовать **Alt**, а высоты — **Shift**, в этом случае мышь нужно перемещать вверх—вниз.

И, наконец, щелчок **правой** кнопкой мыши на выбранном текстовом окне приводит к его удалению. Окно не удаляется совсем, а переходит на фоновый план. Для его восстановления необходимо переключиться на фоновый план (см. п. 3.4 на стр. 66) — все удаленные окна станут видны, щелкнуть на восстанавливаемом окне **правой** кнопкой мыши — окно удалится с фонового плана и восстановится на основном.

Команда **Текст** работает с конкретным текстовым окном, для изменения свойств группы текстовых окон необходимо пользоваться командами **У текст** и **Л текст** в меню **Устан** (см. п. 3.8 на стр. 81).

3.5.4 Ввод дополнительных надписей

При необходимости можно ввести дополнительные надписи на схеме с помощью команды **Надпись**. Для этого после выбора данной команды следует установить курсор мыши в желаемое место на схеме, щелкнуть **левой** кнопкой и ввести необходимый текст (не более 80 символов). Набираемый текст будет отображаться на рабочем поле экрана (в текущем масштабе) и в строке ввода дополнительной информации. После окончания ввода текста следует нажать **Enter** или левую кнопку мыши.

Для изменения уже введенной надписи нужно щелкнуть на ней **левой** кнопкой мыши. В строке ввода дополнительной информации появится эта надпись, используя стандартные средства управления, ее можно исправить и нажать **Enter** для завершения работы. Для удаления надписи нужно стереть ее содержимое

¹то есть при нажатой левой кнопке

Надпись представляет собой обычное текстовое окно. И, подобно ранее описанным текстовым окнам, может быть передвинуто, развернуто или увеличено, уменьшено с помощью команды **Текст**.

Для изменения характеристик надписи до ее создания следует пользоваться установками команды **Общие** в меню **Устан**.

3.5.5 Групповой сдвиг

В группе команд ввода имеется, достаточно редко используемая, команда **ГрСдвиг**. Она предназначена для перемещения и перемасштабирования группы узлов. Это бывает необходимо при неудачном расположении нескольких смежных узлов или неправильно выбранном расстоянии между ними.

Перед выполнением команды необходимо отмасштабировать схему, чтобы на рабочем поле экрана отображались не только все переносимые узлы, но и место их нового размещения.

После выбора команды на экране появится рамка, перемещаемая вместе с мышью. Этой рамкой необходимо захватить выбранные для группового сдвига, узлы. Для изменения размера рамки необходимо перемещать мышь вертикально при нажатой левой кнопке. Для изменения ширины рамки необходимо перемещать мышь при нажатой клавише **Alt**, а высоты — **Shift**.

После щелчка **правой** кнопкой попавшие внутрь рамки узлы будут выделены цветом и готовы для перемещения.

Рамка остается на экране и ее необходимо передвинуть на новое место, предназначенное для узлов. Рамку по-прежнему можно изменять в размерах, но теперь это приведет к тому, что расстояние между выбранными узлами изменится пропорционально соотношению ширины и высоты старой и новой рамки.

Повторный щелчок **правой** кнопки мыши завершает выполнение команды. Выбранные узлы будут прорисованы на новом месте.

Рекомендуется сохранить схему *перед* выполнением этой команды.

3.6 Работа с файлами

В графической схеме хранится информация о координатах узлов и ветвей, подробно описанная в п. 3.2, также в ней сохраняется информация о способах выделения напряжений и районов, общая информация и запомненные по командам **1**, **2** . . . **9** (п. 3.4) окна.

Принято использовать расширение файла ***.схе** для именования графической схемы.

Все команды работы с файлами графики собраны в меню **Файл**.

Все изменения и дополнения в графической схеме производятся во временной памяти и не сохраняются автоматически. Команда **Сохранить** используется для сохранения схемы на диск в текущий каталог. После выбора команды в строке ввода появится фраза:

Имя выходного файла: `noname.схе`

В этой строке необходимо ввести нужное имя, не забыв про расширение, и нажать **Enter**. Во многих случаях программа запоминает имя последнего загруженного файла и предлагает сохранить под ним же. Если нет необходимости в изменении названия, достаточно нажать **Enter**.

Команда **Загрузить** используется для загрузки файла графики в формате **Rastr** версии 3 (расширение **.схе**) и версии 1–2 (расширение файла **.sre**). В поле ввода необходимо набрать

имя файла или *. В последнем случае на экран будет выдана табличка с именами графических файлов в текущей директории. Надо выбрать из них необходимый — его имя будет помещено в строку ввода. Если графических файлов в текущей директории много, то табличку можно пролистать клавишами **PgUp**, **PgDn**. Команда **П.Нум** — перенумеровывает узлы и ветви в графической схеме, для перенумерации используется файл, аналогичный используемому командой **Перенумер** (см. п. 2.8 на стр. 59).

Команда **П.Нум** осуществляет перенумерацию в указанном *дисковом* файле, не производя его загрузки во временную память. Содержимое временной памяти при этом теряется.

После выбора команды **П.Нум** производится запрос файла графики, аналогичный команде **Загр**, а затем запрос имени файла—списка узлов перенумерации.

