

# РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНЫХ РЕЖИМОВ СЕТИ

## 4.1. Задачи и исходные условия расчетов

Задачей данного раздела курсового проекта является *уточненное определение потоков мощности* по линиям выбранного варианта электрической сети и напряжений на шинах ВН и НН подстанций в основных нормальных и послеаварийных режимах работы, *с учетом потерь мощности и падений напряжения* в элементах сети. Исходными данными для выполнения расчетов являются заданные рабочие напряжения на шинах источника питания, расчетные (узловые) мощности нагрузок ПС за вычетом мощности компенсирующих устройств (т.е. мощности нагрузок, которые будут браться от системы), параметры схем замещения элементов электрической сети. Для упрощения расчетов *перед выполнением расчета режима* сети следует для каждой подстанции (узла) *определить расчетную нагрузку, приведенную к стороне ВН*. Расчетная нагрузка включает в себя кроме мощности нагрузок потребителей, берущейся от системы, потери мощности в трансформаторах (холостого хода и нагрузочные) и суммарную реактивную (зарядную) мощность линий, присоединенных к стороне ВН каждой подстанции. Так как вычисление расчетной мощности предшествует расчету режима сети, в результате которого определяются напряжения в узловых точках (на сторонах ВН подстанций), *то слагающие расчетной мощности должны определяться по номинальному напряжению сети*. Расчет по номинальному напряжению обуславливает меньшую точность.

Расчет потерь холостого хода трансформаторов должен быть выделен отдельно, так как потери х.х. должны подписываться на схеме замещения.

Линии электропередачи в расчетах режимов представляются П-образной схемой замещения. При определении параметров схемы замещения ВЛ следует учесть, что протяженность ВЛ оказывается больше расстояний по прямой, соединяющей пункты.

В результате выполнения расчетов установившихся режимов сети может оказаться необходимым изменение сечений проводов линий, мощности трансформаторов и автотрансформаторов, компенсирующих устройств. После соответствующей корректировки расчет должен быть выполнен вновь. При этом по согласованию с руководителем этот расчет может выполняться упрощенно, с использованием метода наложения мощностей при изменении мощности КУ и пересчетом потерь мощности и напряжения только в тех элементах, параметры которых изменились.

## 4.2. Рекомендации по расчетам основных режимов сети

*Расчетными режимами работы электрической сети являются нормальные и послеаварийные установившиеся режимы, при которых нагрузки элементов сети имеют наибольшие и наименьшие значения, а рабочие напряжения на подстанциях – высшие и низшие значения. Такими режимами являются нормальные режимы наибольших (максимальный режим) и наименьших нагрузок (минимальный режим) подстанций, а также наиболее тяжелые послеаварийные режимы, связанные с отключением линий и трансформаторов.*

В данном курсовом проекте обычно рассчитывается максимальный и послеаварийный режимы. Возможно, некоторым студентам будет задан минимальный режим. *Нормальный режим наибольших нагрузок (максимальный режим) рассчитывается по указанным в задании на проект активным нагрузкам подстанций и по реактивным нагрузкам подстанций за вычетом мощности установленных на ПС компенсирующих устройств.* По окончании расчета этого режима следует проверить, не оказалась ли реактивная мощность, передаваемая из энергосистемы в электрическую сеть, больше того значения мощности  $Q_c$ , которую допустимо потреблять от энергосистемы. В случае невыполнения этого условия дополнительные конденсаторные батареи соответствующей мощности должны быть размещены на подстанциях сети. Размещение следует выполнять, руководствуясь теми же рекомендациями, которые приведены во втором разделе указаний. Корректировку режима работы сети после этого допустимо выполнить приближенно с помощью метода наложения мощностей. В ряде случаев после расчета потокораспределения может оказаться, что расчетный ток, протекающий по какой-либо из линий, изменился и не соответствует ранее выбранному сечению. Наиболее вероятно это может иметь место в кольцевых неоднородных сетях. В этом случае следует выбрать экономическое сечение проводов, пересчитать параметры схемы замещения такой линии и вновь выполнить расчет режима наибольших нагрузок.

Расчет нормального режима при наименьших нагрузках подстанций (*минимальный режим*) выполняется при заданном уменьшении активных нагрузок и таком же уменьшении реактивных нагрузок подстанций. Потребуется проведение расчетов по выбору необходимой мощности конденсаторных установок на подстанциях в этом режиме. По результатам выбора мощности конденсаторных установок должны быть либо уменьшены, либо совсем отключены во избежание выдачи реактивной мощности из проектируемой сети в систему. Уменьшения мощности конденсаторных батарей можно добиться, установив на ПС регулируемые конденсаторные установки, пределы регулирования которых необходимо подобрать так,

чтобы они подходили и для минимального режима. На некоторых двухтрансформаторных подстанциях в этом режиме может оказаться экономически целесообразным отключение одного из трансформаторов, что позволит снизить потери мощности в стали (холостого хода), но при этом увеличатся нагрузочные потери. Решение возможности отключения одного из трансформаторов принимается на основании соответствующего расчета потерь мощности и электроэнергии и в зависимости от схемы электрических соединений подстанции и сети. Оно недопустимо в случаях существенного снижения надежности электроснабжения потребителей.