После успешного выполнения команды указанный файл графики будет перенумерован, но загрузка его не произведется, пока не будет выполнена команда **Загр**.

Команда **Добав** предназначена для объединения двух графических файлов. Для ее успешного выполнения необходимо, чтобы текущая *расчетная* схема содержала узлы обеих графических схем. Объединяются текущая графическая схема и дополнительная, имя которой запрашивается после выбора команды **Добав**. Перед объединением дополнительная схема подвергается стандартной процедуре согласования расчетной и графической схем. Из нее берется информация только о тех узлах и линиях, которые присутствуют в расчетной схеме и отсутствуют в текущей графической.

Затем эти узлы дополнительной схемы прорисовываются на экране по своим координатам. На экране появляется рамка, управляемая мышью, в которую вписаны дополнительные узлы¹. Рамку можно переместить на новое место, изменить ее размер, узлы переместятся вместе с ней, т.е. аналогично команде **Гр сдвиг**.

Перед выполнением команды целесообразно разместить *схему целиком* на экране.

Последняя команда этой группы — ***.DXF** предназначена для экспорта графики в формат DXF программы AutoCad². После ее выбора появится запрос имени DXF—файла, в который будет записана вся графическая схема.

3.7 Расчеты

Подготовленную графическую схему можно использовать для быстрой коррекции исходных данных расчетной схемы. Изменения вносятся в текущую расчетную схему, и графическое представление схемы играет роль удобного интерфейса для изменения данных.

Все команды для изменения расчетных величин сосредоточены в меню **Счет**. Три команды этого меню — **Вкл/Откл**, **Парам**, **Отметить** — предназначены для коррекции имеющихся исходных данных. Одна команда — **Добавить** — используется для добавления узлов и ветвей в расчетную и графическую схемы одновременно. И три оставшиеся команды — **Расчет**, **Эквив**, **Граница** — дублируют аналогичные в соответствующих меню. Команда **Вкл/Откл** предназначена для изменения состояния (включено, отключено) узла или ветви сети. Для выполнения необходимо ее выбрать, а затем щелкнуть левой кнопкой мыши на узле или линии. Изменение состояния отображается изменением типа линий со сплошной (включено) на пунктирную (отключено).

Команда **Парам** используется для изменения расчетных параметров узла или ветви. После выбора этой команды необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши на узле или ветви. На

¹ эти узлы выделяются цветом.

² торговая марка фирмы AutoDesk.



Рис. 3.20. Параметры узлов



Рис. 3.21. Параметры ветвей

экране появится меню, показанное соответственно на рис. 3.20 и рис. 3.21.

Параметры, отображаемые в этих меню, делятся на две группы — корректируемые и информационные. К корректируемым относится большинство исходных данных, за исключением номеров узлов. Информационные параметры предназначены для отображения полной информации о расчетном состоянии узла или ветви.¹ Для изменения корректируемого параметра необходимо переместить на него поле ввода с помощью щелчка мыши или клавиш управления курсором (\leftarrow , \rightarrow , \downarrow , \uparrow , **Tab**, **Shift+Tab**) и внести нужные изменения.

Коррекция расчетных параметров в графическом режиме, в основном, подобна тому, как это делается в текстовом режиме, но имеет ограничение, связанное с невозможностью изменения номеров узлов. Следует также отметить, что при изменении параметра $N_{\text{анц}}$ автоматически изменяется коэффициент трансформации.

Команда **Отметить** работает подобно команде **Вкл/Откл**, но позволяет отметить узлы или ветви схемы.

Одним из недостатков программы является то, что после проведенных коррекций она начинает отображать неверные расчетные величины. Например, после включения ветви на ней автоматически появляются окна с расчетной информацией (например, потоки мощности), но режим не сбалансирован и появившиеся значения не соответствуют действительности. Поэтому, после проведения изменений необходимо сбалансировать режим с помощью команды **Расчет**.

Команды **Расчет** и **Эквив** используют *текущие* установки параметров, сделанные в соответствующих меню.

Команда **Добавить** предназначена для одновременного добавления узлов и ветвей в расчетную и графическую схему. После выбора этой команды необходимо:

¹ корректируемые и информационные параметры отличаются цветом, на информационные нельзя поместить поле ввода.

Таблица 3.2. Параметры узла

Имя	Название	Группа
Номер	Номер узла	Инф.
$U_{\text{ном}}$	Номинальное напряжение	Кор.
Район	Номер района	Кор.
СХН	Номер стат. х-ки	Кор.
Назв	Название узла	Кор.
$P_{\text{наг}}$	Нагрузка активная	Кор.
$Q_{\text{наг}}$	Нагрузка реактивная	Кор.
$P_{\text{ген}}$	Генерация активная	Кор.
$Q_{\text{ген}}$	Генерация реактивная	Кор.
Q_{min}	Диапазоны изменения	Кор.
Q_{max}	реактивной мощности	Кор.
$G_{\text{шунт}}$	Проводимость шунта	Кор.
$B_{\text{шунт}}$	на землю	Кор.
V	Расчетное напряжение	Кор.
Delta	Расчетный угол	Кор.
X_g	Не используется	Кор.
$K_{\text{ст}}$	Статизм	Кор.
U_{min}	Диапазоны изменения	Кор.
U_{max}	напряжения	Кор.