Кроме того, в курсовом проекте *должен быть рассчитан послеаварийный режим в период наибольших нагрузок* подстанций, приводящий к наибольшему снижению напряжений на шинах высшего напряжения подстанций потребителей. В качестве послеаварийного режима рассматривается режим, соответствующий *отключению одной из линий сети*. Выбор отключаемой линии выполняется в каждом конкретном случае *индивидуально*. Чаще всего это может быть наиболее загруженная (ближайшая к источнику) линия кольцевой части сети, отключение которой приводит к значительному перераспределению потоков мощности, или отключение одной цепи двухцепной линии (ближайшей к источнику), по которой получают питание все или большая часть подстанций. *Совпадение аварийных отключений двух и более взаиморезервируемых линий не рассматривается* как маловероятное. При расчете послеаварийных режимов следует учитывать, что повреждение ВЛ на одном из участков может приводить к отключению ее и на других участках, а также к отключению трансформаторов. Поэтому *следует внимательно анализировать состав отключаемых линий и трансформаторов* с учетом конкретных схем электрических соединений сети и действий релейной защиты, устройств автоматики и оперативного персонала.

После расчета послеаварийного режима, как правило, оказывается, что реактивная мощность, передаваемая из энергосистемы в проектируемую сеть, больше экономически целесообразного значения  $Q_c$ . Так как такой режим работы сети относительно кратковременен и не скажется на экономичности работы энергосистемы в целом, то в этом случае допускается отклонение от заданного потребления реактивной мощности. Установка дополнительных КУ в электрической сети не предусматривается, а повышенное потребление реактивной мощности покрывается за счет использования резерва реактивной мощности в энергосистеме.

*Расчет установившихся режимов работы* спроектированной электрической сети *выполняется методом последовательных приближений в два этапа*. Называется такой расчет расчетом по данным «начала»;

известным (заданным) является напряжение в точке питания, а напряжения в узлах сети следует определить; известны также расчетные мощности в узлах (они были рассчитаны до этого расчета). *На первом этапе* расчета в качестве первого приближения принимается, что напряжения во всех узловых точках равны номинальному напряжению. При таком условии находится распределение мощностей по линиям. Расчет потоков мощностей выполняется с учетом потерь мощности в линиях. Данный *расчет проводится* в направлении *от конца* всех лучей радиальных или радиально-магистральных участков схемы *к их началу*. Потери мощности определяются по номинальному напряжению сети. Сначала вычисляются потери мощности на конечном участке с использованием расчетной мощности в данном узле, номинального напряжения и сопротивлений линий. Затем находится мощность в начале этого участка. Далее по балансу мощности в предыдущем узле, если он есть, определяется мощность в конце него. Аналогично расчет ведется и для остальных участков сети. Расчет продолжается до тех пор, пока не будут найдены мощность в начале первого участка и мощность от источника питания. При определении мощности от источника питания необходимо *учесть зарядную мощность в начале первого участка*, которая должна определяться по заданному напряжению в точке питания.

После определения мощностей проводится *второй этап* расчета, определяются напряжения в узловых точках во втором приближении. *Расчет ведется* в направлении *от начала* (от источника питания) *к концам* всех лучей радиальных или радиально-магистральных участков схемы. Исходными данными при этом служат заданное напряжение в точке питания и найденные на предыдущем этапе расчета мощности в начале каждого из участков.

Если в схеме сети имеются *кольцевые участки*, то расчет проводится *иначе*. Кольцевую схему представляют разрезанной по точке питания и развернутой, т.е. ее представляют как линию с двухсторонним питанием, у которой напряжения по концам равны по величине и по фазе. Для кольцевых участков сети предварительно намечается точка потоко раздела и направления потоков мощности. Действительное направление потоков мощности определяется в результате расчета. Известными для расчета являются напряжение в точке питания и расчетные мощности нагрузок в узлах. Поскольку напряжение и расчетные мощности заданы для разных точек сети, то расчет должен выполняться методом последовательных приближений *в два этапа* по аналогии с расчетом режима разомкнутой сети. *Первое приближение* – это равенство напряжений вдоль линий номинальному напряжению. Условие равенства напряжения по концам линии означает равенство нулю падения напряжения в схеме. На первом