Таблица 3.3. Параметры ветви

Имя	Название	Группа
$N_{\text{нач}}$	Номер узла начала	Инф.
$N_{\text{кон}}$	Номер узла конца	Инф.
$N_{\text{п}}$	Номер параллельной	Кор.
$R_{\text{лин}}$	Активное сопротивление	Кор.
$X_{\text{лин}}$	Реактивное сопротивление	Кор.
$G_{\text{лин}}$	Активная проводимость на землю	Кор.
$B_{\text{лин}}$	Емкостная проводимость на землю	Кор.
$K_{\text{тв}}$	Вещественная и мнимая составляющие	Кор.
$K_{\text{тм}}$	коэфф. трансформации	Кор.
$I_{\text{доп}}$	Допустимый ток	Кор.
$K_{r,\text{min}}$	Диапазоны изменения	Кор.
$K_{r,\text{max}}$	коэффициента трансф.	Кор.
$N_{\text{анц}}$	Номер анцапфы	Кор.
$P_{\text{нач}}$	Активная мощность, входящая в узел начала	Инф.
$Q_{\text{нач}}$	Реактивная мощность, входящая в узел начала	Инф.
$P_{\text{кон}}$	Активная мощность, выходящая из узла конца	Инф.
$Q_{\text{кон}}$	Реактивная мощность, выходящая из узла конца	Инф.
DP	Потери активной мощности	Инф.
DQ	Потери реактивной мощности	Инф.
$Q_{\text{ген}}$	Емкостная генерация линии	Инф.
$I_{\text{нач}}$	Ток начала ветви	Инф.
$I_{\text{кон}}$	Ток конца ветви	Инф.

- для добавления узла:
 - щелкнуть левой кнопкой мыши на «чистом» месте экрана;
 - в появившейся таблице рис. 3.20 заполнить необходимые параметры (обязательно заполнение полей **Номер** и **Уном**) и выбрать **Закончить**.
На экране появится узел и его параметры будут добавлены в расчетную схему;
- для добавления ветви:
 - щелкнуть мышью на узле начала линии, после этого в информационной строке экрана появится сообщение:

Укажите мышью узел конца линии или новый узел
Узел начала 1429

В нижней строке сообщения показан номер узла, выбранного началом ветви;
 - щелкнуть мышью на узле конца ветви, на экране появится таблица рис. 3.21, поля **Ннач** и **Нкон** заполнены в соответствии с номерами выбранных узлов;
 - при выборе узла конца линии можно щелкнуть мышью на «чистом» месте экрана — в этом случае необходимо сначала ввести узел (рис. 3.20), а затем ветвь (рис. 3.21).

При добавлении узла осуществляется контроль его номера, если узел с таким номером уже существует, то программа просит его сменить.

Все операции по изменению расчетной схемы проводят изменение *текущей* расчетной схемы.

3.8 Настройка графической схемы

При работе с графикой **Rastr** возможно достаточно гибкое изменение различных параметров, влияющих на детали отображения графической схемы.

Все функции настройки внешнего вида графики собраны в меню **Устан**. Команды этого меню вызывают соответствующие таблицы с различными настроенными параметрами.

Две команды предназначены для изменения свойств текста при узле **У Текст** и ветви **Л Текст**. Еще две команды — **Район** и **Напр** задают различные способы выделения районов и номинальных напряжений. Команда **Общие** — различные параметры, общие для всей схемы. И, наконец, две команды **Всеякие** и **Палитра** связаны с настройкам экрана, а не графической схемы.

При выборе команды **У Текст** или **Л Текст** на экране появляются таблицы, показанные на рис. 3.22 и рис. 3.23. При узле существует 7 окон текста, при ветви — 4¹. Некоторые свойства текстовых окон описаны в п. 3.5.3.

В таблицах можно изменить следующие параметры окон текста:

Тип — задается тип физической величины, отображаемый в окнах текста. В табл. 3.4 и табл. 3.5 приведена расшифровка сокращений, используемых в меню, всплывающих при щелчке мыши на этом поле. При смене типа текста часто необходимо изменить точность;

Цвет — цвет текста в окне.

Разм X, Разм Y — размер текста в относительных единицах;

Точн — точность отображения (число цифр после десятичной точки);

¹ хотя в таблице показано 6, реально используются первые 4.

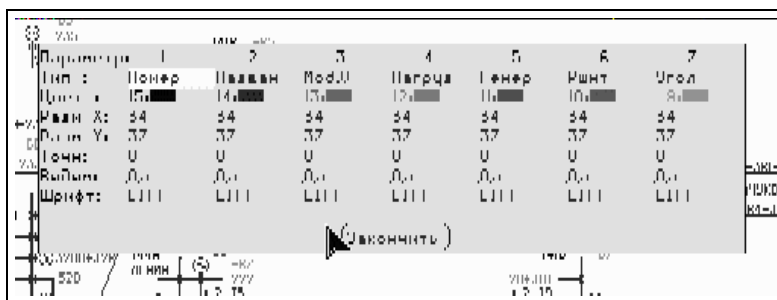


Рис. 3.22. Настройка параметров текста узла

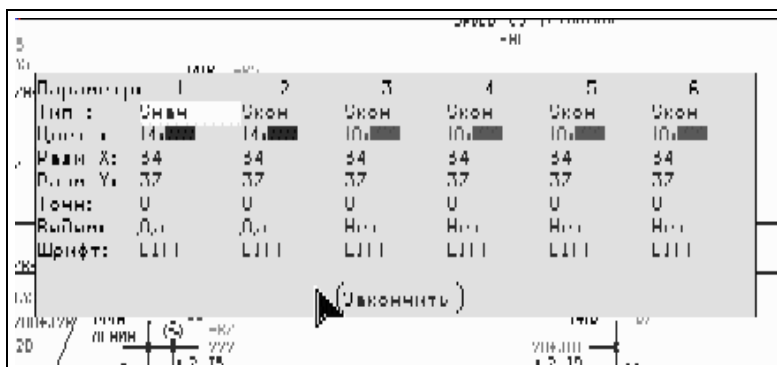


Рис. 3.23. Настройка параметров текста ветви

Видим — позволяет управлять видимостью на экране данного окна;

Шрифт — задает вид шрифта для текста, по умолчанию используется шрифт LIT, при смене шрифта необходимо изменить размер текста.

Перетоки мощности при отображении в окне снабжаются стрелкой, указывающей направление потока *активной* мощности.

При выборе физической величины, отображаемой в окне, следует иметь в виду, что число ноль не отображается, а получить его можно в результате округления. Например, если при отображении коэффициента трансформации оставить точность равной нулю, ничего показывать не будет, так как коэффициент трансформации меньше единицы.

Команда **Напр** задает способы выделения различных номинальных напряжений. После ее выбора на экране появляется таблица, показанная на рис. 3.24. В ней содержатся все номинальные напряжения, присутствующие в данной схеме. Для изменения доступны следующие параметры:

Толщина — толщина линии в диапазоне от 1 до 7;

Цвет — цвет узла или линии;

Видимость — позволяет изменять видимость узлов и ветвей данного номинального напряжения.

Команда **Район** задает способы выделения районов сети. После ее выбора на экране появляется таблица, показанная на рис. 3.25. В ней содержатся все районы, присутствующие в данной схеме. Для изменения доступны следующие параметры:

Цвет — цвет узла или линии;

Видимость — позволяет изменять видимость узлов и ветвей данного района.

Команда **Общие** задает общие настройки графической схемы. После выбора команды на экране появляется таблица, показанная на рис. 3.26. В можно изменить следующие па-

Таблица 3.4. Возможные типы текста узла

Имя	Описание
Номер	Номер узла
Назван	Название узла
Мод.V	Расчетное напряжение
Нагруз	Расчетная нагрузка ¹ в форме $P + jQ$
Генер	Генерация ² в форме $P + jQ$
Ршнт	Мощность реактора или БСК в форме $P + jQ$
Угол	Угол напряжения
Уном	Номинальное напряжение
Откл V	Отклонение расчетного напряжения от номинального в %
NSX	Номер статической характеристики
пред:Q	Диапазоны изменения реактивной генерации в форме $Q_{min} : Q_{max}$
Кст	Коэфф. статизма
пред:V	Диапазоны изменения напряжения в форме $V_{min} : V_{max}$

Таблица 3.5. Возможные типы текста при ветви

Имя	Описание
Снач	Переток мощности у начала ветви в форме $\leftarrow P + jQ$
Скон	Переток мощности у конца ветви в форме $\leftarrow P + jQ$
Рнач	Переток активной мощности у начала ветви в форме $\leftarrow P$
Ркон	Переток активной мощности у конца ветви в форме $\leftarrow P$
Инач	Ток у начала ветви
Икон	Ток у конца ветви
Zлин	Сопротивление ветви $R + jX$
Yлин	Проводимость ветви на землю $G + jB$
dS	Потери мощности, продольные $\Delta P + j\Delta Q$
Ктр	Коэффициент трансформации
Yл/Ктр	Емкостная проводимость, либо коэффициент трансформации
dQш	Емкостная генерация шунта линии
dQш-н	Емкостная генерация шунта начала линии
dQш-к	Емкостная генерация шунта конца линии
Идоп	Допустимый ток
I/Идоп	Токовая загрузка, %
пред:Ктр	Пределы изменения коэф. трансформации, $K_{min} : K_{max}$
Нанц	Номер анцапфы