этапе делается допущение, что отсутствуют потери мощности в линиях, и при этом условии определяются потоки мощностей на участках сети. *На втором этапе* определяются потери мощности, а также напряжения в узловых точках схемы. Результатом расчета первого этапа является найденное распределение мощностей по участкам сети и выявление точки потокораздела (точки, к которой мощность поступает с двух сторон). Затем схема мысленно разрезается по точке потокораздела и представляется в виде двух независимых частей, каждая из которых характеризует разомкнутую сеть с заданными расчетными нагрузками и равными напряжениями по концам (напряжения равны заданному напряжению на источнике питания). Очевидно, что такая операция не изменит распределения мощностей по всей сети в целом. *Дальнейший расчет* должен осуществляться так же, как для разомкнутых сетей, т.е. *расчет по данным «начала»*. После этого для каждой схемы и каждого участка схем выполняется *расчет потоков мощностей* с учетом потерь в направлении *от конца к началу* по аналогии с описанным выше методом. Затем определяются *напряжения в узлах* сети в направлении *от начала к концу*. Исходными данными для этого этапа являются заданные в задании на курсовой проект напряжения на шинах источника питания и определенные на первом этапе потоки мощности в начале (перед активным сопротивлением) первого участка линии следующего за источником питания. Исходными данными для расчета падения напряжения на последующих участках сети является напряжение в начале участка и поток мощности в начале (перед активным сопротивлением) этого же участка, вычисленные на предыдущем этапе расчета.

Для электрических сетей напряжением 110 кВ и ниже допускается ограничиваться только продольной составляющей падения напряжения, так как поперечная составляющая мала.

*Уровни напряжения на шинах источника питания* в режимах наибольших и наименьших нагрузок (если будет задан минимальный режим или график нагрузки), а также в послеаварийном режиме *указываются в задании на проектирование*. Но надо иметь в виду, что возможности регулирования (повышения) напряжения на шинах источника питания в послеаварийных режимах должны быть согласованы с техническими возможностями осуществления такого регулирования. Оперативные повышения напряжения возможны лишь при отдельных наиболее тяжелых авариях, какими могут считаться отключения линий 110 кВ длиной около 100 км и более и линий 220 кВ длиной 200 км и более, по которым передаются значительные мощности.

В сетях двух номинальных напряжений (например, 220/110 кВ), обычно связанных автотрансформаторами, при переходе к расчету

напряжений в сети среднего (например, 110 кВ) напряжения следует выбрать коэффициент трансформации, который может отличаться от номинального значения. Для снижения потерь активной и реактивной мощности и потерь электроэнергии в сети целесообразно поддержание возможно большего уровня рабочего напряжения на шинах источника питания в режиме наибольших нагрузок. Так как подстанция с автотрансформаторами является источником питания для сети более низкого напряжения, то коэффициент трансформации автотрансформаторов следует выбирать таким, чтобы напряжение на стороне среднего напряжения составляло  $\sim 110\%$  номинального напряжения в режиме наибольших нагрузок и в послеаварийных режимах и  $100\text{--}105\%$  номинального напряжения в режиме наименьших нагрузок. В частности, оно может быть принято таким же, как задано на шинах источника питания проектируемой сети: 220 и 110 кВ. Автотрансформаторы, используемые для связи этих сетей, имеют следующие номинальные напряжения обмоток:  $U_{ВН} = 230$  кВ;  $U_{СН} = 121$  кВ;  $U_{НН} = 11$  кВ. Регулирование напряжения осуществляется за счет РПН на стороне среднего напряжения и имеет пределы регулирования напряжения  $\pm 6 \times 2\%$ . При известном желаемом напряжении на стороне среднего напряжения  $U_{С\text{ жел}}$  требуемое ответвление регулируемой части обмотки может быть определено по выражению

$$n_{отв}^{жел} = \left( \frac{U_{Сжел} U_{ВН}}{U'_C U_{СН}} - 1 \right) \frac{100}{\Delta U_{отв}}, \quad (4.1)$$

где  $U'_C$  – рассчитанное напряжение со стороны среднего напряжения, приведенное к стороне высшего напряжения;  $\Delta U_{отв}$  – ступень регулирования напряжения, % ( $\Delta U_{отв} = 2\%$ ).

Полученное значение округляется до ближайшего целого значения  $n_{отв}$ , по модулю не превышающего максимального количества ответвлений, равного шести, и вычисляется действительное напряжение со стороны среднего напряжения

$$U'' = \frac{U' \cdot U_{н}}{U_{ен}} \left( 1 + n_{отв} \cdot \frac{\Delta U_{отв}}{100} \right). \quad (4.2)$$

Далее выполняется расчет напряжений в сети напряжением 110 кВ.

По заданию руководителя проекта расчеты ряда установившихся режимов работы спроектированной сети могут быть выполнены на ЭВМ с

помощью специальных программ. Подготовка исходных данных и расчетов в этом случае выполняется на основе программ, имеющихся в сети, а также установленных на компьютерах дисплейного класса кафедры ЭСиС.

*В расчетно-пояснительной записке может приводиться только расчет режима наибольших нагрузок. Результаты расчетов режима наименьших нагрузок и послеаварийного режима могут быть сведены в таблицы, в которых должны быть указаны расчетные нагрузки подстанций, мощности, протекающие в начале и конце каждой линии электрической сети, а также напряжения в узлах сети.*