Рис. 3.24. Настройка параметров выделения номинальных напряжений



Рис. 3.25. Настройка параметров выделения районов

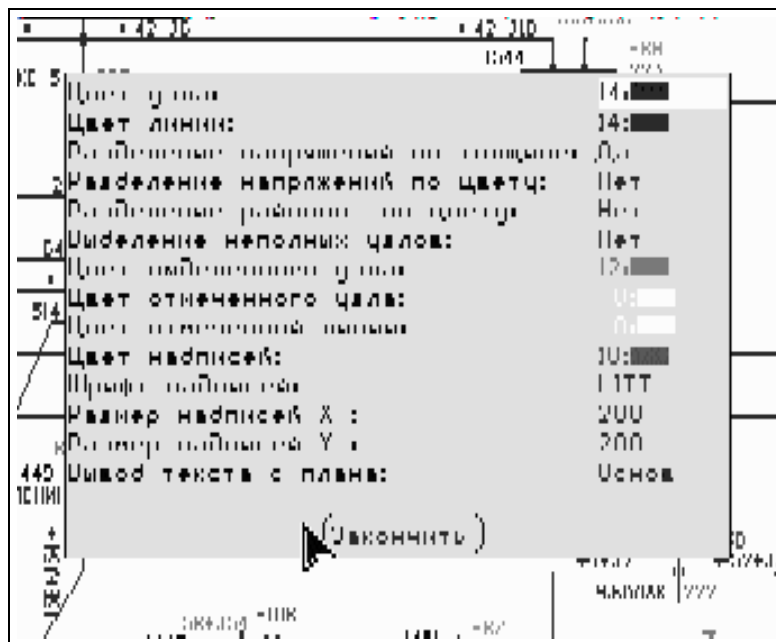


Рис. 3.26. Общие параметры графической схемы

раметры:

Цвет узла, Цвет линии — задает цвет узла или линии по умолчанию;

Разделение напряжений по толщине — выделять (**Да**) или не выделять (**Нет**) различные номинальные напряжения толщиной изображений узла и ветви (сами значения задаются командой **Напр**);

Разделение напряжений по цвету — выделять (**Да**) или не выделять (**Нет**) различные номинальные напряжения цветом изображений узла и ветви (сами значения задаются командой **Напр**);

Разделение районов по цвету — выделять (**Да**) или не выделять (**Нет**) различные районы цветом изображений узла и ветви (сами значения задаются в таблице, вызываемой командой **Районы**);

Выделение неполных узлов — узлы у которых остались невведенные смежные узлы, называются неполными и могут выделяться цветом;

Цвет выделенного узла — цвет неполных узлов (см. выше), а также используется при выполнении команд **ГрСдвиг** и **Добав**;

Цвет отмеченного узла и

Цвет отмеченной линии — цвет узла и линии, отмеченной командой **Отметить** из меню **Счет** или с помощью команды **F6** при редактировании исходных данных;

Цвет надписей ,

Шрифт надписей ,

Размер надписей X ,

Размер надписей Y — параметры для надписей по умолчанию;

Вывод текста с плана — дублирует пункт (Ф/О) левого меню (см. п. 3.4 на стр. 66).

Нетрудно заметить, что существует несколько различных таблиц, задающих цвет узла и ветви в зависимости от различных и, часто, противоречивых условий. Окончательный цвет узла и линии на экране определяется по следующему алгоритму:

- установить цвет по таблице **Общие** п.1-2;
- если задано разделение напряжений по цвету (п.4 таблицы **Общие**), установить цвет в соответствии с таблицей **Напр**;
- если задано разделение районов по цвету (п.5 таблицы **Общие**), установить цвет в соответствии с таблицей **Районы**;
- если узел или линия отмечен, установить цвет в соответствии с п. 8–9 таблицы **Общие**;
- если узел требует выделения, установить цвет выделенного узла (задается в строке 7 таблицы **Общие**);
- отобразить узел или ветвь на экране, используя полученный цвет;



Рис. 3.27. Настройка экрана

Команда **Всякие** позволяет изменить настройки экрана, а не графической схемы. Поэтому проведенные изменения сохраняются в отдельном файле — `palette.rgb` в текущей директории, при входе в графический режим это файл считывается. Для восстановления значений настроек экрана по умолчанию достаточно удалить этот файл. Вид таблицы, вызываемой по команде **Всякие**, изображен на рис. 3.27. Некоторых комментариев требует параметр **Мин. размер отображаемого текста**, который задает минимальную высоту текста в экранных единицах, меньше, которой отображения текстового окна не происходит. Таким образом, при уменьшении масштаба изображения схемы текстовые поля перестают выводиться на экран для уменьшения времени прорисовки схемы.

3.9 Печать

Печать из графики осуществляется на предварительно установленное с помощью меню **Графика** — **Принтер** устройство.

В программе для печати предусмотрено две команды — **Рамка** и **Кройка**. Первая команда печатает выбранный участок схемы на *один* лист, вторая — раскраивает выбранный участок схемы на несколько листов. Раскрой на листы осуществляется, исходя из размера отображаемого текста (в единицах принтера), поэтому, чем больший участок схемы захвачен для печати и чем хуже качество печати принтера, тем на большее число листов будет раскоена схема.

Алгоритм выполнения этих команд различен в зависимости от типа подключенного принтера. Тип принтера может быть листовый или рулонный.

3.9.1 Печать на листовой принтер

Данный тип принтера задается установкой параметра **Непрерывный лист** — **Нет** в меню **Основные параметры**. При печати командой **Рамка** на экране появляется рамка, управляемая мышью (управление рамкой аналогично рассмотренной ранее команде \updownarrow на стр. 66). Размер рамки всегда *пропорционален* размеру листа принтера, заданному параметрами **Размер листа по горизонтали** и **Размер листа по вертикали**.

В ходе перемещения рамки возможно разворачивать ее на 90 градусов с помощью нажатия клавиши **Пробел**.

После завершения команды содержимое рамки масштабируется на весь лист принтера, заданный параметрами **Размер листа по ...**, которые могут определять *меньший*, чем в реальности, размер листа принтера.

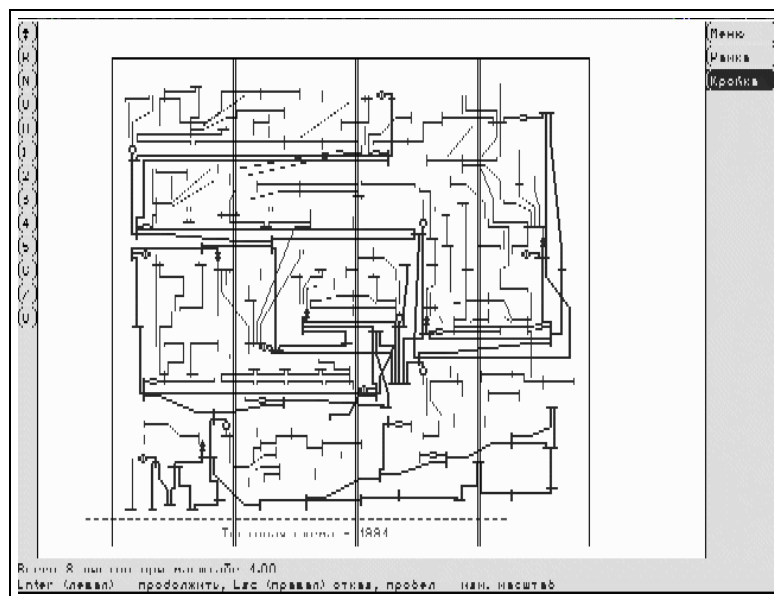


Рис. 3.28. Раскрой листа при печати на листовой принтер

Выполнение команды **Кройка** также начинается с появления рамки, управляемой мышью, но в этом случае соотношение сторон рамки не является фиксированным. Возможно изменение отдельно ширины рамки (перемещение мыши влево—вправо при нажатой клавише **Alt**) и ее высоты (перемещение мыши вверх—вниз при нажатой клавише **Shift**). После щелчка **правой** кнопки мыши программа автоматически производит раскрой схемы на необходимое число листов в зависимости от заданной высоты текста (в единицах принтера), пример приведен на рис. 3.28. В строке дополнительной информации появится текст:

Всего 8 листов при масштабе 4.00

Enter (левая) продолжить, Esc (правая) отказ, пробел - изм. масштаб

Клавиша **Enter** запускает процесс печати, **Esc**— прерывает выполнение команды. Для изменения проведенного программой раскроя необходимо нажать **Пробел**, в информационной строке экрана появится надпись:

Минимальный масштаб: 4

При уменьшении масштаба раскрой будет производиться на меньшее число листов, а при увеличении— на большее.

При печати в файл командой **Кройка** будет выведено несколько листов, разделенных командой «конец страницы».

3.9.2 Печать на рулонный принтер

Данный тип принтера задается установкой параметра **Непрерывный лист — Да** в меню **Основные параметры**. При печати командой **Рамка** на экране появляется рамка, управляемая мышью, но в отличии от листового принтера, она свободно меняется по ширине (клавиша **Alt**) и высоте (клавиша **Shift**). Для рулонного принтера размер бумаги задается только параметром **Размер листа по горизонтали**, который не должен превышать длины каретки принтера. Число, заданное в графе **Размер листа по вертикали**, значения не имеет. После щелчка **правой** кнопкой мыши, выбранный рамкой кусок схемы будет напечатан. Разворот листа при печати осуществляется автоматически таким образом, чтобы узкая сторона рамки совпала с шириной принтера, в этом случае масштаб при печати будет больше.

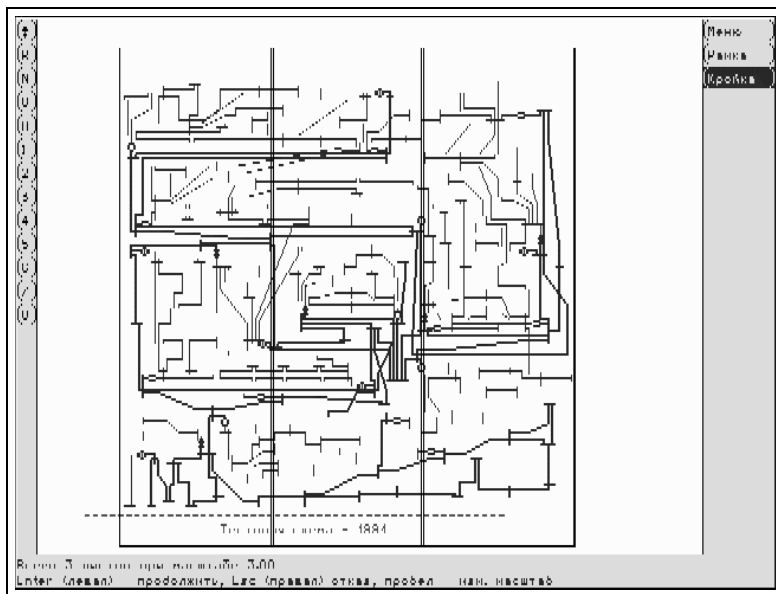


Рис. 3.29. Раскрой листа при печати на рулонный принтер

При использовании команды **Кройка**, в отличие от листового принтера, будет произведен раскрой на *полосы*, а не на листы. Пример раскроя на полосы показан на рис. 3.29. Ориентация этих полос выбирается программой автоматически.

3.10 Настройка экрана и принтера

Настроечные меню экрана и принтера сосредоточены в главном меню **Графика** — **Экран** и **Принтер**.

3.10.1 Экран

В настоящее время в графике поддерживаются следующие видеорежимы с числом цветов 16:

1. VGA 640x480;
2. SVGA 800x600;
3. SVGA 1024x768 (512 К видеопамати требуется);
4. SVGA 1280x1024 (512 К видеопамати требуется).

Цифры означают горизонтальное и вертикальное разрешение экрана, естественно, чем оно выше, тем более отчетливо видно изображение на экране. При запуске программы Rastv в левом окне высвечиваются различные характеристики компьютера, среди них должна быть одна из строк вида: "VGA 640x480"; "VESA 800x600"; "VESA 1024x768"; "VESA 1280x1024", которая показывает *максимальное* разрешение, поддерживаемое видеоадаптером¹. В меню **Экран** можно установить желаемое разрешение, рекомендуется проверить все доступные режимы и выбрать из них наиболее подходящий.

¹ видеоадаптером, а не дисплеем! Узнать, что умеет дисплей программа не может.

Из опыта работы можно дать следующие рекомендации: устанавливать максимальное разрешение, при котором дисплей работает с частотой кадров не менее 60 Гц в не—черезстрочном¹ режиме. Подавляющее большинство 14—дюймовых мониторов не поддерживает режим 1280x1024 — это привилегия более качественных 15 и 17—дюймовых дисплеев.

Если при запуске графики изображение на экране отсутствует (мерцает, занимает только часть экрана), либо программа выдает сообщение:

Невозможно инициализировать графику = Программа завершена,
необходимо уменьшить разрешение².

3.10.2 Принтер

Большинство настроечных параметров принтера собрано в меню **Основные параметры**:

Тип принтера: матричный 9-игл — к этому типу относятся наиболее распространенные принтеры «EPSON» (и совместимые с ним). Большинство хороших принтеров понимает либо стандарт «EPSON», либо «IBM proprinter», как бы они ни назывались («Star», «CPF-136» и т.д.). Конечно, лучше «Epson FX-1050» ничего в этом классе не бывает³. К сожалению, если имеется принтер «Microline» — напечатать на нем в графике не получится.

лазерный - HP LaserJet II и лучше (это стандарт, принтеры других фирм его придерживаются). Проблемы могут быть только с объемом его памяти (при объеме 512К и высшем качестве картинка на весь лист не получится) - в таких ситуациях можно либо ухудшить качество печати, либо увеличить объем памяти принтера, желательно до 1 Мбт;

HP DeskJet или HP PaintJet — струйный принтер, работающий по графическому стандарту фирмы «Hewlett Packard», язык называется PCL5. Он достаточно близок к языку лазерного принтера. Есть некоторая разница в реализации этого языка на различных принтерах, поэтому предусмотрено два варианта. При наличии затруднений рекомендуется попробовать оба;

Stylus color — струйный принтер, работающий по графическому стандарту фирмы «Epson», язык называется ESC-P2.

Если у Вас есть устройство, не попадающее в этот перечень, обращайтесь к разработчикам **Rastr**.

Качество печати — для большинства устройств, исключая плоттер, имеется несколько вариантов, рекомендуется **Среднее** качество для всех принтеров, за исключением лазерного (для него желательно высшее). При наличии времени или сетевого принтера, можно попробовать **Высшее** — скорость печати в этом режиме в 3 раза меньше, чем в среднем.

Порт вывода /печать в файл/сеть: — для принтера это LPT1 (изредка LPT2), для плоттера COM1 или COM2. При печати в файл необходимо задать имя этого файла в строке **Имя файла для вывода/имя очереди**, вся печать в графике будет направлена в этот файл, затем его можно распечатать из ДОСа, например:

```
copy файл lpt1/b
```

Размер такого файла может достигать нескольких мегабайт при печати больших схем.

¹ non-interlaced

² для выхода из графики, если изображение отсутствует, можно воспользоваться клавишей с *русской* буквой **К**.

³ исключая Epson DFX-800.

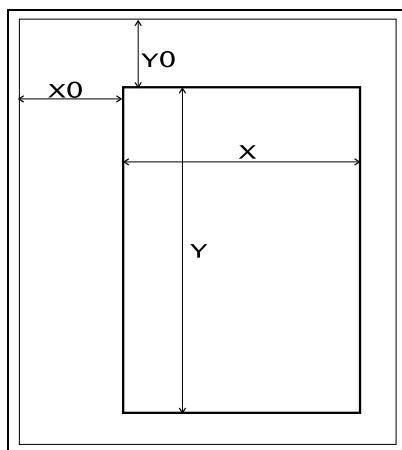


Рис. 3.30. Размер листа плоттера

При задании вывода в сеть (ЛВС Netware 3.11 и выше) в строке **Имя файла для вывода/имя очереди** необходимо указать имя сервера и имя очереди на печать (например, disp/dfx, где disp — имя сервера; dfx — имя очереди).

Размер листа по горизонтали (мм) — этот размер *не должен превышать ширину каретки принтера* (ну и, естественно, ширину бумаги), по вертикали — для матричных принтеров ограничивается размером бумаги, для лазерного и струйных не выходит за пределы листа.

Непрерывный лист: Да — для принтеров с рулонной бумагой, в этом случае размер листа по вертикали не имеет значения и размер по вертикали выбирается непосредственно при печати.

3.10.3 Плоттер

Программа поддерживает плоттер в системе команд устройства HP 7475A с поддержкой рисования окружностей (при поддержке плоттером различных наборов команд, его необходимо переключить в режим HP 7475A). Для подключения плоттера необходимо установить **Тип принтера: Плоттер** либо **NovaJet III**, первый соответствует стандартному плоттеру в системе команд HPGL, второй — новым плоттерам в системе команд HPGL/2¹. Обычно плоттер подсоединяется к ПЭВМ через последовательный порт COM1/COM2.

1. Размер листа задается двумя парами чисел: первая пара задает отступ начальной точки (X0, Y0 на рис. 3.30 — параметры **смещение начала листа**), вторая — размер рабочего листа (X, Y на рис. 3.30 — параметры **Размер листа по . . .**). В сумме эти числа не должны превышать физических ограничений на габариты листа. При попытке установить габариты листа, превышающие максимальный формат, плоттер фиксирует ошибку.

Физические ограничения на формат листа, а также рекомендуемый отступ приведены в инструкции на плоттер, их также можно узнать с помощью дополнительной программы tplot.exe, производящей опрос плоттера.

2. Параметры коммуникационного канала (меню **Параметры СОМ-порта**). Параметры СОМ-порта при инициализации драйвера должны в точности соответствовать установке DIP-переключателей на плоттере; обычно на плоттере установлена скорость обмена 9600, число стоп-бит равное 2, 8 бит данных, при отсутствии контроля по четности (или 7 бит данных при его наличии). При возникновении проблем при печати в порт,

¹экспериментальная версия.

рекомендуется осуществить печать в файл, а затем вывести на плоттер средствами операционной системы.

3. **Толщина пера плоттера**¹, задается в сотых миллиметра. Слишком малая величина параметра приведет к неразличимости разных толщин линий, слишком большая — к тому, что толстые линии не будут сплошными. Минимальная величина — 0.02 мм.
4. **Система координат плоттера.** Бывает **левая** для плоттеров формата А3 и **центральная** для плоттеров большего формата. Определить, какая система координат на плоттере, можно, отпечатав на нем следующий файл:

```
IN;  
PU -100,0;  
PD 100,0;  
PU 0,-100;  
PD 0,100;
```

Если крест будет нарисован в центре листа — система координат центральная и, если слева, то левая.

5. Протокол обмена. Программа использует аппаратный протокол обмена, в котором наполнение буфера определяется по сигналу DSR (Data Set Ready - готовность набора данных) в регистре MSR (Modem Status Register - регистр статуса модема).
6. Для определения характеристик используемого плоттера прилагается программа `tplot.exe`, осуществляющая связь с плоттером и вычисление его основных характеристик: размер листа, отступ, поддержку рисования окружностей. Для правильной работы драйвера необходима поддержка плоттером рисования окружностей.
7. Соответствие между цветами схемы и номерами перьев плоттера задается с помощью меню "Палитра".

¹обычно написана на пере

Предметный указатель

- Rastr
 - запуск, 8
 - ключи при запуске, 9
- выборка, 16
- данные
 - Импорт/Экспорт, 59
 - отметить район, 59
 - сортировка, 59
- команды
 - главного меню, 10
 - просмотра результатов, 22
 - экранного редактора, 14
- контроль данных, 18
- операция, 17
- оптимизация
 - анцапфы, 49
 - исходные данные, 46
 - основной алгоритм, 43
 - параметры, 46
- параметры
 - ветви, 13
 - ЛЭП, 8
 - полиномов СХН, 29
 - стандартные СХН, 30
 - района, 35
 - трансформатора, 8
 - узла, 12
- печать, 24
- потери
 - межсистемные, 36
- расчет
 - влияние, 53
- расчет режима
 - аварийное завершение, 23
 - параметры, 34
 - стартовый алгоритм, 23
 - таблица сходимости, 19
 - типы узлов, 25
 - уравнения, 25
 - учет ограничений по Q, 26
 - учет СХН, 29
 - учет частоты, 30
- расчеты в графике, 78
- результаты
 - анцапфы, 51
 - ветви, 57
 - небалансы, 58
 - общая информация, 33
 - окна, 56
 - оптимизации по тр-рам, 48
 - оптимизации по узлам, 48
 - районы, 35
 - токовая загрузка, 58
 - узлы, 20
 - частотные характеристики, 33
- схема замещения ЛЭП и трансформатора, 20
- схемы
 - деление, 60
 - перенумерация, 61
 - слияние, 60
 - сравнение, 60
- утяжеление, 39
 - заданный запас, 41
 - параметры, 42
 - траектория, 39
 - экстремум по сечению, 39
- файл
 - базы анцапф, 49
 - графики
 - загрузить, 77
 - объединить, 78
 - перенумеровать, 78
 - сохранить, 77
 - храняемая информация, 64
 - конфигурации, 9
 - основные типы, 9
 - схемы, 11

- траектории утяжеления, 39
- эквивалентирование, 36
 - параметры, 38
 - способы, 37